

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO II

**OPTIMIZACIÓN DE LOS CONSUMOS DE REGENERANTES EN
EL TREN PRINCIPAL DE LA PLANTA
DESMINERALIZADORA DE UNA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA (ELECTRICIDAD DE CARACAS)**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs. Belisario L., Vanessa I.
Estrella R., Eyra E.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico.

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO II

OPTIMIZACIÓN DE LOS CONSUMOS DE REGENERANTES EN EL TREN PRINCIPAL DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA (ELECTRICIDAD DE CARACAS)

TUTOR ACADÉMICO: Profa. Carolina Pfaff

TUTORES INDUSTRIALES: Ing. Kenny Arcia

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs. Belisario L., Vanessa I.
Estrella R., Eyra E.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico.


Caracas, 2009

Caracas, Abril de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres Vanessa I. Belisario L. y Eyra E. Estrella R. titulado:

“OPTIMIZACIÓN DE LOS CONSUMOS DE REGENERANTES EN EL TREN PRINCIPAL DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA (ELECTRICIDAD DE CARACAS)”

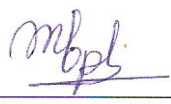
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.



Profa. Olgioly Dominguez
Jurado



Profa. Maria Najul
Jurado



Profa. Carolina Pfaff
Tutor Académico



Ing. Kenny Arcia
Tutor Industrial



TSU. Orlando Aparicio
Asesor Industrial

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a ti, Universidad Central de Venezuela, quien fuiste el refugio de todos nuestros sueños, sueños con fechas transformados en metas.

Este trabajo es sencillamente el fin de una etapa más que se cierra, para dar paso a muchas otras nuevas; y fuiste tú, nuestra universidad, quien trazó el camino de cada una de ellas. Y fue en cada paso dado en tu recinto que encontramos la fuerza necesaria para llegar a este gran final, un final que trae un nuevo comienzo.

De ti salieron los conocimientos que en nosotras crecieron y fijaron sus raíces. No tiene valor material alguno esta capacidad de análisis aprendida en tus paredes, y con la que pudimos dar inicio y fin al presente Trabajo Especial de Grado.

Tú, segunda casa de nuestras almas, no existen palabras que describan este sentido de pertenencia que jamás perderemos.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darnos la oportunidad de cumplir nuestro sueño en este lugar tan especial, tan nuestro.

Gracias a nuestros padres, familiares y amigos por todo el cariño, la disposición y la colaboración prestada en todo momento. Fueron uno de nuestros pilares fundamentales.

Gracias a mi madre Thais Lozada por darme la vida y acompañarme en esta etapa que culmina, a mi hermano Rafael Humberto y a mi Kevin Álvarez, siempre (Vanessa Belisario).

Gracias a Nuestra Casa de Estudios por tener las puertas siempre abiertas y por enseñarnos a luchar por nuestros sueños. Dentro de ella moran la voluntad de grandes personas que nos ayudaron en el cumplimiento de esta meta: Sr. Jesús Armando Martínez, Lic. Leudith Figuera, Profa. Carolina Pfaff.

Gracias a Nuestra Tercera Casa durante la realización del Presente Trabajo: Planta Tocoa, por acogernos como un miembro más de esa gran familia y regalarnos un trozo de su corazón, entre ellos: Julio Colina, Jose Denobrega, José Manuel González, Lisbeth Palacios, Orlando Aparicio, Miguel Castro, Kenny Arcia, José Zerpa, José Gil, Carlos Cáceres, Julio Cedeño, Irvin Hernández, Sebastián Cruz, Dionet Escobar, Ángel González, José D. Morales, Carlos Juárez, Miguel Rodríguez, Johan Palencia, Marlon Millán, Delia Andrade, Jacobo Pantoja, William Hetnández, Cruz “Coco” Martínez, José F. González, Julio Capote, Gregor Mora, Rafael Montaña, David González, Miguel Travieso, Pacheco.

Gracias, infinitas gracias!!!

Belisario L., Vanessa I.

Estrella R., Eyra E.

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS CONSUMOS DE REGENERANTES EN EL
TREN PRINCIPAL DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA DE UNA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA (ELECTRICIDAD DE CARACAS)”**

Tutor Académico: Profa. Carolina Pfaff

Tutores Industriales: Ing. Kenny Arcia, TSU Orlando Aparicio.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química

Año 2009, 124 pág

Palabras Clave: Tratamiento de Aguas, Intercambiadores Iónicos, Agua Potable, Calderas, Desmineralización del Agua, Elución.

En la Industria de Tratamiento de Aguas para Alimentación a Calderas, el Intercambio Iónico es uno de los procesos más utilizados en la eliminación de iones del agua potable para mantener la calidad adecuada. En el transcurso de los años, en la Planta Desmineralizadora de la Central Termoeléctrica de la EDC se han evidenciado algunas fallas posiblemente producto del uso de una cantidad inadecuada de regenerantes así como de una calidad del agua de alimentación fuera de los rangos. El presente trabajo se realizó con el fin de optimizar los consumos de regenerantes en la Planta Desmineralizadora, determinar la influencia de la variación de las propiedades de las resinas de intercambio en el proceso y evaluar la calidad del agua alimentada hacia las calderas de la Central Termoeléctrica para corroborar la existencia de las fallas observadas.

Durante el proceso de Regeneración, se realizó el Estudio de Elución que permitió detectar las fallas presentes en el Intercambiador Catiónico Fuerte, se caracterizaron las muestras de aguas cuyos parámetros se mantuvieron dentro de los rangos establecidos en la Normativa Vigente y se evaluaron fisicoquímicamente las

resinas cuyas propiedades se mantuvieron en los rangos establecidos por el fabricante a excepción de las partículas extrañas observadas a través de la microscopía óptica; éstas dan idea de una posible contaminación en las mismas.

Para completar el Trabajo se sugirió la instalación de un sensor de nivel en los tanques de regenerantes para inyectar la cantidad de químicos precisa y llevar un registro de las mismas. Así mismo, se recomendó la implantación de una nueva tecnología denominada Amberpack la cual ofrece un ahorro del 40% en el consumo de regenerantes y constituye por ello una alternativa atractiva y de gran innovación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	
I.1 Introducción.....	1
I.2 Planteamiento del Problema.....	2
I.3 Objetivos.....	5
I.3.1 General.....	5
I.3.2 Específicos.....	5
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES	
II.1 Ciclo de Producción y Vida Útil de las Resinas (2006).....	6
II.2 Sistemas de Monitoreo de Agotamiento de Cationes de Cardón (2004).....	7
II.3 Evaluación de los Procesos de Intercambio Iónico aplicados en el Conjunto Generador Ricardo Zuloaga (2004).....	7
CAPÍTULO III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
III.1 La Electricidad de Caracas.....	9
III.1.1 Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas.....	9
III.1.2 Planta Desmineralizadora.....	10
III.1.3 Tren Principal.....	11
III.2 Desmineralización del Agua.....	12
III.2.1 Proceso de Intercambio Iónico.....	13
III.2.1.1 Resinas de intercambio iónico.....	13
III.2.1.2 Ventajas y Desventajas.....	21
III.2.2 Controles durante la Producción de Agua Desmineralizada.....	22

III.2.3 Proceso de Regeneración.....	23
III.2.3.1 Descripción del Proceso de Regeneración.....	24
III.2.3.2 Etapas del Proceso.....	25
III.2.3.3 Análisis de Elución.....	27
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	
IV.1 Metodología.....	28
IV.2 Plan de Experiencia.....	29
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
V.1 Monitoreo del pH y la Conductividad	42
V.1.1 C1 Intercambiador Catiónico Fuerte.....	42
V.1.2 DS1 Intercambiador Aniónico Fuerte.....	44
V.1.3 A1 Intercambiador Aniónico Débil.....	45
V.2 Estudio de Elución.....	46
V.2.1 C1 Intercambiador Catiónico Fuerte.....	46
V.2.2 DS1 Intercambiador Aniónico Fuerte.....	49
V.2.3 A1 Intercambiador Aniónico Débil.....	50
V.3 Caracterización del Agua	56
V.3.1 Pruebas Físicas.....	57
V.3.2 Pruebas Químicas.....	59
V.4 Evaluación de las Resinas.....	72
V.5 Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración.....	82
V.6 Control Automático de Nivel.....	86
V.7 Nueva Tecnología.....	94
CONCLUSIONES	
Análisis de Elución.....	99
Caracterización del Agua	101

Propiedades de las Resinas.....	104
Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración.....	106
Materia Orgánica dentro del Proceso de Desmineralización.....	107
Justificación de la necesidad del Empleo de las Resinas de Intercambio Iónico y su Disposición.....	108
RECOMENDACIONES	
Recomendaciones Generales.....	109
Recomendaciones de Seguridad.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	120
APÉNDICES	
A. Cálculos Tipo.....	125
B. Tablas de Resultados.....	153
C. Hojas de Especificaciones Empleadas y Reportes.....	206
ANEXOS	
1. Fotos de las Actividades Realizadas.....	240
2. Manual de Métodos Analíticos.....	253

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de Producción de Vapor de Agua a partir de Agua Potable.	3
Figura 2. Relación entre la Presión de Vapor, el Contenido de Sílice en el Vapor de Agua y la Solubilidad de Sílice en el Vapor.....	4
Figura 3. Equipos en Estudio del Tren Principal.....	11
Figura 4. Equilibrio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ para una Resina Intercambiadora de Cationes de ácido Sulfónico.....	17
Figura 5. Ilustración del Proceso de Intercambio Catiónico en un Grano de Resina.....	18
Figura 6. Ilustración del Proceso de Intercambio Aniónico en un Grano de Resina.....	18
Figura 7. Esquema del Proceso de Regeneración.....	26
Figura 8. Curva de Elución.....	27
Figura 9. pHmetro empleado en la Medición del pH.....	31
Figura 10. Conductímetro empleado en la Medición de la Conductividad.....	33
Figura 11. Espectrofotómetro utilizado para la medición de Sílice. Equipo ubicado en el Laboratorio de la Unidad 8 de Planta Ampliación Tocoa, donde este Método es un Análisis de Rutina.....	34
Figura 12. Equipo de Absorción Atómica utilizado para el Análisis Iónico de los Cationes presentes en el Agua de Proceso.	35
Figura 13. Toma de muestras a la salida de los Intercambiadores.....	36
Figura 14. Vista Superior e Inferior del Toma-muestras cumpliendo con la Norma ASTM.....	38
Figura 15. Montajes para la aplicación del método de cálculo de la capacidad de intercambio aniónico.....	40
Figura 16. Perfiles de pH y Conductividad para cada Regeneración	43

Monitoreada en el Intercambiador Catiónico Fuerte C1.....	
Figura 17. Perfiles de pH y Conductividad para cada Regeneración	
Monitoreada en el Intercambiador Aniónico Fuerte DS1.....	44
Figura 18. Perfiles de pH y Conductividad para cada Regeneración	
Monitoreada en el Intercambiador Aniónico Débil A1.....	45
Figura 19. Concentración de Regenerante Libre en función del Tiempo para el	
Intercambiador Catiónico Fuerte C1.....	46
Figura 20. Concentración de Regenerante Libre en función del Tiempo para el	
Intercambiador Aniónico Fuerte DS1.....	49
Figura 21. Concentración de Regenerante Libre en función del Tiempo para el	
Intercambiador Aniónico Débil A1.....	50
Figura 22. Máxima Concentración de Sílice en Aguas de Calderas en función	
de la Presión.....	63
Figura 23. Impresiones de las Resinas de Intercambio Iónico, antes de	
colocarlas en Operación.....	75
Figura 24. Caracterización Granulométrica de las Resinas de Intercambio	
Iónico y Coeficiente Uniformidad.....	77
Figura 25. Estructura Química de las Resinas de Intercambio	
Iónico.....	80
Figura 26. Matriz Polimérica Estirénica de la Resina Catiónica Fuerte	
Amberlite IR – 120 plus.....	81
Figura 27. Representación de la Estructura de las Resinas Tipo Gel y tipo	
Macromolecular y Macroporosa.....	82
Figura 28. Resina Aniónica Fuerte Poliestirénica y Materia Orgánica.....	88
Figura 29. Tanques de Ácido Clorhídrico e Hidróxido de Sodio.....	90
Figura 30. Medidor de Presión Diferencial.....	91
Figura 31. Medidores por Ultrasonidos.....	92
Figura 32. Principio de Operación de la Tecnología Amberpack.....	95

Figura 33. Retrolavado de la Resina.....	96
Figura 34. Diseño del Equipo de Intercambio con la Tecnología Amberpack..	96
Figura 35. Ahorro en el Consumo de Regenerantes para cada Tecnología.....	98
Figura 36. Valores del índice CEPCI para Diferentes Años.....	133
Figura 37. Bombas de Ácido Clorhídrico en el Patio de Tanques.....	287
Figura 38. Bombas de Hidróxido de Sodio en el Patio de Tanques.....	287
Figura 39. Tanques de Ácido Clorhídrico.....	287
Figura 40. Tanques de Hidróxido de Sodio.....	288
Figura 41. Tanques de Hidróxido de Sodio.....	288
Figura 42. Estación de Dilución de Regenerantes.....	288
Figura 43. Estación de Dilución.....	289
Figura 44. Señalización de Seguridad en la Estación de Dilución de los Regenerantes.....	289
Figura 45. Señalización de Seguridad en la Estación de Dilución	289
Figura 46. Revisión de los Rotámetros en la Estación de Dilución.....	290
Figura 47. Modelo de Rotámetro empleado en la Estación de Dilución.....	290
Figura 48. Apertura de un Rotámetro del Intercambiador Catiónico Fuerte.....	290
Figura 49. Tomamuestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte...	291
Figura 50 Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte.....	291
Figura 51. Codo Reparado del Intercambiador Catiónico Fuerte.....	291
Figura 52. Andamios colocados para la Toma de las Muestras de Resinas.....	292
Figura 53. Jefe de Planta en la Apertura de los Intercambiadores.....	292
Figura 54. Jefe de Planta y Tutor Industrial presentes en la Toma de las Muestras.....	292
Figura 55. Boca de Visita del Intercambiador Aniónico Débil.....	293
Figura 56. Deflector de los Intercambiadores.....	293
Figura 57. Campana del Laboratorio Central.....	293
Figura 58. Desecador.....	294
Figura 59. Reactivos Empleados en los Análisis.....	294

Figura 60. Personal Técnico de Apoyo en el Laboratorio de la Unidad 8.....	294
Figura 61. Fluidización de las Resinas durante el Retrolavado en el Laboratorio.....	295
Figura 62. Fluidización de la Resina Aniónica Débil durante el Retrolavado en el Laboratorio.....	295
Figura 63. Adición de Ácido Clorhídrico durante el Pretratamiento.....	295
Figura 64. Adición de Cloruro de Sodio durante el Pretratamiento.....	296
Figura 65. Efluente del Pretratamiento de la Resina Débil.....	296
Figura 66. Muestras de Resinas obtenidas luego del Pretratamiento.....	296
Figura 67. Piscinas de Tratamiento del Agua Potable en Hidrocapital Picure...	297
Figura 68. Vista de Tocoa desde Hidrocapital Picure.....	297
Figura 69. Incrustación Salina en el Interior de un Evaporador.....	297
Figura 70. Sensor de Nivel por Ultrasonido.....	298
Figura 71. Software de Control Automático empleado en la Planta Desmineralizadora.....	298
Figura 73. Medición en Línea del Nivel de los Tanques de Almacenamiento de Agua.....	298

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de las Resinas de Intercambio Iónico Actualmente Utilizadas en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador “Josefa Joaquina Sánchez Bastidas” de la Electricidad de Caracas	20
Tabla 2. Plan de Experiencia de la Caracterización del Agua.....	29
Tabla 3. Plan de Experiencia de las Pruebas de Elución.....	29
Tabla 4. Plan de Experiencia de la Evaluación de las Resinas.....	30
Tabla 5. Plan de Experiencia de la Factibilidad de Colocación del Control Automático de Nivel y la Nueva Tecnología.....	30
Tabla 6. Especificaciones del Equipo Utilizado en la Medición de la Conductividad de las Muestras en Estudio.....	32
Tabla 7. Factor para el cálculo de los Sólidos Totales Disueltos (STD) a partir de la Conductividad de las muestras de agua.....	32
Tabla 8. Especificaciones del Equipo Empleado en la Medición del pH a cada Muestra Analizada.....	33
Tabla 9. Especificaciones del equipo utilizado en la medición del Sílice.....	34
Tabla 10. Balance de Masa de las Cantidades de Regenerantes en el C1.....	52
Tabla 11. Balance de Masa de las Cantidades de Regenerantes en el DS1.....	53
Tabla 12. Balance de Masa de las Cantidades de Regenerantes en el A1.....	53
Tabla 13. Volúmenes de Regenerantes Inyectados desde los Tanques y a los Equipos de Intercambio Iónico.	54
Tabla 14. Parámetros de Calidad de Referencia en el Agua de Proceso Antes y Después de la Desmineralización para Calderas que trabajan en un Rango de Presión de 1.500 a 5.000 psig.....	56

Tabla 15. Reporte de la Conductividad y los Sólidos Totales Disueltos obtenidos en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.....	57
Tabla 16. Reporte de la Alcalinidad obtenida en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.....	59
Tabla 17. Reporte del pH obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua Desmineralizada de cada Regeneración.....	61
Tabla 18. Reporte de Sílice obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.....	63
Tabla 19. Especificaciones del Equipo de Absorción Atómica empleado en el Análisis de los Cationes.....	65
Tabla 20. Concentración de Cationes en el Agua de Proceso de Desmineralización.....	65
Tabla 21. Concentración de Aniones en el Agua de Proceso Antes y Después de la Desmineralización.....	69
Tabla 22. Verificación de los Efluentes de las Resinas de Intercambio Iónico...	72
Tabla 23 Propiedades de las Resinas de Intercambio Iónico.....	73
Tabla 24. Características Observadas en las Resinas en Estudio, luego de 2 años de Operatividad en los respectivos Intercambiadores Iónicos, a través de Microscopía Óptica.....	74
Tabla 25. Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración.....	83
Tabla 26. Especificaciones Técnicas de los Medidores de Nivel por Ultrasonido.....	93
Tabla 27. Especificaciones Técnicas de los Interruptores.....	94
Tabla 28. Costo de los Regenerantes por Regeneración.....	97
Tabla 29. Distancias Mínimas de Resistencia al Fuego (RF).....	117
Tabla 30. Índices CEPCI.....	132
Tabla 31. Cantidades Conocidas de Sílice en el Agua.....	138

Tabla 32. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Catiónico Fuerte (Regeneración I).....	153
Tabla 33. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Catiónico Fuerte (Regeneración II).....	155
Tabla 34. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Catiónico Fuerte (Regeneración III).....	157
Tabla 35. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración I).....	159
Tabla 36. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración II).....	161
Tabla 37. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración III).....	163
Tabla 38. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración I).....	165
Tabla 39. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración II).....	167
Tabla 40. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración III).....	169
Tabla 41. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.....	171
Tabla 42. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.....	171
Tabla 43. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.....	171
Tabla 44. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la	172

Regeneración I.....	
Tabla 45. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.....	174
Tabla 46. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.....	176
Tabla 47. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.....	178
Tabla 48. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.....	178
Tabla 49. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.....	178
Tabla 50. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.....	179
Tabla 51. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.....	181
Tabla 52. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.....	183
Tabla 53. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Débil y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.....	185
Tabla 54. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada	

del Intercambiador Aniónico Débil y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.....	185
Tabla 55. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Débil y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.....	185
Tabla 56. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.....	186
Tabla 57. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.....	188
Tabla 58. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.....	190
Tabla 59. Masa de Regenerante Sobrante, Entrante al Equipo Catiónico Fuerte y Empleada por la Resina para Regenerarse.....	192
Tabla 60. Masa de Regenerante Sobrante, Entrante al Equipo Aniónico Fuerte y Empleada por la Resina para Regenerarse.....	192
Tabla 61. Masa de Regenerante Sobrante, Entrante al Equipo Aniónico Débil y Empleada por la Resina para Regenerarse.....	193
Tabla 62. Dimensiones de los Tanques de Regenerantes, Volumen Inyectado de Regenerantes y Caudal de las Bombas Empleadas.....	193
Tabla 63. Volumen de Ácido Clorhídrico en el Tanque en función de la Altura.....	194
Tabla 64. Volumen de Hidróxido de Sodio en el Tanque en función de la Altura.....	195
Tabla 65. Costo de los Regenerantes y Gasto Promedio por Regeneración.....	196
Tabla 66. Conductividad y los Sólidos Totales Disueltos obtenidos en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua Desmineralizada de	196

cada Regeneración.....	
Tabla 67. Alcalinidad obtenida en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.....	196
Tabla 68. pH obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.....	197
Tabla 69. Sílice obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.....	197
Tabla 70. Cantidades de Reactivo necesarias para llevar a cabo el Primer y Segundo Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.....	197
Tabla 71. Cálculos y Mediciones para el Primer Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.	197
Tabla 72. Cálculos y Mediciones para el Segundo Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.....	198
Tabla 73. Cálculos para determinar el Contenido de Humedad de la Resina Catiónica Fuerte del C1.....	198
Tabla 74. Cálculos para determinar el Contenido de Humedad de la Resina Aniónica Débil del A1.....	198
Tabla 75. Cálculos para determinar el Contenido de Humedad de la Resina Aniónica Fuerte del DS1.....	198
Tabla 76. Cálculos para determinar la Densidad de la Resina Catiónica Fuerte del C1.....	199
Tabla 77. Cálculos para determinar la Densidad de la Resina Aniónica Débil del A1.....	199
Tabla 78. Cálculos para determinar la Densidad de la Resina Aniónica Fuerte del DS1.....	199
Tabla 79. Cálculos para la determinar el Tamaño de Partícula y el Coeficiente de Uniformidad de la Resina Catiónica Fuerte.....	200
Tabla 80. Cálculos para la determinar el Tamaño de Partícula y el Coeficiente de Uniformidad de la Resina Aniónica Débil.....	200

Tabla 81. Cálculos para la determinar el Tamaño de Partícula y el Coeficiente de Uniformidad de la Resina Aniónica Fuerte.....	200
Tabla 82. Cálculos para determinar la Capacidad Total de Intercambio Catiónico.....	201
Tabla 83. Cálculos para determinar la Capacidad Total de Intercambio Aniónica Débil.....	202
Tabla 84. Cálculos para determinar la Capacidad Total de Intercambio Aniónica Fuerte.	203
Tabla 85. Cálculos y Reporte de las Alturas de Lecho dentro de los Equipos de Intercambio con sus Respectivos Volúmenes de Lecho.....	204
Tabla 86. Parámetros Evaluados y sus respectivos Pesos en Porcentaje, evaluados en el Método de Decisión Múltiple Binario.....	204
Tabla 87. Alternativas Comparadas entre sí en cada Parámetro y sus respectivos Pesos en Porcentaje.	204
Tabla 88. Puntaje Total de la Evaluación de los Parámetros para cada Alternativa	205

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1 Introducción

El agua es el más abundante y conocido compuesto químico que posee la potencialidad más alta para el sostenimiento de la vida en la tierra. La excepcional importancia desde el punto de vista químico, se debe a que la casi totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza tienen lugar entre sustancias disueltas en agua.

El *Intercambio Iónico* es uno de estos procesos químicos. Consiste en una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ión en disolución se intercambia por otro ión de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. El ión móvil es el intercambiado por iones que desean eliminarse de la solución y este intercambio sólo funciona entre iones de igual carga eléctrica: cationes por cationes y aniones por aniones (La Electricidad de Caracas, 1972).

La partícula sólida inmóvil es la *resina de intercambio iónico* donde una de las finalidades en el *proceso de desmineralización* es la obtención de agua con la calidad adecuada para alimentar a las calderas, entre otros procesos. Esta calidad del agua involucra ciertos parámetros de control entre ellos: el cloro libre igual a cero, los niveles de sílice menores a 0,25 mg/L, un pH de 6 a 9 entre otros; necesarios para el óptimo funcionamiento y desempeño de los procesos aguas abajo.

Debido al requerimiento de estos equipos (altas presiones y altas temperaturas de trabajo) de una alimentación con agua de calidad específica, se crea la necesidad de mantener un proceso de operación óptimo en el equipo destinado a la producción de esta agua en la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la Electricidad de Caracas.

I.2 Planteamiento del Problema

La Electricidad de Caracas (EDC) posee una capacidad instalada de 2.156 MW que representa el 9,55% del Sistema Eléctrico Nacional. Por su parte, la Planta Ampliación Tocoa, que forma parte del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas (CGJJSB), cuenta con una capacidad de 1.380 MW repartida en tres unidades de 460 MW cada una. Estas unidades, generan energía eléctrica a partir de vapor de agua a alta presión. El agua utilizada en la producción del vapor es previamente tratada en la Planta Desmineralizadora del CGJJSB y la calidad de esta agua es un factor determinante en la eficiencia global del proceso de generación tanto del vapor de agua como posteriormente en la generación de electricidad.

En los últimos años se ha incrementado la necesidad de optimizar el proceso de desmineralización llevado a cabo en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora, lo que implica que se debe garantizar una operación eficiente, solventando las posibles fallas presentes en el Tren Principal de Desmineralización, como son: la disminución de la capacidad de intercambio de las resinas (desgaste), el uso de una cantidad inadecuada de regenerantes durante la etapa de regeneración y una calidad no adecuada en el agua de alimentación y de producción. Es por esto que se plantea: **OPTIMIZAR LOS CONSUMOS DE REGENERANTES EN LA PLANTA DESMINERALIZADORA, DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO EN EL PROCESO Y EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA ALIMENTADA HACIA LAS CALDERAS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS**, determinando de esta forma las cantidades de regenerantes requeridas, el estado actual de las resinas de intercambio iónico e identificando las posibles causas que limitan el logro de una calidad adecuada del agua de producción, para finalmente promover soluciones para la mejora del sistema.

Uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua de alimentación a las calderas es el sílice. La sílice tiene una importancia especial en la generación de vapor, debido a que en ciertas condiciones, se producen dentro de la caldera o bien en

las turbinas, peligrosos depósitos de sílice y silicatos complejos. Estos materiales tienen un coeficiente de transmisión muy bajo y las capas extremadamente delgadas pueden producir sobrecalentamiento del metal, corrosión y falla en los tubos de las calderas así como una reducción en la transferencia calórica (Ediciones Ciencia y Técnica S.A., 1988).

Lo expuesto anteriormente se ejemplifica en el siguiente esquema:

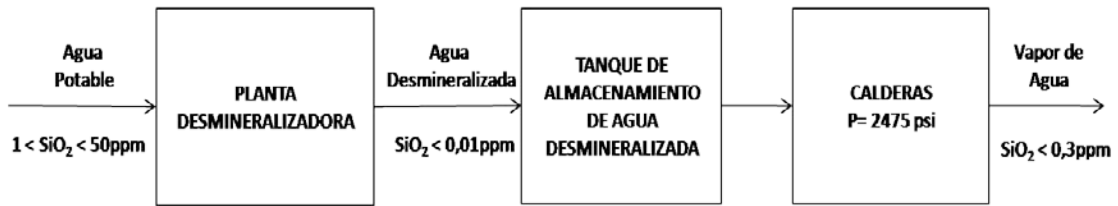


Figura 1. Esquema de Producción de Vapor de Agua a partir de Agua Potable.

Con el esquema anterior queda ejemplificado que existe una calidad específica del agua tanto en la entrada a la Planta Desmineralizadora, como a la entrada de agua a las calderas, así como también la calidad del vapor de agua hacia las turbinas para la posterior generación de electricidad. La siguiente figura demuestra la necesidad de mantener una calidad adecuada en el agua hacia las calderas:

En la Figura 2 se puede observar la relación existente entre la cantidad de sílice y la presión de operación de la caldera. Al aumentar la presión más de 400 psi, aumenta la tendencia de la sílice a ser arrastrada hacia el vapor. Conforme aumenta la presión, el contenido de sílice en el vapor en relación al agua se incrementa con suma rapidez. Esta sílice se deposita formando capas duras y vítreas en los álabes de las turbinas, tapando los conductos pequeños y produciendo desequilibrios en el rotor. Las investigaciones han demostrado que la clave para reducir al mínimo los depósitos de sílice, es mantener su concentración en el agua de caldera a un nivel lo suficientemente bajo para lograr que la sílice en el vapor no pase de 0,02 mg/L idealmente (Ediciones Ciencia y Técnica S.A., 1988).

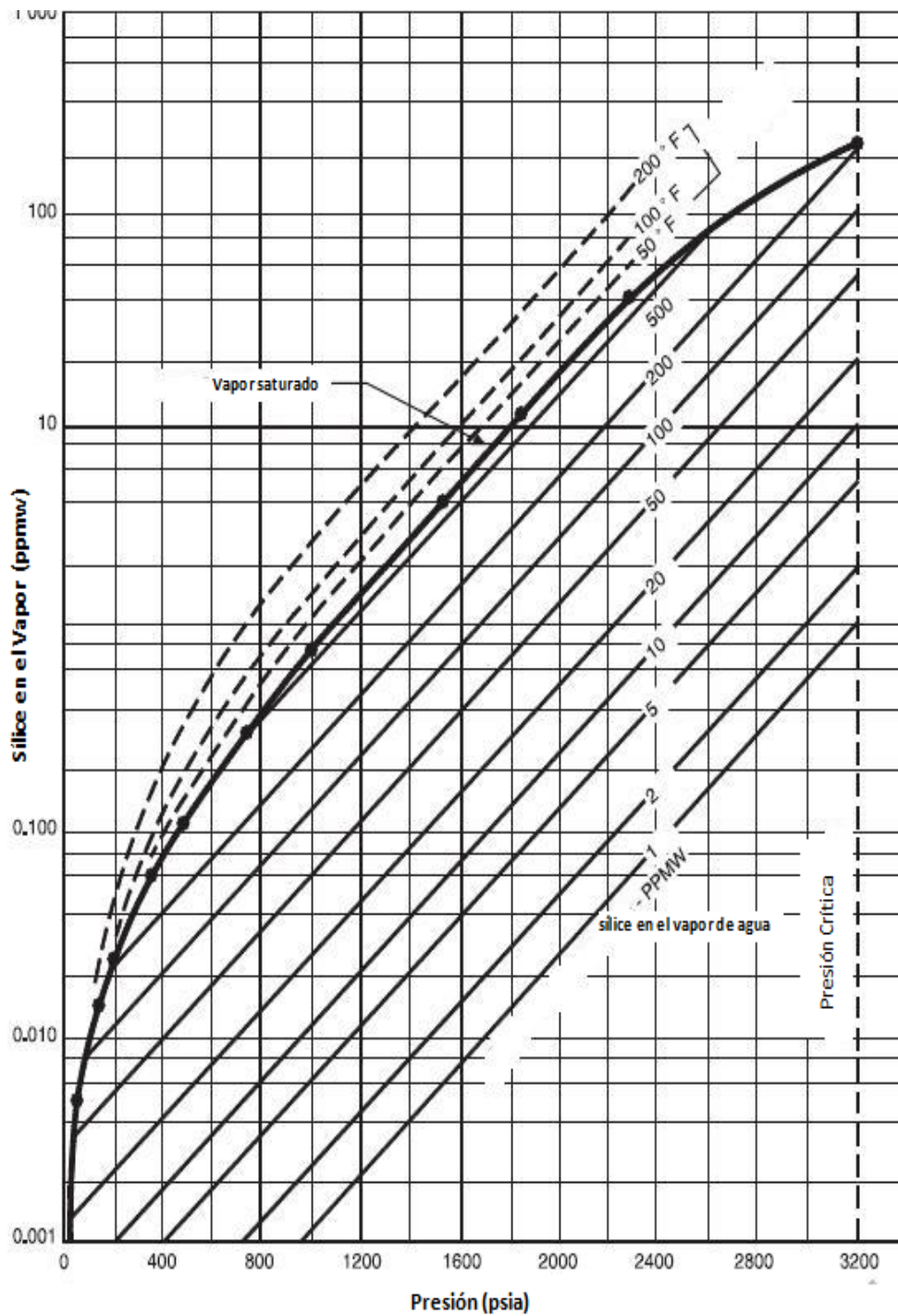


Figura 2. Relación entre la Presión de Vapor, el Contenido de Sílice en el Vapor de Agua y la Solubilidad de Sílice en el Vapor. Fuente: Norma GPSA (1985).

En el presente Trabajo Especial de Grado las calderas en estudio trabajan a una presión de operación de 2.475 psi de vapor, aumentándose los ppm de sílice que van a salir en el vapor que va hacia la turbina ocasionando incrustaciones en las calderas y formaciones minerales en las mismas turbinas.

I.3 Objetivos

I.3.1 Objetivo General

➤ Optimizar el Proceso de Regeneración de las Resinas de Intercambio Iónico en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la Electricidad de Caracas.

I.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de elución para evaluar el desempeño mecánico de los equipos de intercambio y el comportamiento del sistema.
- Caracterizar el agua empleada en el Tren Principal y el agua desmineralizada.
- Determinar el estado fisicoquímico de las resinas empleadas en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora.
- Analizar las condiciones de operación del proceso de regeneración.
- Evaluar la colocación de un control automático de nivel en los tanques de regenerantes.
- Plantear mejoras en los sistemas de dilución de los regenerantes.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

En esta sección se describen tres de los trabajos previos realizados en los últimos 5 años.

II.1 Ciclo de Producción y Vida Útil de las Resinas (2006)

Químicas RMS de Venezuela (2006) determinó que la duración del ciclo de producción de las resinas es directamente proporcional al contenido de sales minerales del agua de alimentación y éste varía según la estación del año. Concluyeron que la vida útil de las resinas depende de varios factores: unos relacionados con la operación de la planta de tratamiento y otros con la calidad del agua de alimentación. Las recomendaciones para las resinas catiónicas fueron: una turbidez no mayor a 1 UNT ya que disminuye la capacidad y vida útil, la ausencia de iones Cl^- que degrada la estructura de la resina y la presencia de un filtro de carbón activado para garantizar la declorinación, es decir, la eliminación del cloro. Para las resinas aniónicas recomiendan una regeneración a una temperatura menor a $60^{\circ}C$ ya que se desactivan los grupos de intercambio de la resina, la ausencia de materia orgánica ya que causa envenenamiento y la ausencia de cloratos ya que oxidan al polímero y hacen perder rigidez a la resina. Finalmente Químicas RMS de Venezuela demostró que a menor capacidad instalada menor será el ciclo de producción y mayor el número de regeneraciones durante la vida activa, donde la resina catiónica posee de 250.000 a 1,5 millones de VL (volúmenes del lecho de resina) y la aniónica de 100.000 a 400.000 VL de vida útil promedio.

II.2 Sistemas de Monitoreo de Agotamiento de Cationes de Cardón (2004)

Según la experiencia (Chirinos, Geraldo y Soriano, 2004) en la Planta de Cardón existía para el momento de la evaluación una sobrecapacidad de intercambio de los cationes respecto a los aniones. Por accidentes previos se perdieron grandes cantidades de resina catiónica a causa de un control inadecuado del flujo de contralavado y para reponer el nivel en ocasiones se había hecho con resina débil y en otras con resina fuerte; de manera tal que para el año 2004 se desconocía la proporción de estas resinas en las unidades y en consecuencia cada unidad tenía diferente capacidad de producción. Chirinos y otros determinaron que como cada catión o anión era monitoreado y llevado a regeneración en forma individual, era necesario un sistema tal que detectara el punto de agotamiento de cada unidad en forma precisa y eficiente. Y con este estudio realizado se logra tener un registro del monitoreo de una unidad de intercambio catiónico con todos los parámetros de agotamiento de las resinas definidos.

II.3 Evaluación de los Procesos de Intercambio Iónico aplicados en el Conjunto Generador Ricardo Zuloaga (2004)

Espinoza (2004) investigó acerca de la dureza resultante de la presencia de sales de calcio y magnesio, así como también la dureza no carbonática debida a los iones cloruros y sulfatos, las cuales limitan el funcionamiento de los equipos y procesos. La evaluación de los factores fue realizada a través de: pruebas de elución durante la regeneración de algún intercambiador, y el muestreo y análisis de las resinas de intercambio con actualización previa de los procedimientos para aplicar una regeneración. Espinoza concluyó que los requerimientos básicos de la desmineralización consisten sencillamente en mantener una calidad adecuada del agua, e incluir en los parámetros de control una conductividad menor a 1 mS/cm así como también una desmineralización de agua desalada donde se pueda procesar al menos 60 m³/h en cada unidad. Como resultado del estudio el agua a la salida de los lechos mixtos, presentó una conductividad comprendida entre los 0,05 y los 0,06

mS/cm, valor que se encuentra entre los parámetros de calidad del agua desmineralizada. La conductividad es una medida cualitativa de la presencia de iones en las soluciones y cuantitativa de la concentración de los mismos. Por ello, para controlar la remoción de iones, la conductividad eléctrica puede ser empleada monitoreando su valor a la salida de los intercambiadores, es decir, luego de realizado el intercambio, ya que su valor indica la presencia o ausencia de ciertos iones, y su proporción indirectamente, e incluso permite la detección de fugas de sodio o sílice. Los valores de conductividad mencionados conllevaron a una alta eficiencia en el proceso de generación de energía eléctrica. La relación existente entre este antecedente y el presente trabajo se encuentra, en ser un punto de referencia a la hora de comparar los resultados de las condiciones de operación evaluadas en la planta desmineralizadora.

CAPÍTULO III

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En esta sección se presenta un resumen de los aspectos teóricos más importantes revisados en el material bibliográfico.

III.1 La Electricidad de Caracas

La Electricidad de Caracas es una empresa pública que forma parte de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) dedicada a proveer el mejor servicio eléctrico, y comprometida a responder las expectativas de sus clientes y trabajadores, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de la sociedad venezolana. La ampliación de la Planta Tocoa ubicada en Arrecifes, estado Vargas, consiste en una instalación de tres unidades de generación térmica a vapor de 460 MW cada una y corresponden a las unidades 7, 8 y 9.

La Electricidad de Caracas (EDC) tiene una estructura organizada en unidades de negocio, pero bajo la dirección de una misma junta directiva. El desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado se llevó a cabo en el Tren Principal (tren de intercambio iónico) de la Planta Desmineralizadora.

III.1.1 Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas

Cada una de las unidades del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas cuenta con los siguientes equipos e instalaciones (Espinoza, 2004):

- (a) Caldera: puede generar 1.380 ton/h de vapor a una presión de 174 Kg/cm² y temperatura de 540 °C. Está diseñada para trabajar con gas, fuel oil o residual craqueado. Posee 16 quemadores de petróleo y 16 quemadores pilotos, de fuego tangencial, que están situados en las esquinas del horno en cuatro elevaciones. Consume 225 gramos de petróleo crudo por kilovatio generado.

- (b) Chimenea: la chimenea de la caldera es de 120 m de altura, lo que garantiza la dispersión de los gases de escape de acuerdo a estudios realizados.
- (c) Tambor (drum): es el cuerpo principal de la caldera, trabaja con vapor a altas presiones, fue instalado en la estructura de la caldera a 47 m de altura, pesa 200 ton y mide 21 m de largo, tiene una capacidad de evaporación de 1.380 ton/h y un diámetro interno de 1,68 m.
- (d) Bombas de circulación de agua de la caldera: hay seis tubos bajantes de 373 mm de diámetro y una longitud de 31 m, desde la salida del tambor al múltiple de succión de las bombas de circulación de la caldera la cual tiene un diámetro de 472 mm. Cuatro bombas de circulación succionan el agua de las tomas del fondo del múltiple, a través de las válvulas de succión individuales.
- (e) Turbo Generador: es del tipo de dos polos para generar 503.000 KW a 60Hz y 21.000V, con un factor de potencia de 0,85. El rotor gira a 3.600 rpm, pesa 700 ton y es enfriado con hidrógeno líquido, el extractor pesa 270 ton y es enfriado con agua desionizada.
- (f) Condensador: es del tipo horizontal, de un solo paso, para un flujo de agua de 45.000 m³/h. Cada cuerpo pesa 70 ton y cada cuello que lo une a las turbinas pesa 35 ton. Cada condensador tiene 10.431 tubos de 22 mm de diámetro.

III.1.2 Planta Desmineralizadora

Trabaja con agua potable proveniente de Hidrocapital y agua desalada proveniente de la Planta Desaladora para producir agua desmineralizada. La Planta Desmineralizadora está compuesta por 2 trenes de intercambio iónico conocidos como Tren Principal y las Cadenas de Condensados CC1 y CC2 con los Pulidores Desalados MB1 y MB2, que son los lechos mixtos. Las Cadenas de Condesado poseen un ciclo de producción promedio de 35.000 a 40.000 m³ (Espinoza, 2004).

III.1.3 Tren Principal

El Tren Principal posee un ciclo de producción de 1.000m³ aproximadamente y está conformado por un filtro de carbón activado FCA, la unidad C1 contenedora de la Resina Catiónica Fuerte con una altura de lecho de 1,95 m y 1,8 m de diámetro, la unidad A1 contenedora de la Resina Aniónica Débil con una altura de lecho de 1,24m y 1,7m de diámetro, la unidad DS1 contenedora de la Resina Aniónica Fuerte con una altura de lecho de 1,955m y 1,7m de diámetro, y finalmente un lecho mixto (pulidor) que no se encuentra funcionando actualmente, El agua para poder ser desmineralizada completamente es pasada a otras cadenas de intercambio iónico con la finalidad de llegar a la calidad deseada (producto de la Planta Desmineralizadora). En la siguiente figura se observan los tres intercambiadores anteriormente mencionados:

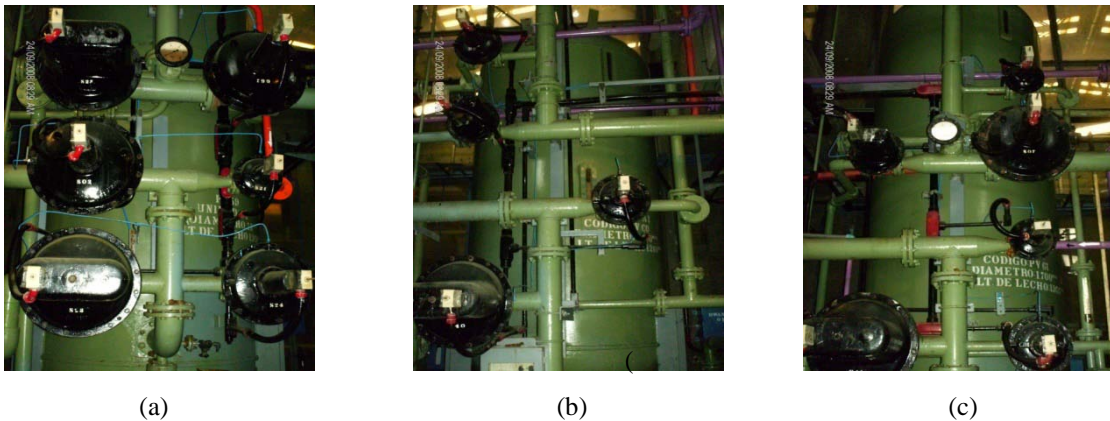


Figura 3. Equipos en estudio del Tren Principal. a) Intercambiador Catiónico Fuerte. b) Intercambiador Aniónico Débil. c) Intercambiador Aniónico Fuerte. Fuente: EDC, 2008.

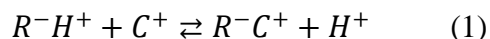
III.2 Desmineralización del Agua

La desmineralización o desionización es el proceso de remoción de las impurezas iónicas disueltas en el agua. Estos iones permiten la conducción de la electricidad y por eso se llaman electrolitos. La conductividad es la medida de la capacidad que tiene un material para conducir la corriente eléctrica. También es una medida del contenido iónico y de los sólidos disueltos en una solución. Las soluciones iónicas o nutritivas (ricas en iones) contienen partículas que llevan cargas. Cuanto mayor es la cantidad de estos iones disueltos en el agua la conductividad de la solución resultante es mayor. Por lo tanto la medición de la conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disociados que hay disueltos en ella. El proceso de desmineralización consiste básicamente en un tratamiento de dos pasos que involucran resinas aniónicas y catiónicas. Este proceso se puede llevar a cabo en serie o en un lecho mixto dependiendo de las condiciones de operación y los requerimientos (Dow Chemical U.S.A., 1981).

El proceso de desmineralización se lleva a cabo sustituyendo todos los cationes presentes en el agua por iones H^+ y todos los aniones por iones OH^- . La manera de realizar este tratamiento consiste en hacer pasar sucesivamente el agua a tratar por un intercambiador de cationes bajo forma H^+ (regenerado con un ácido fuerte) y posteriormente por un intercambiador de aniones bajo forma OH^- (regenerado con una base fuerte). Al pasar por el intercambiador de cationes, los iones de este signo se fijan en la resina y sólo subsisten en el agua los ácidos de las sales presentes inicialmente, el efluente de esta resina pasa al lecho de intercambio aniónico fuerte o débil donde se procederá a fijar o retener los aniones respectivos. El producto final de esta unidad es un agua con una calidad químicamente similar al agua destilada, denominada agua desionizada o desmineralizada. Para completar el proceso de desmineralización existe un componente adicional situado después del lecho de resina de intercambio catiónico denominado desgasificador. Este equipo tiene la función de eliminar el CO_2 presente en el efluente que proviene del lecho de intercambio catiónico, evitando de esta manera la posible generación de ácido carbónico en el lecho de intercambio aniónico (González, 2001).

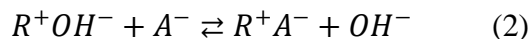
III.2.1 Proceso de Intercambio Iónico

Para la operación en serie, el agua es usualmente pasada primero a través de una columna de resina catiónica (ácida, R^+H^+) para intercambiar los cationes en solución por los protones (Dow Chemical U.S.A., 1981):



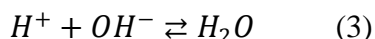
C^+ representa comúnmente los iones calcio, magnesio o sodio.

Este efluente es luego pasado a una columna de resina aniónica (básica, R^+OH^-) para reemplazar a los aniones en solución por el hidróxido:



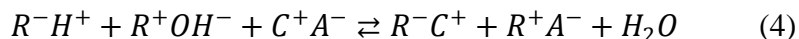
A^- representa comúnmente los aniones como Cl^- , SO_4^{2-} o NO_3^- .

Los protones de la resina catiónica neutralizan los iones hidróxido de la resina aniónica:



El efecto neto del proceso es la remoción de los electrolitos incrementando la calidad del agua.

Adicionalmente, el agua puede pasar a través de un lecho mixto donde ambos tipos de intercambio ocurren simultáneamente:



III.2.1.1 Resinas de Intercambio Iónico

Los intercambiadores de iones son polímeros sólidos que contienen cationes o aniones los cuales intercambian iones de forma reversible cuando entran en contacto con una solución que los contiene.

La ciencia de intercambiar un ión por otro, empleando una matriz, es una metodología antigua. Ya en la Biblia, Moisés emplea la corteza de un árbol para obtener agua potable a partir de agua salobre (Éxodo 15,23-25) y Aristóteles

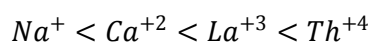
menciona que haciendo pasar agua de mar a través de un recipiente de cera se obtiene agua dulce. En sus inicios se desarrollaron polímeros intercambiadores de iones sintetizados mediante reacciones de adición, cuya estabilidad química y térmica era mayor que las resinas de condensación. El pionero de este trabajo fue Gaetano D'Alelio (1945), que incorporó grupos de ácido sulfónico a un polímero de estireno entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno), dando lugar a las resinas catiónicas de ácido fuerte. El uso del copolímero estireno-divinilbenceno como matriz para enlazar grupos con capacidad intercambiadora, supuso una tremenda expansión en los procesos de intercambio iónico. De hecho, las resinas que se emplean actualmente tiene como matriz este copolímero (Puga, 2007). En 1947 McBurney produjo las resinas aniónicas de base fuerte, cuyo grupo funcional era un amino cuaternario. Ya para 1948 Skogseid produce la primera resina específica para un metal, potasio, y a partir de este momento los investigadores basaron sus esfuerzos en incorporar a la matriz de la resina distintos grupos funcionales que aumentasen su selectividad por un determinado compuesto, desarrollando así las resinas quelantes. En 1970 se incrementan los controles ambientales, dados los efluentes generados en el proceso de fabricación, producto de los estudios realizados en ese año. Las últimas plantas, instaladas con la más avanzada tecnología se emplazan fuera de los Estados Unidos y Europa Occidental, certificándose bajo normas acreditadas: ISO, AD-Merkblatt (Alemania), ASTM (U.S.A.), y LLOYDS (London) (Ediciones Ciencia y Técnica, 1988).

Según Arden, los principios del intercambio iónico fueron descubiertos e investigados hace mas de 100 años, hecho que es corroborado con las evidencias bíblicas de Moisés y los legados de Aristóteles. Como su nombre los indica, el intercambio iónico involucra la transferencia de un ión por otro. Por ejemplo, un catión en solución se adhiere al sólido de intercambio (la resina) para dar lugar a la liberación de un catión diferente dentro de la solución. Es un caso de quimisorción, la cual ocurre cuando se forma un enlace químico, definido en este caso como un intercambio de electrones. La adsorción del reactante por la superficie del catalizador crea un enlace químico, alterando la densidad electrónica alrededor de la molécula

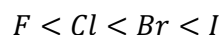
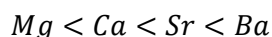
reactante y permitiendo reacciones que normalmente no se producirían en otras circunstancias. Todo intercambio muestra selectividad. Ellos pueden preferir un ión por encima de otro por un factor de 15 o más. Esta preferencia no es siempre un número fijo pero varía con la fuerza iónica relativamente con la cantidad de iones, la capacidad de intercambio y el menor tamaño junto con otros factores asociados a la temperatura.

Las reglas de selectividad de la resina de intercambio iónico son las siguientes (Rohm and Haas, 1994):

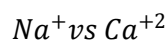
- (a) A bajas concentraciones acuosas y temperaturas ordinarias, el grado de intercambio o el potencial de intercambio incrementa al incrementar la valencia del ion intercambiable.



- (b) A bajas concentraciones acuosas, temperaturas ordinarias y valencia constante, el potencial de intercambio incrementa con el número atómico.



- (c) A altas concentraciones, la diferencia en los potenciales de intercambio de iones de diferente valencia disminuye y, en algunos casos, el ion de menor valencia tiene el potencial más alto.



Esta regla se evidencia en el siguiente ejemplo:

En el ciclo del sodio, a 1.000 ppm el intercambiador muestra preferencia por el Ca^{+2} sobre el Na^+ , mientras que a 100.000 ppm ocurre lo contrario.

En la Figura 4 se observa lo ejemplificado.

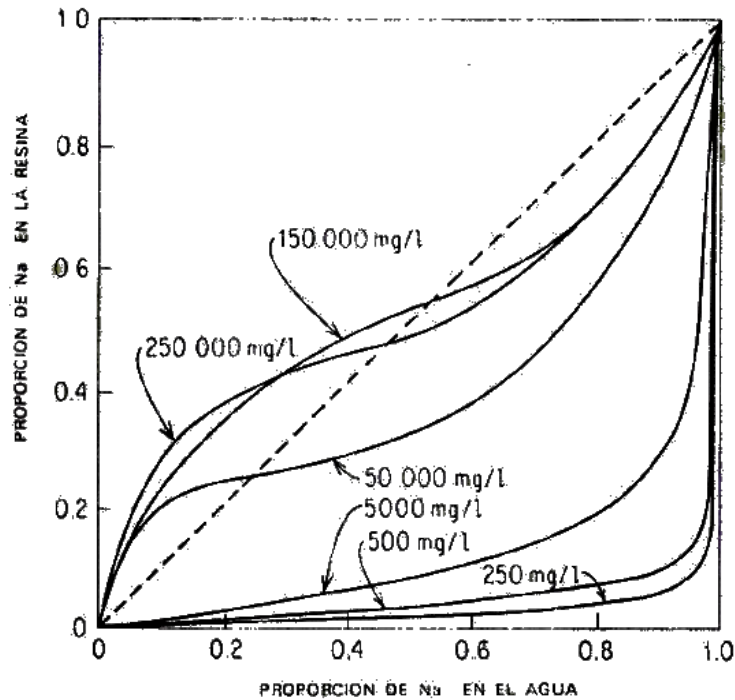


Figura 4. Equilibrio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ para una Resina Intercambiadora de Cationes de ácido Sulfónico.

- (d) A altas temperaturas, o en medios no acuosos, o a altas concentraciones, los potenciales de intercambio de iones de valencia similar no aumentan al aumentar el número atómico pero son muy similares, y a veces disminuyen.
- (e) El potencial de intercambio de varios iones se puede aproximar a partir del coeficiente de actividad; a mayor coeficiente, mayor es el potencial.
- (f) El potencial de intercambio del ión hidrógeno depende de la fuerza del ácido o base formada entre el grupo funcional y el ion. Mayor fuerza, menor potencial.

- (g) Los iones orgánicos de alto peso molecular y los complejos aniónicos metálicos exhiben inusualmente potenciales de intercambio altos.
- (h) A medida que el grado de entrecruzamiento o la concentración iónica disminuye, el equilibrio de intercambio o el coeficiente de selectividad se acerca a 1.

Según Gaitan y Jiménez (1976) los intercambiadores de iones son sólidos granulares insolubles que contienen cationes o aniones fijados, capaces de intercambio reversible con iones móviles del mismo signo en la solución con la cual se encuentran en contacto. La Figura 5 representa a un grano de resina de intercambio catiónico del tipo sulfónicas, el cual se encuentra en estado ácido y por lo tanto al ponerse en contacto con el agua a tratar, intercambiará los protones por los iones calcio, magnesio y sodio presentes en el agua.

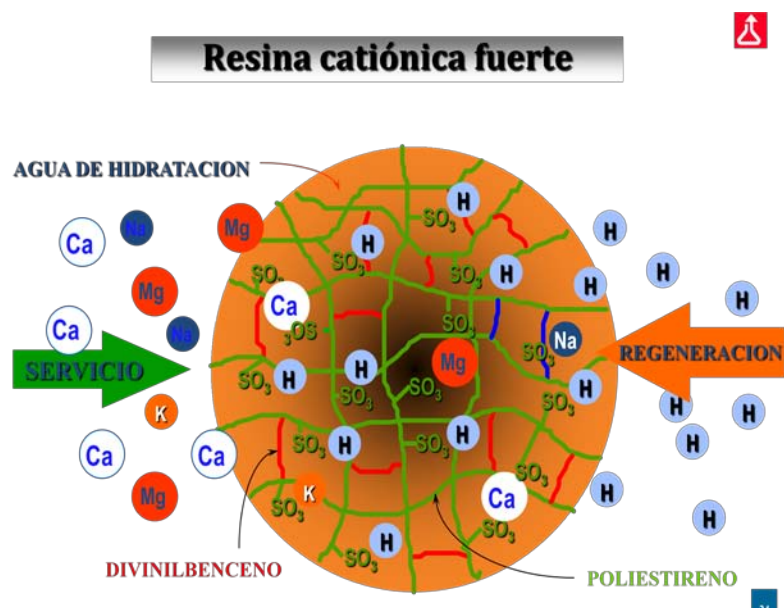


Figura 5. Ilustración del Proceso de Intercambio Catiónico en un Grano de Resina. Fuente: Gamma Química de Venezuela (Gamma Química, 2005).

La Figura 6 representa un grano de resina de intercambio aniónico y sus características, el cual se encuentra en estado básico y por lo tanto al ponerse en contacto con el agua proveniente del intercambiador catiónico intercambiará los hidróxidos por los iones cloruros, sulfatos y bicarbonatos presentes en el agua.

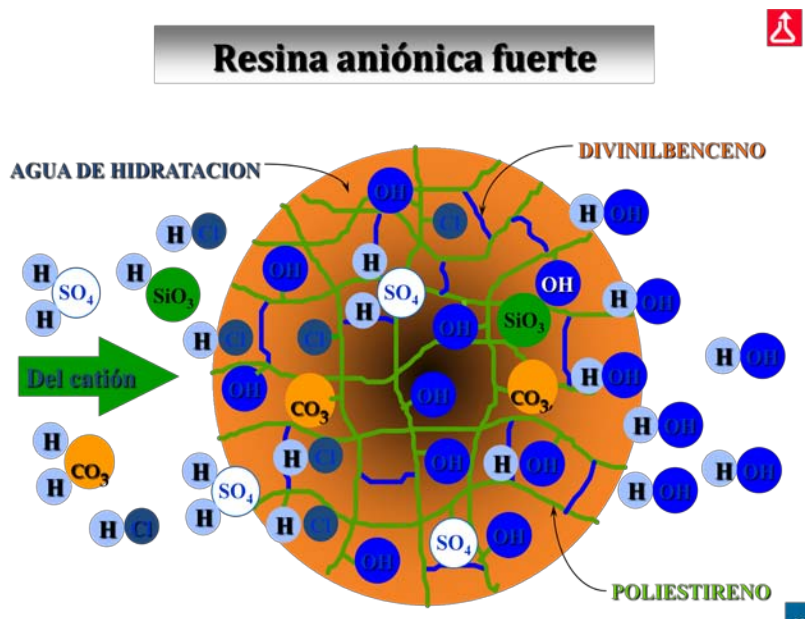
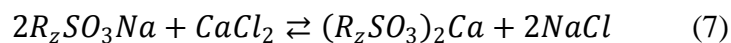
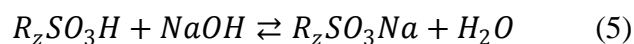


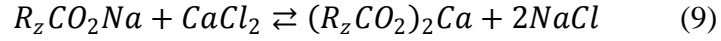
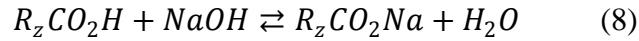
Figura 6. Ilustración del Proceso de Intercambio Aniónico en un Grano de Resina. Fuente: Gamma Química de Venezuela (Gamma Química, 2005).

Existen cuatro tipos fundamentales de resinas de intercambio sintéticas (Rohm and Haas, 1994).

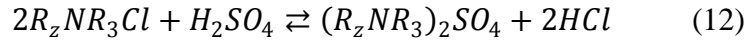
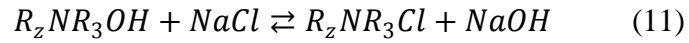
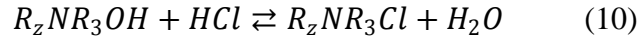
- Resina Catiónica Fuerte – Análoga a Ácido Sulfúrico



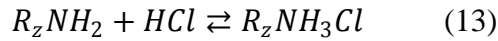
- Resina Catiónica Débil – Análoga a Ácido Acético



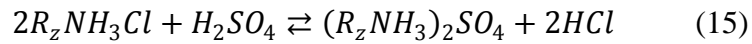
- Resina Aniónica Fuerte – Análoga a Hidróxido de Sodio



- Resina Aniónica Débil – Análoga a Hidróxido de Amonio



ó



Los tipos de resinas de intercambio iónico actualmente utilizadas en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la Electricidad de Caracas se presentan en la Tabla 1 (Rohm and Haas, 1994):

Tabla 1. Características de las Resinas de Intercambio Iónico Actualmente Utilizadas en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la Electricidad de Caracas.

Características / Resina	Amberlite IR – 120 plus	Amberlite IRA 402c	Amberlite IRA 96
Característica principal	Intercambiador Catiónico fuerte tipo gel. Estireno-Divinil benceno (DVB)	Intercambiador aniónico fuerte tipo gel. Estireno-DVB	Intercambiador Aniónico débil tipo macromolecular y macroporosa. Estireno-DVB
Funcionalidad	Acido Sulfónico	Amonio Cuaternario	Amina Terciaria
Forma iónica	Sodio /Hidrógeno	Cloruro	Base libre
Densidad (g/ml)	1,26	1,07	1,04 a 1,06
Peso de embarque (lbs/ft ³)	53	43	40
Talla efectiva (mm) aprox.	0.50	0.50	0,41
Contenido de Humedad (% aprox.)	46	53	57 a 63%
Rango de pH	0-14	0-14	0-9
Temperatura máxima de operación.	250°F	140 °F (OH) 170 °F (Cl)	100 °C
Capacidad total de intercambio (a)Kg CaCO ₃ /ft ³ (b) meq/ml wet	(a) 41,4 (b) 1,9	(a) 28,3 (b) 1,2	≥ 1,25 eq/l
% de hinchamiento (valor típico basado en la conversión completa)	$Na^+ \rightarrow H^+$ 5 – 7	$Cl^- \rightarrow OH^-$ 20-25	$FB^- \rightarrow Cl^-$ 23-28
Observaciones	Contiene 8% de DVB. (Divinilbenceno). Resina Catiónica Fuerte. Usada en operaciones estándar donde se necesitan grandes cantidades de gel catiónico	Poco entrecruzamiento y mejor difusión en moléculas orgánicas	Resistencia a la oxidación. Alta capacidad de intercambio. Resistencia al ensuciamiento orgánico
Aplicaciones	Acondicionamiento de agua, Ablandamiento de agua, Desionización, etc.	Acondicionamiento de agua, Desionización y desalinización	Desacidificación, desionización de agua. Remoción de material orgánico

Después de una serie de ciclos de intercambio iónico las resinas de intercambio iónico sufren la pérdida de sitios de intercambio activo o sufren la rotura de los enlaces transversales de la resina, disminuyendo su capacidad de intercambio.

Las resinas catiónicas fuertes primero pierden su capacidad de intercambio para captar cationes asociados a los ácidos fuertes debido a la selectividad de las mismas hacia los cationes bivalentes, los cuales son de mayor tamaño y se encuentran en mayor proporción en solución. Por su parte las resinas aniónicas fuertes disminuyen su capacidad de captar aniones débiles a baja concentración, tales como los carbonatos y silicatos.

La mayoría de los autores de la especialidad asignan una vida útil esperada a las resinas de intercambio iónico entre los 5 y los 10 años. Las resinas aniónicas tienen una vida útil teórica de 70 a 300 m³ de agua tratada por litro de resina y las resinas catiónicas de 200 a 1.500 m³ de agua tratada por litro de resina; en ambos casos dependerá de la calidad del agua a tratar (Rohm and Haas, 1994).

III.2.1.2 Ventajas y Desventajas

Las ventajas del intercambio iónico son las siguientes:

- Es selectivo. Se pueden remover a menudo iones especialmente indeseados. Entre los iones que se prefieren remover encontramos nitratos, hierro, magnesio, amonio y metales pesados.
- La manufactura de muchos equipos de intercambio iónico pueden tener costos competitivos por lo que muchas veces son bajos.
- Sus unidades pueden ser manuales y completamente automáticas y además se encuentran disponibles.
- El efecto de la temperatura desde 0°C a 35°C es insignificante.
- El proceso es excelente para aplicar en pequeñas y grandes instalaciones.

Las desventajas del intercambio iónico son las siguientes:

- Químicamente la regeneración puede ser costosa, corrosiva y peligrosa y el regenerante de desecho puede presentar problemas de disposición.

- Las plantas automáticas requieren de un mantenimiento experto y las plantas no automáticas requieren del conocimiento del proceso, de la operación y atención frecuente.
- El costo de capital de inversión es alto aunque puede ser reducido por optimización del diseño.
- El capital invertido en la resina de intercambio iónico puede ser fácilmente arruinado por ignorancia del proceso.
- El proceso y el equipo deben ser estudiados a lo largo del tiempo.

III.2.2 Controles durante la Producción de Agua Desmineralizada

Uno de los principales sistemas de control a tomar en cuenta en el presente Trabajo Especial de Grado es la aplicación de un control automático en los tanques de los regenerantes. Sin embargo, es importante mencionar todos los sistemas de control necesarios durante la producción de agua desmineralizada (Puga, 2007):

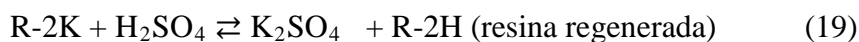
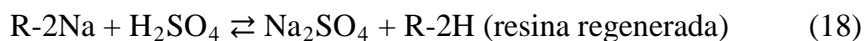
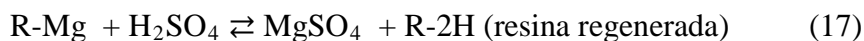
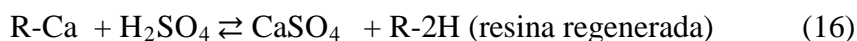
- (a) Controlar el cloro libre, el cual debe ser cero y medido una vez por turno. Para tal fin la Planta Desmineralizadora cuenta con un filtro de carbón activado como primer equipo del sistema, cuya función principal es remover el cloro del agua de alimentación para evitar la oxidación de las resinas; y como función secundaria, retira los restos de materia orgánica que puedan estar presente en la misma.
- (b) Llevar las estadísticas del volumen de agua desmineralizada producida entre dos regeneraciones.
- (c) Verificar que el pH al ingreso a las resinas de intercambio iónico débilmente básico sea menor a 4,5 y controlar el pH a la salida de las resinas fuertemente básicas.
- (d) Fuga de sílice: se considera que hay fuga de sílice, cuando los niveles de SiO_2 están por encima de 0,25 mg/L. Esta fuga puede ocasionar la formación de cuarzo y otros compuestos de sílice en los equipos aguas abajo, es por esta razón que el sílice debe mantenerse por debajo del valor mencionado. Estas fugas se pueden minimizar aumentando la cantidad de regenerante,

aumentando la temperatura del regenerante o paralizando el bombeo de regenerante, para dar un tiempo de remojo (15 min), después de 10 min de iniciado el bombeo.

- (e) Fuga de sodio: el sodio a la salida del agua desmineralizada debe de ser máximo de 0,20 mg/L.
- (f) La caída de presión en los intercambiadores debe ser menor de 1 Kg/cm² (1 bar).
- (g) En muestras diarias de agua desmineralizada, controlar:
 - pH: de 6 a 9
 - Conductividad: < 10 µS/cm
 - Sílice como SiO₂: < 0,25 mg/L
 - Sodio: < 0,20 mg/L
 - Sólidos totales: < 15 mg/L
 - Anhídrido carbónico: < 10 mg/L (a la salida del descarbonador)

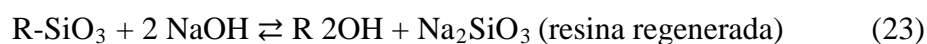
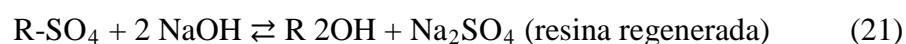
III.2.3 Proceso de Regeneración

Cuando cualquiera de las resinas de intercambio catiónico débiles o fuertes ya no tienen iones hidrógeno para intercambiar, a estas resinas se les regenera haciendo pasar una solución de ácido (normalmente ácido sulfúrico o ácido clorhídrico), produciéndose las siguientes reacciones (Puga, 2007):



Una vez que las resinas de intercambio aniónico débilmente y fuertemente básicas no tienen más iones OH⁻ que intercambiar con los aniones del agua, estas deben ser regeneradas. Su capacidad de intercambio es devuelta haciéndole pasar una solución

de base fuerte (generalmente se emplea hidróxido de sodio), la cual atraviesa primero el intercambiador de las resinas aniónicas de base fuerte y luego el intercambiador de las resinas aniónicas de base débil. El exceso de soda proveniente de la regeneración de las resinas aniónicas de base fuerte es suficiente para regenerar completamente las resinas aniónicas de base débil. Se producirán en general las siguientes reacciones:



III.2.3.1 Descripción del Proceso de Regeneración

Para efectuar la regeneración en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora de la EDC, se dispone de dos sistemas de dosificación de productos químicos (Espinoza, 2004): dos tanques T1 y T2 de 40 m³ cada uno para almacenar ácido clorhídrico (HCl) al 30% con tres bombas de alimentación que inyectan un total de 600 L de ácido clorhídrico. Dos tanques T3 y T4 de 40 m³ cada uno para almacenar soda cáustica (NaOH) al 50% con tres bombas de alimentación que inyectan un total de 600 L de soda cáustica. Ambos sistemas de bombas cuentan con líneas de retorno al tanque con sus válvulas de alivio que actúan en caso de sobre presión en las tuberías; la presión de apertura tanto en el sistema de ácido como en el de soda es de 3 Kg/cm² y 5 Kg/cm² respectivamente, además de un sistema de válvulas manuales y neumáticas de aislamiento y orientación de los productos químicos hacia una estación de dilución donde se disminuye la concentración del ácido y de la soda hasta los valores de 8 y 4% respectivamente con agua desmineralizada antes de dirigir la solución hasta los intercambiadores (Espinoza, 2004).

III.2.3.2 Etapas del Proceso

El ciclo de producción actual del proceso de desmineralización del Tren Principal de la Planta Desmineralizadora de Ampliación Tocoa es de aproximadamente 20 horas, es decir, las resinas se agotan al cabo de ese tiempo y por lo tanto, la regeneración es realizada diariamente. A continuación se mencionarán las diferentes etapas del proceso:

- Primera etapa: lavado del filtro de carbón activado con un tiempo de duración teórico de 15 minutos, con el fin de remover cloro, materia extraña y orgánica presente en el mismo.
- Segunda etapa: aclarado o lavado del mismo filtro de carbón con una duración teórica de 5 minutos. Esta etapa se realiza con la finalidad de expandir el lecho y evitar los caminos preferenciales de la solución en el mismo.
- Tercera etapa: levante o fluidización de las unidades DS1 y A1 simultáneamente, a 18 m³/h con un tiempo teórico de duración de 15 minutos, para expandir los lechos y evitar los caminos preferenciales de los regenerantes a través de los mismos.
- Cuarta etapa: levante o fluidización de la unidad C1 a 30 m³/h con una duración teórica de 20 minutos; en esta etapa se ajusta la corriente antidifusora a 4m³/h. Se lleva a cabo en esta etapa una expansión del lecho catiónico para evitar los caminos preferenciales.
- Quinta etapa: inyección de HCl a la unidad C1 con un tiempo de duración teórico de 20 minutos, de igual modo en esta etapa se ajusta la corriente antidifusora a 4 m³/h.
- Sexta etapa: inyección de soda caustica al DS1 con una duración teórica de 20 minutos y posteriormente se dan otros 20 minutos para la inyección de soda a la unidad A1, luego de desechar por 20 minutos la soda inyectada al DS1 en lo que se conoce como Etapa de Bote.
- Séptima etapa: aclarado o lavado de línea de HCl con una duración de 90 minutos, en esta etapa se cierra el tanque de ácido y se abre el tanque de agua para arrastrar el ácido remanente en la tubería.

- Octava etapa: aclarado de línea de NaOH con una duración teórica de 90 minutos, en esta etapa se cierra el tanque de soda y se abre el tanque de agua para arrastrar la soda remanente en la tubería.
- Novena etapa: transferencia del C1, con una duración teórica de 90 minutos y consiste en la inyección de agua por la estación de dilución para lo cual se cierra la corriente antidifusora.
- Décima etapa: transferencia del DS1 al A1 con una duración teórica de 90 minutos para lo cual de igual forma que en la etapa anterior se cierra la antidifusora.
- Onceava etapa: aclarado final o enjuague del C1 con una duración teórica de 10 minutos, ajustando el flujo de agua a 30 m³/h.
- Doceava etapa: aclarado final o enjuague al A1 con una duración de 40 minutos teóricos, ajustando el flujo a 30 m³/h de igual forma.
- Treceava etapa: aclarado final o enjuague al DS1 a 50 m³/h con una duración de 60 minutos teóricos.
- Etapa final, la de pre-producción, se coloca todo el sistema en servicio, para volver a regenerar a las 20 horas de producción.

(Reporte de Regeneración del Tren Principal, 18 de agosto de 2008),

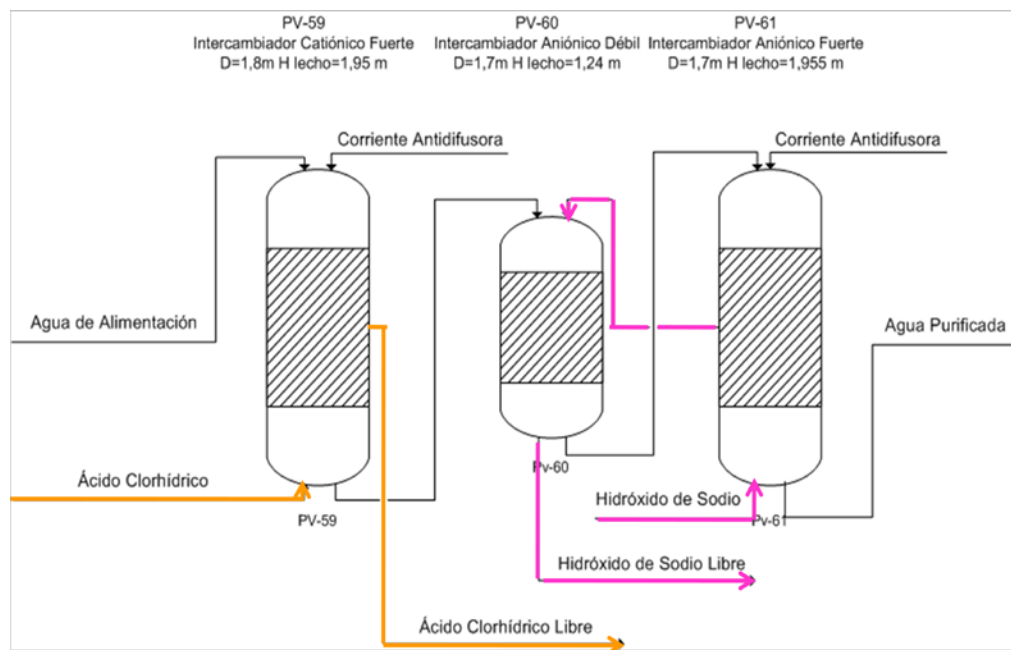


Figura 7. Esquema del Proceso de Regeneración.

III.2.3.3 Análisis de Elución

El análisis de elución es un estudio que permite detectar problemas de regeneración. Se realiza durante el período de inyección de los químicos. A intervalos regulares de tiempo, se toman muestras del fondo del equipo, se mide la concentración de la solución y se grafica la concentración en función del tiempo (Nalco, 1998).

La Figura 8 muestra las características de una elución.

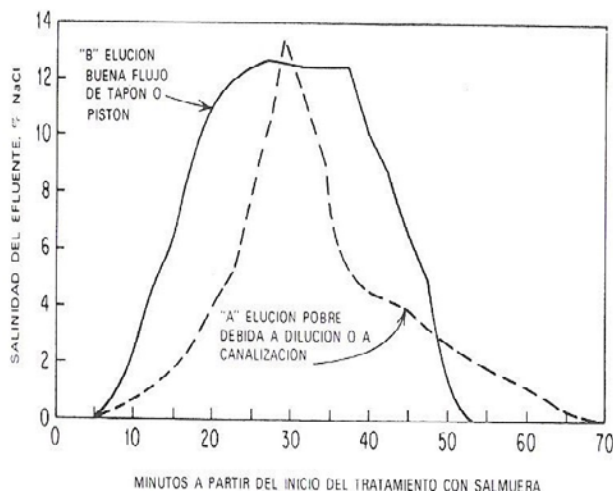


Figura 8. Curva de Elución.

La curva A corresponde a una elución pobre, con un frente de onda disparejo que desciende a través del lecho durante la regeneración, lo cual se pone de manifiesto a causa de una dilución excesiva y una desviación de las características de desplazamiento tipo pistón.

La curva B corresponde a una elución adecuada y constituye las correcciones a efectuar en la regeneración para optimizar el funcionamiento del proceso y del equipo.

Si ninguno de estos factores es la causa del funcionamiento defectuoso, puede ser que se esté desviando agua cruda que esté dañando la calidad del efluente. Por ejemplo, el retrolavado se efectúa comúnmente con agua cruda que se introduce por el fondo de la unidad en el mismo punto donde se acostumbra extraer el efluente. O puede deberse a un cambio en las características de las resinas.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología seguida en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado para cumplir con los objetivos planteados. Se explican brevemente los equipos empleados y el procedimiento experimental seguido para llevar a cabo cada una de las experiencias, tomando en cuenta la preparación de los reactivos, el acondicionamiento del equipo y las condiciones de trabajo.

IV.1 Metodología

La metodología seguida para lograr la consecución de los objetivos planteados fue la siguiente:

- ✓ Se realizó una revisión bibliográfica acerca del proceso de desmineralización del agua, específicamente del proceso de *Intercambio Iónico*, con el fin de conocer el método empleado en la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas.
- ✓ Seguidamente, se revisaron los métodos analíticos que se emplearon para evaluar el desempeño del proceso llevado a cabo en el Conjunto. Los mismos se basaron en la Norma ASTM en la Parte 31 “Water” del año 1981.

Se procedió a preparar los reactivos, materiales y equipos para los análisis realizados:

- Se recolectó el material necesario para llevar a cabo el análisis de elución de cada equipo.
- Se acondicionaron los equipos empleados para caracterizar las muestras de agua a la entrada y salida del tren de intercambio, tales como: conductímetro, pHmetro, espectrofotómetro de absorción atómica, espectrofotómetro de emisión óptica y el cromatógrafo iónico.

- Se realizaron pruebas experimentales para determinar las propiedades más importantes de las resinas que conforman los intercambiadores en el Tren Principal.
- Se recopiló información acerca de las condiciones de operación del proceso de regeneración.
- Se recopiló información acerca de la factibilidad de colocación de un control automatizado de nivel en los tanques de regenerantes.
- Se investigó acerca de una nueva tecnología aplicable al proceso de Desmineralización del Agua.

Con la información recopilada, se realizó el Plan de Experiencia.

III.2 Plan de Experiencia

A continuación se presenta el Plan de Experiencia establecido para el cumplimiento de los objetivos de este Trabajo Especial de Grado.

Tabla 2. Plan de Experiencia de la Caracterización del Agua

Sustancia	Número de Muestras	Número de Pruebas por Ciclo de Producción
Agua Potable	3	6
Agua a la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte	3	6
Agua Desmineralizada	3	2

Tabla 3. Plan de Experiencia de las Pruebas de Elución

Unidad	Número de Regeneraciones	Número de Muestras por Regeneración	Número de Pruebas por Muestra
C1	3	221	3
A1	3	221	3
DS1	3	221	3

Tabla 4. Plan de Experiencia de la Evaluación de las Resinas

Resina	Número de Pruebas por Muestra
Catiónica Fuerte	5
Aniónica Fuerte	5
Aniónica Débil	5

Tabla 5. Plan de Experiencia de la Factibilidad de Colocación del Control Automático de Nivel y la Nueva Tecnología-

Parámetro	Control Automático de Nivel	Nueva Tecnología
Sistema	Observación	Investigación
Decisión	Método de Decisión Múltiple Binario	
Solución	Equipo propuesto	

A continuación se detallan las actividades contempladas en el Plan de Experiencia.

❖ Caracterización del Agua a la Entrada y Salida del Tren Principal

Para corroborar la posible falla existente en el Tren de Intercambio inherente a la calidad del agua de alimentación y del agua desmineralizada, se realizó la caracterización fisicoquímica del agua.

El objetivo principal del análisis fue proporcionar datos que permitieran caracterizar la materia prima y mantener la calidad del agua e indicar cualquier deficiencia en el tratamiento de desmineralización debido a la disminución de la capacidad de las resinas de intercambio iónico, a una regeneración no adecuada o a un cambio en la dosificación de regenerantes (Ediciones Ciencia y Técnica S.A., 1988).

La caracterización del agua constó de pruebas físicas y químicas:

- ✓ Pruebas físicas: entre este tipo de pruebas se encontraron la conductividad y la determinación de sólidos totales disueltos. Para estas pruebas, se acondicionó el pHmetro y el conductímetro disponibles en el Laboratorio Central del

Conjunto Generator Josefa Joaquina Sánchez Bastidas. Las mediciones se realizaron a la temperatura de operación de los equipos y se le hicieron las correcciones respectivas a 25°C.

- ✓ Pruebas químicas: entre este tipo de pruebas se encontraron la determinación de la alcalinidad, pH, sílice y la detección de iones mediante absorción atómica y cromatografía de iones. El análisis iónico se llevó a cabo empleando técnicas de cromatografía iónica y espectroscopía de absorción atómica. La cromatografía se empleó para determinar las cantidades de aniones como cloruros, nitratos y sulfatos, por su parte, la absorción atómica se empleó para cuantificar los cationes de las muestras como calcio, sodio, magnesio, hierro y potasio.

Los pasos seguidos se muestran en la Tabla 2:

- (a) Se tomaron 3 muestras de agua: una de alimentación, una a la salida del intercambiador aniónico fuerte DS1 y una de agua desmineralizada.
- (b) Se le efectuaron las pruebas físicas a las muestras:
 - Conductividad eléctrica: la medición fue realizada según el método expuesto en la norma ASTM D 1125. El equipo utilizado fue el conductímetro mostrado en la figura mostrada a continuación.



Figura 9. Conductímetro empleado en la Medición de la Conductividad.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura anterior se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Especificaciones del Equipo Utilizado en la Medición de la Conductividad de las Muestras en Estudio.

Equipo	Conductímetro
Modelo / marca	Orion 5-Star
Año	2000
Analistas	Belisario Vanessa
	Estrella Eyra
Rango mínimo detectable	0,01
Modo de operación	Modo < 10 / modo > 10
Rango pH	0 a 14
Rango DO	0,01 a 9,99
Rango temperatura (°C)	0 a 100

Fuente: Manual del equipo.

- Medición de Sólidos Totales Disueltos: para determinar el contenido de materia disuelta en las muestras se empleó un equipo de medición de conductividad debido a que la conductividad de un agua está relacionada con su contenido de sales disueltas. A veces la mineralización determinada por pesada del estrato seco no es rigurosamente idéntica a la determinación de la conductividad y el contenido de sales. Es por esa razón básica que la cantidad de sólidos totales disueltos se determinó a partir de los valores de conductividad con los expuestos en el Apéndice B, utilizando el factor de mineralización en mg/L dependiendo del rango de conductividad tratado, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Factor para el cálculo de los Sólidos Totales Disueltos (STD) a partir de la Conductividad de las Muestras de Agua.

Conductividad (uS/cm)	Factor para el cálculo de los STD
0-50	1,365079
50-168	0,947658
166-333	0,769574
333-833	0,715920
833-10000	0,758544
10000-infinito	0,850432

Fuente: Electricidad de Caracas. Guía del Laboratorio Central.

(c) Se le efectuaron las pruebas químicas a las muestras:

- Alcalinidad: el procedimiento experimental que se siguió para determinar la alcalinidad de las muestras es el descrito en la Norma ASTM D 1067-70 (Método B) y consistió en una titulación volumétrica ácido-base, empleando el indicador adecuado.
- Medición de pH: realizado según el método propuesto por la norma ASTM en su libro resumen, empleando el el equipo portátil mostrado en la figura siguiente:



Figura 10. pHmetro empleado en la Medición del pH.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura anterior se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Especificaciones del equipo empleado en la medición del pH a cada muestra analizada.

Equipo	pH-ímetro
Marca	Hanna Instrument
Año	1990
Analistas	Belisario Vanessa
	Estrella Eyra
Rango mínimo detectable	0
Rango máximo detectable	14
Rango (mV)	0,0 a ± 3.999
Rango (°C)	0,0 a 100,0

Fuente: Manual del equipo.

- Determinación de sílice: la medición de sílice fue realizada según el método expuesto en la norma ASTM D 859 (Método B). El equipo utilizado fue un

espectrofotómetro de alta reproducibilidad, adecuado para mediciones a 815 nm. El equipo utilizado fue el siguiente:



Figura 11. Espectrofotómetro utilizado para la medición de Sílice. Equipo ubicado en el Laboratorio de la Unidad 8 de Planta Ampliación Tocoa, donde este método es un análisis de rutina.

Los datos del equipo utilizado se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Especificaciones del equipo utilizado en la medición del Sílice.

Equipo	Espectrofotómetro
Marca	Milton Roy
Modelo	Spectronic 21 D
Año	1990
Analista	Técnico Miguel Rodríguez
Rango Mínimo Detectable	0.001

Fuente: Manual del equipo.

- **Análisis Iónico:** el análisis iónico fue realizado en dos partes. Se utilizó “Absorción Atómica” (AA) para la obtención de las concentraciones de los cationes de las muestras de agua. Y los aniones de las muestras fueron analizados por “Cromatografía Líquida”.

En el caso de la absorción atómica, fue realizada en el Laboratorio Central de la Planta Ampliación Tocoa, empleando la metodología de rutina aplicada en el mismo laboratorio. El equipo de absorción atómica utilizado es el que se observa en la siguiente figura:



Figura 12. Equipo de Absorción Atómica utilizado para el Análisis Iónico de los Cationes presentes en el Agua de Proceso.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura se detallan en la Tabla 21, debido a que el análisis de cada muestra depende de la sensibilidad mínima del equipo contra cada catión.

En el caso de la cromatografía líquida, fue realizada por el Laboratorio de Tratamiento Catalítico de Efluentes de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, siguiendo los lineamientos propios del laboratorio de investigaciones.

Una vez efectuados los análisis al agua, se compararon los valores obtenidos con los valores reportados por las Normas de Calidad para el agua potable y el agua desmineralizada.

❖ Análisis de Elución

Una vez caracterizada el agua para ir atacando las posibles fallas presentes en el sistema, se procedió a la realización del Estudio de Elución para determinar la existencia de fallas asociadas al desempeño de los equipos.

Para el análisis de elución se tomaron muestras cada 3 minutos (Aranguren, 2008) a la salida de los intercambiadores C1, A1 y DS1, y a la entrada de los intercambiadores cada 5 minutos. Las muestras se tomaron durante el proceso de regeneración llevado a cabo tres días diferentes seleccionados al azar.

- ✓ La Regeneración I fue el proceso monitoreado el día 30 de septiembre de 2008 con una duración de seis horas aproximadamente, comenzando a las 9:40 pm y finalizando a las 3:40 am del día 1 de octubre de 2008. El muestreo tuvo una duración de cuatro horas aproximadamente, correspondientes a las cuatros primeras horas del proceso de regeneración.
- ✓ La Regeneración II fue el proceso monitoreado el día 6 de octubre de 2008 con una duración de seis horas aproximadamente, comenzando a las 1:16 pm y finalizando a las 7:20 pm. El muestreo tuvo una duración de cuatro horas aproximadamente, correspondientes a las cuatros primeras horas del proceso de regeneración.
- ✓ La Regeneración III fue el proceso monitoreado el día 13 de octubre de 2008 con una duración de seis horas aproximadamente, comenzando a las 12:55 pm y finalizando a las 7:30 pm. El muestreo tuvo una duración de cuatro horas aproximadamente, correspondientes a las cuatros primeras horas del proceso de regeneración.

En la Figura 13 se observa el muestreo realizado.



Figura 13. Toma de muestras a la Salida de los intercambiadores

Una vez obtenidas las muestras como se especifica en la Tabla 3, se les efectuaron 3 pruebas o ensayos.

- (a) Los dos primeros análisis realizados a las muestras de las salidas de los equipos fueron medición de pH y conductividad para obtener perfiles para cada unidad con la finalidad de observar la variación general de la concentración en cada una de ellas y determinar de forma general si el proceso de regeneración y de elución se estaban llevando a cabo de forma correcta.
- (b) Finalmente, se elaboraron las curvas de elución de cada intercambiador. Para ello, se determinó la concentración del regenerante libre a la salida mediante una titulación volumétrica de las muestras con soluciones de HCl y NaOH de concentración conocida, donde el indicador empleado dependió del rango de pH de trabajo de los indicadores y de las muestras tituladas. En este caso los indicadores empleados fueron fenolftaleína para las alícuotas de las muestras del Intercambiador Catiónico y rojo de metilo para las muestras de los Intercambiadores Aniónicos.

Empleando estas curvas, se calculó la cantidad de regenerante sobrante integrando el área bajo la curva con la ecuación 6 del Apéndice A.

Este valor se le restó a la cantidad de regenerante inyectado, calculado a partir de los datos de la bomba de inyección del químico con la ecuación 8 del Apéndice A, para obtener la cantidad de regenerante empleado por la resina para regenerarse.

Una vez corroborada la existencia de fallas en las unidades de intercambio iónico, se realizó la evaluación fisicoquímica de los agentes o compuestos que realizan propiamente la desmineralización del agua.

❖ Evaluación Físicoquímica de las Resinas

Para la evaluación de las resinas se realizaron los montajes correspondientes en el Laboratorio Central. Los materiales se encontraron en dicho laboratorio, el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería y en el Laboratorio de Investigaciones del Departamento de Química Aplicada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

Los pasos seguidos en esta evaluación fueron los siguientes:

- (a) Muestreo de las unidades: la Toma de las muestras de las Resinas de Intercambio Iónico fue realizada según la aplicación de la Norma ASTM D 2688 (Método B), empleando el instrumento mostrado en la figura:



(a) Parte superior del Tomamuestras (b) Parte inferior del Tomamuestras

Figura 14. Vista Superior e Inferior del Tomamuestras cumpliendo con la Norma ASTM.

- (b) Pretratamiento de las muestras: consistió en transformar las muestras en su forma iónica conocida y fue realizado según la aplicación de la Norma ASTM D 2188 (Método A). Este paso constituye el procedimiento previo a la determinación de las propiedades de las resinas.

Las propiedades determinadas a las muestras fueron las siguientes:

- Microscopía Óptica: se observaron las resinas a través de un microscopio óptico. La metodología que se siguió fue la empleada en el Laboratorio Central de la Planta Ampliación Tocoa

- Contenido de Humedad: determinación de la cantidad de agua retenida por resinas de intercambio iónico. El método utilizado para el cálculo del Contenido de Humedad de cada Resina de Intercambio Iónico fue el indicado en la Norma ASTM D 2188 (Método B).
- Densidad: determinación del volumen asentado de un número conocido de gramos de resina pretratada químicamente. El método utilizado para el cálculo de la densidad a cada Resina de Intercambio Iónico es el indicado en la Norma ASTM D 2188 (Método C).
- Granulometría: consistió en el análisis de materiales de intercambio iónico con tamices húmedos y el método utilizado para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad y Tamaño de Partícula de cada Resina de Intercambio Iónico fue el indicado en la Norma ASTM D 2188 (Método D). El método consistió en tamizar de forma manual la resina en agua pretratada químicamente a través de una serie de tamices estándar de tamaño de abertura progresivamente decreciente. El volumen retenido en cada uno de los tamices fue medido.
- Capacidad de Intercambio Iónico: determinación del número total de miliequivalentes de hidrógeno intercambiable en una resina de intercambio catiónica y la determinación del número total de miliequivalentes de cloruro intercambiable en un material de intercambio aniónico, para resinas débiles y fuertes respectivamente. El método para el cálculo de La Capacidad Total de Intercambio de las Resinas Aniónicas se realizó según la Norma ASTM 2188 (Método H).

La determinación de la *Capacidad de Intercambio* para resinas catiónicas y aniónicas empleó el montaje mostrado en la Figura 15.

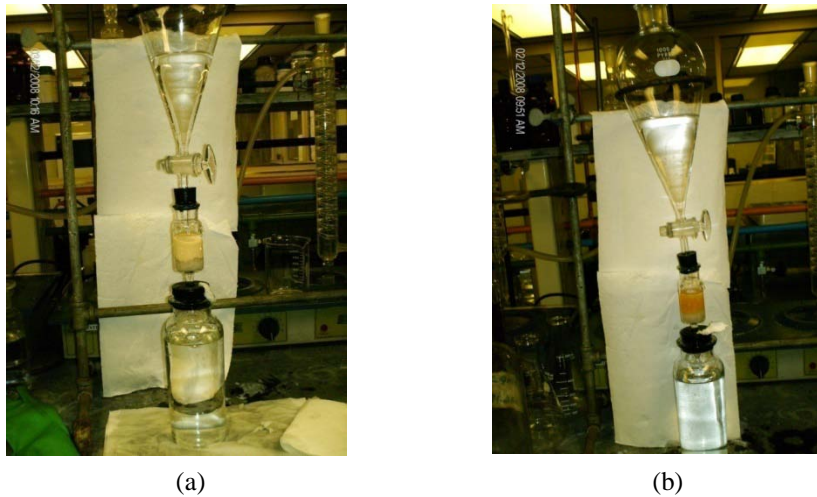


Figura 15. Montajes para la Aplicación del Método del Cálculo de la Capacidad de Intercambio Aniónico. En (a) se muestra el método aplicado a la Resina Aniónica Débil y en (b) se muestra el método aplicado a la Resina Aniónica Fuerte.

Una vez determinadas las propiedades a las resinas, los valores experimentales obtenidos se compararon con los valores teóricos encontrados en las Hojas de Ingeniería para cada material de intercambio para diagnosticar si las fallas observadas en el sistema se encontraban asociadas a estos compuestos.

De la unificación de los resultados del Análisis de Elución y de la Evaluación Fisicoquímica de las Resinas surgen las Condiciones de Operación las cuales estuvieron constituidas por parámetros como: profundidad mínima y volumen de lecho de resina, flujo de servicio; concentración y nivel de regenerante, tiempo mínimo de contacto y volúmenes de lavado lento y rápido; cuyos valores teóricos se encuentran reportados en las Hojas de Ingeniería.

Finalmente, como se observa en la Tabla 4, se incluye en el Plan de Experiencia la metodología para la factibilidad de colocación de un control automático de nivel en los tanques de regenerantes.

❖ Evaluación de la Colocación de un Control Automático de Nivel en los Tanques de Regenerantes

Para esta evaluación se estudiaron las características del sistema de los tanques de regenerantes y en base a las observaciones realizadas se determinó la factibilidad de colocación del sistema automatizado.

Una vez estudiada la factibilidad, se recopiló información acerca de los equipos generalmente empleados en Planta para la medición del nivel en los tanques. Para ello, se manejaron precisas del Departamento de Instrumentación y Control del Conjunto Generador.

Para la toma de decisión posterior, se empleó el Método de Decisión Múltiple Binario que consistió en elaborar una matriz que confiere un determinado peso a cada característica relevante del elemento sujeto a evaluación, en este caso, el sensor de nivel (ver Apéndice C, Reporte 17). Las características o parámetros relevantes evaluados fueron los siguientes:

- Campo de medida, precisión, presión y temperatura máxima, agarrotamiento, sensibilidad, duración, fácil mantenimiento, contacto con el líquido y la aplicabilidad.

En lo que respecta a la nueva tecnología, se realizó la investigación pertinente para plantear una alternativa ventajosa y atractiva.

❖ Planteamiento de Mejoras en el Sistema de Dilución de Regenerantes

En este punto se llevaron a cabo las recomendaciones generales y de seguridad pertinentes, no solo del sistema de dilución sino de todo el sistema que conforma la Planta Desmineralizadora (ver Recomendaciones).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1 Monitoreo del pH y la Conductividad

Para complementar el análisis de elución efectuado y observar la variación global de la concentración, se efectuó un registro del pH y la conductividad de las muestras obtenidas a la salida de cada equipo durante el estudio de elución de los mismos.

El pH es una medida de la acidez o basicidad del medio. Por su parte, la conductividad es una medida que está relacionada con la cantidad de sólidos disueltos en una solución. Algunos de los sólidos presentes en las muestras obtenidas a la salida de los intercambiadores son los diferentes iones, entre ellos: cationes como calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) que le aportan la dureza al agua, sodio (Na^+), potasio (K^+), entre otros; y aniones como cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), entre otros.

Los resultados obtenidos se muestran y analizan a continuación.

V.1.1 C1 Intercambiador Catiónico Fuerte

Las curvas de pH y conductividad obtenidas en cada regeneración para el Intercambiador Catiónico Fuerte son las siguientes:

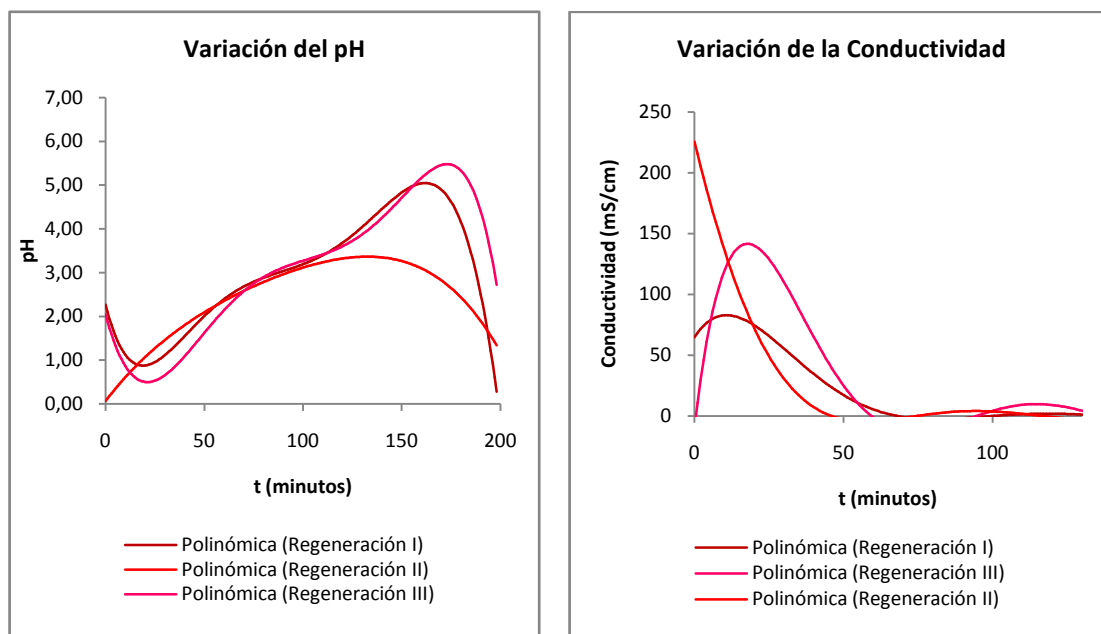


Figura 16. Perfiles de pH y Conductividad para cada Regeneración Monitoreada en el Intercambiador Catiónico Fuerte C1.

En la Figura 16 se observa que el pH a la salida del Intercambiador Catiónico Fuerte C1 fue progresivamente aumentando para finalmente decrecer. Esto evidencia que se estaba llevando a cabo el proceso de regeneración de forma correcta durante el estudio de elución. El regenerante inicialmente alcanza la concentración necesaria para rehabilitar la resina, por lo cual es eluído del equipo a un pH ácido (correspondiente al punto más bajo de las curvas), luego, con el agua de dilución y el agua de la corriente antidifusora, disminuye la concentración de éste y como consecuencia, es eluído a pH menos ácido, incluso pudiendo alcanzar el valor neutro. Por su parte, la conductividad en los primeros 40 minutos se mantuvo de forma creciente, lo que quiere decir que la elución de los iones retenidos por la resina se estaba llevando a cabo de forma correcta y luego, la conductividad comenzó a decrecer hasta valores cercanos a cero (0) cuando finalizó la elución de la solución de los iones retenidos junto con el regenerante. Como la conductividad está relacionada con los sólidos disueltos en solución, se evidencia en el perfil de las gráficas que efectivamente el eluato contenía sólidos disueltos.

Es importante comentar que en la Regeneración I se observan valores de conductividad menores que los de las otras dos regeneraciones, lo cual se puede atribuir a un problema en la Etapa de Inyección del Regenerante debido a la fuga presentada en la bomba de ácido clorhídrico. Por este motivo, la cantidad de ácido inyectado y presente en todas las etapas del proceso tuvo variaciones.

V.1.2 DS1 Intercambiador Aniónico Fuerte

Las curvas de pH y conductividad obtenidas en cada regeneración para el Intercambiador Aniónico Fuerte son las siguientes:

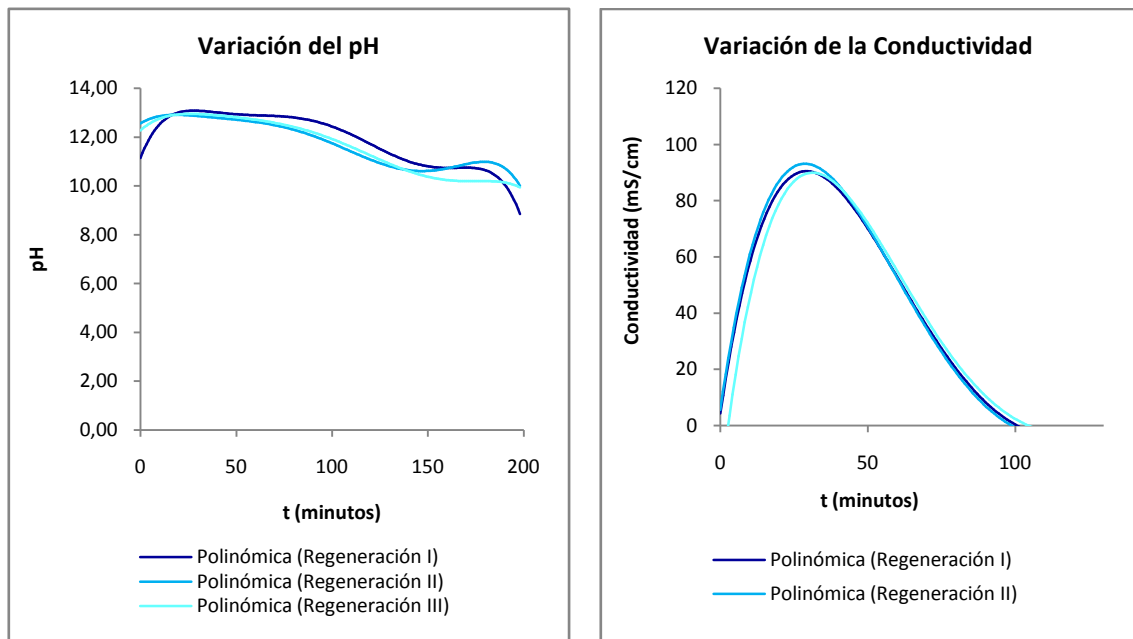


Figura 17. Perfiles de pH y Conductividad para cada Regeneración Monitoreada en el Intercambiador Aniónico Fuerte DS1.

En la Figura 17 se observa que el pH a la salida del Intercambiador Aniónico Fuerte fue inicialmente en aumento para luego decrecer. Esto es una demostración de que se estaba llevando a cabo el proceso de regeneración de forma correcta durante el estudio de elución. Al contrario del equipo catiónico, en el equipo aniónico fuerte el

regenerante inicialmente es eluído a un pH básico y luego, al irse diluyendo con agua, es eluído a un pH menos básico, alrededor de 10,5.

Por su parte, al igual que en el caso anterior, la conductividad se mantuvo creciente durante los primeros 50 minutos se mantuvo de forma creciente, para finalmente alcanzar valores cercanos a cero (0) lo que quiere decir que la elución de los iones retenidos por la resina se llevó a cabo de forma correcta.

Es importante comentar que para este intercambiador iónico los valores se mantuvieron en un rango de valores estables entre 0 y 120 mS/cm.

V.1.3 A1 Intercambiador Aniónico Débil

Las curvas de pH y conductividad obtenidas en cada regeneración para el Intercambiador Aniónico Débil son las siguientes:

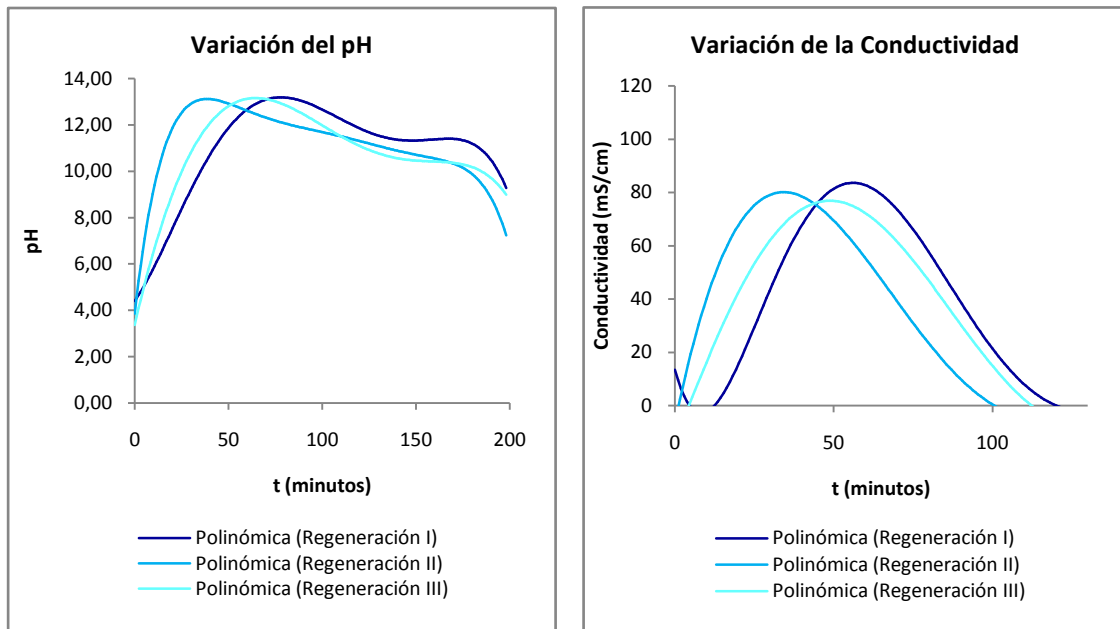


Figura 18. Perfiles de pH y Conductividad para cada Regeneración Monitoreada en el Intercambiador Aniónico Débil A1.

En la Figura 18 se observa un comportamiento similar a las figuras del Intercambiador Aniónico Fuerte.

Por su parte, la conductividad se mantuvo de forma creciente durante los primeros 60 minutos, y se verifica, al igual que en los casos anteriores, que se llevaron a cabo de forma correcta los procesos de elución y regeneración.

Los valores de conductividad para el A1 se mantuvieron en un rango de valores estables entre 0 y 95 mS/cm, ligeramente menores a los del DS1.

V.2 Estudio de Elución

El análisis de elución se efectuó tres veces para cada equipo, como se detalló en la parte de la metodología.

Los resultados obtenidos se muestran y analizan a continuación.

V.2.1 C1 Intercambiador Catiónico Fuerte

Las curvas de elución obtenidas para cada regeneración monitoreada son las siguientes:

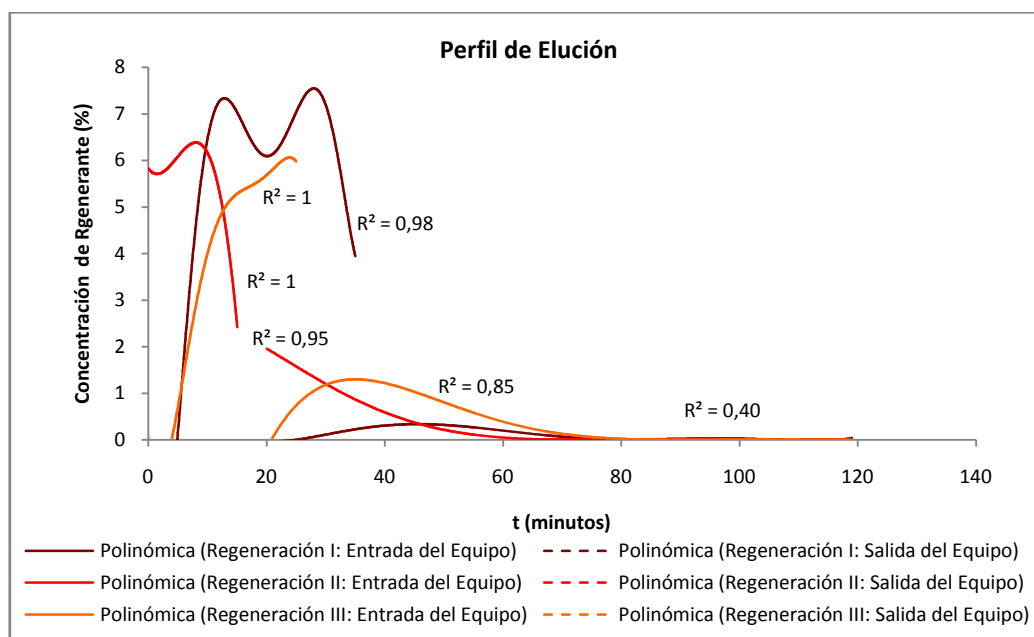


Figura 19. Concentración de Regenerante Libre en función del Tiempo para el Intercambiador Catiónico Fuerte C1.

En la Figura 19 se observa que las mesetas de las curvas de regenerante a la salida del equipo son muy baja y de corta duración en el tiempo. Esto último puede indicar que la inyección de regenerante es muy pobre en lo que a tiempo respecta ya que se debe garantizar la inyección de químico durante 20 minutos al menos. A su vez, la corta altura de la curva puede deberse a un flujo muy alto en la corriente antidifusora de agua la cual se fijó en $4 \text{ m}^3/\text{hora}$ durante las regeneraciones. Se sabe que teóricamente esta corriente, cuya función es evitar pérdida de material de intercambio, debe tener un flujo máximo de dos veces el flujo de regenerante entrante al equipo. Por otra parte, es posible que la cantidad de agua introducida durante la Etapa de Inyección, correspondiente al agua de dilución del ácido, haya sido insuficiente. Por ello, la concentración de ácido clorhídrico a la entrada se encuentra en un valor alto, si bien la concentración del mismo debe encontrarse entre 5 y 8%, el valor óptimo según el fabricante de las resinas Rohm and Haas es 5%. La misma se debería disminuir aumentando el flujo de agua de dilución o disminuyendo la cantidad de ácido inyectada, siempre y cuando los valores se mantengan dentro de los rangos de diseño.

Los picos que se observan en la figura se deben al tipo de bomba empleada en la inyección de los químicos la cual es tipo pistón. No obstante, se destaca el hecho de que el ácido se diluye en las líneas a 5 metros aproximadamente de la entrada al equipo lo cual puede ocasionar un mezclado no homogéneo ya que no existe un tanque previo para tal fin.

En cuanto a la forma de la curva correspondiente a la Regeneración II en la fase inicial, se observa que faltan datos y esto se debió a un problema en la válvula de entrada del equipo para la recolección de la muestras; por lo tanto, se retrasó el muestreo pero se esperaba que el comportamiento de la curva fuera ascendente, de forma similar a la Figura 19.

En cuanto a la curva de elución propiamente de la Regeneración III, se puede observar que, en comparación con las curvas anteriores, la meseta tiende a mantenerse por un poco más de tiempo lo que quiere decir que probablemente se

mantuvo la inyección de regenerante el tiempo suficiente para garantizar el tiempo de contacto con la resina.

La línea de tendencia que se ajusta a los datos experimentales es polinómica, tanto los datos de la concentración a la entrada como a la salida y se deduce a partir de los coeficientes de determinación que aproximadamente el 99% de los datos a la entrada del equipo quedan explicados por la línea de regresión y el 74% en promedio de los datos a la salida del equipo quedan explicados por la línea de regresión.

Es importante mencionar que luego de la Regeneración I se cambió la bomba de ácido ya que la que se empleó presentó una fuga y es posible que este inconveniente haya afectado la cantidad de ácido inyectado.

En las tres curvas a la salida del equipo mostradas anteriormente se observa que no se obtiene la curva esperada (ver Figura 8, curva B) debido a que la resina es regenerada en contracorriente con dos entradas de agua, la de dilución y la antidifusora y por ello, se debe tener un cuidado especial en los flujos establecidos para mantener una relación adecuada entre ellos que permita obtener la dilución adecuada del regenerante.

Así mismo, todas las curvas de regenerante a la entrada y a la salida se encuentran desfasadas y esto se puede atribuir al tiempo que se tarda el regenerante en alcanzar la concentración necesaria para que la resina se regenere y en atravesar el equipo.

V.2.2 DS1 Intercambiador Aniónico Fuerte

Las curvas de elución obtenidas para cada regeneración monitoreada son las siguientes:

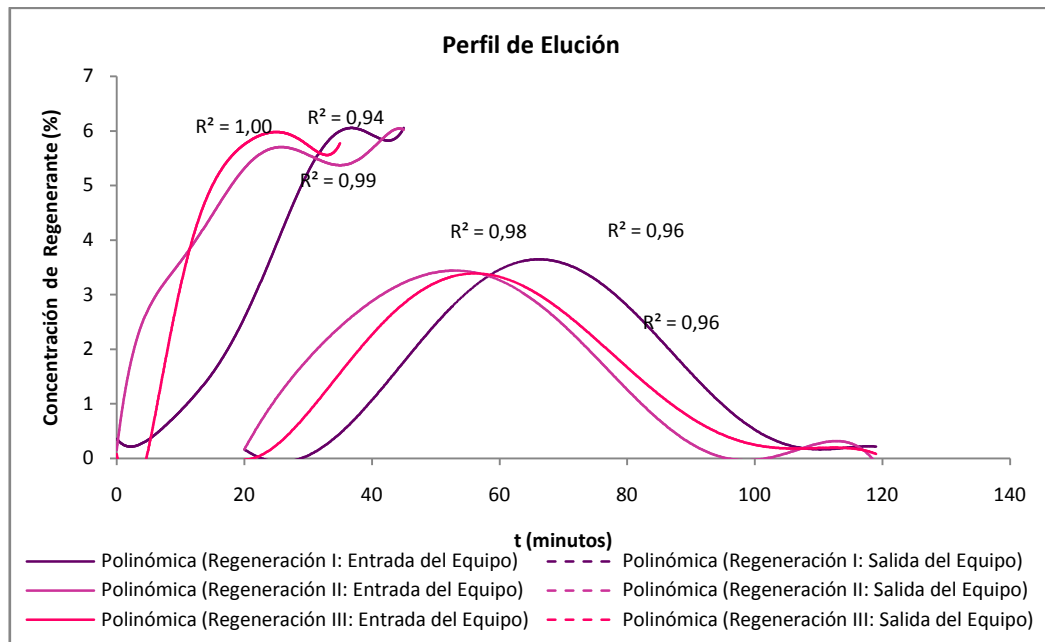


Figura 20. Concentración de Regenerante Libre en función del Tiempo para el Intercambiador Aniónico Fuerte DS1.

En la Figura 20 se observa que la relación entre las curvas de entrada y las de salida es de aproximadamente 2. Entonces, esto quiere decir que la corriente antidifusora se mantuvo en un valor adecuado, el cual fue de 3 m³/hora durante el proceso de regeneración. Esto permitió que la relación entre las curvas se mantuviera en el valor mencionado.

Así mismo, la concentración del regenerante a la entrada se encuentra dentro del rango sugerido por el fabricante y en un valor ligeramente superior al óptimo que es 4,5-5%. Sin embargo, para llevar el valor de la concentración de regenerante a la entrada al valor óptimo, posiblemente se deba inyectar un poco más de agua de dilución y ajustar el flujo de la corriente antidifusora a este valor.

En lo que respecta al tiempo de inyección, se observa que la meseta de las curvas de regenerante a la salida es amplia lo que quiere decir que se garantizó el tiempo mínimo de contacto entre la solución y la resina, que debe ser de 30 minutos.

Al igual que el C1, se observa el desfase existente entre las curvas.

Las líneas de tendencia que se ajustan a los datos experimentales son polinómicas en todos los casos. Se deduce a partir de los coeficientes de determinación que el 98% en promedio de los datos a la entrada del equipo quedan explicados por la línea de regresión y el 97% de los datos a la salida del equipo quedan explicados por la línea de regresión.

V.2.3 A1 Intercambiador Aniónico Débil

Las curvas de elución obtenidas para cada regeneración monitoreada en el Intercambiador Aniónico Débil son las siguientes:

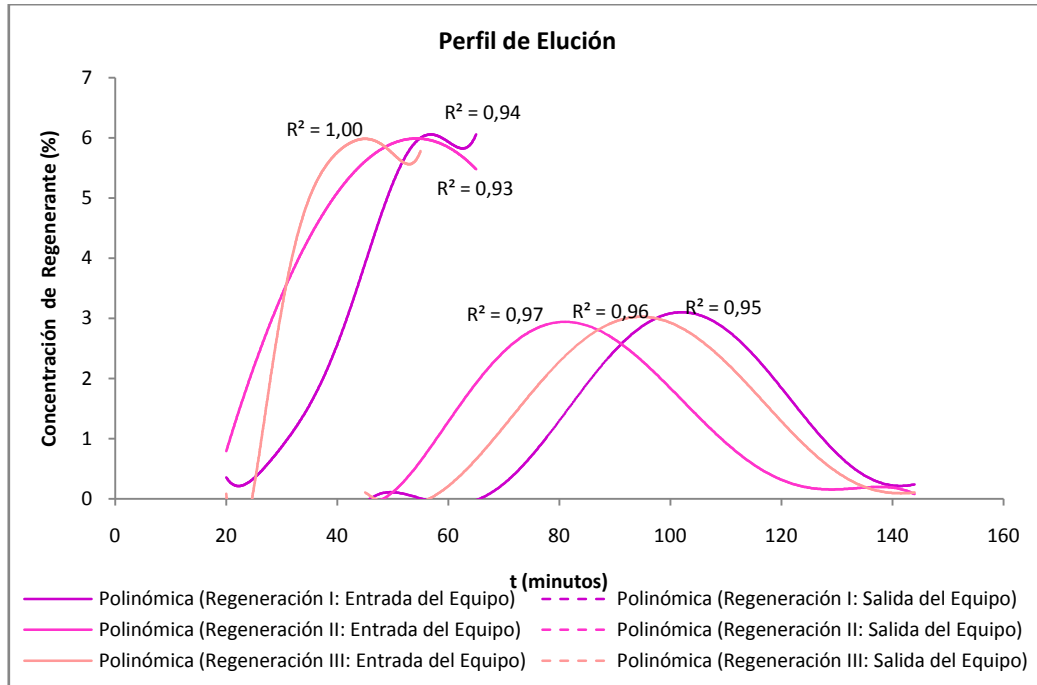


Figura 21. Concentración de Regenerante Libre en función del Tiempo para el Intercambiador Aniónico Débil A1.

En la Figura 21 se observa que la meseta de la curva de regenerante a la salida del equipo es alta y de 50 minutos promedio de duración en el tiempo. Por lo tanto, la inyección de regenerante es apropiada en lo que a tiempo respecta ya que se garantiza la inyección de químico durante al menos 20 minutos. Así mismo, la cantidad de agua

inyectada durante la Etapa de Inyección fue insuficiente para que la concentración de regenerante a la entrada del equipo estuviera dentro del rango requerido por la resina, incluso en el valor óptimo. De igual modo, se podría disminuir la concentración del regenerante inyectando menos químico con la misma cantidad de agua o aumentando la cantidad de agua de dilución inyectada verificando los parámetros de diseño.

Se observa en todos los casos el desfase existente entre las curvas

De igual modo, es importante mencionar que se presentan los picos en las curvas, atribuibles al mezclado no homogéneo y al tipo de bomba empleada.

Las líneas de tendencia, al igual que en los casos anteriores, son polinómicas, y se deduce a partir de los coeficientes de determinación que el 96% en promedio de los datos a la entrada del equipo y de los datos a la salida del equipo quedan explicados por las líneas de regresión.

En las todas las curvas obtenidas para cada equipo en el Estudio de Elución se observaron los tiempos correspondientes a cada etapa del proceso de Regeneración.

- La Etapa de Inyección posee una duración de 25 minutos. Correspondió al tiempo cero del muestreo y, por lo tanto, no se observan datos en este período de tiempo transcurrido.
- La Etapa de Aclarado posee una duración promedio de 60-100 minutos. En esta etapa es importante garantizar la longitud de la meseta de la curva ya que corresponde al tiempo de contacto entre el regenerante y la resina, el cual debe ser de 30 minutos como mínimo.
- La Etapa de Transferencia tiene una duración promedio de 80 minutos.

De las observaciones anteriores es importante destacar que la elución de los iones junto con el regenerante se comienza a evidenciar a los 20 minutos de la inyección del químico, y la misma se llevó a cabo en un tiempo promedio de 60-100 minutos. Entonces, se puede decir que es importante garantizar un tiempo alrededor de 150

minutos para lo que corresponde a la inyección, contacto con la resina y elución del regenerante. Es decir, las Etapas de Inyección y Aclarado. La Etapa de Transferencia corresponde a la etapa final observada en las gráficas.

Actualmente, el tiempo de duración total de las 3 etapas es de 200 minutos, y se cumplen los tiempos comentados. Este valor es acorde ya que hay que considerar el tiempo que se tardan los químicos en llegar a los equipos porque los tanques de regenerante se encuentran lejos del Tren Principal.

De las curvas de elución se obtiene la cantidad de regenerante sobrante, integrando el área bajo la curva con el Método de Simpson 1/3.

En la tabla mostrada a continuación se observan las cantidades de regenerantes sobrante, entrante al equipo y empleada por la resina en el Intercambiador Catiónico Fuerte.

Tabla 10. Balance de Masa de las Cantidades de Regenerantes en el C1.

Equipo	C1 Intercambiador Catiónico Fuerte			
	I	II	III	Promedio
Masa Sobrante Total (Kg)	7,12	6,36	31,38	14,95 ± 14,23
Masa Entrante (Kg)	2.152,30	2.003,96	5.229,00	2.178,40 ± 188,86
Masa Empleada Resina (Kg)	2.145,18	1.997,59	5.197,62	2.163,45 ± 175,71

La masa sobrante total es despreciable frente a la masa de regenerante entrante al equipo. Esto quiere decir que la masa de regenerante entrante es la adecuada. Sin embargo, el valor correcto del balance de masa del regenerante para este equipo es el correspondiente a la Regeneración III ya que la bomba empleada en la Regeneración I fue cambiada porque presentó fugas y el tiempo de muestreo en la Regeneración II se vio afectado por el funcionamiento defectuoso del tomamuestras a la entrada del equipo.

A continuación se observa la Tabla 11 correspondiente al Intercambiador Aniónico Fuerte.

Tabla 11. Balance de Masa de las Cantidades de Regenerantes en el DS1.

Equipo	DS1 Intercambiador Aniónico Fuerte			
Regeneración	I	II	III	Promedio
Masa Sobrante Total (Kg)	61,02	56,83	51,12	56,33 ± 4,97
Masa Entrante (Kg)	1.481,19	1.481,19	1.481,19	1.481,19 ± 0,00
Masa Empleada Resina (Kg)	1.420,16	1.424,36	1.430,06	1.424,86 ± 4,97

La masa sobrante total es despreciable frente a la masa de regenerante entrante al equipo. Esto quiere decir que la masa de regenerante entrante es la adecuada y es de 1.481,19 Kg de soda cáustica al 3% aproximadamente.

Seguidamente se presentan las masas de regenerante sobrante, entrante al intercambiador y empleada por la Resina Aniónica Débil.

Tabla 12. Balance de Masa de las Cantidades de Regenerantes en el A1.

Equipo	A1 Intercambiador Aniónico Débil			
Regeneración	I	II	III	Promedio
Masa Sobrante Total (g)	46,82	45,80	47,48	46,70 ± 0,85
Masa Entrante (Kg)	1.481,19	1.481,19	1.481,19	1.481,19 ± 0,00
Masa Empleada Resina (Kg)	1.434,37	1.435,39	1.433,70	1.434,49 ± 0,85

Se observa en los valores que la masa sobrante total es despreciable frente a la masa de regenerante entrante al equipo. Esto quiere decir que la masa de regenerante entrante es la adecuada y es de 1.481,19 Kg de hidróxido de sodio al 3% aproximadamente.

Se observa para los equipos de intercambio aniónico que las masas entrantes son similares. Es decir, ingresando aproximadamente el doble de regenerante o poco menos y eliminando la Etapa de Bote, se podrían regenerar ambas resinas consecutivamente, es decir, el regenerante remanente del Intercambiador Aniónico Fuerte sería suficiente para regenerar el Intercambiador Aniónico Débil.

En la tabla mostrada a continuación se presentan las cantidades de regenerante inyectados al 30% y a la concentración máxima que alcanza el regenerante durante el estudio de elución.

Tabla 13. Volúmenes de Regenerantes Inyectados desde los Tanques y a los Equipos de Intercambio Iónico.

Evento	Regeneración I			Regeneración II			Regeneración III		
Fecha	30/09/2008			06/10/2008			13/10/2008		
Técnico	Carlos Cáceres			Irvin Hernández			Carlos Cáceres		
Equipo	C1	A1	DS1	C1	A1	DS1	C1	A1	DS1
Tanque	HCl	NaOH		HCl	NaOH		HCl	NaOH	
Concentración (% m/v)	30	50		30	50		30	50	
Volumen Total Inyectado (m ³)	0,68	0,35		0,67	0,43		0,73	0,60	
Volumen Inyectado Equipo (m ³)	0,68	0,18	0,18	0,67	0,22	0,22	0,73	0,30	0,30
Concentración (% m/v)	6	3	3	6	3	3	6	3	3
Volumen inyectado (m ³)	1,85	0,97	0,97	1,73	0,97	0,97	2,05	0,97	0,97

Si se desea una concentración menor de regenerante diluido, se puede reducir la cantidad inyectada del tanque o aumentar el flujo de agua de dilución, siempre y cuando los valores de diseño y los medidores de flujo lo permitan.

Las cantidades promedio inyectadas de los tanques fueron 0,69 y 0,46 m³ aproximadamente. Las mismas se podrían reducir incluso variando la carrera de la bomba ya que, existe una cantidad de regenerante sobrante.

Finalmente, es importante destacar ciertas observaciones realizadas durante la realización del Estudio de Elución para proponer mejoras en el sistema:

(a) En el Tren Principal

- Se observó que las válvulas de control se encuentran deterioradas ya que son muy viejas.
- Los medidores de resistividad a la salida de los Intercambiadores Aniónicos se encuentran dañados.
- El agua de la corriente antidifusora ingresa a los equipos que se regeneran en contracorriente, es inyectada del tanque de almacenamiento del agua desmineralizada conocido como Makeup, por gravedad. El agua

desmineralizada que va hacia las calderas es tomada del mismo tanque y esto ocasiona variaciones de presión en el sistema.

(b) En la Estación de Dilución

- Las tuberías de los químicos se encuentran corroídas. Sin embargo, no se observaron fugas de los mismos.
- Las líneas de inyección de ácido clorhídrico y soda caústica no tienen medidores de caudal ya que se dañaron.
- Los medidores de caudal del agua de dilución no arrojan medidas confiables, según los operadores.

(c) En el Patio de Tanques

- El agua de la Etapa de Aclarado es inyectada con la misma bomba que inyecta los químicos.
- Las bombas de inyección de los químicos se encuentran muy corroídas debido al ambiente agresivo que contiene salitre.

V.3 Caracterización del Agua

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de calidad que debe cumplir el agua desmineralizada para la alimentación de las calderas:

Tabla 14. Parámetros de Calidad de referencia en el agua de proceso antes y después de la desmineralización para calderas que trabajan en un rango de presión de 1500 a 5000 psig.

Parámetro de Calidad del Agua	Valor en el Agua Potable	Valor en el Agua Desmineralizada
pH	6,5 a 8,5 ^(4,6,11) 7,1 a 8 ⁽⁷⁾	6 a 9 ^(1,2) 6,23 ⁽⁵⁾
Conductividad (μ Siemens/cm)	8,6 μ Siemens/cm ⁽⁵⁾	< 10 ^(1,2) 0,59 ⁽⁵⁾
Sílice como SiO ₂ (ppm)	0,006 ⁽⁵⁾ 1 a 50 ^(10,11)	< 0,25 ^(1,2) 0,006 ⁽⁵⁾ <0,01 ⁽¹²⁾
STD (ppm)	Máx. 600 ⁽⁶⁾ 25 a 500 ⁽¹⁰⁾	< 15 ^(1,2)
Anhídrido carbónico (ppm)	-	< 10 ^(1,2)
Alcalinidad como CaCO ₃ (ppm)	250 a 400 ^(4,6) 74 a 86 ⁽⁷⁾	0 a 500 ⁽³⁾
Sodio (ppm)	Máx. 200 ⁽⁶⁾	< 0,20 ^(1,2) <0,01 ⁽⁸⁾
Calcio (ppm)	0 a 200 ⁽⁶⁾ 2 a 200 ^(10,11)	< 0,1 ⁽⁸⁾ < 0,4 ⁽¹⁰⁾
Magnesio (ppm)	0,5 a 50 ⁽⁶⁾ 10 a 50 ⁽¹⁰⁾ < 150 ⁽¹¹⁾	< 0,007 ⁽⁸⁾ < 0,25 ⁽¹⁰⁾
Hierro (ppm)	Máx. 0,30 ^(4,6,10,11)	< 0,01 ^(8,12)
Potasio (ppm)	-	< 0,1 ⁽⁸⁾
Cloro libre residual (ppm)	Máx. 5,0 ⁽⁶⁾ 1,8 a 2 ⁽⁷⁾	-
Cloruro (ppm)	0,2 a 250 ^(4,6,10,11) 4,8 ⁽⁷⁾	Máx 0,1 ⁽¹³⁾ 0,005 ⁽⁵⁾ elim. con II ⁽¹⁰⁾
Sulfato (ppm)	Máx. 250 ^(6,11) 5 a 250 ⁽¹⁰⁾	eliminar con sólo con Inter. Iónico. ⁽¹⁰⁾
Nitrato (ppm)	Máx. 45 ^(4,6,10,11)	eliminar sólo con Inter. Iónico. ⁽¹⁰⁾

Fuente: (1) Parámetros de Calidad de la Electricidad de Caracas Planta Ampliación Tacoa.

(2) Ingeniero Puga, Lima-Perú. Parámetros de Calidad en Alimentación a Calderas.

(3) DINKO, Barcelona-España.

(4) Monografías, Aguas para Consumo.

(5) Reporte Primera Regeneración. Resinas en Estado Óptimo.

(6) Ing. Cedeño y Dr. Mora. Determinación Fisicoquímica y Bacteriológica del Agua en las Etapas de Tratamiento en Planta de Potabilización. Normas de Calidad de Agua Potable.

(7) Reporte de Calidad del Agua de Producción de Planta Hidrocapital.

(8) Norma Chilena 426. Normas COVENIN.

(10) Nalco Chemical Company. Manual del Agua.

(11) Normas COVENIN 1431-82

(12) Valores Tolerables en Agua de Alimentación para Calderas, PETA, Planta Experimental de Tratamiento de Aguas.

(13) Recomendaciones Rohm and Haas Company.

Los reportes de las fuentes citadas anteriormente pueden observarse en el Apéndice B.

En la Planta Desmineralizadora de Planta Ampliación Tocoa se trabaja específicamente con una presión de cadera de 2.475 psig.

V.3.1 Pruebas Físicas

(a) Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos

La medición de la conductividad eléctrica se realizó siguiendo los pasos de la Norma ASTM descrita en el Capítulo de metodología. Este método fue aplicado debido a que la conductividad es una medición rutinaria en las muestras de agua de proceso de la Planta Desmineralizadora.

La medición de los Sólidos Totales Disueltos se realizó mediante el factor de mineralización a partir de los resultados de conductividad obtenidos, como se explica en el Capítulo IV.

Los valores de conductividad en las muestras de agua potable, a la entrada del proceso fueron 240,7; 225,1 y 241,5 $\mu\text{S/cm}$. Y los valores de conductividad obtenidos luego de la desmineralización fueron 1,43; 1,32 y 4,31 $\mu\text{S/cm}$, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 15. Reporte de la Conductividad y los Sólidos Totales Disueltos obtenidos en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida.

Muestra	Ubicación	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
Agua Potable	Entrada	240,7 \pm 0,01	185,24
Agua	Salida DS1	1,43 \pm 0,01	1,95
Agua Potable	Entrada	225,1 \pm 0,01	173,23
Agua	Salida DS1	1,32 \pm 0,01	1,80
Agua Potable	Entrada	241,5 \pm 0,01	185,85
Agua	Salida DS1	4,31 \pm 0,01	5,88

Ver desviación de los resultados en el Apéndice A. Cálculos Tipo.

Como se muestra en la Tabla 14, el agua desmineralizada debe poseer una conductividad menor a 10 $\mu\text{S/cm}$ para poder ser alimentada al proceso aguas abajo según los Parámetros de Calidad de la Electricidad de Caracas Planta Ampliación

Tacoa. Es por esta razón que el agua de salida del DS1, en este caso, cumple con los valores de conductividad requeridos para la alimentación del agua a las calderas.

Al comparar los valores de conductividad obtenidos de la experimentación, con los que se obtuvieron el primer día de operatividad de las resinas de intercambio iónico, se hace evidente que la conductividad de las muestras de agua actuales es alta, ya que inicialmente fue de $0,59 \mu\text{S}/\text{cm}$ (ver Tabla 14), mientras que actualmente, en las regeneraciones actuales estudiadas, la conductividad llegó a ser de $4,31 \mu\text{S}/\text{cm}$ como se muestra en la Tabla 15. Este suceso puede atribuirse al tiempo de uso de las resinas de intercambio iónico aunque siguen funcionando dentro de los parámetros de calidad.

Al analizar la cantidad de Sólidos Totales Disueltos determinados en las muestras de agua, como se observa en la Tabla 15, de manera general los valores de STD del agua potable oscilaron entre 170 y 190 mg/L, lo que se corresponde con las Normas de Calidad de Agua Potable, que especifican que este valor debe ser menor a 600 mg/L (ver Tabla 14). En la misma tabla se puede observar que los valores obtenidos de STD en las muestras de agua a la entrada del proceso también se corresponden con el rango recomendado por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, el cual especifica que los valores de Agua Potable deben contener una cantidad de STD comprendida entre 25 y 500 mg/L; mientras que a la salida del proceso los valores fueron 1,95; 1,80 y 5,88 mg/L y al comparar estos valores de STD en el agua de salida con los parámetros de calidad requeridos por el proceso, se encuentra que la cantidad encontrada es la adecuada debido a que se exige un valor menor a 15 mg/L de sólidos totales disueltos para poder alimentar los procesos subsiguientes como se muestra en la Tabla 14, según los requerimientos de Planta Ampliación Tacoa.

Debido a que los Sólidos Totales Disueltos son la suma de todos los materiales disueltos en el agua, su efecto principal en los procesos industriales es limitar el grado al cual se puede concentrar el agua. Una alta conductividad eléctrica relacionada con una alta cantidad de STD tiende a acelerar los procesos de corrosión. Y solo se logra

una reducción de los STD mediante la reducción de los componentes individuales en el caso de que ambos parámetros estén fuera de especificación (Nalco, 1998).

V.3.2 Pruebas Químicas

(a) Alcalinidad

La alcalinidad del agua es fruto de la presencia de sustancias alcalinas como hidróxidos, bicarbonatos, carbonatos y en menor medida, silicatos y fosfatos. Cuantitativamente la alcalinidad es la capacidad del agua para reaccionar con ácido hasta un valor fijo de pH.

En este caso, la medición de la alcalinidad de las muestras de agua a la entrada y salida del proceso de regeneración, se realizó según la norma ASTM descrita claramente en el Capítulo de Metodología. Este método cubrió la medición controlada, rutinaria y rápida de la alcalinidad a puntos finales predesignados de aguas que no contenían materiales más que el buffer en el punto final, es por esta razón que dicho método fue empleado en el análisis de las aguas industriales en estudio. En la siguiente tabla se muestran los valores de alcalinidad obtenidos a través de la titulación electrométrica de las muestras de agua antes y después de la Desmineralización:

Tabla 16. Reporte de la Alcalinidad obtenida en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida.

Muestra	Ubicación	Alcalinidad (ppm CaCO ₃)
Agua Potable	Entrada	143
Agua	Salida DS1	11
Agua Potable	Entrada	132
Agua	Salida DS1	18
Agua Potable	Entrada	154
Agua	Salida DS1	18

Ver desviación de los resultados en el Apéndice A Cálculos Tipo.

La alcalinidad es un parámetro importante para las aguas industriales, en especial para calderas o plantas generadoras de vapor ya que en estos casos se usan aguas muy alcalinas para disminuir la corrosión.

El rango de la alcalinidad entre 250 y 400 ppm CaCO_3 en la entrada del proceso es un rango aceptable según las Normas de Calidad de Agua Potable, en los valores establecidos en Aguas para Consumo y en el Reporte de Calidad del Agua de Producción de Planta Hidrocapital (ver Tabla 14); y en este caso existe una correspondencia con dichos requerimientos, ya que como bien se muestra en la Tabla 16, los valores obtenidos fueron de 143, 132 y 154 ppm de CaCO_3 .

Según las evaluaciones de la alcalinidad del agua realizadas por diversas industrias, entre ellas Dinko Instruments, los valores límites de permisibilidad de alcalinidad en las calderas se encuentran en un rango comprendido entre 0 y 500 ppm de CaCO_3 , como se observa en la Tabla 14, para el análisis de aguas que alimentan a calderas industriales. Al comparar los valores obtenidos de alcalinidad después de la desmineralización, con el requerimiento antes mencionado, como se observa en la Tabla 16, se hace notar que los valores a la salida del proceso se encuentran en el rango correspondiente a los límites permisibles. De igual forma se destaca que a pesar de que la alcalinidad disminuyó luego de la desmineralización a un rango comprendido entre 8 y 11 ppm de CaCO_3 , es un rango de alcalinidad aceptable para el agua de alimentación a las calderas según evaluaciones realizadas en diversas industrias como se muestra claramente en la Tabla 14.

(b) pH

La medición del pH a las muestras de agua a la entrada y salida del proceso de regeneración, se realizó según la norma ASTM descrita claramente en el Capítulo de Metodología en unidades estándar de 1 a 14 para aguas industriales. El pH es determinado por la diferencia de potencial entre un electrodo de membrana de vidrio y un electrodo de referencia inmerso en la muestra. En este caso, como se muestra en la Tabla 17, para las muestras de agua potable el pH obtenido fue de 7,05; 7,21 y 7,80; mientras que para las muestras de agua desmineralizada el pH fue de 6,13; 6,57 y 8,86 de igual forma.

Tabla 17. Reporte del pH obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua Desmineralizada.

Muestra	Ubicación	pH
Agua Potable	Entrada	7,05 ± 0,01
Agua	Salida DS1	6,13 ± 0,01
Agua Potable	Entrada	7,21 ± 0,01
Agua	Salida DS1	6,57 ± 0,01
Agua Potable	Entrada	7,80 ± 0,01
Agua	Salida DS1	8,86 ± 0,01

Ver desviación de los resultados en el Apéndice A Cálculos Tipo.

Como se observa en los datos tomados durante la experimentación los efectos de la temperatura, cambian la respuesta del electrodo y pueden afectar el equilibrio químico en la muestra, razón por la cual los valores de pH fueron corregidos por temperatura.

Al analizar de manera general los valores obtenidos, se observa que los correspondientes al agua potable fueron estables, manteniendo un pH comprendido entre 7 y 8. Estos valores se corresponden con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, y se corrobora al comparar con los requerimientos de las Aguas para Consumo y las Normas de Calidad para Agua Potable en Plantas de Potabilización, tal como se muestra en la Tabla 14. A su vez, en la misma tabla, se hace referencia al Reporte de Calidad del Agua de producción de Planta Hidrocapital, que como se mencionó, es la alimentación a la planta desmineralizadora. Dicho reporte se corresponde con los valores de las muestras de agua potable analizadas y ambos valores se encuentran dentro de los requerimientos de la misma Norma COVENIN.

Es razonable que el pH de las muestras de agua desmineralizada sea menor que el agua de entrada al proceso como lo demuestran los resultados de las dos primeras muestras, mientras que en la tercera muestra el valor fue mucho mayor que el pH de la entrada, lo cual se puede atribuir a la conductividad del agua a la salida del proceso para el momento, la cual, como se observa en la Tabla 17, fue mucho mayor que en las dos primeras con un valor de 4,31 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto se asume a que según la Norma ASTM las muestras que posean valores alterados de conductividad pueden absorber

gases del aire cambiando así el valor de pH o pueden desarrollar cargas electrostáticas que pueden causar dificultades en la medición.

A pesar de que el valor obtenido del pH para el agua desmineralizada de la tercera regeneración es muy alto con comparación con las anteriores, se encuentra ubicado dentro del rango correcto de operación. Este hecho es debido, a que uno de los parámetros a controlar luego del proceso de desmineralización diaria es precisamente el pH, manteniéndolo en un rango comprendido entre 6 y 9, como bien se indica en la Tabla 14, lo que demuestra que el agua desmineralizada se encuentra dentro de los parámetros de calidad de pH, con una estabilidad aceptada por los parámetros de calidad de Planta Ampliación Tocoa. También es importante mencionar que el agua desmineralizada posee en promedio un pH, muy cercano al reportado en los análisis de las aguas de producción cuando las resinas de intercambio iónico se encontraban en su primer día de operación, el cual fue de 6,23 como bien se muestra en la Tabla 14.

(c) Sílice

La aplicación del método para la determinación del Sílice según la Norma ASTM 859 detallada claramente en el Capítulo IV, cubrió la determinación fotométrica de sílice reactiva con molibdato en agua. Debido a la complejidad química de la sílice, la forma de medirlo estuvo definida por el método analítico de sílice reactiva con molibdato. Esas formas de sílice que son reactivas con molibdato incluyen silicatos simples disueltos, sílice monomérico, ácido silícico y una fracción indeterminada de sílice polimérico.

El método fue usado, ya que es particularmente aplicable a aguas industriales tratadas. Las muestras de agua potable en este caso, reportaron los valores de 9,424; 10,400 y 9,104 ppm de sílice, y los valores obtenidos de agua de salida del proceso fueron de 0,033; 0,015 y 0,022 ppm de Sílice como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Reporte de Sílice obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida..

Muestra	Ubicación	Sílice (ppm)
Agua Potable	Entrada	9,424 ± 0,001
Agua	Salida DS1	0,033 ± 0,001
Agua Potable	Entrada	10,400 ± 0,001
Agua	Salida DS1	0,015 ± 0,001
Agua Potable	Entrada	9,104 ± 0,001
Agua	Salida DS1	0,022 ± 0,001

Ver desviación de los resultados en el Apéndice A Cálculos Tipo.

Con respecto a la cantidad de sílice en las muestras de agua de la entrada al proceso, se hace referencia a los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde tal como se muestra en la Tabla 14, especifican que para el agua potable, la cantidad de Sílice debe estar comprendida entre 1 y 50 mg/L al igual que la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, y como se observa en la Tabla 18, se hace evidente que en este caso se cumple por completo este requerimiento, ya que dichos valores se encuentran entre 9 y 10,5 ppm de Sílice aproximadamente.

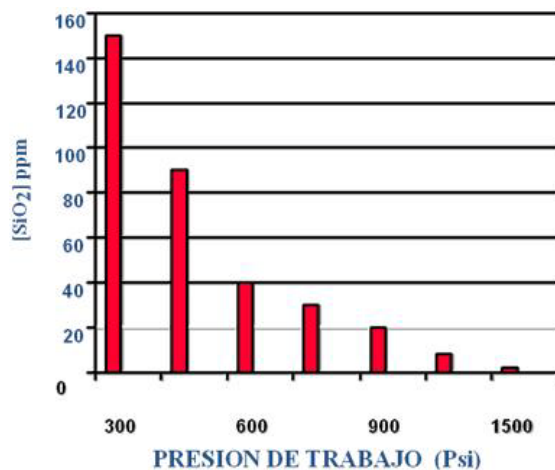


Figura 22. Máxima Concentración de Sílice en Aguas de Calderas en función de la Presión.

En la Figura 22 suministrada por la Rohm and Haas, se demuestra claramente la dependencia de los límites de Sílice máximos en aguas de calderas con la presión, la

cual desciende de manera exponencial a medida que aumenta la presión en la misma. El caso en estudio trata de una caldera cuya presión es de 2475 psi, como bien fue mencionado en el Capítulo de revisión bibliográfica y por lo tanto las cantidades de Sílice deben tender a ser cero.

Los valores de sílice obtenidos luego del proceso de desmineralización se corresponden perfectamente con los parámetros de calidad previamente establecidos, en este caso los datos de sílice estuvieron muy por debajo de 0,25 ppm, requisito fundamental para la alimentación con agua a las calderas en el proceso aguas abajo, como se reporta en la Tabla 14. Éste hecho es una evidencia de que el agua en estudio cumple con el parámetro de calidad en la medición diaria de sílice, el cual es el principal responsable de las incrustaciones en las calderas y en las turbinas. A su vez se puede citar la referencia de la PETA, Planta de Experimental de Tratamiento de Aguas en la cual uno de los principales requisitos es poseer una cantidad de Sílice menor a 0,01 mg/L en el agua desmineralizada como alimentación a calderas que trabajan a una presión comprendida entre 1.500 y 5.000 psig, requisito que también se cumple en este caso, como bien se muestra en la mencionada tabla, además de que se menciona que las Calderas de Planta Ampliación Tocoa trabajan con una presión de 2.475psig.

La sílice es indeseable en el agua de reposición para calderas no sólo debido a que puede formar una incrustación en la misma caldera, sino también porque se volatiliza a altas temperaturas y se deposita en las cuchillas de las turbinas (Nalco, 1998).

(d) Análisis Iónico

Como se explicó claramente en el Capítulo de Metodología, el análisis iónico fue realizado en dos partes. Para el análisis de los cationes presentes en las muestras de agua se aplicó absorción atómica, mientras que el análisis de los aniones se aplicó cromatografía líquida (HPLC).

El equipo empleado en el análisis de absorción atómica para la cuantificación de los cationes posee las siguientes especificaciones:

Tabla 19. Especificaciones del Equipo de Absorción Atómica empleado en el Análisis de los Cationes.

Equipo	Absorción Atómica			
Marca	Perkin			
Modelo	Elmer 3310			
Año	1993			
Analista	Lic. Químico Marlon Millan			
Catión	Sensibilidad mínima (ppm)	Linealidad (mg/L)	Llama	Longitud de onda (nm)
Ca ⁺²	0,0920	5,0	aire acetileno	422,7
Na ⁺	0,0120	1,0	aire acetileno	589,0
Mg ⁺²	0,0078	0,5	aire acetileno	285,0
Fe ⁺²	0,1000	5,0	aire acetileno	248,3

Fuente: Laboratorio Central de Planta Ampliación Tacao de la Electricidad de Caracas.

A continuación se muestran los resultados de la absorción atómica en la siguiente tabla:

Tabla 20. Concentración de Cationes en el Agua de Proceso de Desmineralización.

Catión	Concentración a la Entrada (ppm)	Desviación a la Entrada	Concentración a la Salida DS1 (ppm)	Concentración en el Agua Desmineralizada (ppm)
Ca ⁺²	30,0	0,3	ND	ND
Na ⁺	6,8	0,4	ND	ND
Mg ⁺²	6,1	0,3	ND	ND
Fe ⁺²	ND	-	ND	ND
K ⁺¹	-	-	-	-

ND: No detectado.

Al analizar los 30 ppm de ión calcio obtenidos en promedio del análisis de las muestras de agua en la entrada del proceso, se hace notar que estos valores se corresponden con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, y se corrobora al comparar con los requerimientos de los valores contemplados en la Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización, los cuales indican que este valor debe estar entre 0 y 200 mg/L, como se observa en la Tabla 14, por lo que se deduce que el valor obtenido es el adecuado para la alimentación del proceso de desmineralización. Por su parte, al observar el valor del calcio en el agua desmineralizada establecido en Norma Chilena 426, y mencionado en la Norma COVENIN para Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales, éste valor

debe ser menor a 0,1 mg/L, como se observa en la Tabla 14. En éste caso la concentración de ión calcio no fue detectada por el equipo cuya sensibilidad iónica para el mismo ión es de 0,0920 ppm como se observa en la Tabla 19, y de haber tenido la concentración un valor mayor a 0,1 ppm el equipo la hubiese reportado. Finalmente para el ión calcio se deduce que cumple con las normas establecidas tanto a la entrada como a la salida del proceso de desmineralización. De igual forma, se hace referencia a los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde tal como se muestra en la Tabla 14, especifican que para el agua potable, la cantidad de cloro debe estar comprendida entre 2 y 200 mg/L; y para el agua desmineralizada debe ser menor a 0,4 mg/L cuando se utilizan procesos de intercambio iónico. Se hace evidente que en este caso se cumple por completo este requerimiento. En la mayoría de las operaciones industriales se necesita eliminar el ión calcio, en particular en el agua de reposición para calderas. La dureza proporcionada por el ión calcio puede reducirse a menos de 1mg/L como CaCO_3 sólo a través los métodos de Intercambio Catiónico (Nalco, 1998).

De la misma forma al observar en la Tabla 20 el valor promedio de 6,8 ppm del ión Sodio, obtenido en las muestras de agua a la entrada del proceso en estudio, y compararlo con los valores establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización, se deduce que el agua alimentada cumple con las especificaciones como se muestra en la Tabla 14, debido a que es un valor menor a 200 mg/L. El sodio a la salida del agua desmineralizada debe de ser máximo de 0,20 mg/L, según los parámetros de Calidad establecidos por la Planta Ampliación Tocoa de la Electricidad de Caracas y en éste caso la concentración del ión Sodio tampoco fue detectada por el equipo cuya sensibilidad iónica para el mismo ión es de 0,0120 ppm como se observa en la Tabla 19, y de haber tenido la concentración un valor mayor, el equipo la hubiese detectado. Satisfactoriamente para el sodio se deduce que cumple con las normas establecidas tanto a la entrada como a la salida del proceso de desmineralización. El único proceso químico para eliminar el Sodio es el intercambio Catiónico en el ciclo del hidrógeno. La evaporación y la osmosis inversa también

reducen el sodio, produciendo una corriente baja en sodio y una salina de desecho baja en el mismo (Nalco, 1998)

De la misma forma al analizar los 6,1 ppm de Ión Magnesio obtenidos en promedio del análisis de las muestras de agua en la entrada del proceso, se hace referencia a los valores contemplados en la Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización, los cuales indican que este valor debe estar entre 0,5 y 50 mg/L, como se observa en la Tabla 14, por lo que se deduce que el valor obtenido es el adecuado para la alimentación del proceso de desmineralización. De la misma manera se menciona que dicho valor obtenido se corresponde con el rango establecido en la Norma COVENIN 1431-82 la cual establece que para una cantidad de sílice menor a 250 mg/L, debe existir una cantidad menor a 150mg/L de Ión Magnesio, lo que se corresponde con el caso en estudio.

Al mismo tiempo, al observar el valor promedio del ión Magnesio en el agua desmineralizada, establecido en Norma Chilena 426, y mencionado en la Norma COVENIN para Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales, éste valor debe ser menor a 0,0070 mg/L, como se observa en la Tabla 14. En éste caso la concentración del ión Magnesio no fue detectada por el equipo cuya sensibilidad iónica para el mismo es de 0,0078 ppm como se observa en la Tabla 19. En este caso no se garantiza que exista o no una fuga del ión Magnesio entre 0,0070 y 0,0078 mg/L; pero sí se afirma que no existe paso del ión Magnesio en una cantidad mayor a 0,0078 mg/L hacia las calderas, ya que de haber tenido la concentración un valor mayor, el equipo la hubiese reportado. Finalmente para este ión se determina que cumple rigurosamente con las normas establecidas a la entrada del proceso, mientras que a la salida del proceso de desmineralización existe un rango muy estrecho en el que no se puede asegurar el cumplimiento estricto de la Norma en cuanto al paso del ión Magnesio hacia la caldera según la mencionada norma. De igual forma, se hace referencia a los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde tal como se muestra en la Tabla 14, especifican que para el agua potable, la cantidad del ión Magnesio debe estar comprendida entre 10 y 50 mg/L; y para el agua desmineralizada debe ser menor a 0,25mg/L cuando se emplean

procesos de intercambio iónico. Se hace evidente que en este caso se cumple por completo este requerimiento y según este último manual sí se podría garantizar una cantidad aceptable del ión Magnesio hacia las calderas. Puesto que el carbonato de magnesio es bastante más soluble que el carbonato de calcio, rara vez es el componente principal en las incrustaciones. Sin embargo, debe eliminarse junto con el calcio cuando se requiere agua blanda para alimentación de calderas o para otros procesos. Puede eliminarse mediante el ablandamiento con cal y también se reduce por medio de Intercambio Iónico hasta menos de 1mg/L como CaCO_3 (Nalco, 1998). En el caso del Hierro, como se muestra en la Tabla 20, el equipo no detectó su presencia en las muestras analizadas: ni en el agua potable, ni en el agua desmineralizada. El equipo de análisis posee una sensibilidad iónica mínima para el Hierro de 0,1 mg/L, como se muestra en la Tabla 19, por lo que cumple con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para Agua Potable, y se corrobora al comparar con los requerimientos en las Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización, la cual indica que dicho valor debe ser menor a 0,3 mg/L, como se muestra en la Tabla 14. De igual forma, se hace referencia a los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde tal como se muestra en la Tabla 14, especifican que para el agua potable, la cantidad de Hierro debe ser menor a 0,3 mg/L por lo que en este caso se cumple por completo este requerimiento. Por su parte, al observar el valor promedio de Hierro en el agua desmineralizada, establecido en Norma Chilena 426, y mencionado en la Norma COVENIN para Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales, éste valor debe ser menor a 0,01 mg/L, como se observa en la Tabla 14. Como la concentración de Hierro a la salida del proceso no fue detectada por el equipo cuya sensibilidad iónica para el mismo ión es de 0,1 ppm como se observa en la Tabla 19, no se garantiza que exista o no una fuga de Hierro hacia las calderas en un rango de 0,01 a 0,1 mg/L; pero sí se afirma que no existe paso de Hierro en una cantidad mayor a 0,1 mg/L hacia las calderas, ya que de haber sido mayor la concentración, el equipo la hubiese reportado. Finalmente para el Hierro se determina que cumple rigurosamente con las normas establecidas a la entrada del proceso,

mientras que a la salida del proceso de desmineralización existe un rango en el que no se puede asegurar el cumplimiento estricto de la Norma en cuanto al paso de Hierro hacia la caldera. Debido a que el Hierro es un producto de la corrosión en los sistemas de tuberías, con frecuencia el hecho de que se encuentre en el agua un sistema de distribución se debe a esto, y no representa al hierro que quedó después del proceso de tratamiento en la planta de tratamiento de agua (Nalco, 1998).

El análisis del Ión Potasio no pudo ser realizado a través de absorción atómica debido a la ausencia de una lámpara adecuada para el análisis, de igual forma se menciona que este valor debe ser menor a 0,1 mg/L, parámetro establecido por la Norma Chilena 426 e indicado en la Norma COVENIN. También se menciona que el Potasio está relacionado estrechamente con el Sodio, tanto que rara vez se analiza como un componente separado en los análisis de agua. Su ocurrencia es menor en la naturaleza y por esta razón se encuentra normalmente en concentraciones más bajas que el sodio, y como en este caso el sodio se encontró en un valor menor a 0,1 mg/L; se puede garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua. El Potasio no tiene importancia en las fuentes de agua para el uso público o en el agua que se utiliza en la industria. Como en el caso del sodio, sólo puede eliminarse químicamente mediante Intercambio Catiónico, o mediante procesos físicos como la evaporación y la ósmosis inversa (Nalco, 1998).

Los resultados de la cromatografía líquida se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 21. Concentración de Aniones en el Agua de Proceso Antes y Después de la Desmineralización.

Anión	Concentración a la Entrada (ppm)	Desviación Estándar	Concentración a la salida DS1 (ppm)	Desviación Estándar	Concentración del Agua Desmin. (ppm)	Desviación Estándar
Cl ⁻	23,10	0,7	ND	-	ND	-
SO ₄ ²⁻	62,80	1,9	0,96	0,01	0,88	0,03
NO ₃ ⁻	12,60	0,3	ND	-	ND	-

Al analizar los 23,10 ppm de Cloruro obtenidos en promedio del análisis de las muestras de agua en la entrada del proceso a través de cromatografía líquida, como se

observa en la tabla anterior, se hace notar que estos valores se corresponden con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, y se corrobora al comparar con los requerimientos contemplados en la Normas de Agua para Consumo y en las Normas de Calidad de Agua Potable, las cuales indican que este valor debe estar entre 0,2 y 250 mg/L, como se observa en la Tabla 14, por lo que se deduce que el valor obtenido es el adecuado para la alimentación del proceso de desmineralización. De igual forma, se hace referencia a los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde tal como se muestra en la Tabla 14, especifican que para el agua potable, la cantidad de Cloruro debe ser menor a 250 mg/L. Se hace evidente que en este caso se cumple por completo este requerimiento. Por su parte, al observar el valor del Cloruro en el agua desmineralizada, establecido en Romh and Hass Company, éste valor debe ser de 0,1 mg/L, como se observa en la Tabla 14. En éste caso la concentración de Cloruro no fue detectada por el equipo cuya sensibilidad es de 0,01 mg/L; y de haber sido mayor a 0,01 mg/L la concentración, el equipo la hubiese reportado. Finalmente para el ión Cloruro se deduce que cumple con las normas establecidas a la entrada y a la salida del proceso donde se garantiza un paso de cloro a las calderas menor a 0,01 mg/L a través del agua desmineralizada. También es de real importancia mencionar que el paso de cloruro fue de 0,005 mg/L en la desmineralización realizada en el primer momento de operatividad de las resinas de intercambio iónico, cuando se encontraban en su estado original, como se observa en la Tabla 14. El análisis fue realizado con un cromatógrafo iónico que disponía de una columna concentradora de iones y de la cual no se disponía para el momento de la realización del presente Trabajo Especial de Grado, dicho valor mencionado se encontró claramente dentro de los parámetros de calidad para el Agua de Alimentación a las Calderas, por lo que no se pudo determinar la cantidad exacta de cloruro alimentado al proceso aguas abajo. El intercambio iónico es el único proceso químico capaz de eliminar los cloruros del agua; sin embargo algunos procesos físicos como ósmosis inversa, pueden separar el agua en dos corrientes, una de ellas con un contenido reducido de cloruro y otra con un contenido mayor (Nalco, 1998).

Al observar los 62,80 mg/L de Sulfato obtenidos en promedio del análisis de las muestras de agua en la entrada del proceso, se denota que estos valores se corresponden con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para Agua Potable, y se corrobora al comparar con los valores contemplados en las Normas de Calidad de Agua Potable para Plantas de Potabilización, los cuales indican que este valor debe ser menor o igual a 250 mg/L, como se observa en la Tabla 14, por lo que se deduce que el valor obtenido es el adecuado para la alimentación del proceso de desmineralización. De igual forma, se hace referencia a los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde tal como se muestra en la Tabla 14, especifican que para el agua potable, la cantidad de Sulfato debe estar comprendida entre 5 y 250 mg/L; en este caso se cumple por completo el requerimiento. En el presente análisis a la salida del proceso la concentración de Sulfato obtenida fue de 0,88 mg/L en las muestras de agua desmineralizada. Debido a que el sulfato de calcio es relativamente insoluble, el sulfato puede resultar indeseable al concentrar agua con un alto contenido de calcio. Los niveles altos de sulfato pueden reducirse de forma apreciable mediante tratamiento masivo con cal o cal aluminato y también se puede reducir efectivamente con Intercambio Aniónico (Nalco, 1998).

De la misma forma sucede con el Nitrato, donde se obtuvieron 12,60 mg/L en promedio del análisis de las muestras de agua a la entrada del proceso de desmineralización. Se hace referencia a los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para Agua Potable, a los valores contemplados en la Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización, y a los requerimientos de Aguas para Consumo; los cuales indican que este valor debe ser menor a 45 mg/L, como se observa en la Tabla 14, por lo que se deduce que el valor obtenido es el adecuado para la alimentación del proceso de desmineralización, el mismo rango es corroborado por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, tal como se muestra en la misma tabla. Por su parte, la concentración de Nitrato obtenida en el agua desmineralizada no fue detectada por el equipo por lo que se asume según la sensibilidad del cromatógrafo iónico que dicho valor fue menor a 0,01 mg/L como su

valor en el proceso de alimentación de agua a las calderas. No existen usos del agua en donde se informe que el Nitrato sea un factor restrictivo. El único proceso químico que elimina el Nitrato es el Intercambio Aniónico (Nalco, 1998)

V.4 Evaluación de las Resinas

(a) Pretratamiento de las Resinas

Inicialmente se realizaron los cálculos y procedimientos pertinentes a dos Pretratamientos de las resinas de intercambio, según las especificaciones de la Norma ASTM, explicadas claramente en el Capítulo de Metodología.

Esta etapa de Pretratamiento fue llevada a cabo con la finalidad de transformar cada resina a su forma iónica. La forma iónica de un material de intercambio iónico afecta tanto su masa equivalente como su contenido de agua en equilibrio. Esto en consecuencia influencia los valores numéricos obtenidos en las determinaciones de capacidades de intercambio, en las mediciones de densidad y en el tamaño de las partículas, análisis que fueron realizados posteriormente. Entonces, para proveer una base uniforme de comparación, cada muestra fue convertida a una forma iónica conocida antes de la realización de cada análisis.

Una vez pasadas las debidas soluciones de NaOH y HCl a través de las resinas, para finalizar el análisis, fue necesario corroborar que cada resina de intercambio se encontrara en su forma iónica, para lo cual se siguió el procedimiento de la misma Norma obteniéndose los resultados expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 22. Verificación de los efluentes de las Resinas de Intercambio Iónico.

Resina	EFLUENTES		Verificación de los Efluentes
	Amarillo	Rojo	
	Azul Timol	Rojo de Metilo	
C1	-	Rojo	
A1	Naranja	-	
DS1	Naranja	-	

En la misma tabla se observa que para el efluente de la Resina Catiónica Fuerte, al agregar el indicador Rojo de Metilo, el efluente permaneció color rojo, lo cual es un

buen indicio de que la resina se encontró finalmente en su forma iónica al ser una solución relativamente ácida. De la misma forma se reportan también los resultados de las Resinas Aniónicas, donde al continuar con el lavado se corroboró que una porción del efluente de ambas resinas permaneciera color amarillo con la adición del indicador Azul Timol, los cuales se tornaron amarillo-naranja, resultado que es un buen indicio de que las Resina Aniónica Fuerte y Aniónica Débil se encontraron finalmente en su forma iónica conocida al ser efluentes en estado básico o alcalino.

(b) Propiedades de las Resinas

A continuación se presentan los resultados de las propiedades estudiadas de las resinas correspondientes a cada equipo de intercambio iónico:

Tabla 23 Propiedades de las Resinas de Intercambio Iónico.

PROPIEDADES	C1 Amberlite IR 120 Na		A1 Amberlite IRA 96		DS1 Amberlite IRA 402 Cl	
	Teórico	Exp.	Teórico	Exp.	Teórico	Exp.
Capacidad Total de Intercambio (eq/L)	≥ 2,0	2,49	≥ 1,25	3,01	≥ 1,2	2,36
Contenido de Humedad (%)	45 – 50	46,37	57 – 63	62,73	49 – 60	53,66
Gravedad Específica	1,26 – 1,30	-	1,04 - 1,06	-	1,063 - 1,093	-
Densidad (g/ml)	1,26 – 1,30	1,29	1,04 - 1,06	1,05	1,063 - 1,093	1,08
Coefficiente de Uniformidad	≤ 1,9	1,90	≤ 1,8	1,80	≤ 1,6	1,60
Tamaño de Partícula (µm)	600 – 800	760	550 – 750	720	600 – 750	640

Fuente: Hojas de Ingeniería de las Resinas de Intercambio Iónico. Rohm and Haas.
Ver desviación de los resultados en el Apéndice A Cálculos Tipo.

- Microscopía Óptica

Al realizar el análisis de microscopía óptica a las muestras de resinas de intercambio iónico se observaron las siguientes características en cada una de ellas:

Tabla 24. Características Observadas en las Resinas en Estudio, luego de 2 años de Operatividad en los respectivos Intercambiadores Iónicos, a través de Microscopía Óptica.

Catiónica Fuerte	Aniónica Débil	Aniónica Fuerte
Partículas esféricas de aspecto gelatinoso	Partículas esféricas no tan gelatinosas	Partículas completamente esféricas de aspecto muy gelatinoso
Una sola muestra fracturada de toda la muestra tomada	Presencia de un punto central de color blanco mate en cada esfera	Presencia de un punto central claramente visible en cada esfera
Color general de ámbar a dorado	Partículas de color beige claro brillante	Color ámbar a transparente
Superficie irregular con pequeñas marcas gravadas	Superficie lisa sin marcas	Superficie completamente lisa
Tamaño variable	Tamaño más o menos uniforme	Tamaño uniforme
Una sola partícula ámbar de superficie muy lisa	No hay presencia de alguna partícula corrugada	Presencia de dos partículas fracturadas y corrugadas
Algunas partículas negras y opacas que no son atravesadas por la luz	Partículas cuadradas cada dos esferas de color mucho más blanco	Las partículas extrañas corrugadas son de color muy claro
Las partículas negras no se adhieren a la superficie por ser lisas	Las partículas cuadradas blancas no se adhieren a la superficie	Las partículas corrugadas no se adhieren a la superficie
Las partículas negras son de un tamaño mayor a las partículas de resina	El tamaño de las partículas blancas es variable	El tamaño de las partículas corrugadas son de tamaño menor a las de resina

Como se puede apreciar en la tabla comparativa anterior, cada resina posee sus características propias que le dan mayor selectividad a la hora de realizar el intercambio. El daño ocasionado a cada resina puede entenderse como la cantidad de contaminantes presente en la misma según referencias de la Rohm and Haas Company. En este caso existe la posibilidad de que el contaminante se observe en las partículas extrañas que se encuentran en cada una de las resinas. Dichas partículas extrañas correspondían a la tercera parte de las muestras observadas en todos los casos.

En el caso de la Resina Catiónica Fuerte, las partículas negras opacas que no pueden ser atravesadas por la luz y no se adhieren a la superficie, podrían ser una evidencia de contaminación en la resina y se hacen notar al ser de un tamaño mayor al resto de

la muestra. La contaminación en la Resina Aniónica Débil podría deberse a la observación de las partículas cuadradas blancas, que no se adherían a la superficie y que se encontraron ubicadas cada dos esferas de resina. Y finalmente, en el caso de la Resina Aniónica Fuerte, la presencia de partículas amorfas y fracturadas que tampoco se adherían a la superficie, podrían ser una muestra de la contaminación en dicha resina.

No puede asegurarse que las resinas se encuentren o no contaminadas lo que sería un proceso natural por el uso de las mismas, sin embargo la presencia de dicha contaminación en caso de haberla, no es un indicador de que la resina esté o no funcionando de la manera más correcta, ya que la vida útil de estas resinas es aproximadamente de 5 años, según las Hojas de Ingeniería proporcionadas por la Rohm and Haas.

El aspecto de cada una de las resinas originales es similar al siguiente:

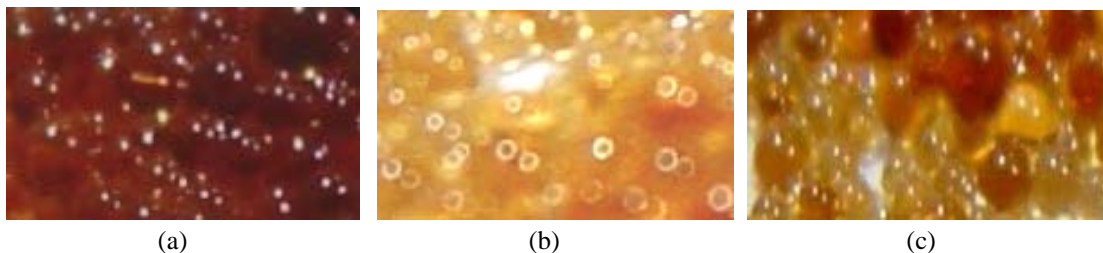


Figura 23. Impresiones de las Resinas de Intercambio Iónico, antes de colocarlas en Operación. En (a) se observa a la Resina Catiónica Fuerte, en (b) se observa a la Resina Aniónica Débil y en (c) se muestra a la Resina Aniónica Fuerte.

Al comparar la descripción de las resinas de intercambio iónico actuales, con su estado original, es decir, antes de que hubieren sido colocadas en operación, como se muestra en la figura anterior, se puede decir que siguen mostrando básicamente una estructura similar, inclusive con la presencia del punto central, la única diferencia radica en que las partículas de resina posiblemente contaminadas no se observan en la resina en su estado original. Por ejemplo, en la Resina Catiónica Fuerte Original no se observan partículas negras y opacas, en el caso de la Resina Aniónica Débil no se ven partículas cuadradas blancas y finalmente, en la Resina Aniónica Fuerte tampoco se

observa en la Figura 23 las partículas extrañas amorfas de color muy claro, que sí se vieron en la resina operativa actualmente a través de la microscopía óptica.

- Contenido de Humedad

Al aplicar el método del Contenido de Humedad contemplado en la Norma ASTM, explicado detalladamente en el Capítulo de metodología, se determinó que la Resina Catiónica Fuerte Amberlite IR 120 Na, retuvo 46,37% de agua, la Resina Aniónica Fuerte Amberlite IRA 402 Cl, retuvo 53,66% y la Resina Aniónica Débil Amberlite IRA 96 62,73% de agua. Estos tres valores experimentales se corresponden con los valores teóricos, reportados en las respectivas Hojas de Ingeniería de cada resina, como se muestra en la Tabla 23. El hecho de que las resinas de intercambio iónico hayan retenido la cantidad adecuada de agua indica que no hay rompimiento del entrecruzamiento del polímero ni tampoco existe pérdida de funcionalidad ni ensuciamiento del material de intercambio.

- Densidad

Al aplicar el método del cálculo de la Densidad a las resinas de intercambio iónico en estudio según la Norma ASTM se determinó el volumen asentado de un número conocido de gramos de resina Pretratada químicamente. En el caso de la Resina Catiónica Fuerte la densidad estable de la resina fue de 1,29 g/ml, para la Resina Aniónica Débil ese valor fue de 1,05 g/ml y para el caso de la Resina Aniónica Fuerte la densidad estable fue de 1,08 g/ml. Los valores experimentales antes mencionados son los más idóneos debido a que se encuentran entre los rangos de los valores teóricos indicados en las especificaciones de las Hojas de Ingeniería como se evidencia en la Tabla 23. Debido a que la finalidad del diseño del método fue relacionar la densidad del material de intercambio con el funcionamiento de las unidades en operación, se puede deducir que los contenedores de las resinas de intercambio se encuentran operando internamente de una manera propicia como para no modificar esta propiedad de las resinas de intercambio en estudio.

- Granulometría: Tamaño de Partícula y Coeficiente de Uniformidad

Inicialmente se realizaron los cálculos pertinentes para la obtención del Tamaños de Partícula y el coeficiente de Uniformidad de las resinas de intercambio en estudio, según las especificaciones de la Norma ASTM, explicadas claramente en el Capítulo IV. La finalidad de la aplicación del método fue tamizar de forma manual la resina en agua pretratada químicamente a través de una serie de tamices estándar de tamaño de abertura progresivamente decreciente. La distribución de tamaño de partícula de materiales de intercambio iónico es determinada en el estado hidratado y en una forma iónica conocida, es decir, con la resina Pretratada, para poder proveer una base de comparación reproducible en tamaño debido a la ruptura de partícula en uso.

El volumen retenido en cada uno de los tamices fue medido, y el tamaño de partícula fue obtenido, a partir de dichos resultados experimentales fue de 760 μm , para la Resina Catiónica Fuerte con un coeficiente de uniformidad de 1,9. En el caso de la Resina Aniónica Débil el tamaño de partícula fue de 720 μm con un coeficiente de uniformidad de 1,8. Y finalmente en el caso de la Resina Aniónica Fuerte el tamaño de partícula fue de 640 μm con un coeficiente de uniformidad de 1,6.

Al mismo tiempo como se detalló en el Capítulo de Metodología se realizó una curva granulométrica la cual se muestra a continuación:

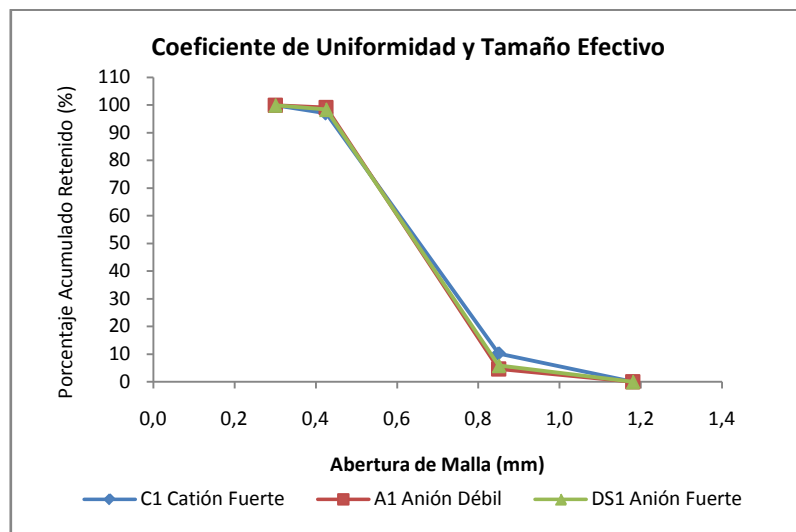


Figura 24. Caracterización Granulométrica de las Resinas de Intercambio Iónico y Coeficiente Uniformidad.

Al analizar la gráfica anterior se observa que la curva posee la forma característica de una curva granulométrica al representar el porcentaje de resina retenido en función de la abertura de malla de cada tamiz utilizado. El hecho de que los valores de cada coeficiente de uniformidad haya sido menor a 2, pero no cercano a 1, indica que las partículas de entre sí son uniformes más no iguales.

Es de hacer notar que los valores experimentales obtenidos, de cada coeficiente de uniformidad y de cada tamaño de partícula, se encuentran en el rango especificado en las Hojas de Ingeniería, correspondientes a cada resina de intercambio iónico, como se observa en los valores teóricos expuestos en la Tabla 23. Éste hecho implica que el tamaño de partícula de cada resina posiblemente no ha cambiado mucho desde el primer momento de uso del material de intercambio y en consecuencia cada resina funciona con propiedades similares a las que tenía en el instante de su adquisición.

- Capacidad Total de Intercambio

Capacidad Total de Intercambio de la Resina Catiónica Fuerte del C1

Para poder determinar la capacidad de intercambio de la resina catiónica fue necesario realizar la conversión de la muestra a la forma original y luego realizar un equilibrio con un exceso de solución estándar de hidróxido de sodio en presencia de cloruro de sodio, para finalmente titular el ión hidroxilo residual con ácido estándar. Este procedimiento se realizó como se explicó claramente en el Capítulo de metodología para poder realizar finalmente el cálculo de la capacidad de intercambio. Al aplicar el método a la Resina Catiónica Fuerte Amberlite IR 120 Na, se obtuvo el número total de miliequivalentes de hidrógeno intercambiables en la misma resina. Para esta resina la capacidad de intercambio fue de 2,49 eq/L, es decir, que por cada litro de resina se están intercambiando actualmente 2,5 equivalentes de protones de la misma, como se observa en la Tabla 23. Dicho valor se corresponde con el valor teórico esperado reportado en la Hoja de Ingeniería de la resina respectiva ya que la condición mínima es que sea mayor o igual a 2, como se expone claramente en la misma tabla.

Capacidad Total de Intercambio de las Resinas Aniónica Fuerte del DS1 y Aniónica Débil del A1

Para determinar la capacidad total de intercambio de las resinas Aniónicas fue necesario la conversión de la muestra a la forma de cloruro, y la realización de una elución del cloruro de los grupos que no rompen las sales con hidróxido de amonio. Este procedimiento se realizó como se explicó claramente en el Capítulo de metodología para poder obtener finalmente el cálculo de la capacidad de intercambio. Una vez aplicado el método se determinó el número total de miliequivalentes de cloruro intercambiable en cada resina Aniónica. En este caso para la Resina Aniónica Débil Amberlite IRA 96, se determinó un total de 3,01 equivalentes de cloruro intercambiables por cada litro de resina contenido, lo que se corresponde perfectamente con la referencia de la hoja ingeniería de la respectiva resina que indica que la capacidad de intercambio debe ser mayor o igual a 1,25 equivalentes por litro de resina. En el caso de la Resina Aniónica Fuerte Amberlite IRA 402 Cl, se determinó un total de 2,36 equivalentes de cloruro intercambiables por cada litro de resina, lo que concuerda con las especificaciones de la Hoja de Ingeniería de la resina donde se define que la capacidad de intercambio para la misma debe ser igual o mayor a 1,2 como valor teórico. Ambos casos pueden observarse claramente en la Tabla 23 del presente capítulo. El hecho de que las resinas de intercambio iónico hayan presentado un valor correspondiente al del rango indicado en las Hojas de Ingeniería indica que el intercambio iónico es el adecuado e indica de igual forma que las resinas se encuentran en su capacidad idónea de funcionamiento.

Para analizar la relación de la capacidad de intercambio con la estructura de la resina se muestra la siguiente figura:

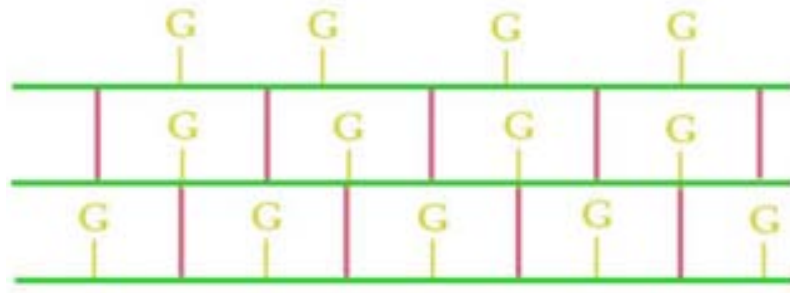


Figura 25. Estructura Química de las Resinas de Intercambio Iónico. El color verde ejemplifica la matriz polimérica, el color rosado muestra el agente de entrecruzamiento del polímero, y el color amarillo ejemplifica el grupo funcional intercambiador de iones. Fuente: Rohm and Hass.

El nivel de entrecruzamiento del polímero es el porcentaje de Divinilbenceno (DVB) respecto a la cantidad total de monómero presente en la polimerización.

Como bien lo reporta la Tabla 1, la Resina Catiónica Fuerte Amberlite IR – 120 plus, es de tipo Gel conformada por Estireno-DVB. La Resina Aniónica Débil es de tipo Macroreticular y Macroporosa conformada por Estireno-DVB. Y finalmente se reporta que la Resina Aniónica Fuerte es de tipo gel y de igual forma conformada por Estireno-DVB.

El hecho de que las tres resinas tengan una matriz estirénica, es decir, fabricadas a partir de una polimerización de Estireno con Divinilbenceno, da la ventaja de que a mayor porcentaje de DVB se tengan los siguientes beneficios en la operatividad de cada resina:

- Mayor rigidez.
- Mayor resistencia a agentes oxidantes.
- Mayor resistencia mecánica.
- Menor resistencia al choque osmótico.
- Menor capacidad de intercambio.

Como ejemplo se muestra el entrecruzamiento de la resina de intercambio Catiónica Fuerte en la siguiente figura:

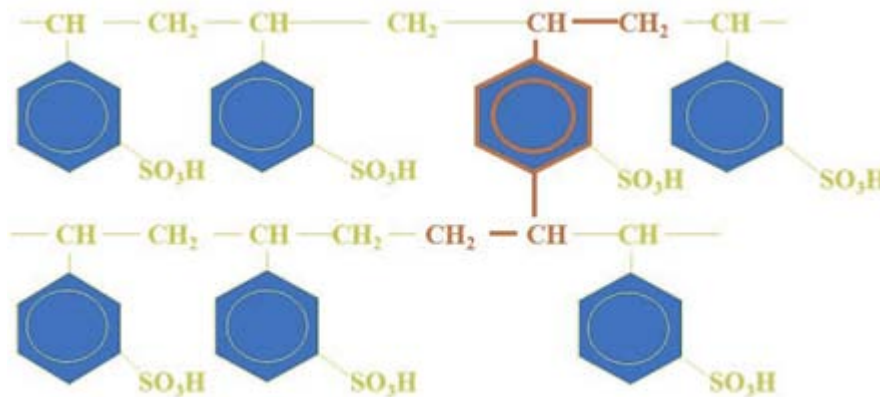


Figura 26. Matriz Polimérica Estirénica de la Resina Catiónica Fuerte Amberlite IR – 120 plus. La figura resaltada en color naranja representa el entrecruzamiento del polímero con el grupo funcional DVB con su respectivo grupo funcional intercambiable. Fuente: Rohm and Haas.

En la figura anterior claramente se observa que la resina posee un alto porcentaje de DVB. De igual modo, se observa que los sitios de intercambio están distribuidos de forma pareja y, por esto, la capacidad de intercambio es mayor que la de las resinas tipo Macroporosa.

De igual forma como bien se analizó la estructura de la resina, también es necesario analizar la forma física de la misma. El hecho de que la Resina Catiónica Fuerte y la Resina Aniónica Fuerte sean de tipo Gel trae como consecuencia:

- Que ocurra una fase continua, sin poros.
- Exista una alta capacidad de intercambio.
- Presente una estructura rígida.
- Pueda usarse en condiciones normales de operación.
- Sean menos costosas

Y finalmente el hecho de que la Resina Aniónica Débil sea de tipo Macromolecular y Macroporosa indica:

- Una fase discontinua y porosa.
- Mayor nivel de entrecruzamiento sin afectar la cinética de intercambio.
- Mayor resistencia mecánica (a la presión osmótica) y química.

- Menor capacidad de intercambio porque las esferas contienen menos sitios de intercambio.
- Uso general en pulimiento de condensados y aguas agresivas.
- Mayores costos.

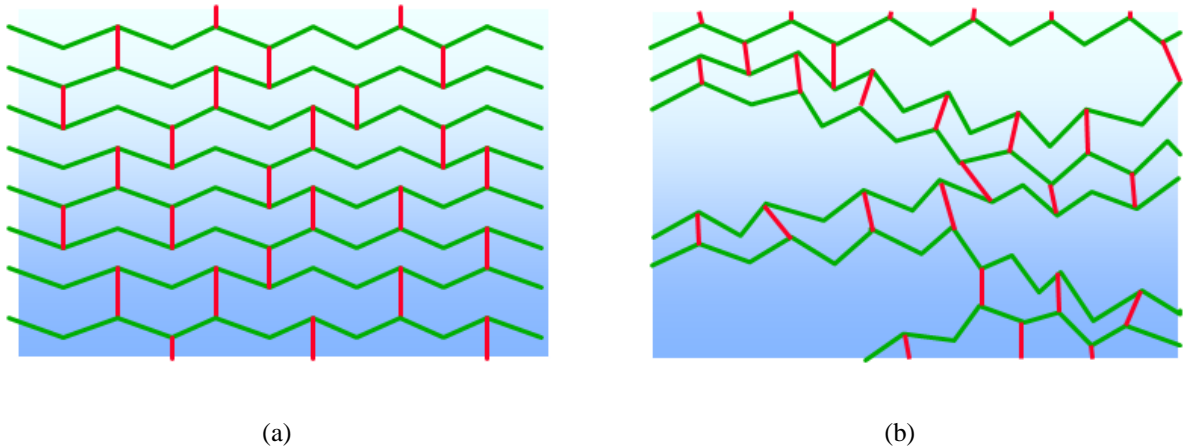


Figura 27. Representación de la Estructura de las Resinas Tipo Gel (a) y Tipo Macromolecular y Macroporosa (b). Fuente: Rohm and Haas

En la figura anterior se observa claramente cómo según la estructura físicoquímica de la resina, los grupos funcionales y el entrecruzamiento pueden mostrarse en mayor o menor cantidad, para el intercambio iónico, como lo es el caso (b) de la misma figura donde se observa un mayor grado de entrecruzamiento y por lo tanto, menos grupos funcionales que favorezcan el intercambio iónico.

V.5 Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración

A continuación se presentan los resultados de las condiciones de operación del proceso de Regeneración y de las Resinas correspondientes a cada equipo de intercambio iónico y del proceso de regeneración en general:

Tabla 25. Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración.

CONDICIONES DE OPERACIÓN	C1 Amberlite IR 120 Na		A1 Amberlite IRA 96		DS1 Amberlite IRA 402 Cl	
	Teórico	Exp.	Teórico	Exp.	Teórico	Exp.
Profundidad Mínima del Lecho (mm)	700	1.800	700	1.230	700	2.170
Volumen de Lecho (m ³)	-	4,58	-	2,79	-	4,93
Flujo de Servicio (BV/h)	5 – 40	10,92	5 – 40	17,91	5 – 40	10,15
Flujo de Servicio (m ³ /h)	-	50	-	50	-	50
Regenerante	HCl	HCl	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH
Nivel de Regenerante al 100 % (g/L resina)	50 – 150	196 ⁽²⁾	120*	250 ⁽²⁾	60 - 150	250 ⁽²⁾
Nivel de Regenerante al % concentración de regenerante en el tanque (g/L resina)	-	174,91	-	126,05	-	71,44
Concentración de Regenerante (%)	5 – 8	6,8 ⁽³⁾	2 – 4	3,3 ⁽³⁾	2 – 4	2,8 ⁽³⁾
Flujo (BV/h)	2 – 5	4,58	2 – 8	2,79	2 – 8	4,93
Flujo (m ³ /h)	-	4,49 ⁽⁴⁾	-	2,32 ⁽⁴⁾	-	2,32 ⁽⁴⁾
Tiempo Mínimo de Contacto (min)	30	20	30	50	30	50
Volumen de Lavado Lento (BV)	2	1,64	2	1,61	2	0,91
Volumen de Lavado Lento (m ³)	9,16	7,50	5,58	4,50	9,85	4,50
Volumen de Lavado Rápido (BV)	2 – 4	2,18	4 - 8	7,16	2 - 4	10,15
Volumen de Lavado Rápido (m ³)	9,16 – 18,32	10	11,77 – 22,33	20	9,85 – 19,70	50,00

* 120 % de la carga iónica.

Fuente: (1) Hojas de Ingeniería de las Resinas de Intercambio Iónico. Rohm and Haas.

(2) Hojas de Especificaciones de los Regenerantes.

(3) Valores Altos de Concentración Promedio de las Curvas de Elución Obtenidas en el presente Trabajo Especial de Grado. Ver Figuras 19 a la 21.

(4) Hojas de Especificaciones de las Bombas.

La altura de lecho fue medida luego de la toma de la muestra de las resinas justo antes de cerrar cada equipo de intercambio. Con las alturas tomadas se calculó el volumen de lecho de cada equipo obteniéndose los resultados reportados anteriormente en la Tabla 25. Como se observa claramente en dicha tabla, estos valores fueron de 4,58; 2,79 y 4,93 m³ de resina de intercambio iónico, respectivamente para la Resina Catiónica Fuerte, Aniónica Débil y Aniónica fuerte. Se hace notar que cada volumen

de lecho obtenido es el especificado por las Hojas de Ingeniería de cada Resina como se muestra en la tabla anterior, por lo tanto se deduce que el volumen de lecho cumple con los requerimientos del sistema.

El entrecruzamiento del polímero en las resinas de intercambio iónico consiste en la formación de enlaces carbono-carbono; estos enlaces en el momento de la regeneración evitan el sangramiento de la resina, es decir, se evita la pérdida de material de intercambio hacia los filtros de resina y si el entrecruzamiento es eficiente, conduce a que como en este caso, no exista una disminución del lecho (Skoog, 2005).

Así mismo se calculó la profundidad mínima del lecho, a partir de la altura de lecho de cada intercambiador. Dicha profundidad, como se observa en la Tabla 25, fue de 1.800, 1.230 y 2.170 mm respectivamente para la Resina Catiónica Fuerte, Aniónica Débil y Aniónica fuerte. Es de hacer notar que los valores anteriormente mencionados son mayores a la profundidad mínima requerida de lecho para cada una de las resinas, ya que como se muestra en la Tabla 25, el valor mínimo especificado en las Hojas de Ingeniería es de 700 mm para las tres resinas en estudio. En consecuencia resulta que cada una de las resinas se encuentra dentro de las especificaciones por el hecho de tener una profundidad superior a la mínima requerida. Sin embargo, es importante mencionar que en el Intercambiador Catiónico Fuerte C1 el distribuidor inferior del equipo se encuentra al descubierto.

El flujo de servicio en cada uno de los intercambiadores iónicos, es el agua de proceso. Este flujo posee una velocidad de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ en su paso por cada resina de intercambio. Al realizar el cálculo del flujo de servicio en unidades de BV/h resultó ser de 10,92; 17,91 y 10,15 BV/h respectivamente para la Resina Catiónica Fuerte, Aniónica Débil y Aniónica fuerte. Al comparar los resultados experimentales obtenidos con los requerimientos de operación, detallados en las Hojas de Ingeniería de cada resina de intercambio, se determinó que los valores hallados son los más adecuados a aplicar en el proceso, debido a que dichos resultados se encuentran dentro del rango especificado de 5 a 40 BV/h, como se muestra en la Tabla 25.

El regenerante utilizado para la Resina Catiónica Fuerte fue HCl, y para las resinas Aniónica Débil y Aniónica Fuerte fue NaOH. El hecho de utilizar HCl en lugar de otros compuestos como el H₂SO₄, para regenerar la Resina Catiónica Fuerte se encuentra en que el H₂SO₄:

- Ocasiona en la resina reacciones como la hidrólisis a través del grupo sulfato.
- Se producen reacciones secundarias.
- Ocasiona mayores costos de materia prima.
- Mayor riesgo en seguridad industrial.
- A pesar de que los ciclos de regeneración serían más cortos, se producirían mayores problemas de corrosión en el sistema lo que trae como consecuencia gastos de inversión y mayores riesgos de seguridad industrial.

Continuando el análisis, el nivel de regenerante al 100% que necesita ser aplicado a la Resina Catiónica Fuerte es 196 g/L de resina y las Resinas Aniónica Débil y Aniónica Fuerte necesitan 250 g/L de resina cada una para poder ser regeneradas. Los valores mencionados anteriormente fueron obtenidos de las Hojas de Especificaciones de los Regenerantes actualmente operativos, como se muestra en la Tabla 25. En la misma tabla se observa claramente que para cada una de las resinas estos valores son superiores al rango establecido por las Hojas de Ingeniería que especifican para la Resina Catiónica Fuerte un rango de 50 a 150 g/L de resina, para la Aniónica Fuerte un rango entre 60 y 150 g/L de resina y finalmente para la Resina Aniónica Débil un valor del 120% de la carga iónica.

Para analizar las razones del suceso mencionado anteriormente fue necesario examinar el nivel de regenerante que se necesita por litro de resina a la concentración especificada en los tanques de HCl y NaOH. Del estudio del proceso se determinó que el nivel de HCl necesario para regenerar la Resina Catiónica Fuerte es de 174,91 g/L de resina; y para regenerar a las resinas Aniónica Débil y Aniónica Fuerte se necesitaron 126,05 y 71,44 gramos de NaOH por litro de resina respectivamente. Se considera adecuado que el nivel de regenerante a una concentración menor al 100% sea mayor, ya que la resina requeriría una mayor cantidad del regenerante para

regenerarse. Sin embargo, considerando el nivel al 100%, las resinas de intercambio iónico operacionalmente se están regenerando con un nivel de regenerante mayor al requerido por el fabricante; para poder reactivar el proceso de producción diario.

Al determinar las concentraciones de regenerante necesarias para llevar a cabo el proceso de regeneración de cada resina, se encontró, a través de las Curvas de Elución elaboradas en el presente Trabajo especial de Grado (ver Figuras 19 a la 21), que los valores obtenidos son 6,8; 3,3 y 2,8 % respectivamente para la Resina Catiónica Fuerte, la Resina Aniónica Débil y la Resina Aniónica Fuerte. Dichos valores dilucidados a partir de dichas Curvas de Elución, se corresponden perfectamente con los rangos establecidos por las Hojas de Ingeniería, en las cuales como se muestra en la Tabla 25, cuyos valores se encuentran entre 5 y 8 % para la Resina Catiónica Fuerte y entre 2 y 4 % para las Resinas Aniónica Débil y Aniónica Fuerte. Sin embargo, el valor óptimo según la Rohm and Haas, empresa fabricante de las resinas, es 4,5% para todas las resinas. Este hecho también es una prueba de la eficiencia de la realización de las Curvas de Elución para determinar la correcta operatividad de los procesos de regeneración de las resinas de intercambio iónico.

El regenerante concentrado al llegar a la estación de dilución de la Planta Desmineralizadora de Planta Ampliación Tocoa, debe ser diluido a las concentraciones óptimas debido a que las altas concentraciones ocasionan el rompimiento del entrecruzamiento del polímero, es decir, la ruptura de los enlaces carbono-carbono, lo que traería como consecuencia el sangramiento de la resina como una pérdida de material de intercambio, por lo tanto una disminución del volumen de lecho y finalmente una variación en la capacidad de intercambio (Skoog, 2005).

Al analizar los flujos, inicialmente se determinó el flujo de las bombas que envían el HCl y el NaOH concentrados, desde los tanques de regenerantes hasta la estación de dilución. En el primer caso se encontró que la bomba de HCl envía un flujo de 4,56 m³/h, y la bomba de NaOH envía un flujo de 4,66 m³/h hacia la estación de dilución. Al estudiar los flujos de regenerantes a la entrada de cada intercambiador se encontró que para la regeneración de la Resina Catiónica Fuerte entra un flujo de 4,58 BV/h de

HCl, valor que se encuentra en el rango recomendado por las Hojas de Ingeniería que especifican que el mismo debe estar entre 2 y 5 BV/h. En el caso de la Resina Aniónica Débil entra un flujo de 2,79 BV/h de NaOH al intercambiador, que de la misma forma se encuentra en el rango recomendado por las Hojas de Ingeniería que indica que el mismo debe estar entre 2 y 8 BV/h. Y finalmente al intercambiador Aniónico Fuerte entra un flujo de 4,93 BV/h de NaOH, valor que también se encuentra en el rango recomendado por las Hojas de Ingeniería que especifican que el mismo debe estar entre 2 y 5 BV/h, tal cual se muestra en la Tabla 25.

Según el fabricante el Tiempo Mínimo de Contacto que debe tener el regenerante con la resina debe ser de 30 minutos, sin embargo como bien se explicó en los análisis de elución, el tiempo mínimo de contacto actual es de 20 min aproximadamente para la Resina Catiónica Fuerte, lo que se puede observar claramente en los Figuras 19 a la 21. Para las Resinas Aniónicas, sí se cumple el Tiempo Mínimo de Contacto entre el Regenerante y las Resinas.

Para corroborar que la última especificación de las resinas de intercambio iónico fuera la correcta, se determinó el volumen de lavado lento para cada resina, donde se encontró que los valores para las tres resinas fueron inferiores al especificado por las Hojas de Ingeniería, la cual especifica que debe ser de 9,16 m³ para la Resina Catiónica Fuerte, 5,58 m³ para la Resina Aniónica Débil y 9,85 m³ para la Resina Aniónica Fuerte; y como se observa en la Tabla 25, estos valores fueron inferiores a los mencionados con un valor de 7,50 m³ para la Resina Catiónica Fuerte y un valor de 4,50 m³ para las Resinas Aniónica Débil y Aniónica Fuerte. Al estudiar el volumen de lavado rápido en cada resina, se halló que para la Resina Catiónica Fuerte el valor fue de 10 m³, el cual se encuentra dentro del rango especificado por la Hoja de Ingeniería. En el caso de la Resina Aniónica Débil, el valor fue de 20 m³ el cual, al igual que para la Resina Catiónica Fuerte, se encuentra dentro del rango especificado por las Hojas de Ingeniería que indica que debe ser de 11,17 a 22,33 m³. Y finalmente para la Resina Aniónica Fuerte el valor debería estar entre 9,85 y 19,70

m³, y en su lugar fue de 50 m³ lo cual es mucho mayor al especificado en las Hojas de Ingeniería. Según las especificaciones de la compañía Rohm and Haas, el aumento del volumen de lavado puede indicar la existencia de materia orgánica en el sistema.

- Materia Orgánica dentro del Proceso de Desmineralización

En tratamiento de aguas industriales las resinas están para remover iones, no material orgánico. Cuando la elución no es 100% eficiente puede ser un indicador de que la materia orgánica se acumula dentro del sistema causando saturación y envenenamiento de la resina de intercambio iónico, en el caso de estudio las curvas de elución no son perfectas al 100% por lo tanto se deduce que la existencia de materia orgánica dentro del sistema es una posibilidad latente.

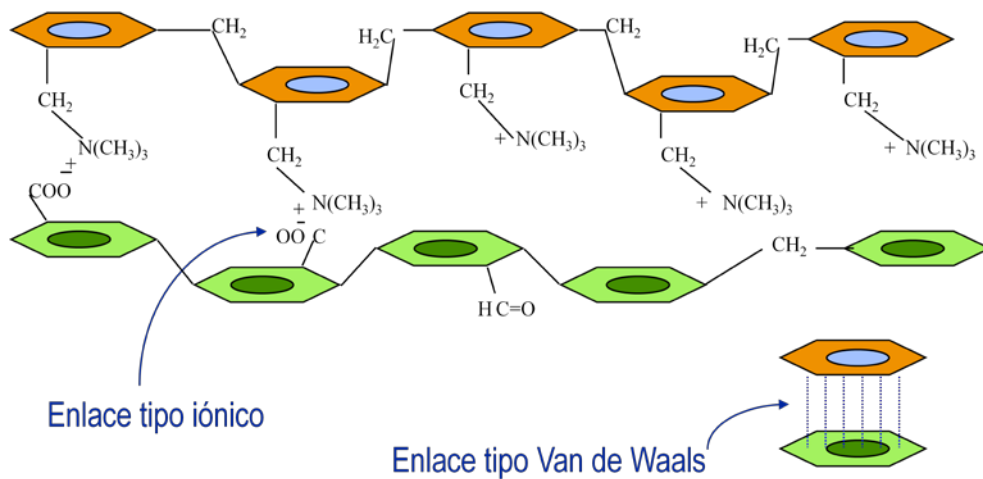


Figura 28. Resina Aniónica Fuerte Poliestirénica (color naranja) y Materia Orgánica (color Verde). Fuente: Rohm and Haas.

En la figura anterior se muestran los enlaces de tipo iónico y de tipo Van Der Waals que puede formar la Resina Aniónica Fuerte con la materia orgánica que pueda entrar al sistema por una inadecuada calidad del agua de entrada o por ineficiencias existentes en el filtro de carbón activado que se halle antes del sistema de desmineralización con resinas de intercambio iónico.

Según la Compañía Rohm and Haas, los indicadores de materia orgánica en el sistema son los siguientes:

- Reducción de la Alcalinidad
- Existencia de fuga de Sílice
- Existencia de fuga de Sodio
- Disminución del pH del agua
- Disminución de la Retención de Humedad
- Aumento del volumen de enjuague (lavado lento o rápido de las resinas de intercambio iónico).
- Envenenamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.

Debido a la cercanía de la Alcalinidad con los valores mínimos permitidos, al gran valor de Volumen de Lavado rápido obtenido para las Resinas Aniónicas en estudio y aunado a la presencia de contaminantes observados a través de la microscopía óptica en las resinas de intercambio, se sospecha la posible presencia de material orgánico dentro del sistema.

V.6 Control Automático de Nivel

Se propone en este Trabajo Especial de Grado como uno de los objetivos específicos, la evaluación de la colocación de un control automático de nivel en los tanques de regenerantes para efectuar una medición precisa de las cantidades de químicos requeridas por el proceso.

Para ello, en primer lugar se lleva a cabo una breve descripción del sistema para luego proceder a la evaluación.

Los tanques de regenerantes son cilíndricos, con casquetes esféricos en los extremos y se encuentran dispuestos en forma horizontal. Poseen 40 m³ de capacidad cada uno y se encuentran disponibles dos tanques de regenerantes para cada químico: ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, respectivamente.

En la Figura 29 se observan los tanques ubicados en el Patio de Tanques.



Figura 29. Tanques de Ácido Clorhídrico (anaranjado) e Hidróxido de Sodio (morado).

El ácido clorhídrico se almacena en los tanques a una concentración de 30% m/v y el hidróxido de sodio a una concentración de 50% m/v (ver Hojas de Especificaciones de los Regenerantes en el Apéndice C).

Los mismos son llenados mediante camiones cisterna que llegan al Patio de Tanques de las Plantas de Tratamiento de Agua. Esto evidencia que el proceso es de tipo por cargas, y semicontinuo durante la inyección, por lo cual no es de interés mantener el nivel de regenerantes en un valor fijo. Sin embargo, es importante llevar un registro de la cantidad de químicos empleada en cada regeneración y sería apropiado saber cuándo el nivel de regenerante es bajo para efectuar el pedido con tiempo.

Actualmente, los tanques de regenerantes cuentan con un visor externo que funciona por el principio de vasos comunicantes. No obstante, dichos visores no poseen graduación alguna y por este motivo, a los operadores se les dificulta la lectura del nivel. Es importante mencionar, además, que cualquier lectura inexacta afecta considerablemente el cálculo del volumen contenido o inyectado al proceso de regeneración.

Entonces, debido a la configuración del sistema y para satisfacer los requerimientos del proceso se sugiere colocar un sensor de nivel en los tanques de regenerantes el cual admita una programación para el cálculo del volumen de los mismos, en vez del

control automático de nivel. Así mismo, se sugiere instalar una alarma de baja en el tanque que alerte cuando el nivel del mismo llegue a un valor bajo.

La gamma de sensores de nivel para líquidos existentes en el mercado se clasifica en las siguientes categorías (Labat, 2000):

- a) Medida Directa: incluye los sensores de sonda, cinta, plomada y flotador.
- b) Basados en la Presión Hidrostática: como el manométrico, de burbujeo y presión diferencial.
- c) Basados en las Características Eléctricas: de tipo capacitivo, conductivo, ultrasónico, radiación y láser.

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de sensores más adecuados o generalmente empleados en esta aplicación, según el Departamento de Instrumentación y Control de la Planta.

✓ Sensor de Presión Diferencial

El medidor de Presión Diferencial consiste de dos orificios de purga de aire situados en el depósito por debajo y por encima del lecho. Un instrumento transmisor neumático o electrónico mide la presión diferencial posterior de los dos orificios mencionados que depende del nivel del lecho. El instrumento puede trabajar a temperaturas superiores a 300°C y posee una respuesta rápida (Sole, 2005).

En la Figura 30 se observa un esquema simple del medidor de presión diferencial.

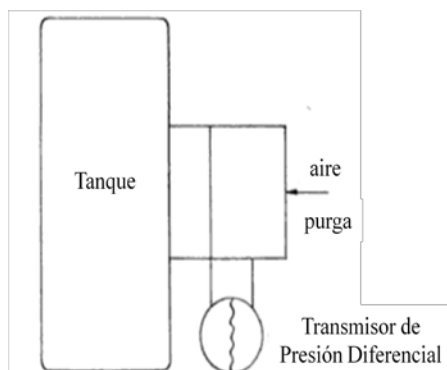


Figura 30. Medidor de Presión Diferencial.

✓ Sensor por Ultrasonido

El medidor por Ultrasonido consiste en un emisor de ondas sonoras de alta frecuencia (20-40 KHz) que se propaga por la fase gas hasta que choca con el líquido, se refleja y alcanza el receptor situado en el mismo punto que el emisor. El tiempo entre la emisión y la recepción es inversamente proporcional al nivel del líquido contenido en el tanque. Estos medidores son sensibles al estado de la superficie del líquido.

En la Figura 31 se observan distintos modelos de medidores por ultrasonidos.



Figura 31. Medidores por Ultrasonidos.



Para determinar el tipo de sensor a colocar en los tanques, se recurrió a la experiencia del Departamento de Instrumentación y Control de la Planta para conocer el tipo de sensores empleados en la medición del nivel en otros tanques. Los sensores empleados en otras aplicaciones de la Empresa son para medición del nivel de líquido del tipo medidores de presión diferencial y medidores por ultrasonido.

Para decidir qué tipo de sensor se sugerirá colocar, se aplicó el Método de Decisión Múltiple Binario MDMB (ver Tablas 88, 89 y 90 del Apéndice B).

El MDMB determinó que la mejor alternativa para este caso es el sensor de nivel por ultrasonidos, con un 51,1% de peso. Si bien los porcentajes obtenidos para ambas alternativas fueron similares, se tomó la decisión definitiva en base al costo y la facilidad de instalación.

Los modelos sugeridos corresponden a la marca Siemens y Vega. A continuación se presenta la Tabla 26 con las especificaciones de cada uno de ellos:

Tabla 26. Especificaciones Técnicas de los Medidores de Nivel por Ultrasonido.

		
Marca	Siemens	Vega
Serie	Echomax	Vegason
Modelo	ST-H	62
Rango Mínimo (m)	0,3	0,25
Rango Máximo (m)	10	8
Temperatura Mínima (°C)	-20	-40
Temperatura Máxima (°C)	65	80
Frecuencia (Hz)	44	-
Ángulo de Haz (°)	12	-
Dimensión Rosca (pulgadas)	1 y 2	1 1/2
Material Cápsula	ETFE	EPDM
Aplicaciones Comunes	Productos químicos, tanques líquidos	Líquidos y sólidos en todas las industrias, especialmente en tratamiento de aguas

Como se comentó anteriormente y debido a la forma de llenado de los tanques de regenerantes, se sugirió la instalación de alarmas de baja que indiquen cuando quede un nivel bajo de los químicos.

Las alarmas pueden emplear interruptores de tipo flotante, las cuales son de uso común en la industria.

En la Tabla 27 se presentan las especificaciones técnicas de los interruptores para alarmas.

Tabla 27. Especificaciones Técnicas de los Interruptores.



Los interruptores operan de la siguiente manera:

Un imán permanente forma parte del ensamble flotador que asciende y desciende con la variación en el nivel de líquido. Un segundo imán permanente se posiciona en el interior del interruptor para que las poleas adyacentes de los dos imanes se repelan entre sí a través de la pared no magnética del cuerpo del interruptor. Una variación en el nivel del líquido moverá el flotador y causará que el imán flotador se mueva y repela el imán del interruptor para generar una acción operativa de los micro contactos del interruptor.

V.6 Nueva Tecnología

Como punto adicional dentro del Trabajo Especial de Grado, se investigó acerca de una nueva tecnología aplicable al sistema. Entre las nuevas tecnologías disponibles para el Tren Principal de Desmineralización del agua se encuentra la Tecnología Amberpack.

Si se cuenta con un buen pretratamiento del agua cruda llevando la turbidez a 1-2 NTU, la regeneración es en contracorriente lo cual fluidiza la resina, la resina es de partícula uniforme y hay una manera de remover periódicamente las partículas partidas, no habría necesidad de retrolavar en cada regeneración y, por lo tanto, el

espacio existente entre el lecho y el distribuidor superior del equipo se podría aprovechar. Entonces, bajo estas condiciones se puede cambiar la tecnología actual a Tecnología Amberpack.

Las resinas empleadas en esta tecnología son de tipo Amberjet 1200, y en comparación con las de tipo Amberlite, poseen mayor capacidad de intercambio (superior al 12%), menor requerimiento de enjuague (alrededor de un 50% menos), ocasionan menores caídas de presión en los equipos y no obstruyen los colectores ya que las resinas no poseen partículas finas.

La Tecnología Amberpack ofrece regeneración en contracorriente lo que conlleva a altas capacidades de intercambio, menor consumo de regenerantes y a una excelente calidad de agua; también conlleva a unidades empaquetadas con resina, disminuyendo así los requerimientos de enjuague y finalmente, ofrece un sistema de retrolavado simple y eficiente.

El principio de operación es el mostrado en la siguiente figura:

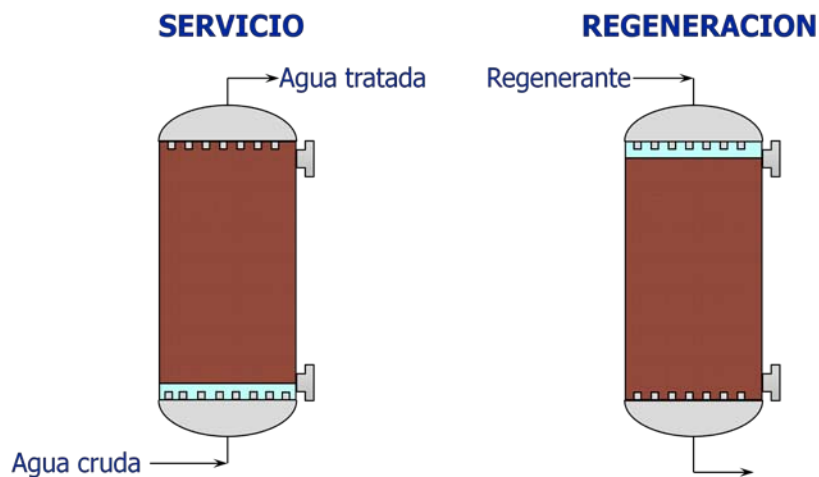


Figura 32. Principio de Operación de la Tecnología Amberpack.

El agua cruda entra a la unidad de abajo hacia arriba y compacta la resina contra los colectores superiores. Por su parte, el regenerante entra de arriba hacia abajo descompactando la resina.

El retrolavado se llevaría a cabo de la siguiente manera, mostrada en la Figura 33:

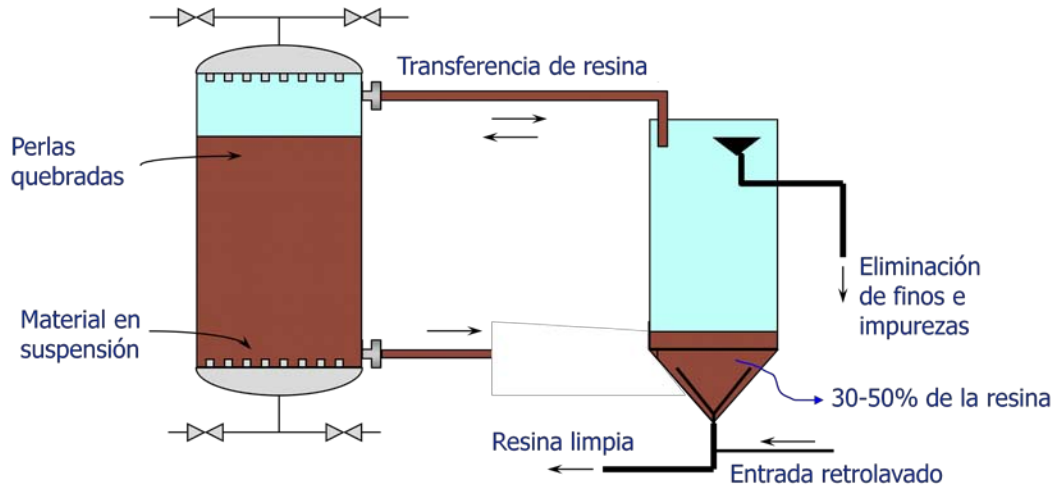


Figura 33. Retrolavado de la Resina.

En el retrolavado, normalmente la resina se saca por la parte inferior y se introduce por la superior. Esta operación se hace cada seis meses o cuando sea necesario, es decir, cuando haya un incremento del 50% en la caída de presión.

El diseño de las válvulas de la Tecnología para cada equipo, queda como se muestra a continuación:

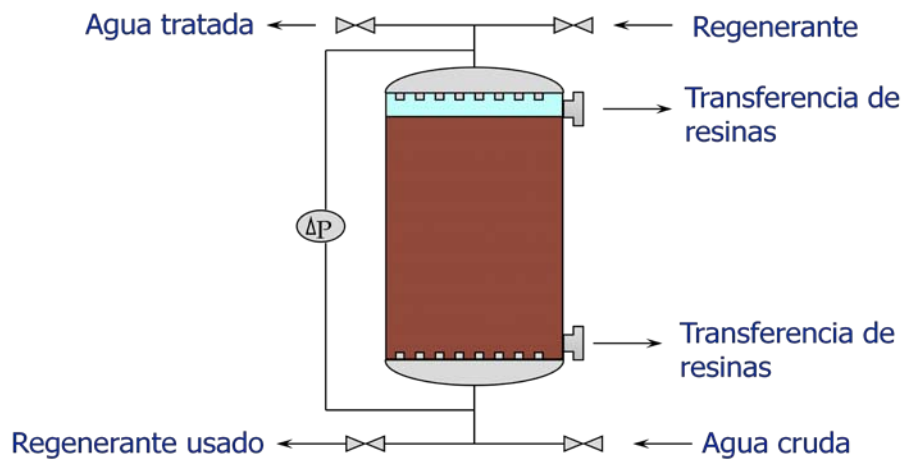


Figura 34. Diseño del Equipo de Intercambio con la Tecnología Amberpack.

En la Figura 34 se observa que el servicio quedaría hacia arriba, es decir, entraría por la parte inferior del equipo y saldría por la parte superior. De este modo, luego del intercambio el lecho quedaría estratificado en orden de selectividad y densidad crecientes desde la parte superior del equipo. También, el enjuague es más eficiente y requiere menos volumen de agua ya que al realizarse de arriba hacia abajo no ocurren mezclas con el regenerante que es más denso que el agua.

Ventajas de Amberpack

- ✓ Con este sistema se obtiene un agua de mayor calidad: la conductividad estaría alrededor de 2 mS/cm y la fuga de sílice en 40 ppb aproximadamente.
- ✓ El desplazamiento en los equipos es más sencillo ya que no hay zonas muertas en los mismos.
- ✓ El retrolavado se efectúa cada 6 meses.
- ✓ Se utiliza menos regenerante por lo cual el consumo de agua de regeneración es menor.

Esto ocasiona ahorros económicos. En la Tabla 28 se presentan los costos de los regenerantes con la tecnología actual.

Tabla 28. Costo de los Regenerantes por Regeneración.

Químico	BsF/ Kg	Equipo	Masa de Regenerante Inyectado (Kg)	Gasto por Regeneración (BsF)	Gasto Anual (BsF)	Gasto Anual (BsF) AMBERPACK
HCl	1,10	C1	786,29	864,92	315.697,15	142.063,72
			775,03	852,54		
			842,20	926,42		
NaOH	2,23	A1	270,15	602,43	219.886,57	87.954,63
			331,20	738,58		
			454,35	1013,21		
		DS1	270,15	602,43	219.886,57	87.954,63
			331,20	738,58		
			454,35	1013,21		
Total (BsF)					755.470,30	317.972,98

En la figura mostrada a continuación se observa el ahorro en el consumo de regenerantes para cada tecnología:

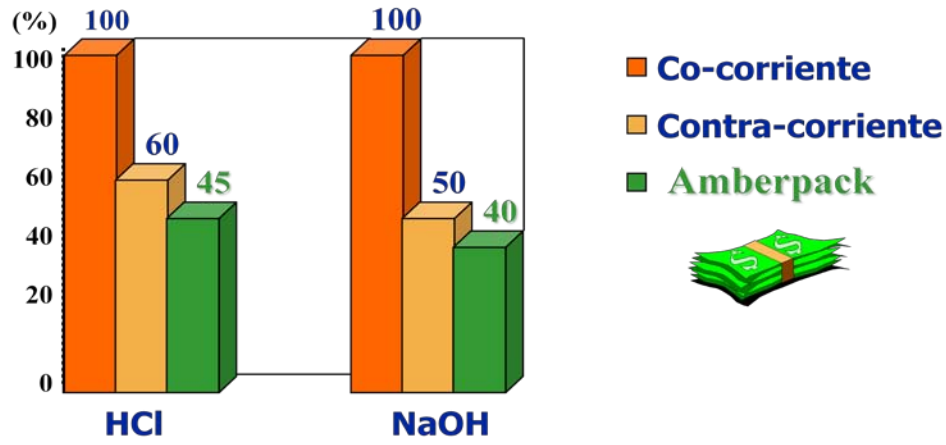


Figura 35. Ahorro en el Consumo de Regenerantes para cada Tecnología.

Como se observa en la Figura 35, se tiene un ahorro en el consumo de regenerante con la tecnología Amberpack de un 40% por lo cual los costos se reducirían en un 40% igualmente. Es decir, el costo anual disminuiría del orden de los 700.000 BsF. al orden de los 300.000 BsF, casi un 50% menos; y aunque la inversión inicial de Amberpack es alrededor del 20% mayor a la de la tecnología actual, las ventajas mencionadas arriba marcan la diferencia.

CONCLUSIONES

Finalmente, para lograr Optimizar el Consumo de Regenerantes en el Tren Principal de la Planta Desmineralizadora del CGJSB, se proponen las siguientes conclusiones del Trabajo Especial de Grado realizado:

✓ **Análisis de Elución**

- De los perfiles de pH y conductividad se concluye que se llevó a cabo el Proceso de Regeneración de forma correcta. También se concluye de la conductividad que los valores indican gran presencia de sólidos disueltos en los eluatos a la salida de los tres intercambiadores.
- En el Intercambiador Catiónico Fuerte C1 se debe disminuir la concentración de regenerante a la entrada al 4,5% introduciendo más agua de dilución o disminuyendo la cantidad de regenerante inyectada manteniendo el mismo flujo de agua.
- En el Intercambiador Aniónico Débil A1 se debe disminuir la concentración de regenerante a la entrada al 4,5% introduciendo más agua de dilución o disminuyendo la cantidad de regenerante inyectada manteniendo el mismo flujo de agua.
- En el Intercambiador Aniónico Fuerte DS1 se debe disminuir la concentración de regenerante a la entrada al 4,5% introduciendo más agua de dilución o disminuyendo la cantidad de regenerante inyectada manteniendo el mismo flujo de agua.
- Aumentar el tiempo de inyección en el Intercambiador Catiónico Fuerte C1.

- Pasar la soda directamente del DS1 al A1 sin hacer la Etapa de Bote del Proceso de Regeneración ya que debido al tipo de resina no hay acumulación iónica, siempre y cuando la concentración de sílice a la salida del Intercambiador Aniónico Fuerte no sea muy alta.
- La relación de 2 entre la corriente antidifusora y la corriente de regenerante entrante a los equipos aniónicos se cumple, no así para el Intercambiador Catiónico Fuerte.
- Establecer la dosificación de regenerante en un valor fijo, preferiblemente en el valor para el cual se obtenga la concentración óptima, para evitar las variaciones existentes de operador en operador.
- De las observaciones realizadas en el Tren Principal durante la realización del Análisis de Elución se concluye que es necesario modernizar los medidores de resistividad a la salida de los Intercambiadores Aniónicos A1 y DS1; o colocar medidores de conductividad en línea donde se requiera.
También se concluye que es necesario colocar una bomba de inyección del agua de dilución independiente de la bomba de inyección de los regenerantes, que también serviría para inyectar el agua de la corriente antidifusora para evitar las variaciones de presión en el sistema.
- De las observaciones realizadas en la Estación de Dilución se concluye que es necesario colocar los medidores de flujo de ácido y soda en la estación de dilución para llevar a cabo una dilución precisa y en el valor óptimo. De igual modo, es necesario modernizar los medidores de flujo del agua de dilución ya que los mismos se encuentran muy deteriorados.

✓ **Caracterización del Agua**

- Los resultados obtenidos para la Conductividad en el agua alimentada al proceso de Desmineralización cumple con los Parámetros de Calidad de la Electricidad de Caracas Planta Ampliación Tocoa.

- El Agua Desmineralizada cumple con los valores de conductividad requeridos para la alimentación del agua a las calderas.

- Los valores de STD obtenidos en las muestras de agua a la entrada del proceso, también se corresponde con las Normas de Calidad de Agua Potable y con el rango recomendado por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, De igual forma, los valores de STD en el agua desmineralizada se corresponden con los Parámetros de Calidad requeridos a la salida el proceso, para poder alimentar los procesos subsiguientes según los Requerimientos de Planta Ampliación Tocoa.

- Los valores de la Alcalinidad en las muestras de agua a la entrada del proceso se encuentran en un rango aceptable según las Normas de Calidad de Agua Potable, según los valores establecidos en Aguas para Consumo y finalmente según el Reporte de Calidad del Agua de producción para alimentación a calderas de Planta Hidrocapital. De igual forma se concluye que el agua de producción de la Planta Desmineralizadora cumple con los límites de permisibilidad de alcalinidad para calderas según las evaluaciones de diversas industrias, entre ellas Dinko Instruments.

- El pH del agua a la entrada del proceso se corresponde con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, y se corrobora al comparar con los requerimientos del las Aguas para Consumo y las Normas de Calidad para Agua Potable en Plantas de Potabilización. A su vez, el agua desmineralizada se encuentra dentro de del parámetro de calidad

de pH, manteniendo una estabilidad aceptada por los parámetros de calidad de Planta Ampliación Tocoa.

- Con respecto a la cantidad de Sílice en las muestras de agua de la entrada al proceso, se cumple por completo el requerimiento. Los valores de Sílice obtenidos luego del proceso de desmineralización se corresponden perfectamente con los parámetros de calidad previamente establecidos como requisito fundamental para la alimentación con agua a las calderas en el proceso aguas debajo de Planta Ampliación Tocoa.
- Se concluye que el agua en estudio cumple con el parámetro de calidad diaria de Sílice, el cual es el principal responsable de las incrustaciones en las calderas. A su vez se puede concluir que no hay de fuga de sílice, conclusión a partir de la cual se afirma que no existe pérdida de grupos activos ni acumulación de Sílice por alguna regeneración inadecuada de la Resina Aniónica Fuerte, ni acumulación de Sílice en la Resina Aniónica Débil proveniente de la regeneración de la Resina Aniónica Fuerte.
- La cantidad de iones Calcio en la entrada del proceso, se corresponde con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, con las Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización y con los requerimientos mencionados por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua. De igual forma el agua desmineralizada cumple con los requerimientos de la Norma Chilena 426, y los mencionados en la Norma COVENIN para Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales al igual que los de Nalco Chemical Company en su Manual del Agua.
- Satisfactoriamente se deduce que tanto a la entrada como a la salida del proceso de desmineralización la cantidad de iones Sodio en el agua cumple con los parámetros establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable en

Plantas de Potabilización y en los requerimientos de la Planta Desmineralizadora de Planta ampliación Tocoa. Esta es la razón por la cual se concluye que no existe fuga de Sodio. A su vez se está empleando la cantidad de ácido correcta en la regeneración de las mismas; además la ausencia de fuga de sodio hacia las calderas es un indicador de que no existe contaminación con hierro en los ácidos regenerantes y de la existencia del rango correcto de alcalinidad del agua.

- La cantidad de Ión Magnesio en el agua de entrada al proceso, se corresponde con las especificaciones de las Normas de Calidad de Agua Potable en Plantas de Potabilización, y las especificaciones de la Norma COVENIN 1431-82. En el caso de la cantidad de Ión Magnesio en el agua desmineralizada se afirma que existe un rango muy estrecho en el que no se puede asegurar el cumplimiento estricto de la Norma Chilena 426 ni de la Norma COVENIN para Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales debido a la sensibilidad del equipo utilizado. Sin embargo, el agua desmineralizada cumple con el rango de Ión Magnesio establecido por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, donde sí se podría garantizar el paso de una cantidad aceptable de Ión Magnesio hacia las calderas.
- Para el Hierro se determina que cumple rigurosamente con las normas establecidas a la entrada del proceso por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua, la Norma Chilena 426, y la Norma COVENIN para Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales. Mientras que a la salida del proceso de desmineralización existe un rango en el que no se puede asegurar el cumplimiento estricto de la Norma en cuanto al paso de Hierro hacia la caldera debido a la sensibilidad del equipo utilizado.
- No se puede concluir a través de valores numéricos del ión Potasio, ya que no pudo ser analizado con absorción atómica debido a la ausencia de una lámpara

adecuada para el análisis. Sin embargo, se asegura el cumplimiento de los parámetros establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua para alimentación de calderas, debido a que siempre se encuentra en cantidades menores a las del ión Sodio.

- La cantidad de Cloruros en el agua de entrada al proceso cumple con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, con las Normas de Agua para Consumo y en las Normas de Calidad de agua Potable, y con los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company en su Manual del Agua. Por su parte, a la salida del proceso de desmineralización no se pudo determinar su concentración exacta por la sensibilidad del equipo utilizado, sin embargo, se deduce que la cantidad de Cloruro está muy por debajo de las cantidades recomendadas en el agua de alimentación a calderas de la Rohm and Haas

- En cuanto a las cantidades de iones Sulfato y Nitrato obtenidas en el agua potable se concluye que se corresponden con los requerimientos establecidos en la Norma COVENIN 1431-82 para agua potable, con las Normas de Calidad de Agua Potable para Plantas de Potabilización y con los parámetros de calidad establecidos por Nalco Chemical Company. Al mismo tiempo se concluye que tal como lo indican los requerimientos de Planta ampliación Tocoa el Sulfato y el Nitrato fueron retirados en el proceso de desmineralización a través del intercambio iónico.

- ✓ **Propiedades de las Resinas**
 - Principalmente se concluye que existe la posibilidad de que las resinas de intercambio se encuentren contaminadas lo que sería un proceso natural por el uso de las mismas, sin embargo de existir dicha contaminación no es un indicador de que la resina esté o no funcionando de la manera más correcta, ya que la vida útil de las mismas es aproximadamente de 5 años, según las Hojas de Ingeniería proporcionadas por la Rohm and Haas.

- Seguidamente se concluye que el Contenido de Humedad en las resinas de intercambio iónico se encuentra dentro de los parámetros establecidos en las Hojas de Ingeniería de cada resina lo cual indica que no hay rompimiento del entrecruzamiento del polímero ni tampoco existe pérdida de funcionalidad ni ensuciamiento del material de intercambio.
- Debido a que la Densidad de cada resina también se encuentra dentro de los requerimientos establecidos en las Hojas de Ingeniería, se puede concluir relacionando la densidad del material de intercambio con el funcionamiento de las unidades en operación, donde se deduce que los contenedores de las resinas de intercambio se encuentran operando internamente de una manera propicia como para no modificar el volumen de una cantidad conocida de gramos de las resinas de intercambio.
- El Coeficiente de Uniformidad y el Tamaño de Partícula, se encuentran en el rango especificado en las Hojas de Ingeniería correspondientes a cada resina de intercambio iónico. Éste hecho implica que el tamaño de partícula de cada resina posiblemente no ha cambiado mucho desde el primer momento de uso del material de intercambio y en consecuencia cada resina funciona con propiedades similares a las que tenía en el instante de su adquisición.
- Las resinas de intercambio iónico presentan una Capacidad de Intercambio correspondiente a la indicada en las Hojas de Ingeniería lo que sugiere que el intercambio iónico es el adecuado y de igual forma, que las resinas se encuentran en su capacidad idónea de funcionamiento.
- El hecho de que las tres resinas tengan una matriz estirénica, es decir, fabricadas a partir de una polimerización Estireno con Divinilbenceno, trae el primordial beneficio de que a menor porcentaje de DVB, se encuentre la posibilidad de tener más grupos intercambiables, aumentando de esa forma la capacidad de intercambio de la resina.

✓ **Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración**

- La profundidad mínima de lecho, el volumen de lecho y el flujo de servicio en los recipientes de intercambio iónico en el proceso operativo actual, son los adecuados debido a que se corresponden con las cantidades recomendadas en las Hojas de Ingeniería para cada una de las resinas de intercambio.
- Al evaluar que el regenerante utilizado para la Resina Catiónica Fuerte es HCL y para las resinas Aniónica Débil y Aniónica Fuerte es el NaOH, se concluye que son los regenerantes más apropiados debido a que en comparación con otros reactivos, no producen reacciones secundarias, ocasiona menores costos de materia prima, menor riesgo industrial; y a pesar de que el HCl ocasiona ciclos de regeneración con duración más larga que otros reactivos como el H_2SO_4 , genera menores riesgos de corrosión y mayor seguridad industrial.
- El Nivel de Regenerante al 100% como requisito operacional actualmente es superior al establecido en las Hojas de Ingeniería para cada resina de intercambio. Se concluye que es necesario disminuir el Nivel de Regenerante al 100%.
- El nivel de regenerante que se necesita actualmente por litro de resina a la concentración especificada en los tanques de HCl y NaOH, se encuentra en valores superiores a los del Nivel de Regenerante al 100% y dentro de los rangos. Se concluye que esto es usualmente normal.
- De igual forma se concluye que para poder regenerar la resina, con la cantidad de regenerante por litro de resina, establecida en las Hojas de Ingeniería se debe asegurar una alimentación de regenerante al proceso cuyas concentraciones sean de 4,5% respectivamente para cada resina. Dichos valores fueron dilucidados a partir de dichas Curvas de Elución y se corresponden perfectamente con los rangos establecidos por el fabricante.

- Una vez estudiados los flujos enviados por las bombas desde los tanques de regenerantes concentrados hasta la estación de dilución, se encontró que los flujos de regenerante diluidos en la entrada de cada intercambiador iónico, se corresponden con los recomendados en las Hojas de Ingeniería.
 - Una vez estando el regenerante dentro de cada intercambiador iónico correspondiente, su tiempo de contacto con la resina fue de 20 minutos y 50 minutos, valor obtenido a partir de las curvas de elución, para el Intercambiador Catiónico Fuerte y los Intercambiadores Aniónicos respectivamente.
 - Se concluye que el Volumen de Lavado Lento actualmente es menor al especificado en las Hojas de Ingeniería para las tres resinas de intercambio iónico.
 - El Volumen de Lavado Rápido se encuentra dentro del rango establecido en las Hojas Ingeniería para las Resinas Catiónica Fuerte y Aniónica Débil, mientras que para las Resina Aniónica Fuerte fue mucho mayor al expuesto en las Hojas de Ingeniería, hecho que podría indicar la existencia de materia orgánica en los Intercambiadores Aniónicos y que posiblemente se hayan contaminado las resinas según indicaciones del material de la Rohm and Haas Company. Éste último se debe disminuir.
- ✓ **Materia Orgánica dentro del Proceso de Desmineralización**
- Según los análisis de las curvas de elución, las cuales no son por completo perfectas, se deduce que es posible la existencia de materia orgánica la cual se acumula causando saturación y envenenamiento de la resina según la compañía Romh and Haas. A su vez, otros indicadores como la cercanía de la Alcalinidad con los valores mínimos permitidos, grandes Volúmenes de Enjuague Rápido obtenidos en el intercambiador Aniónico Fuerte y la

presencia de contaminantes observados a través de la Microscopía Óptica en las resinas de intercambio, podrían indicar la presencia de material orgánico dentro del sistema.

✓ **Justificación de la necesidad del Empleo de las Resinas de Intercambio Iónico y su Disposición**

- Al evaluar la necesidad de utilización de cada resina y su disposición dentro del sistema se encontraron en los siguientes aspectos:
 - a) Al usar inicialmente una Resina Catiónica Fuerte de grupo funcional Sulfónico se remueve todo catión disociado en solución. Regeneradas con ácido sirven como lecho primario en los procesos de desmineralización, y finalmente transforman toda sal en cantidad equivalente del ácido correspondiente.
 - b) Al usar seguidamente una Resina Aniónica Débil cuyo grupo funcional es una amina terciaria, se pueden remover ácidos fuertes como HCl y H₂SO₄, protegiendo a las Resinas Aniónicas Fuertes.
 - c) Al colocar finalmente una Resina Aniónica Fuerte Tipo II, cuyo grupo funcional es una Amina Cuaternaria, es decir que son muy alcalinas, se asegura la remoción de todos los aniones disociados en solución incluyendo Bicarbonatos y grandes cantidades de Sílice.

RECOMENDACIONES

✓ **Recomendaciones Generales**

1. Acerca de las Instalaciones del Tren Principal

- Colocar un cobertizo en los tanques de regenerantes para evitar el ambiente agresivo, por el salitre, en el que se encuentran los mismos.
- Dotar de nuevos recuperadores de resinas ya que los que se utilizan actualmente están deteriorados.
- Cambiar el material del filtro de carbón activado cada 3 meses o emplear filtro de arena antracita.

2. Acerca del Estudio de Elución

- Realizar el Estudio de Elución por lo menos una o dos veces al año para evaluar el desempeño mecánico de los equipos de Intercambio Iónico.
- Emplear el regenerante usado en la regeneración del intercambiador aniónico fuerte para regenerar el intercambiador aniónico débil (Nalco, 1998), siempre y cuando la carga de sílice entrante al Intercambiador Aniónico Débil no sea muy alta.

3. Acerca de la Caracterización del Agua

- Realizar una caracterización del agua mensual de la Planta Desmineralizadora Ampliación Tocoa que incluya: medición de pH, conductividad, sílice como SiO₂, STD, Alcalinidad como CaCO₃, análisis catiónico de iones sodio, calcio, magnesio hierro, y un análisis aniónico de iones cloruro, sulfato y nitrato con la finalidad de garantizar una calidad correcta del agua de alimentación hacia las calderas.
- Realizar un Análisis Cromatográfico de Magnesio e Hierro en el agua desmineralizada aplicando cromatografía líquida acondicionada para Cationes aunado al uso de una columna concentradora para determinar si realmente

existe paso de Magnesio e Hierro hacia las calderas y a partir de allí poder tomar las medidas correspondientes. Así mismo, se recomienda utilizar un equipo con mayor sensibilidad que el empleado en el presente Trabajo Especial de Grado.

- Realizar un análisis del ión Potasio mediante absorción atómica utilizando una lámpara adecuada para Potasio en el análisis y de esta manera confirmar la ausencia de Potasio en el agua que alimenta las calderas.
- Realizar un Análisis Cromatográfico de Cloruro en el agua desmineralizada aplicando cromatografía líquida acondicionada para Aniones y con el uso de una columna concentradora, determinar las cantidades exactas de Cloruro que pasan hacia las calderas, y a partir de allí poder comparar con los resultados obtenidos el primer día de operatividad de las resinas de intercambio iónico, ya que en el presente Trabajo Especial de Grado no se contaba con la columna concentradora.
- Se recomienda la realización de un estudio del filtro de carbón activado tanto para la remoción de cloro como para la remoción de materia orgánica, estudio que podría dar continuidad al presente Trabajo Especial de Grado.

5. Acerca de las Propiedades de las Resinas

- Reemplazar anualmente alrededor del 10% de la resina catiónica y del 20% de la resina aniónica.
- De igual forma se recomienda realizar anualmente los análisis de Contenido de humedad, Densidad, Coeficiente de Uniformidad y el Tamaño de Partícula, según la Norma ASTM, al igual que en el presente Trabajo Especial de Grado.
- Se recomienda la realización del análisis de la Capacidad de Intercambio Fuertemente Básica de las Resinas Aniónicas con la compañía fabricante de las resinas, en este caso Rohm and Haas, para poder tener completa seguridad de la eficiencia en la capacidad de intercambio de la resina en estudio.

6. Acerca de las Condiciones de Operación del Proceso de Regeneración

- Se recomienda principalmente realizar una evaluación periódica, por lo general una vez por año, de las siguientes condiciones de operación: Profundidad mínima de lecho, volumen de lecho, flujo de servicio, masa de regenerante al 100% por litro de resina, masa de regenerante al % de concentración especificada en los tanques de regenerante, concentración de regenerante adecuada, flujo de regenerantes, tiempo mínimo de contacto y finalmente un análisis del volumen de lavado lento y del lavado rápido de cada resina de intercambio iónico.
- Se recomienda disminuir el nivel de regenerante de concentración especificada en los tanques de HCl y NaOH, a la cantidad especificada en las condiciones de operación de las Hojas de Ingeniería.
- Mantener en la medida de lo posible los valores de las concentraciones de regenerante alimentadas a la Planta Desmineralizadora. Y de no asegurar el mantener las concentraciones de regenerantes en los valores establecidos se recomienda según el fabricante lo siguiente:
 - (a) Si el regenerante se encuentra en un valor por debajo de la concentración requerida se debe inyectar el regenerante durante un mayor tiempo (más de 25 min en la etapa de inyección) ó diluir menos el regenerante en los mismos 25 min de inyección, manteniendo de igual forma un tiempo de contacto de 30 minutos como valor mínimo requerido.
 - (b) Si el regenerante se encuentra en un valor por encima de la concentración requerida: se debe inyectar el regenerante durante un menor tiempo (menor a 25 minutos en la etapa de inyección) ó diluir más el regenerante en el mismo tiempo, manteniendo de igual forma un tiempo de contacto de 30 minutos como valor mínimo requerido.
- Se recomienda prolongar el tiempo de contacto de regenerante a 30 min como un valor mínimo especificado en las Hojas de Ingeniería.

- También se recomienda según las capacidades operativas aumentar el volumen de lavado lento de cada una de las resinas en estudio al valor especificado en las Hojas de Ingeniería, a través de las siguientes modificaciones:
 - (a) Aumentar el flujo de lavado lento para cada una de las resinas en estudio.
 - (b) Disminuir el tiempo de duración de la correspondiente etapa en el proceso de regeneración para cada una de las resinas.
- Finalmente se recomienda según las capacidades operativas disminuir el volumen de lavado rápido para la resina Aniónica Fuerte.

7. Acerca de la Materia Orgánica dentro del Proceso de Desmineralización

- Se recomienda la realización de un estudio del filtro de carbón activado para analizar su eficiencia en cuanto a la retención de materia orgánica. A su vez, se recomienda la realización de estudios analíticos para la determinación del contenido de materia orgánica en el sistema. Y de ser afirmativo lo anterior se podría hacer un estudio para determinar la factibilidad del uso de resinas acrílicas las cuales poseen poca afinidad por la materia orgánica, mayor resistencia al envenenamiento orgánico, y una menor cantidad de agua de enjuague; y por lo tanto no existirían acumulaciones de materia orgánica dentro del sistema que puedan envenenar la resina.
- Se recomienda realizar un estudio más profundo y adecuado para determinar si realmente las resinas se encuentran contaminadas actualmente.

✓ **Recomendaciones de Seguridad**

1. En fugas y derrames:

- Para los tanques o cilindros en uso se recomienda que las conexiones estén firmemente apretadas para evitar fugas.
- Verificar que las juntas de válvulas de los sistemas de tuberías que transporten ácidos, sustancias alcalinas o líquidos corrosivos a presión, estén provistas de

dispositivos de protección (mamparas o pantallas de metal), y de dispositivos para recoger los fluidos que ocasionalmente se derramen, según el Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo (RCHST, Título VI, Capítulo II, Sección Tercera, Artículo 485 y 493).

- Durante una fuga o un derrame se debe evitar que las sustancias peligrosas lleguen a fuentes de agua naturales y suelos produciendo una contaminación ambiental grave.

Estas fugas o derrames serán tanto más importantes cuanto mayor sea el precio del producto perdido. De aquí que los medios de contención sirvan también para recuperar el producto derramado y permitir su tratamiento.

Según la EPA (Environmental Protection Agency), un contenedor secundario es un sistema de almacenamiento de emergencia temporal, diseñado para retener pérdidas o derrames de tanques que contienen sustancias peligrosas.

Un sistema de contención secundario debe estar equipado con un sistema de detección de pérdidas capaz de detectar una falla, ya sea en la estructura de contención primaria (el tanque contenedor mismo) o secundaria, dentro de las 24 horas o en el menor tiempo practicable. Estos sistemas pueden ser:

- Sensores de conductividad térmica
- Sensores de resistividad eléctrica
- Detectores de vapores
- Inspección visual diaria

En todos los casos, un sistema de contención secundario debe resistir la presión lateral a la altura máxima del líquido que puede retener.

Las formas de contención y conducción más utilizadas son las siguientes:

a) Terrenos con pendientes

- Provistos de diques o zanjas para conducir los líquidos derramados a zonas alejadas de los tanques para almacenarlos o eliminarlos sin peligros.

b) Muros de contención perimetrales

- Su función es evitar la extensión hacia áreas exteriores a la zona de almacenamiento, de las pérdidas y derrames de líquidos peligrosos. Estos rodean a uno sólo o a un conjunto de tanques de almacenamiento y están contruidos de material impermeable y resistente al contacto con las sustancias a retener.
- Los materiales de construcción generalmente usados son: membranas sintéticas, concreto, arcilla, bentonita, tierra compactada, cemento o asfalto.
- Capacidad: debe poder contener el 100% del contenido del tanque más grande que existe dentro de sus límites, más un plus para contener agua de lluvia, si los tanques están a la intemperie, equivalente a la máxima cantidad precipitada en 24 horas en los últimos 25 años en la zona de localización.
- Se deberán colocar diques alrededor de los tanques para evitar su corrosión por contacto de los líquidos derramados con el tanque, drenar el agua de lluvia y de incendio y otras infiltraciones que puedan haber.
- Cuando varios tanques grandes estén dentro del mismo muro de contención, una opción es instalar paredes intermedias entre los tanques, para que pequeños derrames no afecten a los tanques anexos.
- Para el caso especial de prevención de mezcla accidental de sustancias incompatibles almacenadas, los tanques o recipientes que las contengan deberán estar separados entre sí y ubicados dentro de diques independientes.

- Para accionar válvulas o acceder a la cubierta de los tanques que almacenen líquidos inflamables a temperatura ambiente, no se deberá pasar por debajo del borde superior del dique correspondiente para evitar aspirar vapores en una concentración peligrosa para la persona.

c) Bandejas

- Se disponen debajo de los recipientes o tanques para recogida y conducción de los derrames a un contenedor distante mediante tuberías por gravedad.
- Para localización elevada, se construyen con material metálico.
- Pueden ser muros de 20 a 30 cm de altura con rampas en los accesos, contruidos con material de obra. En estos casos, los tanques pueden descansar sobre el suelo, o sobre cojinetes, cunas o anillos.

d) Cámara subterránea

- Es un compartimento subterráneo que contiene las pérdidas que no son visibles para el operario.
- Se puede construir con pisos y paredes de concreto, recubiertos por un material impermeable tanto exteriormente (evitar infiltración de agua) como en el interior, caso en el cual, además, debe ser compatible con la sustancia a retener.
- Los tanques pueden descansar sobre el suelo o sobre cunas dentro de esta cámara.
- Se puede rellenar la cámara con tierra compactada para soportar estructuralmente los tanques y prevenir una explosión de material que pueda entrar en ignición fácilmente.

e) Tanques de doble pared

- Es un tanque completamente cerrado dentro de otro con sistema de detección de pérdidas.
- Materiales de construcción: metal protegido contra corrosión o con una membrana sintética, epoxis, fibra de vidrio.

- Capacidad: debe poder contener el 100 por ciento del contenido del tanque interior.

f) Accesorios complementarios

- Canaletas, encamisados, tuberías de doble pared, pendientes para limitar el alcance de derrames, sistema especial para drenaje de agua de lluvia y agua de extinción de incendio.
- Los desagües para drenaje de agua deben estar normalmente cerrados y abrirse en caso de necesidad.
- La ruta de un sistema de drenaje no debe exponer al fuego a tanques e instalaciones aledañas en el caso de conducir líquidos en estado de ignición.

Muros Protectores Antifuego

Además de los sistemas de contención secundaria, es necesaria la existencia de muros resistentes al fuego como a los efectos de una explosión con el fin de evitar la propagación del incendio y actuar como barrera ante la onda destructiva de presión y proyectiles de restos de materiales o sustancias peligrosas. La capacidad de estos muros para soportar las cargas térmicas se establece en términos de resistencia al fuego (RF), cuyos valores son obtenidos mediante ensayos estandarizados tales como las Normas UNE (Una Norma Española) 23093, 23102, 23702 a 23735. En la Norma NFPA (National Fire Protection Association) 30 se puede encontrar datos respecto a las características, diseño y aplicación de estos materiales para calorifugado. Además, se debe tener en cuenta la resistencia de estos muros a los efectos de una explosión en términos de presión, tiempo y distancia, que podrá encontrarse en normas especializadas (NFPA 69).

La Tabla siguiente relaciona las distancias mínimas necesarias a mantener según la resistencia al fuego de los muros de protección utilizados.

Tabla 29. Distancias Mínimas de Resistencia al Fuego (RF)

Distancias mínimas (m)	Resistencia al fuego (RF)	
Sin requerimiento de distancia mínima	240	Corresponde a más de 2 horas de resistencia al fuego
$D_{\text{mín}} \geq 7,6$	120	Corresponde a 2 horas de resistencia al fuego.
$D_{\text{mín}} \geq 7,6$ (Para muros que separan sustancias incompatibles entre sí)	120	Corresponde a 2 horas de resistencia al fuego

Adicionalmente, se pueden aplicar Medidas de Prevención Complementarias:

Un producto químico (o un conjunto de los mismos) presenta un peligro potencial que puede desencadenar daños durante su transporte, descarga, almacenamiento o uso, ocasionando consecuencias graves en las personas, el medio ambiente y en las instalaciones de la planta industrial.

Con el fin de evitar o atenuar las consecuencias de estos peligros, se deberá desarrollar:

- a) Sistemas de prevención.
- b) Sistemas de protección y mitigación: estos comprenden medidas de protección pasivas y activas adecuadas para defensa contra incendios:
 - Pasivas (reducen la magnitud de las consecuencias):
 - Distancias mínimas entre tanques e instalaciones
 - Muros de contención de derrames
 - Medios para la conducción de derrames
 - Muros protectores
 - Aislamiento térmico e ignifugación
 - Ventilación
 - Vías de acceso y escape
 - Inertización de espacios cerrados

- Activas (dispositivos de seguridad que se activan automáticamente o manualmente):
 - Protección e instalación para la lucha contra incendios
 - Cortinas de agua, pulverizadores
 - Válvulas de seccionamiento

2. Acerca del Ruido

- Verificar la frecuencia e intensidad de los niveles de ruido en la Planta Desmineralizadora.
- Verificar que los trabajadores expuestos a altos niveles de ruido estén dotados con los equipos de protección adecuados. Así mismo, verificar la vigencia de los mismos.
- Si existen trabajadores con fatiga nerviosa o trastornos orgánicos, se recomienda (RCHST, Título II, Capítulo VII, Artículo 139, 1973), concederles pausas de reposo sistemático o de rotación en sus labores.

3. Acerca de las escaleras móviles ubicadas cerca de los equipos del Tren Principal:

- Se recomienda no dejar herramientas manuales de trabajo sobre la escalera (RCHST, Título III, Capítulo II, Artículo 202, 1973).
- Se recomienda reparar el pasillo donde se encuentran los equipos de intercambio iónico y la escalera para evitar los riesgos de accidentes para sus usuarios. De igual modo, se sugiere mantener estas vías libres de obstrucciones (RCHST, Título I, Capítulo III, Artículo 12, 1973).

4. Acerca de la Iluminación en el Tren Principal:

- Se recomienda elaborar un estudio de las condiciones de iluminación en el sitio ya que la misma es deficiente. Las lámparas que se encuentran actualmente son de luz amarilla y están a una altura de 5 metros aproximadamente sobre el nivel del suelo.

- Se recomienda colocar iluminación general artificial, adicional a la existente, la cual debe ser uniforme y distribuida de manera tal que se eviten sombras intensas, contrastes violentos y deslumbramientos (RCHST, Título II, Capítulo VI, Artículo 132, 1973).
- Verificar que el nivel de iluminación se encuentre en 700 lux como mínimo (RCHST, Título II, Capítulo VI, Artículo 136,1973).

5. Acerca del Muestreo en el Tren Principal

- Realizar muestreos previos que sirvan como ensayos para determinar los intervalos de toma de las muestras y los tiempos precisos de muestreo, tanto a la entrada de los equipos como a la salida.
- Colocar las llaves para tomar muestras a la entrada y a la salida de los equipos, firmemente apretadas para evitar fugas.
- Verificar que no hayan fugas en las tuberías de entrada y salida de los intercambiadores.

6. Acerca del Mantenimiento del Área

- La estación de dilución no presenta fugas pero requiere de mantenimiento ya que las tuberías se encuentran oxidadas y corroídas por los químicos que pasan a través de ellas.
- Las válvulas de control de los intercambiadores están muy viejas y hay que hacerles mantenimiento preventivo y sustituir las que sean necesario.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrahams, I. y Benezra L. (1967). *Helpful Ion Exchange Polymers*. Estados Unidos: Reimpreso de la Enciclopedia de Ciencia y Tecnología de los Polímeros.
- Adonay Álvarez. (2004). (Comps). *Guía de Estudio de Estadística*. Caracas.
- Agua Potable Envasada. Requisitos. (1982). *Norma Covenin, 1431*, Junio, 1982.
- Aguas Industriales, Naturales y Residuales. Definiciones. (1era Revisión). (2002). *Norma Covenin, 2634*, Mayo, 2002.
- Annual Book of ASTM Standards. (1981). *Water*. Easton, Estados Unidos: Staff.
- Annual Book of ASTM Standards. (1981). *Analytical Methods-Spectroscopy; Chromatography; Computerized Systems*. Easton, Estados Unidos: Staff.
- Annual Book of ASTM Standards. (1984). *Power Plant Water Analysis Manual* (1era ed.). Philadelphia, Estados Unidos: Staff.
- Annual Book of ASTM Standards. (1981). *Standard Practice for Liquid Chromatography. Terms and Relationships*. Easton, Estados Unidos: Staff.
- Aranguren, D. (2008, Mayo). *Amberpack*. Ponencia presentada en el Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas. Electricidad de Caracas, La Guaira.
- Arden, T.V. (1968). *Water Purification by Ion Exchange*. Londres: New York Plenum Press.
- Cedeño y Mora. (2009). *Determinación Fisicoquímica y Bacteriológica del Agua en las Etapas de Tratamiento en Planta de Potabilización. Normas de Calidad de Agua Potable*. [Artículo digitalizado]. Estados Unidos: Universidad de Ciencia y Tecnología.
- Celauro C. A., Díaz González P. E., Grisanti M. B., Krapf L., Lambri O. A., Matteo C. L., Salvatierra L. M. y Sorichetti P. A. (2003). Amortiguamiento y Módulo Elástico de Corte (G') en Muestras de EPDM Irradiadas con Neutrones. *Jornadas Sam / CONAMET / Simposio Materia 2003*. [Revista en línea]. 10

- (2008). Consultado el 15 de febrero de 2009 en: <http://www.materiales-sam.org.ar>.
- Dinko. (2009). *Parámetros de Calidad en Aguas para Calderas en Plantas DINKO INSTRUMENT´S*. [Artículo digitalizado] Barcelona: España.
- Dow Chemical U.S.A. (1981). *Idea ± Exchange* (1era ed.). Michigan, Estados Unidos: Dow Chemical U.S.A.
- Ediciones Ciencia y Técnica S.A. (1988). *Manual de Aguas para Usos Industriales*. (1ªed.). México: Limusa.
- Fresenius, W. y Quentin, K. (1968). *Water Analysis a Practical Guide to Physicochemical, Chemicals and Microbiological Water Examination and Quality Assurance*. Estados Unidos: Springer-verlag.
- Gamma Química (2005). *Conceptos Básicos*. [Presentación de power point] Caracas: Aranguren, D.
- Gamma Química (2005). *Materia Orgánica*. [Presentación de power point] Caracas: Aranguren, D.
- Gamma Química (2005). *Tecnologías de Intercambio Iónico Amberpack*. [Presentación de power point] Caracas: Aranguren, D.
- González, J. (2001). *Curso Básico de Tratamiento de Aguas por Intercambio Iónico*. [Presentación de power point] Caracas: González, J.
- Hidrocapital (2009). *Reporte de la Calidad del Agua Potable de Producción de Planta Hidrocapital*. La Guaira: Hidrocapital Picture.
- Kemmer, F. (1998). *Manual del Agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones*. San Lorenzo, México: Nalco.
- Kunin R. (1989). *Amber -Hi-Lites. Fifty Years of Ion-Exchange Technology*. Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Labat, S. M. y Rodrigo, S. M. (2000). *Medidores de Nivel*. [Presentación de power point]. España: Autor.
- La Electricidad de Caracas. (1972). *Tratamiento de Agua en Plantas Térmicas y Control de Condensado. Curso de Perfeccionamiento*. La Guaira: EDC.

- La Electricidad de Caracas. (1990). *Evaluación del Estado Físico—químico de las Resinas de Intercambio Iónico, pertenecientes a los Condensados I*. La Guaira: Commissioning A.T.I.
- La Electricidad de Caracas. (1993). *Determinación del Estado Físico-químico-mecánico de Muestras de Resinas de Intercambio Iónico, pertenecientes a los Condensados*. La Guaira: EDC.
- La Electricidad de Caracas. (1993). *Evaluación del Estado Físico-mecánico-químico de una Muestra de Carbón Activado y Muestras de Resinas de Intercambio Iónico pertenecientes al Tren Desmineralizador Principal*. La Guaira: Commissioning A.T.I.
- La Electricidad de Caracas. (1993). *Evaluación de las Resinas de Intercambio Iónico y Carbón Activado para el Conjunto Generador Ricardo Zuloaga en Arrecifes*. La Guaira: EDC.
- La Electricidad de Caracas. (2004). *Regeneración de las Cadenas de Condensado DEM-17-08*. La Guaira: Espinoza, R.
- La Electricidad de Caracas. (2004). *Evaluación de los Procesos de Intercambio Iónico aplicados en el Conjunto Generador Ricardo Zuloaga*. La Guaira: Espinoza, R.
- La Electricidad de Caracas. (2006). *Reporte de la Primera Regeneración con las Resinas Nuevas*. La Guaira: EDC.
- La Electricidad de Caracas. (2008). *Parámetros de calidad del agua desmineralizada en el Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas*. La Guaira: EDC.
- Lagoven y Rohm and Haas Company. (1996). *Amberpack. Refinería Amuay. Modernización Planta Desmineralizadora "DMAY 2". Oferta III*. Cardón, Venezuela: Rohm and Haas.
- Avilla, Joseph. (1999). *Lo Esencial del Intercambio Iónico*. XXV Conferencia Anual de la Water Quality Association.
- María Rincones. (2006). (Comps). *Guía de Estudio de Aguas*. Caracas.
- Materiales de Construcción. (2007). [Página web en línea]. Disponible en: <http://materialesde.com/construccion/que-es-el-etfe/>

- Mediciclopedia. (2000). [Página web en línea]. Disponible en: www.iqb.es/diccio/e/el.htm.
- Montgomery (1985). *Valores Tolerables en Agua de Alimentación para Calderas y Aguas de Enfriamiento*. Caracas: PETA (Planta experimental de Tratamiento de Aguas de la Universidad Central de Venezuela).
- Normas GPSA. (1985). *Gas Processor Suppliers Association*, Enero 1985.
- Norma Chilena 426. (2002). *Norma Chilena para Plantas de Tratamiento de Agua*, Junio 2002.
- Pérez, M. (2005). *Medidores de Nivel*. [Presentación de power point]. España: Autor.
- Puga, J. (2007). *Resinas de Intercambio Iónico* [Artículo digitalizado]. Lima, Perú: Puga, J.
- Químicas RMS de Venezuela. (2006). *Repotenciación del Tren Principal de Desmineralización*. Caracas: Químicas RMS.
- Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo. (1973). *Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo*, Diciembre, 1973.
- Rohm and Haas Company. (1974). *If You Use Water*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1978). *Ion Exchange...Industrial Water Treatment*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1980). *Chemical Processing by Ion Exchange*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1981). *Condensate, Demineralization, using Deep, Mixed Bed of Ion Exchange Resins*. Philadelphia, Estados Unidos: Davies, V. R.
- Rohm and Haas Company. (1981). *Helpful Hints in Ion Exchange Technology*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1981). *Technical Bulletin Fluid Process Chemicals. Desilicization*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1984). *The Use of Acrylic Resins in Demineralization*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.

- Rohm and Haas Company. (1989). *Amberlite IRA-402. Anion Exchange Resins. Separation Technologies*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1990). *Amberlite and Duolite Ion Exchange Resins for Water Treatment*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1992). *Amberlite/Duolite Ion Exchange Resins Engineering Manual. Separation Technologies*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1992). *Hojas de Ingeniería de las Resinas de Intercambio Iónico*, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1992). *Ion Exchange Polymers* (1era ed.). Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1993). *Amberpack. Ion Exchange System*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1993). *Amberpack. Reference List*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Rohm and Haas Company. (1994). *Ion Exchange Resins. Laboratory Guide*. Philadelphia, Estados Unidos: Rohm and Haas.
- Skoog D., West D., Holler, F. y Crouch, S. (2005). *Fundamentos de Química Analítica* (8va ed.) [Libro digitalizado]. México: Thomson Learning.
- Sole A. C. (2005). *Instrumentación Industrial*. [Libro en línea]. Consultado el 15 de enero de 2009 en:
<http://books.google.co.ve/books?id=cV6ZOqQ0ywMC&pg=PA227&dq=medidor+nivel+tanque+horizontal>.

CÁLCULOS TIPO

✓ Análisis de Elución

Los cálculos modelo mostrados a continuación se le aplicaron a los valores correspondientes a la Regeneración I en el Intercambiador Catiónico Fuerte.

1. Corrección del pH por Temperatura

El valor del pH a 25°C se calculó aplicando la siguiente corrección para otros valores de pH a otras temperaturas:

$$pH_{@25} = 0,03 \cdot (T - 25) + pH_{@T} \quad (1)$$

Donde:

pH_{@25}: pH a 25°C (pH)

T: temperatura a la cual se registra el valor del pH (°C)

pH_{@T}: pH a la temperatura T (pH)

Ejemplo:

El pH es una propiedad que depende de la temperatura de la solución. Para la muestra 1 del Intercambiador Catiónico Fuerte C1 en la Regeneración I, el cálculo es como sigue:

$$pH_{@25} = 0,03 \cdot (22,7 - 25) + 0,95$$

$$\boxed{pH_{@25} = 0,88}$$

2. Concentración de Ácido o Base en las Muestras del Estudio de Elución

En el cálculo de la concentración de ácido o base en las muestras obtenidas tanto a la entrada como a la salida de los equipos se empleó la siguiente ecuación:

$$C_A = \frac{C_T \cdot V_T}{V_A} \cdot \frac{PM_R}{10} \quad (2)$$

Donde:

C_A : concentración de ácido en la alícuota (% m/v)

C_B : concentración del titulante (N)

V_B : volumen de titulante empleado en la titulación (ml)

V_A : volumen de la alícuota a titular (ml)

PM_R : peso molecular del regenerante (g/mol)

Ejemplo:

En la titulación de las muestras obtenidas en la entrada del Intercambiador Cationico Fuerte C1, se empleó hidróxido de sodio como titulante y se aplicó la ecuación (1) para calcular la concentración de ácido clorhídrico remanente en las muestras. El ejemplo mostrado a continuación corresponde a la muestra 7 tomada a la entrada del equipo en la Regeneración I:

$$C_A = \frac{1,0049N \cdot 20ml}{10ml} \cdot \frac{36,5g/mol}{10}$$

$$C_A = 7,36 \% m/v$$

3. Caudal de Entrada a los Equipos

El caudal de entrada a los equipos se calculó para las etapas de inyección y aclarado, a partir de los datos de la bomba de ácido o base y los datos de los rotámetros de la estación de dilución (ver Hoja de Especificaciones de las Bombas y Reporte de Regeneraciones, Apéndice C), aplicando un balance de masa y empleando la siguiente ecuación:

$$Q_{EE} = \frac{C_B \cdot F_{MB} \cdot \rho_R + F_D \cdot \rho_A}{\rho_R} \quad (3)$$

Donde:

Q_{EE} : caudal de entrada al equipo en la etapas de inyección o aclarado (m^3/h)

C_B : carrera de la bomba (%)

F_{MB} : caudal máximo de la bomba (m^3/h)

ρ_R : densidad del regenerante (Kg/m^3)

F_D : caudal del agua de dilución (m^3/h)

ρ_A : densidad del agua (Kg/m^3)

Ejemplo:

La bomba empleada en la Regeneración I para la inyección del ácido clorhídrico fue la 54, como se observa en los Reportes del Tren Principal. El flujo de entrada al equipo en la Etapa de Transferencia corresponde únicamente al del agua de la estación de dilución.

$$Q_{EE} = \frac{53\% \cdot 1,8925m^3/h \cdot 1.162Kg/m^3 + 4,0000m^3/h \cdot 1.000Kg/m^3}{1.162Kg/m^3}$$

$$\boxed{Q_{EE} = 4,45 m^3/h}$$

4. Volumen de Regenerante Entrante al Equipo

El volumen de regenerante entrante a los equipos se calculó a partir del caudal entrante a los equipos y del tiempo de inyección, como sigue:

$$V_{RE} = \frac{Q_{EE} \cdot t_I}{60} \quad (4)$$

Donde:

V_{RE} : volumen de regenerante entrante al equipo (m^3)

t_I : tiempo (min)

Ejemplo:

El tiempo de entrada del caudal a los equipos fue de 25 minutos.

$$V_{RE} = \frac{4,45 \cdot 25}{60}$$

$$\boxed{V_{RE} = 1,852 m^3}$$

5. Masa de Regenerante Entrante al Equipo

La masa de regenerante entrante al equipo se calcula a partir del volumen de regenerante entrante, empleando la densidad del fluido, con la siguiente ecuación:

$$M_{RE} = V_{RE} \cdot \rho_R \quad (5)$$

Donde:

M_{RI} : masa de regenerante inyectada (Kg)

Ejemplo:

La densidad empleada es la del ácido clorhídrico y corresponde a un valor promedio ya que la misma no varió significativamente con la concentración.

$$M_{RE} = 1,852m^3 \cdot 1.162 \text{ Kg}/m^3$$

$$\boxed{M_{RI} = 2.152,29 \text{ Kg}}$$

6. Masa de Regenerante Sobrante

La masa de regenerante sobrante se calculó como la sumatoria del regenerante desechado en cada etapa y se utilizó el caudal de entrada al equipo y el área bajo la curva de elución empleando la ecuación siguiente:

$$M_{RS} = 0,17 \cdot \sum_{E=INYECCIÓN}^{E=TRANSFERENCIA} Q_{EE} \cdot A_{CE} \quad (6)$$

Donde:

M_{RS} : masa de regenerante sobrante (Kg)

A_{CE} : área bajo la curva de elución de la etapa (min % m/v)

El área bajo la curva se calculó empleando el Método de Simpson 1/3, aplicando la siguiente ecuación:

$$A_{CE} = \frac{h}{3} \cdot [F_0 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} F_{PARES} + 4 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} F_{IMPARES} + F_N] \quad (6.1)$$

Donde:

h: paso o salto (adimensional)

F_0 : valor correspondiente a n=0

F_N : valor correspondiente a n=n

N: posición del valor

Ejemplo:

Se utilizaron los datos del cálculo del área bajo la curva del Intercambiador Catiónico Fuerte del C1 de la Regeneración I.

$$A_{CE} = \frac{3}{3} \cdot [0,0000 + 2 \cdot 1,9715 + 4 \cdot 1,3939 + 0,0020]$$

$$A_{CE} = 9,52 \text{ min} \cdot \% \text{ m/v}$$

Luego:

$$M_{RS} = 0,17 \cdot \left[74.089,43 \frac{\text{ml}}{\text{min}} \cdot 9,52 \text{ min} \cdot \% \frac{\text{m}}{\text{v}} + 66.666,67 \text{ ml/min} \cdot 9,52 \text{ min} \cdot \% \text{ m/v} \right]$$

$$\boxed{M_{RS} = 7,12 \text{ Kg}}$$

7. Volumen de Regenerante Inyectado

El volumen de regenerante inyectado a la concentración en que se encuentra en el tanque se calculó de la siguiente manera:

$$V_{RI} = V_{H0} - V_{HF} \quad (7)$$

Donde:

V_{RI} : volumen de regenerante inyectado (m^3)

V_{H0} : volumen en el tanque a una altura inicial, antes de inyectar (m^3)

V_{HF} : volumen en el tanque a una altura final, luego de inyectar (m^3)

Los volúmenes correspondientes a la altura inicial y final del tanque se calcularon con la ecuación del volumen del tanque que es la mostrada a continuación:

$$V_{HO} = L \cdot \left[R^2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{R-H}{R} \right) - (R-H) \cdot \sin(\cos^{-1} \left(\frac{R-H}{R} \right)) \right] + \pi \cdot H^2 \cdot \frac{3R-H}{3} \quad (7.1)$$

Donde:

L: longitud del tanque (m)

R: radio del tanque (m)

H: altura del líquido en el tanque (m)

Ejemplo:

Las dimensiones de los tanques para ácido clorhídrico y soda cáustica difieren en el largo.

$$V_{HO} = 7,5m \cdot \left[(1,25m)^2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{7,5m - 1,38m}{1,25m} \right) - (1,25m - 1,38m) \cdot \sin(\cos^{-1} \left(\frac{1,25m - 1,38m}{1,25m} \right)) \right] + \pi \cdot (1,25m)^2 \cdot \frac{3 \cdot 1,25m - 1,38m}{3}$$

$$V_{HO} = 30,19 m^3$$

Entonces:

$$V_{RI} = 30,88m^3 - 30,19m^3$$

$$\boxed{V_{RI} = 0,68 m^3}$$

8. Masa de Regenerante Inyectada

La masa de regenerante al 30% inyectada al equipo se calculó a partir del volumen de regenerante inyectado, empleando la densidad, con la siguiente ecuación:

$$M_{RI} = V_{RI} \cdot \rho_R \quad (8)$$

Donde:

M_{RI} : masa de regenerante inyectada (Kg)

Ejemplo:

La densidad empleada es la del ácido clorhídrico y corresponde a un valor promedio ya que la misma no varió significativamente con la concentración.

$$M_{RI} = 0,68m^3 \cdot 1.162 Kg/m^3$$

$$\boxed{M_{RI} = 786,29 Kg}$$

9. Masa de Regenerante Empleada por la Resina

La masa de regenerante diluido empleada por la resina se calculó como la diferencia entre la masa inyectada y la masa sobrante, como sigue:

$$M_{RR} = M_{RI} - M_{RS} \quad (9)$$

Donde:

M_{RR} : masa de regenerante empleada por la resina (m^3)

Ejemplo:

$$M_{RR} = 2.152,29Kg - 7,12Kg$$

$$\boxed{M_{RR} = 2.145Kg}$$

10. Costo del Regenerante por cada Regeneración

El costo del regenerante por cada regeneración se calculó a partir de la masa de regenerante inyectada mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$C_{TR} = C_R \cdot M_{RR} \quad (10)$$

Donde:

C_{TR} : costo total del regenerante (BsF)

C_R : costo del kilogramo de regenerante (BsF/Kg)

Ejemplo:

Se aplicó para el ácido clorhídrico.

$$C_{TR} = 1,10BsF/Kg \cdot 786,29Kg$$

$$\boxed{C_{TR} = 864,92 BsF}$$

11. Costo del Agua Desmineralizada Producida

El costo actual del agua desmineralizada producida por ciclo de producción se calculó utilizando el Índice CEPCI. Se empleó la ecuación mostrada a continuación:

$$C_{TA} = C_{2A} \cdot A_C \quad (11)$$

Donde:

C_{TA} : costo del agua desmineralizada producida por ciclo de producción (BsF)

C_{2A} : costo actual del metro cúbico de agua producida (BsF/m³)

A_C : cantidad de agua producida por ciclo de producción (m³/ciclo)

El costo actual del metro cúbico de agua se calcula a partir de los datos del Índice CEPCI para años anteriores. Para ello, se empleó la ecuación mostrada a continuación:

$$C_{2A} = \frac{C_{1A} \cdot IC_{2A}}{IC_{1A}} \quad (11.1)$$

Donde:

C_{1A} : costo del metro cúbico de agua en el año 1.992 (BsF/m³)

IC_{2A} : índice CEPCI del año 2.009 (adimensional)

IC_{1A} : índice CEPCI del año 1.992 (adimensional)

En la Tabla 30 se muestran los datos recolectados (ver Hoja Índice CEPCI, Apéndice C):

Tabla 30. Índices CEPCI.

Año	CEPCI
1999	390,6
2000	394,1
2001	394,3
2002	395,6
2003	402,0
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6
2007	512,5

Los datos anteriores se graficaron para determinar el índice CEPCI en los años respectivos.

En la Figura 36 se observa la línea de tendencia de valores.

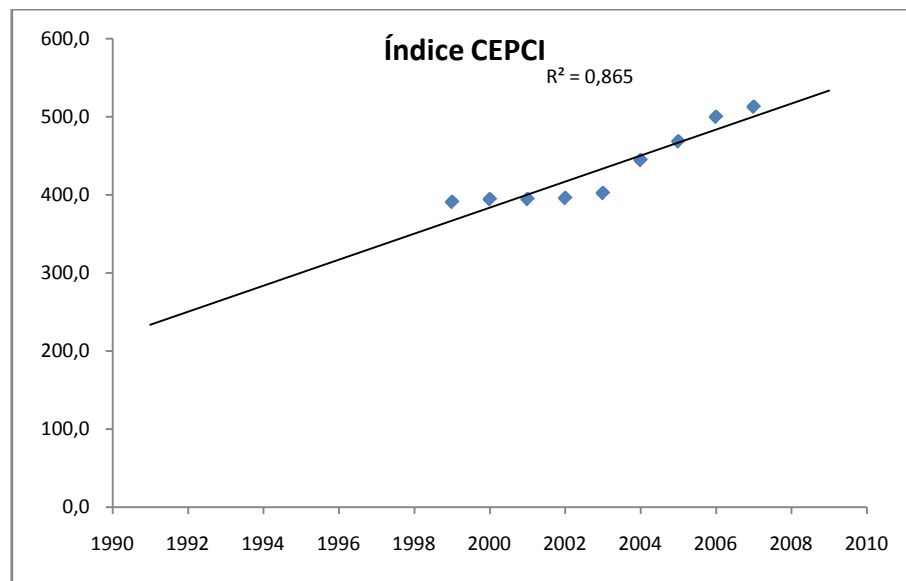


Figura 36. Valores del índice CEPCI para Diferentes Años.

En la Figura 36 se observa que los valores aproximados del Índice CEPCI para los años 1.992 y 2.009 son: 240 y 540, respectivamente.

Ejemplo:

El costo del metro cúbico de agua para el año 1.992 fue de 0,90 BsF.

$$C_{2A} = \frac{0,90BsF/m^3 \cdot 540}{240}$$

$$C_{2A} = 2,03BsF/m^3$$

Luego:

Se producen 1.000 m³ de agua desmineralizada por ciclo de producción.

$$C_{TA} = 2,03BsF/m^3 \cdot 1.000m^3/ciclo$$

$$\boxed{C_{TA} = 2.025BsF/ciclo}$$

✓ **Análisis de las Aguas**

12. Cálculo de pH para el Análisis de las Aguas

Se emplea la ecuación 1 del Análisis de Elución.

Ejemplo:

El ejemplo será realizado para la muestra de Agua Potable en la entrada del proceso de la Regeneración I.

$$pH_{@25} = 0,03 \cdot (23 - 25) + 7,11$$

$$\boxed{pH_{@25} = 7,05}$$

13. Cálculo para la determinación de la Conductividad y de Sólidos Totales Disueltos en las Muestras de Agua

La Precisión del método de la determinación de la conductividad según la Norma ASTM aplicada es registrada tomando en cuenta que según la misma norma los resultados obtenidos no difieren por más de un 3% en la conductividad.

El cálculo para la determinación de los Sólidos Totales Disueltos se realizó siguiendo el Método del Laboratorio Central de Planta Ampliación Tocoa:

Partiendo de los valores medidos de conductividad, se buscó el factor de mineralización en el rango correspondiente a la conductividad en la Tabla 7 ubicada en el Capítulo de Metodología, mediante la siguiente ecuación:

$$STD = C \cdot FM \quad (13)$$

Donde:

STD: sólidos totales disueltos (mg/L).

FM: factor de mineralización correspondiente a la conductividad de la muestra leído de la Tabla 7.

C: conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Ejemplo:

El siguiente ejemplo es realizado para la muestra de Agua Potable en la entrada del proceso de la Regeneración I:

$$STD = 240,7 \frac{\mu S}{cm} \cdot 0,769574$$

$$\boxed{STD = 185,24 \text{ mg/L}}$$

14. Cálculo para la determinación de la Alcalinidad en las Muestras de Agua.

El cálculo de la alcalinidad total (Al_T), en miliequivalentes por litro se realizó de la siguiente forma:

$$Al_T = \left(\frac{A \cdot N}{B} \right) \cdot 1000 \quad (14)$$

Donde:

Al_T : alcalinidad total (meq/L).

A: volumen de la solución de ácido o base estándar requeridos para la titulación (ml)

N: concentración de la solución estándar (N)

B: volumen de la alícuota (ml)

Ejemplo

El siguiente ejemplo es realizado para la muestra de Agua Potable en la entrada del proceso de la Regeneración I:

$$Al_T = \left(\frac{3,25 \text{ ml} \cdot 0,0220 \text{ N}}{50 \text{ ml}} \right) \cdot 100$$

$$\boxed{Al_T = 1,430 \text{ meq/L}}$$

La Alcalinidad Total en ppm de CaCO_3 ($Al_{T \text{ CaCO}_3}$) se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Al_{T \text{ CaCO}_3} = \left(\frac{Al_T}{2} \right) \cdot 100 \quad (14.1)$$

Donde:

Al_T : alcalinidad total (meq/L)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo es realizado para la muestra de Agua Potable en la entrada del proceso de la Regeneración I:

$$Al_{T \text{ CaCO}_3} = \left(\frac{1,430 \text{ meq/l}}{2} \right) \cdot 100$$

$$\boxed{Al_{T \text{ CaCO}_3} = 71,5 \text{ ppm CaCO}_3}$$

La Alcalinidad Total ($Al_{T \text{ CaCO}_3 C}$) con la corrección por la titulación con rojo de metilo se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Al_{T \text{ CaCO}_3 C} = Al_{T \text{ CaCO}_3} \cdot 2 \quad (14.2)$$

Donde:

$Al_{T \text{ CaCO}_3 C}$: alcalinidad total con la corrección por la titulación con rojo de metilo (ppm CaCO_3)

$Al_{T \text{ CaCO}_3}$:alcalinidad total (ppm de CaCO_3)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo es realizado para la muestra de Agua Potable en la entrada del proceso de la Regeneración I:

$$Al_{T \text{ CaCO}_3 C} = 71,5 \text{ ppm CaCO}_3 \cdot 2$$

$$\boxed{Al_{T \text{ CaCO}_3 C} = 143 \text{ ppm CaCO}_3}$$

En cuanto a la precisión del método según la Norma ASTM no se puede dar ninguna instrucción concerniente acerca de la misma debido a la naturaleza transitoria del equilibrio involucrado y la pronunciada variación en las características de las diferentes aguas.

15. Cálculo para la determinación de Sílice en las Muestras de Agua

La concentración de sílice en microgramos por litro se puede leer directamente de la curva de calibración a 815nm, que en este caso es reportada por el equipo. También se realiza el uso de la siguiente ecuación:

$$Sil = D . F . Ab \quad (15)$$

Donde:

Sil: concentración de Sílice en las muestras de agua (ppm)

D: dilución realizada

F: factor de calibración

Ab: absorbancia detectada por el equipo

Ejemplo:

El siguiente ejemplo es realizado para la muestra de agua potable en la entrada del proceso de la Regeneración I:

$$Sil = 25 . 0,64 . 0,589$$

$$\boxed{Sil = 9,42 \text{ ppm}}$$

La precisión del método se encuentra indicada en la Norma ASTM de la siguiente forma:

La prueba de este método fue realizada en agua destilada por seis laboratorios, con dos operadores cada uno según la Norma ASTM D 859. Cada operador hizo seis determinaciones a cada nivel para un total de 72 determinaciones a cada nivel. Según sus resultados La precisión global y de operador simple de este método para las mediciones a 815 nm en el agua se expresan mediante las siguientes ecuaciones:

$$S_o = 0,005 \cdot Sil + 0,7 \quad (15.1)$$

$$S_r = 0,03 \cdot Sil + 1,3 \quad (15.2)$$

Donde:

S_o : precisión de operador simple ($\mu\text{g/L}$)

S_r : precisión global ($\mu\text{g/L}$)

Sil : concentración de sílice determinada ($\mu\text{g/L}$ de SiO_2)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo es realizado para la muestra de agua potable en la entrada del proceso de la Regeneración I:

$$S_o = 0,005 \cdot 9,42 \cdot 10^{-3} \mu\text{g/L} + 0,7$$

$$S_o = 0,747 \mu\text{g/L}$$

$$S_r = 0,03 \cdot 9,42 \cdot 10^{-3} \mu\text{g/L} + 1,3$$

$$S_r = 1,328 \mu\text{g/L}$$

El resultado se expresa de la siguiente manera:

$$Sil = (9,424 \pm 0,001) \text{ ppm}$$

En cuanto a la desviación del método, la recuperación de cantidades conocidas de sílice del agua se determinó usando como guía la siguiente tabla ubicada en la misma Norma.

Tabla 31. Cantidades Conocidas de Sílice en el Agua.

Cantidad Añadida (microgramos)	Cantidad Encontrada (microgramos)	Pre-disposición (%)	Significancia Estadística al 95%
951	941	-1,0	no
381	381	+0,2	no
115	112,2	-2,4	no
39	38,6	-1,0	no

Fuente: Norma ASTM D 859.

✓ **Propiedades de las Resinas**

Los cálculos modelo mostrados a continuación se le aplicaron a las tres muestras de resina de intercambio Catiónica Fuerte, tres muestras de Resina Aniónica Fuerte y tres muestras de Resina Aniónica Débil.

16. Cálculo para la determinación del Contenido de Humedad

El cálculo de la Capacidad de Retención o Contenido de Humedad (C_H), en porcentaje, se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$C_H (\%) = \frac{(A-B)}{A} \cdot 100 \quad (16)$$

Donde:

C_H : contenido de humedad (%)

A: masa de muestra húmeda empleada (g)

B: masa de muestra seca obtenida (g)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo será realizado para la primera muestra de la Resina Catiónica Fuerte:

$$C_H (\%) = \frac{(5,0032g - 2,7042g)}{5,0032g} \cdot 100$$

$$\boxed{C_H = 45,95 \%}$$

El reporte del porcentaje de agua retenida es expresado como el promedio de los tres valores obtenidos a través de la siguiente ecuación:

$$C_{H \text{ prom}} = \frac{C_{h1} + C_{h2} + C_{h3}}{3} \quad (16.1)$$

Donde:

$C_{H \text{ prom}}$: contenido de humedad promedio (%)

C_{H1} : contenido de humedad en % de la muestra 1

C_{H2} : contenido de humedad en % de la muestra 2

C_{H3} : contenido de humedad en % de la muestra 3

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde las tres muestras de resina de intercambio Catiónica Fuerte:

$$C_{H \text{ prom}} = \frac{45,95\% + 46,45\% + 56,69\%}{3}$$

$$\boxed{C_{H \text{ prom}} = 46,37\%}$$

La precisión de este método se expresa como sigue:

$$Sr_H = 0,017 \cdot C_{H \text{ prom}} \quad (16.2)$$

$$So_H = 0,004 \cdot C_{H \text{ prom}} \quad (16.3)$$

Donde:

Sr_H : precisión global del método de contenido de humedad (%)

So_H : precisión de operador simple del método de contenido de humedad (%)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo fue realizado a la primera muestra de la Resina Catiónica Fuerte:

$$Sr_H = 0,017 \cdot 46,37$$

$$Sr_H = 0,788$$

$$So_H = 0,004 \cdot 46,37$$

$$So_H = 0,185$$

El resultado se expresa como sigue:

$$\boxed{C_{H \text{ prom}} = (46,37 \pm 0,79) \%}$$

17. Cálculo para la determinación de la Densidad

El cálculo de la densidad estable (ρ), en gramos por mililitro se realizó de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{A}{B} \quad (17)$$

Donde:

ρ : densidad (g/ml)

A: masa de muestra empleada (g)

B: volumen de muestra (ml)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo fue realizado a la primera muestra de la Resina Catiónica Fuerte:

$$\rho = \frac{200,00g}{15,5088ml}$$

$$\boxed{\rho = 1,29 \text{ g/ml}}$$

El reporte de los resultados de la densidad del material probado se realizó como el promedio de aquellos calculados de dos volúmenes consecutivos que concordaran por ± 5 ml.

La densidad promedio se reportó utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho_{prom} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3} \quad (17.1)$$

Donde:

ρ_{prom} : densidad promedio (g/ml)

ρ_1 : densidad de la muestra 1 (g/ml)

ρ_2 : densidad de la muestra 2 (g/ml)

ρ_3 : densidad de la muestra 3 (g/ml)

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde a las tres muestras de resina de intercambio Catiónica Fuerte:

$$\rho_{prom} = \frac{1,2861g/ml + 1,2861g/ml + 1,2861g/ml}{3}$$

$$\boxed{\rho_{prom} = 1,29g/ml}$$

La precisión del método se expresó de la siguiente forma:

$$Sr_{\rho} = 0,035 \cdot \rho_{prom} \quad (17.2)$$

$$So_{\rho} = 0,005 \cdot \rho_{prom} \quad (17.3)$$

Donde:

Sr_{ρ} : precisión global del método de la densidad (g/ml)

So_{ρ} : precisión de operador simple del método de la densidad (g/ml)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo fue realizado a la primera muestra de la Resina Catiónica Fuerte:

$$Sr_{\rho} = 0,035 \cdot 1,29g/ml$$

$$Sr_{\rho} = 0,045 g/ml$$

$$So_{\rho} = 0,005 \cdot 1,29g/ml$$

$$So_{\rho} = 0,6$$

El resultado se expresa como sigue:

$$\boxed{\rho_{prom} = (1,29 \pm 0,05)g/ml}$$

18. Cálculo para la determinación del Coeficiente de Uniformidad y el Tamaño Efectivo de Partícula

El cálculo del porcentaje de material de intercambio iónico retenido en cada tamiz (% Vr) se calculó de la siguiente forma:

$$\% Vr = \frac{100 \cdot V_{ri}}{\sum V_{ri}} \quad (18)$$

Donde:

% Vr: porcentaje de material iónico retenido (%)

V_{ri}: volumen retenido en un tamiz en particular (ml)

$\sum V_{ri}$: suma de todos los volúmenes retenidos por los tamices utilizados más el volumen que atraviesa el tamiz más pequeño (ml)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo fue realizado a la Resina Catiónica Fuerte para el Tamiz de 50 de abertura:

$$\% Vr = \frac{100 \cdot 2ml}{2ml + 60ml + 7ml + 0ml}$$

$$\boxed{\% Vr = 2,90 \%}$$

El Cálculo del Porcentaje Acumulado Retenido (% Ar) en cada tamiz se determinó añadiendo el porcentaje retenido en todos los tamices empleados de aberturas de mallas más grande a través de la siguiente ecuación como ejemplo para el % Ar correspondiente al Tamiz de 50 mesh.

$$\% Ar = \% Vr_{50} + \% Vr_{40} + \% Vr_{20} + \% Vr_{16} \quad (18.1)$$

Donde:

% Vr₅₀: porcentaje de volumen retenido en un tamiz de 50 mesh (%)

% Vr₄₀: porcentaje de volumen retenido en un tamiz de 40 mesh (%)

% Vr₂₀: porcentaje de volumen retenido en un tamiz de 20 mesh (%)

% Vr₁₆: porcentaje de volumen retenido en un tamiz de 16 mesh (%)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo fue realizado a la Resina Catiónica Fuerte para el Tamiz de 50 mesh de abertura de malla:

$$\% Ar = 2,8996\% + 86,9565\% + 10,1449\% + 0,0000\%$$

$$\boxed{\% Ar = 100\%}$$

La determinación del Tamaño Efectivo en milímetros fue realizada a través del procedimiento mostrado en el Capítulo de Metodología:

Ejemplo:

El procedimiento anterior fue realizado para cada una de las resinas, y en el caso de la Resina Catiónica Fuerte el tamaño efectivo fue de 0,76mm.

El cálculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu) se realizó con la siguiente ecuación:

$$Cu = \frac{Am_{40}}{Am_{90}} \quad (18.2)$$

Donde:

Cu: coeficiente de uniformidad

Am₄₀: abertura de malla que retiene el 40% de la muestra (mm)

Am₉₀: abertura de malla que retiene el 90% de la muestra (mm)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo fue realizado para la Resina Catiónica Fuerte

$$Cu = \frac{0,76}{0,40}$$

$$\boxed{Cu = 1,9}$$

El Reporte de los Resultados fue realizado de la siguiente forma:

Se reportan los números de los tamices empleados, y el porcentaje acumulado retenido en cada uno y de igual forma el Tamaño Efectivo y el Coeficiente de Uniformidad.

La precisión de este método se expresa para la Resina Catiónica de la siguiente forma:

$$Sr_{CU} = 0,061 \quad (18.3)$$

$$Sr_{TE} = 0,032 \quad (18.4)$$

Donde:

Sr_{CU} : precisión global en el método del coeficiente de uniformidad

Sr_{TE} : precisión global en el método del tamaño efectivo

La Precisión del Método es la siguiente:

Para materiales esféricos como lo son las resinas de intercambio en estudio la precisión global del Tamaño Efectivo es 0,032 y del Coeficiente de Uniformidad es 0,061.

19. Capacidad de Intercambio Catiónica Fuerte

El cálculo de la capacidad Catiónica Total de Intercambio en miliequivalentes por gramo húmedo se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$C_w = \frac{200 \cdot N_B - F \cdot N_A \cdot 4}{W} \quad (19)$$

Donde:

C_w : capacidad total de intercambio (meq/g húmedo)

F: volumen promedio de HCl requerido para la titulación (ml)

W: masa húmeda de la muestra (g)

N_A : concentración del HCl empleado (N)

N_B : normalidad de la solución de NaOH empleada (N)

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde la primera muestra de Resina Catiónica Fuerte:

$$C_w = \frac{200 \cdot 0,1046 N - 41,5667 ml \cdot 0,1025 N \cdot 4}{2g}$$

$$\boxed{C_w = 1,93 \text{ meq/g húmedo}}$$

El cálculo de la Capacidad Catiónica Total de Intercambio en miliequivalentes por gramo seco (C_d), se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{C_w}{1 - \frac{C_H}{100}} \quad (19.1)$$

Donde:

C_d : capacidad catiónica total de intercambio (meq/g seco)

C_H : contenido de humedad (%)

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde a la primera muestra de Resina de Catiónica Fuerte:

$$C_d = \frac{1,93 \frac{\text{meq}}{\text{g húmedo}}}{1 - \frac{46,37\%}{100}}$$

$$\boxed{C_d = 3,60 \text{ meq/g seco}}$$

El cálculo de la Capacidad Catiónica Total de Intercambio en miliequivalentes por mililitro de material retrolavado y asentado (C_b), se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$C_b = C_w \cdot \rho \quad (19.2)$$

Donde:

C_b : capacidad catiónica total de intercambio (meq/ml)

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde a la primera muestra de resina de intercambio Catiónica Fuerte:

$$C_b = 1,93 \text{ meq/g húmedo} \cdot 1,29 \text{ g/ml}$$

$C_b = 2,49 \frac{\text{meq}}{\text{ml de material retrolavado y asentado}}$
--

La Capacidad Catiónica Total de Intercambio es reportada como el promedio de los resultados de las tres muestras a través de la siguiente ecuación:

$$C_{b \text{ prom}} = \frac{C_{b1} + C_{b2} + C_{b3}}{3} \quad (19.3)$$

Donde:

C_{b1} : capacidad catiónica total de intercambio de la muestra 1 (meq/ml)

C_{b2} : capacidad catiónica total de intercambio de la muestra 2 (meq/ml)

C_{b3} : capacidad catiónica total de intercambio de la muestra 3 (meq/ml)

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde las tres muestras de Resina de Intercambio Catiónica Fuerte:

$$C_{b \text{ prom}} = \frac{2,49 \frac{\text{meq}}{\text{ml}} + 2,48 \frac{\text{meq}}{\text{ml}} + 2,51 \frac{\text{meq}}{\text{ml}}}{3}$$

$C_{b \text{ prom}} = 2,49 \text{ meq/ml}$
--

La precisión del método aplicado se expresa a través de las siguientes ecuaciones:

$$S_r = 0,941 \cdot x - 0,005 \quad (19,4)$$

$$S_o = 0,011 \cdot x - 0,007 \quad (19.5)$$

Donde:

Sr: precisión global (meq/g seco)

So: precisión de operador simple (meq/g seco)

x: capacidad de intercambio (meq/g seco)

Ejemplo:

El ejemplo mostrado a continuación corresponde a la primera muestra de resina de intercambio Catiónica Fuerte:

$$S_r = 0,941 \cdot 3,60 \text{ meq/g seco} - 0,005$$

$$S_r = 3,386 \text{ meq/g seco}$$

$$S_o = 0,011 \cdot 3,6038 \text{ meq/g seco} - 0,007$$

$$S_o = 0,033 \text{ meq/g seco}$$

El resultado se expresa de la siguiente manera:

$$C_d = (3,60 \pm 3,39) \text{ meq/g seco}$$

20. Capacidad de Intercambio Aniónica Débil y Fuerte

El cálculo de la Capacidad Aniónica Total de Intercambio por gramo húmedo (C_{wA}) fue realizado a través de la siguiente ecuación:

$$C_{wA} = \frac{(10 \cdot [(F+H) \cdot N] - 10 \cdot [G - N_A])}{W} \quad (20)$$

Donde:

C_{wA} : capacidad aniónica total de intercambio (meq/g húmedo)

F: volumen promedio de solución estándar de AgNO_3 requeridos para las titulaciones (ml)

G: volumen promedio de HCl 0,1 N requeridos para las titulaciones (ml)

H: volumen promedio de solución estándar de AgNO₃ requeridos para las titulaciones (ml)

W: masa húmeda de la muestra (g)

N: concentración de la solución estándar de AgNO₃ (N)

N_A: concentración de la solución estándar de HCl (N)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo se realizó a la primera muestra de la Resina Aniónica Fuerte:

$$C_{wA} = \frac{(10 \cdot [(3,9ml + 21,1667ml) \cdot 1,1017 N] - 10 \cdot [0,43ml - N_A])}{10g}$$

$$\boxed{C_{wA} = 2,22 \text{ meq/g húmedo}}$$

El Cálculo de la Capacidad Aniónica Total de intercambio en miliequivalentes por gramo seco (Cd_A) se realizó aplicando la siguiente ecuación:

$$Cd_A = \frac{C_{wA}}{[1 - (\frac{M}{100})]} \quad (20.1)$$

Donde:

Cd_A: capacidad aniónica total de intercambio (meq/g seco)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo se realizó a la primera muestra de la Resina Aniónica Fuerte:

$$Cd_A = \frac{2,2223 \text{ meq/g húmedo}}{[1 - (\frac{53,66\%}{100})]}$$

$$\boxed{Cd_A = 4,79 \text{ meq/g seco}}$$

El cálculo de la Capacidad Aniónica Total de Intercambio en miliequivalentes por mililitro de material retrolavado y asentado (Cb_A), se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$Cb_A = Cw_A \cdot \rho \quad (20.2)$$

Donde:

Cb_A : capacidad aniónica total de intercambio (meq/ml)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo será realizado para la primera muestra de la Resina Aniónica Fuerte:

$$Cb_A = 2,2223 \text{ meq/g húmedo} \cdot 1,0768 \text{ g/ml}$$

$$\boxed{Cb_A = 2,39 \text{ meq/ml}}$$

La precisión de este método se expresa para la Capacidad Aniónica Total de Intercambio de la siguiente forma:

$$Sr_A = 0,215 \quad (20.3)$$

$$So_A = 0,083 \quad (20.4)$$

Donde:

Sr_A : precisión global en el método de la capacidad de la resina aniónica (meq/ml)

So_A : precisión de operador simple en el método de la capacidad de la resina aniónica (meq/ml)

El resultado se expresa como sigue:

$$\boxed{Cb_A = (2,39 \pm 0,08) \text{ meq/ml}}$$

✓ **Condiciones de Operación**

En el caso de las condiciones de operación no existen fórmulas específicas para determinar la mayor cantidad de ellas, ya que los datos fueron tomados directamente de las Hojas de Especificaciones de los equipos, de las curvas de elución realizadas, de las Hojas de Especificaciones de los regenerantes y de las Hojas de Especificaciones de las bombas, las cuales se encuentran disponibles en el Apéndice C. Al mismo tiempo fue realizada la transformación de unidades de acuerdo a los requerimientos a través de los factores de conversión correspondientes.

Por su parte, las condiciones o parámetros de operación calculados fueron el volumen de lecho (m^3), los flujos de lavado en BV/h ó m^3/h y los volúmenes de lavado lento y rápido en BV y en m^3 . Los BV son unidad de medida de volumen (ver definición en el Apéndice A).

21. Volumen de Lecho

El cálculo del Volumen de Lecho (V_L) para cada Intercambiador Iónico se realizó de la siguiente forma:

$$V_L = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot H_L \quad (21)$$

Donde:

V_L : volumen de lecho (m^3)

H_L : altura de lecho (m)

D: diámetro del intercambiador iónico(m)

El cálculo de la Altura de Lecho (H_L) de cada Intercambiador Iónico se realizó de la siguiente forma:

$$H_L = H_{T-B} - H_{B-Ltg} \quad (20.1)$$

Donde:

H_{T-B} : altura desde el tope hasta la boca de visita (m)

H_{B-Ltg} : altura desde la boca de visita hasta la línea de tangencia (m)

Ejemplo:

El siguiente ejemplo se realiza para el Intercambiador Catiónico Fuerte:

$$H_L = 3,14m - 1,34m$$

$$H_L = 1,8m$$

Entonces:

$$V_L = \pi \cdot \left(\frac{1,80m}{2}\right)^2 \cdot 1,8m$$

$$\boxed{V_L = 4,58 m^3}$$

TABLAS DE RESULTADOS

✓ **Análisis de Elución**

Tabla 32. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Catiónico Fuerte (Regeneración I).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	-	-	-	-	-
2	3	-	-	-	-	-
3	6	-	-	-	-	-
4	9	-	-	-	-	-
5	12	-	-	-	-	-
6	15	-	-	-	-	-
7	18	0,95	22,7	0,0975	97,5000	0,88
8	21	0,88	22,7	0,0710	71,0000	0,81
9	24	0,88	22,7	0,0516	51,6000	0,80
10	27	1,18	22,7	0,0190	19,0300	1,11
11	30	0,94	22,7	0,0173	17,2700	0,88
12	33	1,93	22,7	0,1106	110,6000	1,86
13	36	1,73	22,7	0,0802	80,2000	1,66
14	39	1,53	22,8	0,0589	58,9000	1,46
15	42	1,44	22,9	0,0335	33,5000	1,38
16	45	1,07	23,0	0,0172	17,2200	1,01
17	48	2,47	23,0	0,0027	2,6880	2,41
18	51	2,36	23,0	0,0018	1,7780	2,30
19	54	2,23	23,0	0,0016	1,6260	2,17
20	57	2,18	23,0	0,0014	1,4410	2,12
21	60	1,93	22,9	0,0014	1,3560	1,88
22	63	2,92	22,9	0,0022	2,2040	2,86
23	66	2,91	22,9	0,0011	1,1380	2,85
24	69	2,82	22,4	0,0007	0,7200	2,74
25	72	2,3	22,8	0,0014	1,4120	2,23
26	75	2,75	23,0	0,0007	0,7300	2,69
27	78	3,06	23,5	0,0005	0,5380	3,02
28	81	3,1	22,8	0,0005	0,5100	3,03
29	84	3,03	22,5	0,0004	0,3880	2,96
30	88	2,97	22,6	0,0005	0,4790	2,90
31	90	2,99	22,2	0,0004	0,4130	2,91
32	93	3,52	22,7	0,0004	0,3580	3,45
33	96	3,34	22,4	0,0004	0,3720	3,26
34	99	3,23	22,2	0,0003	0,3390	3,15
35	102	3,26	22,5	0,0003	0,2940	3,19

Tabla 32. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	3,11	22,8	0,0003	0,2940	3,04
37	108	3,84	22,6	0,0003	0,2820	3,77
38	111	3,66	22,5	0,0002	0,1980	3,59
39	114	3,60	23,0	0,0002	0,1706	3,54
40	117	3,59	23,1	0,0002	0,1551	3,53
41	120	3,52	22,9	0,0002	0,1505	3,46
42	123	3,98	23,1	0,0001	0,1282	3,92
43	126	3,82	23,0	0,0001	0,1245	3,76
44	129	3,84	23,4	0,0001	0,0997	3,79
45	132	3,77	23,3	0,0001	0,1127	3,72
46	135	3,73	24,5	0,0001	0,1198	3,72
47	138	5,65	23,2	0,0001	0,0995	5,60
48	141	4,69	22,7	0,0001	0,1033	4,62
49	144	4,54	22,4	0,0001	0,1033	4,46
50	147	4,86	23,2	0,0001	0,1010	4,81
51	150	4,50	23,6	0,0001	0,0935	4,46
52	153	4,30	24,1	0,0001	0,0828	4,27
53	156	5,35	23,9	0,0001	0,0784	5,32
54	159	4,54	22,8	0,0001	0,0883	4,47
55	162	5,27	23,1	0,0001	0,0764	5,21
56	165	4,99	23,8	0,0001	0,0737	4,95
57	168	6,57	23,2	0,0001	0,0752	6,52
58	171	5,44	23,5	0,0001	0,0785	5,40
59	174	4,65	23,5	0,0001	0,0865	4,61
60	177	4,04	23,6	0,0001	0,0652	4,00
61	180	3,86	23,6	0,0000	0,0329	3,82
62	183	3,46	24,7	0,0001	0,0852	3,45
63	186	2,75	25,0	0,0004	0,4490	2,75
64	189	2,72	22,8	0,0004	0,4420	2,65
65	192	2,65	24,0	0,0000	0,0004	2,62
66	195	-	-	-	-	-
67	198	-	-	-	-	-

Tabla 33. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Catiónico Fuerte (Regeneración II).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	0,42	23,3	0,1980	198,0000	0,37
2	3	0,48	23,5	0,2291	229,1000	0,44
3	6	0,49	23,5	0,1735	173,5000	0,45
4	9	0,61	23,4	0,1254	125,4000	0,56
5	12	0,63	23,4	0,1256	125,6000	0,58
6	15	0,64	23,4	0,1219	121,9000	0,59
7	18	0,76	23,4	0,0975	97,5000	0,71
8	21	0,88	23,4	0,0710	71,0000	0,83
9	24	0,97	23,5	0,0516	51,6000	0,93
10	27	1,1	23,5	0,0190	19,0300	1,06
11	30	1,5	23,6	0,0173	17,2700	1,46
12	33	1,65	23,7	0,0110	10,9900	1,61
13	36	1,79	23,4	0,0088	8,7000	1,74
14	39	1,93	23,5	0,0060	5,9700	1,89
15	42	2,11	23,4	0,0037	3,7000	2,06
16	45	2,25	23,3	0,0025	2,5430	2,20
17	48	2,33	23,4	0,0027	2,6880	2,28
18	51	2,4	23,3	0,0018	1,7780	2,35
19	54	2,42	23,4	0,0016	1,6260	2,37
20	57	2,48	23,3	0,0014	1,4410	2,43
21	60	2,52	23,3	0,0014	1,3560	2,47
22	63	2,56	23,3	0,0012	1,1880	2,51
23	66	2,6	23,3	0,0012	1,1830	2,55
24	69	2,65	23,3	0,0010	1,0480	2,60
25	72	2,66	23,3	0,0010	0,9670	2,61
26	75	2,7	23,3	0,0009	0,8810	2,65
27	78	2,71	23,3	0,0009	0,8820	2,66
28	81	2,76	23,4	0,0007	0,7220	2,71
29	84	2,79	23,4	0,0006	0,6060	2,74
30	88	2,88	23,3	0,0005	0,5490	2,83
31	90	2,91	23,3	0,0005	0,5000	2,86
32	93	3	23,4	0,0005	0,4560	2,95
33	96	3,03	23,3	0,0004	0,4220	2,98
34	99	3,06	23,2	0,0004	0,3910	3,01
35	102	3,11	23,2	0,0004	0,3650	3,06

Tabla 33. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	3,13	23,3	0,0003	0,3460	3,08
37	108	3,17	23,4	0,0003	0,3070	3,12
38	111	3,18	23,3	0,0003	0,3070	3,13
39	114	3,24	23,4	0,0003	0,2820	3,19
40	117	3,29	23,3	0,0003	0,2639	3,24
41	120	3,31	23,4	0,0003	0,2509	3,26
42	123	3,35	23,4	0,0002	0,2313	3,30
43	126	3,40	23,4	0,0002	0,2114	3,35
44	129	3,45	23,4	0,0002	0,2039	3,40
45	132	3,48	23,4	0,0002	0,1988	3,43
46	135	3,52	23,4	0,0002	0,1882	3,47
47	138	3,62	23,4	0,0002	0,1682	3,57
48	141	3,67	23,4	0,0002	0,1580	3,62
49	144	3,76	23,3	0,0001	0,1450	3,71
50	147	3,88	23,4	0,0001	0,1333	3,83
51	150	3,50	23,5	0,0001	0,1329	3,46
52	153	2,88	23,4	0,0005	0,5420	2,83
53	156	2,88	23,4	0,0005	0,5040	2,82
54	159	2,88	23,4	0,0005	0,5030	2,82
55	162	2,91	23,4	0,0005	0,4920	2,86
56	165	2,90	23,4	0,0005	0,4880	2,85
57	168	2,92	23,6	0,0005	0,4900	2,88
58	171	2,89	23,5	0,0005	0,4800	2,85
59	174	2,92	23,4	0,0004	0,4340	2,88
60	177	-	-	-	-	-
61	180	-	-	-	-	-
62	183	-	-	-	-	-
63	186	-	-	-	-	-
64	189	-	-	-	-	-
65	192	-	-	-	-	-
66	195	-	-	-	-	-
67	198	-	-	-	-	-

Tabla 34. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Catiónico Fuerte (Regeneración III).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	2,62	22,2	0,0017	1,6800	2,54
2	3	1,48	22,2	0,0141	14,1100	1,40
3	6	0,99	22,1	0,0589	58,9000	0,90
4	9	0,76	22,1	0,1132	113,2000	0,67
5	12	0,67	22,3	0,1588	158,8000	0,59
6	15	0,65	22,4	0,1885	188,5000	0,57
7	18	0,65	22,4	0,1819	181,9000	0,57
8	21	0,81	22,4	0,1054	105,4000	0,73
9	24	0,85	22,3	0,1024	102,4000	0,77
10	27	0,8	22,2	0,1105	110,5000	0,72
11	30	0,71	22,2	0,1372	137,2000	0,63
12	33	0,8	22,3	0,1106	110,6000	0,72
13	36	0,9	21,9	0,0802	80,2000	0,81
14	39	1,05	21,9	0,0589	58,9000	0,96
15	42	1,27	22,0	0,0335	33,5000	1,18
16	45	1,52	22,1	0,0172	17,2200	1,43
17	48	1,64	22,1	0,0127	12,6900	1,55
18	51	1,74	22,2	0,0097	9,6500	1,66
19	54	1,95	22,1	0,0065	6,5000	1,86
20	57	2,03	22,1	0,0046	4,5900	1,94
21	60	2,18	22,0	0,0033	3,3200	2,09
22	63	2,34	22,0	0,0022	2,2040	2,25
23	66	2,61	22,0	0,0011	1,1380	2,52
24	69	2,76	22,0	0,0007	0,7200	2,67
25	72	2,84	22,0	0,0006	0,6130	2,75
26	75	2,84	22,1	0,0006	0,5850	2,75
27	78	2,89	22,2	0,0005	0,5360	2,81
28	81	2,94	22,1	0,0005	0,4840	2,85
29	84	2,97	22,0	0,0005	0,4560	2,88
30	88	2,99	22,0	0,0004	0,4220	2,90
31	90	3,02	22,0	0,0004	0,4110	2,93
32	93	3,05	22,5	0,0004	0,3790	2,98
33	96	3,32	22,7	0,0002	0,2272	3,25
34	99	3,37	22,6	0,0002	0,1963	3,30
35	102	3,42	22,5	0,0002	0,1785	3,35

Tabla 34. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	3,46	22,4	0,0002	0,1681	3,38
37	108	3,51	22,7	0,0002	0,1518	3,44
38	111	3,6	22,8	0,0001	0,1443	3,53
39	114	3,61	22,7	0,0001	0,1386	3,54
40	117	3,66	22,3	0,0001	0,1319	3,58
41	120	3,72	22,4	0,0001	0,1248	3,64
42	123	3,83	22,5	0,0001	0,1188	3,76
43	126	3,83	22,5	0,0001	0,1128	3,76
44	129	3,84	22,5	0,0001	0,1050	3,77
45	132	3,97	22,3	0,0001	0,1016	3,89
46	135	4,21	22,3	0,0001	0,0953	4,13
47	138	4,30	22,5	0,0001	0,0936	4,23
48	141	4,47	22,5	0,0001	0,0913	4,40
49	144	4,61	22,4	0,0001	0,0883	4,53
50	147	4,73	22,4	0,0001	0,0887	4,65
51	150	4,88	22,4	0,0001	0,0881	4,80
52	153	4,94	22,5	0,0001	0,0869	4,88
53	156	5,01	22,5	0,0001	0,0888	4,94
54	159	5,12	22,3	0,0001	0,0886	5,04
55	162	5,17	22,7	0,0001	0,0882	5,10
56	165	5,27	22,5	0,0001	0,0881	5,20
57	168	5,35	22,6	0,0001	0,0886	5,28
58	171	5,35	22,6	0,0001	0,0886	5,28
59	174	5,35	22,5	0,0001	0,0889	5,28
60	177	5,35	22,4	0,0001	0,0895	5,27
61	180	5,40	22,5	0,0001	0,0896	5,33
62	183	5,40	22,5	0,0001	0,0893	5,33
63	186	5,42	22,4	0,0001	0,0912	5,34
64	189	5,43	22,3	0,0001	0,0908	5,35
65	192	4,08	22,2	0,0000	0,0252	4,00
66	195	2,84	22,4	0,0005	0,4720	2,76
67	198	2,84	22,7	0,0005	0,4730	2,77

Tabla 35. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración I).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	10,62	25,7	0,0001	0,1311	10,64
2	3	12,16	25,1	0,0348	34,8000	12,16
3	6	12,34	25,1	0,0489	48,9000	12,34
4	9	12,45	25,1	0,0631	63,1000	12,45
5	12	12,65	25,2	0,0684	68,4000	12,66
6	15	12,91	25,2	0,0690	69,0000	12,92
7	18	13,00	25,3	0,0685	68,5000	13,01
8	21	13,00	25,4	0,0699	69,9000	13,01
9	24	12,96	25,4	0,0716	71,6000	12,97
10	27	12,93	25,7	0,0749	74,9000	12,95
11	30	12,93	25,7	0,0714	71,4000	12,95
12	33	12,88	25,5	0,0793	79,3000	12,90
13	36	12,80	25,5	0,0859	85,9000	12,82
14	39	12,92	25,5	0,0900	90,0000	12,94
15	42	12,97	25,4	0,0964	96,4000	12,98
16	45	12,98	25,3	0,1012	101,2000	12,99
17	48	13,10	25,3	0,1083	108,3000	13,11
18	51	13,11	25,2	0,1104	110,4000	13,12
19	54	13,06	25,1	0,1016	101,6000	13,06
20	57	13,04	25,1	0,0771	77,1000	13,04
21	60	13,03	25,1	0,0425	42,5000	13,03
22	63	13,01	25,1	0,0289	28,9300	13,01
23	66	13,05	25,1	0,0188	18,8100	13,05
24	69	12,89	25,3	0,0156	15,5600	12,90
25	72	12,84	25,4	0,0125	12,5100	12,85
26	75	12,78	25,4	0,0114	11,4100	12,79
27	78	12,71	25,3	0,0093	9,2900	12,72
28	81	12,63	25,5	0,0088	8,8200	12,65
29	84	12,52	25,5	0,0081	8,0500	12,54
30	88	12,49	25,6	0,0076	7,5700	12,51
31	90	12,45	25,6	0,0059	5,8900	12,47
32	93	12,42	25,6	0,0054	5,3500	12,44
33	96	12,39	25,6	0,0048	4,7700	12,41
34	99	12,42	25,7	0,0045	4,4700	12,44
35	102	12,41	25,7	0,0042	4,1800	12,43

Tabla 35. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	12,38	25,5	0,0040	3,9500	12,40
37	108	12,34	25,6	0,0036	3,6300	12,36
38	111	12,31	25,5	0,0034	3,3900	12,33
39	114	12,22	25,9	0,0002	0,2197	12,25
40	117	12,00	26,6	0,0002	0,1959	12,05
41	120	11,81	27,2	0,0002	0,1692	11,88
42	123	11,37	26,5	0,0008	0,8390	11,42
43	126	11,28	27,1	0,0007	0,6740	11,34
44	129	11,17	27,0	0,0006	0,5790	11,23
45	132	11,04	26,5	0,0004	0,4440	11,09
46	135	11,00	26,8	0,0003	0,3470	11,05
47	138	10,98	27,5	0,0004	0,3780	11,06
48	141	10,94	26,6	0,0003	0,3260	10,99
49	144	10,85	26,5	0,0003	0,2780	10,90
50	147	10,83	26,2	0,0002	0,2260	10,88
51	150	10,82	26,0	0,0003	0,2510	10,85
52	153	10,70	27,0	0,0002	0,2330	10,76
53	156	10,71	27,1	0,0002	0,2070	10,77
54	159	10,71	27,3	0,0002	0,1990	10,78
55	162	10,70	27,0	0,0002	0,1990	10,76
56	165	10,68	27,5	0,0002	0,1908	10,76
57	168	10,68	26,9	0,0002	0,1693	10,74
58	171	10,64	28,1	0,0002	0,1770	10,73
59	174	10,62	28,9	0,0002	0,1708	10,74
60	177	10,54	30,4	0,0002	0,1528	10,70
61	180	-	-	-	-	-
62	183	-	-	-	-	-
63	186	-	-	-	-	-
64	189	-	-	-	-	-
65	192	-	-	-	-	-
66	195	-	-	-	-	-
67	198	-	-	-	-	-

Tabla 36. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración II).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	12,55	23,2	0,0084	8,4300	12,50
2	3	12,84	23,0	0,0348	34,8000	12,78
3	6	12,90	23,0	0,0489	48,9000	12,84
4	9	12,92	23,0	0,0631	63,1000	12,86
5	12	12,92	22,9	0,0684	68,4000	12,86
6	15	12,91	22,7	0,0690	69,0000	12,84
7	18	12,90	22,7	0,0685	68,5000	12,83
8	21	12,92	22,8	0,0699	69,9000	12,85
9	24	12,91	23,0	0,0716	71,6000	12,85
10	27	12,95	22,8	0,0749	74,9000	12,88
11	30	12,95	23,0	0,0813	81,3000	12,89
12	33	12,97	23,1	0,0892	89,2000	12,91
13	36	12,96	23,0	0,0959	95,9000	12,90
14	39	12,96	22,9	0,1014	101,4000	12,90
15	42	12,96	22,7	0,1071	107,1000	12,89
16	45	12,95	22,8	0,1110	111,0000	12,88
17	48	12,90	22,7	0,1102	110,2000	12,83
18	51	12,61	22,6	0,1028	102,8000	12,54
19	54	12,62	22,7	0,0731	73,1000	12,55
20	57	12,65	22,8	0,0634	63,4000	12,58
21	60	12,65	22,8	0,0425	42,5000	12,58
22	63	12,60	22,8	0,0289	28,9300	12,53
23	66	12,54	22,8	0,0188	18,8100	12,47
24	69	12,50	22,6	0,0156	15,5600	12,43
25	72	12,45	22,5	0,0125	12,5100	12,38
26	75	12,39	22,4	0,0114	11,4100	12,31
27	78	12,38	22,5	0,0093	9,2900	12,31
28	81	12,31	22,7	0,0088	8,8200	12,24
29	84	12,28	22,5	0,0081	8,0500	12,21
30	88	12,26	22,4	0,0076	7,5700	12,18
31	90	12,22	22,6	0,0071	7,0700	12,15
32	93	12,22	22,5	0,0066	6,6100	12,15
33	96	12,17	22,5	0,0058	5,8000	12,10
34	99	12,14	22,5	0,0054	5,3700	12,07
35	102	12,10	22,2	0,0048	4,7800	12,02

Tabla 36. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	11,81	22,4	0,0022	2,2040	11,73
37	108	11,57	22,5	0,0011	1,0760	11,50
38	111	11,12	22,4	0,0003	0,3030	11,04
39	114	10,99	22,4	0,0002	0,2197	10,91
40	117	10,98	22,6	0,0002	0,1959	10,91
41	120	10,93	22,6	0,0002	0,1692	10,86
42	123	10,90	22,9	0,0002	0,1743	10,84
43	126	10,89	22,7	0,0002	0,1580	10,82
44	129	10,89	22,6	0,0001	0,1435	10,82
45	132	10,88	22,5	0,0001	0,1382	10,80
46	135	10,86	22,6	0,0001	0,1325	10,79
47	138	10,85	22,6	0,0001	0,1293	10,78
48	141	10,84	22,8	0,0001	0,1161	10,77
49	144	10,82	22,7	0,0001	0,1196	10,75
50	147	10,77	22,6	0,0001	0,1039	10,70
51	150	10,81	22,7	0,0001	0,1099	10,74
52	153	10,76	22,9	0,0001	0,0968	10,70
53	156	10,75	22,7	0,0001	0,0951	10,68
54	159	10,74	22,6	0,0001	0,0893	10,67
55	162	10,76	22,7	0,0001	0,0978	10,69
56	165	10,78	22,6	0,0001	0,0922	10,71
57	168	10,73	22,9	0,0001	0,0784	10,67
58	171	10,68	22,5	0,0001	0,0786	10,61
59	174	11,41	22,9	0,0001	0,0716	11,35
60	177	-	-	-	-	-
61	180	-	-	-	-	-
62	183	-	-	-	-	-
63	186	-	-	-	-	-
64	189	-	-	-	-	-
65	192	-	-	-	-	-
66	195	-	-	-	-	-
67	198	-	-	-	-	-

Tabla 37. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración III).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	12,45	23,1	0,0061	6,1300	12,39
2	3	12,43	23,3	0,0041	4,0500	12,38
3	6	12,52	23,3	0,0038	3,8000	12,47
4	9	12,84	23,3	0,0184	18,3600	12,79
5	12	12,98	23,2	0,0538	53,8000	12,93
6	15	12,99	23,2	0,0829	82,9000	12,94
7	18	12,98	23,1	0,0920	92,0000	12,92
8	21	12,92	23,3	0,0725	72,5000	12,88
9	24	12,88	23,4	0,0639	63,9000	12,82
10	27	12,88	23,3	0,0638	63,8000	12,82
11	30	12,94	23,4	0,0714	71,4000	12,89
12	33	12,99	23,4	0,0793	79,3000	12,94
13	36	13,02	23,4	0,0859	85,9000	12,97
14	39	-	-	0,0900	90,0000	-
15	42	13,04	23,3	0,0964	96,4000	12,99
16	45	13,02	23,4	0,1012	101,2000	12,97
17	48	12,98	23,3	0,1083	108,3000	12,93
18	51	12,96	23,2	0,1104	110,4000	12,91
19	54	12,92	23,2	0,1016	101,6000	12,88
20	57	12,83	23,5	0,0771	77,1000	12,79
21	60	12,8	23,5	0,0669	66,9000	12,76
22	63	12,71	23,5	0,0000	0,0492	12,67
23	66	12,67	23,5	0,0351	35,1000	12,63
24	69	12,6	23,6	0,0298	29,7700	12,56
25	72	12,52	23,3	0,0200	20,0100	12,47
26	75	12,42	23,2	0,0128	12,8200	12,37
27	78	12,37	23,3	0,0119	11,8600	12,32
28	81	12,31	23,3	0,0099	9,8600	12,26
29	84	12,25	23,3	0,0082	8,2100	12,20
30	88	12,2	23,1	0,0073	7,3000	12,14
31	90	12,16	23,2	0,0059	5,8900	12,11
32	93	12,11	23,1	0,0054	5,3500	12,05
33	96	12,07	23,1	0,0048	4,7700	12,01
34	99	12,05	23,1	0,0045	4,4700	11,99
35	102	12	23,1	0,0042	4,1800	11,94

Tabla 37. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	11,98	23,0	0,0040	3,9500	11,92
37	108	11,94	23,0	0,0036	3,6300	11,88
38	111	11,9	23,0	0,0034	3,3900	11,84
39	114	11,90	23,0	0,0033	3,2600	11,84
40	117	11,75	22,8	0,0022	2,2180	11,68
41	120	11,38	23,2	0,0010	0,9850	11,33
42	123	11,08	23,1	0,0005	0,4510	11,02
43	126	10,83	23,1	0,0002	0,2481	10,77
44	129	10,68	23,1	0,0002	0,1716	10,62
45	132	10,68	23,2	0,0002	0,1642	10,63
46	135	10,62	23,2	0,0001	0,1330	10,57
47	138	10,62	23,0	0,0001	0,1355	10,56
48	141	10,55	23,3	0,0001	0,1179	10,50
49	144	10,53	23,5	0,0001	0,1184	10,49
50	147	10,45	23,5	0,0001	0,1037	10,41
51	150	10,45	23,4	0,0001	0,0970	10,40
52	153	10,44	23,4	0,0001	0,0946	10,39
53	156	10,36	23,1	0,0001	0,0738	10,30
54	159	10,36	23,4	0,0001	0,0812	10,31
55	162	10,36	23,4	0,0001	0,0815	10,31
56	165	10,36	23,3	0,0001	0,0828	10,31
57	168	10,29	23,4	0,0001	0,0656	10,24
58	171	10,28	23,2	0,0001	0,0609	10,23
59	174	10,25	23,3	0,0001	0,0611	10,20
60	177	10,25	23,2	0,0001	0,0604	10,20
61	180	10,21	23,2	0,0001	0,0595	10,16
62	183	10,17	23,2	0,0000	0,0475	10,12
63	186	10,17	23,3	0,0000	0,0494	10,12
64	189	10,17	23,3	0,0001	0,0583	10,12
65	192	10,15	23,2	0,0000	0,0414	10,10
66	195	10,10	23,0	0,0000	0,0389	10,04
67	198	10,04	22,9	0,0000	0,0464	9,98

Tabla 38. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración I).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	4,90	21,8	0,0007	0,7360	4,80
2	3	5,00	22,4	0,0014	1,3660	4,92
3	6	5,28	22,7	0,0030	3,0000	5,21
4	9	8,90	23,2	0,0051	5,0900	8,85
5	12	6,00	23,0	0,0077	7,6500	5,94
6	15	5,60	22,6	0,0128	12,8400	5,53
7	18	5,65	23,2	0,0163	16,3300	5,60
8	21	5,73	22,5	0,0238	23,8000	5,66
9	24	5,96	22,4	0,0285	28,4800	5,88
10	27	6,46	22,7	0,0319	31,9000	6,39
11	30	7,16	22,8	0,0325	32,5000	7,09
12	33	10,70	22,2	0,0427	42,7000	10,62
13	36	12,63	22,7	0,0472	47,2000	12,56
14	39	12,88	22,2	0,0582	58,2000	12,79
15	42	12,88	22,3	0,0629	62,9000	12,80
16	45	12,90	22,2	0,0692	69,2000	12,82
17	48	12,92	21,9	0,0776	77,6000	12,83
18	51	12,91	21,8	0,0806	80,6000	12,81
19	54	12,88	21,7	0,0837	83,7000	12,77
20	57	12,91	21,7	0,0854	85,4000	12,81
21	60	12,99	22,0	0,0862	86,2000	12,90
22	63	13,00	21,9	0,0868	86,8000	12,91
23	66	12,08	22,2	0,0887	88,7000	12,00
24	69	12,98	22,2	0,0880	88,0000	12,90
25	72	12,91	22,2	0,0898	89,8000	12,83
26	75	12,88	22,5	0,0881	88,1000	12,80
27	78	12,83	22,6	0,0775	77,5000	12,76
28	81	12,70	22,8	0,0624	62,4000	12,63
29	84	12,65	22,2	0,0468	46,8000	12,57
30	88	12,58	22,3	0,0317	31,7000	12,50
31	90	12,40	22,2	0,0238	23,8100	12,32
32	93	12,54	22,1	0,0162	16,1500	12,45
33	96	12,39	22,4	0,0118	11,7700	12,31
34	99	12,39	22,4	0,0106	10,6300	12,31
35	102	12,36	22,9	0,0090	9,0000	12,30

Tabla 38. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	12,34	22,7	0,0080	8,0000	12,27
37	108	12,33	22,2	0,0080	7,9900	12,25
38	111	12,33	22,6	0,0074	7,4200	12,26
39	114	12,29	22,1	0,0067	6,7200	12,20
40	117	12,27	22,0	0,0060	5,9700	12,18
41	120	12,19	22,1	0,0048	4,7800	12,10
42	123	12,09	22,1	0,0041	4,0500	12,00
43	126	11,10	22,2	0,0030	3,0300	11,02
44	129	12,84	22,2	0,0033	3,3000	12,76
45	132	11,99	21,9	0,0028	2,8420	11,90
46	135	11,91	22,5	0,0025	2,4950	11,84
47	138	11,82	23,2	0,0021	2,1040	11,77
48	141	11,76	22,7	0,0018	1,7940	11,69
49	144	11,73	22,4	0,0016	1,5910	11,65
50	147	11,68	22,9	0,0014	1,3990	11,62
51	150	11,62	22,6	0,0012	1,2280	11,55
52	153	11,58	23,0	0,0011	1,0580	11,52
53	156	11,52	22,9	0,0010	0,9520	11,46
54	159	11,46	22,1	0,0009	0,8610	11,37
55	162	11,42	22,7	0,0007	0,7360	11,35
56	165	11,33	22,4	0,0006	0,6440	11,25
57	168	-	-	-	-	-
58	171	11,25	21,9	0,0005	0,5140	11,16
59	174	11,39	22,2	0,0007	0,6770	11,31
60	177	11,41	21,9	0,0008	0,7600	11,32
61	180	10,95	21,8	0,0002	0,2352	10,85
62	183	10,74	22,0	0,0001	0,1330	10,65
63	186	10,55	22,0	0,0001	0,0822	10,46
64	189	10,35	22,6	0,0000	0,0327	10,28
65	192	10,28	23,1	0,0000	0,0328	10,22
66	195	10,18	22,9	0,0000	0,0183	10,12
67	198	10,09	22,0	0,0000	0,0135	10,00

Tabla 39. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración II).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	5,58	23,7	0,0139	13,9300	5,54
2	3	5,61	23,9	0,0165	16,4500	5,58
3	6	5,73	23,9	0,0215	21,4700	5,70
4	9	6,42	23,7	0,0288	28,7700	6,38
5	12	10,00	23,5	0,0320	32,0000	9,96
6	15	12,09	23,5	0,0424	42,4000	12,05
7	18	12,71	23,6	0,0488	48,8000	12,67
8	21	12,88	23,1	0,0581	58,1000	12,81
9	24	12,91	23,6	0,0684	68,4000	12,88
10	27	12,92	23,4	0,0735	73,5000	12,88
11	30	12,92	23,3	0,0810	81,0000	12,88
12	33	12,92	23,4	0,0830	83,0000	12,88
13	36	12,92	23,5	0,0883	88,3000	12,88
14	39	12,90	23,5	0,0898	89,8000	12,86
15	42	12,89	23,3	0,0916	91,6000	12,84
16	45	12,88	23,2	0,0922	92,2000	12,83
17	48	12,85	23,4	0,0926	92,6000	12,80
18	51	12,83	23,4	0,0925	92,5000	12,78
19	54	12,83	23,3	0,0777	77,7000	12,78
20	57	12,88	23,3	0,0690	69,0000	12,82
21	60	12,59	23,3	0,0537	53,7000	12,54
22	63	12,56	23,2	0,0416	41,6000	12,51
23	66	12,47	23,5	0,0314	31,4000	12,43
24	69	12,38	23,4	0,0252	25,1500	12,33
25	72	12,24	23,1	0,0158	15,8200	12,18
26	75	12,21	23,2	0,0138	13,7600	12,16
27	78	12,15	23,2	0,0118	11,8000	12,10
28	81	12,10	23,3	0,0105	10,4500	12,05
29	84	12,09	23,2	0,0098	9,7800	12,04
30	88	12,05	23,1	0,0083	8,3000	11,99
31	90	12,02	22,9	0,0076	7,6000	11,96
32	93	12,00	23,0	0,0071	7,1000	11,94
33	96	11,95	23,0	0,0054	5,4000	11,89
34	99	11,90	23,0	0,0050	5,0300	11,84
35	102	11,83	22,9	0,0041	4,1400	11,77

Tabla 39. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	11,70	23,1	0,0030	2,9890	11,64
37	108	11,64	23,2	0,0028	2,7900	11,59
38	111	11,52	23,1	0,0021	2,1210	11,46
39	114	11,45	22,4	0,0020	2,0040	11,37
40	117	11,38	22,6	0,0016	1,5960	11,31
41	120	11,30	22,6	0,0014	1,4160	11,23
42	123	11,25	22,9	0,0012	1,1760	11,19
43	126	11,21	22,7	0,0011	1,0890	11,14
44	129	11,06	22,6	0,0008	0,8180	10,99
45	132	11,03	22,5	0,0008	0,7810	10,96
46	135	10,98	22,6	0,0007	0,6980	10,91
47	138	10,94	22,6	0,0006	0,6100	10,88
48	141	10,84	22,8	0,0005	0,4970	10,77
49	144	10,77	22,7	0,0004	0,4420	10,70
50	147	10,91	22,6	0,0007	0,7350	10,84
51	150	10,97	22,7	0,0007	0,6880	10,90
52	153	10,88	22,9	0,0005	0,5280	10,81
53	156	10,75	22,7	0,0004	0,3880	10,68
54	159	10,70	22,6	0,0004	0,3530	10,63
55	162	10,63	22,7	0,0003	0,3090	10,56
56	165	10,52	22,6	0,0002	0,2055	10,45
57	168	10,37	22,9	0,0002	0,1727	10,31
58	171	10,30	22,5	0,0001	0,1213	10,23
59	174	-	-	-	-	-
60	177	-	-	-	-	-
61	180	-	-	-	-	-
62	183	-	-	-	-	-
63	186	-	-	-	-	-
64	189	-	-	-	-	-
65	192	-	-	-	-	-
66	195	-	-	-	-	-
67	198	-	-	-	-	-

Tabla 40. Conductividad y pH Corregido de las Muestras del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración III).

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
1	0	5,24	21,7	0,0017	1,6890	5,14
2	3	5,33	21,9	0,0037	3,7300	5,24
3	6	5,33	21,8	0,0065	6,5000	5,23
4	9	5,45	21,9	0,0107	10,7400	5,36
5	12	5,61	21,8	0,0174	17,4100	5,51
6	15	5,9	21,9	0,0230	23,0000	5,81
7	18	6,23	22,0	0,0275	27,5000	6,14
8	21	7,68	22,3	0,0313	31,3000	7,60
9	24	10,39	22,1	0,0332	33,2000	10,30
10	27	12,54	21,9	0,0426	42,6000	12,45
11	30	12,75	22,0	0,0577	57,7000	12,66
12	33	12,84	22,1	0,0636	63,6000	12,75
13	36	12,86	22,1	0,0726	72,6000	12,77
14	39	12,89	22,2	0,0779	77,9000	12,81
15	42	12,89	22,1	0,0828	82,8000	12,80
16	45	12,89	22,3	0,0854	85,4000	12,81
17	48	12,89	22,3	0,0887	88,7000	12,81
18	51	12,89	22,6	0,0888	88,7000	12,82
19	54	12,86	22,4	0,0901	90,1000	12,78
20	57	12,85	22,4	0,0910	91,0000	12,77
21	60	12,84	22,6	0,0916	91,6000	12,77
22	63	12,83	22,9	0,0916	91,6000	12,77
23	66	12,82	22,8	0,0881	88,1000	12,75
24	69	12,8	22,8	0,0757	75,7000	12,73
25	72	12,75	22,6	0,0605	60,5000	12,68
26	75	12,65	23,0	0,0441	44,1000	12,59
27	78	12,43	23,1	0,0256	25,6000	12,37
28	81	12,43	23,1	0,0205	20,5100	12,37
29	84	12,4	23,0	0,0170	16,9900	12,34
30	88	12,33	22,9	0,0137	13,7100	12,27
31	90	12,26	22,9	0,0098	9,8100	12,20
32	93	12,26	23,2	0,0109	10,9300	12,21
33	96	12,22	23,3	0,0090	8,9600	12,17
34	99	12,19	23,2	0,0081	8,1300	12,14
35	102	12,18	23,4	0,0074	7,3700	12,13

Tabla 40. Continuación...

Numero de la Muestra	t (min)	pH	T (°C)	C (S/cm)	C (mS/cm)	pH corregido
36	105	12,16	22,8	0,0069	6,8600	12,09
37	108	12,14	22,7	0,0063	6,3000	12,07
38	111	12,06	23,1	0,0055	5,4800	12,00
39	114	11,90	23,3	0,0052	5,1800	11,85
40	117	11,75	23,2	0,0045	4,4600	11,70
41	120	11,38	23,4	0,0040	4,0300	11,33
42	123	11,08	23,4	0,0034	3,4200	11,03
43	126	10,83	23,3	0,0030	3,0400	10,78
44	129	10,68	23,4	0,0026	2,5990	10,63
45	132	10,68	23,3	0,0023	2,2790	10,63
46	135	10,62	23,6	0,0020	1,9610	10,58
47	138	10,62	24,1	0,0017	1,6620	10,59
48	141	10,55	24,2	0,0015	1,5050	10,53
49	144	10,53	24,2	0,0013	1,3120	10,51
50	147	10,45	23,9	0,0012	1,1640	10,42
51	150	10,45	24,0	0,0010	0,9880	10,42
52	153	10,44	24,3	0,0009	0,8840	10,42
53	156	10,36	24,4	0,0008	0,7580	10,34
54	159	10,36	24,1	0,0007	0,6640	10,33
55	162	10,36	23,4	0,0005	0,5080	10,31
56	165	10,36	24,0	0,0006	0,5820	10,33
57	168	10,29	24,6	0,0004	0,4390	10,28
58	171	10,28	24,9	0,0004	0,3910	10,28
59	174	10,25	24,4	0,0014	1,4140	10,23
60	177	10,25	24,1	0,0004	0,3560	10,22
61	180	10,21	23,9	0,0004	0,3590	10,18
62	183	10,17	24,4	0,0003	0,3250	10,15
63	186	10,17	25,0	0,0003	0,2886	10,17
64	189	-	-	-	-	-
65	192	-	-	-	-	-
66	195	-	-	-	-	-
67	198	-	-	-	-	-

Tabla 41. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,01	0,0010	10:25:00 p.m.	0	0,0037
2	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,01	0,0010	10:30:00 p.m.	5	0,0037
3	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	18,80	1,8892	10:35:00 p.m.	10	6,8956
4	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	17,20	1,7284	10:40:00 p.m.	15	6,3088
5	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	18,60	1,8691	10:45:00 p.m.	20	6,8223
6	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	18,00	1,8088	10:50:00 p.m.	25	6,6022
7	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	20,00	2,0098	10:55:00 p.m.	30	7,3358
8	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	10,70	1,0752	11:00:00 p.m.	35	3,9246
9	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	3,10	0,3115	11:05:00 p.m.	40	1,1370
10	01/10/2008	10	NaOH	1,0049	1,60	0,1608	11:10:00 p.m.	45	0,5869

Tabla 42. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	15,90	1,5978	02:25:00 p.m.	0	5,8319
2	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	16,60	1,6681	02:30:00 p.m.	5	6,0888
3	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	16,80	1,6882	02:35:00 p.m.	10	6,1620
4	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	6,60	0,6632	02:40:00 p.m.	15	2,4208
5	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	3,60	0,3618	02:45:00 p.m.	20	1,3204
6	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	1,30	0,1306	02:50:00 p.m.	25	0,4768
7	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,60	0,0603	02:55:00 p.m.	30	0,2201
8	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,40	0,0402	03:00:00 p.m.	35	0,1467
9	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,10	0,0100	03:05:00 p.m.	40	0,0367
10	08/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,10	0,0100	03:10:00 p.m.	45	0,0367

Tabla 43. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,10	0,0100	02:00:00 p.m.	0	0,0367
2	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	1,90	0,1909	02:05:00 p.m.	5	0,6969
3	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	10,90	1,0953	02:10:00 p.m.	10	3,9980
4	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	14,40	1,4471	02:15:00 p.m.	15	5,2818
5	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	15,50	1,5576	02:20:00 p.m.	20	5,6852
6	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	16,30	1,6380	02:30:00 p.m.	25	5,9788
7	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	2,30	0,2311	02:40:00 p.m.	30	0,8436
8	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,70	0,0703	02:50:00 p.m.	35	0,2568
9	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,30	0,0301	03:00:00 p.m.	40	0,1100
10	15/10/2008	10	NaOH	1,0049	0,10	0,0100	03:10:00 p.m.	45	0,0367

Tabla 44. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	-	-	-
2	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	-	-	-
3	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	-	-	-
4	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	-	-	-
5	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	-	-	-
6	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	-	-	-
7	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,80	0,1809	0,6602
8	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,50	0,1507	0,5502
9	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,00	0,2010	0,7336
10	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,20	0,0201	0,0734
11	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,20	0,0201	0,0734
12	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,20	0,0201	0,0734
13	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,30	0,0301	0,1100
14	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,50	0,0502	0,1834
15	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,80	0,0804	0,2934
16	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,20	0,1206	0,4401
17	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	7,30	0,0037	0,0134
18	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	10,20	0,0051	0,0188
19	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	13,00	0,0065	0,0238
20	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	16,40	0,0082	0,0301
21	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	22,00	0,0111	0,0403
22	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,20	0,0011	0,0040
23	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,70	0,0014	0,0050
24	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,30	0,0012	0,0042
25	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	3,70	0,0019	0,0068
26	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	3,00	0,0015	0,0055
27	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,40	0,0007	0,0026
28	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,50	0,0008	0,0028
29	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,90	0,0010	0,0035
30	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,80	0,0009	0,0033
31	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,90	0,0010	0,0035
32	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,60	0,0008	0,0029
33	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,10	0,0006	0,0020
34	01/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	1,10	0,0006	0,0020
35	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,00	0,0005	0,0018

Tabla 44. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,40	0,0007	0,0026
37	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
38	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
39	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
40	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,60	0,0003	0,0011
41	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,60	0,0003	0,0011
42	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
43	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
44	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
45	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
46	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
47	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
48	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,10	0,0001	0,0002
49	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,20	0,0001	0,0004
50	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
51	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
52	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,80	0,0004	0,0015
53	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,80	0,0004	0,0015
54	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,60	0,0003	0,0011
55	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
56	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,20	0,0001	0,0004
57	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
58	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
59	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
60	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
61	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,80	0,0004	0,0015
62	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
63	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,10	0,0011	0,0039
64	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,50	0,0013	0,0046
65	01/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,10	0,0011	0,0039
66	01/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
67	01/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-

Tabla 45. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	4,70	0,4723	1,7239
2	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	6,20	0,6230	2,2741
3	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	3,80	0,3819	1,3938
4	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,50	0,2512	0,9170
5	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,70	0,2713	0,9903
6	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,50	0,2512	0,9170
7	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,30	0,2311	0,8436
8	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,70	0,1708	0,6235
9	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,20	0,1206	0,4401
10	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,60	0,0603	0,2201
11	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,60	0,0603	0,2201
12	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,30	0,0301	0,1100
13	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,20	0,0201	0,0734
14	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,20	0,0201	0,0734
15	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,10	0,0100	0,0367
16	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	7,90	0,0040	0,0145
17	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	7,10	0,0036	0,0130
18	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	6,70	0,0034	0,0123
19	08/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	6,30	0,0032	0,0116
20	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	6,50	0,0033	0,0119
21	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	5,20	0,0026	0,0095
22	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	4,50	0,0023	0,0083
23	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	5,00	0,0025	0,0092
24	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	4,70	0,0024	0,0086
25	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	4,00	0,0020	0,0073
26	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	3,60	0,0018	0,0066
27	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	3,10	0,0016	0,0057
28	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,80	0,0014	0,0051
29	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	3,10	0,0016	0,0057
30	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,90	0,0010	0,0035
31	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,90	0,0015	0,0053
32	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,40	0,0012	0,0044
33	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,70	0,0009	0,0031
34	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,80	0,0009	0,0033
35	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,60	0,0008	0,0029

Tabla 45. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,00	0,0010	0,0037
37	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,60	0,0008	0,0029
38	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,50	0,0008	0,0028
39	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,40	0,0007	0,0026
40	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,60	0,0008	0,0029
41	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,50	0,0008	0,0028
42	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,20	0,0006	0,0022
43	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,20	0,0006	0,0022
44	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,10	0,0006	0,0020
45	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,00	0,0005	0,0018
46	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,90	0,0005	0,0017
47	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,90	0,0005	0,0017
48	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,60	0,0003	0,0011
49	08/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,50	0,0008	0,0028
50	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	0,10	0,0001	0,0002
51	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
52	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	3,00	0,0015	0,0055
53	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,80	0,0014	0,0051
54	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,50	0,0013	0,0046
55	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,20	0,0011	0,0040
56	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,10	0,0011	0,0039
57	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	1,60	0,0008	0,0029
58	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,80	0,0014	0,0051
59	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,50	0,0013	0,0046
60	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
61	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
62	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
63	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
64	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
65	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
66	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-
67	08/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	-	-	-

Tabla 46. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	8,50	0,0043	0,0156
2	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,60	0,0603	0,2201
3	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,50	0,1507	0,5502
4	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	3,00	0,3015	1,1004
5	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	4,00	0,4020	1,4672
6	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	4,80	0,4824	1,7606
7	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	4,60	0,4623	1,6882
8	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,10	0,2110	0,7703
9	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,80	0,1809	0,6602
10	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,50	0,1507	0,5502
11	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,20	0,2211	0,8069
12	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	2,90	0,2914	1,0637
13	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,70	0,1708	0,6235
14	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	1,80	0,1809	0,6602
15	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,60	0,0603	0,2201
16	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,50	0,0502	0,1834
17	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,40	0,0402	0,1467
18	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,20	0,0201	0,0734
19	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	1,0049	0,10	0,0100	0,0367
20	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	21,50	0,0108	0,0394
21	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	16,00	0,0080	0,0293
22	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	10,10	0,0051	0,0185
23	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	5,00	0,0025	0,0092
24	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,80	0,0014	0,0051
25	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,70	0,0014	0,0050
26	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,30	0,0012	0,0042
27	14/10/2008	Aclarado	10	NaOH	0,0050	2,20	0,0011	0,0040
28	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,20	0,0011	0,0040
29	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,00	0,0010	0,0037
30	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,80	0,0009	0,0033
31	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,50	0,0008	0,0028
32	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,60	0,0008	0,0029
33	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	1,10	0,0006	0,0020
34	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,80	0,0004	0,0015
35	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,70	0,0004	0,0013

Tabla 46. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,70	0,0004	0,0013
37	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,60	0,0003	0,0011
38	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,60	0,0003	0,0011
39	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
40	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
41	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
42	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
43	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
44	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
45	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,50	0,0003	0,0009
46	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
47	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
48	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
49	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
50	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
51	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
52	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
53	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
54	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,20	0,0001	0,0004
55	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
56	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
57	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
58	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,20	0,0001	0,0004
59	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
60	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
61	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
62	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,20	0,0001	0,0004
63	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,30	0,0002	0,0006
64	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,20	0,0001	0,0004
65	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	0,40	0,0002	0,0007
66	14/10/2008	Transferencia	10	NaOH	0,0050	2,40	0,0012	0,0044
67	14/10/2008	Lavado	10	NaOH	0,0050	2,30	0,0012	0,0042

Tabla 47. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,85	0,0931	10:15:00 p.m.	0	0,3724
2	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,75	0,0821	10:20:00 p.m.	5	0,3286
3	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	1,45	0,1588	10:25:00 p.m.	10	0,6352
4	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	5,60	0,6133	10:30:00 p.m.	15	2,4532
5	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	2,95	0,3231	10:35:00 p.m.	20	1,2923
6	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	10,43	1,1423	10:40:00 p.m.	25	4,5692
7	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,80	1,4019	10:50:00 p.m.	30	5,6074
8	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,20	1,3361	10:55:00 p.m.	35	5,3446
9	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	14,30	1,5661	11:00:00 p.m.	40	6,2645
10	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,00	0,0000	11:05:00 p.m.	45	6,0000

Tabla 48. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,40	0,0438	02:10:00 p.m.	0	0,1752
2	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	6,00	0,6571	02:15:00 p.m.	5	2,6285
3	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	8,80	0,9638	02:20:00 .m.	10	3,8551
4	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	9,70	1,0623	02:25:00 p.m.	15	4,2494
5	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,35	1,3526	02:30:00 p.m.	20	5,4103
6	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,65	1,3854	02:35:00 p.m.	25	5,5417
7	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	13,50	1,4785	02:40:00 p.m.	30	5,9141
8	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	11,50	1,2595	02:45:00 p.m.	35	5,0379
9	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	13,30	1,4566	02:50:00 p.m.	40	5,8265
10	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	11,70	1,2814	02:55:00 p.m.	45	6,0000

Tabla 49. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	0,20	0,0220	02:00:00 p.m.	0	0,0889
2	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	0,40	0,0439	02:05:00 p.m.	5	0,1758
3	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	7,30	0,8021	02:10:00 p.m.	10	3,2082
4	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	11,20	1,2305	02:15:00 p.m.	15	4,9222
5	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,30	1,4613	02:20:00 p.m.	20	5,8451
6	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,50	1,4832	02:30:00 p.m.	25	5,9330
7	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,10	1,4393	02:40:00 p.m.	30	5,7572
8	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,15	1,4448	02:50:00 p.m.	35	5,7792
9	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	5,90	0,6482	03:00:00 p.m.	40	2,5929
10	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	2,15	0,2362	03:10:00 p.m.	45	0,9449

Tabla 50. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
2	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,40	0,0263	0,1051
3	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,03	0,0332	0,1327
4	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,57	0,0391	0,1564
5	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,10	0,0339	0,1358
6	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,80	0,0526	0,2102
7	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	10,20	0,1117	0,4468
8	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	-	-	-
9	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	3,75	0,4107	1,6428
10	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	4,55	0,4983	1,9933
11	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	5,55	0,6078	2,4313
12	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	8,70	0,9528	3,8113
13	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,70	0,8433	3,3732
14	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,55	0,8269	3,3075
15	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,55	0,8269	3,3075
16	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,40	0,8104	3,2418
17	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	8,00	0,8862	3,5046
18	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,05	0,7721	3,0885
19	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,90	0,7557	3,0228
20	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,60	0,8324	3,3294
21	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	7,60	0,8324	3,3294
22	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,85	0,7502	3,0008
23	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	5,15	0,5640	2,2561
24	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	3,75	0,4107	1,6428
25	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	2,15	0,2355	0,9419
26	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	17,05	0,1867	0,7468
27	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	13,10	0,1434	0,5738
28	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	10,05	0,1100	0,4402
29	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	7,90	0,0865	0,3460
30	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	6,35	0,0695	0,2781
31	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	5,35	0,0586	0,2343
32	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,70	0,0515	0,2059
33	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,40	0,0482	0,1927
34	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,15	0,0454	0,1818
35	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,90	0,0427	0,1708

Tabla 50. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	3,70	0,0405	0,1621
37	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	3,30	0,0361	0,1445
38	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	3,05	0,0334	0,1336
39	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,70	0,0296	0,1183
40	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,50	0,0164	0,0657
41	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,10	0,0120	0,0482
42	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
43	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
44	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
45	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
46	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
47	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
48	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
49	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
50	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
51	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
52	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
53	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
54	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
55	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
56	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
57	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
58	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
59	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,24	0,0026	0,0105
60	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,01	0,0001	0,0004
61	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
62	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
63	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
64	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
65	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
66	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
67	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-

Tabla 51. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,80	0,0416	0,1664
2	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,80	0,1978	0,7911
3	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,60	0,2857	1,1426
4	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,90	0,4285	1,7140
5	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,55	0,4999	1,9996
6	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,85	0,6427	2,5710
7	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,60	0,7251	2,9006
8	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,95	0,7636	3,0544
9	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,95	0,7636	3,0544
10	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,30	0,8021	3,2082
11	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,50	0,8240	3,2961
12	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,15	0,7856	3,1423
13	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,30	0,8021	3,2082
14	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	-	-	-
15	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,50	0,8240	3,2961
16	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,30	0,8021	3,2082
17	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,05	0,7746	3,0983
18	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,25	0,6867	2,7468
19	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,00	0,4395	1,7579
20	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,50	0,3845	1,5382
21	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,10	0,2307	0,9229
22	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	13,40	0,1467	0,5869
23	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	8,55	0,0936	0,3745
24	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	7,00	0,0767	0,3066
25	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	5,00	0,0548	0,2190
26	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,95	0,0542	0,2168
27	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,20	0,0460	0,1840
28	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,00	0,0438	0,1752
29	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,50	0,0383	0,1533
30	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,35	0,0367	0,1467
31	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,20	0,0350	0,1402
32	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,85	0,0312	0,1248
33	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,55	0,0279	0,1117
34	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,30	0,0252	0,1007
35	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,10	0,0230	0,0920

Tabla 51. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,00	0,0110	0,0438
37	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,55	0,0060	0,0241
38	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
39	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
40	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
41	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
42	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
43	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
44	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
45	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
46	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
47	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
48	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
49	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
50	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
51	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
52	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
53	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
54	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
55	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
56	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
57	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
58	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
59	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
60	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
61	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
62	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
63	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
64	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
65	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
66	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
67	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-

Tabla 52. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,60	0,0285	0,1139
2	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,20	0,0220	0,0889
3	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,40	0,0439	0,1758
4	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,85	0,0934	0,3736
5	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,55	0,2802	1,1207
6	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	-	-	-
7	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,20	0,5713	2,2853
8	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,35	0,6977	2,7907
9	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,60	0,7251	2,9006
10	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,10	0,7801	3,1203
11	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,95	0,7636	3,0544
12	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,85	0,7526	3,0104
13	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,80	0,7471	2,9885
14	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	-	-	-
15	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,05	0,7746	3,0983
16	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,20	0,6812	2,7248
17	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,00	0,7691	3,0764
18	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	7,30	0,8021	3,2082
19	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,40	0,7032	2,8127
20	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,30	0,4724	1,8898
21	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,75	0,4120	1,6481
22	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,55	0,2802	1,1207
23	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,00	0,2197	0,8890
24	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,70	0,1868	0,7471
25	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,30	0,1428	0,5713
26	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,80	0,0889	0,3516
27	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,80	0,0889	0,3516
28	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,55	0,0604	0,2417
29	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,70	0,0769	0,3076
30	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,40	0,0439	0,1758
31	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,55	0,0604	0,2417
32	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	-	-	-
33	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,30	0,0252	0,1007
34	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,10	0,0230	0,0920
35	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,00	0,0219	0,0886

Tabla 52. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,80	0,0197	0,0788
37	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,60	0,0175	0,0701
38	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,60	0,0175	0,0701
39	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,50	0,0164	0,0657
40	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,15	0,0126	0,0504
41	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,60	0,0066	0,0263
42	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
43	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
44	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
45	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
46	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
47	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
48	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
49	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
50	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
51	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
52	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
53	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
54	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
55	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
56	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
57	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,40	0,0044	0,0175
58	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
59	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
60	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
61	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,40	0,0044	0,0175
62	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
63	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
64	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
65	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
66	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
67	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066

Tabla 53. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Débil y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,85	0,0931	10:15:00 p.m.	20	0,3724
2	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,75	0,0821	10:20:00 p.m.	25	0,3286
3	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	1,45	0,1588	10:25:00 p.m.	30	0,6352
4	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	5,60	0,6133	10:30:00 p.m.	35	2,4532
5	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	2,95	0,3231	10:35:00 p.m.	40	1,2923
6	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	10,43	1,1423	10:40:00 p.m.	45	4,5692
7	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,80	1,4019	10:50:00 p.m.	50	5,6074
8	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,20	1,3361	10:55:00 p.m.	55	5,3446
9	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	14,30	1,5661	11:00:00 p.m.	60	6,2645
10	01/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,00	0,0000	11:05:00 p.m.	65	6,0000

Tabla 54. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Débil y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	0,40	0,0438	02:10:00 p.m.	20	0,1752
2	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	6,00	0,6571	02:15:00 p.m.	25	2,6285
3	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	8,80	0,9638	02:20:00 .m.	30	3,8551
4	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	9,70	1,0623	02:25:00 p.m.	35	4,2494
5	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,35	1,3526	02:30:00 p.m.	40	5,4103
6	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	12,65	1,3854	02:35:00 p.m.	45	5,5417
7	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	13,50	1,4785	02:40:00 p.m.	50	5,9141
8	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	11,50	1,2595	02:45:00 p.m.	55	5,0379
9	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	13,30	1,4566	02:50:00 p.m.	60	5,8265
10	08/10/2008	10	NaOH	1,0952	11,70	1,2814	02:55:00 p.m.	65	6,0000

Tabla 55. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Entrada del Intercambiador Aniónico Débil y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.

Numero de la Muestra	Fecha	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	t real (min)	t (min)	Concentración (%)
1	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	0,20	0,0220	02:00:00 p.m.	20	0,0889
2	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	0,40	0,0439	02:05:00 p.m.	25	0,1758
3	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	7,30	0,8021	02:10:00 p.m.	30	3,2082
4	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	11,20	1,2305	02:15:00 p.m.	35	4,9222
5	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,30	1,4613	02:20:00 p.m.	40	5,8451
6	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,50	1,4832	02:30:00 p.m.	45	5,9330
7	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,10	1,4393	02:40:00 p.m.	50	5,7572
8	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	13,15	1,4448	02:50:00 p.m.	55	5,7792
9	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	5,90	0,6482	03:00:00 p.m.	60	2,5929
10	15/10/2008	10	NaOH	1,0988	2,15	0,2362	03:10:00 p.m.	65	0,9449

Tabla 56. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración I.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	-	-	-
2	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
3	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095		0,0000	0,0000
4	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,40	0,0044	0,0175
5	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
6	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,60	0,0066	0,0263
7	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,75	0,0082	0,0329
8	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	1,30	0,0142	0,0569
9	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,15	0,0454	0,1818
10	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	13,60	0,1489	0,5957
11	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,10	0,0449	0,1796
12	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	4,40	0,0482	0,1927
13	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	43,80	0,4796	1,9184
14	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	5,45	0,5969	2,3885
15	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	5,40	0,5914	2,3656
16	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	5,85	0,6407	2,5628
17	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,20	0,6790	2,7161
18	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,45	0,7064	2,8256
19	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,90	0,7557	3,0228
20	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,55	0,7174	2,8694
21	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,40	0,7009	2,8037
22	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,40	0,7009	2,8037
23	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,50	0,7119	2,8475
24	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	-	-	-
25	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	6,10	0,6681	2,6723
26	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	4,50	0,4928	1,9714
27	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	3,60	0,3943	1,5771
28	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	1,80	0,1971	0,7885
29	01/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0952	1,70	0,1862	0,7447
30	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	1,30	0,1424	0,5695
31	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,85	0,0931	0,3724
32	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,85	0,0931	0,3724
33	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,65	0,0712	0,2848
34	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,40	0,0438	0,1752
35	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,80	0,0886	0,3505

Tabla 56. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,40	0,0438	0,1752
37	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	0,35	0,0383	0,1533
38	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0952	-	-	-
39	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	3,55	0,0389	0,1555
40	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,75	0,0301	0,1205
41	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,30	0,0252	0,1007
42	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,05	0,0224	0,0898
43	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
44	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,60	0,0175	0,0701
45	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,30	0,0142	0,0569
46	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,20	0,0131	0,0526
47	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,05	0,0115	0,0460
48	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,90	0,0099	0,0394
49	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,85	0,0093	0,0372
50	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,65	0,0071	0,0285
51	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,55	0,0060	0,0241
52	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,55	0,0060	0,0241
53	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
54	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
55	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
56	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
57	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	-	-	-
58	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
59	01/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
60	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,40	0,0044	0,0175
61	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
62	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
63	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
64	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
65	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
66	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
67	01/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044

Tabla 57. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración II.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,55	0,0060	0,0241
2	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,75	0,0082	0,0329
3	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,90	0,0099	0,0394
4	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	3,65	0,0400	0,1599
5	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,05	0,2252	0,9009
6	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,95	0,4340	1,7359
7	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,35	0,4779	1,9117
8	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,90	0,5384	2,1535
9	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,35	0,5888	2,3512
10	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,60	0,6153	2,4611
11	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,75	0,6318	2,5270
12	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,90	0,6482	2,5929
13	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	-	-	-
14	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,40	0,7032	2,8127
15	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,35	0,6977	2,7907
16	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,25	0,6867	2,7468
17	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,10	0,6702	2,6808
18	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,00	0,6592	2,6369
19	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,50	0,4944	1,9777
20	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,75	0,4120	1,6481
21	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,00	0,3296	1,3184
22	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,05	0,2252	0,9009
23	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,50	0,1648	0,6592
24	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,25	0,1373	0,5494
25	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,90	0,0989	0,3955
26	08/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,75	0,0824	0,3296
27	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0988	0,60	0,0659	0,2637
28	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0988	0,55	0,0604	0,2417
29	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0988	0,55	0,0604	0,2417
30	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0988	0,45	0,0494	0,1978
31	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0988	0,45	0,0494	0,1978
32	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	1,0988	0,40	0,0439	0,1758
33	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,30	0,0252	0,1007
34	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,20	0,0241	0,0964
35	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,85	0,0203	0,0810

Tabla 57. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,35	0,0148	0,0591
37	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,25	0,0137	0,0548
38	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,95	0,0104	0,0416
39	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,95	0,0104	0,0416
40	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,80	0,0088	0,0350
41	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,70	0,0077	0,0307
42	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,65	0,0071	0,0285
43	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,60	0,0066	0,0263
44	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,40	0,0044	0,0175
45	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
46	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
47	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
48	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
49	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,45	0,0049	0,0197
50	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,40	0,0044	0,0175
51	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
52	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
53	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
54	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
55	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
56	08/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
57	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,10	0,0011	0,0044
58	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
59	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
60	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
61	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
62	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
63	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
64	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
65	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
66	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
67	08/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-

Tabla 58. Mililitros consumidos en la Titulación de las Muestras de la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte y su Concentración en % m/v en la Regeneración III.

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
1	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
2	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
3	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
4	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,65	0,0071	0,0285
5	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,75	0,0082	0,0329
6	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	1,50	0,0164	0,0657
7	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,40	0,0439	0,1758
8	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,65	0,0714	0,2857
9	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,00	0,3296	1,3184
10	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,95	0,4340	1,7359
11	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,00	0,5494	2,1974
12	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,30	0,5823	2,3292
13	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,25	0,5768	2,3073
14	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,75	0,6318	2,5270
15	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,15	0,6757	2,7028
16	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,15	0,6757	2,7028
17	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,40	0,7032	2,8127
18	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,10	0,6702	2,6808
19	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,30	-	-
20	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,65	0,7306	2,9225
21	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,45	0,7088	2,8346
22	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	6,20	0,6812	2,7248
23	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	5,60	0,6153	2,4611
24	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	4,80	0,5274	2,1095
25	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	3,55	0,3900	1,5602
26	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	2,45	0,2692	1,0767
27	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,50	0,1648	0,6592
28	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,20	0,1318	0,5274
29	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	1,25	0,1373	0,5494
30	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,85	0,0934	0,3736
31	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,70	0,0769	0,3076
32	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	1,0988	0,85	0,0934	0,3736
33	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
34	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	0,55	0,0060	0,0241
35	14/10/2008	Aclarado	10	HCl	0,1095	2,25	0,0246	0,0986

Tabla 58. Continuación...

Numero de la Muestra	Fecha	Etapa Teórica	V de muestra (ml)	Titulante	Concentración Titulante (N)	Volumen gastado (ml)	Concentración (N)	Concentración (% m/v)
36	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	3,00	0,0329	0,1314
37	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,75	0,0301	0,1205
38	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,55	0,0279	0,1117
39	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,30	0,0252	0,1007
40	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	2,10	0,0230	0,0920
41	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,75	0,0192	0,0767
42	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,55	0,0170	0,0679
43	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,40	0,0153	0,0613
44	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,10	0,0120	0,0482
45	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,05	0,0115	0,0460
46	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,80	0,0197	0,0788
47	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	1,95	0,0214	0,0854
48	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,85	0,0093	0,0372
49	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,65	0,0071	0,0285
50	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,75	0,0082	0,0329
51	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,55	0,0060	0,0241
52	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
53	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
54	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
55	14/10/2008	Transferencia	10	HCl	0,1095	0,35	0,0038	0,0153
56	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,50	0,0055	0,0219
57	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,15	0,0016	0,0066
58	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
59	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,65	0,0071	0,0285
60	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
61	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,25	0,0027	0,0110
62	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,30	0,0033	0,0131
63	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	0,20	0,0022	0,0088
64	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
65	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
66	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-
67	14/10/2008	Lavado	10	HCl	0,1095	-	-	-

Tabla 59. Masa de Regenerante Sobrante, Entrante al Equipo Catiónico Fuerte y Empleada por la Resina para Regenerarse.

Equipo	C1 Intercambiador Catiónico Fuerte					
	I		II		III	
Regeneración	Aclarado	Transferencia	Aclarado	Transferencia	Aclarado	Transferencia
Etapa						
Suma Par	1,9715	0,0167	1,8840	0,0710	6,2422	0,0200
Suma Impar	1,3940	0,0145	1,3391	0,0317	6,4494	0,0154
Fo	0,0000	0,0026	0,0000	0,0301	0,0156	0,0040
Fn	0,0020	0,0039	0,0238	0,0006	0,0040	0,0007
h	3	3	3	3	3	3
Área (min*% m/v)	9,5209	0,0977	9,1484	0,2995	38,3017	0,1064
Flujo (m3/h)	4,45	4,00	4,14	1,04	4,91	0,55
Flujo (ml/min)	74.089,43	66.666,67	68.983,03	17.347,92	81.891,81	9.166,67
t (min)	90	90	90	90	90	90
Volimen Total Entrante (ml)	6.668.048,69	6.000.000,00	6.208.472,57	1.561.312,50	7.370.262,59	825.000,00
Masa Reg Sobrante (g)	7.053,99	65,17	6.310,88	51,95	31.365,96	9,75
Masa Sobrante Total (g)	7.119,16		6.362,82		31.375,71	
Masa Sobrante Total (Kg)	7,12		6,36		31,38	
Volumen Entrante (m3)	1,85		1,72		4,50	
Masa Entrante (Kg)	2.152,30		2.003,96		5.229,00	
Volumen Empleado Resina (m3)	1,846		1,72		4,48	
Masa Empleada Resina (Kg)	2.145,18		1.997,59		5.197,62	

Tabla 60. Masa de Regenerante Sobrante, Entrante al Equipo Aniónico Fuerte y Empleada por la Resina para Regenerarse.

Equipo	DS1 Intercambiador Aniónico Fuerte					
	I		II		III	
Regeneración	Aclarado	Transferencia	Aclarado	Transferencia	Aclarado	Transferencia
Etapa						
Suma Par	25,8818	0,3593	25,8594	0,1019	25,6126	0,3557
Suma Impar	25,7398	0,2522	23,5311	0,1259	19,9345	0,2438
Fo	0,0044	0,1479	0,1664	1,5382	0,1139	0,0719
Fn	0,1559	0,0000	0,1007	0,0060	0,0799	0,0100
h	3	3	3	3	3	3
Área (min*% m/v)	154,8631	1,8853	146,1103	2,2516	131,1569	1,7686
Flujo (m3/h)	2,33	3,00	2,33	0,36	2,33	0,80
Flujo (ml/min)	38.799,94	50.000,00	38.799,94	6.056,00	38.799,94	13.333,33
t (min)	90	90	90	90	90	90
V entrante (ml)	3.491.994,81	4.500.000,00	3.491.994,81	545.040,00	3.491.994,81	1.200.000,00
Masa Reg Sobrante (g)	60.086,80	937,64	56.690,73	136,36	50.888,81	235,81
Masa Sobrante Total (g)	61.024,44		56.827,09		51.124,62	
Masa Sobrante Total (Kg)	61,02		56,83		51,12	
Volumen Entrante (m3)	0,97		0,97		0,97	
Masa Entrante (Kg)	1.481,19		1.481,19		1.481,19	
Volumen Empleado Resina (m3)	0,917		0,93		0,94	
Masa Empleada Resina (Kg)	1.420,16		1.424,36		1.430,06	

Tabla 61. Masa de Regenerante Sobrante, Entrante al Equipo Aniónico Débil y Empleada por la Resina para Regenerarse.

Equipo	A1 Intercambiador Aniónico Débil					
	I		II		III	
Regeneración	Aclarado	Transferencia	Aclarado	Transferencia	Aclarado	Transferencia
Etapa						
Suma Par	20,3396	1,5745	17,5527	0,8460	18,4250	1,5483
Suma Impar	17,1069	1,1671	20,4308	0,9315	20,1212	1,9381
Fo	0,0000	0,5695	0,0000	0,2637	0,0131	0,6592
Fn	0,7447	0,0040	0,3296	0,0000	1,0767	0,0000
h	3	3	3	3	3	3
Área (min*% m/v)	109,8514	8,3909	117,1581	5,6814	118,4249	11,5082
Flujo (m3/h)	2,33	3,00	2,33	0,36	2,33	0,80
Flujo (ml/min)	38.799,94	50.000,00	38.799,94	6.056,00	38.799,94	13.333,33
t (min)	90	90	90	90	90	90
V entrante (ml)	3.491.994,81	4.500.000,00	3.491.994,81	545.040,00	3.491.994,81	1.200.000,00
Masa Reg Sobrante (g)	42.622,29	4.195,46	45.457,28	344,07	45.948,78	1.534,42
Masa Sobrante Total (g)	46.817,75		45.801,34		47.483,20	
Masa Sobrante Total (Kg)	46,82		45,80		47,48	
Volumen Entrante (m3)	0,97		0,97		0,97	
Masa Entrante (Kg)	1.481,19		1.481,19		1.481,19	
Volumen Empleado Resina (m3)	0,930		0,93		0,94	
Masa Empleada Resina (Kg)	1.434,37		1.435,39		1.433,70	

Tabla 62. Dimensiones de los Tanques de Regenerantes, Volumen Inyectado de Regenerantes y Caudal de las Bombas Empleadas.

Evento	Regeneración I			Regeneración II			Regeneración III		
Fecha	30/09/2008			06/10/2008			13/10/2008		
Técnico	Carlos Cáceres			Irvin Hernández			Carlos Cáceres		
Equipo	C1	A1	DS1	C1	A1	DS1	C1	A1	DS1
Tanque	HCl	NaOH		HCl	NaOH		HCl	NaOH	
Diámetro (m)	2,5	2,5		2,5	2,5		2,5	2,5	
Largo (m)	7,5	6		7,5	6		7,5	6	
Concentración (% m/v)	30	50		30	50		30	50	
Densidad (Kg/m3)	1.162	1.527		1.162	1.527		1.162	1.527	
Nivel o (m)	1,61	1,35		1,70	1,53		0,48	1,36	
Volumen (m3)	30,88	24,74		32,86	28,94		4,74	21,00	
Nivel f (m)	1,58	1,33		1,58	1,45		0,43	4,02	
Volumen (m3)	30,20	24,39		30,20	27,21		1,33	20,41	
Volumen Total Inyectado (m3)	0,68	0,35		0,67	0,43		0,73	0,60	
Volumen Inyectado Equipo (m3)	0,68	0,18	0,18	0,67	0,22	0,22	0,73	0,30	0,30
Bomba	54	60	60	51	60	60	51	60	60
Carrera (%)	53	80	80	55	80	80	55	80	80
Caudal Máximo Bomba (m3/h)	1,89	0,45	0,45	1,89	0,45	0,45	1,89	0,45	0,45
Caudal Actual Bomba (m3/h)	100,30	36,34	36,34	104,09	36,34	36,34	104,09	36,34	36,34
Caudal de Agua Dilución (m3/h)	4,00	3,00	3,00	3,60	3,00	3,00	4,50	3,00	3,00
Flujo Entrante al Equipo (Kg/h)	5.165,52	3.554,85	3.554,85	4.809,50	3.554,85	3.554,85	5.709,50	3.554,85	3.554,85
Concentración (% m/v)	6	3	3	6	3	3	6	3	3
Volumen inyectado (m3)	1,85	0,97	0,97	1,73	0,97	0,97	2,05	0,97	0,97

Tabla 63. Volumen de Ácido Clorhídrico en el Tanque en Función de la Altura.

H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)
0,25	2,14510	0,66	9,18051	1,07	18,25762	1,48	27,90269	1,89	36,81834
0,26	2,27658	0,67	9,38455	1,08	18,49140	1,49	28,13420	1,90	37,01496
0,27	2,41062	0,68	9,58973	1,09	18,72549	1,50	28,36527	1,91	37,21027
0,28	2,54718	0,69	9,79604	1,10	18,95988	1,51	28,59588	1,92	37,40423
0,29	2,68619	0,70	10,00346	1,11	19,19453	1,52	28,82599	1,93	37,59681
0,30	2,82760	0,71	10,21195	1,12	19,42945	1,53	29,05560	1,94	37,78800
0,31	2,97136	0,72	10,42151	1,13	19,66461	1,54	29,28470	1,95	37,97775
0,32	3,11742	0,73	10,63209	1,14	19,89998	1,55	29,51326	1,96	38,16606
0,33	3,26574	0,74	10,84370	1,15	20,13556	1,56	29,74125	1,97	38,35288
0,34	3,41627	0,75	11,05629	1,16	20,37132	1,57	29,96867	1,98	38,53820
0,35	3,56896	0,76	11,26985	1,17	20,60725	1,58	30,19549	1,99	38,72197
0,36	3,72378	0,77	11,48436	1,18	20,84332	1,59	30,42169	2,00	38,90418
0,37	3,88067	0,78	11,69979	1,19	21,07952	1,60	30,64726	2,01	39,08479
0,38	4,03961	0,79	11,91613	1,20	21,31583	1,61	30,88216	2,02	39,26378
0,39	4,20054	0,80	12,13335	1,21	21,55223	1,62	31,09639	2,03	39,44111
0,40	4,36344	0,81	12,35143	1,22	21,78881	1,63	31,31993	2,04	39,61675
0,41	4,52826	0,82	12,57035	1,23	22,02523	1,64	31,54274	2,05	39,79067
0,42	4,69498	0,83	12,79009	1,24	22,26180	1,65	31,76482	2,06	39,96284
0,43	4,86354	0,84	13,01063	1,25	22,49838	1,66	31,98614	2,07	40,13323
0,44	5,03393	0,85	13,23195	1,26	22,73497	1,67	32,20668	2,08	40,30179
0,45	5,20610	0,86	13,45403	1,27	22,97154	1,68	32,42642	2,09	40,46851
0,46	5,38002	0,88	13,67684	1,28	23,20806	1,69	32,64534	2,10	40,63333
0,47	5,55566	0,88	13,90038	1,29	23,44454	1,70	32,86342	2,11	40,79623
0,48	5,73299	0,89	14,12461	1,30	23,68094	1,71	33,08064	2,12	40,95716
0,49	5,91198	0,90	14,34951	1,31	23,91725	1,72	33,29698	2,13	41,11610
0,50	6,09259	0,91	14,57508	1,32	24,15345	1,73	33,51241	2,14	41,27299
0,51	6,27480	0,92	14,80128	1,33	24,38952	1,74	33,72692	2,15	41,42781
0,52	6,45857	0,93	15,02810	1,34	24,62545	1,75	33,94048	2,16	41,58050
0,53	6,64389	0,94	15,25552	1,35	24,86121	1,76	34,15307	2,17	41,73103
0,54	6,83071	0,95	15,48351	1,36	25,09679	1,77	34,36468	2,18	41,88935
0,55	7,01902	0,96	15,71207	1,37	25,33216	1,78	34,57526	2,19	42,02541
0,56	7,20887	0,97	15,94117	1,38	25,56732	1,79	34,78482	2,20	42,16917
0,57	7,39996	0,98	16,17078	1,39	25,80224	1,80	34,99331	2,21	42,31058
0,58	7,59254	0,99	16,40090	1,40	26,03690	1,81	35,20073	2,22	42,44959
0,59	7,78650	1,00	16,63150	1,41	26,27128	1,82	35,40704	2,23	42,58615
0,60	7,98181	1,01	16,86257	1,42	26,50537	1,83	35,61222	2,24	42,72019
0,61	8,17843	1,02	17,09408	1,43	26,73915	1,84	35,81626	2,25	42,85167
0,62	8,37636	1,03	17,32601	1,44	26,97260	1,85	36,01912	-	-
0,63	8,57555	1,04	17,55835	1,45	27,20569	1,86	36,22078	-	-
0,64	8,77599	1,05	17,79108	1,46	27,43842	1,88	36,42122	-	-
0,65	8,97765	1,06	18,02417	1,47	27,67076	1,88	36,62041	-	-

Tabla 64. Volumen de Hidróxido de Sodio en el Tanque en Función de la Altura.

H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)	H (m)	V (m3)
0,25	1,76190	0,66	7,62632	1,07	15,24883	1,48	23,36353	1,89	30,84621
0,26	1,88067	0,67	7,79721	1,08	15,44537	1,49	23,55821	1,90	31,01071
0,27	1,98163	0,68	7,96910	1,09	15,64229	1,50	23,75250	1,91	31,17408
0,28	2,09472	0,69	8,14196	1,10	15,83947	1,51	23,94639	1,92	31,33628
0,29	2,20989	0,70	8,31577	1,11	16,03688	1,52	24,13986	1,93	31,49731
0,30	2,32711	0,71	8,49052	1,12	16,23452	1,53	24,33290	1,94	31,65712
0,31	2,44632	0,72	8,66618	1,13	16,43236	1,54	24,52548	1,95	31,81571
0,32	2,56750	0,73	8,84274	1,14	16,63040	1,55	24,71760	1,96	31,97305
0,33	2,69060	0,74	9,02017	1,15	16,82861	1,56	24,90923	1,97	32,12911
0,34	2,81558	0,75	9,19846	1,16	17,02698	1,57	25,10036	1,98	32,28388
0,35	2,94240	0,76	9,37759	1,17	17,22549	1,58	25,29097	1,99	32,43732
0,36	3,07104	0,77	9,55753	1,18	17,42413	1,59	25,48104	2,00	32,58942
0,37	3,20145	0,78	9,73828	1,19	17,62288	1,60	25,67056	2,01	32,74015
0,38	3,33360	0,79	9,91981	1,20	17,82173	1,61	25,85951	2,02	32,88948
0,39	3,46747	0,80	10,10210	1,21	18,02065	1,62	26,04788	2,03	33,03738
0,40	3,60301	0,81	10,28514	1,22	18,21964	1,63	26,23564	2,04	33,18384
0,41	3,74020	0,82	10,46890	1,23	18,41868	1,64	26,42277	2,05	33,32883
0,42	3,88901	0,83	10,65338	1,24	18,61775	1,65	26,60927	2,06	33,47231
0,43	4,01940	0,84	10,83855	1,25	18,81683	1,66	26,79511	2,07	33,61426
0,44	4,16135	0,85	11,02439	1,26	19,01592	1,67	26,98028	2,08	33,75465
0,45	4,30483	0,86	11,21089	1,27	19,21498	1,68	27,16476	2,09	33,89346
0,46	4,44982	0,88	11,39803	1,28	19,41402	1,69	27,34852	2,10	34,03065
0,47	4,59628	0,88	11,58579	1,29	19,61301	1,70	27,53156	2,11	34,16619
0,48	4,74418	0,89	11,77415	1,30	19,81194	1,71	27,71386	2,12	34,30006
0,49	4,89351	0,90	11,96310	1,31	20,01078	1,72	27,89538	2,13	34,43221
0,50	5,04424	0,91	12,15262	1,32	20,20953	1,73	28,07613	2,14	34,56262
0,51	5,19634	0,92	12,34270	1,33	20,40817	1,74	28,25608	2,15	34,69126
0,52	5,34978	0,93	12,53331	1,34	20,60669	1,75	28,43520	2,16	34,81809
0,53	5,50455	0,94	12,72443	1,35	20,80506	1,76	28,61349	2,17	34,94307
0,54	5,66061	0,95	12,91606	1,36	21,00327	1,77	28,79092	2,18	35,06616
0,55	5,81795	0,96	13,10818	1,37	21,20130	1,78	28,96748	2,19	35,18834
0,56	5,97654	0,97	13,30076	1,38	21,39915	1,79	29,14314	2,20	35,30655
0,57	6,13636	0,98	13,49380	1,39	21,59678	1,80	29,31789	2,21	35,42377
0,58	6,29738	0,99	13,68827	1,40	21,79420	1,81	29,49170	2,22	35,53894
0,59	6,45958	1,00	13,88116	1,41	21,99137	1,82	29,66456	2,23	35,65203
0,60	6,62295	1,01	14,07545	1,42	22,18829	1,83	29,83645	2,24	35,76299
0,61	6,78845	1,02	14,27013	1,43	22,38494	1,84	30,00734	2,25	35,88176
0,62	6,95308	1,03	14,46518	1,44	22,58130	1,85	30,17723	-	-
0,63	7,11980	1,04	14,66057	1,45	22,77735	1,86	30,34607	-	-
0,64	7,28859	1,05	14,85631	1,46	22,97309	1,88	30,51388	-	-
0,65	7,45644	1,06	15,05237	1,47	23,16849	1,88	30,68059	-	-

Tabla 65. Costo de los Regenerantes y Gasto Promedio por Regeneración.

Regenerante	BsF/Kg	Equipo	Resina	Volumen de Regenerante Inyectado (m3)	Masa de Regenerante Inyectado (Kg)	Gasto por Regeneración (BsF)	Gasto Promedio por Regeneración (BsF)
HCl	1,10	C1	Amberlite IR 120 Na	0,677	786,29	864,92	864,92
				0,667	775,03	852,54	
				0,725	842,20	926,42	
NaOH	2,23	A1	Amberlite IRA 96	0,177	270,15	602,43	602,43
				0,217	331,20	738,58	
				0,298	454,35	1013,21	
		DS1	Amberlite IRA 402 Cl	0,177	270,15	602,43	602,43
				0,217	331,20	738,58	
				0,298	454,35	1013,21	

✓ Caracterización del Agua

Tabla 66. Conductividad y los Sólidos Totales Disueltos obtenidos en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua Desmineralizada de cada Regeneración.

Regeneración	Muestra	Ubicación	Conductividad (µS/cm)	STD (mg/L)
I	Agua Potable	Entrada	240,7	185,24
	Agua	Salida DS1	1,43	1,95
II	Agua Potable	Entrada	225,1	173,23
	Agua	Salida DS1	1,32	1,80
III	Agua Potable	Entrada	241,5	185,85
	Agua	Salida DS1	4,31	5,88

Tabla 67. Alcalinidad obtenida en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.

Reg.	Muestra de agua	Ubicación	HCl (N)	V alícuota (ml)	V gastados (ml)	Alcalinidad total (meq/L)*	Alcalinidad total (ppm CaCO ₃)**	Alcalinidad final (ppm CaCO ₃)***
I	Potable	Entrada	0,0220	50	3,25	1,430	71,5	143
	Agua	Salida DS1	0,0220	50	0,25	0,110	5,5	11
II	Potable	Entrada	0,0220	50	3,00	1,320	66,0	132
	Agua	Salida DS1	0,0220	50	0,40	0,176	8,8	18
III	Potable	Entrada	0,0220	50	3,50	1,540	77,0	154
	Agua	Salida DS1	0,0220	50	0,40	0,176	8,8	18

(*) alcalinidad según la norma ASTM.

(**) valor de la alcalinidad al titular con rojo de metilo.

(***) valor real de la alcalinidad.

Tabla 68. pH obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.

Regeneración	Muestra	Ubicación	HCl (N)	T (°C)	pH	pH corregido
I	Agua Potable	Entrada	0,022	23,00	7,11	7,05
	Agua	Salida DS1	0,022	22,70	6,20	6,13
II	Agua Potable	Entrada	0,022	22,80	7,28	7,21
	Agua	Salida DS1	0,022	22,50	6,64	6,57
III	Agua Potable	Entrada	0,022	22,20	7,88	7,80
	Agua	Salida DS1	0,022	22,30	8,94	8,86

Tabla 69. Sílice obtenido en las Muestras de Agua Potable y en las Muestras de Agua de Salida de cada Regeneración.

Regeneración	Muestra	Ubicación	Longitud de onda (nm)	Dilución	Factor	Absorbancia	Sílice (ppm)
I	Agua Potable	Entrada	815	25	0,64	0,589	9,42
	Agua	Salida DS1	815	1	0,64	0,051	0,03
II	Agua Potable	Entrada	815	25	0,64	0,650	10,40
	Agua	Salida DS1	815	1	0,64	0,024	0,02
III	Agua Potable	Entrada	815	25	0,64	0,569	9,10
	Agua	Salida DS1	815	1	0,64	0,034	0,02

✓ Propiedades de las Resinas de Intercambio Iónico

Tabla 70. Cantidades de Reactivo necesarias para llevar a cabo el Primer y Segundo Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.

Resina	H1 lecho (cm)	Vr 10.6 (ml)	Q NaCl 10.6 (ml/min) 1 hora	Q cada 15 min
C1	45,5	321,62	42,78	641,63
A1	58,0	409,98	54,53	817,91
DS1	48,0	339,29	45,13	676,89

Tabla 71. Cálculos y mediciones para el Primer Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.

PRIMER PRETRATAMIENTO							
-	-	-	8 volúmenes	1 hora	8 volúmenes	1 hora	2 volúmenes
Resina	H2 lecho (cm)	Vr 10.7 (ml)	V HCl 1+4 (ml)	Q HCl (ml/min)	V NaOH 40 g/L	Q NaOH (ml/min)	V agua (ml)
C1	45,5	321,62	2.572,96	42,78	-	-	643,24
A1	58,0	409,98	-	-	3.279,82	54,53	819,96
DS1	42,5	300,41	-	-	2.403,32	39,96	600,83

Tabla 72. Cálculos y mediciones para el Segundo Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico.

SEGUNDO PRETRATAMIENTO							
-	-	-	8 volúmenes	1 hora	4 volúmenes	30 minutos	1 volumen
Resi-na	H2 lecho (cm)	Vr 10.7 (ml)	V HCl 1+4 (ml)	Q HCl (ml/min)	V NaOH 40 g/L (ml)	Q NaOH (ml/min)	V agua (ml)
C1	45,5	321,62	-	-	1.286,48	42,78	321,62
A1	58,0	409,98	3.279,82	54,53	-	-	409,98
DS1	42,5	300,41	2.403,32	39,96	-	-	300,41

Tabla 73. Cálculos para determinar el Contenido de Humedad de la Resina Catiónica Fuerte del C1.

Equipo	Muestra	A	B	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad Promedio (%)	Sr _H	So _H
C1	1	5,0032	2,7042	45,9506	46,37	0,788	0,186
	2	5,0030	2,6792	46,4481			
	3	5,0036	2,6670	46,6984			

Tabla 74. Cálculos para determinar el Contenido de Humedad de la Resina Aniónica Débil A1.

Equipo	Muestra	A	B	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad Promedio (%)	Sr _H	So _H
A1	1	5,0045	1,8666	62,7016	62,73	1,066	0,251
	2	5,0041	1,8652	62,7266			
	3	5,0042	1,8640	62,7513			

Tabla 75. Cálculos para determinar el Contenido de Humedad de la Resina Aniónica Fuerte del DS1.

Equipo	Muestra	A	B	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad Promedio (%)	Sr _H	So _H
DS1	1	5,0042	2,3209	53,6210	53,66	0,912	0,215
	2	5,0030	2,3118	53,7917			
	3	5,0038	2,3241	53,5533			

Donde:

- A masa de muestra húmeda empleada (g)
- B masa de muestra seca obtenida (g)
- Sr_H precisión global del método
- So_H precisión de operador simple

Tabla 76. Cálculos para la determinar la Densidad de la Resina Catiónica Fuerte del C1.

Equipo	Muestra	A	H (cm)	B	Densidad(ρ) (g/ml)	Densidad(ρ) (g/ml)	Sr	So
C1	1	200,00	22,0	155,5088	1,2861	1,29	0,045	0,006
	2	200,00	21,0	148,4403	1,2861			
	3	200,00	23,0	162,5774	1,2861			

Tabla 77. . Cálculos para la determinar la Densidad de la Resina Aniónica Débil A1.

Equipo	Muestra	A	H (cm)	B	Densidad (ρ) (g/ml)	Densidad (ρ) (g/ml)	Sr	So
A1	1	200,00	27,0	190,8518	1,0479	1,05	0,037	0,005
	2	200,00	26,0	183,7832	1,0882			
	3	200,00	28,0	197,9203	1,0105			

Tabla 78. Cálculos para la determinar la Densidad de la Resina Aniónica Fuerte del DS1.

Equipo	Muestra	A	H (cm)	B	Densidad(ρ) (g/ml)	Densidad(ρ) (g/ml)	Sr	So
DS1	1	200,00	25,0	176,7146	1,1318	1,08	0,038	0,005
	2	200,00	26,0	183,7832	1,0882			
	3	200,00	28,0	197,9203	1,0105			

Tabla 79. Cálculos para la determinar el Tamaño de Partícula y el Coeficiente de Uniformidad de la Resina Catiónica Fuerte.

Equipo	Tamiz	Abertura (mm)	V (ml)	Total (ml)	Vol Retenido (%)	% Acumulado Retenido	Coefic. de Unif.	Tamaño Efectivo (mm)	Sr CU	S TE
C1	50	0,30	2,00	69,00	2,8986	100,0000	1,9	0,76	0,032	0,061
	40	0,43	60,00		86,9565	97,1014				
	20	0,85	7,00		10,1449	10,1449				
	16	1,18	0,00		0,0000	0,0000				

Tabla 80. Cálculos para la determinar el Tamaño de Partícula y el Coeficiente de Uniformidad de la Resina Aniónica Débil.

Equipo	Tamiz	Abertura (mm)	V (ml)	Total (ml)	Vol Retenido (%)	% Acumulado Retenido	Coefic. de Unif.	Tamaño Efectivo (mm)	Sr CU	So TE
A1	50	0,30	0,50	60,30	0,8292	100,0000	1,8	0,72	0,032	0,061
	40	0,43	57,00		94,5274	99,1708				
	20	0,85	2,80		4,6434	4,6434				
	16	1,18	0,00		0,0000	0,0000				

Tabla 81. Cálculos para la determinar el Tamaño de Partícula y el Coeficiente de Uniformidad de la Resina Aniónica Fuerte.

Equipo	Tamiz	Abertura (mm)	V (ml)	Total (ml)	Vol Retenido (%)	% Acumulado Retenido	Coefic. de Unif.	Tamaño Efectivo (mm)	Sr CU	So TE
DS1	50	0,30	1,00	64,80	1,5432	100,0000	1,6	0,64	0,032	0,061
	40	0,43	60,00		92,5926	98,4568				
	20	0,85	3,80		5,8642	5,8642				
	16	1,18	0,00		0,0000	0,0000				

Donde:

- A masa de muestra empleada (g)
- B volumen de muestra (ml)
- Sr precisión global del método
- So precisión de operador simple

Tabla 82. Cálculos para determinar la Capacidad Total de Intercambio Catiónico.

M	T1	Nb	T2	F	T3	Na	W	Cw	C _H	Cd	ρ	Cb	Sr	So
1	46,6	0,1046	41,6	41,5667	40,3	0,1025	2	1,9329	46,37	3,6038	1,2861	2,49	3,386	0,033
	47,5		41,5		40,5									
	46,4		41,6		40,7									
2	46,8	0,1047	41,5	41,6000	40,4	0,1027	2	1,9269	46,37	3,5927	1,2861	2,48	3,376	0,033
	47,0		41,7		40,6									
	46,5		41,6		40,3									
3	46,5	0,1047	41,5	41,5333	40,8	0,1025	2	1,9546	46,37	3,6444	1,2861	2,51	3,424	0,033
	47,4		41,5		40,3									
	46,4		41,6		40,4									
Valores Promedio Finales												2,49	3,395	0,033
												Cb	Sr	So

Donde:

- M Muestra
- T1,T2,T3 Titulación 1, Titulación 2, Titulación 3
- Nb concentración de la solución de NaOH empleada (N)
- F volumen promedio de HCl requeridos en la titulación (ml)
- Na concentración del HCl empleado (N)
- W masa húmeda de la muestra (g)
- Cw capacidad total de intercambio (meq/g húmedo)
- C_H contenido de humedad (%)
- Cd capacidad total de intercambio (meq/g seco)
- P densidad (g/ml)
- Cb capacidad total de intercambio (meq/ml)
- Sr precisión global
- So precisión de operador simple

Tabla 83. Cálculos para determinar la Capacidad Total de Intercambio Aniónica Débil.

M	T1	H	T 2	N	W	Crw	T3	F	T4	G	Na	Cw _A	C _H	Crd	Cd _A	ρ	Crb	Cb _A	Sr _A	So _A
1	2,7	2,56	42,3	0,1017	10	0,26	32,5	29,5	0,5	0,43	0,1025	2,93	62,73	0,70	7,86	1,04	0,27	3,07	0,069	0,033
	2,5		42,0				33,5		0,4											
	2,5		42,1				22,5		0,4											
2	2,6	2,63	42,1	0,1016	10	0,26	23,0	29,4	0,5	0,53	0,1027	2,82	62,73	0,71	7,58	1,04	0,28	2,97	0,069	0,033
	2,6		42,2				32,3		0,6											
	2,7		42,2				33,0		0,5											
3	2,5	2,67	42,3	0,1016	10	0,27	22,3	29,4	0,4	0,50	0,1025	2,85	62,73	0,72	7,66	1,04	0,28	3,00	0,069	0,033
	2,8		42,3				33,5		0,6											
	2,7		42,0				32,3		0,5											
Valores Promedio Finales																		3,01	0,069	0,033
																		Cb_A	Sr_A	So_A

Donde:

M muestra

T1,T2,T3,T4 Titulación 1, Titulación 2, Titulación 3, Titulación 4.

H volumen promedio de solución estándar de AgNO₃ requeridos para las titul. 3 (ml)

N concentración de la solución estándar de AgNO₃ (N)

W masa húmeda de la muestra (g)

Crw capacidad de rompimiento salino (meq/g húmedo)

F volumen promedio de solución estándar de AgNO₃ requeridos para las titul. 1 (ml)

G volumen promedio de HCl requeridos para las titul. 2 (ml)

Na concentración del HCl (N)

Cw_A capacidad total de intercambio (meq/g húmedo)

C_H contenido de humedad (%)

Crd capacidad de rompimiento salino (meq/g seco)

Cd_A capacidad total de intercambio (meq/g seco)

P densidad e(g/ml)

Crb capacidad de rompimiento salino e(meq/ml)

Cb_A capacidad total de intercambio (meq/ml)

Sr_A precisión global

So_A precisión de operador simple

Tabla 84. Cálculos para determinar la Capacidad Total de Intercambio Aniónica Fuerte.

M	T1	H	T2	N	W	Crw	T3	F	T4	G	Na	Cw _A	C _H	Crd	Cd _A	ρ	Crb	Cb _A	Sr _A	So _A
1	20,0	21,16	42,3	0,1017	10	2,15	3,9	3,9	0,5	0,43	0,1025	2,22	53,66	4,64	4,79	1,07	2,31	2,39	0,069	0,033
	19,5		42,0				4,0		0,4											
	24,0		42,1				3,9		0,4											
2	18,5	21,00	42,1	0,1015	10	2,13	4,0	4,0	0,3	0,37	0,1027	2,27	53,66	4,59	4,91	1,07	2,29	2,45	0,069	0,033
	23,0		42,2				4,2		0,4											
	21,5		42,4				3,9		0,4											
3	19,0	20,33	42,0	0,1020	10	2,07	3,8	3,9	0,5	0,50	0,1025	2,07	53,66	4,47	4,47	1,07	2,23	2,23	0,069	0,033
	20,0		42,0				3,9		0,5											
	22,0		42,1				4,0		0,5											
Valores Finales Promedio																		2,36	0,069	0,033
																		Cb_A	Sr_A	So_A

Donde:

- M Muestra
- T1,T2,T3,T4 Titulación 1, Titulación 2, Titulación 3, Titulación 4.
- H volumen promedio de solución estándar de AgNO₃ requeridos para las titul. 3 (ml)
- N concentración de la solución estándar de AgNO₃ (N)
- W masa húmeda de la muestra (g)
- Crw capacidad de rompimiento salino (meq/g húmedo)
- F volumen promedio de solución estándar de AgNO₃ requeridos para las titul. 1 (ml)
- G volumen promedio de HCl requeridos para las titul. 2 (ml)
- Na normalidad del HCl 0,1 N
- Cw_A capacidad total de intercambio en miliequivalentes por gramo húmedo de la Capacidad Aniónica
- C_H contenido de humedad (%)
- Crd capacidad de rompimiento salino (meq/g seco)
- Cd_A capacidad total de intercambio (meq/g seco)
- P densidad e(g/ml)
- Crb capacidad de rompimiento salino e(meq/ml)
- Cb_A capacidad total de intercambio (meq/ml)
- Sr_A precisión global
- So_A precisión de operador simple

Tabla 85. Cálculos y Reporte de las Alturas de Lecho dentro de los Equipos de Intercambio con sus Respetivos Volúmenes de Lecho.

Equipo	H (m) desde el tope hasta la boca	H (m) desde la boca hasta línea de tg	H lecho (m)	Radio (m)	V lecho (m3)
C1	1,34	3,14	1,80	0,90	4,58
A1	0,98	2,21	1,23	0,85	2,79
DS1	1,24	3,41	2,17	0,85	4,93

✓ Control Automático de Nivel

Tabla 86. Parámetros Evaluados y sus respectivos Pesos en Porcentaje, evaluados en el Método de Decisión Múltiple Binario.

Letra:	Parámetro:		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	SP	Peso	
A	Campo de Medida	A	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	4	8,9	
B	Precisión	B	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8	17,8	
C	Presión máxima	C	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	8	17,8	
D	Temperatura máxima	D	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	4	8,9	
E	Agarrotamiento	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
F	Sensibilidad	F	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	6	13,3	
G	Duración	G	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	4,4	
H	Fácil mantenimiento	H	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2,2	
I	Contacto con el líquido	I	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	8	17,8	
J	Aplicaciones	J	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	4	8,9	
												ST=	45	100,0	%

Tabla 87. Alternativas Comparadas entre sí en cada Parámetro y sus respectivos Pesos en Porcentaje.

Parámetro A				
Alternativa	I	II	SP	Peso (%)
I	0	1	1	100
II	0	0	0	0
ST			1	100
Parámetro B				
Alternativa	I	II	SP	Peso (%)
I	0	1	1	100
II	0	0	0	0
ST			1	100
Parámetro C				
Alternativa	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
ST			1	100
Parámetro D				
Alternativa	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
ST			1	100

Tabla 87. Continuación...

Parámetro E				
	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
		ST	1	100
Parámetro F				
	I	II	SP	Peso (%)
I	0	1	1	100
II	0	0	0	0
		ST	1	100
Parámetro G				
	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
		ST	1	100
Parámetro H				
	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
		ST	1	100
Parámetro I				
	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
		ST	1	100
Parámetro J				
	I	II	SP	Peso (%)
I	0	0	0	0
II	1	0	1	100
		ST	1	100

Tabla 88. Puntaje Total de la Evaluación de los Parámetros para cada Alternativa.

Parámetro	Peso (%)	ALT I	ALT II
A	8,9	8,9	0,0
B	17,8	17,8	0,0
C	17,8	0,0	17,8
D	8,9	0,0	8,9
E	0,0	0,0	0,0
F	13,3	13,3	0,0
G	4,4	0,0	4,4
H	2,2	0,0	2,2
I	17,8	0,0	17,8
Puntuación	91,1	40,0	51,1

Alternativa I: Sensor por Presión Diferencial.

Alternativa II: Sensor por Ultrasonido.

HOJAS DE ESPECIFICACIONES EMPLEADAS Y REPORTES

1. Reporte del Proceso de Regeneración en la Planta Desmineralizadora de Planta Ampliación Tocoa, el Primer Día (21/12/2006) de Uso de las Resinas de Intercambio Iónico en Estudio en sus Condiciones Óptimas de Operatividad.
2. Reporte del Proceso de Regeneración en la Planta Desmineralizadora de Planta Ampliación Tocoa, en el momento del Estudio Actual de las Resinas de Intercambio Iónico. Regeneración I.
3. Reporte del Proceso de Regeneración en la Planta Desmineralizadora de Planta Ampliación Tocoa, en el momento del Estudio Actual de las Resinas de Intercambio Iónico. Regeneración II.
4. Reporte del Proceso de Regeneración en la Planta Desmineralizadora de Planta Ampliación Tocoa, en el momento del Estudio Actual de las Resinas de Intercambio Iónico. Regeneración III.
5. Reporte del Cálculo del Volumen en el Tanque de Ácido Clorhídrico (EDC).
6. Reporte del Cálculo del Volumen en el Tanque de Hidróxido de Sodio (EDC).
7. Reporte de las Características de la Bomba de Inyección de Ácido Clorhídrico.

8. Reporte de las Características de la Bomba de Inyección de Hidróxido de Sodio.
9. Hoja de Especificaciones del Ácido Clorhídrico recibido en la EDC.
10. Hoja de Especificaciones del Hidróxido de Sodio recibido en la EDC.
11. Reporte del Análisis del Proceso de Desmineralización en Planta Ampliación Tocoa, el Primer Día (22/12/06) de Uso de las Resinas de Intercambio Iónico en Estudio, en sus Condiciones Óptimas de Operatividad.
12. Reporte Físicoquímico Actual del Proceso de Potabilización del Agua en Planta Hidrocapital. Fecha: 2 de enero de 2009.
13. Reporte de Calidad del Agua en el Proceso de Potabilización del Agua en Planta Hidrocapital.
14. Hoja de Especificaciones de la Resina de Intercambio Iónico Catiónica Fuerte: Amberlite IR 120 Na.
15. Hoja de Especificaciones de la Resina de Intercambio Iónico Aniónica Débil: Amberlite IRA 96.
16. Hoja de Especificaciones de la Resina de Intercambio Iónico Aniónica Fuerte: Amberlite IRA 402 Cl.
17. Reporte del Análisis Cromatográfico realizado en la Facultad de Ciencias de la UCV.

18. Reporte del Análisis de Absorción Atómica realizado en la EDC.

19. Método de Decisión Múltiple Binario.

20. Reporte del Índice CEPCI para Diferentes Años en Varios Tipos de Plantas.

21. Carta de Donación del Material empleado en la Experimentación de la Tesis.

Aguas de Reposición
 Planta Desmineralizadora
 Regeneración Lechos Mixtos *Tren Principal*
 1^a Regeneración *Conunto de Reserva*

Fecha: 21/12/2006

Etapas	Identificación	Tiempo (min.)		Hora	
		Teórico	Real	Inicio	Fin
I	Vaciado	4 - 10			
II	Mezclado	15			
III	Pausa	5			
IV	Clasificación	20			
V	Inyección de Químicos: HCl	50			
VI	NaOH	50	28	18:19	18:47
VII	Aclarado de Línea HCl	90			
VIII	Aclarado de Línea NaOH	90	45	18:19	19:04
IX	Transferencia	80	90	18:47	20:20
X	Vaciado	4 - 10	60	20:20	21:20
XI	Mezclado	15		19:04	20:34
XII	Pausa	5	20	21:28	21:50
XIII	Llenado Lento	15	60	20:40	21:40
XIV	Llenado Rápido	5	40	21:58	22:35
XV	Aclarado Final	20			
XVI	Pre - Producción	20			
XV	Levante A1		40 45	22:40 23:45	

Variables	Teórico	Real
Nro. Bomba NaOH		60
Nro. Bomba HCl		54
% Carrera Bba NaOH	62	—
% Carrera Bba HCL	25	—
Flujo de NaOH		350
Flujo de HCl		760
Flujo de dilución NaOH	6.6	2.0
Flujo de dilución HCl	1.9	F/S
Flujo Transf. NaOH	6.6	
Flujo Transf. HCl	1.9	

Niveles de Tanques

	#Tanq	Inicial	Final
NaOH	T-3		
HCl	T-1		
Efluente			

Lectura de Integradores

	Inicial	Final
Desmin		
Proceso		

Observaciones:

Resultado de los análisis de los regenerantes
 HCl = 3% NaOH = 3%

Tecnólogo	Firma
Sebastián Cruz	
José Gil	

DATOS REGENERACION I



Tratamiento de Agua
Planta Desmineralizada
Regeneración Tren Principal

Fecha: 30/09/2008

Etapa	Identificación	Válvulas que Intervienen	Tiempo		Hora	
			Teórico	Real	Inicio	Fin
I	Lavado Filtro de Carbón	817-816	15	/	/	/
II	Aclarado Filtro de Carbón	789-795	5	/	/	/
III	Levante DSI y Al Simultaneo a 18 m3/h	895-894-875 842-843-875	15	15	21:40	22:00
IV	Levante Cl A 30 m3/h	825-824	15	15	21:25	21:40
V	*Inyección de Qcos : HCl al Cl	821-822-831-816	20	25	22:15	22:40
VI	*Inyección de Qcos : NaOH al DSI (Bote)	838-847-839-895	20	25	22:15	22:40
*VI	*Inyección de Qcos : NaOH al Al	838-847-839-840	20	20	22:40	23:00
VII	Aclarado de Línea de HCl	Se cierra VN Tque. Acido y se abre VN del T5 de Agua	90	90	22:40	00:10
VIII	Aclarado de Línea de NaOH	Se cierra VN Tque. Soda y se abre VN del T5 de Agua	90	90	23:00	00:30
IX	● Transferencia del Cl	Bba E/Reserva Inyec. de agua por Est.de Dilución	90	90	23:10 23:10	01:40
X	● Transferencia del DSI - Al	Bba E/Reserva Inyec. de agua por Est.de Dilución	90	90	00:30	02:00
XI	Aclarado Final Cl ©	795-799-823	10	20	01:40	2:00
XII	Aclarado Final Al ©	840-802-799-795	40	40	02:00	02:40
XIII	Aclarado Final DSI A 50 m3/h	841-807-802-799-795	60	60	02:40	03:40
XIV	Pre-Producción	Se coloca todo el sistema en servicio				

*La inyección de NaOH al DSI tarda 20 min., bote, luego otros 20 min. de inyección al Al.
* Ajustar Anti-Difusión a 4 m3/h, © Ajustar Flujo a 30 m3/h; ● Cerrar Antidifusión

Variabes	Teórico	Real
Nro. Bba NaOH		60
Nro. Bba HCl		54
Carrera Bba NaOH		
Carrera Bba HCl		
Flujo Dilución NaOH		3.0
Flujo Dilución HCL		4.0
Flujo NaOH		
Flujo HCl		
Flujo Antidifusion Cl		4.0
Flujo Antidifusion Al		4.0

Intercambiador	µs	pH	SiO ₂	Cl ⁻
DSI	≈7.0	≈9.5	≈0.050	0.005
MB	≈1.0	5-6	≈0.020	0.005
DSI				
MB				

	#Tangue	Inicial	Final
NaOH	13		
HCl	14/1		
Efluentes			

Tecnólogo	Firma
Carlos Caceres	[Firma]
Enon Hernandez	[Firma]

Inicio Ciclo	Fin Ciclo	Procesado

Observaciones: LE/DA RESISTIVIDAD CERRADA.

DATOS REGENERACIÓN II



Tratamiento de Agua
Planta Desmineralizada
Regeneración Tren Principal

Fecha: 6/10/2008

Etapa	Identificación	Válvulas que Intervienen	Tiempo		Hora	
			Teórico	Real	Inicio	Fin
I	Lavado Filtro de Carbón	817-816	15	/	/	/
II	Aclarado Filtro de Carbón	789-795	5	/	/	/
III	Levante DS1 y A1 Simultaneo a 18 m3/h	895-894-875 842-843-875	15	15	13:46	13:31
IV	Levante C1 A 30 m3/h	825-824	15	15	13:00	13:15
V	*Inyección de Qcos : HCl al C1	821-822-831-*816	20	25	13:50	14:15
VI	*Inyección de Qcos : NaOH al DS1 (Bote)	838-847-839-895	20	25	13:50	14:15
♦VI	*Inyección de Qcos : NaOH al A1	838-847*-839-840	20	25	14:15	14:40
VII	Aclarado de Línea de HCl	Se cierra VN Tque. Acido y se abre VN del T5 de Agua	90	90	14:45	15:45
VIII	Aclarado de Línea de NaOH	Se cierra VN Tque. Soda y se abre VN del T5 de Agua	90	90	14:40	16:40
IX	● Transferencia del C1	Bba E/Reserva Inyec. de agua por Est.de Dilución	90	90	15:45	17:15
X	● Transferencia del DS1 - A1	Bba E/Reserva Inyec. de agua por Est.de Dilución	90	90	16:40	17:40
XI	Aclarado Final C1 ©	795-799-823	10	20	17:15	17:35
XII	Aclarado Final A1 ©	840-802-799-795	40	40	17:40	18:20
XIII	Aclarado Final DS1 A 50 m3/h	841-807-802-799-795	60	60	18:20	19:20
XIV	Pre-Producción	Se coloca todo el sistema en servicio				

♦La inyección de NaOH al DS1 tarda 20 min., bote, luego otros 20 min. de inyección al A1.
* Ajustar Anti-Difusión a 4 m3/h, © Ajustar Flujo a 30 m3/h; ● Cerrar Antidifusión

Variabes	Teórico	Real
Nro. Bba NaOH		60
Nro. Bba HCl		51
Carrera Bba NaOH		/
Carrera Bba HCl		/
Flujo Dilución NaOH		3,0
Flujo Dilución HCl		3,6
Flujo NaOH		/
Flujo HCl		/
Flujo Antidifusion C1		4,0
Flujo Antidifusion A1		4,0

	Intercambiador	µs	pH	SiO ₂ ⁻	Cl ⁻
	DS1	=7.0	=9.5	=0.050	0.005
Hora	MB	=1.0	5-6	=0.020	0.005
	DS1				
	MB				

	#Tanque	Inicial	Final
NaOH	13		
HCl	11		
Efluentes			

Tecnólogo	Firma

Inicio Ciclo	Fin Ciclo	Procesado

Observaciones: Proceso ciclo 959 m³

DATOS REGENERACIÓN III



Tratamiento de Agua
Planta Desmineralizada
Regeneración Tren Principal

Fecha: 13/10/2013

Etapa	Identificación	Válvulas que Intervienen	Tiempo		Hora	
			Teórico	Real	Inicio	Fin
I	Lavado Filtro de Carbón	817-816	15			
II	Aclarado Filtro de Carbón	789-795	5			
III	Levante DS1 y A1 Simultaneo a 18 m3/h	895-894-875 842-843-875	15	15	12:55	13:10
IV	Levante C1 A 30 m3/h	825-824	15	15	12:40	12:55
V	*Inyección de Qcos : HCl al C1	821-822-831-816	20	25	13:43	14:08
VI	*Inyección de Qcos : NaOH al DS1(Bote)	838-847-839-895	20	25	13:43	14:08
♦VI	*Inyección de Qcos : NaOH al A1	838-847*-839-840	20	25	14:08	14:33
VII	Aclarado de Línea de HCl	Se cierra VN Tque. Acido y se abre VN del T5 de Agua	90	90	14:08	15:38
VIII	Aclarado de Línea de NaOH	Se cierra VN Tque. Soda y se abre VN del T5 de Agua	90	90	14:33	16:05
IX	● Transferencia del C1	Bba E/Reserva Inyec. de agua por Est.de Dilución	90	116	15:40	17:36
X	● Transferencia del DS1 - A1	Bba E/Reserva Inyec. de agua por Est.de Dilución	90	90	16:06	17:36
XI	Aclarado Final C1 ©	795-799-823	10	10	17:40	17:50
XII	Aclarado Final A1 ©	840-802-799-795	40	46	15:50	18:30
XIII	Aclarado Final DS1 A 50 m3/h	841-807-802-799-795	60		18:30	19:30
XIV	Pre-Producción	Se coloca todo el sistema en servicio				

♦La inyección de NaOH al DS1 tarda 20 min., bote, luego otros 20 min. de inyección al A1.
* Ajustar Anti-Difusión a 4 m3/h, © Ajustar Flujo a 30 m3/h; ● Cerrar Antidifusion

Variables	Teórico	Real
Nro. Bba NaOH		60
Nro. Bba HCl		51
Carrera Bba NaOH		/
Carrera Bba HCl		/
Flujo Dilución NaOH		3.0
Flujo Dilución HCl		4.0
Flujo NaOH		/
Flujo HCl		/
Flujo Antidifusion C1		4.0
Flujo Antidifusion A1		4.0

	Intercambiador	µs	pH	SiO ₂ ⁻	Cl ⁻
	DS1	≈7.0	≈9.5	≈0.050	0.005
Hora	MB	≈1.0	5-6	≈0.020	0.005
	DS1				
	MB				

	#Tanque	Inicial	Final
NaOH	F3		
HCl	F1		
Efluentes	191		

Tecnólogo	Firma
Caib Cordero	
Fabiana Esp	

Inicio Ciclo	Fin Ciclo	Procesado

Observaciones: $V_1 = 306710 m^3$ $V_2 = 307664 = 954 m^3$ (Proceso Ant.)
- Se coloca toma muestra a C1
- Regenera Faja en Válvula 841 (EU FLANGE conexión a las líneas Estibos)
19:30 0m³ 307756

P 52 → Carona 53% (IRVIN)
T 60 → Carona 55% (IRVIN)
(Laminas no se sobrecorren)

$r_{HCl} = 2,5/2 \text{ m}$

$L_{HCl} = 7,5 \text{ m}$

$V_{HCl} = 40 \text{ m}^3$

$V_{casquetes} = 3,4 \text{ m}^3$

Casquetes Esféricas

$3 r_{NaOH} = 2,5/2 \text{ m}$

$4 L_{NaOH} = 6 \text{ m}$

$V_{NaOH} = 33 \text{ m}^3$

$V_{casquetes} = 3,4 \text{ m}^3$

ACIDO CLORHIDRICO

Nivel visual

2 m

ma nivel

inferior

25 m

H (CM)	VOLUMEN (LTS)	H (CM)	VOLUMEN (LTS)	H (CM)	VOLUMEN (LTS)	H (CM)	VOLUMEN (LTS)
25	2012.23	76	10220.86	127	20541.95	178	30784.04
26	2133.28	77	10411.18	128	20750.02	179	30970.34
27	2256.53	78	10602.25	129	20958.04	180	31155.77
28	2381.93	79	10794.06	130	21166.01	181	31340.33
29	2509.44	80	10986.58	131	21373.90	182	31523.99
30	2639.00	81	11179.80	132	21581.71	183	31706.72
31	2770.56	82	11373.70	133	21789.41	184	31888.52
32	2904.09	83	11568.26	134	21997.00	185	32069.36
33	3039.52	84	11763.47	135	22204.45	186	32249.22
34	3176.84	85	11959.30	136	22411.76	187	32428.08
35	3315.98	86	12155.75	137	22618.90	188	32605.92
36	3456.92	87	12352.80	138	22825.87	189	32782.72
37	3599.62	88	12550.42	139	23032.65	190	32958.46
38	3744.03	89	12748.60	140	23239.22	191	33133.11
39	3890.13	90	12947.34	141	23445.57	192	33306.65
40	4037.87	91	13146.60	142	23651.69	193	33479.07
41	4187.24	92	13346.37	143	23857.55	194	33650.33
42	4338.18	93	13546.65	144	24063.15	195	33820.42
43	4490.68	94	13747.40	145	24268.47	196	33989.31
44	4644.70	95	13948.62	146	24473.49	197	34156.98
45	4800.20	96	14150.29	147	24678.20	198	34323.40
46	4957.17	97	14352.40	148	24882.59	199	34488.55
47	5115.57	98	14554.92	149	25086.63	200	34652.40
48	5275.37	99	14757.85	150	25290.32	201	34814.93
49	5436.55	100	14961.16	151	25493.63	202	34976.11
50	5599.08	101	15164.85	152	25696.56	203	35135.91
51	5762.93	102	15368.89	153	25899.08	204	35294.31
52	5928.08	103	15573.27	154	26101.19	205	35451.27
53	6094.50	104	15777.98	155	26302.86	206	35606.78
54	6262.16	105	15983.01	156	26504.08	207	35760.80
55	6431.05	106	16188.32	157	26704.83	208	35913.29
56	6601.14	107	16393.92	158	26905.10	209	36064.24
57	6772.41	108	16599.79	159	27104.88	210	36213.60
58	6944.82	109	16805.90	160	27304.14	211	36361.35
59	7118.37	110	17012.25	161	27502.87	212	36507.45
60	7293.02	111	17218.82	162	27701.06	213	36651.86
61	7468.75	112	17425.60	163	27898.68	214	36794.56
62	7645.55	113	17632.57	164	28095.73	215	36935.49
63	7823.39	114	17839.72	165	28292.17	216	37074.64
64	8002.25	115	18047.02	166	28488.01	217	37211.95
65	8182.11	116	18254.48	167	28683.22	218	37347.39
66	8362.95	117	18462.06	168	28877.78	219	37480.91
67	8544.75	118	18669.77	169	29071.68	220	37612.48
68	8727.49	119	18877.57	170	29264.90	221	37742.04
69	8911.15	120	19085.47	171	29457.42	222	37869.54
70	9095.70	121	19293.43	172	29649.22	223	37994.95
71	9281.14	122	19501.46	173	29840.30	224	38118.20
72	9467.44	123	19709.53	174	30030.62	225	38239.24
73	9654.57	124	19917.63	175	30220.17		
74	9842.54	125	20125.74	176	30408.94		
75	10031.30	126	20333.85	177	30596.90		

Nivel visual

2 m

Toma nivel

inferior

25 m

S O D A C A U S T I C A

Tauques 3 y 4

H (CM)	VOLUMEN (LTS)	H (CM)	VOLUMEN (LTS)	H (CM)	VOLUMEN (LTS)	H (CM)	VOLUMEN (LTS)
25	1629.03	76	8328.60	127	16785.40	178	25176.26
26	1727.37	77	8484.36	128	16955.98	179	25328.66
27	1827.54	78	8640.74	129	17126.52	180	25480.35
28	1929.48	79	8797.74	130	17297.01	181	25631.31
29	2033.15	80	8955.33	131	17467.44	182	25781.51
30	2138.51	81	9113.51	132	17637.79	183	25930.95
31	2245.53	82	9272.25	133	17808.06	184	26079.61
32	2354.16	83	9431.55	134	17978.24	185	26227.47
33	2464.38	84	9591.38	135	18148.30	186	26374.52
34	2576.14	85	9751.74	136	18318.24	187	26520.73
35	2689.42	86	9912.61	137	18488.04	188	26666.10
36	2804.18	87	10073.98	138	18657.70	189	26810.59
37	2920.39	88	10235.83	139	18827.20	190	26954.21
38	3038.03	89	10398.15	140	18996.52	191	27096.92
39	3157.05	90	10560.92	141	19165.66	192	27238.71
40	3277.45	91	10724.14	142	19334.61	193	27379.56
41	3399.18	92	10887.79	143	19503.34	194	27519.46
42	3522.21	93	11051.85	144	19671.85	195	27658.38
43	3646.54	94	11216.32	145	19840.13	196	27796.30
44	3772.12	95	11381.17	146	20008.16	197	27933.21
45	3898.94	96	11546.40	147	20175.93	198	28069.08
46	4026.97	97	11711.99	148	20343.43	199	28203.90
47	4156.19	98	11877.94	149	20510.64	200	28337.64
48	4286.57	99	12044.21	150	20677.55	201	28470.28
49	4418.09	100	12210.82	151	20844.15	202	28601.80
50	4550.73	101	12377.73	152	21010.43	203	28732.18
51	4684.47	102	12544.94	153	21176.37	204	28861.40
52	4819.29	103	12712.44	154	21341.97	205	28989.43
53	4955.16	104	12880.21	155	21507.20	206	29116.25
54	5092.07	105	13048.24	156	21672.05	207	29241.83
55	5229.99	106	13216.52	157	21836.52	208	29366.15
56	5368.91	107	13385.03	158	22000.58	209	29489.19
57	5508.80	108	13553.76	159	22164.23	210	29610.92
58	5649.66	109	13722.71	160	22327.44	211	29731.31
59	5791.45	110	13891.85	161	22490.22	212	29850.34
60	5934.16	111	14061.17	162	22652.54	213	29967.97
61	6077.77	112	14230.67	163	22814.39	214	30084.19
62	6222.27	113	14400.33	164	22975.76	215	30198.95
63	6367.64	114	14570.13	165	23136.63	216	30312.23
64	6513.85	115	14740.07	166	23296.99	217	30423.99
65	6660.90	116	14910.13	167	23456.82	218	30534.21
66	6808.76	117	15080.30	168	23616.12	219	30642.84
67	6957.42	118	15250.57	169	23774.86	220	30749.86
68	7106.86	119	15420.93	170	23933.04	221	30855.22
69	7257.06	120	15591.36	171	24090.63	222	30958.89
70	7408.02	121	15761.85	172	24247.63	223	31060.83
71	7559.71	122	15932.39	173	24404.01	224	31160.99
72	7712.11	123	16102.97	174	24559.77	225	31259.34
73	7865.22	124	16273.57	175	24714.89		
74	8019.01	125	16444.18	176	24869.36		
75	8173.48	126	16614.80	177	25023.15		

MILTON ROY CO.
Flow Control Division
Ivyland, Pa. 18974

MILROYAL PUMP TEST REPORT
TYPE- Milroyal B
SERIAL NUMBER- 604937-3
MODEL NUMBER- MBH-12B-56B2-M
RATED FLOW- 500.00 GPH @ 90 PSI
1892.50 liter/hr.@ 6.3 kg/sq.cm

TEST RESULTS
Tested with water, adequate flooded suction
AVERAGE FLOW, 554.94 U.S. gal./hr.
2100.44 liter/hr.
REPETITIVE ACCURACY, 99.82%

MOTOR DATA
Single Phase 115V 230V
Three Phase 230V 460V
Amps Normal , H.P. 1.5
General Electric , Reliance
Century , Leeson
Motor Mfg. _____
Motor not supplied with pump
Test Technician- BOB GARTNER
Station#- 4 Probe-23.7860 JULY 30, 1994
Special Condition _____

Comments- _____

MILTON ROY CO.
Flow Control Division
Ivyland, Pa. 18974

MILROYAL PUMP TEST REPORT

TYPE- Milroyal B
SERIAL NUMBER- 604937-6
MODEL NUMBER- MBP-12B-28B1-M
RATED FLOW- 120.00 GPH @ 255 PSI
454.20 liter/hr.@ 17.9 kg/sq.cm

TEST RESULTS

Tested with water, adequate flooded suction
AVERAGE FLOW, 130.98 U.S. gal./hr.
495.78 liter/hr.
REPETITIVE ACCURACY, 99.77%

MOTOR DATA

Single Phase 115V 230V
Three Phase 230V 460V
Amps Normal , H.P. 1.5
General Electric , Reliance
Century , Leeson
Motor Mfg. _____
Motor not supplied with pump
Test Technician- BOB GARTNER

Station#- 1 Probe- 3.6750 AUGUST 19, 19
Special Condition _____

Comments-



MARIVELCA C.A.
 IMPORTACIONES-EXPORTACIONES-REPRESENTACIONES

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Product Name : Hydrochloric Acid
 Origin : BCS
 Lot : 20080418
 Packing : In 250 kg
 Date of report : 25-sep-07
 Date of expiry : Indefinite

ITEM	RESULT	UNIT
Concentration	33.15	%
Hydrochloric Acid	385.20	gpl
	26.00	ppm
Residual Chlorine		
Fe	0.30	ppm
Density	1.162	gr/ml

REMARKS: Hydrochloric Acid is a stable product and has an indefinite life span. Under normal conditions of pressure and temperature. Vessels should be kept closed and enclosed premises. Exposure to the sun Light must be avoided and also should be kept the terminal sources and inflamed substances.

MARIVELCA, certifica que los parámetros de este certificado de análisis son copia fiel de los datos suministrados por el proveedor.

Revisado por:

aves

FONDONORMA



MARIVELCA C.A.
PRODUCTOS QUIMICOS Y MATERIA PRIMA PARA LA INDUSTRIA



CERTIFICADO DE ANALISIS

Nombre del producto : SODA CAUSTICA LIQUIDA
 Fecha Manufacture : 30/07/2008
 Lote : 20080730
 Packing : In 300Kg

COMPONENTE Component	METODO Method	ESPECICACION Specification			RESULTADOS Result
		Min.	Máx.	Unidad	
SODA CAUSTICA Caustic soda	ASTM D 501-99	49	51	%	50.23
CARBONATO DE SODIO Sodium carbonate	OXYTECH, Chlor-Alkali Technology, No. 7	-	500	ppm	322
CLORURO DE SODIO Sodium chloride	OXYTECH SYSTEM, INC, No. 12-001/1998	-	150	ppm	101
CLORATO DE SODIO Sodium chlorate	OXYCHEM, TWL 93-99	-	50	ppm	26
HIERRO Iron	ASTM E 291-96	-	3	ppm	2.3
GRAVEDAD ESPECIFICA A 20 °C Specific gravity a 20 °C	Tabla 3-92 Chemical Enginnerrs Handbook	1.515	1.534		1.527

MARIVELCA, certifica que los parámetros de este certificado de análisis son copia fiel de los datos suministrados por el proveedor.

Revisado por: *[Signature]*

FONDONORMA



Fecha: 02/01/09

Analisis Físico Químico cada 4 horas

Muestras	1am			6am			9am			1pm			5pm			9pm		
	C	D	F	C	D	F	C	D	F	C	D	F	C	D	F	C	D	F
Temperatura (°C)	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Dureza Cálcica (mg/l Ca CO3)	96	94	94	96	96	96	94	94	90	96	90	86	96	90	84	96	96	92
Dureza Total (mg/l CaCO3)	120	118	118	116	116	116	110	110	106	120	114	110	118	112	102	118	118	114
Alcalinidad total (mg/l CaCO3)	90	86	84	88	84	84	90	80	82	86	86	80	84	82	78	88	88	74
Aluminio residual (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hierro Total (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganeso total (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de langellier	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conductancia	217	222	224	219	227	229	223	224	229	230	231	234	233	235	237	230	234	236

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Turbiedad (NTU)	5.8	2.4	2.2	5.9	2.2	2.0	6	2.5	2.2	5	2.0	2.2	5	2.5	2.2	4.5	2.5	2.2
Color aparente (U.Co. Pt)	10	5	5	10	5	5	10	5	5	10	5	5	10	5	5	10	5	5
Ph	8	7.1	7.1	8	7.1	7.1	8	7.2	7.2	8	7.2	7.2	8	7.2	7.2	8	7.2	7.2
Cloro residual (mg/l)	-	1.8	1.8	-	2.0	2.0	-	2	2	-	2	2	-	2	2	-	2	2

DOСИFICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

Caudal (Lps)	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
Sulfato de aluminio (mg/l)	-	9	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Cloro (mg/l)	4.8	-	4.8	-	4.8	-	4.8	-	4.8	-	4.8	-	4.8	-	4.8	-	4.8	-
Alcali (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polímero (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observaciones

Tecnico Quim. Guardia. Saliente Richard Coello Operador/Ayudante J Jimenez / L. Yepes
 Tecnico Quim. de Guardia Entrante CONTRA MAESTRES Operador/Ayudante ORBEA R. BASTARDEA

Departamento de Control de Calidad

Laboratorio de Físico Químico



Hora	CRUDA		FINAL	
	Alcalinidad.Total (mg/l CaCO ₃)	Conductividad	Alcalinidad.Total (mg/l CaCO ₃)	Conductividad
1:00	90	217	84	224
2:00	92	215	86	226
3:00	88	216	86	228
4:00	90	218	84	225
5:00	88	219	84	229
6:00	90	215	86	227
7:00	90	221	84	229
8:00	90	219	82	224
9:00	90	223	82	229
10:00	88	225	84	231
11:00	86	230	84	239
12:00	86	231	82	237
13:00	86	230	80	234
14:00	88	233	80	238
15:00	84	231	78	237
16:00	86	234	78	236
17:00	84	233	78	239
18:00	86	231	78	236
19:00	86	233	76	239.4
20:00	88	230	76	235
21:00	88	230	74	236
22:00	88	229	78	238
23:00	86	227	76	239
24:00	88	229	74	234
Observaciones				



AMBERLITE® IR120 Na
Industrial Grade Strong Acid Cation Exchanger

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE IR120 Na is a gel type strongly acidic cation exchange resin of the sulphonated polystyrene type. It is used for water softening (in Na⁺ form) as well as for water demineralisation (in H⁺ form) in co-flow

regenerated units. Its principal characteristics are excellent physical, chemical and thermal stability, good ion exchange kinetics and high exchange capacity.

PROPERTIES

Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional groups _____	Sulphonates
Physical form _____	Amber beads
Ionic form as shipped _____	Na ⁺
Total exchange capacity ^[1] _____	≥ 2.0 eq/L (Na ⁺ form)
Moisture holding capacity ^[1] _____	45 to 50 % (Na ⁺ form)
Shipping weight _____	840 g/L
Specific gravity _____	1.26 to 1.30 (Na ⁺ form)
Particle size _____	
Uniformity coefficient _____	≤ 1.9
Harmonic mean size _____	600 to 800 µm
Fine contents ^[1] _____	< 0.300 mm : 2 % max
Maximum reversible swelling _____	Na ⁺ → H ⁺ : 11 %
Chemical resistance _____	Insoluble in dilute solutions of acids or bases and common solvents

^[1] Contractual value

Test methods available upon request.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	5 to 40 BV*/h
Regenerant _____	HCl H ₂ SO ₄ NaCl
Level (g/L) _____	50 to 150 60 to 240 80 to 250
Concentration (%) _____	5 to 8 0.7 to 6 10
Flow rate (BV/h) _____	2 to 5 2 to 20 2 to 8
Minimum contact time _____	30 minutes
Slow rinse _____	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse _____	2 to 4BV at service flow rate

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

PERFORMANCE

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

LIMITS OF USE

AMBERLITE IR120 Na is suitable for industrial uses. For other specific applications such as pharmaceutical, food processing or potable water applications, it is recommended that all

potential users seek advice from Rohm and Haas in order to determine the best resin choice and optimum operating conditions.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the bed expansion of AMBERLITE IR120 Na, as a function of backwash flow rate and water temperature.

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

Figure 1: Bed Expansion

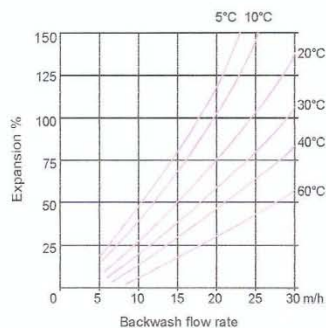
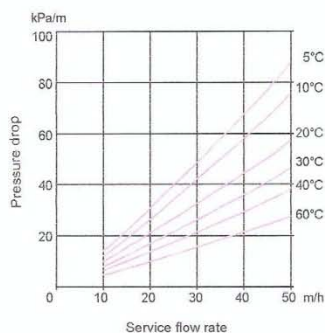


Figure 2: Pressure Drop



All our products are produced in ISO 9002 certified manufacturing facilities.

Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - Philadelphia, PA - Tel. (800) RH AMBER - Fax: (215) 537-4157
 Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - 75579 Paris Cedex 12 - Tel. (33) 1 40 02 50 00 - Fax: 1 43 45 28 19

WEB SITE: <http://www.rohmhaas.com/ionexchange>



AMBERLITE is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, U.S.A.

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

Rohm and Haas Company makes no warranties either expressed or implied as to the accuracy of appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for uses of our products of the inclusion of descriptive material from patents and the creation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.



AMBERLITE® IRA96
Industrial Grade Weak Base Anion Exchanger

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE IRA96 is a macroreticular weak base anion exchange resin. Its very stable structure and limited reversible swelling make it very resistant to osmotic shock. The high degree of porosity of this resin provides efficient adsorption of large organic molecules and their desorption during regeneration, thus allowing

excellent protection against organic fouling. AMBERLITE IRA96 is intended primarily for the removal of strong acids from water following a strongly acidic cation exchange resin, and it provides excellent protection against organic fouling for the strong base anion exchange resin placed downstream in a deionization plant.

PROPERTIES

Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional groups _____	-NR ₂ : at least 85 %
Physical form _____	Opaque spherical beads
Ionic form as shipped _____	Free base (FB)
Total exchange capacity ^[1] _____	≥ 1.25 eq/L (FB form)
Moisture holding capacity ^[1] _____	57 to 63 % (FB form)
Specific gravity _____	1.040 to 1.060 (FB form)
Shipping weight _____	670 g/L
Particle size _____	
Uniformity coefficient _____	≤ 1.80
Harmonic mean size _____	550 to 750 µm
Fine contents ^[1] _____	< 0.300 mm : 1.0 % max
Coarse beads _____	> 1.180 mm : 1.0 % max
Maximum reversible swelling _____	FB → Cl ⁻ : 15 %

^[1] Contractual value

Test methods are available on request.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Maximum operating temperature _____	100°C
Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	5 to 40 BV*/h
Regenerant _____	NaOH NH ₃ Na ₂ CO ₃
Flow rate (BV/h) _____	2 to 8 2 to 8 2 to 8
Concentration (%) _____	2 to 4 2 to 6 5 to 8
Level (% of ionic load) _____	120 150 200
Minimum contact time _____	30 minutes
Slow rinse _____	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse _____	4 to 8 BV at service flow rate

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

PERFORMANCE

The Engineering data sheet EDS 0255 A provides information to calculate the operating capacity of AMBERLITE IRA96 used in water treatment.

LIMITS OF USE

AMBERLITE IRA96 is suitable for industrial uses. For all other specific applications such as pharmaceutical, food processing or potable water applications, it is recommended that all potential users seek advice from Rohm and Haas in order to determine the best resin choice and optimum operating conditions.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the bed expansion of AMBERLITE IRA96 as a function of backwash flow rate and water temperature.

Figure 2 shows the pressure drop data for AMBERLITE IRA96 as a function of service flow rate and water temperature. Pressure drop data are valid at the start of the service run with a clear water and a correctly classified bed.

These data are valid for water treatment and have to be corrected according to the solution to be treated.

Figure 1: Bed Expansion

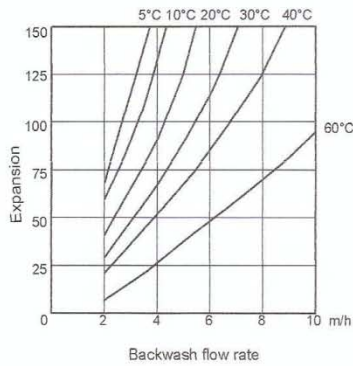
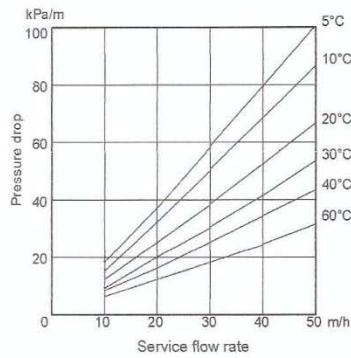


Figure 2: Pressure Drop



All our products are produced in ISO 9002 certified manufacturing facilities.

Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - Philadelphia, PA - Tel. (800) RH AMBER - Fax: (215) 409-4534
 Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - 75579 Paris Cedex 12 - Tel. (33) 1 40 02 50 00 - Fax: 1 43 45 28 19

WEB SITE: <http://www.rohmhaas.com/ionexchange>



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

Rohm and Haas Company makes no warranties, either expressed or implied as to the accuracy or appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for uses of our products of the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.



AMBERLITE® IRA402 Cl
Industrial Grade Strong Base Anion Exchanger

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE IRA402 Cl is a premium grade strongly basic anion exchange resin of the type 1, with a clear gel structure. It is based on crosslinked polystyrene and has a very high bead integrity, good regeneration efficiency and excellent rinse performance. It is used in co-flow regeneration and conventional counterflow systems with downflow loading and upflow

regeneration with air or water holddown. Combined with a strong acid cation exchanger, AMBERLITE IRA402 Cl reduces both strong and weak acid concentrations to extremely low levels. Its main use is therefore water demineralisation. Other fields of application include the treatment of electroplating waste and the isolation of anionic metal complexes.

PROPERTIES

Matrix _____	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional groups _____	-N ⁺ (CH ₃) ₃
Physical form _____	Pale yellow translucent beads
Ionic form as shipped _____	Chloride
Total exchange capacity ^[1] _____	≥ 1.2 eq/L (Cl ⁻ form)
Moisture holding capacity ^[1] _____	49 to 60 % (Cl ⁻ form)
Specific gravity _____	1.063 to 1.093 (Cl ⁻ form)
Shipping weight _____	670 g/L
Particle size _____	
Uniformity coefficient _____	≤ 1.6
Harmonic mean size _____	600 - 750 µm
Fine contents ^[1] _____	< 0.300 mm : 1.0 % max
Coarse beads _____	> 1.180 mm : 5.0 % max
Maximum reversible swelling _____	Cl ⁻ → OH ⁻ : 30 %

^[1] Contractual value
Test methods are available on request.

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Maximum operating temperature _____	60°C
Minimum bed depth _____	700 mm
Service flow rate _____	5 to 40 BV*/h
Regenerant _____	NaOH
Flow rate _____	2 to 8 BV/h
Concentration _____	2 to 4 %
Level _____	60 to 150 g/L
Minimum contact time _____	30 minutes
Slow rinse _____	2 BV at regeneration flow rate
Fast rinse _____	4 to 8 BV at service flow rate

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

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

AMBERLITE IRA402 Cl gives a pressure drop of about 13 kPa/m bed depth per 10 m/h at 15°C.

A backwash flow rate of 6.5 m/h gives a bed expansion of about 70 % at 15°C.

Pressure drop data are valid at the start of the service run with a clear water and a correctly classified bed.

LIMITS OF USE

AMBERLITE IRA402 Cl is suitable for industrial uses. For all other specific applications such as pharmaceutical, food processing or potable water applications, it is recommended that all potential users seek advice from Rohm and Haas in order to determine the best resin choice and optimum operating conditions.

All our products are produced in ISO 9002 certified manufacturing facilities.

Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - Philadelphia, PA - Tel. (800) RH AMBER - Fax: (215) 537-4157
Rohm and Haas/Ion Exchange Resins - 75579 Paris Cedex 12 - Tel. (33) 1 40 02 50 00 - Fax: 1 43 45 28 19

WEB SITE: <http://www.rohmhaas.com/ionexchange>



AMBERLITE is a trademark of Rohm and Haas Company, Philadelphia, U.S.A.

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

Rohm and Haas Company makes no warranties either expressed or implied as to the accuracy of appropriateness of this data and expressly excludes any liability upon Rohm and Haas arising out of its use. We recommend that the prospective users determine for themselves the suitability of Rohm and Haas materials and suggestions for any use prior to their adoption. Suggestions for uses of our products of the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company. Material Safety Data Sheets outlining the hazards and handling methods for our products are available on request.



Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Centro de Catálisis, Petróleo y Petroquímica. Laboratorio de Tratamiento Catalítico de Efluentes- Los Chaguaramos. Caracas. AP. 47102. Venezuela. Teléfono 58-212-6051234- Fax. 58-212-6051220.

REPORTE

Muestras de agua para análisis de los aniones cloruro, nitrato y sulfato por Cromatografía Iónica. Las muestras entregadas estaban rotuladas como: Entrada, Salida y Desalinizadora.

Las muestras Salida y Desmineralizadora no presentaron concentraciones detectables de cloruro y nitrato y valores por debajo de 1 ppm en sulfato.

Anión	Repetición	Área	Concentración (ppm)	PROMEDIO CONCENTRACIÓN (ppm)	DESVIACIÓN ESTANDAR	
CLORURO	1	2,0611	23,84	23,1	0,7	ENTRADA
	2	1,9693	22,80			
	3	1,9474	22,55			
NITRATO	1	0,5608	13,02	12,6	0,3	
	2	0,5383	12,51			
	3	0,5311	12,35			
SULFATO	1	4,0652	64,97	62,8	1,9	
	2	3,8874	62,16			
	3	3,8360	61,34			
CLORURO	1	-	-	-	-	SALIDA
	2	-	-			
	3	-	-			
NITRATO	1	-	-	-	-	
	2	-	-			
	3	-	-			
SULFATO	1	0,0129	0,95	0,96	0,01	
	2	0,0135	0,96			
	3	0,0138	0,97			

CLORURO	1	-	-	-	-	DESALINIZADORA
	2	-	-			
	3	-	-			
NITRATO	1	-	-	-	-	
	2	-	-			
	3	-	-			
SULFATO	1	0,0085	0,88	0,88	0,03	
	2	0,0061	0,85			
	3	0,0096	0,90			



La Nueva
Electricidad de Caracas
Iluminando el Camino al Socialismo

Electricidad de Caracas
Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas
 Laboratorio Central de Planta Ampliación Tocoa, Urb. Las Salinas,
 La Guaira, Estado Vargas, Venezuela

REPORTE

Muestras de agua para análisis de los cationes calcio, magnesio, sodio, hierro y potasio por absorción atómica. Las muestras entregadas estaban rotuladas como: Entrada, Salida. DSIY Desmineralizadora

Las muestras Salida y Desmineralizadora no presentaron concentraciones detectables de los cationes.

No se realizó el análisis del potasio porque no se contaba con la lámpara para el mismo.

<i>Cación</i>	<i>PROMEDIO CONCENTRACIÓN (ppm)</i>	<i>DESVIACIÓN ESTANDAR</i>	
CALCIO	30,0	0,0920	ENTRADA
SODIO	6,8	0,0120	
MAGNESIO	6,1	0,0078	
HIERRO	0,0	0,1000	
POTASIO	-	-	

<i>Cación</i>	<i>PROMEDIO CONCENTRACIÓN (ppm)</i>	<i>DESVIACIÓN ESTANDAR</i>	SALIDA DS1
CALCIO	ND	0,0920	
SODIO	ND	0,0120	
MAGNESIO	ND	0,0078	
HIERRO	0,0	0,1000	
POTASIO	-	-	

<i>Cación</i>	<i>PROMEDIO CONCENTRACIÓN (ppm)</i>	<i>DESVIACIÓN ESTANDAR</i>	DESMINERALIZADORA
CALCIO	ND	0,0920	
SODIO	ND	0,0120	
MAGNESIO	ND	0,0078	
HIERRO	0,0	0,1000	
POTASIO	-	-	

RESUMEN – MÉTODO DE DECISIÓN MÚLTIPLE BINARIO

El Método de Decisión Múltiple Binario (MDMB) se presenta como una herramienta para ser utilizada en la evaluación y selección de alternativas. Entre otras aplicaciones, en instrumentación el método se puede usar como ayuda en el análisis técnico-económico de ofertas, selección de configuraciones de control o selección de tecnologías. El método reduce la emisión de juicios de tipo subjetivos puesto que consiste de un proceso de evaluación donde los parámetros son comparados entre sí.

INTRODUCCION

Cuando deseamos evaluar varias alternativas que se nos presentan durante la realización de algunas actividades de nuestro trabajo, bien sea el análisis técnico de ofertas, la selección entre varias configuraciones de un sistema, la escogencia en la aplicación de una determinada tecnología, etc. recurrimos a métodos de selección que generalmente implican la generación de una matriz de evaluación.

Entre los varios objetos que cumplen las matrices de evaluación se puede mencionar, en primer lugar, el de proporcionarle al proceso de selección la objetividad requerida y en segundo término el de documentar el razonamiento empleado. Bien sabemos, sin embargo, el grado de subjetividad que lleva la generación de una matriz. Por ejemplo, a una determinada característica o parámetro que está siendo evaluado se le ha asignado un peso de 40%, para algunas personas éste debería tener 35%, mientras que para otras debería ser el 45% o 50%. Esto se debe principalmente a la forma personal con la que se asignan los factores de peso a los parámetros de la matriz.

En este trabajo se presenta un método que trata de minimizar la subjetividad en la asignación de los factores de peso que tienen las matrices de evaluación. El mismo se conoce como "Método de Decisión Múltiple Binario" y nos referiremos a él como MDMB.

DESCRIPCION DEL MDMB

El MDMB se utiliza para asignar los factores de peso a los diferentes parámetros que comprende una matriz de evaluación así como también, se usa para seleccionar, entre diferentes alternativas propuestas, la más favorable de acuerdo a una puntuación obtenida a través del método. El procedimiento se describe a continuación:

1. Se seleccionan los parámetros que interesan para las alternativas propuestas. (Ejemplo: costos, consumo de energía, facilidad para el mantenimiento, etc.). Los parámetros se deben definir con precisión para que su valor sea fácilmente proyectable.

2. A estos parámetros seleccionados se les asigna un peso. El método a seguir consiste en comparar cada parámetro con los demás en la base de uno a uno. En esa comparación se determine cual de los dos es "el más importante". Por ejemplo, si entre los parámetros A y B, el más importante es él A, a este parámetro se le asigna un "1" mientras que al menos importante se le asigna un "0". En otras palabras, durante este proceso, se debe hacer la pregunta: ¿Es A más importante que B? En caso afirmativo A obtiene un "1" y B un "0". Si la respuesta es negativa el resultado es el contrario. Así se procede comparando A con C, A con D, etc., luego B con C, B con D, etc., y de esta manera, sucesivamente todos los parámetros. Los resultados se presentan en una matriz como se indica a continuación:

	A	B	C	D
A	-	0	1	1
B	0	-	1	0
C	0	0	-	1
D	1	1	0	-

3. Una vez hecha la comparación en pareja de los parámetros y haber obtenido los "unos y "ceros" indicativos, se procede a obtener los factores de peso para cada parámetro de la matriz. Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Peso} = (\text{SP}/\text{ST}) \times 100$$

Donde:

SP es la suma de los puntos obtenidos por un determinado parámetro. En la matriz es la suma de los "unos" de una línea en cuestión.

ST es la suma de la totalidad de los puntos. En la matriz éste número debe coincidir con la cantidad de "unos".

La Tabla anterior se complementa a continuación para ilustrar la distribución de los pesos:

	A	B	C	D	SP	Peso
A	-	0	1	1	2	33.3%
B	0	-	1	0	1	16.6%
C	0	0	-	1	1	16.6%
D	1	1	0	-	2	33.3%
ST=					6	

4. Una vez obtenidos los factores de peso que se disponen para los parámetros de la matriz, se evalúan las alternativas entre sí. Supongamos que tenemos tres alternativas propuestas, I, II y III. Para obtener la alternativa más favorable se procede a calificarlas. Esto se hace comparando para cada parámetro. las alternativas entre sí. Así pues, para el parámetro A se comparan las alternativas I y II entre sí, la que dentro de éste parámetro sea la más favorable obtiene un "1". Las comparaciones se miden por su carácter objetivo, es decir cual es la más grande/pequeña, la más alta/baja, más cara/barata, etc. Se sigue comparando la alternativa I con la II, la II con la III y así sucesivamente, de ser el caso, hasta n alternativas.

Aplicando la fórmula anterior de los Pesos, el procedimiento se repite para los otros parámetros y se va obteniendo una puntuación de alternativa por parámetro. A continuación se ilustran como se forman las tablas que reflejan esta puntuación:

PARÁMETRO A

	I	II	III	SP	Peso
A	-	0	1	1	33.3%
B	1	-	1	2	66.7%
C	0	0	-	0	00.0%
ST=					3

PARÁMETRO B

	I	II	III	SP	Peso
A	-	0	1	1	33.3%
B	1	-	1	2	66.7%
C	0	0	-	0	00.0%
ST= 3					

PARÁMETRO C

	I	II	III	SP	Peso
A	-	1	1	2	66.7%
B	0	-	0	0	00.0%
C	0	1	-	1	33.3%
ST= 3					

PARÁMETRO D

	I	II	III	SP	Peso
A	-	1	1	2	66.7%
B	0	-	0	0	00.0%
C	0	1	-	1	33.3%
ST= 3					

5. Siguiendo los pasos delineados tenemos la puntuación parcial por alternativa para cada parámetro. Seguidamente se pondera la puntuación obtenida por el peso que tiene cada parámetro dentro de la matriz de evaluación. Por ejemplo, para la alternativa I, el parámetro A vale 33.3%, por lo tanto, en la matriz esta alternativa obtiene una puntuación de:

$$(33.3/100) \times 33.3 = 11.1 \text{ puntos}$$

Esta puntuación se tabula y se suma para así obtener la puntuación de cada alternativa. La alternativa que obtenga más puntos será la más recomendable. A continuación se ilustra como queda la matriz con los valores finales:

	Peso	ALT I	ALT II	ALT III
PARAMETRO A	33.3	11.1	22.2	0
PARAMETRO B	16.6	5.5	11.1	0
PARAMETRO C	16.6	11.1	0	5.5
PARAMETRO D	33.3	22.2	0	11.1
PUNTUACIÓN	100.0	49.9	33.3	16.6

De los valores reflejados en la matriz, se observa que la alternativa más favorable es la I con el 49.9%, seguida de la alternativa II con el 33.3% y luego de la III con el 16.6%.

APLICACION DEL MDMB

El MDMB encuentra su aplicación en diversas disciplinas de la ingeniería. En el área de instrumentación se puede usar en la evaluación técnico-económica de ofertas, siendo de ayuda para la selección de equipos e instrumentos con el mayor número de atributos favorables al usuario. El MDMB también se puede usar como herramienta en la selección de sistemas de control para casos donde se presentan diferentes tipos de instrumentación, tecnologías y configuraciones. Por ejemplo, el uso de control distribuido o centralizado, seguridad intrínseca o equipos a prueba de explosión, instrumentación neumática o electrónica, todas estas técnicas se pueden configurar en varias alternativas en las que en todas existen ventajas y desventajas que dependen de la situación planteada.

Como se observa el MDMB es útil en la mayoría de los casos donde se presentan varias alternativas que son de difícil escogencia. Para obtener aún más objetividad en el proceso de aplicación del MDMB es conveniente reunir un grupo de personas con diferentes puntos de vista, pero todos con el mismo propósito de escoger una de las alternativas planteadas. Un grupo formado por personal de mantenimiento, de operaciones, de Ingeniería y de otras organizaciones sería idóneo para aplicar el MDMB en la escogencia, por ejemplo, de un sistema de control. Una vez que los integrantes, del grupo han acordado el uso del método y existe consenso a nivel de la asignación de "unos" y "ceros" el resultado es automático y muy objetivo.

Se puede decir, que una vez seleccionado los parámetros o atributos sujetos a evaluación, el MDMB es sencillo en su aplicación, se adapta con facilidad a una "hoja electrónica de cálculo" en microcomputadores donde se puede modificar e incluir nuevos factores y realizar estudios de sensibilidad. El método proporciona óptimos resultados cuando las comparaciones son absolutas, es decir, cuando los parámetros o atributos obtienen "unos" o "ceros", sin embargo cuando las opiniones no están bien definidas se puede obviar la pureza y asignar "medios puntos". Estas desviaciones, aún cuando no son recomendables, permiten dar matices al proceso de evaluación.

Economic Indicators

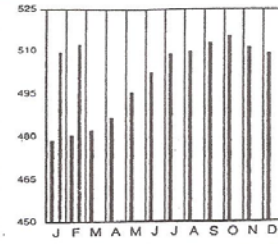
2006 2007

DOWNLOAD THE CEPIC TWO WEEKS SOONER AT WWW.CHE.COM/PIINDEX

CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)

(1957-59 = 100)

CE INDEX	Feb.'07 Prelim.	Jan.'07 Final	Feb.'06 Final	Annual Index:
Planta Química Completa	512.5	509.7	480.7	1999 = 390.6
Equipment	605.7	602.8	561.7	2000 = 394.1
Heat exchangers & tanks	564.7	556.9	524.6	2001 = 394.3
Process machinery	589.5	586.1	533.6	2002 = 395.6
Pipe, valves & fittings	713.8	724.9	662.5	2003 = 402.0
Process instruments	425.6	428.3	391.9	2004 = 444.2
Pumps & compressors	821.5	805.4	771.5	2005 = 468.2
Electrical equipment	419.1	419.4	386.2	2006 = 499.6
Structural supports & misc	640.5	631.3	604.7	
Construction labor	310.5	310.8	303.6	
Buildings	473.2	471.0	450.3	
Engineering & supervision	361.4	352.0	349.6	



CURRENT BUSINESS INDICATORS

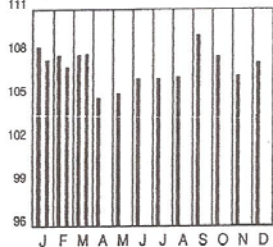
LATEST

PREVIOUS

YEAR AGO

CPI output index (2000 = 100) ¹	Mar.'07 = 107.9	Feb.'07 = 107.0	Jan.'07 = 107.5	Mar.'06 = 107.8
CPI value of output, \$ billions	Feb.'07 = 1,417.1	Jan.'07 = 1,409.6	Dec.'06 = 1,454.8	Feb.'06 = 1,438.5
CPI operating rate ² , %	Mar.'07 = 81.8	Feb.'07 = 81.2	Jan.'07 = 81.6	Mar.'06 = 82.5
Construction cost index (1967 = 100)	Apr.'07 = 732.2	Mar.'07 = 731.4	Feb.'07 = 733.6	Apr.'06 = 716.4
Producer prices, industrial chemicals (1982 = 100)	Mar.'07 = 216.0	Feb.'07 = 214.3	Jan.'07 = 211.2	Mar.'06 = 206.1
Index of industrial activity (1992 = 100)	Mar. 31, '07 = 291.9	Mar. 24, '07 = 291.6	Mar. 17, '07 = 291.4	Apr. 1, '06 = 291.1
Hourly earnings index, chemical & allied products (1992 = 100)	Mar.'07 = 142.2	Feb.'07 = 142.4	Jan.'07 = 143.8	Mar.'06 = 143.9
Productivity index, chemicals & allied products (1992 = 100)	Mar.'07 = 132.9	Feb.'07 = 132.7	Jan.'07 = 132.6	Mar.'06 = 128.4

CPI OUTPUT INDEX (2000 = 100)



CPI OUTPUT VALUE (\$ Billions)



CPI OPERATING RATE (%)



Current business indicators provided by DR-WEFA, Lexington, Mass.

VATAVUK AIR POLLUTION CONTROL COST INDEXES (VAPCCI) (1st Quarter 1994 = 100.0)

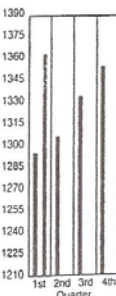
CONTROL DEVICE	2004 Avg. ¹	2005 Avg.	2nd Q 2006	3rd Q 2006	4th Q 2006	1st Q 2007 ²
Carbon adsorbers	135.9	149.1	157.4	162.1	163.0	161.8
Catalytic incinerators	148.6	167.9	211.9	217.4	218.4	219.6
Electrostatic precipitators	124.0	132.1	137.1	143.5	142.8	142.9
Flores	134.2	150.1	155.7	160.1	161.7	161.4
Gas absorbers	121.8	128.2	134.3	135.8	135.5	136.4
Refrigeration systems	119.6	128.9	134.9	138.3	139.7	142.0
Regenerative thermal oxidizers	124.0	131.6	135.9	139.0	139.7	141.5
Thermal incinerators	121.9	133.2	141.1	146.4	147.7	149.4
Wet scrubbers	144.0	157.2	162.8	167.6	169.1	170.3

1. Effective fourth quarter 2003, the Bureau of Labor Statistics (BLS) converted all of the Producer Price Indexes (PPI's) from the Standard Industrial Classification (SIC) to the North American Industrial Classification System (NAICS). During this conversion, many PPI's were abolished—among them most of the PPI's that had been key inputs to the VAPCCIs. As a consequence, substitute PPI inputs had to be found. The VAPCCIs for fourth quarter 2003 and subsequent quarters reflect these substitutions.
2. All fourth quarter 2006 and first quarter 2007 indexes are preliminary.

MARSHALL & SWIFT EQUIPMENT COST INDEX

(1926 = 100)

M & S INDEX	1st Q 2007	4th Q 2006	1st Q 2006
Process industries, average	1,362.7	1,353.8	1,294.6
Cement	1,410.0	1,399.2	1,334.4
Chemicals	1,398.8	1,385.8	1,329.2
Clay products	1,384.9	1,374.1	1,310.4
Glass	1,378.1	1,367.6	1,310.4
Paper	1,309.5	1,299.5	1,237.7
Paint	1,414.2	1,404.6	1,339.9
Petroleum products	1,331.6	1,324.2	1,270.6
Rubber	1,497.9	1,486.3	1,410.3
Related industries	1,463.1	1,449.4	1,390.1
Electrical power	1,319.5	1,310.1	1,219.2
Mining, milling	1,427.7	1,413.5	1,368.4
Refrigeration	1,648.2	1,638.5	1,562.4
Steam power	1,369.1	1,359.8	1,285.3



Annual Index:			
1999 = 1,068.3	2001 = 1,093.9	2003 = 1,123.6	2005 = 1,244.5
2000 = 1,089.0	2002 = 1,104.2	2004 = 1,178.5	2006 = 1,302.3



Caracas, 6 de marzo de 2009.

Electricidad de Caracas.

Dirigida al Director de la Escuela de Ingeniería Química José Ángel Sorrentino.
En atención al Profesor Trino Romero.

La Electricidad de Caracas, mediante la realización del Trabajo Especial de Grado de las Bachilleres Belisario L. Vanessa I. y Estrella R. Eyra E., OPTIMIZACIÓN DE LOS CONSUMOS DE REGENERANTES EN EL TREN PRINCIPAL DE LA PLANTA DESMINERALIZADORA DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA (ELECTRICIDAD DE CARACAS), en la Planta Desmineralizadora del Conjunto Generador Josefa Joaquina Sánchez Bastidas de la EDC, hace constar la donación de las muestras de Resinas de Intercambio Iónico tomadas durante la realización del mismo y de la columna de intercambio iónico, para la creación del “Laboratorio de Intercambiadores Iónicos” donde se enfocará el “Uso Industrial de las Resinas de Intercambio Iónico” y estará ubicado en la Escuela de Ingeniería Química de la Ilustre Universidad Central de Venezuela.

Atentamente,


Ing. José Manuel González


Jefe de Planta Orlando Aparicio

Anexos

[Anexo 1]
FOTOS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS



Figura 37. Bombas de Ácido Clorhídrico en el Patio de Tanques.



Figura 38. Bombas de Hidróxido de Sodio en el Patio de Tanques.



Figura 39. Tanques de Ácido Clorhídrico.



Figura 40. Tanques de Hidróxido de Sodio.



Figura 41. Estación de Dilución de Regenerantes.



Figura 42. Estación de Dilución.



Figura 43. Señalización de Seguridad en la Estación de Dilución de los Regenerantes.



Figura 44. Señalización de Seguridad en la Estación de Dilución.



Figura 45. Revisión de los Rotámetros en la Estación de Dilución.



Figura 46. Modelo de Rotámetro empleado en la Estación de Dilución.

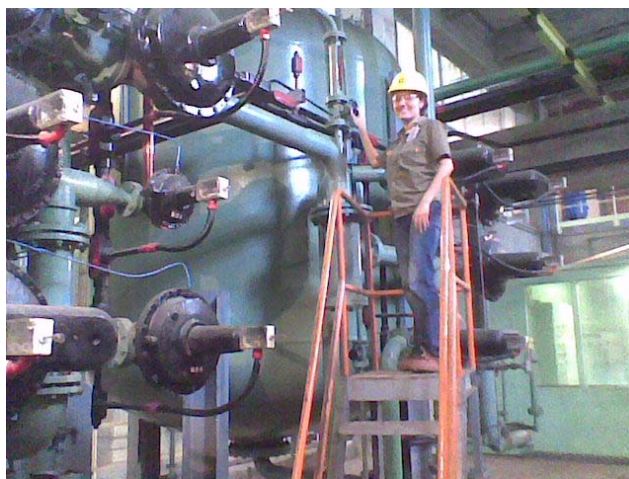


Figura 47. Apertura de un Rotámetro del Intercambiador Catiónico Fuerte.



Figura 48. Tomamuestras de la Entrada del Intercambiador Catiónico Fuerte.



Figura 49. Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte.



Figura 50. Codo Reparado del Intercambiador Catiónico Fuerte.



Figura 51. Andamios colocados para la Toma de las Muestras de Resinas-



Figura 52. Andamios colocados para la Toma de las Muestras de Resinas.



Figura 53. Jefe de Planta en la Apertura de los Intercambiadores.



Figura 54. Jefe de Planta y Tutor Industrial presentes en la Toma de las Muestras



Figura 55. Boca de Visita del Intercambiador Aniónico Débil.



Figura 56. Deflector de los Intercambiadores.



Figura 57. Campana del Laboratorio Central.



Figura 58. Desecador.



Figura 59. Reactivos empleados en los Análisis.



Figura 60. Personal Técnico de Apoyo en el Laboratorio de la Unidad 8.



Figura 61. Fluidización de las Resinas durante el Retrolavado en el Laboratorio.



Figura 62. Fluidización de la Resina Aniónica Débil durante el Retrolavado en el Laboratorio.



Figura 63. Adición de Ácido Clorhídrico durante el Pretratamiento.



Figura 64. Adición de Cloruro de Sodio durante el Pretratamiento.



Figura 65. Efluente del Pretratamiento de la Resina Débil.



Figura 66. Muestras de Resinas obtenidas luego del Pretratamiento.



Figura 67. Piscinas de Tratamiento del Agua Potable en Hidrocapital Picure



Figura 68. Vista de Tocoa desde Hidrocapital Picure.

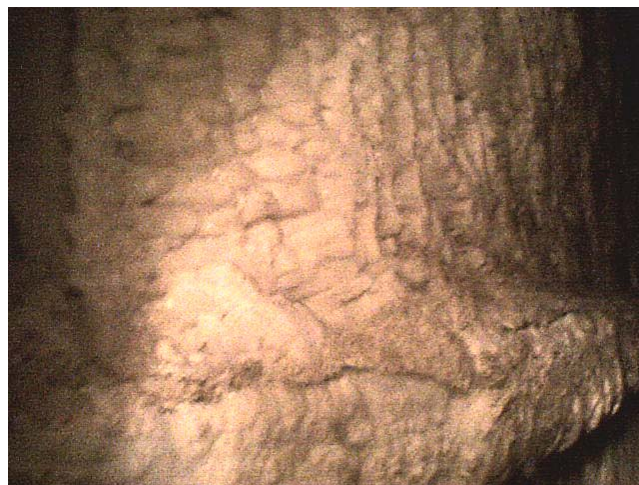


Figura 69. Incrustación Salina en el Interior de un Evaporador.



Figura 70. Sensor de Nivel por Ultrasonido.

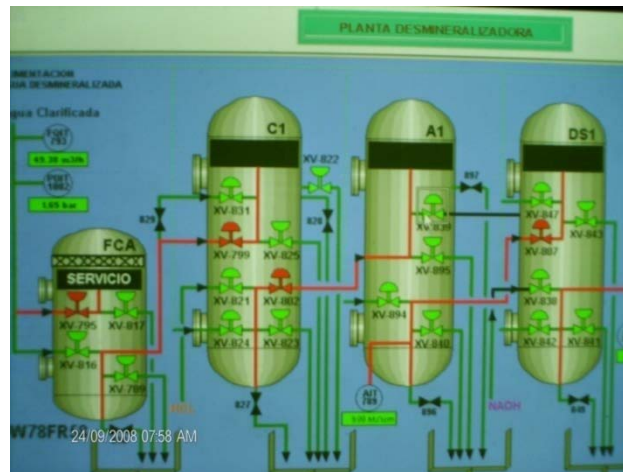


Figura71. Software de Control Automático empleado en la Planta Desmineralizadora.

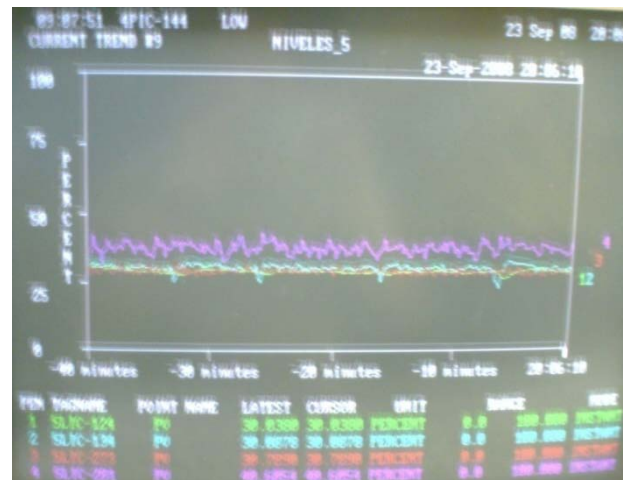


Figura 72. Medición en Línea del Nivel de los Tanques de Almacenamiento de Agua.

[Anexo 2]**MANUAL DE LOS MÉTODOS ANÁLITICOS**

Del Presente Trabajo Especial de Grado deriva el siguiente manual que sintetiza los métodos analíticos empleados basados en la Norma ASTM parte 31 Water, a excepción del Análisis de Elución.

1. Análisis de Elución*✓ Objetivo del Análisis*

El objetivo principal del análisis es obtener la curva de concentración del regenerante libre a la salida de la unidad a la cual se le aplicó el estudio. Esta curva permite evaluar mecánicamente cada unidad y calcular la cantidad de regenerante desechado o sobrante en cada regeneración, a través de la integración de la misma.

En este trabajo, las muestras se tomaron durante el proceso de regeneración llevado a cabo tres días diferentes seleccionados al azar.

- ✓ La Regeneración I fue el proceso monitoreado el día 30 de septiembre de 2008 con una duración de seis horas aproximadamente, comenzando a las 9:40 pm y finalizando a las 3:40 am del día 1 de octubre de 2008. El muestreo tuvo una duración de cuatro horas aproximadamente, correspondientes a las cuatro primeras horas del proceso de regeneración.
- ✓ La Regeneración II fue el proceso monitoreado el día 6 de octubre de 2008 con una duración de seis horas aproximadamente, comenzando a las 1:16 pm y finalizando a las 7:20 pm. El muestreo tuvo una duración de cuatro horas aproximadamente, correspondientes a las cuatro primeras horas del proceso de regeneración.
- ✓ La Regeneración III fue el proceso monitoreado el día 13 de octubre de 2008 con una duración de seis horas aproximadamente, comenzando a las 12:55 pm y finalizando a las 7:30 pm. El muestreo tuvo una duración de cuatro horas

aproximadamente, correspondientes a las cuatros primeras horas del proceso de regeneración.

De forma simultánea se obtuvieron perfiles de conductividad y pH para cada unidad con la finalidad de observar la variación general de la concentración en cada una de ellas.

La determinación de la concentración del regenerante libre a la salida se realiza mediante una titulación de las muestras de tipo volumétrica con soluciones de HCl y NaOH de concentración conocida, donde el indicador empleado depende del rango de pH de trabajo de los indicadores y de las muestras tituladas.

✓ *Procedimiento Experimental*

El procedimiento a seguir es una titulación ácido-base que consiste en la reacción química de neutralización entre un ácido y una base. A una alícuota de ácido clorhídrico y soda caústica se le agrega la cantidad necesaria de soda y ácido clorhídrico respectivamente, para neutralizar la acidez y basicidad presente en dicha alícuota (ASTM D 1067-70 (Método B), 1981).

Para llevar a cabo el análisis de elución se siguen los siguientes pasos:

- Para cada regeneración monitoreada, se toman muestras cada 5 minutos a la entrada de los intercambiadores C1, A1 y DS1 durante la regeneración generando un total de 30 muestras, considerando 10 muestras para cada unidad.

Las muestras se recolectan en recipientes de polietileno (PET) de 120 ml de capacidad.

- Para cada regeneración monitoreada, se toman muestras cada 3 minutos a la salida de los intercambiadores C1, A1 y DS1 durante la regeneración, generando un total de 201 muestras, considerando 67 muestras para cada unidad.

En las figuras mostradas a continuación se observan los pasos descritos anteriormente.



Toma de muestras a la Salida del Intercambiador Aniónico Débil A1.



Toma de muestras a la Salida del Intercambiador Catiónico Fuerte C1.

Las muestras de la salida, al igual que las muestras a la entrada, se recolectan en recipientes de polietileno (PET) de 120 ml de capacidad.

En la figura siguiente se observan las muestras a titular del Intercambiador Catiónico.



Muestras Recolectadas a la Salida del Intercambiador Catiónico (Regeneración III).

A continuación se observan las muestras a titular de los Intercambiadores Aniónicos.



Muestras Recolectadas a la Salida del Intercambiador Aniónico Fuerte (Regeneración III).



Muestras Recolectadas a la Salida del Intercambiador Aniónico Débil (Regeneración III).

- A las muestras se les mide el pH y la conductividad para monitorear la variación de la concentración con el transcurrir del tiempo de la regeneración. Para ello se emplea el pHmetro, en este caso marca Hanna Instrument, mostrado en la figura.



pHmetro empleado en la Medición del pH.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura anterior se detallan en la siguiente tabla:

Especificaciones del equipo empleado en la medición del pH a cada muestra analizada.

Equipo	pH-ímetro
Marca	Hanna Instrument
Año	1990
Analistas	Belisario Vanessa Estrella Eyra
Rango mínimo detectable	0
Rango máximo detectable	14
Rango (mV)	0,0 a ± 3.999
Rango (°C)	0,0 a 100,0

Fuente: Manual del equipo.

En la foto se observa el equipo empleado en la medición de la conductividad.



Conductímetro empleado en la Medición de la Conductividad.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura anterior se detallan en la siguiente tabla:

Especificaciones del Equipo Utilizado en la Medición de la Conductividad de las Muestras en Estudio.

Equipo	Conductímetro
Modelo / marca	Orion 5-Star
Año	2000
Analistas	Belisario Vanessa Estrella Eyra
Rango mínimo detectable	0,01
Modo de operación	Modo < 10 / modo > 10
Rango pH	0 a 14
Rango DO	0,01 a 9,99
Rango temperatura (°C)	0 a 100

Fuente: Manual del equipo.

- Dependiendo del regenerante empleado, a saber HCl para el lecho catiónico fuerte y NaOH para los lechos aniónicos, se titulan las muestras con NaOH y HCl respectivamente para determinar la concentración del regenerante en la entrada y salida de los equipos. El indicador utilizado para las titulaciones es fenolftaleína en el caso de las muestras que contenían HCl, y rojo de metilo

para las muestras que contenían NaOH. La fenolftaleína es un indicador cuyo rango de pH de trabajo es 7,0 a 9,6 y el rojo de metilo posee un rango de pH de trabajo de 4,0 a 5,8.

En la figura se observan algunas muestras tituladas: las de color amarillo son las alícuotas una vez que se les ha adicionado el rojo de metilo. Las muestras fucsia son las que han sido tituladas y se encuentran en el punto final.



Muestras del Intercambiador Aniónico Fuerte Antes y Después de la Titulación.

- Con los volúmenes respectivos de ácido y base con que se titulan las alícuotas de las muestras de los equipos, se calcula la concentración del regenerante con la ecuación 2 del Apéndice A para elaborar la curva de concentración de regenerante libre en función del tiempo (Nalco, 1998), mejor conocida como *Estudio o Curva de Elución*. Esta curva contempla las etapas de inyección de los reactivos, aclarado de las líneas y transferencia para cada unidad..
- La cantidad de regenerante sobrante se calcula integrando el área bajo la curva de elución.

Este valor se le resta a la cantidad de regenerante inyectado, calculado a partir de los datos de la bomba de inyección del químico para obtener la cantidad de regenerante empleado por la resina para regenerarse.

1. Caracterización del Agua

✓ *Objetivo del Análisis*

El objetivo principal del análisis es proporcionar datos que permitan caracterizar la materia prima y mantener la calidad del agua e indicar cualquier deficiencia en el tratamiento de desmineralización debido a la disminución de la capacidad de las resinas de intercambio iónico, a una regeneración no adecuada o a un cambio en la dosificación de regenerantes. A continuación se describen detalladamente las pruebas físicas y químicas a realizar.

2.1 Pruebas Físicas

(a) *Conductividad Eléctrica*

Este método utiliza una celda de conductividad de flujo para muestrear una corriente de agua bajo prueba, o, en el caso de muestras con conductividades mayores a 10 $\mu\text{mhos/cm}$ ($\mu\text{Siemens/cm}$), cualquier otro tipo de celda de conductividad para tomar una muestra estática. En este método es importante mantener un control estricto de la temperatura; sin embargo, se pueden corregir los valores obtenidos.

✓ *Procedimiento Experimental*

El procedimiento experimental que se sigue para medir la conductividad de las muestras, diferenciando para soluciones con conductividad por debajo de 10 $\mu\text{S/cm}$ y con conductividades por encima de 10 $\mu\text{S/cm}$; consistió en emplear una celda de conductividad adecuada para efectuar la medida en la muestra.

La Medición de la Conductividad se realiza según el método expuesto en la norma ASTM D 1125. El equipo que se utiliza es el conductímetro mostrado anteriormente.

La medición se realiza mediante los siguientes pasos:

- Se usa una celda de conductividad tipo flujo. Se prepara la muestra y se trae la temperatura a un valor estable cercano a 25°C.
- Seguidamente se procede a leer la temperatura lo más cercano a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Si el instrumento de medición está provisto de un compensador automático de temperatura se da suficiente tiempo para permitir la igualdad de temperaturas.
- Finalmente se procede a leer la conductividad.

(b) *Sólidos Totales Disueltos (STD)*

Los sólidos disueltos en aguas de abastecimiento y de procesos son de vital importancia para el tratamiento de agua. Estos sólidos aumentan los problemas de sedimentación, y, en las aguas que fluyen a alta velocidad contribuyen a la erosión de las superficies metálicas. A menudo la determinación de los sólidos disueltos sirve de guía para controlar la operación satisfactoria de los procesos industriales. La cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua industrial es una de sus propiedades más importantes ya que es determinante en el uso y la reutilización del agua. En el agua de caldera existe un límite de sólidos disueltos a partir del cual aumenta notablemente la contaminación del vapor y el arrastre (Ediciones Ciencia y Técnica S.A., 1988), razón por la cual es determinante la cantidad de STD presentes en el agua desmineralizada. La diferencia entre los sólidos totales suspendidos y los sólidos totales disueltos radica en que los primeros son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites; mientras que los sólidos totales disueltos a determinar en el presente trabajo son los residuos de la evaporación del agua filtrada, desecados a una temperatura normalizada.

✓ *Procedimiento Experimental*

El procedimiento experimental seguido en este caso para determinar el contenido de materia disuelta en las muestras consiste en emplear un equipo de medición de conductividad debido a que la conductividad de un agua está relacionada con su contenido de sales disueltas.

Para la obtención de los valores de Sólidos Totales Disueltos en las muestras de agua es necesario analizar la relación existente con la Conductividad de las mismas. Existe una dependencia entre el contenido de sales disueltas del agua y su conductividad. A veces la mineralización determinada por pesada del estrato seco no es rigurosamente idéntica a la determinación de cada una de estas dos medidas. Es por esa razón básica que la cantidad de sólidos totales disueltos se determina a partir de la tabla mostrada

utilizando el factor de mineralización en mg/L dependiendo del rango de conductividad a tratar:

Factor para el cálculo de los Sólidos Totales Disueltos (STD) a partir de la Conductividad de las Muestras de Agua.

Conductividad (uS/cm)	Factor para el cálculo de los STD
0-50	1,365079
50-168	0,947658
166-333	0,769574
333-833	0,715920
833-10000	0,758544
10000-infinito	0,850432

Fuente: Electricidad de Caracas. Guía del Laboratorio Central.

Los pasos que se siguen para la determinación del contenido de materia disuelta en las muestras son los siguientes:

- Inicialmente se prepara el equipo de medición de conductividad.
- Seguidamente se introduce la parte terminal del equipo portátil de medición de conductividad en una porción de la muestra
- Finalmente se lee en la pantalla del mismo la conductividad.
- Se calcula la concentración de sólidos totales disueltos empleando el factor correspondiente.
- El mismo procedimiento repite a cada una de las muestras.

2.2 Pruebas Químicas

(a) Alcalinidad

La alcalinidad o basicidad se define como la capacidad cuantitativa del medio acuoso para reaccionar respectivamente con los iones hidrógeno. La acidez y la basicidad en el agua son el resultado de la disociación o la hidrólisis de sus solutos. La fuerza de la acidez y la basicidad son buenos indicadores de la corrosividad potencial del agua y también proporciona una guía útil para seleccionar el tratamiento adecuado, ya sea del agua cruda o de los efluentes de una planta. La alcalinidad del agua puede indicarse en función de las cantidades titulables de los iones bicarbonato, carbonatos

o hidróxidos, o bien, en función de las cantidades equivalentes de carbonato de calcio. En el análisis del agua el punto final de la titulación de la alcalinidad es aproximadamente 4,5.

✓ *Procedimiento Experimental*

El procedimiento experimental que se sigue para determinar la alcalinidad de las muestras es el descrito en la Norma ASTM D 1067-70 (Método B) y consistió en una titulación volumétrica ácido-base, empleando el indicador adecuado.

La determinación de la Alcalinidad del Agua es realizada según la Norma ASTM D 1067-70 (Método B) siguiendo los siguientes pasos:

- Para la realización de la titulación, se pipetea 100 ml de la muestra en un beaker de 200 ml. Se sostiene la punta de la pipeta cerca del fondo del contenedor mientras se descargaba la muestra.
- Se añaden 3 gotas de rojo de metilo.
- Se titulan las muestras con HCl estándar 0,02 N. También, las muestras se pueden titular electrométricamente hasta un valor del pH adecuado, como se muestra en la figura siguiente.



Titulación electrométrica empleada en la medición de la alcalinidad de las muestras de agua antes y después de la desmineralización.

(b) *Medición de pH*

Esté método cubre la determinación rápida y rutinaria de pH en unidades estándar de 1 a 12 en aguas industriales que tienen una conductividad mayor a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\mu\text{mhos}/\text{cm}$).

El pH es determinado por la medición de la diferencia de potencial entre un electrodo de membrana de vidrio y un electrodo de referencia inmerso en la muestra. El pHmetro y los electrodos son estandarizados contra dos soluciones buffer cerca del valor de pH de la muestra.

✓ *Procedimiento Experimental*

La Medición de pH se realiza según el método propuesto por la norma ASTM en su libro resumen, siguiendo los pasos descritos a continuación:

Inicialmente se calibra el equipo de la forma igualmente descrita en la norma.

- Se enciende el pHmetro permitiendo que se calentara completamente, se lavaron los electrodos y la cubeta de la muestra con una corriente de agua destilada de una botella de lavado.
- Se lavan los electrodos y la cubeta con una solución buffer de pH cercano a 7.
- Se sumergen los electrodos en la cubeta de la muestra que contiene la solución buffer de pH cercano a 7.
- Utilizando el pomo calibrado o estandarizado, se prepara la medida para leer el pH correcto de la solución buffer a la temperatura a la cual es medido.
- Luego se lavan los electrodos y la cubeta de la muestra con la segunda solución buffer. El procedimiento se realiza bajo la premisa de que si se esperaba que el pH de la muestra estuviera por debajo de 7, se usa la solución buffer de pH 4; y en caso contrario, se usa el buffer de pH 10.

Una vez calibrado el equipo se procedió a aplicar el método a continuación descrito:

- Se lavan los electrodos y la cubeta de la muestra con una corriente de agua destilada de una botella de lavado. El equipo utilizado es el mostrado anteriormente
- Se lavan los electrodos y la cubeta con la muestra.
- En seguida se vacía suficiente muestra en la cubeta para cubrir los electrodos con 1 cm de profundidad. Se mide y se ajusta la temperatura de la muestra en el pomo compensador. Se espera hasta que el medidor parara de fluctuar y registrara el pH y la temperatura.
- Se repite el paso anterior y en otra porción de muestra se espera hasta que dos lecturas consecutivas concuerden por menos de 0,05 unidades de pH.
- Se lavan los electrodos y la cubeta con agua destilada luego de realizar la última medición.
- Finalmente se apaga el pHmetro y se almacenan los electrodos en solución de cloruro de potasio 4 M.

(c) *Determinación de Sílice*

La sílice tiene una importancia especial en la generación de vapor, debido a que en ciertas condiciones, se producen dentro de la caldera o bien en las turbinas, peligrosos depósitos de sílice y silicatos complejos. Estos materiales tienen un coeficiente de transmisión muy bajo y las capas extremadamente delgadas pueden producir sobrecalentamiento del metal, corrosión y falla en los tubos de las calderas así como una reducción en la transferencia calórica. Al aumentar la presión de la caldera más de 400 psi, aumenta la tendencia de la sílice a ser arrastrada hacia el vapor. Conforme aumenta la presión, el contenido de sílice en el vapor en relación al agua se incrementa con suma rapidez. Esta sílice se deposita formando capas duras y vítreas en los álabes de las turbinas, tapando los conductos pequeños y produciendo desequilibrios en el rotor. Las investigaciones han demostrado que la clave para reducir al mínimo los depósitos de sílice, es mantener su concentración en el agua de caldera a un nivel lo suficientemente bajo para lograr que la sílice en el vapor no pase de 0,02 mg/L (Ediciones Ciencia y Técnica S.A., 1988).

✓ *Procedimiento Experimental*

La Medición de Sílice se realiza según el método expuesto en la norma ASTM D 859 (Método B). El equipo utilizado fue un espectrofotómetro de alta reproducibilidad, adecuado para mediciones a 815 nm. El equipo utilizado fue el siguiente:



Espectrofotómetro utilizado para la medición de Sílice. Equipo ubicado en el Laboratorio de la Unidad 8 de Planta Ampliación Tocoa, donde este método es un análisis de rutina.

Los datos del equipo utilizado se muestran en la siguiente tabla:

Especificaciones del equipo utilizado en la medición del Sílice.

Equipo	Espectrofotómetro
Marca	Milton Roy
Modelo	Spectronic 21 D
Año	1990
Analista	Técnico Miguel Rodríguez
Rango Mínimo Detectable	0.001

Fuente: Manual del equipo.

El tamaño de la celda de muestra que fue utilizada dependió del rango cubierto y del instrumento.

En la siguiente figura se muestra la Celda de Muestra Utilizada:



Celda de muestra empleada en el Espectrofotómetro utilizado para la Medición de Sílice.

La calibración del equipo es de la siguiente forma:

- Se prepara una serie de al menos cuatro estándares que cubrieran el rango de concentración deseado por la apropiada dilución de la solución de estándar de sílice. Se tratan alícuotas de 50,0 ml del estándar.
- Se prepara un blanco utilizando una alícuota de 50 ml de agua que fue tratada similarmente.
- Para los estándares en el rango de 20 a 100 $\mu\text{g/L}$, se ajusta el espectrofotómetro a 815 nm.
- Se prepara una curva de calibración para las mediciones a 815 nm graficando la absorbancia versus los microgramos de SiO_2 ; esta curva fue realizada por el equipo automáticamente.

Una vez calibrado el equipo se procede a continuar con la aplicación del método siguiendo los pasos descritos a continuación.

- Inicialmente se transfieren cuantitativamente 50,0 ml (o una alícuota diluida de 50 ml) de la muestra, a un contenedor de polietileno u otro plástico adecuado y se añade, de forma rápida y sucesiva, 1 ml de HCl (1+1) y 2 ml de solución de molibdato de amonio mezclando bien.

Las muestras en estudio pueden observarse claramente en la siguiente figura:



Muestras de Agua trasvasadas a Contenedores de Plástico Adecuado.

- Después de 5 minutos exactos se añaden 1,5 ml de solución de ácido oxálico mezclando muy bien nuevamente.
- Después de 1 minuto, se añaden 2 ml de solución de amino-naftol-ácido sulfónico. Se mezcla bien y se permite que se asienten por 10 minutos.
- Las soluciones utilizadas fueron las mismas que se utilizan para la aplicación del Método Rutinario en el Laboratorio de la Unidad 8 de Planta Ampliación Tocoa y se pueden observar claramente en la siguiente figura:



Soluciones Preparadas por el Personal del Laboratorio de la Unidad 8 de Planta Ampliación Tocoa, para la Aplicación del Método de la Determinación de Sílice.

- Transcurrido el tiempo de 10 min se prepara un blanco tratando una alícuota de 50,0 ml de agua, para finalmente medir la absorbancia de la muestra a 815 nm contra el blanco.
- El mismo procedimiento se realiza para cada una de las muestras de agua en estudio.

(d) *Análisis Iónico*

El análisis iónico se realiza en dos partes. Se utiliza “Absorción Atómica” (AA) para la obtención de las concentraciones de los cationes de las muestras de agua. Y los aniones de las muestras son analizados por “Cromatografía Líquida”.

✓ *Procedimiento Experimental*

En el caso de la absorción atómica, fue realizada en el Laboratorio Central de la Planta Ampliación Tocoa, empleando la metodología de rutina aplicada en el mismo laboratorio. La espectroscopía de absorción atómica (AA) es una técnica de análisis instrumental, capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos comprendidos en el sistema periódico. El método aplicado consistió en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La especie atómica es lograda por atomización de la muestra, siendo los distintos procedimientos utilizados para llegar al estado fundamental del átomo lo que diferencia las técnicas y accesorios utilizados. La técnica de atomización usada en este caso fue la de AA con llama, donde se nebulizó la muestra y luego se diseminó en forma de aerosol dentro de una llama de aire - acetileno oxidante. La elección de esta tecnología dependió fundamentalmente del rango de sensibilidad requerido. Al trabajar con niveles de detección en el orden de las ppb ($\mu\text{g/L}$) es imprescindible una escrupulosa descontaminación de todo el material empleado y un extremo cuidado de la pulcritud analítica en todos los aspectos del proceso analítico. La espectroscopía de absorción atómica es una técnica muy versátil, ya que es capaz de analizar cualquier muestra que se encuentre en disolución. Los elementos que más comúnmente son analizados por AA con llama son Pb, Cu, Zn, Ca, Mg y Fe que requieren sensibilidades del método en el orden de las décimas de ppm, he allí la razón fundamental de la elección de esta tecnología para analizar los cationes contenidos en las muestras de agua. El equipo de absorción atómica utilizado es el que se observa en la siguiente figura:



Equipo de Absorción Atómica utilizado para el Análisis Iónico de los Cationes presentes en el Agua de Proceso.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura se detallan en la Tabla 21, debido a que el análisis de cada muestra depende de la sensibilidad mínima del equipo contra cada catión.

En el caso de la cromatografía líquida, fue realizada por el Laboratorio de Tratamiento Catalítico de Efluentes de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, siguiendo los lineamientos propios del laboratorio de investigaciones.

La cromatografía líquida comprende todos los métodos cromatográficos aplicables en la fase móvil de los líquidos bajo condiciones de análisis. La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido soportado por un sólido químicamente sellado. La fase estacionaria puede presentarse como un plano (cromatografía planar) o contenida en un tubo cilíndrico, cromatografía de columna.

El cromatógrafo está conformado generalmente por una bomba, una bomba de jeringa, una bomba recíprocante, una bomba neumática, un sistema de inyección simple, diagrama de inyectores, inyectores de detección de flujo, válvulas de

inyectores, columnas y detectores que pueden ser detectores de masa, detectores de soluto, detector integral o detector diferencial (ASTM, Parte 42, 1981).

El cromatograma es el resultado de la separación de los solutos a través del proceso de cromatografía.

La técnica específica de cromatografía líquida a emplear es la *cromatografía iónica basada en supresores* en la cual la columna de iones va seguida de una columna supresora o membrana supresora, que convierte el eluyente iónico en una especie no iónica, la cual no interfiere en la detección conductimétrica de los iones del analito.

✓ *Procedimiento Experimental*

La metodología empleada es la siguiente para la determinación de los Aniones:

- Inicialmente el personal calificado calibra el equipo introduciendo soluciones patrón de los diferentes iones a analizar para determinar el tiempo de retención correspondiente a cada uno de ellos.
- Seguidamente se introduce la primera muestra problema en el cromatógrafo.
- Finalmente se obtiene el cromatograma de la muestra analizada.
- El mismo procedimiento es realizado para cada una de las muestras.

2.3 Evaluación de las Resinas

Los intercambiadores iónicos mejor conocidos como resinas de intercambio iónico cumplen un rol fundamental en el *Proceso de Desmineralización* del agua. La eficiencia del tratamiento está directamente relacionada con el estado fisicoquímico de la resina. Por ello es importante medir con cierta frecuencia los parámetros que caracterizan a las mismas para saber el estado en que se encuentran y así poder garantizar un desempeño eficiente de la desmineralización.

A continuación se describen los procedimientos experimentales para determinar los parámetros más importantes que permiten evaluar el estado de un intercambiador iónico.

2.3.1 Toma de las Muestras de las Resinas de Intercambio

La Toma de las muestras de las Resinas de Intercambio Iónico se realiza según la aplicación de la Norma ASTM D 2688 (Método B).

Para la preparación del muestreo de las resinas de Intercambio se siguen los siguientes pasos:

- Para las unidades que contienen la mezcla física de resinas catiónicas y aniónicas, se lava el lecho seguido del agotamiento, y se regenera como en los procedimientos normales de operación.
- Seguidamente se abre el acceso por el tope de cada equipo de intercambio iónico.



Apertura del Acceso por el tope del Intercambiador Aniónico Débil A1.

- Enseguida se procede a drenar el agua, justo hasta el tope del lecho como se muestra en la siguiente figura:



(a) Antes del drenaje



(b) Después del drenaje

Drenaje del Agua del Intercambiador Aniónico Débil A1.

Para el procedimiento de muestreo se siguen los pasos a continuación descritos:

- Se selecciona en lo posible un mínimo de 6 puntos equiespaciados en el lecho.
- Se impulsa la varilla de muestreo (fabricada según la misma Norma) a través del material de intercambio iónico hasta que se pueda sentir el soporte del lecho (ver figura a continuación).



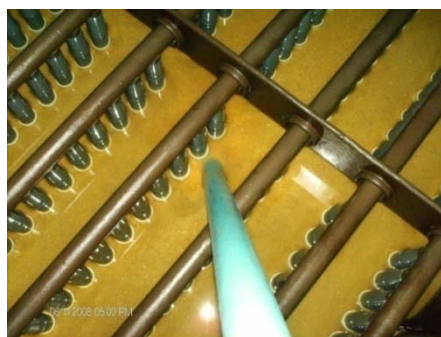
(a) Parte superior del toma-muestras



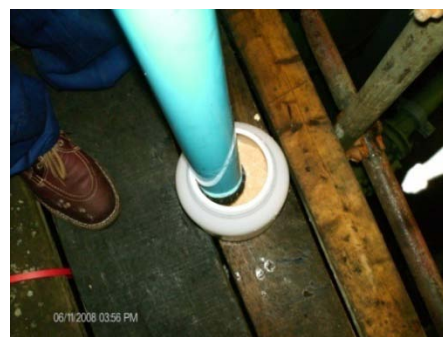
(b) Parte inferior del Toma-muestras

Vista Superior e Inferior del Tomamuestras cumpliendo con la Norma ASTM.

- Con un suave movimiento hacia arriba y abajo, se desliza el tubo de muestreo (fabricado según la misma Norma) sobre el tope de la varilla de muestreo y a través del material de intercambio para apoyarse en el tapón cónico inferior (ver Figura a).



(a) Deslizamiento del tubo de muestreo.



(b) Descarga de la muestra tomada.

Deslizamiento del Tubo de Muestreo a través del Intercambiador Catiónico Fuerte y Descarga de la Muestra Tomada.

- Se hala la varilla para reponer el tubo de muestreo.
- Posteriormente se chequea que el tubo de muestreo estuviese lleno.
- Seguidamente se vacía el contenido del tubo en el contenedor de muestra y se volvieron a llenar hasta que se obtuvo aproximadamente 1 litro de muestra (ver figura b).
- Luego se procede a sellar el contenedor de muestra.
- El mismo procedimiento se sigue para cada uno de los Intercambiadores. En la siguiente figura se pueden observar las resinas tomadas en sus respectivos contenedores:



Figura 27. Resinas Contenidas en sus respectivos Recipientes de Muestreo.

2.3.2 Pretratamiento de las Resinas de Intercambio Iónico

El Pretratamiento de las resinas de intercambio iónico es realizado según la aplicación de la Norma ASTM D 2188 (Método A), siguiendo los pasos a continuación:

- Inicialmente se preparan todas las soluciones correspondientes al pretratamiento de las resinas de Intercambio Iónico. Las soluciones a emplear se muestran en la siguiente figura:



Soluciones correspondientes al Pretratamiento, preparadas según la Norma ASTM.

- Posteriormente se procede a transferir toda la muestra tomada a un beaker de 2 litros utilizando agua destilada para lavar el contenedor, ajustando el nivel de agua al nivel de la muestra y dejando reposar por 1 hora. Seguidamente se mezcla por completo y se transfiere una muestra representativa para llenar un beaker de 400 ml.
- Se llena la columna de pretratamiento con agua hasta la mitad, y se transfiere el contenido completo del beaker de 400 ml a la columna utilizando agua adicional para favorecer el trasvasado. A continuación en la siguiente figura se puede observar la columna de intercambio utilizada:



Columna de Pretratamiento de 1,5 m. de altura, fabricada según la Norma ASTM D 2688 en el Taller de Soplado de Vidrio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

- Seguidamente realiza el retrolavado con agua empleando un flujo que mantenga la expansión del lecho en un 50% y se ajusta la salida del retrolavado a una altura sobre el lecho de 75% la altura del mismo. Posteriormente se continúa lavando por 10 minutos aproximadamente hasta que el efluente esté claro. Este procedimiento se ejemplifica en la siguiente figura:



(a) Fondo de la columna de intercambio



(b) Tope de la columna de intercambio

Fondo y Tope de la Columna de Intercambio Iónico. En la Figura (a) se muestra el fondo de la columna por donde se realiza el retro-lavado y se obtiene el efluente en la etapa del lavado. En la Figura (b) se muestra el tope de la columna.

- Se permite que la resina se asentara, drenando hasta que el nivel de líquido esté de 20 a 30 mm por encima del tope del lecho, y se estima su volumen. Luego se hace pasar una solución de NaCl (100 g/L) a través de la muestra a una velocidad de 0,133 ml/(min*ml de muestra) por 1 hora. Se discontinúa el flujo de solución de NaCl para posteriormente retrolavar con agua por 10 minutos con una velocidad de flujo suficiente para mantener una expansión del lecho de 50% y finalmente, se discontinúa el flujo de agua para continuar con el procedimiento. En la siguiente figura se puede observar el cambio de color que presenta la Resina Catiónica Fuerte del C1, al ser pasada por la solución de cloruro de sodio, el mismo cambio se observa para el resto de las resinas.



(a) Estado Inicial



(b) Estado Intermedio



(c) Estado Final

Cambio gradual del color de la Resina Catiónica Fuerte del C1 pasando por (a), luego por (b), hasta llegar al estado (c) en el cual se puede observar que la resina ha cambiado de su estado regenerado a otra forma iónica.

- Seguidamente se permite que el lecho se asentara y luego se drena el agua a una velocidad aproximada de 100 ml/min hasta que el nivel de agua sea de 20 a 30 mm por encima del tope del lecho, y se estima el volumen de la resina de intercambio iónico en mililitros.

- Se determina la cantidad de reactivo y el flujo másico requerido para el pretratamiento inicial a partir de la siguiente tabla ubicada en la Norma ASTM utilizando el volumen de muestra determinado en el paso anterior.

Requerimientos para el Primer Pretratamiento.

Requerimiento	Resinas de Intercambio Aniónica	Resina de Intercambio Catiónica
Regenerante	NaOH	HCl
Concentración	40 g/L	1+4
Volumen requerido	8 volúmenes de muestra	8 volúmenes de muestra
Tiempo de Contacto (h)	1	1
Caudal (ml/min.ml resina)	0,133	0,133
Nivel de Regeneración		
lb/ft ³	2,0	42,5
g/L	320	680

Fuente: Norma ASTM D 2188.

- Seguidamente se hace pasar el volumen especificado de reactivo a través del lecho a velocidad especificada hasta que solo queden de 20 a 30 mm de líquido sobre el lecho, y se lava el lecho con 2 muestras de volúmenes de agua a la misma velocidad.
- Inmediatamente se determina la cantidad de reactivo y el flujo requerido para el Segundo Pretratamiento a partir de la siguiente tabla ubicada en la Norma ASTM 2188 utilizando el mismo volumen de muestra determinado anteriormente.

Requerimientos para el Segundo Pretratamiento.

Requerimiento	Resinas de Intercambio Aniónico	Resina de Intercambio Catiónica
Regenerante	HCl	NaOH
Concentración	1+4	40 g/L
Volumen requerido	8 volúmenes de muestra	4 volúmenes de muestra
Tiempo de Contacto (h)	1	0,5
Caudal (ml/min.ml resina)	0,133	0,133
Nivel de Regeneración		
lb/ft ³	42,5	10,0
g/Litro	680	160

Fuente: Norma ASTM D 2188.

- Posteriormente se hace pasar el volumen especificado de reactivo a través del lecho a la velocidad especificada hasta que una capa de líquido de 20 a 30 mm permanezca por encima del lecho. Se lava el lecho con 1 volumen de muestra de agua a la misma velocidad. Se aumenta la velocidad a 100 ml/min y se lavó por 15 minutos. Luego se prueban porciones sucesivas de 100 ml del efluente de la columna con Resinas Aniónica añadiendo 2 gotas de solución indicadora de azul timol. Se continúa lavando hasta que una porción de 100 ml permanezca amarilla ($\text{pH} > 2,5$) con la adición del indicador. Se prueba el efluente de la Resina Catiónica de la misma manera con 3 gotas de solución indicadora de rojo de metilo. Se continúa lavando hasta que una porción de 100 ml del efluente permanezca amarilla ($\text{pH} < 11$) con la adición del indicador, como se observa claramente en la siguiente figura:



Efluente producto del Lavado Final de la Resina Catiónica Fuerte del C1.

- Como próximo paso se remueve la resina de intercambio iónico de la columna de pretratamiento eliminando al mismo tiempo cualquier material extraño acumulado en el fondo del lecho. Seguidamente se transfiere la resina hasta el embudo buchner del aparato de drenaje, el cual se equipa con un papel filtro de mediana porosidad. Se drena el agua hasta el tope de la muestra utilizando succión con una bomba de vacío.
- Se cubre el embudo con una tapa ajustada de vacío la cual está colocada con una entrada de aire de la torre humidificadora llena de agua, tal cual lo ejemplifica la mostrada.



Aparato de Drenaje fabricado según la Norma ASTM D 2688, en el Taller de Soplado de Vidrio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. Equipo conformado de izquierda a derecha por un envase de vacío, un manómetro diferencial de mercurio, un embudo buchner con tapa, una torre humidificadora con perlas de vidrio, y un sistema de líneas hechas en material de vidrio.

- Se aplica suficiente succión para mantener una presión diferencial de 40 ± 5 mmHg por debajo de la presión atmosférica. La bomba de vacío utilizada se muestra en la siguiente figura:



Bomba de Vacío utilizada para Drenar al Agua de las Muestras aplicando Succión.

- Se continua pasando aire húmedo a través de la muestra durante 10 minutos hasta que la muestra se encuentre agotada como se muestra a continuación:



(a) Muestra no agotada

(b) Muestra agotada

Resina Catiónica Fuerte del C1. Proceso de 10 minutos de duración en que la Resina debe ser Humidificada y luego Deshumidificada a través del Aparato de Drenaje.

- Como paso final al pretratamiento se transfiere la muestra agotada a una botella de boca ancha, de 1 litro, limpia y seca, como se observa en la siguiente figura:



Muestra Pretratada correspondiente a la Resina Catiónica Fuerte del C1 almacenada en botella de 1 Litro.

- El mismo procedimiento se realiza a cada una de las muestras de resinas.

2.3.3 Determinación de las Propiedades de las Resinas de Intercambio

1. Microscopía Óptica

La finalidad principal de la aplicación del método de microscopía óptica es analizar el estado físico de las resinas de intercambio y comparar finalmente con su estado, en el momento de la adquisición de la misma para poder concluir a cerca del grado de desgaste físico en el cuerpo de la resina.

✓ *Procedimiento Experimental*

La metodología que se sigue fue la empleada en el Laboratorio Central de la Planta Ampliación Tocoa, a través de la ejecución de los pasos descritos a continuación:

- Inicialmente se acondiciona el microscopio óptico a utilizar mostrado en la siguiente figura:



Microscopio Óptico utilizado en el Análisis de las Muestras de Resina de Intercambio Iónico.

Las especificaciones del equipo mostrado en la figura anterior se detallan en la siguiente tabla:

Especificaciones del equipo utilizado para la realización del análisis de Microscopía Óptica a las resinas de intercambio iónico estudiadas

Equipo	Microscopio Óptico
Marca	Nikon Japan
Año	1984
Analistas	Belisario Vanessa Estrella Eyra
Rango mínimo detectable	5X
Rango máximo detectable	10,1X
Lente de trabajo	5X

Fuente: Manual del Equipo.

- Como siguiente paso se procede a identificar y a calibrar las partes del microscopio como se pueden al mismo tiempo observar en la figura anterior:
 - Ocular: lente situada cerca del ojo del observador, con el cual se amplió la imagen del objetivo.
 - Objetivo: lente situada cerca de la preparación, con el cual se amplió la imagen de la misma.
 - Condensador: lente con el cual se concentraron los rayos luminosos sobre la preparación.
 - Diafragma: parte del equipo con la que se reguló la cantidad de luz que entraba en el condensador.
 - Foco: parte del equipo con la que se dirigieron los rayos luminosos hacia el condensador.
 - Platina: lugar donde se depositó la preparación.
 - Cabezal: lugar donde se encontraron los sistemas de lentes oculares.
 - Revólver: contiene los sistemas de lentes objetivos. Permitted, al girar, cambiar los objetivos.
 - Tornillos de enfoque: enfoque macrométrico con el que se aproximó el enfoque. Y enfoque micrométrico con el que se consiguió el enfoque correcto.

Una vez identificados los parámetros del microscopio se procede a analizar la muestra de la siguiente forma:

- Se coloca el objetivo de menor aumento en posición de empleo y se baja la platina completamente. La platina puede ser observada en la siguiente figura:



Platina del Microscopio Óptico sobre la cual se coloca la Muestra a Analizar sujeta con pinzas.

- Se coloca la preparación sobre la platina sujetándola con las pinzas metálicas.
- Se comienza la observación con el objetivo de 5x (ya en posición).
- Se realiza el enfoque.
- Se pasa al siguiente objetivo, moviendo un poco el micrométrico para lograr un enfoque fino.

2. Contenido de Humedad

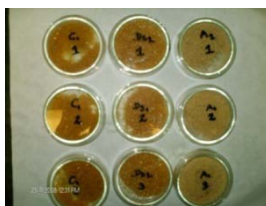
Los incrementos en la capacidad de retención de agua de materiales usados en comparación con los valores para otros materiales usados sirve como indicador del rompimiento del entrecruzamiento del polímero; por su parte, los decrementos pueden indicar tanto pérdida de funcionalidad como ensuciamiento del material de intercambio.

✓ *Procedimiento Experimental*

El procedimiento experimental consiste en la determinación de la pérdida de masa de resina con secado a 110 ± 5 °C.

El método utilizado para el cálculo del Contenido de Humedad de cada Resina de Intercambio Iónico es el indicado en la Norma ASTM D 2188 (Método B), siguiendo los pasos descritos a continuación:

- Inicialmente se pesan tres muestras representativas de aproximadamente 5 g cada una, de material Pretratado, lo más cercano a 1 mg en recipientes de pesaje previamente tarados. Las muestras húmedas se muestran en la siguiente figura:



Muestras de Resinas de Intercambio Iónico Húmedas Pesadas para la Determinación del Contenido de Humedad

- Se secan las muestras por 18 ± 2 horas a 110 ± 5 °C.
- Seguidamente se remueven las muestras del horno y se enfrían durante 30 minutos en un desecador, para finalmente pesarlas nuevamente. Las muestras secas se muestran en la siguiente figura:



Muestras de Resinas de Intercambio Iónico Secas Pesadas para la Determinación del Contenido de Humedad.

- Como se evidencia en ambas figuras el método fue aplicado a la Resina Cationica Fuerte del C1, la Resina Aniónica Fuerte del DS1 y la Resina Aniónica Débil del A1.

3. Densidad

Este método para la determinación de la densidad de un lecho de resina hidráulicamente clasificado y asentado fue desarrollado para correlacionar la densidad de los materiales de intercambio con las unidades en operación. Los resultados obtenidos de esta prueba en una columna de una pulgada se espera concuerden con aquellos obtenidos en unidades de diámetros mayores en cuanto a los límites de precisión global de la prueba, pero la desviación de estos resultados, comparando con las medidas en diámetros mayores, va hacia valores menores.

✓ *Procedimiento Experimental*

El método utilizado para el cálculo de la densidad a cada Resina de Intercambio Iónico es el indicado en la Norma ASTM D 2188 (Método C), siguiendo los pasos descritos a continuación:

- Se pesan 200 g de una muestra de resina Pretratada, lo más cercano a $\pm 0,1$ g.
- El equipo a utilizar en el método para la determinación de la densidad es la columna descrita y utilizada para el Pretratamiento.
- En seguida se transfiere la muestra cuantitativamente a la columna que es calibrada cada 5 ml por encima de 200 ml de volumen.
- Luego se procede a retrolavar con agua por 10 minutos utilizando una baja velocidad que mantuviera una expansión del lecho en un 50%.
- Posteriormente se permite que se asiente el lecho y se drena a una velocidad de aproximadamente 100 ml/min hasta que el nivel de agua se encuentre de 20 a 30 mm por encima del tope del lecho.
- En seguida se registra el volumen, en ml, de la resina de intercambio. Y finalmente se repite el retrolavado de 10 minutos hasta que dos lecturas sucesivas de volumen concordaran dentro de ± 5 ml.
- El mismo procedimiento es realizado a cada una de las resinas de intercambio iónico en estudio.

4. Granulometría

La distribución de tamaño de partícula de materiales de intercambio iónico es determinada en el estado hidratado y en una forma iónica conocida para proveer una base de comparación reproducible en tamaño debido a la ruptura de la partícula en uso.

El método consistió en tamizar de forma manual la resina en agua pretratada químicamente a través de una serie de tamices estándar de tamaño de abertura progresivamente decreciente. El volumen retenido en cada uno de los tamices fue medido (ASTM D 2188 (Método D), 1981).

✓ *Procedimiento Experimental*

El método que se utiliza para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad y Tamaño de Partícula de cada Resina de Intercambio Iónico fue el indicado en la Norma ASTM D 2188 (Método D), siguiendo los pasos descritos a continuación:

- Inicialmente se prepara el equipo a utilizar el cual consiste por una parte en un grupo de Tamices de 203 mm (8 pulgadas) de diámetro. Una serie de esos tamices consiste en los siguientes números de U.S. Standards: 8 (2,36 mm), 12 (1,70 mm), 16 (1,18 mm), 20 (850 μm), 30 (600 μm), 40 (425 μm), 50 (300 μm), 70 (212 μm) y 100 (150 μm). Por otra parte en el equipo también se incluye un baño de agua de diámetro mínimo de 12 pulgadas (305 mm) y profundidad mínima de 6 pulgadas (152 mm). Los tamices descritos se muestran en la siguiente figura:



Tamices proporcionados por la Rohm and Haas, Maracay Edo Aragua.

- Para iniciar el procedimiento se añade suficiente agua al baño de agua hasta llenarlo hasta el tope del cerco de un tamiz que se encontrara debajo de éste.
- En seguida se llena un beaker de 100 ml con una porción representativa de la muestra Pretratada.
- Posteriormente se transfiere la muestra completa al tamiz con la mayor abertura de malla utilizando agua según se vaya requiriendo, como se muestra en la siguiente figura:



Primer Tamiz utilizado en la Aplicación del Método a la Resina Catiónica Fuerte del C1. En la figura se observa clara mente la descripción del equipo, el baño de agua hasta el cerco del Tamiz y la muestra transferida.

- Cuidadosamente se sube y baja el tamiz a través de la interfase del agua en el baño para levantar las partículas alternadamente en el tamiz y dejarlas caer nuevamente en el agua. Se repite la operación hasta que no pase más material a través del filtro.
- Seguidamente se remueve el tamiz del baño de agua. Se transfieren las partículas en el baño cuantitativamente a un beaker medido apropiadamente.
- Luego se invierte el tamiz que contenía el material de intercambio en el baño y se lava el material de las aberturas con agua. Seguidamente se remueve el tamiz y se transfieren las partículas cuantitativamente a un cilindro graduado. Se golpea suavemente el material recolectado en el cilindro graduado hasta que se obtiene un volumen constante y finalmente se registra este volumen en ml.
- En seguida se coloca un tamiz de abertura menor siguiente en el baño para proceder a verter las partículas que pasan a través del primer tamiz y se ajusta el nivel del baño. Posteriormente se repite todo el procedimiento descrito anteriormente pero en este caso con esta abertura de tamiz menor.
- Finalmente se repite la operación de tamizado progresivamente con los tamices de abertura de malla menor hasta que se utilizan todos los tamices de la serie. Después del tamizado final, se recolecta y registra el volumen

de algún material restante en el baño. En la siguiente figura se muestra el tamizado final para la Resina Catiónica Fuerte del C1:



Tamizado final de la Resina Catiónica Fuerte del C1.

- El mismo procedimiento descrito se aplica de la misma forma a la Resina Aniónica Débil y la Resina Aniónica Fuerte. En la siguiente figura se pueden observar el tamizado final para dichas resinas:



(a)



(b)

Tamizado Final de las Resinas de Intercambio Iónico. En (a) se observa a la Resina Aniónica Débil y en (b) a la Resina Aniónica Fuerte.

Luego, para la determinación del Coeficiente de Uniformidad se siguen los siguientes pasos:

- Se calcula el porcentaje acumulado retenido en cada tamiz añadiendo al porcentaje retenido en él, el porcentaje retenido en todos los tamices empleados de aberturas de mallas más grandes.
- Se utiliza un papel normal de probabilidad, se grafica el porcentaje acumulado retenido en cada tamiz como función de la abertura del tamiz en mm. Finalmente, se dibuja la mejor línea recta que atraviese los puntos

dando mayor peso a los puntos que representan las mayores fracciones de resina.

- En la línea dibujada como se describe en el paso anterior, se determinan las aberturas de tamiz que retengan el 40% y el 90% de la muestra. La abertura de tamiz que retenga el 90% de la muestra es el *Tamaño Efectivo* de esa muestra.

5. Capacidad de Intercambio Total

Es la cantidad total de iones intercambiables, que caracterizan a una resina dada (González, 2001).

Para resinas catiónicas, el método consiste en la conversión de la muestra a la forma hidrogenada, equilibración con un exceso de solución estándar de hidróxido de sodio en presencia de cloruro de sodio, seguido de una titulación del ión hidroxilo residual con ácido estándar.

Por su parte, para resinas aniónicas el método consiste en la conversión de la muestra a la forma de cloruro, la elusión del cloruro de los grupos que no rompen las sales con hidróxido de amonio, la elusión subsecuente del cloruro de los grupos que rompen las sales con nitrato de sodio, seguido de la determinación del ión cloruro en los eluatos separados.

✓ Montaje Realizado

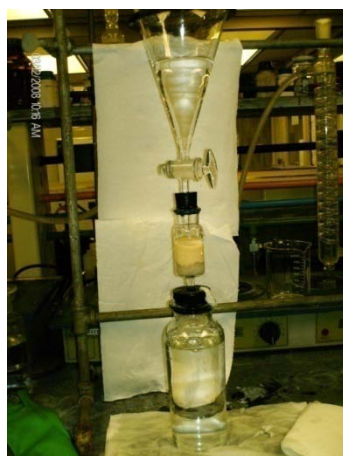
La determinación de la *Capacidad de Intercambio* para resinas catiónicas y aniónicas emplea el montaje mostrado en la figura..

El equipo consiste de un tubo de al menos 30 ml de capacidad con un diámetro de al menos 20 mm y que contenga un plato de vidrio sinterizado de porosidad gruesa, un embudo de separación de 1 L y un matraz volumétrico de 1 L.

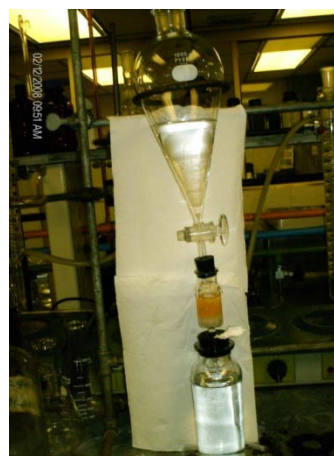
✓ *Procedimiento Experimental*

El método para el cálculo de La Capacidad Total de Intercambio de las Resinas Aniónicas se realiza según la Norma ASTM 2188 (Método H). Para llevar a cabo la aplicación del método se siguen los pasos a continuación descritos:

- Se pesan exactamente en beakers separados de 100 ml tres porciones representativas de 10 g de material Pretratado.
- El Aparato de Prueba utilizado para la realización del método es similar al mostrado en la figura, y fue diseñado de igual forma bajo la Norma ASTM 2188. A continuación se muestra el montaje del equipo para la aplicación del método a la Resina Aniónica Débil A1.



(a)



(b)

Montajes para la Aplicación del Método del Cálculo de la Capacidad de Intercambio Aniónico. En (a) se muestra el método aplicado a la Resina Aniónica Débil y en (b) se muestra el método aplicado a la Resina Aniónica Fuerte.

- Para continuar con el método se procede a lavar cuantitativamente las muestras pesadas en los tubos filtro con agua. Se llenan tres embudos de separación con 1 L de HCl (1+9) cada uno.

En la siguiente figura se muestran las soluciones preparadas para el cálculo de la Capacidad de Intercambio Aniónico:



(a)



(b)



(c)

Soluciones Preparadas según la Norma ASTM 2188, utilizadas para el Cálculo de la Capacidad de Intercambio Aniónico. De izquierda a derecha: (a) Solución de nitrato de sodio (20 g/L), ácido nítrico (1+9), solución de cromato de potasio (50 g/L) e hidróxido de Sodio 0,1 N estándar en cloruro de sodio. (b) Dos soluciones de hidróxido de Sodio 0,1 N estándar en cloruro de sodio, y dos soluciones de cloruro de sodio (50 g/L). (c) Ácido clorhídrico (1+9), hidróxido de amonio (1+19) y solución estándar de nitrato de plata (0,10 N).

- Seguidamente se llenan los tubos de muestra con ácido y se golpean para remover las burbujas de aire. Se conectan los capilares de los embudos a los tubos filtro con tapas de caucho. Posteriormente se hace pasar el ácido a través de las muestras a una velocidad de 20 a 25 ml/min, manteniendo las muestras cubiertas con el ácido todo el tiempo como se muestra en la siguiente figura:



(a)

(b)

Tubos Contenedores de Muestra de las Resinas de Intercambio Aniónico. En (a) puede apreciarse la Resina Aniónica Débil y en (b) a la Resina Aniónica Fuerte, ambas cubiertas todo el tiempo con los fluidos que consecutivamente se agregara, en este caso ácido.

- Inmediatamente se procede a drenar el líquido hasta el nivel de las muestras descartando el efluente.
- A continuación se lavan los embudos de separación con agua y luego se lavan con tres porciones de 10 ml de alcohol isopropílico. Se hace pasar el alcohol a través de las muestras tratadas con ácido a una velocidad de 20 a 25 ml/min hasta que una porción de 10 ml de efluente mezclado con 10 ml de agua sea de un color amarillo a anaranjado metilo como se muestra en la siguiente figura:



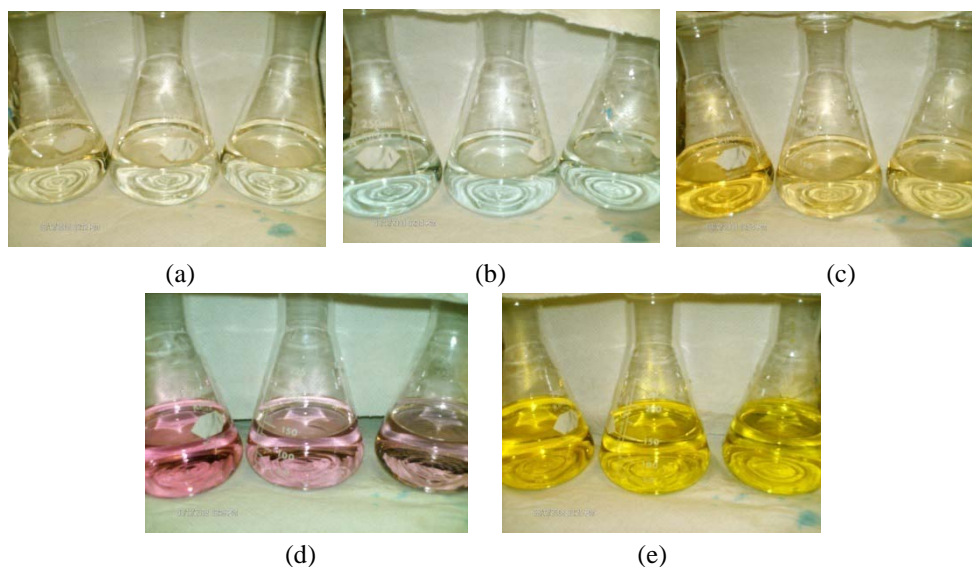
(a)

(b)

Captura del Cambio de Color en el Efluente al hacer pasar Alcohol a través de la Muestra de Resina Aniónica Débil del A1. En (a) se aprecia el momento antes del cambio y en (b) el momento luego del cambio de color. El mismo evento ocurrió para la Resina Aniónica Fuerte del DS1.

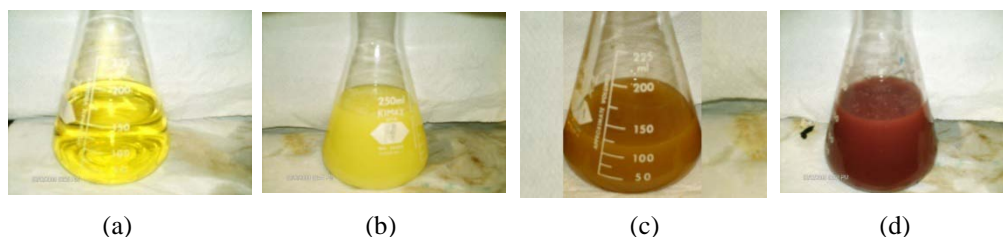
- Seguidamente se drena hasta el nivel de la muestra y se descartó el alcohol efluente.
- Se lavan los matraces volumétricos con agua y se posicionan debajo de la punta de los tubos filtro. Inmediatamente se añaden 500 ml de NH_4OH (1+19) a los embudos de separación. En seguida se hace pasar el NH_4OH a través de las muestras a un caudal de 20 a 25 ml/min, manteniendo la muestra cubierta todo el tiempo. Cuando los embudos de separación se vacían, se lavan completamente y se llenan con agua. Luego se lavan las muestras con agua a una velocidad de 20 a 25 ml/min, para seguidamente recolectar el agua de lavado en los matraces volumétricos con el efluente de NH_4OH , descontinuoando el flujo de líquido cuando se haya recolectado 1 L de la solución combinada.
- A continuación se mezclan los efluentes combinados completamente. Se pipetea tres porciones de 100 ml cada una en tres matraces cónicos de 250 ml cada uno.
- Se añaden 3 gotas de solución indicadora de anaranjado de metilo a cada matraz. En seguida se procede a añadir HNO_3 (1+9) lentamente hasta que la solución se torne roja, para luego añadir NH_4OH (1+9) lentamente hasta que la solución se torne amarilla nuevamente. También se pipetea 1 ml de solución K_2CrO_4 (50 g/L) en cada matraz.

Este paso se puede apreciar claramente en la siguiente figura:



Cambio de Color ocurrido al Agregar Diferentes Soluciones al Efluente resultado de la Aplicación del Método a la Resina Aniónica Débil A1. Se observa en (a) 3 porciones de 100 ml de la solución combinada. En (b) se pipeteó 1 ml de solución K_2CrO_4 (50 g/L), en (c) se añadieron 3 gotas de solución indicadora de anaranjado de metilo, en (d) se agregó HNO_3 (1+9) y en (e) se añadió NH_4OH (1+9). El mismo cambio de color se observó al aplicar el método a la Resina Aniónica Fuerte.

- Seguidamente se titula agitando vigorosamente con solución estándar de $AgNO_3$ 0,1 N hasta que el líquido sobrenadante cambie de amarillo a rojo-naranja y que el cambio de color persista por 30 segundos. Esta titulación se puede observar en la siguiente figura:



Titulación de los efluentes con solución estándar de $AgNO_3$ 0,1 N. En (a) se muestra el efluente antes de ser titulado. En (b) se muestra el punto justo antes del punto final de aspecto lechoso. En (c) se muestra el punto justo después del punto final, color que permanece constante durante 30 seg. con presencia de precipitado. Y en (d) se muestra el punto justo después de transcurridos los 30 seg. completamente precipitado.

- En seguida se registra el número de mililitros de solución estándar de AgNO_3 empleada.
- Como siguiente paso se posiciona otro matraz volumétrico de 1 L bajo la punta de cada tubo. Se colocan 200 ml de solución de NaCl (50 g/L) en cada embudo de separación y se pasa la solución a través de la muestra a una velocidad de 20 a 25 ml/min, manteniendo la muestra cubierta con solución todo el tiempo. Luego se lavan los embudos de separación completamente para remover todas las trazas de cloruro y se lavan las muestras con agua a una velocidad de 20 a 25 ml/min, recolectando los lavados en el matraz con el NaCl efluente. Se continúa lavando hasta que se recolecta 1 L de la solución combinada.
- Se mezcla cada efluente combinado completamente. Se pipetea tres porciones de 100 ml de cada uno por separado en matraces cónicos de 250 ml. Se titula con HCl 0,1 N colorimétricamente usando 1 gota de solución indicadora de verde bromocresol y se registran los ml de HCl 0,1 N consumidos.
- En seguida se posiciona otro matraz volumétrico de 1 L bajo la punta de cada tubo filtro. Se llenan los embudos de separación con solución de NaNO_3 (20 g/L) y se pasa esta solución a través de las muestras a una velocidad de 20 a 25 ml/min hasta que se recolecta 1 L de efluente, manteniendo la muestra cubierta con líquido todo el tiempo.
- Posteriormente se mezcla cada efluente de NaNO_3 completamente. Se pipetea tres porciones de 100 ml de cada uno a los matraces cónicos de 250 ml. Se añade 1 gota de solución indicadora de fenolftaleína y 1 gota de solución indicadora de anaranjado de metilo a cada matraz. En seguida se añade HNO_3 (1+9) o NH_4OH (1+19) lentamente según se requiera para ajustar el pH en el rango donde la solución indicadora de fenolftaleína se torna incolora y la solución indicadora de anaranjado de metilo se torna amarilla. También se añade 1 gota de solución de K_2CrO_4 (50 g/L).

- Por último se titula agitando vigorosamente con solución estándar de AgNO_3 0,1 N hasta que el color del líquido sobrenadante cambie de color amarillo a rojo-naranja y persista por 30 segundos, para finalmente registrar el número de mililitros de solución estándar de AgNO_3 consumidos. La titulación con la solución estándar de AgNO_3 0,1 N se hace de la misma forma anteriormente descrita quedando finalmente como se ejemplifica en la siguiente figura:



Titulación del Efluente con Solución Estándar de AgNO_3 0,1 N. En el primer matraz se muestra la solución antes de la titulación, en el segundo matraz la solución en el punto justo después de punto final y en el tercer matraz se muestra la solución en el momento después del punto final cuando existe gran presencia de precipitado.