



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA
UNIDAD DESMINERALIZADORA UTILIZANDO RESINAS:
CATIONICA AMBERLITE IR-120 PLUS Y ANIONICA
AMBERLITE IRA-402

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ALEJANDRO PEREZ CHACON



MEXICO, D.F.

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2005

m. 342208



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

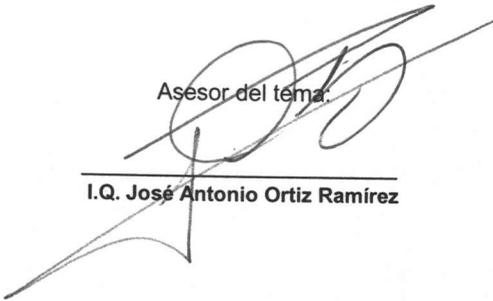
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

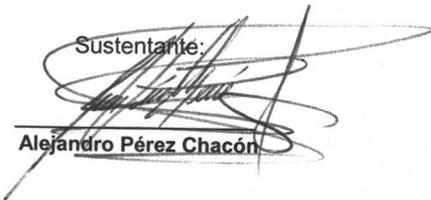
Presidente Prof. Lucila Cecilia Méndez Chávez
Vocal Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Secretario Prof. Pedro Roquero Tejeda
1er. Suplente Prof. Maria Rafaela Gutiérrez Lara
2º. Suplente Prof. Fulvio Mendoza Rosas

Sitio en donde se desarrolló el tema:
Edificio "E" de la Facultad de Química

Asesor del tema:


I.Q. José Antonio Ortiz Ramírez

Sustentante:

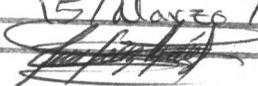

Alejandro Pérez Chacón

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Pérez Chacón

Alejandro

FECHA: 15/03/2005

FIRMA: 

A Dios:

Por darme fuerza y paciencia, para seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mi Familia:

Que es lo más importante en mi vida, es mi motor y mi propia vida, por la cual e llegado hasta este momento y por la cual llegare hasta donde yo me lo proponga, muchisimas gracias por todo, sin ustedes no sería nada, que Dios los bendiga y les de vida y mucha salud para que juntos podamos disfrutar de lo que viene.

A la Facultad de Química UNAM:

Por la formación que me proporciono.

A mis Amigos:

Que me ayudaron y apoyaron en todo momento, muchas gracias, no pongo nombres porque sería injusto que no anotara a alguien, pero creo que todas las personas que me brindaron su apoyo, saben que les estoy y estaré eternamente agradecido.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
Antecedentes históricos	5
Explicación general de los antecedentes del caso de estudio.	6
Objetivos	7
CAPÍTULO 1 Aspectos básicos de las Unidades Desmineralizadoras	8
1.1 Alcance del Capítulo	9
1.2 Principios de operación de las resinas de intercambio iónico	9
1.2.1 Fundamentos	9
1.2.2 Resina	9
1.2.3 Grupos funcionales	10
1.2.4 Tipos de resinas	12
1.2.5 Formas de operación	19
1.2.6 Selectividad	20
1.2.7 Ciclos de servicio	21
1.2.8 Reacciones	24
1.2.8.1 Reacciones que ocurren entre la resina y el agua de proceso	24
1.2.8.2 Regeneración de las resinas	25
1.3 Arreglos de unidades desmineralizadoras	26
1.3.1 Arreglo que se utilizará para este trabajo	31
CAPÍTULO 2 Metodología de Cálculo.	34
2.1 Alcance del Capítulo	35
2.2 Metodología de cálculo	35
2.2.1 Criterios de diseño	35
2.2.2. Cálculos (para unidades catiónicas y aniónicas)	37
2.2.2.1 Análisis de las unidades	37
2.2.2.2. Cálculo del volumen de resina requerida	39
2.2.2.3. Requerimiento de regenerante	42
Unidades Catiónicas	43
2.2.2.3.1. Requerimiento de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) para regeneración	43
Unidades Aniónicas	46

2.2.2.3.2. Requerimiento de hidróxido de sodio (NaOH) para regeneración	46
2.2.2.4 Consumo de agua para retrolavado por unidad	49
2.2.2.5 Consumo de agua para regeneración por unidad	50
2.2.2.5.1 Unidades Catiónicas	50
2.2.2.5.1 Unidades Aniónicas	51
2.2.2.6. Consumo de agua para desplazamiento (enjuague lento) por unidad	52
2.2.2.7. Consumo de agua para enjuague por unidad	54
2.2.2.8. Consumo total de agua por unidad	55
2.2.2.9. Consumo de agua por ciclo	56
2.2.2.10. Consumo de agua por día.	57
2.2.2.11. Consumo de agua anual	57
2.2.3. Cálculos para el desgasificador	58
2.2.3.1 Consideraciones	58
2.2.3.2 Cálculos	58
2.2.3.3 Tanque de agua desgasificada	59
CAPÍTULO 3 Caso de Estudio	60
3.1 Alcance del Capítulo	61
3.2 Evaluación de la unidad catiónica	61
3.2.1 Características del agua que se alimenta a la unidad catiónica	61
3.2.1.1 Porcentajes	62
3.2.2 Especificación de los criterios de diseño a utilizar	63
3.2.3. Variación de los criterios de diseño	64
3.2.4. Cálculos (comportamiento) de la unidad catiónica	68
3.2.4.1 Selección del diámetro (con base en la velocidad de operación especificada)	68
3.2.4.2 Efecto de la variación de cada criterios de diseño sobre las especificaciones de la unidad catiónica	70
3.3 Evaluación de la unidad aniónica	103
3.3.1 Características del agua que se alimenta a la unidad aniónica	103
3.3.1.1 Total de aniones intercambiales	104
3.3.1.2 Porcentajes	105
3.3.2 Especificación de los criterios de diseño a utilizar	107
3.3.3. Variación de los criterios de diseño.	108
3.2.4. Cálculos (comportamiento) de la unidad aniónica	112
3.3.4.1 Selección del diámetro (con base en la velocidad de operación especificada)	112
3.2.4.2 Efecto de la variación de cada criterios de diseño sobre las especificaciones de la unidad aniónica	113

3.4. Cálculos desgasificador)	147
3.4.1 Consideraciones	147
3.4.2 Criterios de diseño	147
3.4.3 Cálculos	148
3.4.3.1. Verificación del diámetro del desgasificador	148
3.4.3.2. Cálculo de la altura del desgasificador	148
3.4.3.3 Tanque de agua desgasificada	149
CAPÍTULO 4 Análisis de resultados y Conclusiones	150
4.1 Alcance del capítulo	151
4.2 Análisis cualitativo	152
4.3 Análisis cuantitativo	160
4.3.1 Unidad catiónica	160
4.3.2 Unidad aniónica	166
4.3 Conclusiones	174
CAPÍTULO 5 Apéndices y Bibliografía	184
5.1 Apéndice 1	185
5.2 Apéndice 2	185
5.3 Anexo 1	185
5.4 Anexo 2	185
5.3 Bibliografía	186

Introducción

ANTECEDENTES HISTORICOS

El proceso de intercambio iónico fue descubierto por los Ingleses, Thompson and Way, en 1850. Ellos reportaron que cuando un fertilizante en solución era vertido en una columna de suelo, el amoníaco en la solución del fertilizante era reemplazada por calcio del suelo. Sin embargo el intercambio iónico no fue usado para ninguna aplicación industrial hasta 1905. Por ese tiempo, el Químico Alemán, Gans, uso un material sintético de intercambio cationico (aluminosilicato de sodio) llamado zeolita para ablandamiento de agua. El agua de Ganz intercambiaba los iones de sodio de la zeolita por iones de calcio y magnesio del agua, ablandando el agua por remoción de estos iones duros. Una zeolita natural llamada Greensand (arena verde) después reemplazo a la zeolita sintética de aluminosilicato de sodio para el uso de ablandamiento de agua. La greensand tiene mas fuerza física que la zeolita de aluminosilicato, lo cual hace a esta más conveniente para aplicaciones industriales. En 1944 se realizó la primer resina de intercambio cationico fuerte y fue producida por copolimerización de estireno y divinilbenceno. El copolimero estireno-divinilbenceno (S-DVB) es mas estable y tiene mas capacidad de intercambio que la greensand. Una resina de intercambio aniónico base fuerte estireno-divinilbenceno (SBA) fue desarrollada en 1948. Esta fue capaz de remover todos los aniones, incluyendo el ácido silícico y el ácido carbónico (sílice y dióxido de carbono en el agua). Muchas modificaciones han sido hechas a la estructura copolimerizada de las estructura original. Estas modificaciones se han realizado dependiendo de las necesidades industriales y para incrementar el tiempo de vida de la resina.

La desmineralización es un proceso de intercambio iónico mediante el cual se eliminan algunas sales disueltas en el agua. Durante este proceso (intercambio iónico) se emplean dos tipos de resinas:

- Catiónicas, que pueden ser de tipo ácido fuerte o de tipo ácido débil.
- Aniónicas, que pueden ser de tipo base fuerte o de tipo base débil.

La elección se hace dependiendo de la calidad de agua que se desea tratar y de los contaminantes que se requieran remover.

El proceso de la desmineralización implica el uso de dos resinas para el intercambio, una de ellas (resina catiónica) cambia sus iones hidrógeno por los cationes del agua a tratar y la otra (resina aniónica) cambia sus iones hidróxido por lo aniones del efluente procedente de las unidades catiónicas. Este es un proceso intermitente con reacciones reversibles, ya que las resinas se deben regenerar cada determinado tiempo llamado ciclo, dependiendo de las necesidades de cada caso en particular, la regeneración consiste de 4 pasos: retrolavado, regeneración, desplazamiento y enjuague. Cuando el requerimiento de agua desmineralizada es continuo se consideran equipos de repuesto (stand by) para la sustitución de la columna que sale a regeneración.

Se tiene que tomar en cuenta que este tipo de equipo no es totalmente necesario e imprescindible en cualquier tratamiento de aguas, ya que dependiendo del agua a tratar, se determina si se utilizará una unidad desmineralizadora ó no.

EXPLICACIÓN GENERAL DE LOS ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO.

El presente trabajo esta basado en proyectos realizados por la Universidad Nacional Autónoma de México para Petróleos Mexicanos, entre los cuales se desarrollo un estudio técnico de una unidad desmineralizadora. En ese estudio se revisaron dimensiones de la unidad, así como: consumo de regenerantes, consumo de resina, tiempos de operación, etc, con el fin de verificar si la unidad estaba funcionando de manera satisfactoria. Por lo que para llevar a cabo ese estudio se realizo una memoria de cálculo, con la cual se pudieron revisar esos puntos y que fue útil tanto para verificar el diseño, como observar el comportamiento que tienen este tipo de unidades cuando hay variación en alguno de sus criterios de diseño. Se tiene que destacar que esa memoria de cálculo es parte fundamental del desarrollo de esta tesis.

Algo que llamó mucho mi atención es el hecho de que al variar alguno de los criterios de diseño de la unidad puede haber cambios, tanto en consumo de: regenerantes, resina y agua, tiempos para los distintos pasos de la regeneración así como en el aspecto económico ya que al haber variaciones en los consumos antes mencionados lógicamente hay variaciones en los costos.

Por lo comentado anteriormente es que se llevó a cabo este trabajo, con el fin de analizar la sensibilidad de este tipo de unidades.

OBJETIVOS

Este trabajo consiste en realizar un análisis de sensibilidad a una unidad desmineralizadora (la cual utilizará para su operación, resina catiónica amberlite IR-120 Plus y resina aniónica amberlite IRA-402), con el fin de observar los efectos que provoca en la unidad desmineralizadora, el realizar variaciones en los criterios de diseño.

Por lo que los objetivos son:

1. Observar los efectos que provoca en el **aspecto operacional**, el realizar variaciones en los criterios de diseño.
2. Observar los efectos que provoca en el **aspecto económico**, el realizar variaciones en los criterios de diseño.
3. En base a los dos puntos anteriores, determinar cuales son los **criterios idóneos** para la operación de la unidad desmineralizadora.

Capítulo 1:

Aspectos básicos de las Unidades Desmineralizadoras

1.1 ALCANCE DEL CAPITULO.

En este capítulo se explicarán los principios de operación de las resinas de Intercambio Iónico tales como: fundamentos, tipos de resinas, generalidades, formas de operación, selectividad, y ciclos de servicio. Así como los diferentes arreglos que existen para llevar a cabo la desmineralización.

1.2 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO**1.2.1 FUNDAMENTOS.**

El intercambio iónico consiste en ceder y recibir iones entre la resina (material de intercambio iónico) y el líquido del proceso.

Las resinas de intercambio iónico, tienen una matriz copolimerizada activada, sintética y orgánica, compuesta por granos porosos con un diámetro típico de 0.4-1.2mm. Las resinas son colocadas en una columna para formar la cama de resina y se denomina columna de intercambio iónico.

Cuando el agua del proceso pasa a través de la columna, los iones de esta (cationes ó aniones), son intercambiados por los iones móviles de la resina. Cuando todos los iones móviles de la resina fueron intercambiados, se dice que la resina esta agotada. Y aquí es donde entra una de las ventajas más importantes de utilizar este tipo de resinas, ya que pueden ser regeneradas.

1.2.2 RESINA

Los "granos" de la resina de intercambio iónico son producidos mediante la copolimerización de dos componentes orgánicos para formar una matriz. La matriz está compuesta por un componente que es la cadena y otro que es el vínculo de cruce (cross-link) el cual sirve para unir las cadenas . Se puede usar un gran número de componentes para las cadenas y para el vínculo de cruce, por lo cual se producen resinas con diferentes características.

Cada matriz copolimerizada contiene un grupo funcional que permite hacer el intercambio de iones. Si la matriz creada no tiene un grupo funcional, éste debe ser adherido en un paso por separado del proceso, llamado activación.

Conforme el agua de proceso pasa a través de la resina, los iones del agua de proceso se van adhiriendo a los iones de la resina. El intercambio iónico se da entre, el grupo funcional localizado en la superficie de la resina y los iones del agua de proceso.

Las resinas que se utilizan en este trabajo, son de divinilbenceno-estireno (DVB-S) y producidas por suspensión-copolimerización. Este proceso se inicia con la adición de dos líquidos no polares, estireno y divinilbenceno, en agua. Estos dos líquidos se mezclan entre sí, pero son insolubles en agua. Si se adiciona una pequeña cantidad de detergente y la solución se agita se produce una mezcla de DVB-S en forma de gotas en el agua, a este tipo de resinas se les llama "tipo Gel". La polimerización de la mezcla del DBV-S se activa usando un catalizador, como el peroxido de benzoi. Las moléculas de estireno y divinilbenceno se unen, formando el copolímero. Las resinas de DVB-S tienen microporos

El contenido típico de divinilbenceno en una resina de intercambio iónico es del 8 -12% del peso del estireno.

En la **figura # 1** se muestra la estructura molecular de divinilbenceno y estireno (DVB-S), y el vínculo de cruce de la matriz copolimerizada.

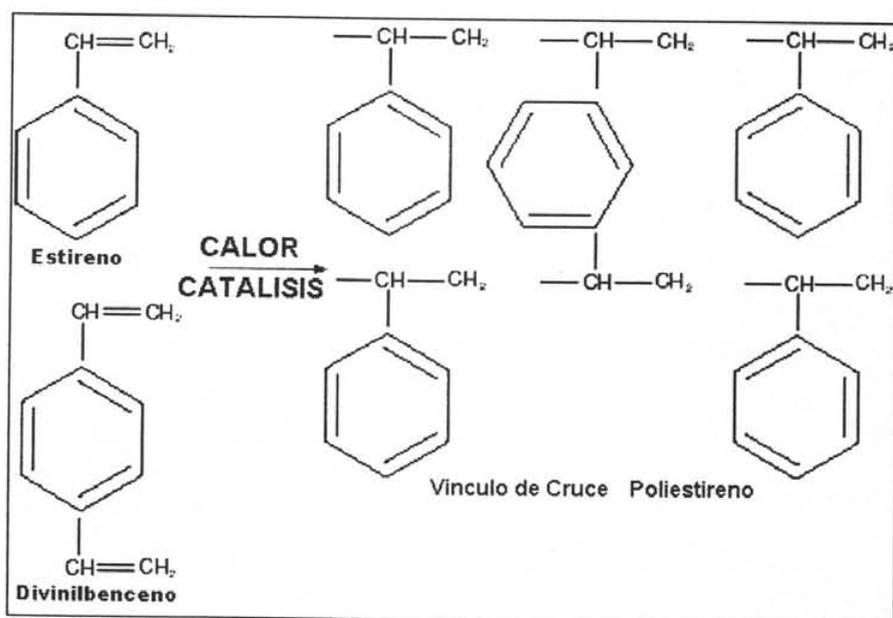


Figura # 1.

1.2.3 GRUPOS FUNCIONALES

Hasta este punto las resinas no tienen ninguna capacidad de intercambio. La habilidad para intercambiar iones se activa por la adición de un grupo funcional a la matriz copolimerizada de DVB-S.

Los grupos funcionales pueden ser cualquier ácido o base; la capacidad de intercambio (fuerza) del grupo funcional está determinada por la degradación de la disociación, o separación, de los iones móviles de los sitios fijos de intercambio y por la disponibilidad de los iones móviles para el intercambio iónico.

En las resinas llamadas fuertes, el grupo funcional fuerte está completamente disociado, haciendo que todos los iones móviles estén accesibles para el intercambio.

El grupo funcional hace posible el intercambio iónico y determina el tipo de resina (débil/fuerte, catiónica/aniónica)

Las resinas llamadas débiles pueden tener grupos funcionales que no se disocian del todo, o que se disocian parcialmente, con un pequeño porcentaje de iones móviles disponibles para el intercambio.

El grupo funcional está unido a la matriz copolimerizada como se indica en la figura # 2.

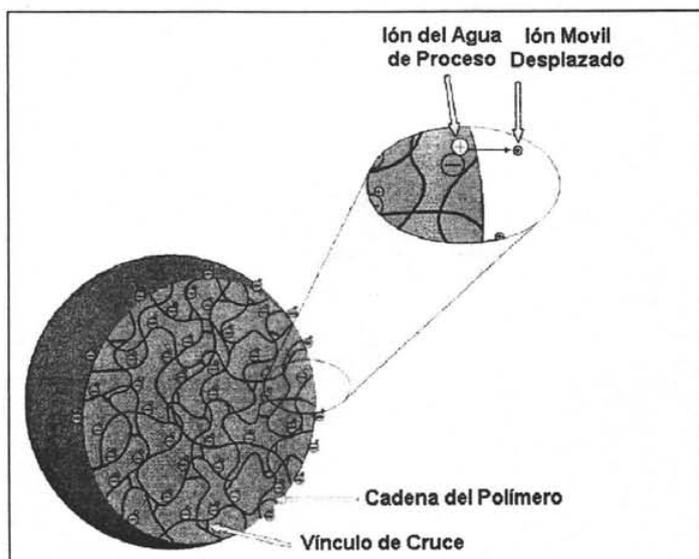


Figura # 2

Durante el intercambio iónico, el ión móvil se disocia del grupo funcional de la resina y es cambiado por los iones del agua de proceso, como se muestra en la figura # 3.

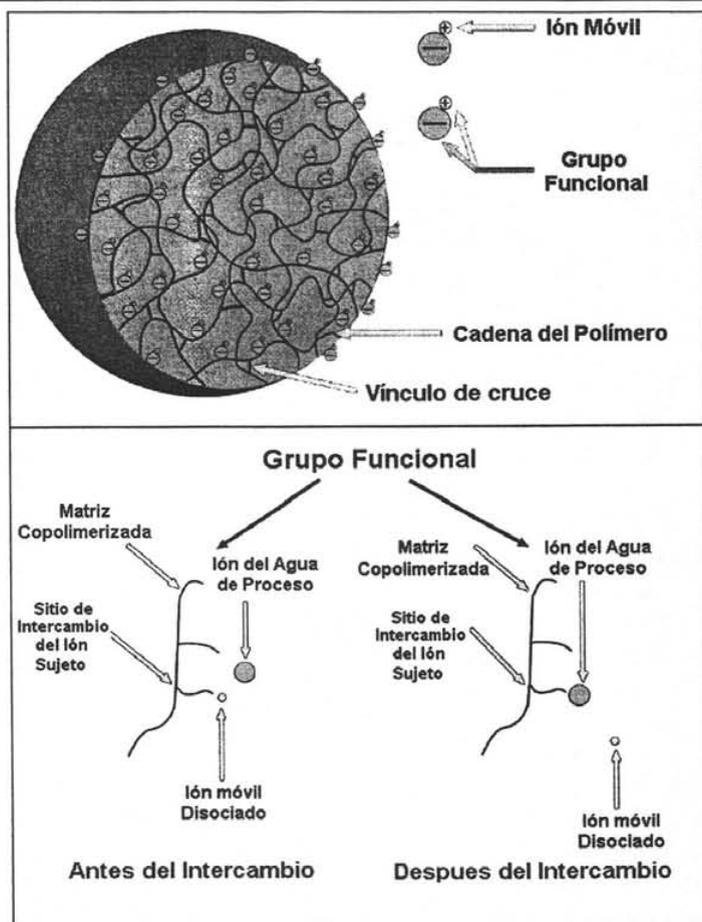


Figura # 3

1.2.4 TIPOS DE RESINAS

Hay cuatro tipos de resinas utilizadas en el intercambio iónico:

1. Catiónicas Ácido Fuerte (CAF),
2. Aniónicas Base Fuerte (ABF),
3. Catiónicas Ácido Débil (CAD) y
4. Aniónicas Base Débil (ABD).

Las resinas fuertes pueden remover más iones del agua de proceso que las resinas débiles. Las características de los grupos funcionales determinan cuales iones pueden ser removidos del agua de

proceso. Los grupos fuertes están presentes en las resinas CAF y ABF. Los grupos débiles están presentes en las resinas CAD y ABD.

1.- RESINAS CAF (Catiónicas Ácido Fuerte)

Las resinas CAF están hechas de divinilbenceno y estireno DVB-S. Aunque existen otros tipos de resina, la resina DVB-S es la predominante en todas las aplicaciones industriales.

Los grupos funcionales en estas resinas son adheridos por calentamiento de la solución de DVB-S y la adición de ácido sulfúrico. En este caso la reacción sirve para la adición del grupo funcional sulfónico ($-\text{SO}_3^- \text{H}^+$) a los granos de la resina. Los sitios de intercambio fijos son el grupo sulfonado ($-\text{SO}_3^-$) y el ión móvil es el hidrógeno (H^+). Las resinas de intercambio iónico de este tipo son llamadas resinas catiónicas, porque el ión móvil es un catión (H^+).

2.- RESINAS ABF (Aniónicas Base Fuerte)

El proceso de producción para las resinas aniónicas base fuerte (ABF) es igual que para las resinas CAF hasta el momento en que el grupo funcional es adherido. El grupo funcional de las resinas ABF, es adherido en dos pasos: el primero es por clorometilación seguido por aminación. La aminación es realizada usando cualquier trimetilamina o dimetiletanolamina.

La aminación con trimetilamina produce resinas ABF tipo I. La aminación con dimetiletanolamina produce resinas ABF tipo II.

Ambos tipos de resinas (Tipo I y Tipo II) tienen grupos funcionales con resinas cuaternarias: para las de Tipo I es benziltrimetil-amonia ($-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$), y para el Tipo II es benzildimetiletanol-amonia ($-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2)_2\text{OH}^+\text{Cl}^-$).

Para la resina ABF Tipo I el sitio fijo de intercambio iónico es ($-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$) y para las resinas ABF Tipo II es el ($-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2)_2\text{OH}^+$).

Las resinas Tipo II tienen baja basicidad, es decir, baja capacidad para remover sílice, pero tienen alta capacidad de intercambio iónico y eficiencia para su regeneración que las resinas Tipo I, esto debido a la naturaleza del grupo funcional. Las resinas ABF Tipo II son útiles cuando en el influente del agua la concentración combinada de CO_2 y SiO_2 es menor que el 25% del total de la concentración de aniones.

Todas las resinas ABF tienen intrínsecamente grupos funcionales inestables. Los grupos funcionales se degradan a altas temperaturas (rangos).

La degradación se manifiesta por la pérdida en la capacidad de intercambio. La velocidad de degradación depende de la temperatura de operación y de la degradación del vínculo de cruce en la resina.

La resina ABF Tipo II se degrada a mucha mayor velocidad que la resina Tipo I. La degradación de la resina Tipo I produce trietilamina, la cual es caracterizada por un olor a pescado. La degradación de la resina Tipo II produce etanol.

3.- RESINAS CAD (Catiónicas Ácido Débil)

Para el caso de la resina CAD el grupo funcional ocurre como un subproducto de la técnica de polimerización.

Las resinas CAD son buenas candidatas para el tratamiento del agua de proceso con más del 20% de aniones presentes como iones bicarbonato. El ión bicarbonato es un componente de la alcalinidad. La alcalinidad está comprendida por bicarbonato, carbonato, y iones hidróxido en el agua del proceso. La presencia de alcalinidad ($\text{pH} > 7$) en la alimentación del agua de proceso a una unidad de intercambio iónico CAD incrementa la capacidad de intercambio de esta resina y permite una disociación más completa del grupo funcional carboxílico.

El funcionamiento de la resina CAD es reducido por cloro, hierro, manganeso, aluminio, o calcio en el agua de proceso. Los cloros oxidan la resina, causando ensuciamiento en la resina lo que provoca precipitados de hidróxido.

Los grupos funcionales en las resinas CAF, ABF, y CAD tienen dos partes: una fija ó inmóvil (sitio de intercambio) y un ión móvil. El grupo funcional para la resina ABD tiene solo una parte llamada base libre. Para las resinas CAF, ABF, y ABD el grupo funcional se adhiere por copolimerización de la matriz en un proceso llamado activación

4.- RESINAS ABD (Aniónicas Base Débil).

El proceso de producción para las resinas ABD es similar a la resina ABF. El estireno es usado para el paso de copolimerización.

La diferencia en la producción entre las resinas ABD y resinas ABF se encuentra en el paso de clorometilación y afinación. La resina ABD tiene grupo funcional amina terciaria ($\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2$).

El grupo funcional amina terciaria no tiene iones móviles; están en la forma base libre. Como se muestra en la figura # 4.

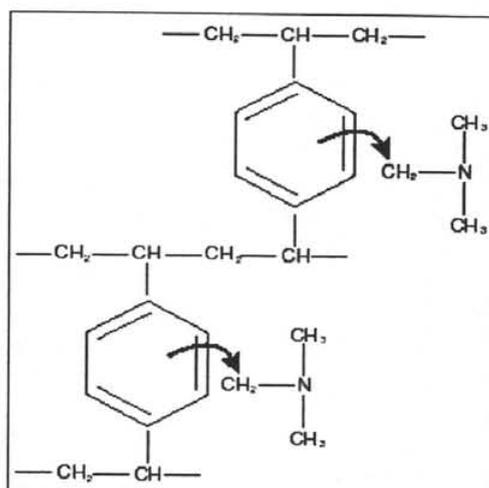


Figura # 4

El par de electrones en el átomo de nitrógeno hace para arriba la base libre, como se muestra en la figura # 5

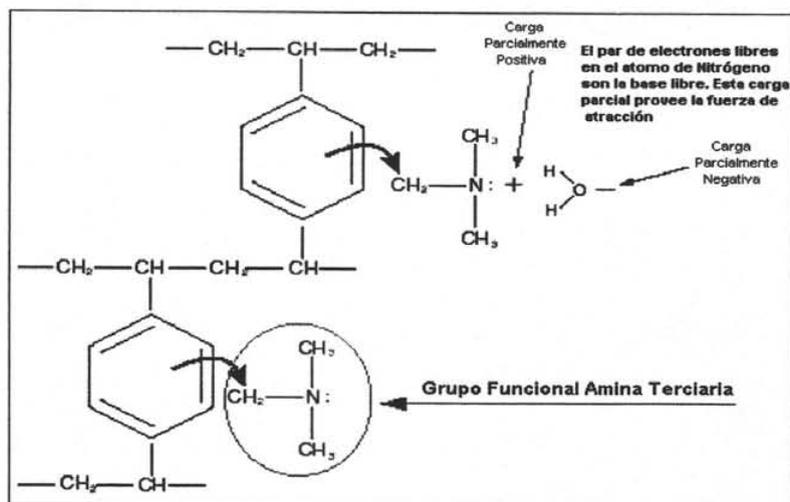


Figura # 5

El grupo funcional de la base libre remueve ácidos fuertes del agua de proceso por intercambio de molécula; las moléculas individuales del agua son intercambiadas por las moléculas individuales del ácido, como se muestra en la figura # 7 y 8.

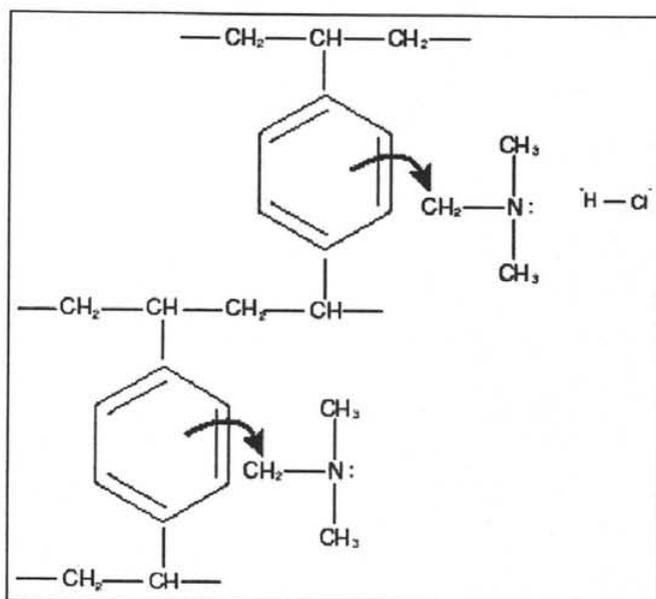


Figura # 6

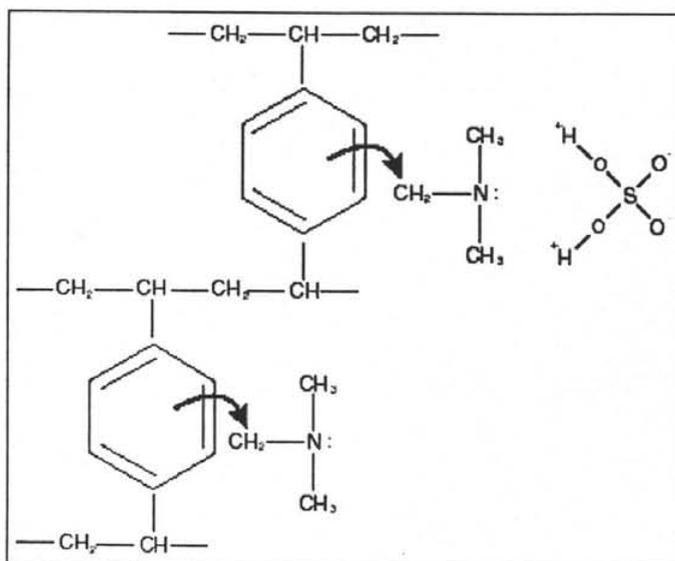


Figura # 7

Las resinas ABD no pueden remover ácidos débiles tales como ácido carbónico (H_2CO_3 , dióxido de carbono disuelto en agua) o ácido silícico (H_2SiO_3 , sílica disuelta en agua) del agua de proceso porque el grupo funcional (base libre) se disocia débilmente. La resina ABF son requeridas para remover al ácido carbónico y silícico.

La capacidad de intercambio iónico y la eficiencia de regeneración es mas alta para las resinas ABD que para resinas ABF debido a la naturaleza del grupo funcional amina terciaria de la resina ABD.

Las resinas ABD no son apropiadas para aguas de proceso con altas concentraciones de iones bicarbonato y baja concentración de cloruros y sulfatos. Las resinas ABD están diseñadas para remover ácidos fuertes. Por lo que si el agua de proceso no contiene una apreciable cantidad de ácidos fuertes (sulfúrico y clorhídrico) y no hay suficiente nivel de cloruros y sulfatos para formar una apreciable cantidad de ácidos fuertes, esta resina no es una buena elección.

El grupo funcional de la base libre de la resina ABD no se disocia. La base libre consiste de un par de electrones libres, los cuales proveen de fuerza de atracción para la molécula polar del agua.

El grupo funcional de la base libre intercambia una molécula de agua que es asociada con la base libre por una molécula de ácido fuerte (clorhídrico o sulfúrico) del agua de proceso.

Este proceso es ilustrado en la figura # 8.

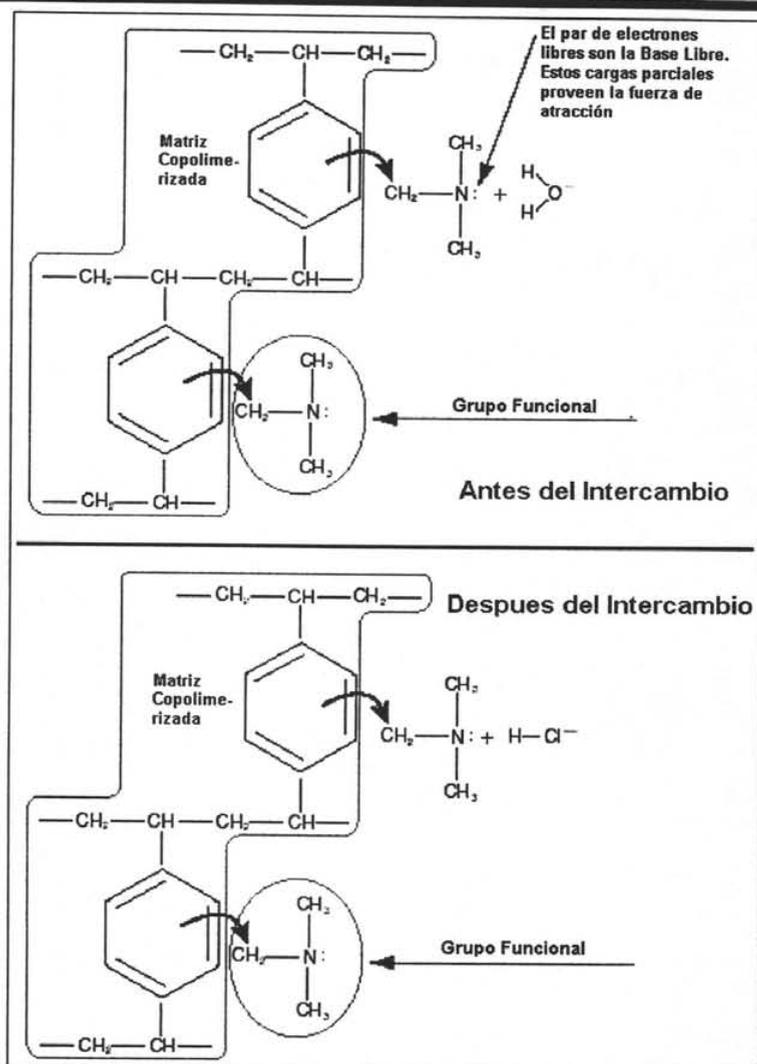


Figura # 8

Como se muestra en la figura el grupo funcional de la base libre de ABD no intercambia iones con el agua de proceso, la resina ABD no es en verdad una resina de intercambio iónico, aunque ésta desmineraliza el agua de proceso.

Las resinas CAD y ABD son débiles ya que el grupo funcional solo se disocia parcialmente.

1.2.5 FORMAS DE OPERACIÓN

La forma de operación de las resinas está definida por el ión móvil en el grupo funcional.

Si el ión móvil es hidrógeno, la resina esta en la forma hidrógeno; si el ión móvil es sodio, la resina está en la forma sodio; si el ión móvil es hidróxido, la resina es en forma hidróxido; y si el ión móvil es cloro, la resina está en la forma cloro. Si no hay ión móvil, la resina está en la forma base libre.

Las resinas catiónicas ácido fuerte CAF son producidas en la forma hidrógeno o sodio. La resina primero es producida en la forma hidrógeno y después es convertida en la forma sodio.

Las resinas CAF en la forma Hidrógeno remueven todos los cationes. En la forma sodio, remueve principalmente dureza (calcio y magnesio).

Las resinas CAD son producidas en la forma hidrógeno, pero no en la forma sodio debido a que en una resina débil el ión que se disocia es el cloro.

La resina CAD en la forma hidrógeno remueve una cantidad de cationes del agua de proceso igual a la alcalinidad del agua de proceso. En otras palabras, las resinas CAD en la forma hidrógeno remueven una cantidad de cationes igual a la concentración total de todos los cationes asociados con la alcalinidad es decir, si el agua de proceso contiene 30 ppm de cationes y 20 ppm de alcalinidad, la resina CAD remueve 20 ppm de cationes.

Las resinas aniónicas base débil ABD son producidas en la forma base libre, es decir, no hay ión móvil.

Las resinas ABF son producidas en la forma hidróxido y cloro. La forma cloro es la menos costosa y es utilizada en muchas aplicaciones.

En el caso de las resinas ABF (Tipo I y Tipo II) son producidas en la forma cloro; la forma hidrógeno en cada tipo es preparada por regeneración de la forma cloro, antes de envío.

La resina ABF en la forma hidróxido remueve: ácidos fuertes (sulfúrico y clorhídrico) y ácidos débiles (carbónico y silícico), provenientes de la descationización del agua de proceso.

Las resinas en la forma cloro remueven iones bicarbonatos y sulfatos, pero no remueven cloro, porque el cloro es el ión libre en el grupo funcional, y tampoco remueven sílice, porque el sílice es menor en la jerarquía de selectividad.

1.2.6 SELECTIVIDAD

La selectividad es la afinidad, o atracción, del grupo funcional de la resina con los diferentes iones presentes en el agua de proceso.

Con excepción de las resinas ABD en la forma base libre, la selectividad se refiere a la estabilidad de las interacciones electrostáticas entre un ión fijo en el sitio de intercambio en el grupo funcional y el ión específico en el agua de proceso con el cual éste se enlaza. Para las resinas ABD en la forma base libre, la selectividad se refiere a la estabilidad del enlace que se forma entre una molécula específica de ácido en el agua de proceso y el grupo funcional de la base libre. Sobre todo la selectividad depende de la valencia de los iones. La valencia es la carga de un ión.

Por ejemplo, el Ca^{2+} tiene 2 cargas, por lo que su valencia es +2.

En las resinas catiónicas, el orden de jerarquía de la selectividad es calcio, luego magnesio, y después sodio, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Orden de selectividad típica de una resina catiónica ácido fuerte.		
Ion	Formula	Valencia
Fierro	Fe_3^+	+3
Aluminio	Al_3^+	+3
Bario	Ba_2^+	+2
Estroncio	Sr_2^+	+2
Calcio	Ca_2^+	+2
Magnesio	Mg_2^+	+2
Berilio	Be_2^+	+2
Plata	Ag^+	+2
Cesio	Cs^+	+1
Rubidio	Rb^+	+1
Amonio	NH_4^+	+1
Potasio	K^+	+1
Sodio	Na^+	+1
Hidrógeno	H^+	+1
Litio	Li^+	+1

Tabla N° 1

En las resinas aniónicas, El orden de jerarquía de selectividad es sulfato, cloro, bicarbonato, y sílice, como se muestra en la tabla # 2.

Tabla 1. Orden de selectividad típica de una resina aniónica base fuerte.		
Ion	Formula	Valencia
Fosfato	PO_4^{3-}	-3
Sulfato	SO_4^{2-}	-2
Sulfito	SO_3^{2-}	-2
Hidrogenofosfato	HPO_4^{2-}	-2
Hidrogensulfato	HSO_4^-	-1
Clorato	ClO_3^-	-1
Nitrato	NO_3^-	-1
Hidrogensulfito	HSO_3^-	-1
Nitrito	NO_2^-	-1
Cloruro	Cl^-	-1
Bicarbonato	HCO_3^-	-1
Hidróxido	OH^-	-1
Sílice	H_2SiO_3	-1

Tabla N° 2.

1.2.7 CICLOS DE SERVICIO

a) Resina de Intercambio Iónico (CAF) - Forma Hidrógeno.

Las resinas CAF son operadas en la forma hidrógeno para desmineralización. Todos los iones móviles del grupo funcional son iones hidrógeno. Cuando el agua de proceso contacta inicialmente la resina, los iones sodio con valencia +1, son removidos. Cuando incrementa el tiempo de contacto estos iones sodio son desplazados por los iones magnesio. La resina tiene un alta selectividad por magnesio de manera similar, el calcio desplaza al magnesio debido a que la resina tiene mas alta selectividad por el calcio que por el magnesio o sodio.

Hacia la línea de agotamiento del sodio, el sodio es removido y el hidrógeno es adherido al agua de proceso. Esto decrece el pH del agua de proceso. Los iones hidrógeno reaccionan con los iones bicarbonato para formar ácido carbónico, así como también reaccionan con el sílice para formar ácido silícico.

En el momento en que se forma el ácido carbónico, los iones hidrógeno son consumidos, haciendo lento el incremento del pH. Cuando todos los iones del bicarbonato han reaccionado con los iones hidrógeno para formar ácido carbónico, los iones hidrógeno están disponibles junto con los iones sulfato y cloruro para formar ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. El efluente de la unidad de intercambio CAF opera en la forma hidrógeno, y consiste de ácidos fuertes (clorhídrico y sulfúrico), ácidos débiles (carbónico y silícico), y una pequeña cantidad de sodio. La pequeña cantidad de sodio presente en el efluente es llamada fuga de sodio. Esta fuga ocurre porque el proceso de desmineralización no es 100% eficiente.

b) Resina de Intercambio Iónico (ABF) - Forma Hidróxido.

La siguiente discusión es una explicación simplificada de un proceso muy complejo que está ocurriendo cuando la materia orgánica y aniones son removidos del agua de proceso pasando a través de la resina ABF.

La unidad de intercambio ABF se opera en la forma hidróxido y está localizada después de la unidad catiónica para aplicaciones de desmineralización. Todos los iones móviles del grupo funcional de la resina ABF son iones hidróxido. Cuando el agua de proceso inicia contacto con la resina, el ácido silícico es removido. Aunque las resinas ABF tienen menor selectividad para ácido silícico, este es removido porque es el primero en buscar al grupo funcional. Cuando se incrementa el tiempo de contacto, el ácido carbónico desplaza al ácido silícico porque la resina tiene una mayor selectividad hacia el ácido carbónico.

Conforme se incrementa el tiempo de contacto, el ácido clorhídrico desplaza al ácido carbónico, por la misma razón de tener mayor selectividad hacia el ácido clorhídrico. Después de un tiempo suficientemente largo, el ácido sulfúrico desplaza al ácido clorhídrico (también debido a la mayor selectividad hacia este). Hacia el punto de agotamiento del ácido silícico, el hidróxido se adhiere al agua de proceso. Esto causa un incremento en el pH del agua de proceso. El efluente de la unidad de intercambio iónico ABF en la forma hidróxido es por lo tanto hidróxido de sodio con una cantidad muy pequeña de sílica (ácido silícico). Esta cantidad muy pequeña de sílica es llamada fuga de sílice, y esta fuga ocurre porque el proceso no es 100% eficiente.

Para estas dos resinas se hizo un análisis más completo, ya que son las resinas que se utilizarán en el desarrollo de esta tesis, por lo que respecta a los otros tipos de resina, solo se darán a continuación sus datos generales.

c) Resina de Intercambio Iónico (CAF) – Forma Sodio.

- Se utiliza solo para ablandamiento (remoción de calcio y magnesio).
- Los iones móviles son iones sodio.
- Los iones magnesio son los primeros en removerse (ya que son los primeros en buscar el sitio de intercambio)

- Conforme pasa el tiempo de contacto los iones calcio desplazan a los iones magnesio (debido a que tienen mayor selectividad).
- El pH del proceso no cambia.
- El efluente de la unidad de intercambio iónico CAF consiste de sales de sodio como: bicarbonato de sodio, cloruro de sodio y sulfato de sodio.

d) Resina de Intercambio Iónico (ABF) - Forma Cloro.

- Se utiliza solo para dealcalinización.
- Los iones móviles son iones cloro.
- Los iones ácido silícico son los primeros en removerse (ya que son los primeros en buscar el sitio de intercambio, aunque la resina tiene una muy baja selectividad hacia este anión).
- Conforme pasa el tiempo de contacto los iones ácido carbónico desplazan a los iones ácido silícico (debido a que tienen mayor selectividad).
- Después de un tiempo suficientemente largo, el ácido sulfúrico desplaza al ácido carbónico, también debido a la mayor selectividad hacia éste.
- El pH del proceso no cambia.
- El efluente de la unidad de intercambio iónico ABF contiene principalmente cloruro de sodio.

e) Resina de Intercambio Iónico (CAD) - Forma Hidrógeno.

- Se utiliza solo para ablandamiento (remoción de calcio y magnesio) y para dealcalinización.
- Los iones móviles son iones Hidrógeno.
- Los iones sodio son los primeros en removerse (ya que son los primeros en buscar el sitio de intercambio).
- Conforme pasa el tiempo de contacto los iones magnesio desplazan a los iones sodio (debido a que tienen mayor selectividad).
- Conforme pasa el tiempo de contacto los iones calcio desplazan a los iones magnesio (debido a que tienen mayor selectividad).
- El pH del proceso disminuye.
- El efluente de la unidad de intercambio iónico CAD consiste de ácido carbónico, ácido silícico y sales de sodio.

f) Resina de Intercambio Iónico (ABD) - Forma Base Libre.

- Se utiliza solo para dealcalinización.
- Los iones móviles están en forma base libre.
- Los iones ácido clorhídrico son los primeros en removerse ya que son los primeros en buscar el sitio de intercambio, aunque la resina tiene una selectividad muy baja hacia este anión.
- Conforme pasa el tiempo de contacto los iones ácido sulfúrico desplazan a los iones ácido clorhídrico debido a que tienen mayor selectividad.

- El pH del proceso incrementa debido a la adición de hidróxido.
- El efluente de la unidad de intercambio iónico WAB contiene Hidróxido de sodio, bicarbonato de sodio y ácido silícico.

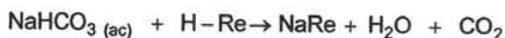
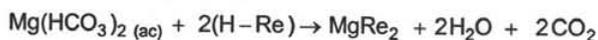
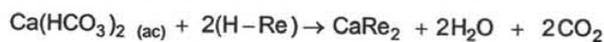
1.2.8 REACCIONES

1.2.8.1) Reacciones que ocurren entre la resina y el agua de proceso.

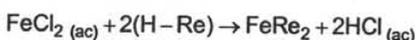
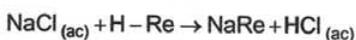
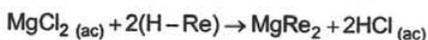
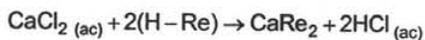
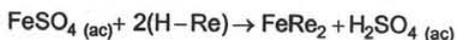
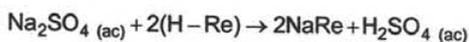
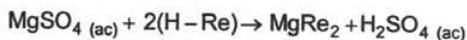
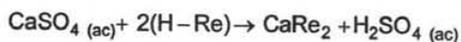
Como se comentó anteriormente, las resinas de importancia para este trabajo son: Resina de intercambio Catiónico Ácido Fuerte - forma hidrógeno, y resinas de intercambio Aniónico Base Fuerte-Forma hidróxido, por lo que las reacciones que ocurren, en el momento que entran en contacto, el flujo de agua de proceso con las resinas, son las siguientes:

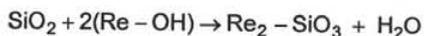
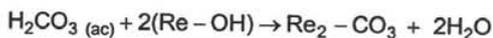
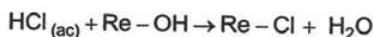
a.1) Reacciones con resinas de intercambio Catiónico Ácido Fuerte son:

a.1.1) Con bicarbonatos



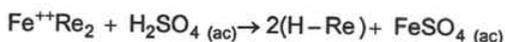
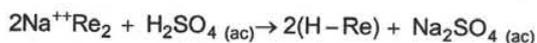
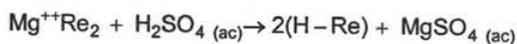
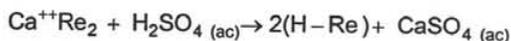
a.1.2) Con sulfatos y cloruros



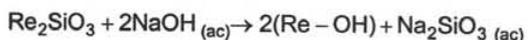
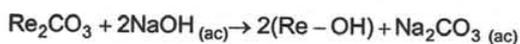
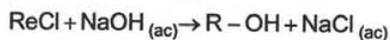
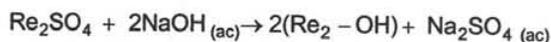
b) Reacciones con Resinas de Intercambio Aniónico Base Fuerte.**1.2.8.2) Regeneración de las resinas.**

Una vez que se ha llegado al punto de agotamiento de las resinas, como ya se dijo éstas se pueden regenerar agregándoles, ya sea un ácido en el caso de las resinas cationicas, o una base en el caso de las resinas aniónicas.

a) La regeneración de la unidad catiónica se realizará con ácido sulfúrico y las reacciones que se llevan a cabo durante la regeneración:



b) En el caso de las resinas aniónicas el regenerante es el hidróxido de sodio por lo que las reacciones que ocurren son las siguientes:



1.3 ARREGLOS DE UNIDADES DESMINERALIZADORAS.

El proceso de desmineralización se puede realizar utilizando diferentes arreglos de equipo, dependiendo este arreglo de las características del agua a desmineralizar. Aunque hay que tomar en cuenta algo muy importante, el utilizar una unidad desmineralizadora no es totalmente necesario, ya que esta solo se utiliza cuando el agua a tratar esta alta en cationes y aniones.

Los arreglos de equipo que se utilizan comúnmente para llevar a cabo la desmineralización son los que a continuación se mostrarán, y para los cuales se definen las siguientes claves:

UCF: Unidad Catiónica Fuerte.

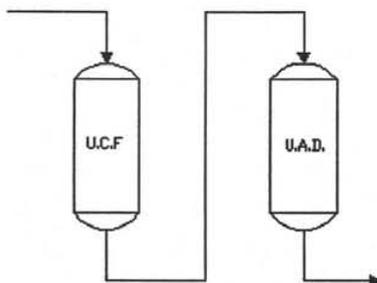
UAF: Unidad Aniónica Fuerte.

UCD: Unidad Catiónica Débil.

UAD: Unidad Aniónica Débil.

DESG: Desgasificador.

ULM: Unidad de Lecho Mezclado (Resina Catiónica + Resina Aniónica).

a) ARREGLO # 1**Especificaciones Generales:****Aplicación:**

Se utiliza para procesos en los cuales no se requiere remoción de sílice y CO_2 (no son problema)

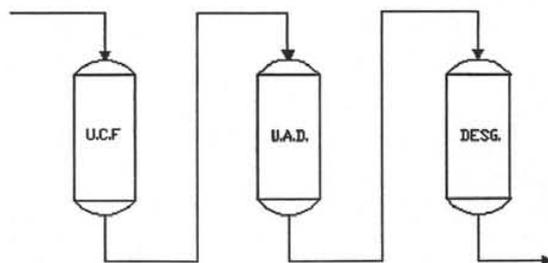
Efluente Típico:

La conductividad específica del efluente esta en el rango de 10 a 30 micromhos/cm³. La concentración de sílice no sufre ningún cambio.

Características:

Costos bajos de equipo y regenerarte.

b) ARREGLO # 2.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

El sílice no es problema, pero el CO_2 debe removerse.

Efluente Típico:

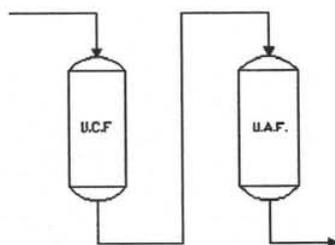
Conductividad específica 10 a 20 micromhos/cm³. Sílice sin cambio.

Ventajas y desventajas:

Bajos costos en regenerante, pero se requiere bombeo.

Este tipo de arreglo se recomienda para plantas que requieren la reducción del electrolitos hasta un rango entre 2 y 10 ppm. Sin reducción de sílice en el efluente, eliminando las sales del agua para las mezclas cerámicas o de las aguas de enjuague usadas antes de pintar. No se utiliza para tratar aguas de alimentación a calderas.

c) ARREGLO # 3.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada de baja alcalinidad, el sílice debe removerse.

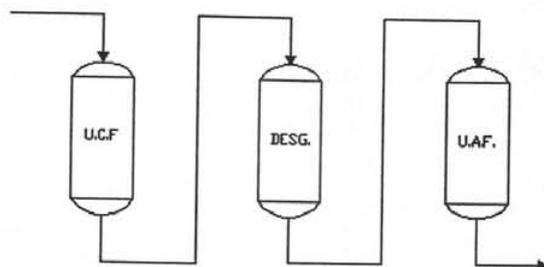
Efluente Típico:

Conductividad específica 5 a 10 micromhos/cm³. Sílice 0.02 a 0.1 ppm.

Ventajas y desventajas:

Bajo costo en equipo, alto consumo en químicos y costo alto de reactivos.

d) ARREGLO # 4.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada de alta alcalinidad, el sílice debe removerse.

Efluente Típico:

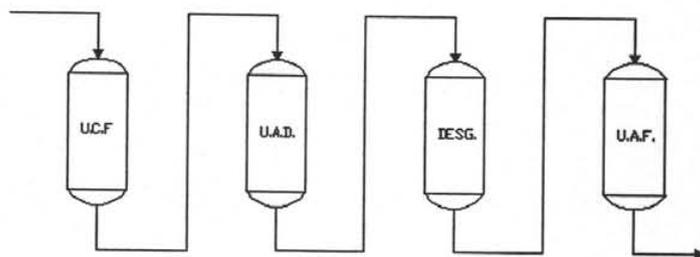
Conductividad específica 5 a 15 micromhos/cm³. Sílice 0.02 a 0.1 ppm.

Ventajas y desventajas:

Bajo costo en químicos, se requiere bombeo.

Este tipo de arreglo sirve para reducir los electrólitos hasta el orden de 2 y 3 ppm, y sílice hasta un nivel entre 0.02 y 0.1 ppm. Aplicable para tratar aguas de alimentación a calderas de 600 y 1400 psi.

e) ARREGLO # 5.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada de alta alcalinidad, sulfatos y cloruros, el sílice debe removerse.

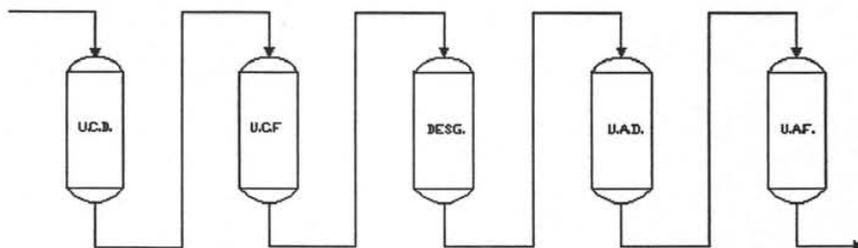
Efluente Típico:

Conductividad específica 5 a 15 micromhos/cm³. Sílice 0.02 a 0.1 ppm.

Ventajas y desventajas:

Bajo costo en químicos, alto costo en equipos, se requiere bombeo.

f) ARREGLO # 6.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada alta en dureza, alcalinidad, sulfatos y cloruros, el sílice debe removerse.

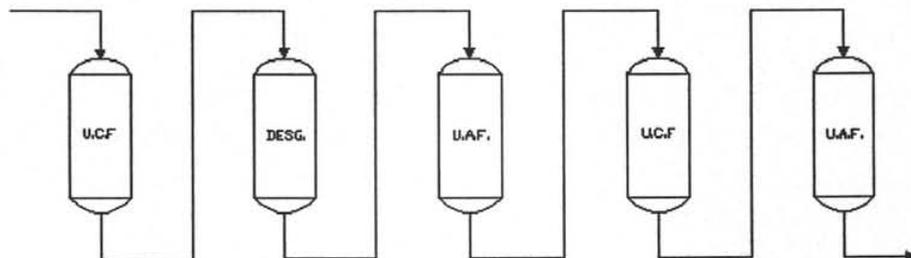
Efluente Típico:

Conductividad específica 5 a 15 micromhos/cm³. Sílice 0.02 a 0.1 ppm.

Ventajas y desventajas:

Bajo costo en químicos, alto costo en equipos, se requiere bombeo.

g) ARREGLO # 7.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada con alta alcalinidad y sodio. Se requiere agua de alta pureza.

Efluente Típico:

Conductividad específica 1 a 5 micromhos/cm³. Sílice 0.01 a 0.05 ppm.

Ventajas y desventajas:

Bajo costo en químicos, alto costo en equipos, se requiere bombeo.

h) ARREGLO # 8.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada baja en sólidos. Se requiere agua de alta pureza.

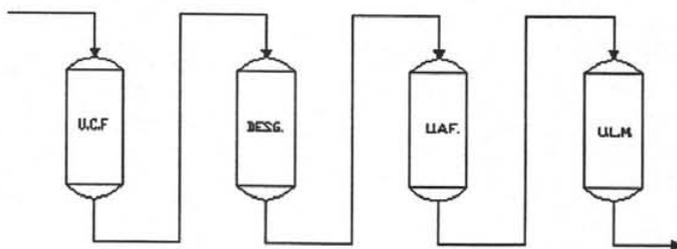
Efluente Típico:

Conductividad específica <1 micromhos/cm. Sílice 0.01 a 0.05 ppm.

Ventajas y desventajas:

Bajo costo en equipos, alto costo en químicos y requiere de bombeo.

i) ARREGLO # 9.

**Especificaciones Generales:**Aplicación:

Agua alimentada con alta alcalinidad y sólidos disueltos. Se requiere agua de alta pureza.

Efluente Típico:

Conductividad específica <1 micromhos/cm. Sílice 0.01 a 0.05 ppm.

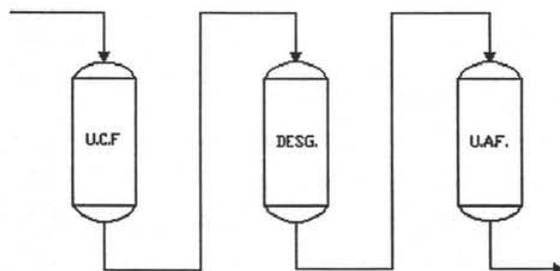
Ventajas y desventajas:

Bajo costo en químicos, alto costo en equipos, se requiere bombeo.

Reduce los electrólitos, hasta una concentración entre 0.04 y 0.1 ppm, reduce la sílice hasta un rango entre 0.01 y 0.05 ppm. Se protege totalmente al lecho mixto del ensuciamiento orgánico, con el intercambiador fuertemente básico en la primera etapa. Debido a la alta eficiencia del arreglo se regenera poco al lecho mixto

1.3.1 Arreglo que se utilizará para este trabajo.

Como se menciona al principio, este trabajo esta basado en el estudio realizado a una unidad desmineralizadora, que por las características del agua a tratar, tiene el siguiente arreglo:

Unidad Catiónica Fuerte-Desgasificador-Unidad Aniónica Fuerte

Por lo que este es el arreglo que se utilizará y estos son los datos con los que opera el equipo:

El tiempo aproximado de cada regeneración es de tres horas, el tiempo de operación es de 9 horas, lo que hace que el ciclo dure 12 horas, solo se realiza un ciclo por día, el agua que alimenta a la unidad catiónica viene con previa dosificación de bióxido de azufre con el fin de eliminar el exceso de cloro libre residual, por sulfonación. La eliminación del cloro es importante, ya que éste puede dañar a la resina.

Las unidades catiónicas y aniónicas requieren de un proceso de regeneración de la resina colocada, cuando esta ya ha agotado su capacidad de intercambio.

La regeneración en ambos tipos de unidades se lleva a cabo en cuatro etapas, que son:

- a) Retrolavado
- b) Inyección de regenerante
- c) Desplazamiento
- d) Enjuague

a) UNIDAD CATIONICA

Retrolavado.

La regeneración de la unidad catiónica comienza con la etapa de retrolavado, que se realiza para levantar la cama de resina de intercambio catiónico y poder favorecer en la etapa de inyección de ácido un mayor contacto entre la resina catiónica saturada y el ácido inyectado.

Inyección de Ácido Sulfúrico.

Esta etapa consiste en intercambiar los iones H^+ por los cationes retenidos en la resina. El proceso de regeneración se describe a continuación:

Cuando se inyecta ácido sulfúrico los iones sulfatos $SO_4^{=}$ atraen a los cationes retenidos por la resina dejando libre los espacios de la resina donde se depositan los iones H^+ hasta llenar los espacios de la resina.

Desplazamiento.

Una vez terminada la regeneración con ácido sulfúrico se realiza el desplazamiento el cual sirve para desplazar los sulfatos de calcio, magnesio, sodio y fierro que se forman y mandarlos a la fosa de neutralización

Enjuague.

Para asegurarse de que la resina regenerada quede libre de los sulfatos antes mencionados se hace un último enjuague.

b) UNIDAD ANIÓNICA**Retrolavado.**

La regeneración de la unidad aniónica comienza con la etapa de retrolavado, con el fin de levantar la cama de resina de intercambio aniónico y favorecer en la etapa de inyección de sosa, un mayor contacto entre la resina aniónica saturada y la sosa.

Inyección de Sosa Cáustica

Cuando se termina el retrolavado comienza la etapa de inyección de sosa cáustica. El proceso de regenerar la resina aniónica consiste en inyectar la solución de sosa al 4 %, en donde los iones Na^+ son atraídos por los aniones dejando los espacios libres de la resina donde se depositan los iones hidroxilo (OH^-) hasta llenar los espacios de la resina.

Desplazamiento.

Una vez regenerada la resina aniónica se realiza el desplazamiento, el cual sirve para desplazar el sulfato de sodio, cloruro de sodio, carbonato de sodio, silicato de sodio, formado por la adición de sosa cáustica, los cuales son enviados a la fosa de neutralización.

Enjuague.

Para asegurarse de que la resina regenerada quede libre de las sales de sodio antes mencionados se hace un último enjuague.

Capítulo 2:

Metodología de Cálculo

2.1 ALCANCE DEL CAPITULO.

En este capítulo se establecerán las ecuaciones y metodología de cálculo que se utilizarán para poder realizar el análisis de sensibilidad de la unidad desmineralizadora, tomando en cuenta que el arreglo con el que se trabajará es: "Unidad Catiónica Fuerte-Desgasificador-Unidad Aniónica Fuerte" y las resinas de intercambio a utilizar son: "Catiónica Amberlite IR-120 Plus y Aniónica Amberlite IRA-120".

Solo se utilizarán literales para indicar como se realizarán los cálculos, y se indicarán las unidades con las que se trabajará.

El caso de estudio se presentará en el siguiente capítulo.

2.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

2.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO.

Se tienen que establecer los criterios de diseño, que se deben considerar para el cálculo y/o análisis de unidades Catiónicas y Aniónicas, estos criterios son los mismos para las dos unidades lo que varía son los intervalos con los que trabaja cada una ellas.

Los criterios de diseño son los siguientes:

Criterios de diseño	Unidades	Intervalos Unidades Catiónicas	Intervalos Unidades Aniónicas
Velocidad operación	GPM/ft ²	0-100	0-100
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	0-18	0-18
Tiempo retrolavado	Min	10	10
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5-1.0	0.25-0.5
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	0.5-1.5	0.25-1.5
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	3.0-10.0	4,6,8 y 10
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	12.5-16	12.5-20.0
Expansión cama	%	50 mínimo	50 mínimo
Concentración regenerante	%	1.0-5.0	1.0-4.0

a) Velocidad de Operación:

Es la velocidad con la que entrará el agua de proceso a la unidad y ésta va en función de la temperatura y la caída de presión. Es de vital importancia establecer debidamente el intervalo con el que se operará el

equipo, ya que si los valores de operación son muy grandes puede llegar hasta reventar tanto el equipo como la tubería y en caso contrario si es muy pequeño causaría canalización en el equipo (fractura).

De proveedores el intervalo recomendado va de 8 a 16 GPM/ft².

b) Velocidad de Retrolavado:

Es la velocidad con la que se llevará a cabo el retrolavado y el intervalo se obtiene con base en el porcentaje de expansión de la cama de resina y la temperatura del agua a la entrada de la unidad. El intervalo recomendado por proveedores es de 6 a 14 GPM/ft².

c) Tiempo retrolavado:

El tiempo de retrolavado que recomiendan los proveedores es de 10 minutos, ya que en este tiempo se pueden reclasificar las partículas y eliminar algunos materiales insolubles suspendidos en la parte superior de la cama de resina.

d) Velocidad de Regeneración:

Es la velocidad con la que se llevará a cabo la regeneración de las unidades. Para las unidades catiónicas el equipo puede empezar a trabajar a 0.5 y ya que el equipo este trabajando normalmente se puede incrementar la velocidad hasta 1.0 GPM/ft³.

En el caso de las unidades aniónicas el equipo puede empezar a trabajar a 0.25 GPM/ft³ y ya que el equipo este trabajando normalmente incrementar la velocidad hasta 0.5 GPM/ft³.

e) Velocidad enjuague:

Es la velocidad con la que se llevará a cabo el enjuague de las unidades. Para las unidades catiónicas el equipo puede empezar a trabajar de 0.5 a 1.0 GPM/ft³ y ya que el equipo este trabajando normalmente se puede incrementar la velocidad hasta 1.5 GPM/ft³.

En el caso de las unidades aniónicas el equipo puede empezar a trabajar de 0.25 a 0.50 GPM/ft³ cuando el equipo este operando normalmente incrementar la velocidad hasta 1.5 GPM/ft³.

f) Nivel de regeneración:

Este concepto indica la cantidad de ácido o base que se utilizará para regenerar un ft³ de resina, y es muy importante elegirlo correctamente, ya que en función de este criterio se determinará la capacidad de intercambio de la resina, el consumo de regenerante y el volumen que se necesitará de resina. Para poder fijar el nivel de regeneración se debe tener en cuenta la fuga de sodio (unidades catiónicas) y la fuga de sílice (unidades aniónicas).

g) Capacidad de resina:

(Este concepto nos) Indica dice cuantos kilogramos de resina se consumirán por cada ft^3 de agua a tratar, y la capacidad de resina va en función del nivel de regeneración, y en función de otros parámetros como: % Na, %Mg y %Ca, en el caso de unidades catiónicas, y % H_2SiO_3 , % H_2CO_3 y % AMT, en el caso de unidades aniónicas.

h) Expansión de cama de resina:

De información dada por el proveedor se recomienda que se asigne un mínimo del 50% de expansión de la cama de resina.

i) Concentración de regenerante:

El intervalo recomendado por proveedor es de 1 a 5%.

En los apéndices 1 y 2 se especifica como se determinan los criterios que se utilizarán para el análisis de las unidades.

2.2.2. CÁLCULOS (PARA UNIDADES CATIÓNICAS Y ANIÓNICAS)

En general las ecuaciones que se utilizarán para realizar los cálculos tanto, para unidades catiónicas como para unidades aniónicas son las mismas, pero en los puntos 2.2.2.3 y 2.2.2.5 las ecuaciones son diferentes, ya que para cada unidad se utiliza diferente tipo de regenerante, por lo que los primeros cálculos en estos puntos son para la unidad catiónica, y posteriormente se realizarán los de la unidad aniónica. Al final se determinarán los cálculos para el desgasificador.

2.2.2.1 Análisis de las unidades.**a) Análisis del área total requerida.**

$$A_{TR} = \frac{F_{Op}}{Vel_{Op}}$$

Donde:

A_{TR}	=	Área total requerida en (ft^2).
F_{Op}	=	Flujo de Operación en (GPM).
Vel_{Op}	=	Velocidad de Operación en (GPM/ft^2).

b) Cálculo del área transversal Unitaria.

$$A_{TU} = 0.7854 * D^2$$

Donde:

- A_{TU} = Área Transversal Unitaria en (ft²).
- D = Diámetro en (ft).
- 0.7854 = $\pi / 4$.

c) Determinación de la cantidad de unidades requeridas calculadas.

$$C_{URC} = \frac{A_{TR}}{A_{TU}}$$

Donde:

- C_{URC} = Cantidad de Unidades Requeridas Calculadas.
- A_{TR} = Área Total requerida en (ft²).
- A_{TU} = Área Transversal unitaria en (ft²).

Una vez que se obtiene la cantidad de unidades que se requerirán, este valor se redondea al número próximo mayor, y es el que se utilizará para todos los cálculos subsecuentes.

Cantidad de Unidades Requeridas = C_{UR}

d) Verificación de la Velocidad de Operación (Velocidad de Operación Calculada).

$$Vel_{OpC} = \frac{F_{Op}}{A_{TU} * C_{UR}}$$

Donde:

- Vel_{OpC} = Velocidad de Operación Calculada en (GPM/ft²).
- F_{Op} = Flujo de Operación en (GPM).
- A_{TU} = Área Transversal unitaria en (ft²).
- C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

Si la velocidad de operación calculada es igual ó muy similar a la que se establece en los criterios de diseño, se podrá seguir con los cálculos, de no ser así se tiene que ir variando los diámetros hasta encontrar el indicado.

e) Flujo de operación por unidad.

Con la Cantidad de unidades definidas, se determina el flujo para cada unidad

$$F_{OpU} = \frac{F_{Op}}{C_{UR}}$$

Donde:

F_{OpU}	=	Flujo de Operación por unidad en (GPM).
F_{Op}	=	Flujo de Operación en (GPM).
C_{UR}	=	Cantidad de Unidades Requeridas.

2.2.2.2. Cálculo del volumen de resina requerida.

a) Capacidad requerida en Kilogramos de resina.

a.1) Capacidad requerida en granos de resina.

$$C_{RG} = \frac{TC}{17.1}$$

Donde:

C_{RG}	=	Capacidad requerida en (Granos resina / Gal).
TC	=	Total de cationes en (ppm $CaCO_3$).
17.1*	=	$\frac{17.1 \text{ ppm } CaCO_3}{\left(\frac{\text{Granos Resina}}{\text{Gal}}\right)}$

* Factor de conversión.

a.2) Flujo de Operación (por día).

$$F_{OpD} = F_{Op} * 60 * 24$$

Donde:

F_{OpD}	=	Flujo de Operación en (Gal/día).
F_{Op}	=	Flujo de Operación en (GPM).
60*	=	60 min/hr.
24*	=	24 hr/día.

* Factor de conversión.

a.3) Capacidad requerida en Kilogramos de resina (por día).

$$C_{RKGD} = \frac{F_{OpD} * C_{RG}}{1000}$$

Donde:

C_{RKGD}	=	Capacidad requerida en (Kilogramos resina / día).
F_{OpD}	=	Flujo de Operación por día en (Gal/día).
C_{RG}	=	Capacidad requerida en (Granos resina/Gal).
1000*	=	$\frac{1000 \text{ granos}}{1 \text{ kilogramo}}$

* Factor de conversión.

a.4) Se verifica o considerará cuanto durará el ciclo de regeneración (por día).

$$Cic_{RegD}$$

a.5) Ciclo regeneración (en horas).

$$Cic_{RegH} = Cic_{RegD} * 24$$

Donde:

Cic_{RegH} = Ciclo de regeneración en (hr).

Cic_{RegD} = Ciclo de regeneración en (día).

24* = 24hr/día.

* Factor de conversión.

a.6) Capacidad requerida en Kilogramos de resina (por ciclo).

$$C_{RKGC} = C_{RKGD} * Cic_{RegD}$$

Donde:

C_{RKGC} = Capacidad requerida en (Kilogramos resina/ciclo).

C_{RKGD} = Capacidad requerida en (Kilogramos resina/día).

Cic_{RegD} = Ciclo regeneración en (días).

a.7) Capacidad requerida en Kilogramos de resina (por unidad).

$$C_{RKGU} = C_{RKGC} * C_{UR}$$

Donde:

C_{RKGU} = Capacidad requerida en (Kilogramos resina/unidad).

C_{RKGC} = Capacidad requerida en (Kilogramos resina/ciclo).

C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

b) Volumen de resina.

b.1) Volumen de resina por unidad (en ft³)

$$V_{ResU} = \frac{C_{RKGU}}{C_{REst}}$$

Donde:

V_{ResU} = Volumen de resina por unidad en (ft³).

C_{RKGU} = Capacidad requerida en (Kilogramos resina/unidad).

C_{REst} * = Capacidad de resina establecida (Kilogramos resina/ft³).

* Establecida en los criterios de diseño

La resina se vende en sacos de 21.2 Kg, equivalente a 0.883 ft³ de resina (información obtenida de distribuidor de Rohm and Haas) lo anterior implica que para cada caso, se debe ajustar el volumen.

b.2) Cantidad de Sacos.

$$\text{Cant}_{\text{Sacos}} = \frac{V_{\text{ResU}}}{0.883}$$

Donde:

- Cant_{Sacos}** = Cantidad de Sacos.
V_{ResU} = Volumen de resina por unidad en (ft³).
0.883* = 0.883 (ft³/saco).

* Factor de conversión.

b.3) Cantidad real de sacos .

El valor obtenido de cantidad de sacos se redondea al número próximo mayor y obtenemos la cantidad real de sacos.

$$\text{Cantidad real de sacos} = \text{Cant}_{\text{Real Sacos}}$$

b.4) Volumen ajustado resina por unidad (en ft³).

$$V_{\text{AjResU}} = \text{Cant}_{\text{Real Sacos}} * 0.883$$

Donde:

- V_{AjResU}** = Volumen ajustado de resina por unidad en (ft³).
Cant_{Real Sacos} = Cantidad real de sacos.
0.883* = 0.883 (ft³/saco).

* Factor de conversión.

b.5) Volumen total resina (en ft³).

$$V_{\text{TotRes}} = V_{\text{AjResU}} * C_{\text{UR}}$$

Donde:

- V_{TotRes}** = Volumen total de resina en (ft³).
V_{AjResU} = Volumen ajustado de resina por unidad en (ft³).
C_{UR} = Cantidad de unidades requeridas.

c) Profundidad de cama de resina en (ft).

$$P_{\text{CRes}} = \frac{V_{\text{AjResU}}}{A_{\text{TU}}}$$

Donde:

- P_{CRes}** = Profundidad de cama de resina por unidad en (ft).

V_{AjResU}	=	Volumen ajustado de resina por unidad en (ft ³).
A_{Tu}	=	Area Transversal unitaria en (ft ²).

d) Verificación de periodo real de regeneración.

d.1) Ciclo regeneración real (por día).

$$Cic_{RegRD} = \frac{V_{AjResU} * C_{UR} * C_{REst}}{C_{RKGD}}$$

Donde:

$Cic_{RegR(día)}$	=	Ciclo regeneración real por día.
V_{AjResU}	=	Volumen ajustado de resina por unidad en (ft ³).
C_{UR}	=	Cantidad de Unidades Requeridas.
C_{REst}	=	Capacidad de resina en (Kilogramos resina/ft ³).
C_{RKGD}	=	Capacidad requerida en (Kilogramos resina/día).

* Establecida en los criterios de diseño

d.2) Ciclo regeneración real (por hora).

$$Cic_{RegRH} = Cic_{RegRD} * 24$$

Donde:

Cic_{RegRH}	=	Ciclo de regeneración real en (hr)
Cic_{RegRD}	=	Ciclo de regeneración real en (días)
24*	=	24 hr/día.

* Factor de conversión.

d.3) Regeneración cada unidad (por hora).

$$Reg_U = \frac{Cic_{RegRH}}{C_{UR}}$$

Donde:

Reg_U	=	Regeneración cada unidad en (hr).
Cic_{RegRH}	=	Ciclo regeneración real en (hr).
C_{UR}	=	Cantidad de Unidades Requeridas.

En los puntos "2.2.2.3.Requerimiento de regenerante" y "2.2.2.5 Consumo de agua para regeneración", primero se mostrará la metodología de cálculo para unidades Catiónicas, y enseguida se realizarán los cálculos de las unidades Aniónicas.

2.2.2.3. Requerimiento de regenerante.

UNIDADES CATIONICAS

2.2.2.3.1. Requerimiento de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) para regeneración

a) Determinación de cantidad de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) requerida

a.1) lb H_2SO_4 por Kilogramo de resina.

$$lb_{Ac} = \frac{N_{Reg}}{C_{REst}}$$

Donde:

- lb_{Ac} = lb H_2SO_4 / Kilogramos resina.
 N_{Reg} = Nivel de Regeneración en (lb H_2SO_4 /ft³).
 C_{REst} = Capacidad de resina en (Kilogramos /ft³).

* Establecido en los criterios de diseño

a.2) Cantidad H_2SO_4 por ciclo en (lb H_2SO_4).

$$Cant_{AcC} = C_{RKGC} * lb_{Ac}$$

Donde:

- $Cant_{AcC}$ = Cantidad H_2SO_4 en (lb H_2SO_4 /ciclo).
 C_{RKGC} = Capacidad requerida en (Kilogramos resina/ciclo).
 lb_{Ac} = lb H_2SO_4 /Kilogramos resina.

a.3) Cantidad H_2SO_4 por unidad (en lb H_2SO_4).

$$Cant_{AcU} = \frac{Cant_{AcC}}{C_{UR}}$$

Donde:

- $Cant_{AcU}$ = Cantidad H_2SO_4 en (lb H_2SO_4 /unidad).
 $Cant_{AcC}$ = Cantidad H_2SO_4 en (lb H_2SO_4 /ciclo).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

b) Volumen Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) al 98% por unidad.

Concentración del ácido sulfúrico al 98%:

$$Con_{Ac98\%} = 15.02 \text{ lb/Gal}$$

b.1) Volumen H₂SO₄ al 98% por unidad (en Gal).

$$V_{Ac98\%U(Gal)} = \frac{Cant_{AcU}}{Conc_{Ac98\%}}$$

Donde:

- $V_{Ac98\%U(Gal)}$ = Volumen H₂SO₄ al 98% en (Gal/unidad).
 $Cant_{AcU}$ = Cantidad de H₂SO₄ en (lb H₂SO₄/unidad).
 $Conc_{Ac98\%}$ = Concentración del H₂SO₄ 98% en (lb/Gal).

b.2) Volumen H₂SO₄ al 98% por unidad (en m³).

$$V_{Ac98\%U(m^3)} = \frac{V_{Ac98\%U(Gal)}}{264.17}$$

Donde:

- $V_{Ac98\%U(m^3)}$ = Volumen H₂SO₄ al 98% en (m³/unidad).
 $V_{Ac98\%U(Gal)}$ = Volumen H₂SO₄ al 98% en (Gal/unidad).
 264.17^* = 264.17 (Gal/m³).

* Factor de conversión.

c) Volumen de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) al 3% por unidad

Concentración del ácido sulfúrico al 3%.

$$Conc_{Ac3\%} = 0.255 \text{ lb/Gal}$$

c.1) Volumen H₂SO₄ al 3% por unidad (en Gal).

$$V_{Ac3\%U(Gal)} = \frac{Cant_{AcU}}{Conc_{Ac3\%}}$$

Donde:

- $V_{Ac3\%U(Gal)}$ = Volumen H₂SO₄ al 3% en (Gal/unidad).
 $Cant_{AcU}$ = Cantidad de H₂SO₄ en (lbH₂SO₄/unidad).
 $Conc_{Ac3\%}$ = Concentración del H₂SO₄ al 3% en (lb/Gal).

c.2) Volumen H₂SO₄ 3% al por unidad (en m³).

$$V_{Ac3\%U(m^3)} = \frac{V_{Ac3\%U(Gal)}}{264.17}$$

Donde:

- $V_{Ac3\%U(m^3)}$ = Volumen H₂SO₄ al 3% en (m³/unidad).
 $V_{Ac3\%U(Gal)}$ = Volumen de H₂SO₄ al 3% en (Gal/unidad).
 264.17^* = 264.17 (Gal/m³).

* Factor de conversión.

d) Determinación del tiempo requerido para regeneración.

d.1) Tiempo regeneración calculado (en minutos).

$$\theta_{\text{RegCalc}} = \frac{V_{\text{Ac3\%U(Gal)}}}{\text{Vel}_{\text{RegEst}} * V_{\text{A}j\text{ResU}}}$$

Donde:

- θ_{RegCalc} = Tiempo de regeneración calculado en (min).
 $V_{\text{Ac3\%U(Gal)}}$ = Volumen H_2SO_4 al 3% en (Gal/unidad).
 $\text{Vel}_{\text{RegEst}}$ = Velocidad de Regeneración en (GPM/ft³).
 $V_{\text{A}j\text{ResU}}$ = Volumen Ajustado de resina por unidad en (ft³).

* Establecido en los criterios de diseño.

Y obtenemos el tiempo de regeneración a considerar en la práctica (en minutos).

e) Determinación de flujo de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) al 98% y 3% de concentración por unidade.1) Flujo H_2SO_4 98% por unidad (en GPM).

$$F_{\text{Ac98\%U}} = \frac{V_{\text{Ac98\%U(Gal)}}}{\theta_{\text{RegCalc}}}$$

Donde:

- $F_{\text{Ac98\%U}}$ = Flujo H_2SO_4 al 98% en (GPM/unidad).
 $V_{\text{Ac98\%U(Gal)}}$ = Volumen H_2SO_4 al 98% en (Gal/unidad).
 θ_{RegCalc} = Tiempo regeneración calculado en (min).

e.2) Flujo H_2SO_4 3% por unidad (en GPM).

$$F_{\text{Ac3\%U}} = \frac{V_{\text{Ac3\%U(Gal)}}}{\theta_{\text{RegCalc}}}$$

Donde:

- $F_{\text{Ac3\%U}}$ = Flujo H_2SO_4 al 3% en (GPM/unidad).
 $V_{\text{Ac3\%U(Gal)}}$ = Volumen H_2SO_4 al 3% en (Gal/unidad).
 θ_{RegCalc} = Tiempo regeneración calculado en (min)

e.3) Flujo H_2SO_4 98% ponderado (en GPM).

$$F_{\text{Ac98\%Pond}} = \frac{V_{\text{Ac98\%U(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{C_{\text{icRegRH}} * 60}$$

Donde:

- $F_{\text{Ac98\%Pond}}$ = Flujo H_2SO_4 al 98% ponderado en (GPM).
 $V_{\text{Ac98\%U(Gal)}}$ = Volumen H_2SO_4 al 98% en (Gal/unidad).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

$CiC_{RegR(Hr)}$	=	Ciclo regeneración real en (hr).
60^*	=	60 (min/hr).

* Factor de conversión.

e.4) Flujo H_2SO_4 3% ponderado en GPM.

$$F_{Ac3\%Pond} = \frac{V_{Ac3\%U(Gal)} * C_{UR}}{CiC_{RegRH} * 60}$$

Donde:

$F_{Ac3\%Pond}$	=	Flujo H_2SO_4 al 3% ponderado en (GPM).
$V_{Ac3\%U(Gal)}$	=	Volumen H_2SO_4 al 3% en (Gal/unidad).
C_{UR}	=	Cantidad de Unidades Requeridas.
$CiC_{RegR(Hr)}$	=	Ciclo regeneración real en (hr).
60^*	=	60 (min/hr).

* Factor de conversión.

UNIDADES ANIÓNICAS

2.2.2.3.2. Requerimiento de Hidróxido de Sodio (NaOH) para regeneración

a) Determinación de cantidad de Hidróxido de Sodio (NaOH) requerida

a.1) lb NaOH por Kilogramo de resina.

$$lb_{So} = \frac{N_{Reg}}{C_{REst}}$$

Donde:

Lb_{So}	=	lb NaOH / Kilogramos resina.
N_{Reg}	=	Nivel de Regeneración en (lb NaOH/ft ³).
C_{REst}	=	Capacidad de resina en (Kilogramos /ft ³).

* Establecido en los criterios de diseño

a.2) Cantidad NaOH por ciclo en (lb NaOH).

$$Cant_{SoC} = C_{RKGC} * lb_{So}$$

Donde:

$Cant_{SoC}$	=	Cantidad NaOH en (lb NaOH/ciclo).
C_{RKGC}	=	Capacidad requerida en (Kilogramos resina/ciclo).
Lb_{So}	=	lb NaOH/Kilogramos resina.

a.3) Cantidad NaOH por unidad (en lb NaOH).

$$\text{Cant}_{\text{BaU}} = \frac{\text{Cant}_{\text{BaC}}}{C_{\text{UR}}}$$

Donde:

Cant_{SoU} = Cantidad NaOH en (lb NaOH/unidad).**Cant_{SoC}** = Cantidad NaOH en (lb NaOH/ciclo).**C_{UR}** = Cantidad de Unidades Requeridas.

b) Volumen Hidróxido de Sodio (NaOH) al 50% por unidad.

Densidad del hidróxido de sodio al 50%:

Conc_{So50%}: 6.36 lb/Gal

b.1) Volumen NaOH al 50% por unidad (en Gal).

$$V_{\text{So50\%U}}(\text{Gal}) = \frac{\text{Cant}_{\text{SoU}}}{\text{Conc}_{\text{So50\%}}}$$

Donde:

V_{So50%U(Gal)} = Volumen NaOH al 50% en (Gal/unidad).**Cant_{SoU}** = Cantidad de NaOH en (lb NaOH/unidad).**Conc_{So50%}** = Densidad NaOH 50% en (lb/Gal).b.2) Volumen NaOH al 50% por unidad (en m³).

$$V_{\text{So50\%U}}(\text{m}^3) = \frac{V_{\text{So50\%U}}(\text{Gal})}{264.17}$$

Donde:

V_{So50%U(m3)} = Volumen NaOH al 50% en (m³/unidad).**V_{So50%U(Gal)}** = Volumen NaOH al 50% en (Gal/unidad).**264.17*** = 264.17 (Gal/m³).

* Factor de conversión.

c) Volumen de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 4% por unidad

Densidad del hidróxido de sodio al 4%

Conc_{So4%}: 0.348 lb/Gal

c.1) Volumen NaOH al 4% por unidad (en Gal).

$$V_{\text{So4\%U}}(\text{Gal}) = \frac{\text{Cant}_{\text{SoU}}}{\text{Conc}_{\text{So4\%}}}$$

Donde:

$V_{So4\%U(Gal)}$	=	Volumen NaOH al 4% en (Gal/unidad).
$Cant_{SoU}$	=	Cantidad de NaOH en (lbNaOH/unidad).
$Conc_{So4\%}$	=	Densidad de NaOH al 4% en (lb/Gal).

c.2) Volumen NaOH 4% al por unidad (en m³).

$$V_{So4\%U(m^3)} = \frac{V_{So4\%U(Gal)}}{264.17}$$

Donde:

$V_{So4\%U(m^3)}$	=	Volumen NaOH al 4% en (m ³ /unidad).
$V_{So4\%U(Gal)}$	=	Volumen de NaOH al 4% en (Gal/unidad).
264.17*	=	264.17 (Gal/m ³).

* Factor de conversión.

d) Determinación del tiempo requerido para regeneración.

d.1) Tiempo regeneración calculado (en minutos).

$$\theta_{RegCalc} = \frac{V_{So4\%U(Gal)}}{Vel_{RegEst} * V_{AjrResU}}$$

Donde:

$\theta_{RegCalc}$	=	Tiempo de regeneración calculado en (min).
$V_{So4\%U(Gal)}$	=	Volumen NaOH al 4% en (Gal/unidad).
Vel_{RegEst}^*	=	Velocidad de Regeneración en (GPM/ft ³).
$V_{AjrResU}$	=	Volumen Ajustado de resina por unidad en (ft ³).

* Establecido en los criterios de diseño.

Y obtenemos el tiempo de regeneración a considerar en la práctica (en minutos).

e) Determinación de flujo de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 50% y 4% de concentración por unidad

e.1) Flujo NaOH 50% por unidad (en GPM).

$$F_{So50\%U} = \frac{V_{So50\%U(Gal)}}{\theta_{RegCalc}}$$

Donde:

$F_{So50\%U}$	=	Flujo NaOH al 50% en (GPM/unidad).
$V_{So50\%U(Gal)}$	=	Volumen NaOH al 50% en (Gal/unidad).
$\theta_{RegCalc}$	=	Tiempo regeneración calculado en (min).

e.2) Flujo NaOH 4% por unidad (en GPM).

$$F_{\text{So4\%U}} = \frac{V_{\text{So4\%U(Gal)}}}{\theta_{\text{RegCalc}}}$$

Donde:

- $F_{\text{So4\%U}}$ = Flujo NaOH al 4% en (GPM/unidad).
 $V_{\text{So4\%U(Gal)}}$ = Volumen H_2SO_4 al 4% en (Gal/unidad).
 θ_{RegCalc} = Tiempo regeneración calculado en (min)

e.3) Flujo NaOH 50% ponderado (en GPM).

$$F_{\text{So50\%Pond}} = \frac{V_{\text{So50\%U(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{\text{Cic}_{\text{RegRH}} * 60}$$

Donde:

- $F_{\text{So50\%Pond}}$ = Flujo NaOH al 50% ponderado en (GPM).
 $V_{\text{So50\%U(Gal)}}$ = Volumen NaOH al 50% en (Gal/unidad).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 $\text{Cic}_{\text{RegRH(Hr)}}$ = Ciclo regeneración real en (hr).
 60^* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

e.4) Flujo NaOH 4% ponderado en GPM.

$$F_{\text{So4\%Pond}} = \frac{V_{\text{So4\%U(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{\text{Cic}_{\text{RegRH}} * 60}$$

Donde:

- $F_{\text{So4\%Pond}}$ = Flujo NaOH al 4% ponderado en (GPM).
 $V_{\text{So4\%U(Gal)}}$ = Volumen NaOH al 4% en (Gal/unidad).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 $\text{Cic}_{\text{RegRH(Hr)}}$ = Ciclo regeneración real en (hr).
 60^* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.4 Consumo de agua para retrolavado por unidad

a) Flujo agua retrolavado por unidad (en GPM).

$$F_{\text{AguaRetU}} = A_{\text{TU}} * \text{Vel}_{\text{RetEst}}$$

Donde:

- F_{AguaRetU} = Flujo agua retrolavado por unidad en (GPM).
 A_{TU} = Área Transversal Unitaria en (ft^2).
 $\text{Vel}_{\text{RetEst}}$ = Velocidad retrolavado en (GPM/ft^2).

* Establecido en los criterios de diseño.

e.2) Flujo NaOH 4% por unidad (en GPM).

$$F_{So4\%U} = \frac{V_{So4\%U(Gal)}}{\theta_{RegCalc}}$$

Donde:

- $F_{So4\%U}$ = Flujo NaOH al 4% en (GPM/unidad).
 $V_{So4\%U(Gal)}$ = Volumen H_2SO_4 al 4% en (Gal/unidad).
 $\theta_{RegCalc}$ = Tiempo regeneración calculado en (min)

e.3) Flujo NaOH 50% ponderado (en GPM).

$$F_{So50\%Pond} = \frac{V_{So50\%U(Gal)} * C_{UR}}{Cic_{RegRH} * 60}$$

Donde:

- $F_{So50\%Pond}$ = Flujo NaOH al 50% ponderado en (GPM).
 $V_{So50\%U(Gal)}$ = Volumen NaOH al 50% en (Gal/unidad).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 $Cic_{RegRH(Hr)}$ = Ciclo regeneración real en (hr).
 60^* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

e.4) Flujo NaOH 4% ponderado en GPM.

$$F_{So4\%Pond} = \frac{V_{So4\%U(Gal)} * C_{UR}}{Cic_{RegRH} * 60}$$

Donde:

- $F_{So4\%Pond}$ = Flujo NaOH al 4% ponderado en (GPM).
 $V_{So4\%U(Gal)}$ = Volumen NaOH al 4% en (Gal/unidad).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 $Cic_{RegRH(Hr)}$ = Ciclo regeneración real en (hr).
 60^* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.4 Consumo de agua para retrolavado por unidad

a) Flujo agua retrolavado por unidad (en GPM).

$$F_{AguaRetU} = A_{TU} * Vel_{RetEst}$$

Donde:

- $F_{AguaRetU}$ = Flujo agua retrolavado por unidad en (GPM).
 A_{TU} = Área Transversal Unitaria en (ft^2).
 Vel_{RetEst} = Velocidad retrolavado en (GPM/ ft^2).

* Establecido en los criterios de diseño.

b) Volumen agua retrolavado por unidad (en Gal).

$$V_{\text{AguaRetU(Gal)}} = F_{\text{AguaRetU}} * \theta_{\text{RetEst}}$$

Donde:

$V_{\text{AguaRetU(Gal)}}$ = Volumen agua retrolavado por unidad en (Gal).

F_{AguaRetU} = Flujo agua retrolavado por unidad en (GPM).

θ_{RetEst} = Tiempo retrolavado en (min).

* Establecido en los criterios de diseño.

c) Volumen agua retrolavado por unidad (en m³).

$$V_{\text{AguaRetU(m}^3\text{)}} = \frac{V_{\text{AguaRetU(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

$V_{\text{AguaRetU(m}^3\text{)}}$ = Volumen agua retrolavado por unidad en (m³).

$V_{\text{AguaRetU(Gal)}}$ = Volumen agua retrolavado por unidad en (Gal).

264.17* = 264.17 (Gal/m³).

* Factor de conversión.

d) Flujo agua retrolavado ponderado (en GPM).

$$F_{\text{AguaRetPond}} = \frac{V_{\text{AguaRetU(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{\text{Cic}_{\text{RegRH}} * 60}$$

Donde:

$F_{\text{AguaRetPond}}$ = Flujo agua retrolavado ponderado en (GPM).

$V_{\text{AguaRetU(Gal)}}$ = Volumen agua retrolavado por unidad en (Gal).

C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

$\text{Cic}_{\text{RegRH}}$ = Ciclo regeneración real en (hr).

60* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.5 Consumo de agua para regeneración por unidad**2.2.2.5.1 UNIDADES CATIONICAS**

El agua para regeneración corresponde al agua requerida para la dilución del ácido sulfúrico del 98% al 3% de concentración.

a) Volumen agua dilución por unidad (en Gal).

$$V_{\text{AguaDilU(Gal)}} = V_{\text{Ac3\%U(Gal)}} - V_{\text{Ac98\%U(Gal)}}$$

Donde:

$V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua dilución por unidad en (Gal).

$V_{\text{Ac3\%U(Gal)}}$ = Volumen H₂SO₄ al 3% por unidades (Gal).

$V_{\text{Ac98\%U(Gal)}}$ = Volumen H₂SO₄ al 98% por unidad en (Gal).

b) Volumen agua dilución por unidad (en m³).

$$V_{\text{AguaDilU(m}^3)} = \frac{V_{\text{AguaDilU(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

- $V_{\text{AguaDil(m}^3)}$ = Volumen agua dilución por unidad en (m³).
 $V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua dilución por unidad en (Gal).
 264.17* = 264.17 (Gal/m³).

* Factor de conversión.

c) Flujo agua dilución por unidad (en GPM).

$$F_{\text{AguaDilU}} = \frac{V_{\text{AguaDilU(Gal)}}}{\theta_{\text{RegCalc}}}$$

Donde:

- F_{AguaDilU} = Flujo agua dilución por unidad en (GPM).
 $V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua dilución por unidad en (Gal).
 θ_{RegCalc} = Tiempo regeneración calculado en (min).

d) Flujo ponderado agua dilución (en GPM).

$$F_{\text{AguaDilPond}} = \frac{V_{\text{AguaDilU(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{C_{\text{icRegRH}} * 60}$$

Donde:

- $F_{\text{AguaDilPond}}$ = Flujo agua dilución ponderado en (GPM).
 $V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua para dilución por unidad en (Gal).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 C_{icRegRH} = Ciclo regeneración real en (hr).
 60* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.5.2 UNIDADES ANIÓNICAS

El agua para regeneración corresponde al agua requerida para la dilución del hidróxido de sodio del 50% al 4% de concentración.

a) Volumen agua dilución por unidad (en Gal).

$$V_{\text{AguaDilU(Gal)}} = V_{\text{So4\%U(Gal)}} - V_{\text{So50\%U(Gal)}}$$

Donde:

- $V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua dilución por unidad en (Gal).
 $V_{\text{So4\%U(Gal)}}$ = Volumen NaOH al 4% por unidades (Gal).
 $V_{\text{So50\%U(Gal)}}$ = Volumen NaOH al 50% por unidad en (Gal).

b) Volumen agua dilución por unidad (en m³).

$$V_{\text{AguaDilU(m}^3)} = \frac{V_{\text{AguaDilU(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

$V_{\text{AguaDil(m}^3)}$ = Volumen agua dilución por unidad en (m³).

$V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua dilución por unidad en (Gal).

264.17* = 264.17 (Gal/m³).

* Factor de conversión.

c) Flujo agua dilución por unidad (en GPM).

$$F_{\text{AguaDilU}} = \frac{V_{\text{AguaDilU(Gal)}}}{\theta_{\text{RegCalc}}}$$

Donde:

F_{AguaDilU} = Flujo agua dilución por unidad en (GPM).

$V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua dilución por unidad en (Gal).

θ_{RegCalc} = Tiempo regeneración calculado en (min).

d) Flujo ponderado agua dilución (en GPM).

$$F_{\text{AguaDilPond}} = \frac{V_{\text{AguaDilU(gal)}} * C_{\text{UR}}}{C_{\text{icRegRH}} * 60}$$

Donde:

$F_{\text{AguaDilPond}}$ = Flujo agua dilución ponderado en (GPM).

$V_{\text{AguaDilU(Gal)}}$ = Volumen agua para dilución por unidad en (Gal).

C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

C_{icRegRH} = Ciclo regeneración real en (hr).

60* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.6. Consumo de agua para desplazamiento (enjuague lento) por unidad

Se considera la velocidad de desplazamiento igual a la velocidad de regeneración.

a) Flujo agua desplazamiento por unidad (en GPM).

$$F_{\text{AguaDespU}} = V_{\text{A}ResU} * Vel_{\text{Desp}}$$

Donde:

$F_{\text{AguaDespU(GPM)}}$ = Flujo agua desplazamiento por unidad en (GPM).

$V_{\text{A}ResU}$ = Volumen ajustado de resina por unidad en (ft³).

Vel_{Desp} = Velocidad desplazamiento en (GPM/ft³).

b) Expansión resina (en ft).

$$\text{Exp}_{\text{Res}} = P_{\text{CRes}} * \left(\frac{\% \text{Exp}_{\text{CRes}}}{100\%} \right)$$

Donde:

- Exp_{Res} = Expansión resina en (ft).
 P_{CRes} = Profundidad cama resina en (ft).
 $\% \text{Exp}_{\text{CResEst}}$ = % Expansión cama de Resina.

* Establecido en los criterios de diseño.

c) Profundidad incluyendo expansión resina (en ft).

$$P\text{Exp}_{\text{Res}} = P_{\text{CRes}} + \text{Exp}_{\text{Res}}$$

Donde:

- $P\text{Exp}_{\text{Res}}$ = Profundidad incluyendo expansión resina (ft).
 P_{CRes} = Profundidad cama resina (ft).
 Exp_{Res} = Expansión cama de resina (ft).

d) Volumen incluyendo expansión resina (en Gal).

$$V\text{Exp}_{\text{Res}} = P\text{Exp}_{\text{Res}} * A_{\text{TU}} * 7.48$$

Donde:

- $V\text{Exp}_{\text{Res}}$ = Volumen incluyendo expansión resina en (Gal).
 A_{TU} = Área Transversal Unitaria en (ft²).
 $P\text{Exp}_{\text{Res}}$ = Profundidad incluyendo expansión resina en (ft).
 7.48^* = 7.48 (Gal/ft³).

* Factor de conversión.

e) Tiempo desplazamiento calculado (en minutos).

$$\theta_{\text{DespCalc}} = \frac{V\text{Exp}_{\text{Res}}}{F_{\text{AguaDespU}}}$$

Donde:

- θ_{DespCalc} = Tiempo desplazamiento calculado en (min).
 $V\text{Exp}_{\text{Res}}$ = Volumen incluyendo expansión resina en (Gal).
 $F_{\text{AguaDespU}}$ = Flujo agua desplazamiento por unidad en (GPM).

Se redondea el dato obtenido anteriormente y obtenemos el tiempo de desplazamiento a considerar en la práctica en minutos.

g) Volumen agua desplazamiento por unidad (en Gal).

$$V_{\text{AguaDespU(Gal)}} = F_{\text{AguaDespU}} * \theta_{\text{DespCalc}}$$

Donde:

- $V_{\text{AguaDespU(Gal)}}$ = Volumen agua desplazamiento por unidad en (Gal).

- $F_{\text{AguaDespU(GPM)}}$ = Flujo agua desplazamiento por unidad en (GPM).
 θ_{DespCalc} = Tiempo desplazamiento calculado en (min).

h) Volumen agua desplazamiento por unidad (en m³).

$$V_{\text{AguaDespU(m}^3\text{)}} = \frac{V_{\text{AguaDespU(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

- $V_{\text{AguaDespU(m}^3\text{)}}$ = Volumen agua desplazamiento por unidad en (m³).
 $V_{\text{AguaDespU(Gal)}}$ = Volumen agua desplazamiento por unidad en (Gal).
 264.17* = 264.17 en (Gal/m³).

* Factor de conversión.

i) Flujo agua desplazamiento ponderado en GPM.

$$F_{\text{AguaDespPond}} = \frac{V_{\text{AguaDespU(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{C_{\text{icRegRH}} * 60}$$

Donde:

- $F_{\text{AguaDespPond}}$ = Flujo agua desplazamiento ponderado en (GPM).
 $V_{\text{AguaDespU(Gal)}}$ = Volumen agua desplazamiento por unidad en (Gal).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 $C_{\text{icRegR(Hr)}}$ = Ciclo regeneración real en (hr).
 60* = 60 (min*hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.7. Consumo de agua para enjuague por unidad

El requerimiento de enjuague se obtiene de información de proveedores.

a) Volumen agua enjuague por unidad (en Gal).

$$V_{\text{AguaEnjU(Gal)}} = V_{\text{AjResU}} * R_{\text{Enj}}$$

Donde:

- $V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}$ = Volumen agua enjuague por unidad en (Gal).
 V_{AjResU} = Volumen ajustado de resina por unidad en (ft³).
 R_{Enj} = Requerimiento de enjuague (Gal/ft³).

b) Volumen agua enjuague por unidad (en m³).

$$V_{\text{AguaEnjU(m}^3\text{)}} = \frac{V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

- $V_{\text{AguaEnjU(m}^3\text{)}}$ = Volumen agua enjuague por unidad en (m³).
 $V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}$ = Volumen agua enjuague por unidad en (Gal).

$$264.17^* = 264.17 \text{ (Gal/m}^3\text{)}.$$

* Factor de conversión.

c) Flujo agua enjuague por unidad (en GPM).

$$F_{\text{AguaEnjU}} = V_{\text{AjResU}} * Vel_{\text{EnjEst}}$$

Donde:

F_{AguaEnjU} = Flujo agua enjuague por unidad en (GPM).

Vel_{EnjEst} = Velocidad enjuague en (GPM / ft³).

V_{AjResU} = Volumen ajustado de resina por unidad en (ft³).

* Establecido en los criterios de diseño.

d) Tiempo enjuague calculado (en min).

$$\theta_{\text{EnjCalc}} = \frac{V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}}{F_{\text{AguaEnjU}}}$$

Donde:

θ_{EnjCalc} = Tiempo enjuague calculado en (min).

$V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}$ = Volumen agua enjuague por unidad en (Gal).

F_{AguaEnjU} = Flujo agua enjuague por unidad en (GPM).

Y obtenemos el tiempo de regeneración a considerar en la práctica en minutos.

e) Flujo agua enjuague ponderado (en GPM).

$$F_{\text{AguaEnjPond}} = \frac{V_{\text{AguaEnjU(Gal)}} * C_{\text{UR}}}{C_{\text{icRegRH}} * 60}$$

Donde:

$F_{\text{AguaEnjPond}}$ = Flujo agua enjuague ponderado en (GPM).

$V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}$ = Volumen agua enjuague por unidad en (Gal).

C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

C_{icRegRH} = Ciclo regeneración real en (hr).

60 = 60 (min*hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.8. Consumo total de agua por unidad

a) Volumen total agua por unidad (en Gal).

$$V_{\text{AguaTotalU(Gal)}} = V_{\text{AguaRetU(Gal)}} + V_{\text{AguaDilU(Gal)}} + V_{\text{AguaDespU(Gal)}} + V_{\text{AguaEnjU(Gal)}}$$

Donde:

$V_{\text{AguaTotalU(Gal)}}$ = Volumen Agua Total por unidad en (Gal).

$V_{\text{AguaRetU(Gal)}}$ = Volumen Agua retrolavado en (Gal).

- $V_{\text{AguaDilU(Gal)}} =$ Volumen Agua regeneración en (Gal).
 $V_{\text{AguaDespU(Gal)}} =$ Volumen Agua desplazamiento en (Gal).
 $V_{\text{AguaEnjU(Gal)}} =$ Volumen Agua enjuague en (Gal).

b) Volumen total agua por unidad (en m³).

$$V_{\text{TotalAguaU(m}^3)} = \frac{V_{\text{TotalAguaU(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

- $V_{\text{TotalAguaU(m}^3)}$ = Volumen total agua por unidad en (m³)
 $V_{\text{TotalAguaU(Gal)}}$ = Volumen total agua por unidad en (Gal)
264.17* = 264.17 en (Gal/m³)

* Factor de conversión.

c) Flujo de agu total ponderado (en GPM).

$$F_{\text{AguaTotalPond}} = \frac{V_{\text{TotalAguaU(Gal)}} * C_{UR}}{C_{\text{icRegRH}} * 60}$$

Donde:

- $F_{\text{AguaTotalPond(GPM)}}$ = Flujo agua total ponderado en (GPM).
 $V_{\text{TotalAguaU(Gal)}}$ = Volumen total agua por unidad en (Gal).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.
 C_{icRegRH} = Ciclo regeneración real en (hr).
60* = 60 (min/hr).

* Factor de conversión.

2.2.2.9. Consumo de agua por ciclo

a) Consumo agua por ciclo (en Gal).

$$\text{Cons}_{\text{AguaCiclo(Gal)}} = V_{\text{TotalAguaU(Gal)}} * C_{UR}$$

Donde:

- $\text{Cons}_{\text{AguaCiclo(Gal)}}$ = Consumo agua por ciclo en (Gal).
 $V_{\text{TotalAguaU(Gal)}}$ = Volumen total agua por unidad en (Gal).
 C_{UR} = Cantidad de Unidades Requeridas.

b) Consumo agua por ciclo (en m³).

$$\text{Cons}_{\text{AguaCiclo(m}^3)} = \frac{\text{Cons}_{\text{AguaCiclo(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

- $\text{Cons}_{\text{AguaCiclo(m}^3)}$ = Consumo agua por ciclo en (m³).
 $\text{Cons}_{\text{AguaCiclo(Gal)}}$ = Consumo agua por ciclo en (Gal).
264.17* = 264.17 (Gal/ m³).

* Factor de conversión.

2.2.2.10. Consumo de agua por día.

a) Consumo agua por día en Gal.

$$\text{Cons}_{\text{AguaD(Gal)}} = \text{Cons}_{\text{AguaCiclo(Gal)}} * \text{Ciclos de regeneración}$$

Donde:

$$\text{Consumo}_{\text{AguaD(Gal)}} = \text{Consumo agua por día en (Gal)}.$$

$$\text{Consumo}_{\text{AguaCiclo(Gal)}} = \text{Consumo agua por ciclo en (Gal)}.$$

$$\text{CicReg(Hr)} = \text{Ciclo regeneración real en (hr)}.$$

b) Consumo agua por día (en m³).

$$\text{Cons}_{\text{AguaD(m}^3)} = \frac{\text{Cons}_{\text{AguaD(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

$$\text{Cons}_{\text{AguaDía(m}^3)} = \text{Consumo agua por día en (m}^3\text{)}.$$

$$\text{Cons}_{\text{AguaDía(Gal)}} = \text{Consumo agua por día en (Gal)}.$$

$$264.17^* = 264.17(\text{Gal/m}^3).$$

* Factor de conversión.

2.2.2.11 Consumo de agua anual.

a) Consumo agua anual (en Gal).

$$\text{Cons}_{\text{AguaAnual(Gal)}} = \text{Cons}_{\text{AguaD(Gal)}} * 365$$

Donde:

$$\text{Cons}_{\text{AguaAnual(Gal)}} = \text{Consumo agua anual en (Gal)}.$$

$$\text{Cons}_{\text{AguaD(Gal)}} = \text{Consumo agua por día}.$$

$$365^* = 365 \text{ días/año}.$$

* Factor de conversión.

b) Consumo agua anual en m³.

$$\text{Cons}_{\text{AguaAnual(m}^3)} = \frac{\text{Cons}_{\text{AguaAnual(Gal)}}}{264.17}$$

Donde:

$$\text{Cons}_{\text{AguaAnual(m}^3)} = \text{Consumo agua anual en (m}^3\text{)}$$

$$\text{Cons}_{\text{AguaAnual(Gal)}} = \text{Consumo agua anual en (Gal)}$$

$$264.17^* = 264.17 (\text{Gal/m}^3)$$

* Factor de conversión.

2.2.3. CÁLCULOS PARA EL DESGASIFICADOR.

2.2.3.1 CONSIDERACIONES

El CO₂ debe ser removido por lo siguiente:

- Al combinarse con agua produce H₂CO₃, el cual es corrosivo y dañino para las tuberías.
- Reduce la eficiencia de la resina de la unidad aniónica.

Por lo que es necesario removerlo con un sistema de desgasificación.

2.2.3.2 CÁLCULOS

2.2.3.2.1. Verificación del diámetro del desgasificador

$$D_{\text{Desg}} = \frac{F_{\text{Op}} * 4}{(\text{Vel}_{\text{Op}} * \pi)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

D_{Desg}	=	Diámetro Desgasificador en (ft).
F_{Op}	=	Flujo Operación en (GPM).
4	=	Constante.
Vel_{Op}	=	Velocidad Operación en (GPM/ft ²).
π	=	3.1416

2.2.3.2.2. Cálculo de la altura del desgasificador

$$H_{\text{Desg}} = H_{\text{Emp}} + H_{\text{Ent}} + H_{\text{Elim}}$$

Donde:

H_{Desg}	=	Altura desgasificador en (ft).
H_{Emp}	=	Altura empaçado en (ft).
H_{Ent}	=	Altura entrada en (ft).
H_{Elim}	=	Altura eliminador de niebla en (ft).

a) Cálculo de la altura de empaçado

Para el cálculo de la altura de empaque, se utiliza la siguiente tabla(1).

Altura de Empaque Requerida para Obtener un Efluente de 5 ppm de CO ₂ (Utilizando el Empaque Maspac FN-200)						
Temperatura (°F)	Entrada de CO ₂ (ppm)					
	30	60	90	140	200	250
32	67	93	108	124	138	146
35	64	90	105	120	132	140
40	60	83	97	112	123	131
45	55	77	90	104	115	122
50	52	71	83	95	106	113
55	48	66	78	90	100	106
60	45	62	72	84	93	99
65	43	59	68	78	86	92
70	39	54	63	72	81	85
75	36	49	59	67	75	78
80	33	47	54	63	69	74

b) Definición de altura entrada y altura eliminador de niebla.

Este valor se obtiene de información de proveedores.

2.2.3.3 Tanque de agua desgasificada

Para obtener el volumen del tanque, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{\text{Tanque}} = \theta_{\text{Reten}} * F_{\text{Op}}$$

Despejando el tiempo de retención de la ecuación:

$$\theta_{\text{Reten}} = \frac{V_{\text{Tanque}}}{F_{\text{Op}}}$$

Capítulo 3:

Caso de Estudio

3.1 ALCANCE DEL CAPITULO.

Como se mencionó en la introducción, el objetivo de esta tesis es analizar la sensibilidad de una unidad desmineralizadora, en este capítulo, se presenta la evaluación de la unidad catiónica y la unidad aniónica mediante: primero el establecimiento de los criterios de diseño y segundo la variación de dichos criterios, la variación se trata como casos de estudio y para cada caso se presenta los efectos de la variación en los cálculos de cada unidad y finalmente los cálculos del desgasificador.

3.2 EVALUACIÓN DE LA UNIDAD CATIONICA.

3.2.1 Características del agua que se alimenta a la unidad catiónica.

Los cálculos se realizan con base en la información de la resina **Amberlite IR-120 Plus**, A continuación se indican: el flujo a considerar y las características del agua que alimenta a la unidad catiónica.

Flujo de operación	550 (GPM)
Temperatura	82.4 (°F)
Ciclo de operación de la unidad	12 (Hrs)

CATIONES (ppm como CaCO ₃)			
Ca	102.00	102.00	61.08%
Mg	20.00	20.00	11.98%
Na	43.94	44.00	26.35%
Fe	0.97	1.00	0.60%
TC =	166.91	167.00	100.00%

ANIONES (ppm como CaCO ₃)			
HCO ₃	98.98	99.00	59.52%
SO ₄	29.99	30.00	17.86%
Cl	34.97	35.00	20.83%
PO ₄	2.97	3.00	1.79%
TA =	166.91	167.00	100.00%

Alcalinidad F 0 ppm como CaCO_3

Alcalinidad M 111.33 ppm como CaCO_3

En este caso de estudio no se reporta contenido de iones carbonato e hidróxido, la alcalinidad M corresponde únicamente al valor de iones bicarbonato

3.2.1.1 Porcentajes.

Fuga esperada de sílice:

CO_2	10.39	mg CO_2 / L
SiO_2	5.25	mg SiO_2 / L
Fuga esperada =		2 ppm como CaCO_3

Porcentaje de Fuga de sílice:

$$\% \text{ Fuga} = \left(\frac{\text{Fuga esperada}}{\text{Total de Cationes}} \right) * 100$$

Sustituyendo valores:

$$\% \text{ Fuga} = \left(\frac{2}{167} \right) * 100 = 1.2\%$$

Porcentaje de Alcalinidad:

$$\% \text{ Alcalinidad} = \left(\frac{100}{\text{Total de Aniones}} \right) * 100$$

Sustituyendo valores:

$$\% \text{ Alcalinidad} = \left(\frac{100}{167} \right) * 100 = 59.88\%$$

Porcentaje de Sodio:

$$\% \text{ Sodio} = \left(\frac{\text{Cantidad de Na (ppm como } \text{CaCO}_3)}{\text{Total de Cationes (ppm como } \text{CaCO}_3)} \right) * 100$$

Sustituyendo valores:

$$\% \text{ Sodio} = \left(\frac{44 \text{ ppm } \text{CaCO}_3}{167 \text{ ppm } \text{CaCO}_3} \right) * 100 = 26.35\%$$

Porcentaje de Calcio:

$$\% \text{ Calcio} = \left(\frac{\text{Cantidad de Ca (ppm como } \text{CaCO}_3)}{\text{Total de Cationes (ppm como } \text{CaCO}_3)} \right) * 100$$

Sustituyendo valores:

$$\% \text{ Calcio} = \left(\frac{102 \text{ ppm } \text{CaCO}_3}{167 \text{ ppm } \text{CaCO}_3} \right) * 100 = 61.08 \%$$

Porcentaje de Magnesio:

$$\% \text{ Magnesio} = \left(\frac{\text{Cantidad de Mg (ppm como } \text{CaCO}_3)}{\text{Total de Cationes (ppm como } \text{CaCO}_3)} \right) * 100$$

Sustituyendo valores:

$$\% \text{ Magnesio} = \left(\frac{20 \text{ ppm } \text{CaCO}_3}{167 \text{ ppm } \text{CaCO}_3} \right) * 100 = 11.98 \%$$

Los porcentajes obtenidos anteriormente sirven para determinar cuales son los criterios de diseño que se van a utilizar, estos criterios de diseño se muestra como se obtienen en el **apéndice 1**.

3.2.2 Especificación de los criterios de diseño a utilizar.

Debido a que el objetivo de este trabajo es el análisis de sensibilidad de la unidad, este se realizará de la siguiente forma.

Se determinarán los criterios de diseño como base que se muestran en el **apéndice 1**, con el fin de simplificar el análisis se harán variaciones de todos los parámetros, ya que si se hicieran todas las combinaciones posibles para los diferentes criterios de diseño, se tendría que hacer un análisis muy elaborado que podría resultar hasta cierto punto enredoso, por lo tanto los criterios de diseño que se utilizarán son:

Velocidad de operación: 14.5 GPM / ft².

Como se especifica en el apéndice 1 es recomendable que la **caída de presión** de operación sea igual o muy cercana a **1 psi/ft**, y según este apéndice la caída de presión para determinar el valor de 14.5 GPM/ft² es de 1 psi/ft.

Expansión de la cama de resina: 50 %.

Los proveedores recomiendan que el valor para la **expansión de la cama de resina** sea un mínimo del **50%**, por lo que se tomará este valor para realizar el análisis de la unidad.

Velocidad de retrolavado: 7.0 GPM / ft².

Este valor esta en función de **expansión de la cama de resina**, y como se determinó que su valor sea de **50%** a este valor le corresponde una velocidad de retrolavado de 7 GPM / ft².

Tiempo de retrolavado: 10 minutos.

Los proveedores recomiendan utilizar 10 minutos, ya que con este tiempo se asegura tener un buen proceso de retrolavado.

Velocidad de regeneración: 1.0 GPM / ft³.

Es el dato recomendado por proveedores.

Velocidad de enjuague 1.5 GPM / ft³.

Al igual que el criterio anterior es un dato recomendado por proveedores.

Nivel de regeneración: $5 \text{ lbs H}_2\text{SO}_4 / \text{ft}^3$.

Este valor se utilizará por ser el primer nivel de regeneración con el cual puede operar la resina, ya que no hay una razón en especial para que esté sea el elegido para el análisis, tomando en cuenta que se pudo haber utilizado cualquier otro nivel de regeneración.

Capacidad de resina: $14.57 \text{ kgranos} / \text{ft}^3$.

Debido a que la capacidad de resina esta en función del nivel de regeneración y tomando en cuenta que el nivel de regeneración a considerar es de $5 \text{ lbs H}_2\text{SO}_4 / \text{ft}^3$, le corresponde una capacidad de resina de $14.57 \text{ kgranos/ft}^3$.

Concentración de regenerante: 3% .

Este valor se eligió en base al trabajo realizado a PEMEX.

Concentración de regenerante: 0.255 lb/Gal .

El valor correspondiente a la concentración al 3% es de 0.255 lb/Gal .

Por lo tanto los criterios base que se utilizarán para el análisis de las unidades catiónicas son:

Criterios de diseño	Unidades	Criterios base
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5
Expansión cama	%	50
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7
Tiempo retrolavado	Min	10
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57
Concentración regenerante	%	3
Concentración regenerante	lb/Gal	0.255

Tabla 1

3.2.3. Variación de los criterios de diseño.

Como se menciona anteriormente a partir del apéndice 1 se obtuvieron diferentes valores para los criterios de diseño, para realizar el análisis se mantendrán constantes la mayoría de los "criterios base" mostrados anteriormente y se realizarán variaciones en algunos de estos, con el fin de analizar la sensibilidad de la unidad..

En los "casos" que a continuación se muestran, se indicará los valores que se van a variar y cuales valores se tomarán como constantes.

CASO 1.

Se realizará variaciones en:

- Nivel regeneración.
- Capacidad resina.

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57	15.90	17.07	18.02	18.69	19.47
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	3.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.255					

Tabla 2

CASO 2.

Se realizará variaciones en:

- Velocidad operación.

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	7.4	12	14.5	16.5	21	27
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	3.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.255					

Tabla 3

CASO 3.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad retrolavado.**
- **Expansión cama.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	11.8
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57					
Expansión cama	%	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
Concentración regenerante	%	3.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.255					

Tabla 4

CASO 4.

Se realizará variaciones en:

- **Tiempo retrolavado.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0					
Tiempo retrolavado	min	5.0	9.0	10.0	11.0	15.0	20.0
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	3.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.255					

Tabla 5

CASO 5.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad regeneración.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5	0.9	1.0	1.1	1.5	2.0
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	3.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.255					

Tabla 6

CASO 6.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad enjuague.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	0.25	0.5	1.0	1.4	1.5	2.0
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	3.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.255					

Tabla 7

CASO 7.

Se realizará variaciones en:

- **Concentración regenerante %.**
- **Concentración regenerante.**

Por lo que los valores a considerar son:

Crterios para análisis	Unidades	Valores				
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5				
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7.0				
Tiempo retrolavado	min	10.0				
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0				
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5				
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5.0				
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57				
Expansión cama	%	50.0				
Concentración regenerante	%	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.0839	0.1689	0.255	0.3422	0.4305

Tabla 8

3.2.4. CÁLCULOS (COMPORTAMIENTO) DE LA UNIDAD CATIONICA.

3.2.4.1 Selección del diámetro (con base en la velocidad de operación especificada).

El primer punto y de gran importancia antes de revisar los casos antes mencionados, es seleccionar el diámetro adecuado con el que se va a trabajar; el factor de mayor importancia para determinar cual es el diámetro a utilizar es que la velocidad de operación calculada sea lo mas cercana a la velocidad de operación propuesta.

Los diámetros propuestos son los siguientes:

- 5 ft.
- 6 ft.
- 7ft.
- 8ft.

La velocidad de operación es de 14.5 GPM/ft², que corresponde a una caída de presión de 1 psi/ft que es lo más recomendado.

Los cálculos aparecen en el **anexo 1** por lo que a continuación se muestran los resultados para saber cual es el diámetro a utilizar.

La cantidad de unidades a utilizar dependiendo del diámetro al que se trabaje se muestra a continuación:

	Diámetros			
	5	6	7	8
Cantidad de unidades requeridas para operación	2.0	2.0	1.0	1.0

Por lo que las velocidades obtenidas son:

	Diámetros			
	5	6	7	8
Velocidad de operación calculada (GPM/ft ²)	14.0	9.7	14.3	9.0
Velocidad de operación propuesta (GPM/ft ²)	14.5	14.5	14.5	14.5

De las velocidades de operación que se observan en la tabla se determina que los **diámetros de 6 y 8 ft** no pueden ser utilizados, ya que la diferencia entre las velocidades (determinada y calculada) son muy grandes y en caso de utilizarse causarían daños al equipo.

En el caso de un **diámetro de 5 ft**, se necesitarían dos unidades en operación, y se tendrían que tener otras dos unidades en espera, para que cuando las primeras salgan a regeneración las otras entren en operación, lo cual no es conveniente ya que se necesitaría mas espacio para colocar las cuatro unidades, además de que el costo de los equipos sería mayor.

Por lo que el **diámetro** que se utilizará para el desarrollo de este trabajo es de **7ft**, ya que se necesitaría, una unidad en operación y otra en espera, además de que no se ocuparía mucho espacio para colocar las dos unidades.

3.2.4.2 Efecto de la variación de cada criterios de diseño sobre las especificaciones de la unidad catiónica

Una vez que se han determinado los criterios de diseño y el diámetro a utilizar, en este capítulo solo se presentan los resultados de mayor importancia y el efecto de las variación de los criterios que son el objetivo de este trabajo:

- o Volumen total de resina (ft³).
- o Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad (Gal).
- o Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad (Gal).
- o Tiempo de regeneración (min).
- o Flujo de ácido sulfúrico al 98% (GPM).
- o Flujo de ácido sulfúrico al 3% (GPM).
- o Volumen de agua para retrolavado (Gal).
- o Flujo de agua para retrolavado (GPM).
- o Tiempo de retrolavado (min).
- o Volumen de agua para dilución (Gal).
- o Flujo de agua para dilución (GPM).
- o Volumen de agua para desplazamiento (Gal).
- o Flujo de agua para desplazamiento (GPM).
- o Profundidad incluyendo expansión de resina (ft).
- o Tiempo de desplazamiento (min).
- o Volumen de agua para enjuague (Gal).
- o Flujo de agua para enjuague (GPM).
- o Tiempo de enjuague (min).
- o Consumo total de agua por unidad (Gal).
- o Consumo anual de agua (Gal).

Estos especificaciones son las mas importantes ya que determinaran la cantidad de resina necesaria para lograr el intercambio de iones deseado, la cantidad de ácido sulfúrico para regenerar a la resina, el volumen y flujo de agua para cada uno de los pasos de la regeneración (Retrolavado, dilución, desplazamiento y enjuague), así como los tiempos que duraran los pasos antes mencionados y por lo tanto el consumo total de agua.

Los resultados se presentaran en tablas y en caso de que haya variaciones en alguno de éstos se representaran en gráficas, para así ver la sensibilidad de la unidad.

A continuación se muestran los resultados para los “casos” antes mencionados.

a) "CASO 1 Variación en Capacidad de Resina".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

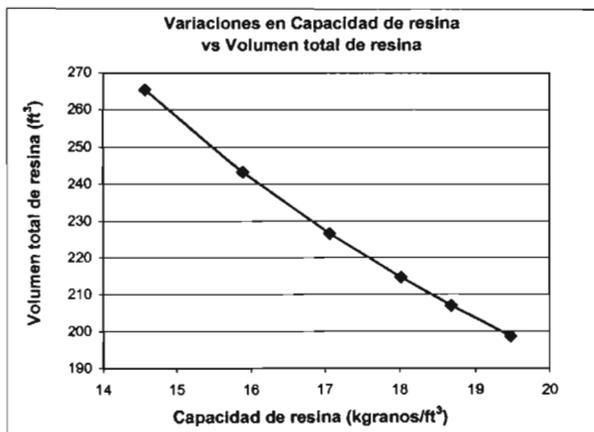
Volumen total de resina	(ft ³).	Variaciones mostradas en grafica 1
Profundidad cama de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 2
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 3
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 4
Tiempo de regeneración	(min)	Variaciones mostradas en grafica 5
Flujo de ácido sulfúrico al 98%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 6
Flujo de ácido sulfúrico al 3%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 7
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	2693.92
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	269.39
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 8
Flujo de agua para dilución	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 9
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 10
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 11
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 12
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	12.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 13
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 14
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 15
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 16

VOLUMEN TOTAL DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de resina (ft ³)	% *
14.57	265.78	0.0
15.9	243.71	8.30
17.07	226.93	14.62
18.02	215.45	18.94
18.69	207.51	21.92
19.47	198.68	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



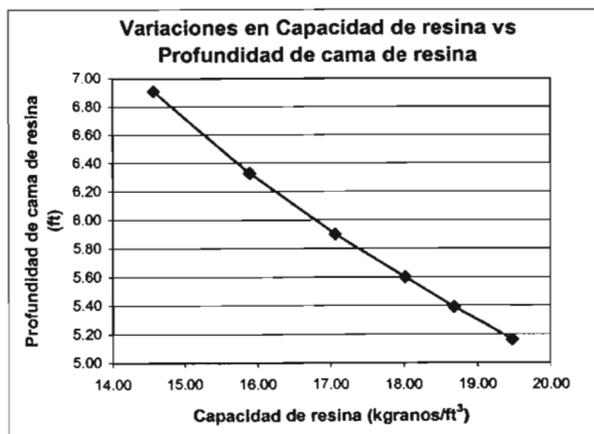
Grafica 1

PROFUNDIDAD DE CAMA DE RESINA

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Profundidad de cama de resina (ft)	% *
14.57	6.91	0.0
15.90	6.33	8.70
17.07	5.90	14.69
18.02	5.60	18.84
18.69	5.39	21.74
19.47	5.16	24.64

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



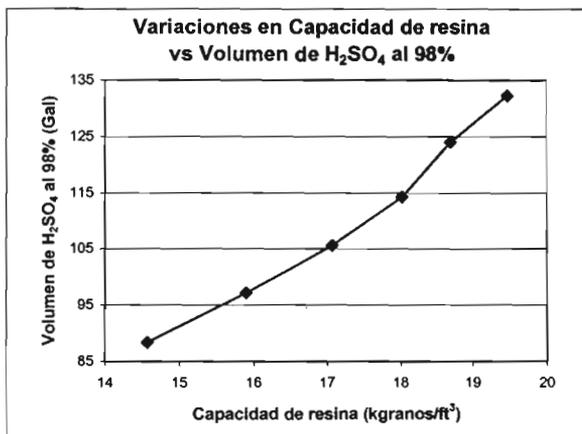
Grafica 2

VOLUMEN DE H₂SO₄ AL 98%

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de H ₂ SO ₄ al 98% (Gal)	% *
14.57	88.36	0.0
15.90	97.16	9.96
17.07	105.59	19.50
18.02	114.31	29.37
18.69	123.99	40.32
19.47	132.25	49.67

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



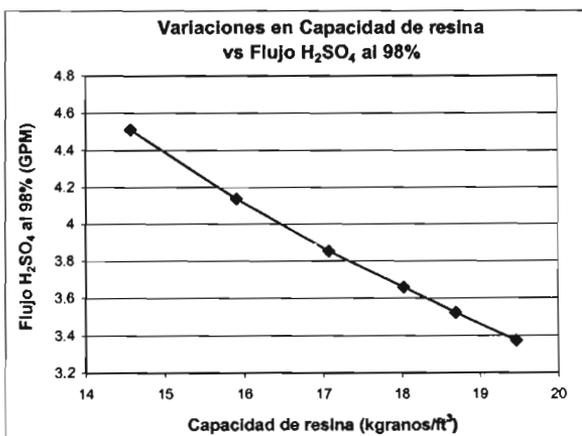
Grafica 3

FLUJO DE H₂SO₄ AL 98%

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo H ₂ SO ₄ al 98% (GPM)	% *
14.57	4.51	0.0
15.90	4.14	8.20
17.07	3.85	14.63
18.02	3.66	18.85
18.69	3.52	21.95
19.47	3.37	25.28

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



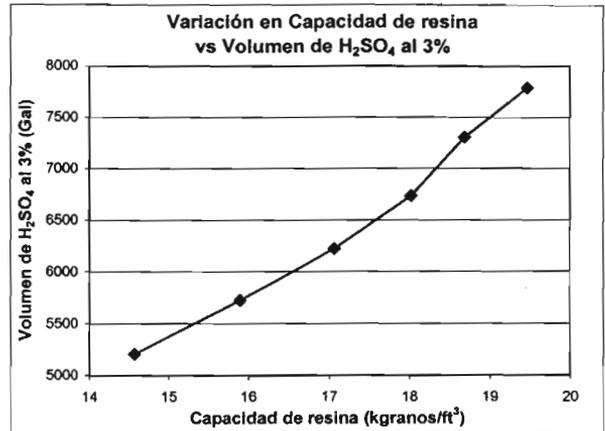
Grafica 6

VOLUMEN DE H₂SO₄ AL 3%

Los siguientes resultados provienen del anexo 1

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de ácido al 3% (Gal)	% *
14.57	5204.6	0.0
15.90	5723.1	9.96
17.07	6219.3	19.50
18.02	6733.0	29.37
18.69	7303.1	40.32
19.47	7789.5	49.67

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



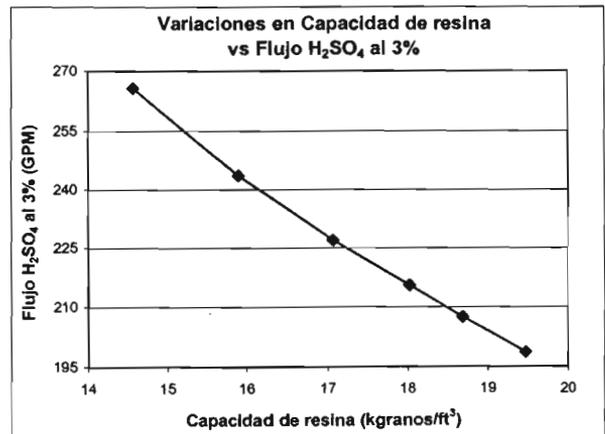
Grafica 4

FLUJO DE H₂SO₄ AL 3%

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo H ₂ SO ₄ al 3% (GPM)	% *
14.57	265.78	0.0
15.90	243.71	8.30
17.07	226.93	14.62
18.02	215.45	18.94
18.69	207.51	21.92
19.47	198.68	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



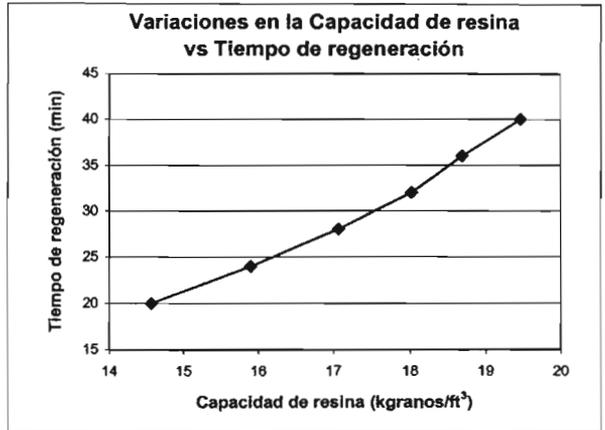
Grafica 7

TIEMPO PARA REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Tiempo de regeneración (minutos)	% *
14.57	20	0.0
15.90	24	20.0
17.07	28	40.0
18.02	32	60.0
18.69	36	80.0
19.47	40	100.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



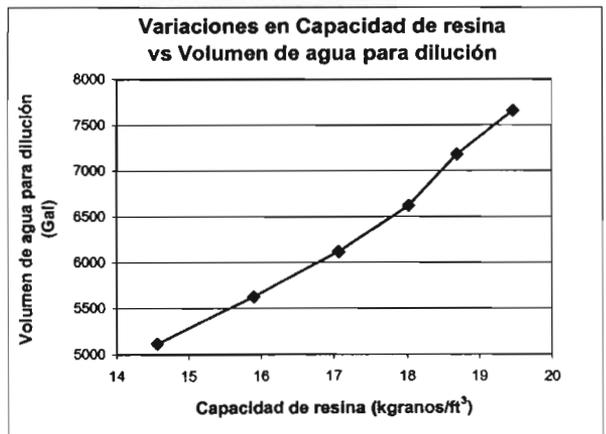
Grafica 5

VOLUMEN DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para dilución (Gal)	% *
14.57	5116.2	0.0
15.90	5625.9	9.95
17.07	6113.7	19.50
18.02	6618.7	29.37
18.69	7179.1	40.32
19.47	7657.3	46.67

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



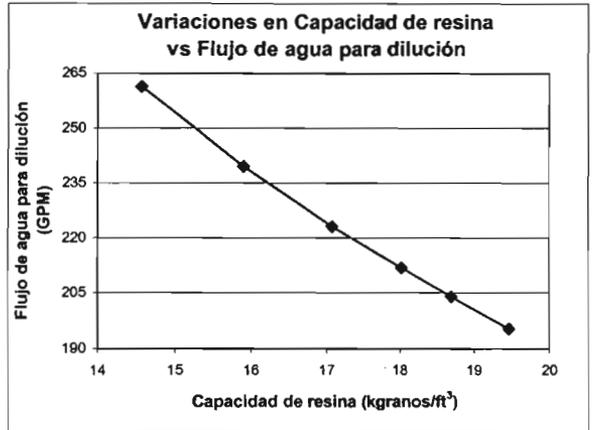
Grafica 8

FLUJO DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para dilución (GPM)	% *
14.57	261.3	0.0
15.90	239.6	8.31
17.07	223.1	14.62
18.02	211.8	18.94
18.69	204.0	21.93
19.47	195.3	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



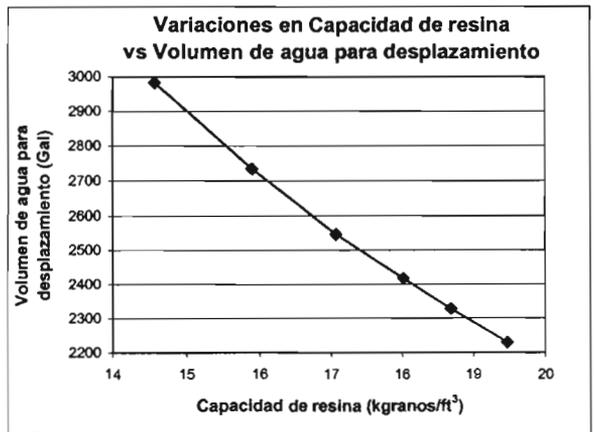
Grafica 9

VOLUMEN DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para desplazamiento (Gal)	% *
14.57	2982.1	0.0
15.90	2734.4	8.31
17.07	2546.2	14.62
18.02	2417.4	18.94
18.69	2328.2	21.93
19.47	2229.1	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



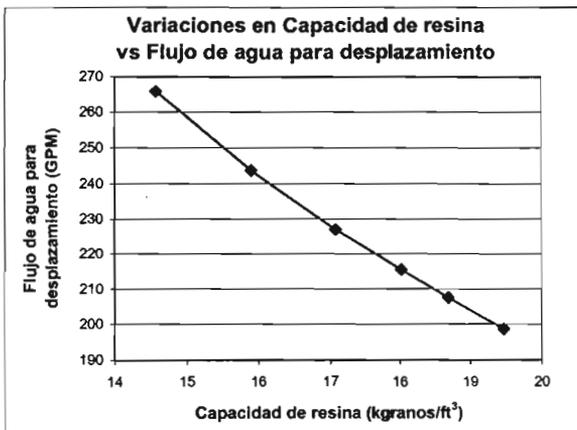
Grafica 10

FLUJO DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para desplazamiento (GPM)	% *
14.57	265.8	0.0
15.90	243.7	8.30
17.07	226.9	14.62
18.02	215.5	18.94
18.69	207.5	21.92
19.47	198.7	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



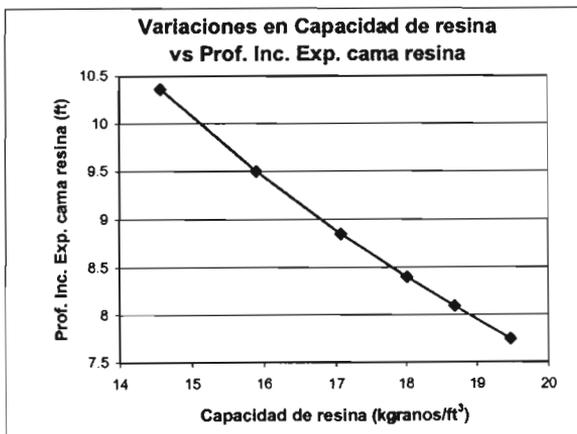
Grafica 11

PROFUNDIDAD INCLUYENDO EXPANSIÓN DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Profundidad incluyendo expansión de resina (ft)	% *
14.57	10.36	0.0
15.90	9.50	8.65
17.07	8.85	15.38
18.02	8.40	19.23
18.69	8.09	22.12
19.47	7.74	25.96

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



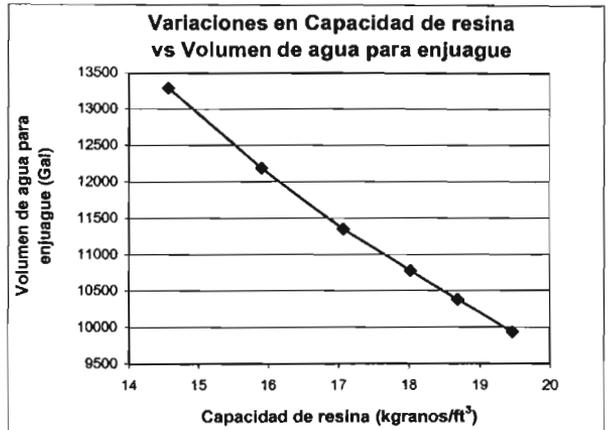
Grafica 12

VOLUMEN DE AGUA PARA ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para enjuague (Gal)	% *
14.57	13289.2	0.0
15.90	12185.4	8.31
17.07	11346.6	14.62
18.02	10772.6	19.31
18.69	10375.3	21.93
19.47	9933.8	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



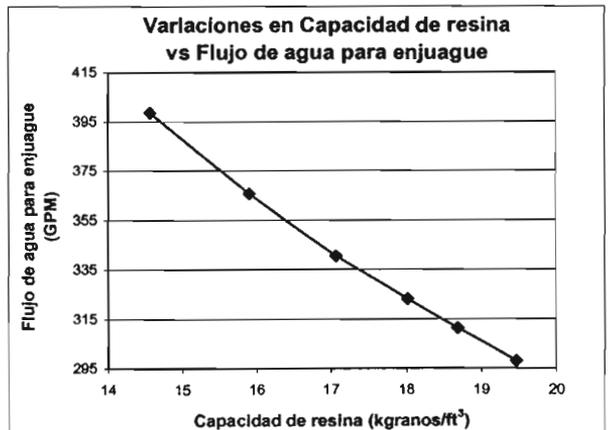
Grafica 13

FLUJO DE AGUA PARA ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para enjuague (GPM)	% *
14.57	398.7	0.0
15.90	365.6	8.31
17.07	340.4	14.62
18.02	323.2	19.31
18.69	311.3	21.93
19.47	298.0	25.25

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



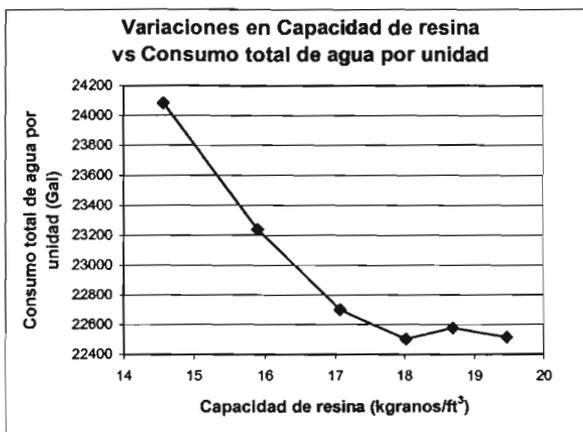
Grafica 14

CONSUMO DE TOTAL DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Consumo total de agua por unidad (Gal)	% *
14.57	24081	0.0
15.90	23240	14.68
17.07	22700	19.62
18.02	22503	17.74
18.69	22577	17.43
19.47	22514	17.69

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



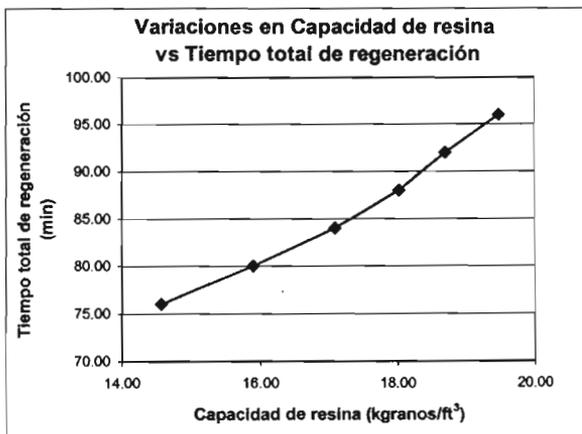
Grafica 15

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
14.57	76.00	0.0
15.90	80.00	5.0
17.07	84.00	11.0
18.02	88.00	16.0
18.69	92.00	21.0
19.47	96.00	26.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 14.57



Grafica 16

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

“CASO 2 Variación en Velocidad de Operación UC”.

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

		1 Unidad	2 unidades
Volumen total de resina	(ft ³).	265.78	265.78
Profundidad cama de resina por unidad	(ft)	6.91	3.46
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02	6.03
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	88.36	44.18
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	5204.58	2602.29
Tiempo de regeneración por unidad	(min)	20.00	20
Flujo de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(GPM)	4.51	2.26
Flujo de ácido sulfúrico al 3% por unidad	(GPM)	265.78	133.33
Volumen de agua para retrolavado por unidad	(Gal)	2693.92	2763.92
Flujo de agua para retrolavado por unidad	(GPM)	269.39	269.39
Tiempo de retrolavado por unidad	(min)	10.00	10.00
Volumen de agua para dilución por unidad	(Gal)	5116.2	2558.1
Flujo de agua para dilución por unidad	(GPM)	261.27	131.07
Volumen de agua para desplazamiento por unidad	(Gal)	2982.09	1496.00
Flujo de agua para desplazamiento por unidad	(GPM)	265.78	133.33
Profundidad incluyendo expansión de resina por unidad	(ft)	10.36	5.20
Tiempo de desplazamiento por unidad	(min)	12.00	12.00
Volumen de agua para enjuague por unidad	(Gal)	13289.2	6666.7
Flujo de agua para enjuague por unidad	(GPM)	398.67	299.34
Tiempo de enjuague por unidad	(min)	34.00	34.00
Consumo total de agua por ciclo	(Gal)	24081.00	26829.00

Para este "caso" en especial se presentan los resultados en la tabla y no se presentan en graficas como se hace con los demás casos, ya que este criterio más que nada es útil para el diseño de la unidad, en el próximo capítulo se da una explicación mas detallada del mismo..

c) "CASO 3 Variación en Velocidad de retrolavado UC".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

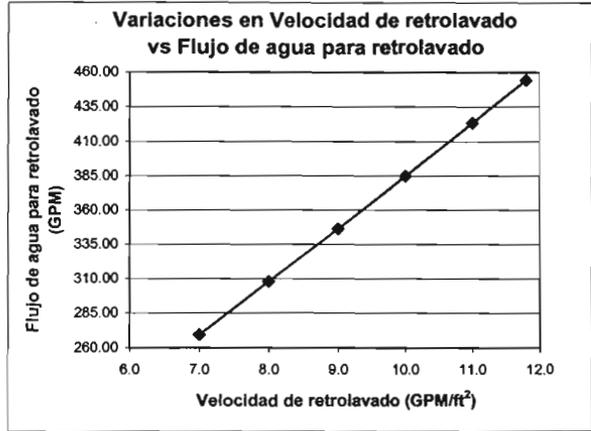
Volumen total de resina	(ft ³).	265.78
Profundidad cama de resina	(ft)	6.91
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	88.36
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	5204.58
Tiempo de regeneración	(min)	20.00
Flujo de ácido sulfúrico al 98%	(GPM)	4.51
Flujo de ácido sulfúrico al 3%	(GPM)	265.78
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 1
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 2
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	5116.2
Flujo de agua para dilución	(GPM)	261.27
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 3
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	265.78
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 4
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	Variaciones mostradas en grafica 5
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	13289.2
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	398.67
Tiempo de enjuague	(min)	34.00
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 6

FLUJO DE AGUA PARA RETROLAVADO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Flujo de agua para retrolavado (GPM)	% *
7.0	269.39	0.0
8.0	307.88	14.29
9.0	346.36	28.57
10.0	384.85	42.86
11.0	423.33	57.14
11.8	454.12	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



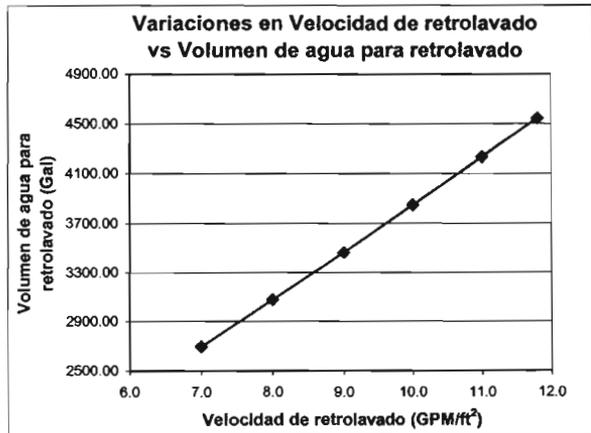
Grafica 2

VOLUMEN AGUA PARA RETROLAVADO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Volumen de agua para retrolavado (Gal)	% *
7.0	2693.92	0.0
8.0	3078.76	14.29
9.0	3463.61	28.57
10.0	3848.46	42.86
11.0	4233.30	57.14
11.8	4541.83	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



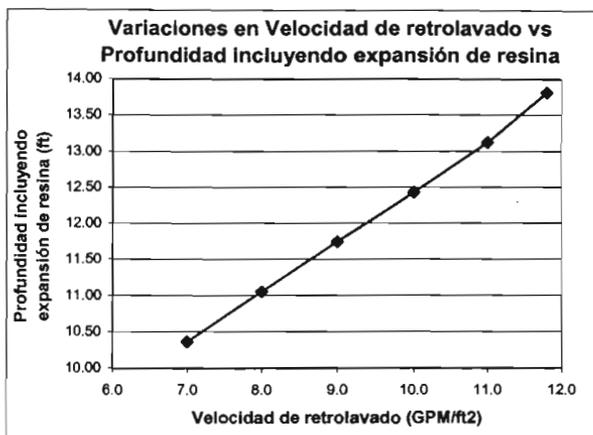
Grafica 1

PROFUNDIDAD INCLUYENDO EXPANSIÓN DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Profundidad incluyendo expansión de resina (ft)	% *
7.0	10.36	0.0
8.0	11.05	6.66
9.0	11.74	13.32
10.0	12.43	19.98
11.0	13.12	26.64
11.8	13.81	33.30

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



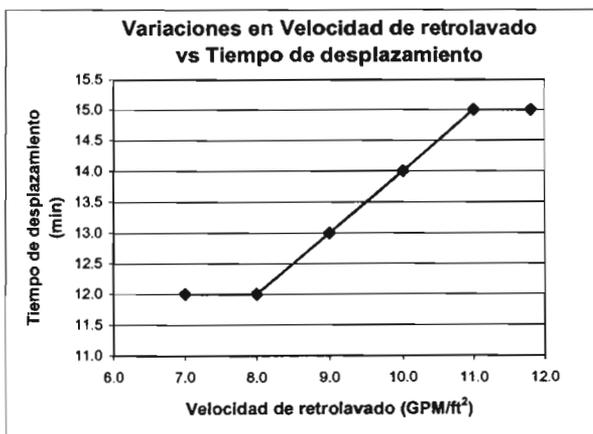
Grafica 4

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Tiempo de desplazamiento (min)	% *
7.0	12.0	0.00
8.0	12.0	0.00
9.0	13.0	8.33
10.0	14.0	16.67
11.0	15.0	25.00
11.8	15.0	25.00

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



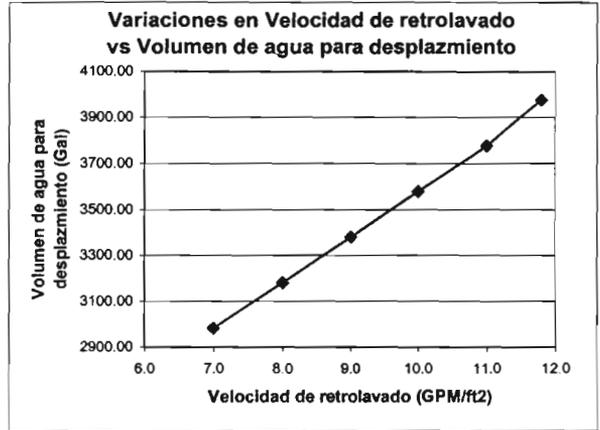
Grafica 5

VOLUMEN DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Volumen de agua para desplazamiento (Gal)	% *
7.0	2982.09	0.0
8.0	3180.89	6.67
9.0	3379.70	13.33
10.0	3578.50	20.00
11.0	3777.31	26.67
11.8	3976.11	33.33

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



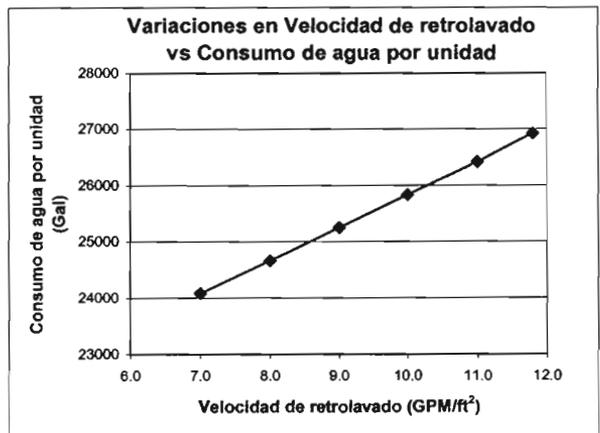
Grafica 3

CONSUMO TOTAL DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Consumo de agua por unidad (Gal)	% *
7.0	24081	0.0
8.0	24665	2.43
9.0	25249	4.85
10.0	25832	7.27
11.0	26416	9.70
11.8	26923	11.80

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



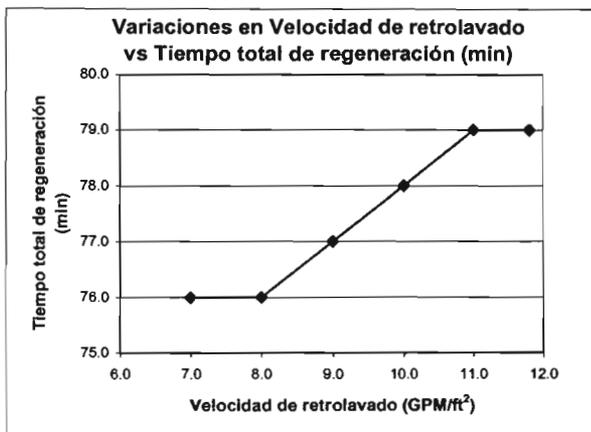
Grafica 6

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de retrolavado (GPM/ft ²)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
7.0	76.0	0.0
8.0	76.0	0.3
9.0	77.0	1.6
10.0	78.0	2.9
11.0	79.0	4.0
11.8	79.0	4.2

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 7.0



d) "CASO 4 Variación en Tiempo de Retrolavado UC".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

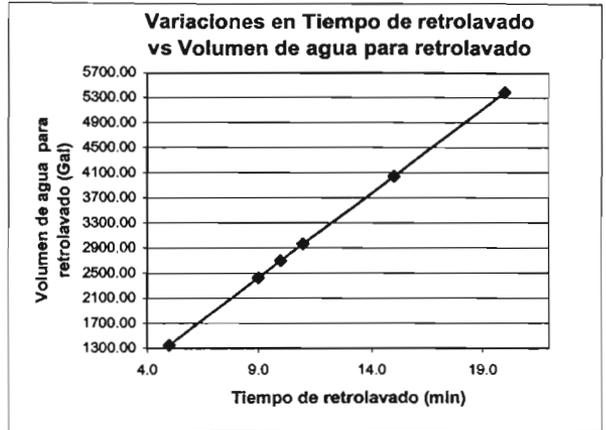
Volumen total de resina	(ft ³).	265.78
Profundidad cama de resina	(ft)	6.91
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	88.36
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	5204.58
Tiempo de regeneración	(min)	20.00
Flujo de ácido sulfúrico al 98%	(GPM)	4.51
Flujo de ácido sulfúrico al 3%	(GPM)	265.78
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 1
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	269.39
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	5116.2
Flujo de agua para dilución	(GPM)	261.27
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	2982.09
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	265.78
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	10.36
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	12.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	13289.2
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	398.67
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 2
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 3

VOLUMEN AGUA PARA RETROLAVADO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Tiempo de retrolavado (min)	Volumen de agua para retrolavado (Gal)	% *
5.0	1346.96	-50.0
9.0	2424.53	-10.0
10.0	2693.92	0.0
11.0	2963.31	10.0
15.0	4040.88	50.0
20.0	5387.84	100.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Tiempo ret 10.0



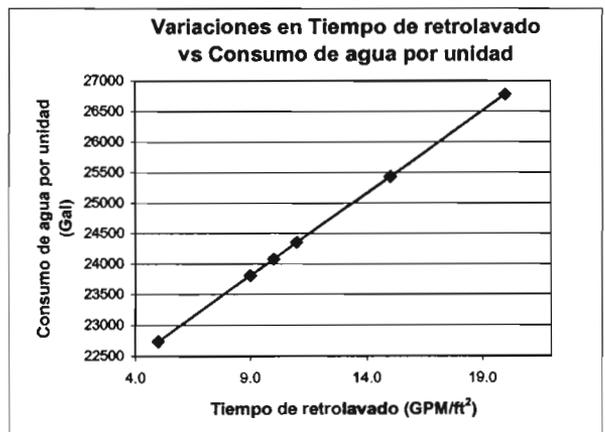
Grafica 1

CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Tiempo de retrolavado (min)	Consumo de agua por unidad (Gal)	% *
5.0	22734	-5.59
9.0	23812	-1.12
10.0	24081	0.0
11.0	24351	1.12
15.0	25428	5.59
20.0	26775	11.19

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Tiempo ret 10.0



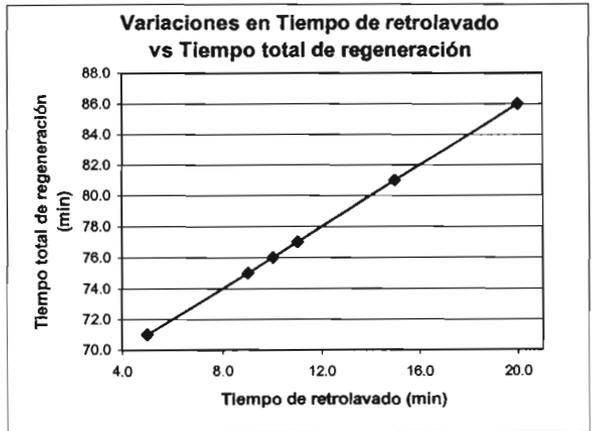
Grafica 2

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Tiempo de retrolavado (min)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
5.0	71.0	-6.6
9.0	75.0	-1.3
10.0	76.0	0.0
11.0	77.0	1.3
15.0	81.0	6.6
20.0	86.0	13.2

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Tiempo ret 10.0



e) "CASO 5 Variación en Velocidad de Regeneración UC."

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

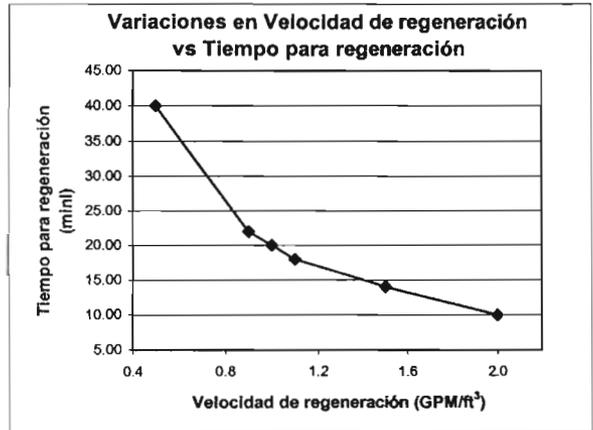
Volumen total de resina	(ft ³).	265.78
Profundidad cama de resina	(ft)	6.91
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	88.36
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	5204.58
Tiempo de regeneración	(min)	Variaciones mostradas en grafica 1
Flujo de ácido sulfúrico al 98%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 2
Flujo de ácido sulfúrico al 3%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 3
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	2693.92
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	269.39
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	5116.2
Flujo de agua para dilución	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 4
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	2982.09
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 5
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	10.36
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	Variaciones mostradas en grafica 6
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	13289.2
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	398.67
Tiempo de enjuague	(min)	34.00
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	24081.00
Consumo anual de agua	(Gal)	8789703

TIEMPO DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del **anexo 1**.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Tiempo para regeneración (min)	% *
0.5	40.00	100.0
0.9	22.00	10.0
1.0	20.00	0.0
1.1	18.00	-10.0
1.5	14.00	-30.0
2.0	10.00	-50.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



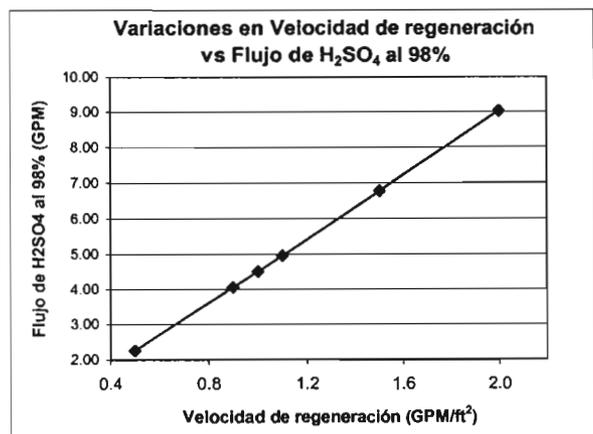
Grafica 1

FLUJO DE ÁCIDO SULFÚRICO AL 98%.

Los siguientes resultados provienen del **anexo 1**.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de H ₂ SO ₄ al 98% (GPM)	% *
0.5	2.26	100.0
0.9	4.06	10.0
1.0	4.51	0.0
1.1	4.96	-10.0
1.5	6.77	-30.0
2.0	9.02	-50.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



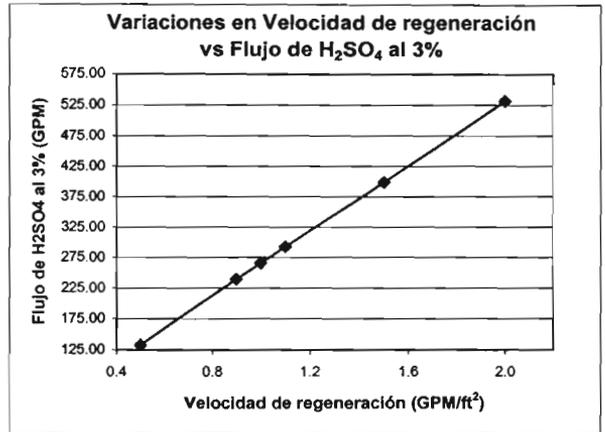
Grafica 2

FLUJO DE ÁCIDO SULFÚRICO AL 3%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de H ₂ SO ₄ al 3% (GPM)	% *
0.5	132.89	-50.0
0.9	239.20	-10.0
1.0	265.78	0.0
1.1	292.36	10.0
1.5	398.67	50.0
2.0	531.57	100.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



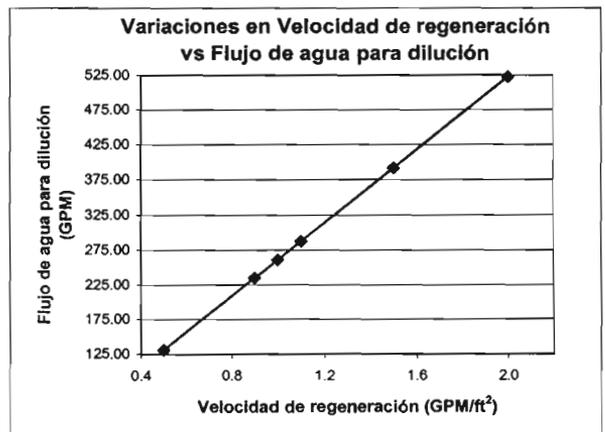
Grafica 3

FLUJO DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de agua para dilución (GPM)	% *
0.5	130.64	-50.0
0.9	235.14	-10.0
1.0	261.27	0.0
1.1	287.40	10.0
1.5	391.91	50.0
2.0	522.54	100.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



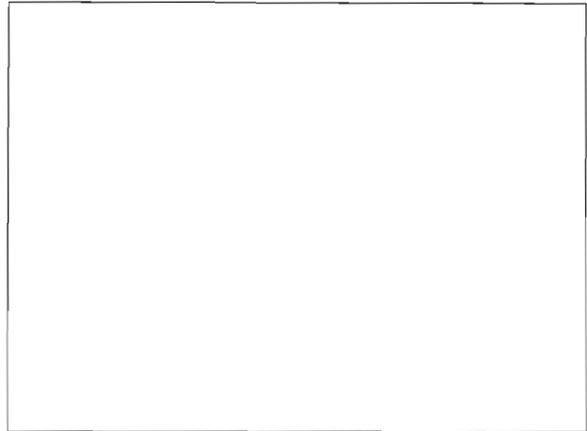
Grafica 4

FLUJO DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de agua para desplazamiento (GPM)	% *
0.5	132.89	-50.0
0.9	239.20	-10.0
1.0	265.78	0.0
1.1	292.36	10.0
1.5	398.67	50.0
2.0	531.57	100.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



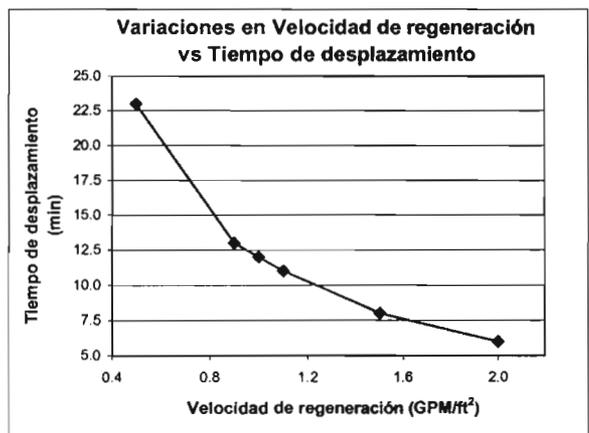
Grafica 5

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Tiempo de desplazamiento (GPM)	% *
0.5	23.0	91.67
0.9	13.0	8.33
1.0	12.0	0.0
1.1	11.0	8.33
1.5	8.0	33.33
2.0	6.0	50.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



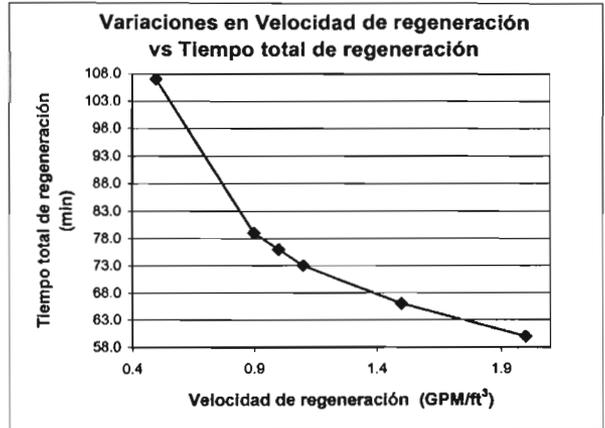
Grafica 6

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
0.5	107.0	41.0
0.9	79.0	4.0
1.0	76.0	0.0
1.1	73.0	-4.0
1.5	66.0	-13.0
2.0	60.0	21.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 1.0



f) "CASO 6 Variación en Velocidad de Enjuague UC".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

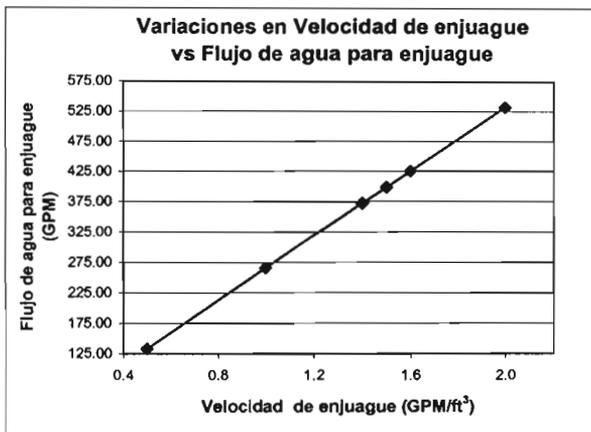
Volumen total de resina	(ft ³).	265.78
Profundidad cama de resina	(ft)	6.91
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	88.36
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	5204.58
Tiempo de regeneración	(min)	20.00
Flujo de ácido sulfúrico al 98%	(GPM)	4.51
Flujo de ácido sulfúrico al 3%	(GPM)	265.78
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	2693.92
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	269.39
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	5116.2
Flujo de agua para dilución	(GPM)	261.27
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	2982.09
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	265.78
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	10.36
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	12.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	13289.2
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 1
Tiempo de enjuague	(min)	Variaciones mostradas en grafica 2
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	24081.00
Consumo anual de agua	(Gal)	8789703

FLUJO DE AGUA PARA ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de enjuague (GPM/ft ³)	Flujo de agua para enjuague (GPM)	% *
0.5	132.89	-66.67
1.0	265.78	-33.33
1.4	372.10	-6.6
1.5	398.67	0.0
1.6	425.25	6.66
2.0	531.57	33.34

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel enj 1.5



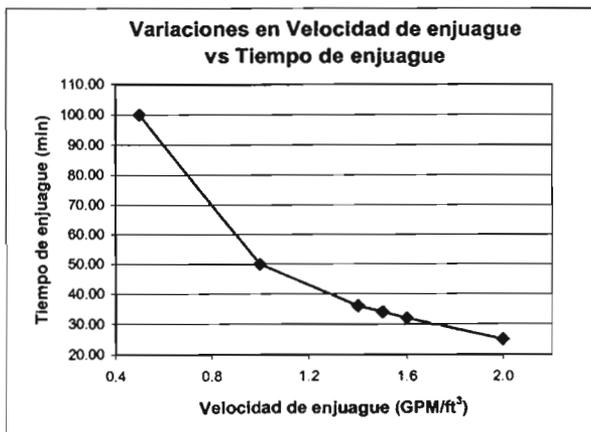
Grafica 1

TIEMPO DE ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de enjuague (GPM/ft ³)	Tiempo de enjuague (min)	% *
0.5	100.00	194.12
1.0	50.00	47.06
1.4	36.00	5.88
1.5	34.00	0.0
1.6	32.00	-5.88
2.0	25.00	-26.47

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel enj 1.5



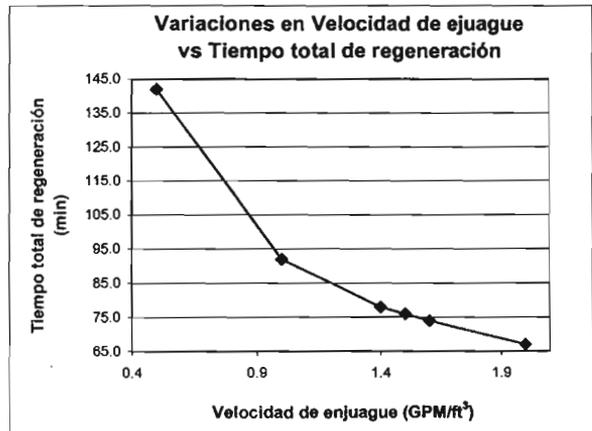
Grafica 2

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de enjuague (GPM/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
0.5	142.0	87.0
1.0	92.0	21.0
1.4	78.0	3.0
1.5	76.0	0.0
1.6	74.0	-3.0
2.0	67.0	-12.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel enj 1.5



g) "CASO 7 Variación en Concentración de Regenerante UC".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

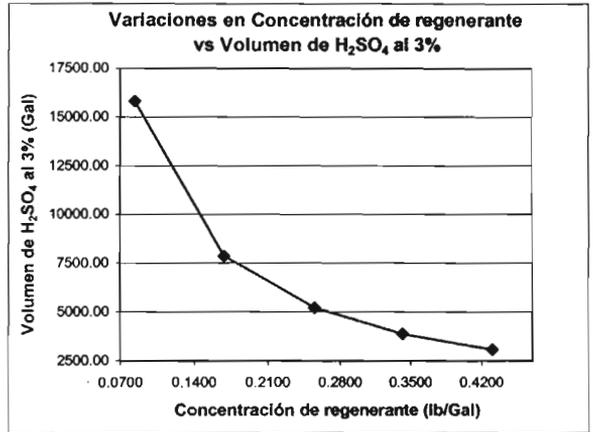
Volumen total de resina	(ft ³).	265.78
Profundidad cama de resina	(ft)	6.91
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.02
Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad	(Gal)	88.36
Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 1
Tiempo de regeneración	(min)	Variaciones mostradas en grafica 2
Flujo de ácido sulfúrico al 98%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 3
Flujo de ácido sulfúrico al 3%	(GPM)	265.78
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	2693.92
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	269.39
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 4
Flujo de agua para dilución	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 5
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	2982.09
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	265.78
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	10.36
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	12.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	13289.2
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	398.67
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 6

VOLUMEN DE ÁCIDO SULFÚRICO AL 3%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Volumen de H ₂ SO ₄ al 3% (Gal)	% *
0.0839	15818.45	203.93
0.1689	7857.72	50.98
0.2550	5205.58	0.0
0.3422	3878.34	-25.48
0.4305	3082.85	-40.77

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



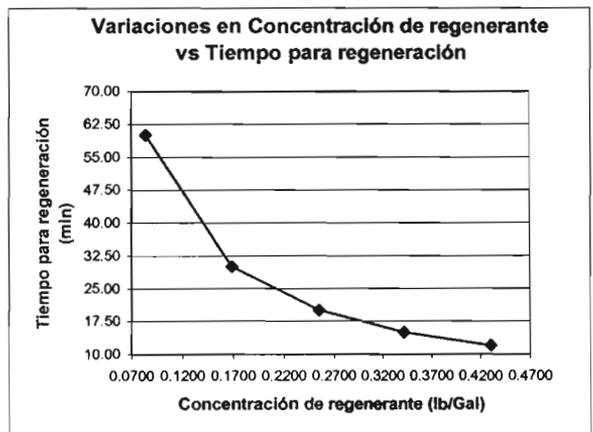
Grafica 1

TIEMPO DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Tiempo para regeneración (min)	% *
0.0839	60.00	200.0
0.1689	30.00	50.0
0.2550	20.00	0.0
0.3422	15.00	-25.0
0.4305	12.00	-40.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



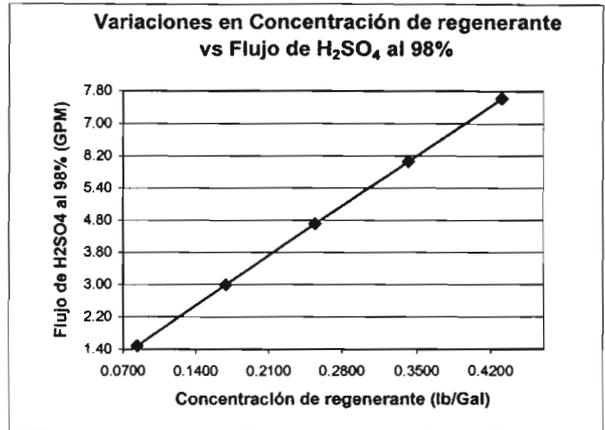
Grafica 2

FLUJO DE ÁCIDO SULFÚRICO AL 98%.

Los siguientes resultados provienen del **anexo 1**.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Flujo de H ₂ SO ₄ al 98% (GPM)	% *
0.0839	1.48	-67.18
0.1689	2.99	-33.70
0.2550	4.51	0.0
0.3422	6.06	34.37
0.4305	7.62	68.96

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



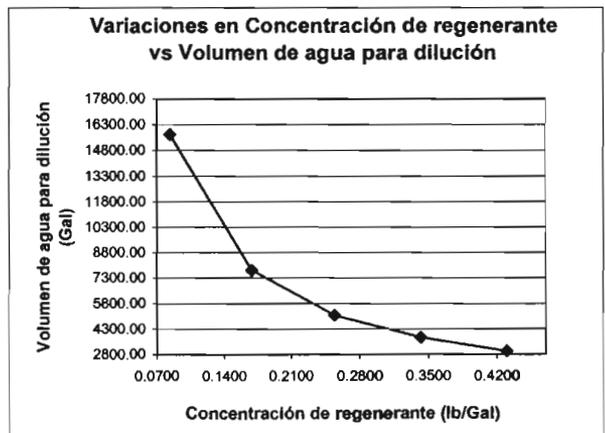
Grafica 3

VOLUMEN DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del **anexo 1**.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Volumen de agua para dilución (Gal)	% *
0.0839	15730.10	207.46
0.1689	7769.40	51.86
0.2550	5116.20	0.0
0.3422	3790.00	-25.92
0.4305	2994.50	-41.47

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



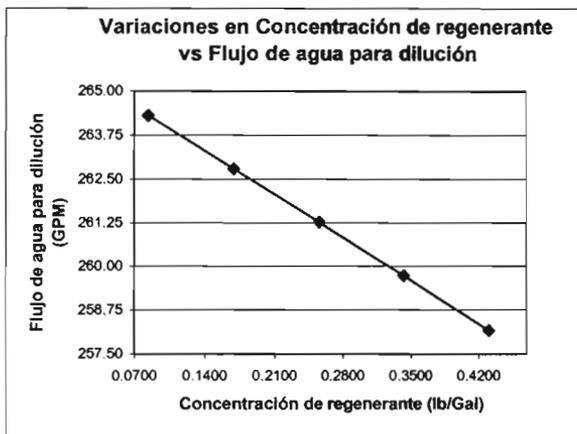
Grafica 4

FLUJO DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Flujo de agua para dilución (GPM)	% *
0.0839	264.30	1.16
0.1689	262.79	0.58
0.2550	261.27	0.0
0.3422	259.73	-0.59
0.4305	258.17	-1.19

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



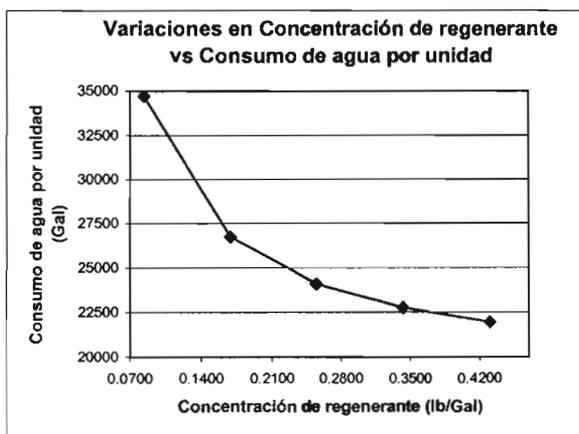
Grafica 5

CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Consumo de agua por unidad (Gal)	% *
0.0839	34695	44.08
0.1689	26735	11.02
0.2550	24081	0.0
0.3422	22755	-5.51
0.4305	21960	-9.93

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



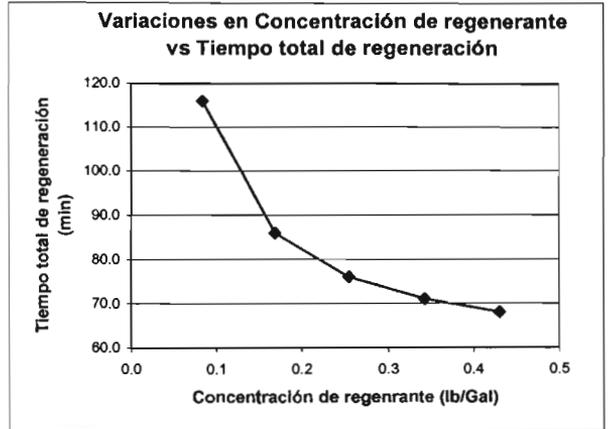
Grafica 6

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del **anexo 1**.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
0.0839	116.0	53.0
0.1689	86.0	13.0
0.2550	76.0	0.0
0.3422	71.0	-7.0
0.4305	68.0	-11.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc reg 0.2550%



3.3 EVALUACIÓN DE LA UNIDAD ANIÓNICA.

3.3.1 Características del agua que se alimenta a la unidad aniónica.

Los cálculos se realizan en base a información para la resina **Amberlite IRA-402**.

A continuación se indican: el flujo a considerar y las características del agua que alimenta a la unidad aniónica.

Flujo de operación	550 (GPM)
Temperatura	82.4 (°F)
Ciclo de operación de la	12 (Hrs)

ANIONES (ppm como CaCO ₃)			
HCO ₃	0	0	0%
SO ₄	29.94	30.0	44.78%
Cl	33.97	34.0	50.75%
PO ₄	2.98	3.0	4.47%
TA =		67.0	100.00%

CATIONES (ppm como CaCO ₃)			
Ca	0	0	0.00%
Mg	0	0	0.00%
Na	9.98	10.0	14.93%
H	56.93	57.00	86.57%
TC =		67.00	100.00%

Alcalinidad F 0 ppm como CaCO₃

Alcalinidad M 111.33 ppm como CaCO₃

Debido a que no se reporta contenido de iones carbonato e hidróxido, la alcalinidad M corresponde únicamente al valor de iones bicarbonato

3.3.1.1 Total de aniones intercambiables:

Acidez Mineral Total (AMT):

$$\text{Acidez Mineral Total (AMT)} = \text{Cantidad de SO}_4 \text{ (ppm como CaCO}_3\text{)} + \text{Cantidad de Cl (ppm como CaCO}_3\text{)} \\ + \text{Cantidad de PO}_4 \text{ (ppm como CaCO}_3\text{)}$$

Sustituyendo:

$$\text{Acidez Mineral Total (AMT)} = 29.94 \text{ ppm CaCO}_3 + 33.97 \text{ ppm CaCO}_3 + 2.98 \text{ ppm CaCO}_3 = 66.83 \text{ ppm CaCO}_3 \\ 66.83 = 67$$

Para obtener el total de aniones intercambiables (TAI), que es el valor que se utilizará para determinar la capacidad de la resina, debemos tener todos los aniones en ppm de CaCO₃

Por otra parte para utilizar la grafica, de donde obtendremos la capacidad de resina, el CO₂ y el SiO₂ deben de estar como ácidos H₂CO₃ y H₂SiO₃ respectivamente, a continuación se muestra como se realiza la conversión en los siguientes dos pasos:

Primer paso: El CO₂ y el SiO₂ se pasan a ppm de CaCO₃:**CO₂ a ppm como CaCO₃:**

$$\text{CO}_2 \text{ en ppm de CaCO}_3 = \text{ppm de CO}_2 * \left(\frac{\text{Peso equivalente CaCO}_3}{\text{Peso equivalente CO}_2} \right)$$

Sustituyendo:

$$\text{CO}_2 \text{ en ppm de CaCO}_3 = \text{ppm de CO}_2 * \left(\frac{50}{44} \right) = 4.84 * 1.13 = 5.47 \text{ ppm como CaCO}_3 \\ 5.47 = 5.5$$

SiO₂ a ppm como CaCO₃:

$$\text{SiO}_2 \text{ en ppm de CaCO}_3 = \text{ppm de SiO}_2 * \left(\frac{\text{Peso equivalente CaCO}_3}{\text{Peso equivalente SiO}_2} \right)$$

Sustituyendo:

$$\text{SiO}_2 \text{ en ppm de CaCO}_3 = \text{ppm de SiO}_2 * \left(\frac{50}{60} \right) = 5.25 * 0.83 = 4.36 \text{ ppm como CaCO}_3 \\ 4.36 = 4.4$$

Segundo paso: Se tienen que pasar, tanto el CO₂ como el SiO₂ a ácidos, por lo tanto:**CO₂ a H₂CO₃:**

$$\text{H}_2\text{CO}_3 \text{ en ppm de CaCO}_3 = \left(\frac{\text{ppm como CaCO}_3 * \text{PM H}_2\text{CO}_3}{\text{PM CO}_2} \right)$$

Sustituyendo:

$$\text{H}_2\text{CO}_3 \text{ en ppm de CaCO}_3 = \frac{5.47 \text{ ppm CaCO}_3 * 62 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}{44 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} = 7.7 \text{ ppm CaCO}_3 \\ 7.7 = 8.0$$

SiO₂ a H₂SiO₃:

$$H_2SiO_3 \text{ en ppm de } CaCO_3 = \left(\frac{\text{ppm como } CaCO_3 * PM H_2SiO_3}{PM SiO_2} \right)$$

Sustituyendo:

$$H_2SiO_3 \text{ en ppm de } CaCO_3 = \frac{4.36 \text{ ppm } CaCO_3 * 62 \frac{gr}{mol}}{44 \frac{gr}{mol}} = 5.6 \text{ ppm } CaCO_3$$

5.6 = 6

Por lo que los aniones intercambiables (TAI) son:

$$TAI = AMT + H_2SiO_3 + H_2CO_3$$

Sustituyendo:

$$TAI = 67 \text{ ppm } CaCO_3 + 6 \text{ ppm } CaCO_3 + 8 \text{ ppm } CaCO_3 = 81 \text{ ppm } CaCO_3$$

81

3.3.1.2 Porcentajes.

Fuga esperada de sílice:

CO ₂	4.84	mg CO ₂ / l
SiO ₂	5.25	mg SiO ₂ / l
Fuga esperada =	2 ppm como CaCO₃	

Porcentaje de Fuga de sílice:

$$\% \text{ Fuga} = \left(\frac{\text{Fuga esperada}}{\text{Total de Aniones}} \right) * 100$$

Sustituyendo valores:

$$\% \text{ Fuga} = \left(\frac{2}{67} \right) * 100 = 2.99\%$$

Basándonos en los datos proporcionados en el punto 3.2.1, se calculan los siguientes porcentajes:

Porcentaje de Acidez Mineral Total:

$$\% \text{ de AMT} = \left(\frac{AMT}{TAI} \right) * 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de AMT} = \left(\frac{67 \text{ ppm } CaCO_3}{81 \text{ ppm } CaCO_3} \right) * 100 = 82.72\%$$

82.72%

Porcentaje de Cloruros:

$$\% \text{ de Cl} = \left(\frac{\text{Cl}}{\text{TAI}} \right) * 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de Cl} = \left(\frac{34 \text{ ppm CaCO}_3}{81 \text{ ppm CaCO}_3} \right) * 100 = 42.19\%$$

42.19%**Porcentaje de ácido silícico:**

$$\% \text{ de H}_2\text{SiO}_3 = \left(\frac{\text{H}_2\text{SiO}_3}{\text{TAI}} \right) * 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de H}_2\text{SiO}_3 = \left(\frac{6 \text{ ppm CaCO}_3}{81 \text{ ppm CaCO}_3} \right) * 100 = 7.41\%$$

7.41%**Porcentaje de ácido carbónico:**

$$\% \text{ de H}_2\text{CO}_3 = \left(\frac{\text{H}_2\text{CO}_3}{\text{TAI}} \right) * 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de H}_2\text{CO}_3 = \left(\frac{8 \text{ ppm CaCO}_3}{81 \text{ ppm CaCO}_3} \right) * 100 = 9.88\%$$

9.88%**Cl + SO₄, como CaCO₃****Porcentaje de Cl + SO₄:**

$$\% \text{ de Cl + SO}_4 = \left(\frac{\text{Cl + SO}_4}{\text{TAI}} \right) * 100$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de Cl + SO}_4 = \left(\frac{[34.17 + 29.94] \text{ ppm CaCO}_3}{81 \text{ ppm CaCO}_3} \right) * 100 = 79.15\%$$

79.15%

Los porcentajes obtenidos anteriormente nos sirven para determinar cuales son los criterios de diseño que se van a utilizar, estos criterios de diseño se muestra como se obtienen en el **apéndice 2**.

3.3.2 Especificación de los criterios de diseño a utilizar.

Debido a que el objetivo es observar el análisis de sensibilidad de la unidad, este se realizará de la siguiente forma.

Se determinarán cuales serán los criterios de diseño que se utilizarán como base, esta elección de criterios de diseño se hace con el fin de simplificar el análisis ya que si se hicieran todas las combinaciones posibles para los diferentes criterios de diseño que se muestran en el **apéndice 2** se tendría que hacer un análisis muy grande que podría resultar hasta cierto punto enredoso, por lo tanto los criterios de diseño que se utilizarán son:

Velocidad de operación 13.8 GPM / ft².

Se utilizará este valor, ya que como se mencionó en el apéndice 1 es muy recomendable que la **caída de presión** para determinar la velocidad de operación debe ser igual o muy similar a **1 psi/ft**, y la caída de presión para determinar el valor de 13.8 GPM/ft² es de 1 psi/ft.

Expansión de la cama de resina 50 %.

Es recomendado por proveedores que el valor propuesto para la **expansión de la cama de resina** sea un mínimo del **50%**, por lo que se tomará este valor para realizar el análisis de la unidad.

Velocidad de retrolavado 2.7 GPM / ft².

Este valor esta en función de **expansión de la cama de resina**, y como se determino que el valor para la expansión sea de **50%** a esté valor le corresponde una velocidad de retrolavado de 2.7 GPM / ft².

Tiempo de retrolavado 10 minutos.

De proveedores se recomienda utilizar 10 minutos, ya que con este tiempo se asegura tener un buen proceso de retrolavado.

Velocidad de regeneración 0.5 GPM / ft³.

Es el dato recomendado por proveedores.

Velocidad de enjuague 1.5 GPM / ft³.

Al igual que el criterio anterior es un dato recomendado por proveedores.

Nivel de regeneración 6 lbs H₂SO₄ / ft³.

Este valor se utilizará por ser el primer nivel de regeneración con el cual puede operar la resina, ya que no hay una razón en especial para que esté sea el elegido para el análisis, tomando en cuenta que se pudo haber utilizado cualquier otro nivel de regeneración.

Capacidad de resina 13.0 kgranos / ft³.

Debido a que la capacidad de resina esta en función del nivel de regeneración y tomando en cuenta que el **nivel de regeneración** a considerar es de 6, le corresponde una **capacidad de resina** de 13.0 kgranos/ft³.

Concentración de regenerante 4%.

Este valor se eligió en base al trabajo realizado a PEMEX.

Concentración de regenerante 0.3481 lb/Gal.

El valor correspondiente a la **concentración al 4%** es de 0.3481 lb/Gal.

Por lo tanto los criterios base que se utilizarán para el análisis de las unidades aniónicas son:

Criterios de diseño	Unidades	Criterios base
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8
Expansión cama	%	50
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7
Tiempo retrolavado	Min	10
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0
Concentración regenerante	%	4.0
Concentración regenerante	lb/Gal	0.3481

Tabla 1

3.3.3. Variación de los criterios de diseño.

Como se menciona anteriormente, en el **apéndice 2** se obtuvieron diferentes valores para los criterios de diseño, por lo tanto para realizar el análisis se mantendrán constantes la mayoría de los criterios de diseño mostrados arriba y se realizarán variaciones en algunos de estos, esto con el fin de observar la sensibilidad de la unidad.

En los **"casos"** que a continuación se muestran, se indicará cuales y que valores tendrán los criterios que se van a variar y cuales se tomarán como constantes.

CASO 1.

Se realizará variaciones en:

- **Nivel regeneración.**
- **Capacidad resina.**

Por lo que los valores a considerar son:

Crterios para análisis	Unidades	Valores		
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8		
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7		
Tiempo retrolavado	min	10.0		
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5		
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5		
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0	8.0	10.0
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0	14.5	15.2
Expansión cama	%	50.0		
Concentración regenerante	%	4.0		
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.3481		

Tabla 2

CASO 2.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad operación.**

Por lo que los valores a considerar son:

Crterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	6.5	10.0	13.8	16.0	19.0	24.0
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.00					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	4.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.3481					

Tabla 3

CASO 3.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad retrolavado.**
- **Expansión cama.**

Por lo que los valores a considerar son:

zCriterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7	3.2	3.6	4.1	4.7	5.1
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0					
Expansión cama	%	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
Concentración regenerante	%	4.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.3481					

Tabla 4

CASO 4.

Se realizará variaciones en:

- **Tiempo retrolavado.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7					
Tiempo retrolavado	min	5.0	9.0	10.0	11.0	15.0	20.0
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	4.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.3481					

Tabla 5

CASO 5.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad regeneración.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.4	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5					
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	4.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.3481					

Tabla 6

CASO 6.

Se realizará variaciones en:

- **Velocidad enjuague.**

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores					
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8					
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7					
Tiempo retrolavado	min	10.0					
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5					
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	0.5	1.0	1.4	1.5	1.6	2.0
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0					
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0					
Expansión cama	%	50.0					
Concentración regenerante	%	4.0					
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.3481					

Tabla 7

CASO 7.

Se realizará variaciones en:

- Concentración regenerante %.
- Concentración regenerante.

En este "caso" se variarán el porcentaje y valor de la concentración de regenerante dejando constantes los demás criterios con el fin de observar la sensibilidad de la unidad cuando hay variaciones en estos criterios.

Por lo que los valores a considerar son:

Criterios para análisis	Unidades	Valores			
Velocidad operación	GPM/ft ²	13.8			
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	2.7			
Tiempo retrolavado	min	10.0			
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	0.5			
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5			
Nivel regeneración	Lb H ₂ SO ₄ /ft ³	6.0			
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	13.0			
Expansión cama	%	50.0			
Concentración regenerante	%	1.0	2.0	3.0	5.0
Concentración regenerante	Lb/Gal	0.0842	0.1704	0.2583	0.3481

Tabla 8

3.3.4. CÁLCULOS (COMPORTAMIENTO) DE LA UNIDAD ANIÓNICA.

3.3.4.1 Selección del diámetro (con base en la velocidad de operación especificada).

El primer punto y de gran importancia antes de revisar los casos antes mencionados, es determinar el diámetro adecuado con el que se va a trabajar.

Los diámetros propuestos son los siguientes:

- 5 ft.
- 6 ft.
- 7ft.
- 8ft.

La velocidad de operación que se utilizó es la de 13.8 GPM/ft², ya que corresponde a una caída de presión de 1 psi/ft que es lo más recomendado.

Los cálculos aparecen en el **anexo 1** por lo que a continuación se muestran los resultados para saber cual es el diámetro a utilizar.

La cantidad de unidades a utilizar dependiendo del diámetro al que se trabaje se muestra a continuación:

	Diámetros			
	5	6	7	8
Cantidad de unidades requeridas	2.0	2.0	1.0	1.0

Y el factor de mayor importancia para determinar cual es el diámetro a utilizar es que la **velocidad** de operación calculada se lo mas cercana a la velocidad de operación propuesta, por lo que las velocidades obtenidas son:

	Diámetros			
	5	6	7	8
Velocidad de operación calculada (GPM/ft ²)	14.0	9.7	14.3	10.9
Velocidad de operación propuesta (GPM/ft ²)	13.8	13.8	13.8	13.8

De las velocidades de operación que se observan en la tabla se determina que los **diámetros de 6 y 8 ft** no pueden ser utilizados, ya que la diferencia entre las velocidades (determinada y calculada) son muy grandes y en caso de utilizarse causarían daños al equipo.

En el caso de utilizar unidades con **diámetro de 5 ft**, se necesitarían dos unidades en operación, y se tendrían que tener otras dos unidades en espera, para que cuando las primeras salgan a regeneración las otras entren en operación, lo cual no es conveniente ya que se necesitaría mas espacio para colocar las cuatro unidades, además de que el costo de los equipos seria mayor.

Por lo que el **diámetro** que se podría considerar ideal es de **7ft**, ya que se necesitarían solo dos unidades, una en operación y otra en espera, además de que no se ocuparía mucho espacio para colocarlas y este es el diámetro que se utilizará para los cálculos.

3.2.4.2 Efecto de la variación de cada criterios de diseño sobre las especificaciones de la unidad catiónica

Una vez que se han determinado los criterios de diseño y el diámetro a utilizar, en **este capítulo** solo se presentan los resultados de mayor importancia y el efecto de las variación de los criterios que son el objetivo de este trabajo:

- o Volumen total de resina (ft³).
- o Volumen de ácido sulfúrico al 98% por unidad (Gal).
- o Volumen de ácido sulfúrico al 3 % por unidad (Gal).
- o Tiempo de regeneración (min).
- o Flujo de ácido sulfúrico al 98% (GPM).
- o Flujo de ácido sulfúrico al 3% (GPM).
- o Volumen de agua para retrolavado (Gal).
- o Flujo de agua para retrolavado (GPM).
- o Tiempo de retrolavado (min).
- o Volumen de agua para dilución (Gal).
- o Flujo de agua para dilución (GPM).
- o Volumen de agua para desplazamiento (Gal).
- o Flujo de agua para desplazamiento (GPM).
- o Profundidad incluyendo expansión de resina (ft).
- o Tiempo de desplazamiento (min).
- o Volumen de agua para enjuague (Gal).
- o Flujo de agua para enjuague (GPM).
- o Tiempo de enjuague (min).
- o Consumo total de agua por unidad (Gal).
- o Consumo anual de agua (Gal).

Estos resultados son los mas importantes ya que determinaran la cantidad de resina para lograr el intercambio de iones deseado, la cantidad de ácido sulfúrico para regenerar a la resina, el volumen y flujo de agua para cada uno de los pasos de la regeneración (Retrolavado, dilución, desplazamiento y enjuague), así como los tiempos en que duraran los pasos antes mencionados y por lo tanto el consumo total de agua.

Los resultados se presentaran en tablas y en caso de que haya variaciones en alguno de éstos se representaran en gráficas, para así ver la sensibilidad de la unidad.

A continuación se muestran los resultados para los “casos” antes mencionados.

a) "CASO 1 Variación en Capacidad de Resina".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

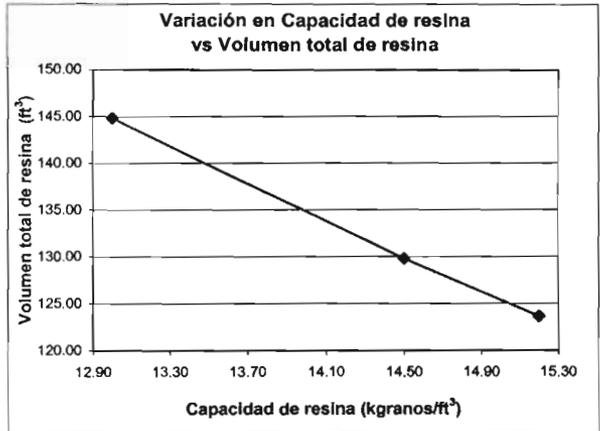
Volumen total de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 1
Profundidad cama de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 2
Regeneración por unidad	(Hrs)	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 3
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 4
Tiempo de regeneración (min).	(min)	Variaciones mostradas en grafica 5
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 6
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 7
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	1039.08
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	103.91
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 8
Flujo de agua para dilución	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 9
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 10
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 11
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 12
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	23.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 13
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 14
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 15

VOLUMEN TOTAL DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen total de resina (ft ³)	%
13.00	144.81	0.0
14.50	129.80	10.37
15.20	123.62	14.63

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



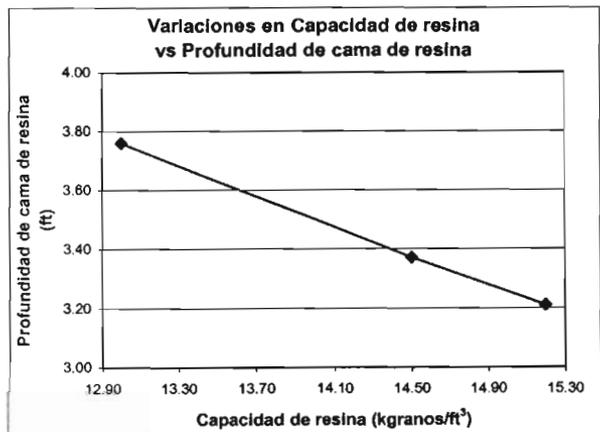
Grafica 1

PROFUNDIDAD DE CAMA DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Profundidad de cama de resina (ft)	%
13.00	3.76	0
14.50	3.37	10.37
15.20	3.21	14.63

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



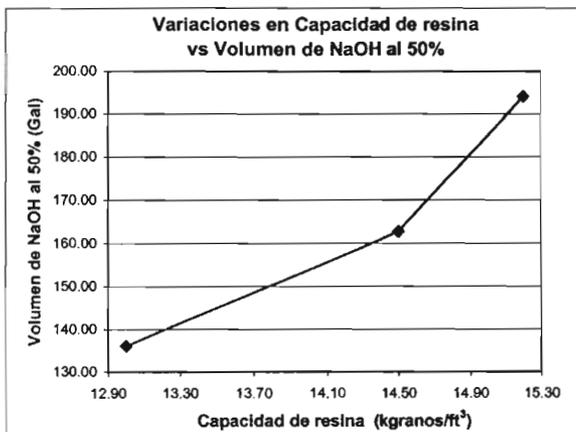
Grafica 2

VOLEMUN DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 50%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de NaOH al 50% (Gal)	%
13.00	136.12	0
14.50	162.72	14.54
15.20	194.04	42.55

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



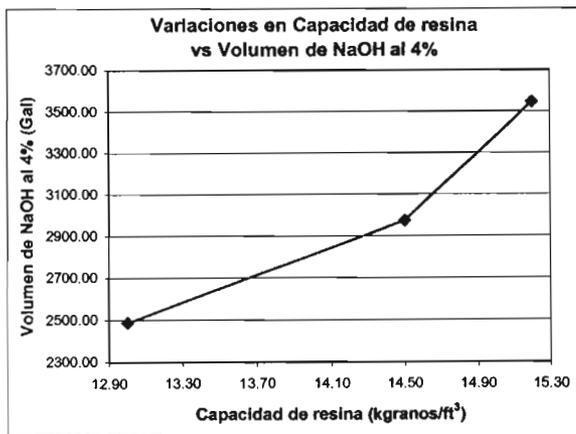
Grafica 3

VOLEMUN DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 4%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de NaOH al 4% (Gal)	%
13.00	2487.07	0
14.50	2973.05	19.54
15.20	3545.17	42.55

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



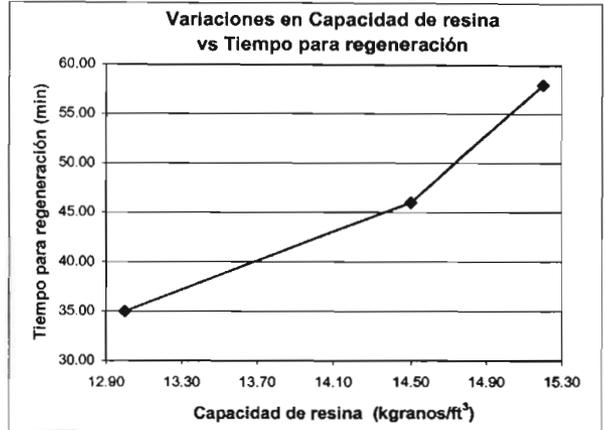
Grafica 4

TIEMPO DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Tiempo para regeneración	%
13.00	35.00	0
14.50	46.00	31.43
15.20	58.00	65.71

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



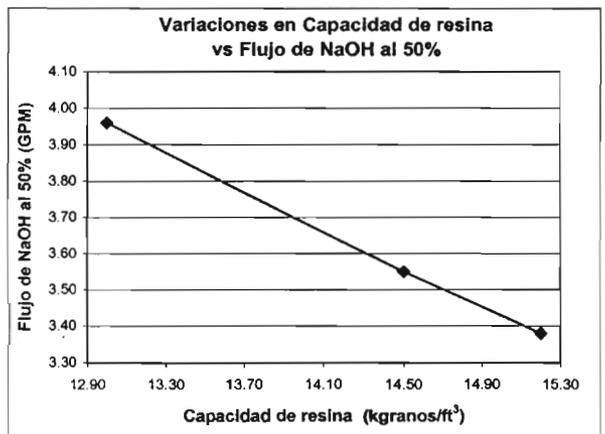
Grafica 5

FLUJO DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 50%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de NaOH al 50% (GPM)	%
13.00	3.96	0.0
14.50	3.55	10.35
15.20	3.38	14.65

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



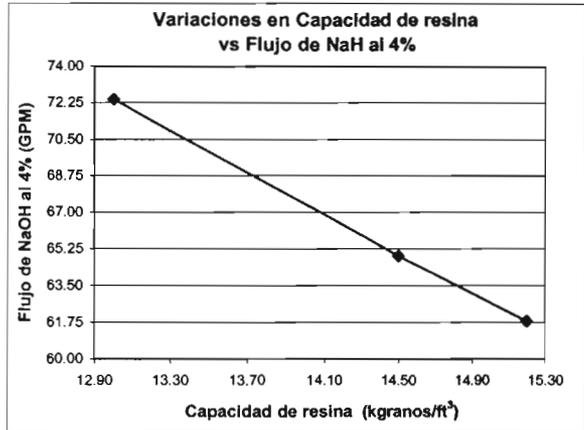
Grafica 6

FLUJO DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 4%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de NaOH al 4% (GPM)	%
13.00	72.41	0.0
14.50	64.90	10.35
15.20	61.81	14.65

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



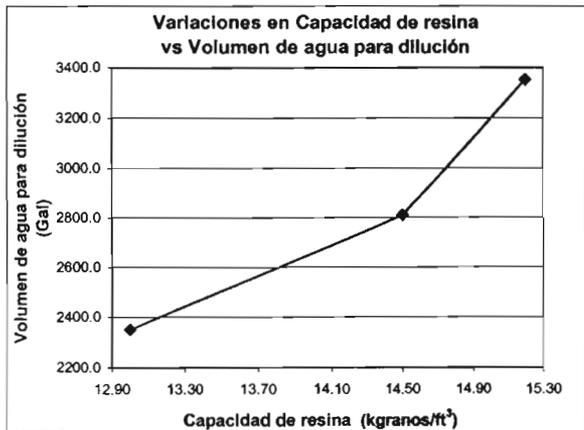
Grafica 7

VOLUMEN DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para dilución (Gal)	%
13.00	2350.9	0.0
14.50	2810.3	19.54
15.20	3351.1	42.55

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



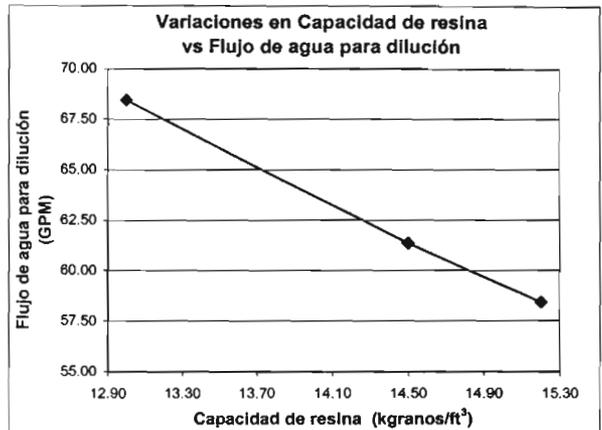
Grafica 8

FLUJO DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para dilución (GPM)	%
13.00	68.44	0.0
14.50	61.35	10.36
15.20	58.43	14.63

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



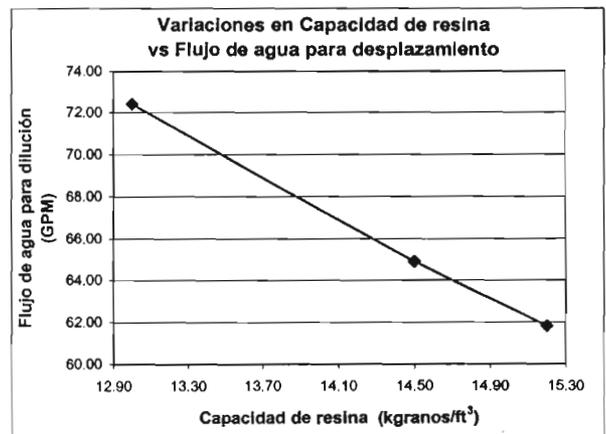
Grafica 9

FLUJO DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para desplazamiento (GPM)	%
13.00	72.41	0.0
14.50	64.90	10.36
15.20	61.81	14.64

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



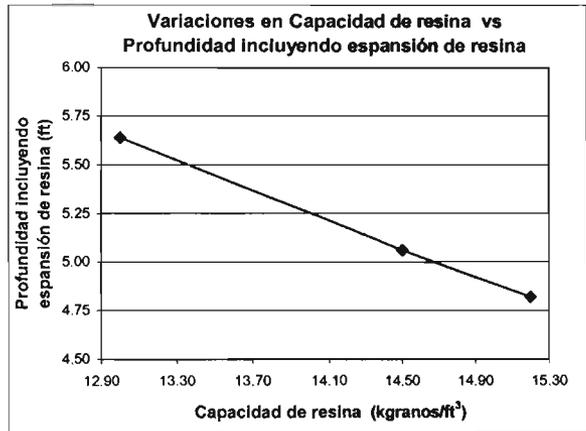
Grafica 11

PROFUNDIDAD INCLUYENDO EXPANSIÓN DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Profundidad Incluyendo expansión de resina (ft)	%
13.00	5.64	0.0
14.50	5.06	10.28
15.20	4.82	14.54

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



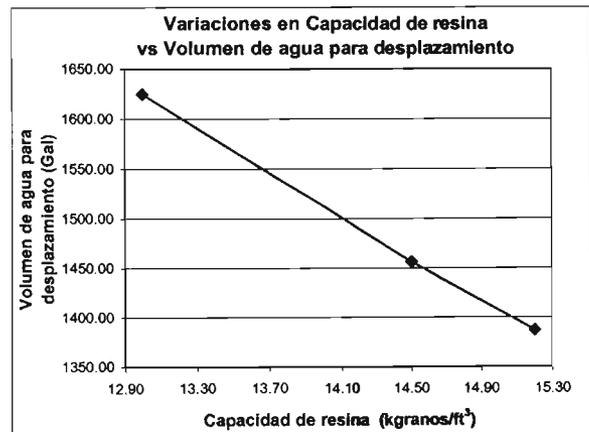
Grafica 12

VOLUMEN DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para desplazamiento (Gal)	%
13.00	1624.80	0.0
14.50	1456.37	10.37
15.20	1387.02	14.63

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



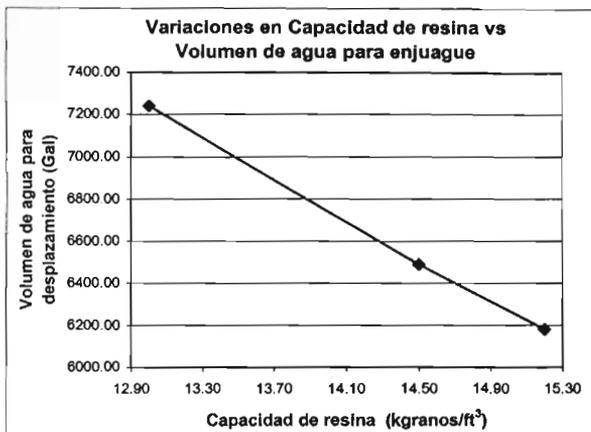
Grafica 10

VOLUMEN DE AGUA PARA ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para enjuague (Gal)	%
13.00	7240.60	0.0
14.50	6490.10	10.37
15.20	6181.00	14.63

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



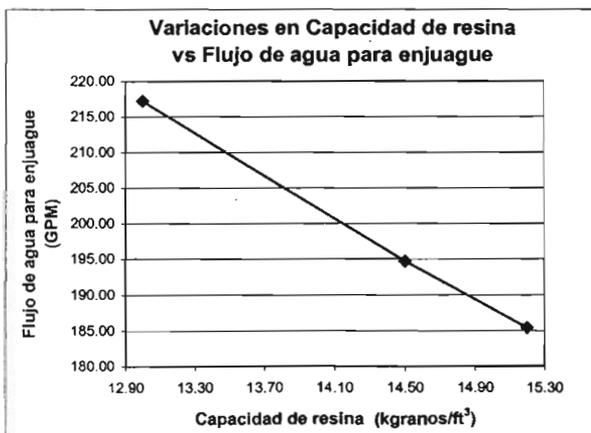
Grafica 13

FLUJO DE AGUA PARA ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para enjuague (GPM)	%
13.00	217.22	0.0
14.50	194.70	10.37
15.20	185.43	14.63

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



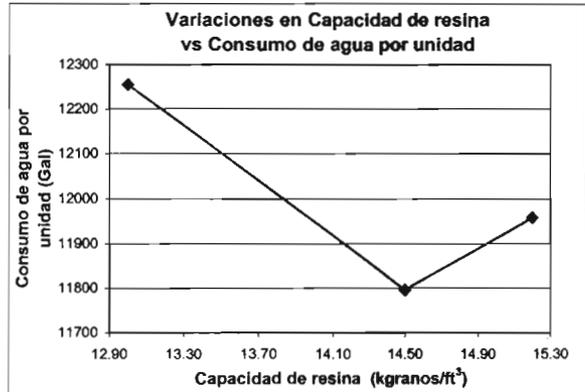
Grafica 14

CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Consumo de agua por unidad (Gal)	%
13.00	12255	0.0
14.50	11796	3.75
15.20	11958	2.42

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



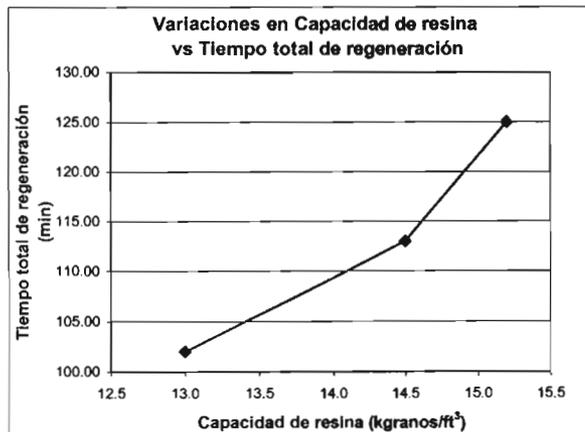
Grafica 15

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	%
13.0	102.00	0.0
14.5	113.00	11.0
15.2	125.00	23.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Cap res 13.00.



b) "CASO 2 Variación en Velocidad de Operación UA".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

		1 Unidad
Volumen total de resina	(ft ³).	144.81
Profundidad cama de resina por unidad	(ft)	3.76
Regeneración por unidad	(Hrs).	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	136.12
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	2487.07
Tiempo de regeneración por unidad	(min)	35
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	3.96
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	72.41
Volumen de agua para retrolavado por unidad	(Gal)	1039.08
Flujo de agua para retrolavado por unidad	(GPM)	103.91
Tiempo de retrolavado por unidad	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución por unidad	(Gal)	2350.90
Flujo de agua para dilución por unidad	(GPM)	68.44
Volumen de agua para desplazamiento por unidad	(Gal)	1624.79
Flujo de agua para desplazamiento por unidad	(GPM)	72.41
Profundidad incluyendo expansión de resina por unidad	(ft)	5.64
Tiempo de desplazamiento por unidad	(min)	23.00
Volumen de agua para enjuague por unidad	(Gal)	7240.60
Flujo de agua para enjuague por unidad	(GPM)	217.22
Tiempo de enjuague por unidad	(min)	34.00
Consumo total de agua por ciclo	(Gal)	12255
Tiempo total de regeneración por unidad		4437228

Para este "caso" en especial se presentan los resultados en la tabla y no se presentaran en graficas como se hace con los demás casos, ya que no hay variaciones que mostrar, debido a que se utilizaron solo dos valores de velocidad de operación para los cálculos y para estos valores solo se utilizará 1 unidad en cada caso.

c) "CASO 3 Variación en Velocidad de Retrolavado UA".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

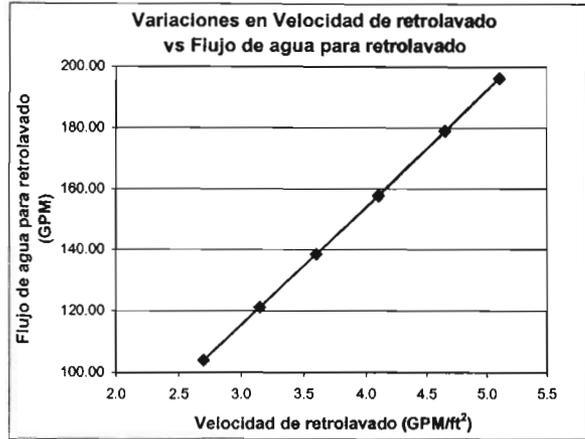
Volumen total de resina	(ft)	144.81
Profundidad cama de resina	(ft)	3.76
Regeneración por unidad	(Hrs)	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	136.12
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	2487.07
Tiempo de regeneración (min).	(min)	35
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	3.96
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	72.41
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 1
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 2
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	2350.90
Flujo de agua para dilución	(GPM)	68.44
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 3
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	72.41
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	Variaciones mostradas en grafica 4
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	Variaciones mostradas en grafica 5
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	7240.60
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	217.22
Tiempo de enjuague	(min)	34.00
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 6

FLUJO DE AGUA PARA RETROLAVADO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Flujo de agua para Retrolavado (GPM)	%
2.7	103.91	0.0
3.2	121.23	14.29
3.6	138.54	28.57
4.1	157.79	42.86
4.7	178.95	57.14
5.1	196.27	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



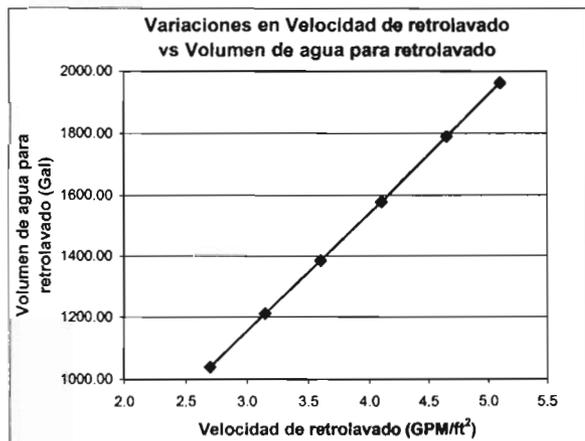
Grafica 2

VOLUMEN AGUA PARA RETROLAVADO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen agua para Retrolavado (Gal)	%
2.7	1039.08	0.0
3.2	1212.26	14.29
3.6	1385.45	28.57
4.1	1577.87	42.86
4.7	1789.53	57.14
5.1	1962.71	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



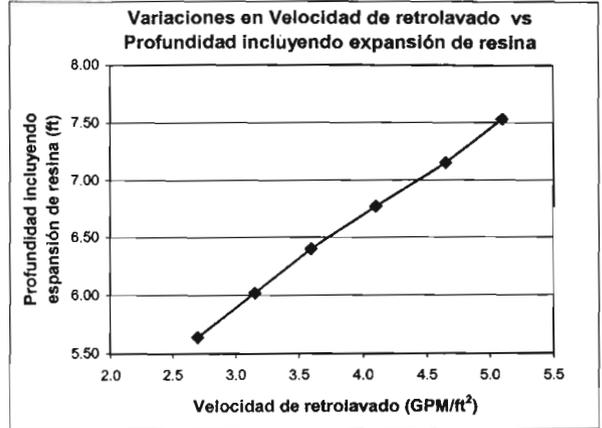
Grafica 1

PROFUNDIDAD INCLUYENDO EXPANSIÓN DE RESINA.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Profundidad incluyendo expansión de resina (ft)	%
2.7	5.64	0.0
3.2	6.02	14.29
3.6	6.40	28.57
4.1	6.77	42.86
4.7	7.15	57.14
5.1	7.53	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



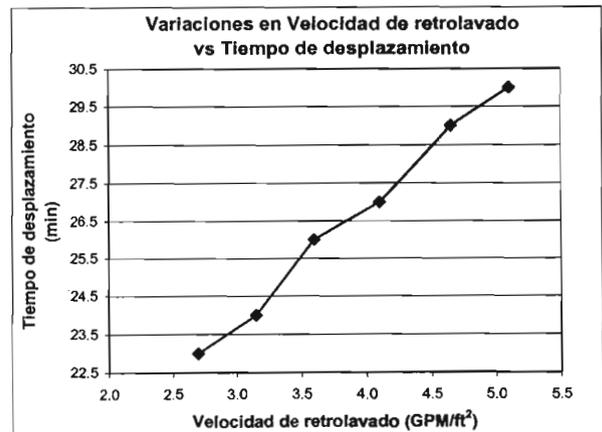
Grafica 4

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Tiempo de desplazamiento (min)	%
2.7	23.0	0.0
3.2	24.0	14.29
3.6	26.0	28.57
4.1	27.0	42.86
4.7	29.0	57.14
5.1	30.0	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



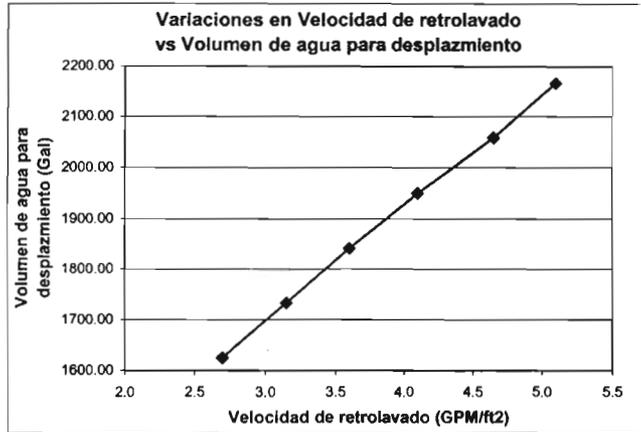
Grafica 5

VOLUMEN DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Volumen de agua para desplazamiento (Gal)	%
2.7	1624.79	0.0
3.2	1733.11	14.29
3.6	1841.43	28.57
4.1	1949.75	42.86
4.7	2058.07	57.14
5.1	2166.39	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



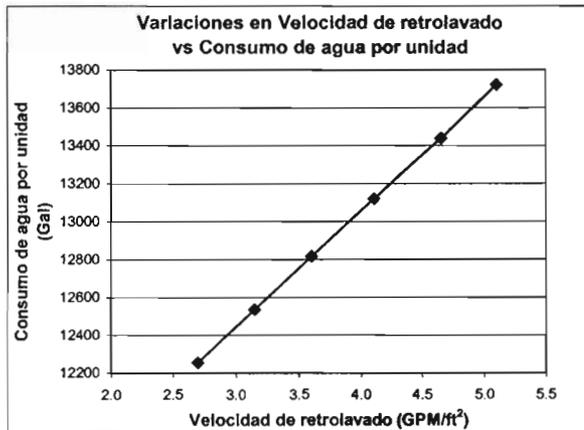
Grafica 3

CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Consumo de agua por unidad (Gal)	%
2.7	12255	0.0
3.2	12537	14.29
3.6	12818	28.57
4.1	13119	42.86
4.7	13439	57.14
5.1	13721	68.57

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



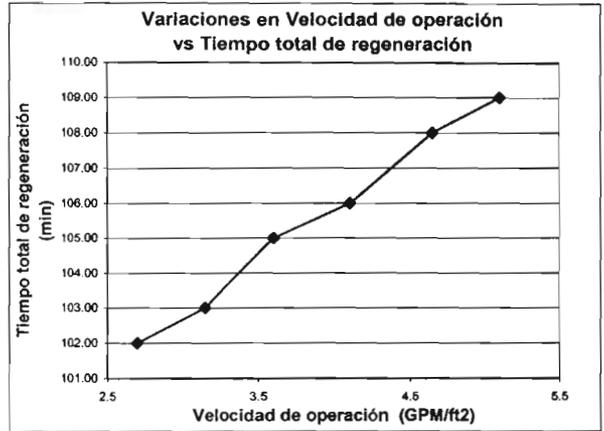
Grafica 6

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Capacidad de resina (kgranos/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	%
2.7	102.00	0.0
3.2	103.00	1.1
3.6	105.00	3.0
4.1	106.00	4.0
4.7	108.00	6.0
5.1	109.00	7.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel ret 2.7.



d) "CASO 4 Variación en Tiempo de Retrolavado UA".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

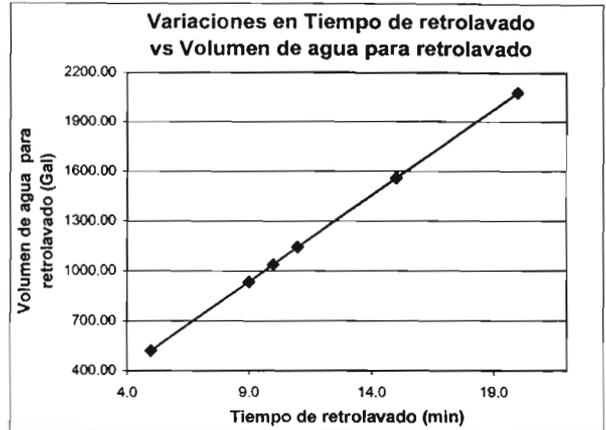
Volumen total de resina	(ft)	144.81
Profundidad cama de resina	(ft)	3.76
Regeneración por unidad	(Hrs)	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	136.12
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	2487.07
Tiempo de regeneración (min).	(min)	35
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	3.96
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	72.41
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 1
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	103.91
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	2350.90
Flujo de agua para dilución	(GPM)	68.44
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	1624.79
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	72.41
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	5.64
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	23.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	7240.60
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	217.22
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en grafica 2

VOLUMEN AGUA PARA RETROLAVADO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Tiempo de retrolavado (min)	Volumen de agua para retrolavado (Gal)	%
5.0	519.54	-50.0
9.0	935.18	-10.0
10.0	1039.08	0.0
11.0	1142.99	10.0
15.0	1558.63	50.0
20.0	2078.17	100.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Tiemp ret 10.0.



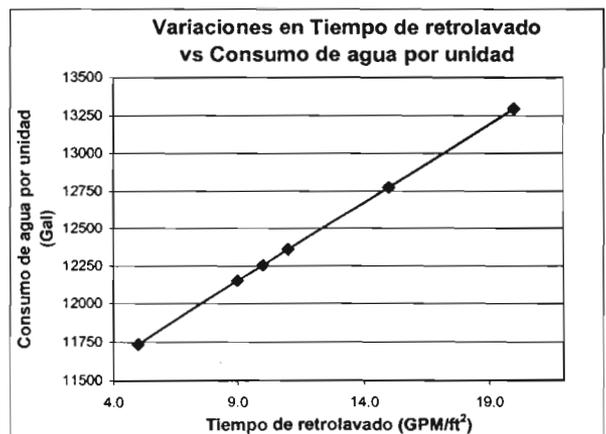
Grafica 1

CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Tiempo de retrolavado (min)	Consumo de agua por unidad (Gal)	%
5.0	11736	-4.24
9.0	12152	-0.84
10.0	12255	0.0
11.0	12359	0.84
15.0	12775	4.24
20.0	13295	8.49

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Tiemp ret 10.0.



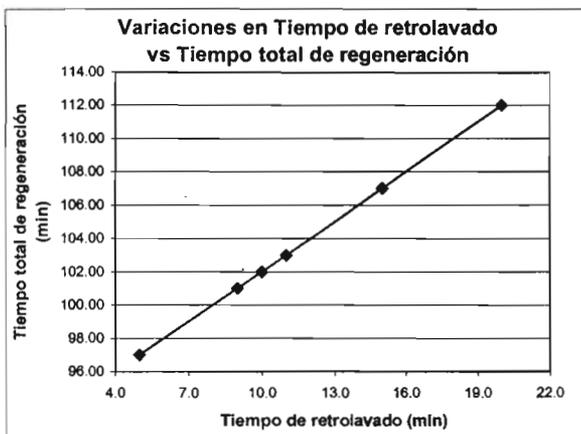
Grafica 2

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Tiempo de retrolavado (min)	Tiempo total de regeneración (min)	%
5.0	97.00	-5.0
9.0	101.00	-1.0
10.0	102.00	0.0
11.0	103.00	1.0
15.0	107.00	5.0
20.0	112.00	10.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Tiemp ret 10.0.



e) "CASO 5 Variación en Velocidad de Regeneración UA."

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

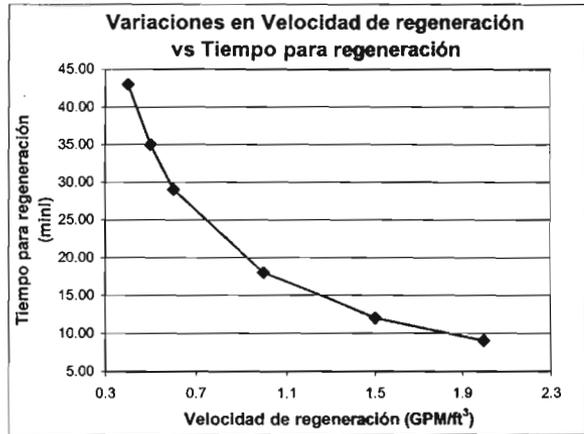
Volumen total de resina	(ft)	144.81
Profundidad cama de resina	(ft)	3.76
Regeneración por unidad	(Hrs)	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	136.12
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	2487.07
Tiempo de regeneración (min).	(min)	Variaciones mostradas en grafica 1
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 2
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 3
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	1039.08
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	103.91
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	2350.90
Flujo de agua para dilución	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 4
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	1624.79
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	Variaciones mostradas en grafica 5
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	5.64
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	Variaciones mostradas en grafica 6
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	7240.60
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	217.22
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	12255
Consumo anual de agua	(Gal)	4437228

TIEMPO DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Tiempo para regeneración (min)	% *
0.4	43.00	48.28
0.5	35.00	0.0
0.6	29.00	-20.96
1.0	18.00	-37.93
1.5	12.00	-58.62
2.0	9.00	-68.97

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



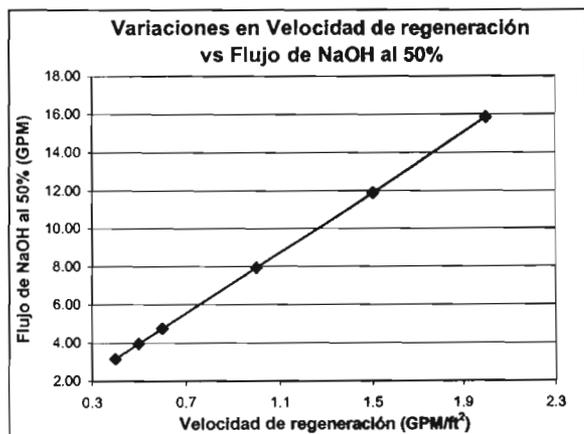
Grafica 1

FLUJO DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 50%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de NaOH al 50% (GPM)	% *
0.4	3.17	-33.40
0.5	3.96	0.0
0.6	4.76	16.81
1.0	7.93	66.60
1.5	11.89	149.79
2.0	15.85	232.98

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



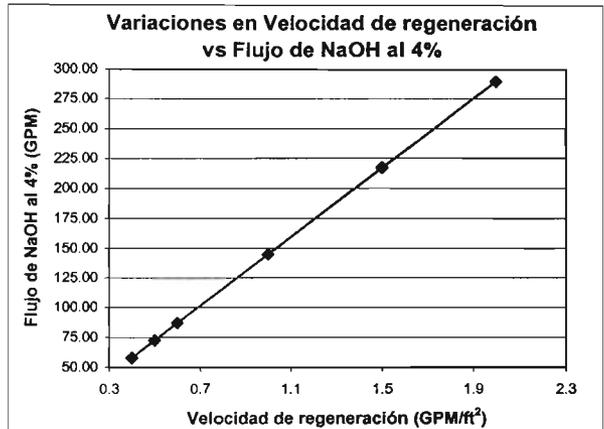
Grafica 2

FLUJO DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 4%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de NaOH al 4% (GPM)	% *
0.4	57.92	-33.40
0.5	72.41	0.0
0.6	86.89	16.66
1.0	144.81	66.66
1.5	217.22	149.66
2.0	289.62	233.32

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



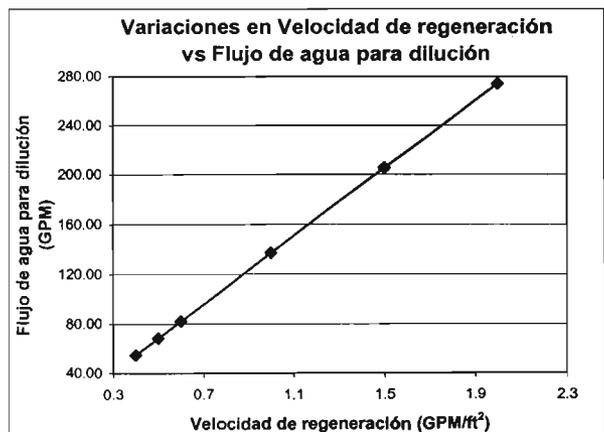
Grafica 3

FLUJO DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de agua para dilución (GPM)	% *
0.4	54.75	-33.34
0.5	68.44	0.0
0.6	82.13	16.67
1.0	136.89	66.66
1.5	205.33	149.66
2.0	273.77	233.34

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



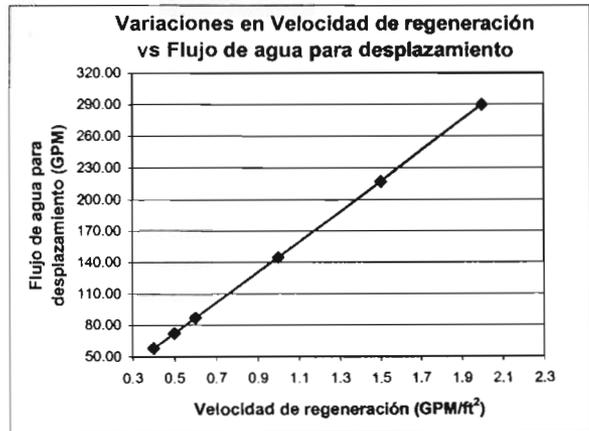
Grafica 4

FLUJO DE AGUA PARA DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Flujo de agua para desplazamiento (GPM)	% *
0.4	57.92	-33.34
0.5	72.11	0.0
0.6	86.89	16.66
1.0	144.81	66.66
1.5	217.22	149.99
2.0	289.62	233.32

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



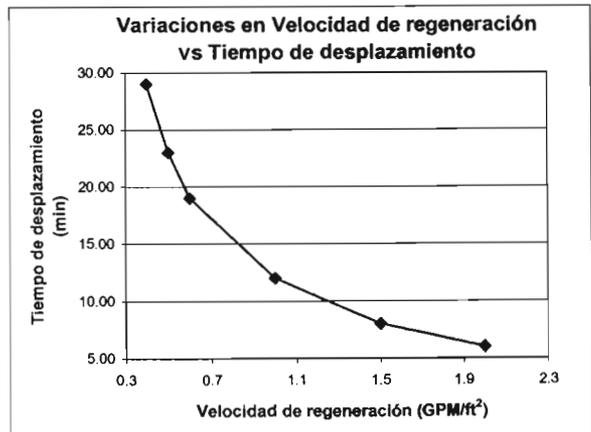
Grafica 5

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Tiempo de desplazamiento (min)	% *
0.4	29.00	52.63
0.5	23.00	0.0
0.6	19.00	-21.05
1.0	12.00	-36.84
1.5	8.00	-57.89
2.0	6.00	-68.42

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



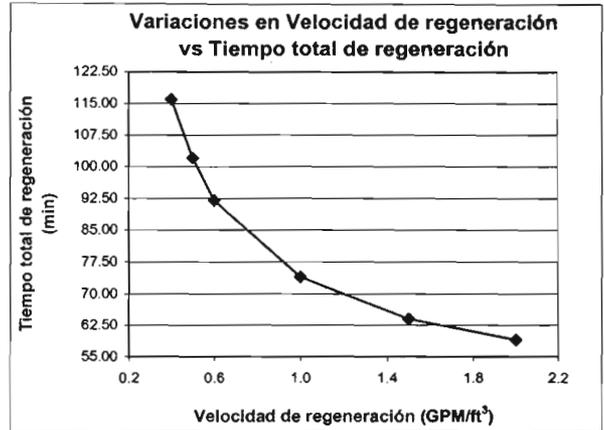
Grafica 6

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de regeneración (GPM/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
0.4	116.00	14.0
0.5	102.00	0.0
0.6	92.00	-10.0
1.0	74.00	-27.0
1.5	64.00	-37.0
2.0	59.00	-42.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel reg 0.5.



f) "CASO 6 Variación en Velocidad de Enjuague UA".

En este "caso 1" se muestran los resultados de mas importancia analiza el la sensibilidad de la

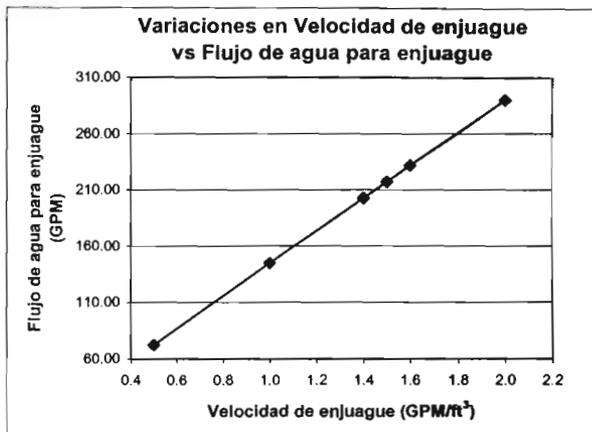
Volumen total de resina	(ft)	144.81
Profundidad cama de resina	(ft)	3.76
Regeneración por unidad	(Hrs)	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	136.12
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	2487.07
Tiempo de regeneración (min).	(min)	35
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	3.96
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	72.41
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	1039.08
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	103.91
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	2350.90
Flujo de agua para dilución	(GPM)	68.44
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	1624.79
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	72.41
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	5.64
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	23.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	7240.60
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	Variaciones mostradas en graficas 1
Tiempo de enjuague	(min)	Variaciones mostradas en graficas 2
Consumo total de agua por unidad	(Gal)	12255
Consumo anual de agua	(Gal)	4437228

FLUJO DE AGUA PARA ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de enjuague (GPM/ft ³)	Flujo de agua para enjuague (GPM)	% *
0.5	72.41	-66.67
1.0	144.81	-33.33
1.4	202.74	-6.67
1.5	217.22	0.0
1.6	231.70	6.67
2.0	289.62	33.33

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel enj 1.5.



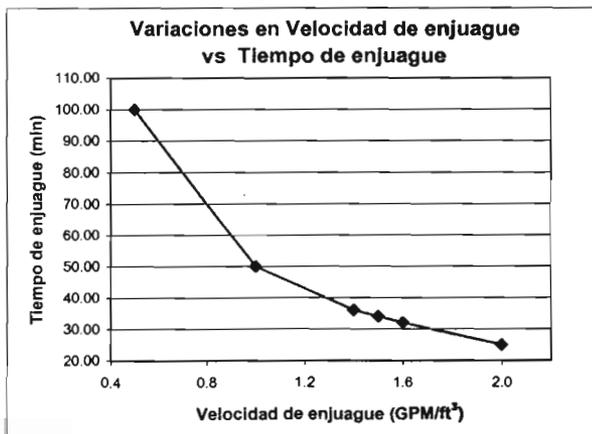
Grafica 1

TIEMPO DE ENJUAGUE.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Velocidad de enjuague (GPM/ft ³)	Tiempo de enjuague (min)	% *
0.5	100.00	194.12
1.0	50.00	47.06
1.4	36.00	5.88
1.5	34.00	0.0
1.6	32.00	-5.88
2.0	25.00	-26.47

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel enj 1.5.



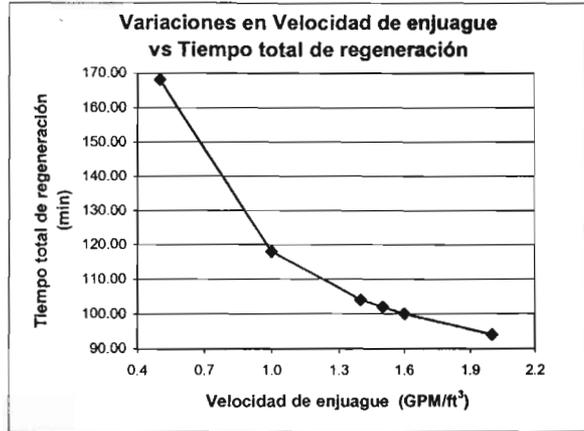
Grafica 2

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del **anexo 1**.

Velocidad de enjuague (GPM/ft ³)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
0.5	168.00	65.0
1.0	118.00	16.0
1.4	104.00	2.0
1.5	102.00	0.0
1.6	100.00	-2.0
2.0	94.00	-8.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Vel enj 1.5.



g) "CASO 7 Variación en Concentración de Regenerante UA".

A continuación se muestra una tabla en la que aparecen los resultados para este criterio de diseño:

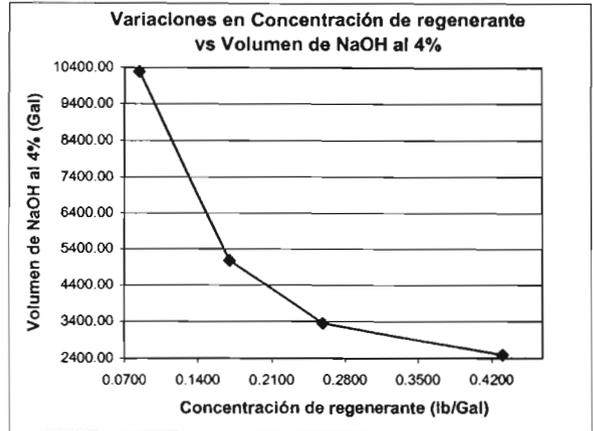
Volumen total de resina	(ft)	144.81
Profundidad cama de resina	(ft)	3.76
Regeneración por unidad	(Hrs)	12.04
Volumen de Hidróxido de sodio al 50% por unidad	(Gal)	136.12
Volumen de Hidróxido de sodio al 4% por unidad	(Gal)	Variaciones mostradas en graficas 1
Tiempo de regeneración (min).	(min)	Variaciones mostradas en graficas 2
Flujo de Hidróxido de sodio al 50%	(GPM)	Variaciones mostradas en graficas 3
Flujo de Hidróxido de sodio al 4%	(GPM)	72.41
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	1039.08
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	103.91
Tiempo de retrolavado	(min)	10.00
Volumen de agua para dilución	(Gal)	Variaciones mostradas en graficas 4
Flujo de agua para dilución	(GPM)	Variaciones mostradas en graficas 5
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	1624.79
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	72.41
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	5.64
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	23.00
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	7240.60
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	217.22
Tiempo de enjuague	(min)	34
Consumo anual de agua	(Gal)	Variaciones mostradas en graficas 6

VOLUMEN DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 4%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Volumen de NaOH al 4% (Gal)	% *
0.0842	10282.05	313.42
0.1704	5080.69	104.28
0.2583	3351.72	34.77
0.4305	2487.07	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



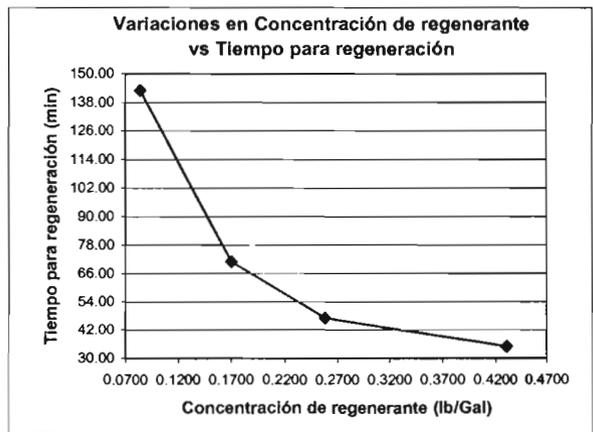
Grafica 1

TIEMPO DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Tiempo para regeneración (min)	% *
0.0842	143.00	308.57
0.1704	71.00	102.86
0.2583	47.00	34.29
0.4305	35.00	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



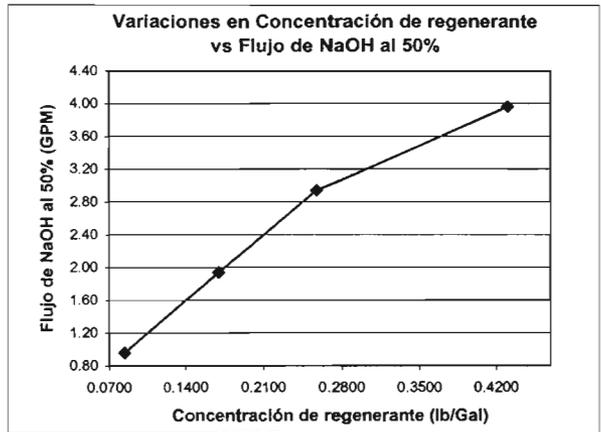
Grafica 2

FLUJO DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 50%.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Flujo de NaOH al 50% (GPM)	% *
0.0842	0.96	-75.76
0.1704	1.94	-51.01
0.2583	2.94	-25.76
0.4305	3.96	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



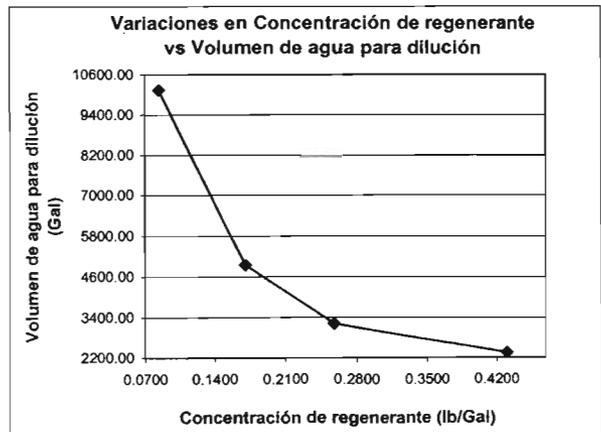
Grafica 3

VOLUMEN DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Volumen de agua para dilución (Gal)	% *
0.0842	10145.90	351.58
0.1704	4944.60	110.33
0.2583	3215.60	36.78
0.4305	2350.90	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



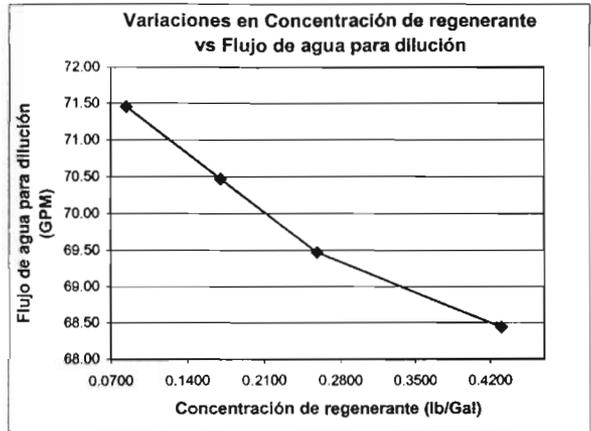
Grafica 4

FLUJO DE AGUA PARA DILUCIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Flujo de agua para dilución (GPM)	% *
0.0842	71.45	4.40
0.1704	70.47	2.97
0.2583	69.47	1.50
0.4305	68.44	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



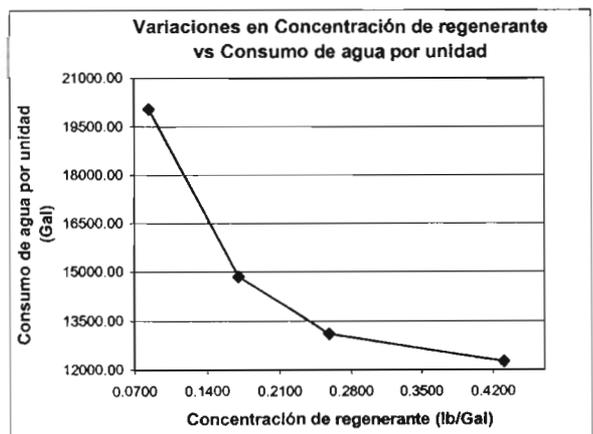
Grafica 5

CONSUMO DE AGUA POR UNIDAD.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Consumo de agua por unidad (Gal)	% *
0.0842	20050.00	63.61
0.1704	14849.00	21.17
0.2583	13120.00	7.06
0.4305	12255.00	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



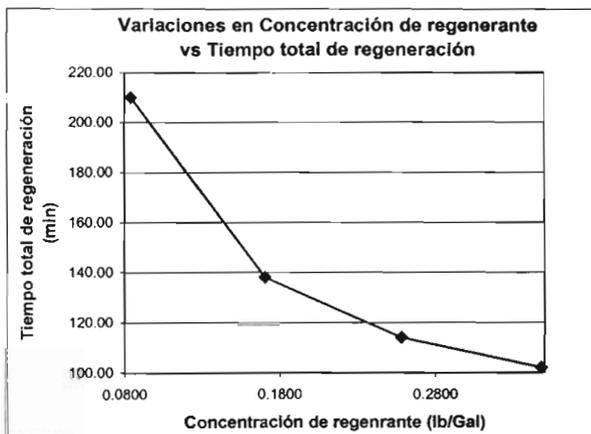
Grafica 6

TIEMPO TOTAL DE REGENERACIÓN.

Los siguientes resultados provienen del anexo 1.

Concentración de regenerante (lb/gal)	Tiempo total de regeneración (min)	% *
0.0842	210.00	106.0
0.1704	138.00	35.0
0.2583	114.00	12.0
0.3481	102.00	0.0

* Los porcentajes se obtienen tomando como base Conc Reg 0.4305



3.4 CÁLCULOS DEL DESGASIFICADOR.

3.4.1 CONSIDERACIONES

El CO₂ debe ser removido debido a que al combinarse con agua produce H₂CO₃, el cual es corrosivo y dañino para las tuberías, además de reducir la eficiencia de la resina de la unidad aniónica.

3.4.2 CRITERIOS DE DISEÑO

Velocidad de operación:	25 GPM/ft ² .
Temperatura de operación:	82.4 °F.
CO ₂ a la entrada	98.52 ppm.
CO ₂ salida	5 ppm máximo.

Flujo de operación	550 (GPM)
Velocidad de operación:	25 GPM/ft²
Temperatura de operación	82.4 (°F)
CO ₂ a la entrada	98.52 ppm
CO ₂ salida	5 ppm máximo

CATIONES (ppm como CaCO ₃)			
Ca	0	0	0%
Mg	0	0	0%
Na	9.5	9.5	14.18%
Fe	0.47	0.50	0.75%
H	56.86	57	85.07%
TC =	66.83	67.00	100.00%

ANIONES (ppm como CaCO ₃)			
HCO₃	0	0	0%
SO₄	29.94	30	44.78%
Cl	34.17	34	50.75%
PO₄	2.72	3	4.48%
TA =	66.83	67.00	100.00%

CO₂	98.52 mg CO ₂ /l	mg CO ₂ / l
SiO₂	5.25 mg SiO ₂ /l	mg SiO ₂ / l

3.4.3 CÁLCULOS

3.4.3.1 Verificación del diámetro del desgasificador

$$D_{\text{Desg}} = \frac{550 * 4}{25 * \pi}^{1/2} = 5.29\text{ft}$$

3.4.3.2. Cálculo de la altura del desgasificador

a) Cálculo de la altura de empaqueo

Temperatura 82.4°F

CO₂ entrada 98.52ppm

Para el cálculo de la altura de empaque, se utiliza la siguiente tabla(1).

Altura de Empaque Requerida para Obtener un Efluente de 5 ppm de CO₂ (Utilizando el Empaque Maspac FN-200)						
Temperatura (°F)	Entrada de CO₂ (ppm)					
	30	60	90	140	200	250
32	67	93	108	124	138	146
35	64	90	105	120	132	140
40	60	83	97	112	123	131
45	55	77	90	104	115	122
50	52	71	83	95	106	113
55	48	66	78	90	100	106
60	45	62	72	84	93	99
65	43	59	68	78	86	92
70	39	54	63	72	81	85
75	36	49	59	67	75	78
80	33	47	54	63	69	74

Como se puede ver, los datos que tenemos no coinciden exactamente con ninguno de los valores de la tabla, por lo que se realizó una interpolación, con los datos que están sombreados para obtener el siguiente valor: 4.63 ft

b) Definición de altura entrada y altura eliminador de niebla.

De información de proveedores tenemos:

Altura entrada: 2 ft

Altura eliminador de niebla: 1 ft

Altura del desgasificador

$$H_{\text{Desg}} = 4.63\text{ft} + 2\text{ft} + 1\text{ft} = 7.63\text{ft}$$

3.4.3.3. Tanque de agua desgasificada

Para obtener el volumen del tanque, se tiene que especificar el tiempo de retención:

Tiempo de retención elegido: 10 minutos

Flujo: 550 GPM 88.29 ft³/min

Por lo tanto:

$$V_{\text{Tanque}} = 8.0 * 88.29 = 706.32\text{ft}^3$$

Capítulo 4:

Análisis de Resultados y Conclusiones

4.1 ALCANCE DEL CAPITULO.

En este capítulo se realizarán los siguientes análisis:

- Cualitativo: Para entender el porque de el comportamiento de la unidad.
- Cuantitativo: Para ver que tanto afecta la variación de los criterios de diseño en el aspecto económico.

Por ultimo se mostraran las conclusiones de este trabajo.

4.2 ANÁLISIS CUALITATIVO

El análisis cualitativo se muestra en la siguiente tabla, en la cual se observa la tendencia que tienen los resultados (consumos, flujos, tiempos, etc.) al aumentar alguno de los criterios de diseño.

		Variación en capacidad de resina	Variación en velocidad de operación	Variación en velocidad de retrolavado	Variación en tiempo de retrolavado	Variación en velocidad de regeneración	Variación en velocidad de enjuague	Variación en concentración de regenerante
Volumen total de resina	(ft)	(-)	*	--	--	--	--	--
Profundidad cama de resina	(ft)	(-)	*	--	--	--	--	--
Volumen de ácido sulfúrico al 98%/Hidróxido de sodio al 50% ⁽¹⁾	(Gal)	(+)	*	--	--	--	--	--
Volumen de ácido sulfúrico al 3%/Hidróxido de sodio al 4% ⁽¹⁾	(Gal)	(+)	*	--	--	--	--	(+)
Tiempo de regeneración (min).	(min)	(+)	*	--	--	(-)	--	(-)
Flujo de ácido sulfúrico al 98%/Hidróxido de sodio al 50% ⁽¹⁾	(GPM)	(-)	*	--	--	(+)	--	(+)
Flujo de ácido sulfúrico al 3%/Hidróxido de sodio al 4% ⁽¹⁾	(GPM)	(-)	*	--	--	(+)	--	--
Volumen de agua para retrolavado	(Gal)	--	*	(+)	(+)	--	--	--
Flujo de agua para retrolavado	(GPM)	--	*	(+)	--	--	--	--
Tiempo de retrolavado	(min)	--	*	--	--	--	--	--
Volumen de agua para dilución	(Gal)	(+)	*	--	--	--	--	(-)
Flujo de agua para dilución	(GPM)	(-)	*	--	--	(+)	--	--
Volumen de agua para desplazamiento	(Gal)	(-)	*	(+)	--	--	--	--
Flujo de agua para desplazamiento	(GPM)	(-)	*	--	--	(+)	--	--
Profundidad incluyendo expansión de resina	(ft)	(-)	*	(+)	--	--	--	--
Tiempo de desplazamiento (min).	(min)	--	*	(+)	--	(-)	--	--
Volumen de agua para enjuague	(Gal)	(-)	*	--	--	--	--	--
Flujo de agua para enjuague	(GPM)	(-)	*	--	--	--	(+)	--
Tiempo de enjuague	(min)	--	*	--	--	--	(-)	--
Consumo total de agua por ciclo	(Gal)	(+) (-)	*	(+)	(+)	--	--	--

* Para cuando hay variaciones en la velocidad de operación se da un caso especial, el cual se explicará más adelante.

(+) Aumenta

(-) Disminuye

-- No hay variaciones

Como se puede ver, en algunos de los resultados mostrados en la tabla, aparecen tanto el ácido sulfúrico como el hidróxido de sodio (1), esto se debe a que tanto la unidad aniónica como la unidad catiónica tienen

el mismo comportamiento, por lo tanto este análisis se realizará para las dos unidades al mismo tiempo y se llevará a cabo para los resultados en los cuales haya variaciones para los distintos criterios de diseño.

Este análisis se hace con el fin de explicar el porque del comportamiento observado en los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

CASO 1 "Variaciones en la Capacidad de resina".

La capacidad de resina es el criterio que más influye en los resultados antes mostrados, ya que afecta en: la determinación del volumen requerido de resina, la cantidad necesaria de regenerante y el consumo total de agua para abastecer los diferentes pasos de la desmineralización.

El análisis se realiza para cuando hay en **aumento en este criterio:**

Volumen total de resina.

Conforme aumenta la capacidad de la resina, su volumen es menor.

Profundidad cama de resina

si el volumen es menor la profundidad de cama de resina también es menor.

Volumen de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% por unidad.

Debido a que la capacidad de intercambio es mayor, se necesita mas ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% para regeneración.

Volumen de ácido sulfúrico al 3%/ hidróxido de sodio al 4% por unidad.

El volumen de ácido sulfúrico al 3%/hidróxido de sodio al 4% tiene el mismo comportamiento que el volumen de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50%.

Tiempo de regeneración.

El tiempo de regeneración incrementa debido a que el volumen que se necesita de regenerante es mayor.

Flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% por unidad.

Al haber un incremento en el volumen de ácido/hidróxido, el flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% disminuye.

Flujo de ácido sulfúrico al 3%/hidróxido de sodio al 4% por unidad.

El flujo de ácido sulfúrico al 3%/hidróxido de sodio al 4% tiene el mismo comportamiento que el flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50%.

Volumen de agua para dilución.

El volumen de agua para dilución incrementa, ya que se tiene que diluir una mayor cantidad de ácido/hidróxido.

Flujo de agua para dilución.

El flujo de agua para dilución disminuye debido a que esta en función del tiempo de regeneración y el volumen de agua para dilución por lo que la disminución en el flujo se debe a que el tiempo de regeneración aumenta en mayor proporción que el volumen de agua para dilución.

Volumen de agua para desplazamiento.

El volumen de agua para desplazamiento disminuye debido a que es menor el volumen requerido de regenerante.

Flujo de agua para desplazamiento.

El flujo de agua para desplazamiento disminuye ya que el volumen de resina es menor.

Profundidad incluyendo expansión de resina.

Si el volumen de resina es menor, la profundidad de cama de resina es menor.

Volumen de agua para enjuague

El Volumen de agua para enjuague disminuye debido a que es menor el volumen que se utiliza de resina.

Flujo de agua para enjuague

El flujo de agua para enjuague disminuye debido a que el volumen de resina es menor al incrementar la capacidad de esta y se necesita menos flujo de agua para su enjuague.

Consumo total de agua por unidad

Como se ve en la tabla hay disminuciones e incrementos. A continuación se explica el porque de este comportamiento.

* Para retrolavado no hay variación en el consumo de agua ya que esté va en función del área de la unidad y de la velocidad de retrolavado, para los cuales no hay variación en este punto.

* Para la dilución entre mayor sea la capacidad de resina, se utilizará mas volumen de regenerante ya sea sosa ó ácido, y por lo tanto es necesaria una cantidad mayor de agua.

* El desplazamiento esta en función del volumen de resina, por lo que a mayor capacidad de resina es menor el volumen de está y por lo tanto menor será el consumo de agua para lograr el desplazamiento.

* El enjuague tiene un comportamiento similar al desplazamiento, y por lo tanto a mayor capacidad de resina menor será el consumo de agua.

Por lo que la disminución y el incremento se deben a que el consumo de agua para dilución en algunos casos es mayor que el consumo de agua para desplazamiento y enjuague.

CASO 2 "Incremento en la Velocidad de operación".

Las variaciones que ocurren al utilizar este criterio de diseño son las que se muestran a continuación:

	Si se utilizan 2 unidades	Si se utilizan 3 unidades	Si se utilizan 4 unidades	Si se utilizan 5 unidades
Consumo de resina por unidad	Disminuye 1/2 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/3 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/4 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/5 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad
Consumo de regenerante por unidad	Disminuye 1/2 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/3 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/4 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/5 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad
Consumo de agua para retrolavado por unidad	Nota 1	Nota 1	Nota 1	Nota 1
Consumo de agua para dilución por unidad	Disminuye 1/2 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/3 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/4 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/5 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad
Consumo de agua para desplazamiento por unidad	Disminuye 1/2 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/3 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/4 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/5 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad
Consumo de agua para enjuague por unidad	Disminuye 1/2 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/3 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/4 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad	Disminuye 1/5 de lo que se necesitaría si se utilizará solo una unidad
Tiempo Total de regeneración por unidad	Es el mismo			

Nota 1 Para determinar el consumo de agua para retrolavado total se tiene que tomar en cuenta el número de unidades que trabajaran por ciclo de regeneración, si están en funcionamiento dos unidades el consumo de agua para retrolavado será el doble que si estuviera trabajando una sola unidad y así sucesivamente entre mas unidades estén en operación el consumo irá incrementándose, ya que el consumo de agua para retrolavado esta en función del área de la unidad.

Por lo tanto la velocidad de operación es de mucha utilidad para determinar el diámetro de la unidad, y en caso de que se tenga una unidad existente para determinar la velocidad de operación se tiene que tomar en cuenta que la velocidad de operación elegida tenga una caída de presión igual o muy similar a 1 psi/ft, para que no cause daños a la unidad.

Por otra parte si al realizar los cálculos tenemos que hay velocidades de operación calculadas que son muy similares a la determinada, por ejemplo:

Si las velocidades de operación calculadas son Vel Op 1 = 13.5 utilizando 2 unidades y Vel Op 2 = 13.6 utilizando 1 unidad y la velocidad de operación determinada es de 13.55, el criterio para ver cual es el valor que se va a utilizar estaría en función del espacio para colocar las unidades ya que para Vel Op 1 se necesitarían dos unidades en operación y dos mas en espera para cuando las primeras salgan a regeneración y para Vel Op 2 solo se tendría una unidad en operación y otra en espera, tomando en cuenta que prácticamente todos los resultados de mayor importancia para el diseño son iguales habiendo solo variación en el consumo de agua para retrolavado (como ya se explico anteriormente).

CASO 3 "Velocidad de retrolavado".

Este criterio influye en los pasos de la regeneración. "retrolavado" y "desplazamiento".

El análisis se realiza para cuando hay en aumento en este criterio de diseño:

Flujo de agua para retrolavado

El flujo de agua para retrolavado aumenta, ya que es directamente proporcional a la velocidad.

Volumen de agua para retrolavado

El volumen de agua para retrolavado aumenta, ya que el volumen es directamente proporcional al flujo de agua para retrolavado.

Profundidad incluyendo expansión de resina

La velocidad de retrolavado se obtiene en función del porcentaje de la expansión de la cama de resina, y es por esta razón que la profundidad de cama de resina incrementa conforme aumenta la velocidad de retrolavado, ya que entre mayor sea la velocidad de retrolavado mas porcentaje de expansión de la cama de resina se espera.

Tiempo de desplazamiento.

El tiempo de desplazamiento aumenta, ya que al haber una mayor profundidad de la cama de resina se espera un aumento en el volumen de ésta y por lo tanto se necesita más tiempo para su desplazamiento.

Volumen de agua para desplazamiento.

El volumen de agua para desplazamiento aumenta, al aumentar al tiempo.

Consumo total de agua por unidad

El consumo de agua por unidad aumenta, debido a que hay incremento en el volumen de agua para retrolavado y volumen de agua para desplazamiento.

CASO 4 "Tiempo de retrolavado".

Este es uno de los criterios que aparentemente menos afecta en el diseño y operación de la unidad desmineralizadora, ya que solo influye en el paso de la regeneración retrolavado.

El análisis se realiza para cuando hay en **aumento en este criterio de diseño**:

Volumen de agua para retrolavado

Se produce un incremento en el volumen de agua para retrolavado, ya que es directamente proporcional al tiempo de retrolavado.

Consumo total de agua por unidad.

Debido a solo hay un aumento en el volumen de agua para retrolavado (los demás volúmenes no sufren ningún cambio), al aumentar el tiempo de retrolavado, el consumo total de agua por unidad aumenta.

CASO 5 "Velocidad de regeneración".

La velocidad de regeneración influye en: cálculo de tiempo de regeneración y de desplazamiento, flujos de regenerante, dilución y desplazamiento, como se muestra a continuación:

El análisis se realiza para cuando hay en **aumento en este criterio de diseño**:

Tiempo de regeneración.

El tiempo de regeneración disminuye, ya que es indirectamente proporcional, a la velocidad de regeneración.

Flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% por unidad.

El flujo ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% esta en función del tiempo y como éste es inversamente proporcional al flujo, al disminuir el tiempo de regeneración aumenta el flujo ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50%.

Flujo de ácido sulfúrico al 3%/hidróxido de sodio al 50% por unidad.

Su comportamiento es idéntico al comportamiento del flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50%.

Flujo de agua para dilución.

Su comportamiento es idéntico al comportamiento del flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50%.

Flujo de agua para desplazamiento.

El flujo de agua para desplazamiento esta en función de la velocidad de regeneración, y como son directamente proporcionales al aumentar la velocidad de regeneración aumenta el flujo de agua para desplazamiento.

Tiempo de desplazamiento.

El tiempo de desplazamiento esta en función del flujo de agua para desplazamiento, indirectamente proporcional con el flujo, por lo que al aumentar el flujo el tiempo disminuye.

CASO 6 "Velocidad de enjuague".

La velocidad de enjuague solo influye en el paso de la desmineralización "enjuague" como a continuación se muestra.

El análisis se realiza para cuando hay en aumento en este criterio de diseño:

Flujo de agua para enjuague

El flujo de agua para enjuague esta en función de la velocidad de enjuague, y debido a que son directamente proporcionales al aumentar la velocidad de enjuague aumenta el flujo de agua para enjuague.

Tiempo de enjuague.

El tiempo de enjuague esta en función del flujo de agua para enjuague y ya que el tiempo esta en función indirectamente proporcional con el flujo, al aumentar el flujo el tiempo disminuye.

CASO 7 "Concentración de regenerante".

Este criterio influye en la cantidad necesaria de agua para diluir al regenerante y obtener la concentración deseada.

El análisis se realiza para cuando hay en aumento en este criterio de diseño:

Volumen de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones por unidad.

El Volumen de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones esta en función de la concentración a tomar en cuenta de regenerante, por lo que el volumen aumenta al disminuir la concentración de regenerante, ya que son inversamente proporcionales.

Tiempo de regeneración.

El tiempo de regeneración esta en función del volumen de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones, y debido a que son directamente proporcionales, al disminuir el volumen disminuye el tiempo de regeneración.

Flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% por unidad.

El Flujo de ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% esta en función del tiempo de regeneración y como el tiempo es inversamente proporcional al flujo a mayor disminución del tiempo mas grande será el flujo.

Volumen de agua para dilución.

El volumen de agua para dilución se determina en base del volumen de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones ya que se necesita mas agua para poder diluir al ácido sulfúrico al 98%/hidróxido de sodio al 50% y obtener la concentración del ácido/sosa deseada.

Flujo de agua para dilución.

El flujo de agua para dilución prácticamente no sufre grandes variaciones, ya que esta en función del volumen de agua para dilución y del tiempo de regeneración, pero estos son prácticamente proporcionales, por eso es que no hay una variación muy notable.

Consumo total de agua por unidad

El consumo total de agua por unidad, en los diferentes pasos de la regeneración para las variaciones en la concentración de regenerante es las siguiente:

Para **retrolavado** no hay variación en el consumo de agua ya que esté va en función del área de la unidad y de la velocidad de retrolavado, para los cuales no hay variación en este punto.

Para la **dilución** entre menor sea la concentración de regenerante se utilizará mas volumen de agua para diluir al regenerante concentrado.

El **desplazamiento** esta en función del volumen de resina, por lo que la variación en la concentración de regenerante no influye en este punto.

El **enjuague** tiene un comportamiento similar al desplazamiento, por lo no influye en este punto.

4.3 ANÁLISIS CUANTITATIVO.

En este capítulo se muestra el análisis económico basado en el efecto de la variación de los criterios de diseño sobre parámetros de diseño que inciden de manera más sobresaliente en el costo de operación de la planta.

Los resultados de mayor interés, debido a que influyen en el aspecto económico, son:

- ❖ Consumo anual de agua, en el cual se incluyen los consumos de agua para retrolavado, dilución, desplazamiento y enjuague.
- ❖ Consumo anual de regenerante, ya sea ácido sulfúrico en el caso de la unidad catiónica ó Hidróxido de sodio en el caso de la unidad aniónica.
- ❖ Consumo de resina por año, ya sea Amberlite IR-120 Plus en el caso de la unidad catiónica ó Amberlite IRA-402 en el caso de la unidad aniónica.

Debido a que la unidad desmineralizadora utiliza dos tipos de regenerantes y de resinas, el análisis cuantitativo se realizará por separado, primero para la unidad catiónica y posteriormente de la unidad aniónica.

4.3.1 UNIDAD CATIONICA

Para realizar el análisis cuantitativo se utilizaran los siguientes costos:

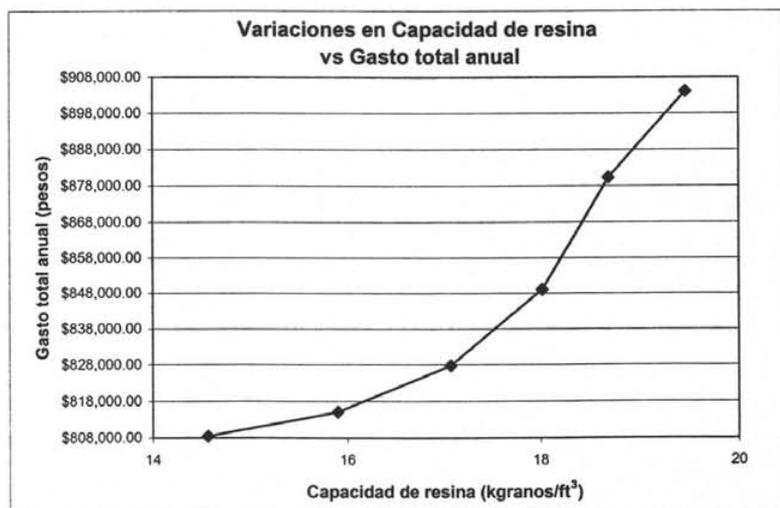
	Unidades	Costo
Agua*	Pesos/m ³	9.5
Regenerante: Ácido Sulfúrico al 98%.	Pesos / kg.	1.371
Resina: Amberlite IR-120 Plus.	Pesos/ft ³	646.14

* El costo del agua engloba costo del agua a la empresa y costo para tratar esa agua. Por motivos de confidencialidad no se presentan estos costos y solo se proporciona el costo global.

CASO 1 "Variaciones en capacidad de resina".

"Variaciones en capacidad de resina".							
	Unidades	14.57	15.9	17.07	18.02	18.69	19.47
Consumo agua c/unidad	Gal	24081	23240	22700	22503	22577	22514
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$316,092.59	\$305,043.90	\$297,964.89	\$295,369.71	\$296,339.70	\$ 295,519.91
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	88	97	106	114	124	132
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 320,854.89	\$352,819.31	\$383,409.38	\$415,081.54	\$450,226.88	\$480,211.18
Volumen resina c/u	ft ³	265	243	227	215	207	199
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 171,506.75	\$157,160.59	\$146,388.59	\$138,671.10	\$133,700.02	\$ 128,343.78
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 808,454.24	\$815,023.79	\$827,762.87	\$849,122.35	\$880,266.60	\$ 904,074.86
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	\$ 6,569.56	\$ 19,308.63	\$ 40,668.11	\$ 71,812.36	\$ 95,620.62

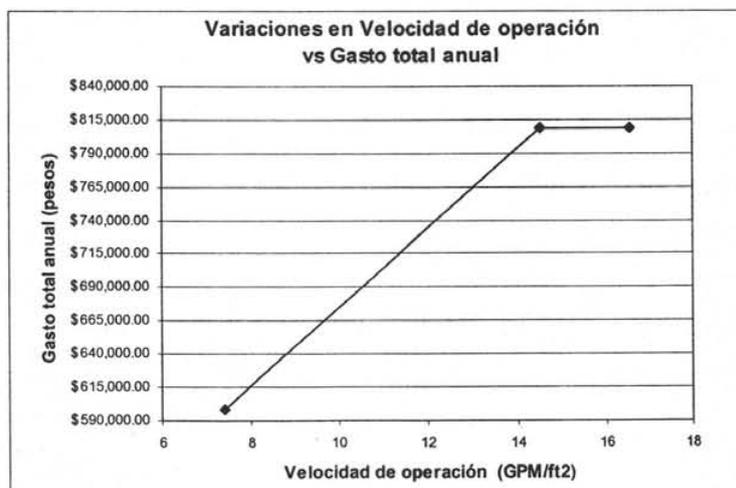
La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de capacidad de resina = 14.57



CASO 2 "Variaciones en Velocidad de operación".

"Variación en Velocidad de operación".				
	Unidades	7.4	14.5	16.5
Consumo agua c/unidad	Gal	26829	24081	24081
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 352,162.62	\$316,092.59	\$316,092.59
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	44	88	88
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 160,427.45	\$320,854.89	\$ 320,854.89
Volumen resina c/u	ft ³	133	265	265
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 85,753.37	\$171,506.75	\$ 171,506.75
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 598,343.44	\$808,454.24	\$ 808,454.24
DIFERENCIA	Pesos	-\$210,110.80	\$ 0	\$ 0

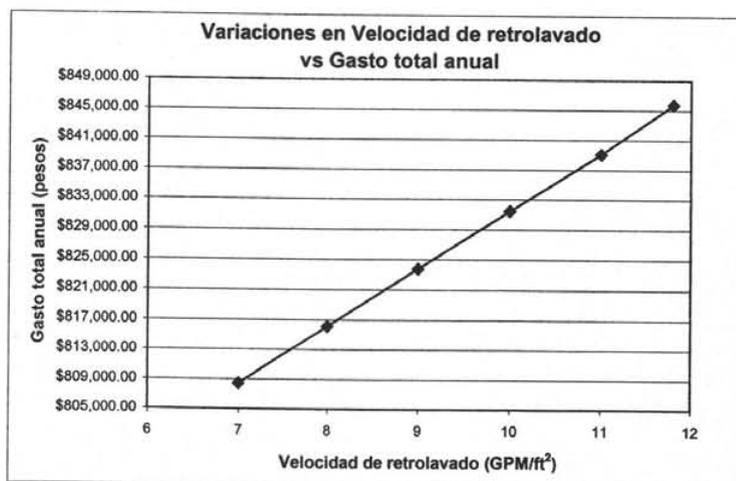
La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Velocidad de operación = 14.5



CASO 3 "Variaciones en Velocidad de retrolavado".

"Variación en Velocidad de retrolavado".							
	Unidades	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	11.8
Consumo agua c/unidad	Gal	24081	24665	25249	25832	26416	26923
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 316,087.62	\$323,753.22	\$331,418.81	\$339,071.28	\$346,736.87	\$353,391.76
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	88	88	88	88	88	88
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89
Volumen resina c/u	ft ³	265	265	265	265	265	265
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$ 171,506.75
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 808,449.26	\$816,114.86	\$823,780.45	\$831,432.92	\$839,098.52	\$ 845,753.41
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	\$ 7,665.59	\$ 15,331.19	\$ 22,983.66	\$ 30,649.25	\$ 37,304.14

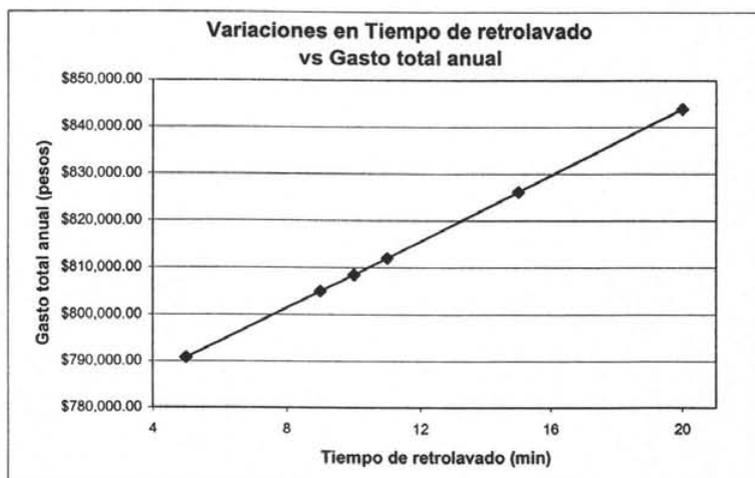
La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Velocidad de retrolavado = 7.0



CASO 4 "Variación en Tiempo de retrolavado".

"Variación en Tiempo de retrolavado".							
	Unidades	5	9	10	11	15	20
Consumo agua c/unidad	Gal	22734	23812	24081	24351	25428	26775
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 298,412.36	\$312,556.55	\$316,092.59	\$319,628.64	\$333,772.83	\$351,453.06
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	88	88	88	88	88	88
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89
Volumen resina c/u	ft ³	265	265	265	265	265	265
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$790,774.00	\$804,918.19	\$808,454.24	\$811,990.28	\$826,134.47	\$843,814.70
DIFERENCIA	Pesos	-\$ 17,680.23	-\$ 3,536.05	\$ 0	\$ 3,536.05	\$17,680.23	\$35,360.47

La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Tiempo de retrolavado = 10.0



CASO 5 "Variación en Velocidad de regeneración".

"Variación en Velocidad de regeneración".							
	Unidades	0.5	1.0	1.4	1.5	1.6	2.0
Consumo agua c/unidad	Gal	24081	24081	24081	24081	24081	24081
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59	\$ 316,092.59
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	88	88	88	88	88	88
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89
Volumen resina c/u	ft ³	265	265	265	265	265	265
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

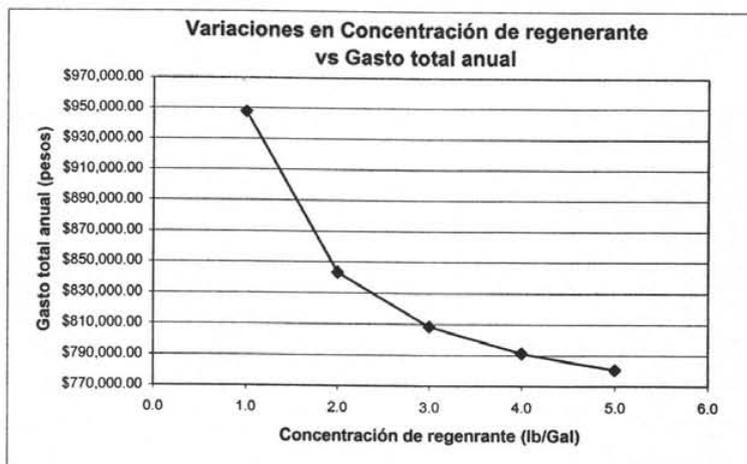
CASO 6 "Variación Velocidad de enjuague".

"Variación Velocidad de enjuague".							
	Unidades	0.5	0.9	1.0	1.1	1.5	2.0
Consumo agua c/unidad	Gal	24081	24081	24081	24081	24081	24081
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59	\$316,092.59
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	88	88	88	88	88	88
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89
Volumen resina c/u	ft ³	265	265	265	265	265	265
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24	\$808,454.24
DIFERENCIA	Pesos						

CASO 7 "Variación en Concentración de regenerante".

"Variación en Concentración de regenerante".						
	Unidades	1	2	3	4	5
Consumo agua c/unidad	Gal	34695	26735	24081	22755	21960
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$455,410.47	\$350,917.69	\$316,092.59	\$298,684.34	\$288,242.75
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	88	88	88	88	88
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89	\$320,854.89
Volumen resina c/u	ft ³	265	265	265	265	265
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75	\$171,506.75
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$947,772.11	\$843,279.33	\$808,454.24	\$791,045.98	\$780,604.39
DIFERENCIA	Pesos	\$139,317.87	\$34,825.09	\$ 0	-\$17,408.26	-\$27,849.84

La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Concentración de regenerante = 3.0



4.3.2 UNIDAD ANIÓNICA

Para realizar el análisis cuantitativo utilizaremos los siguientes costos:

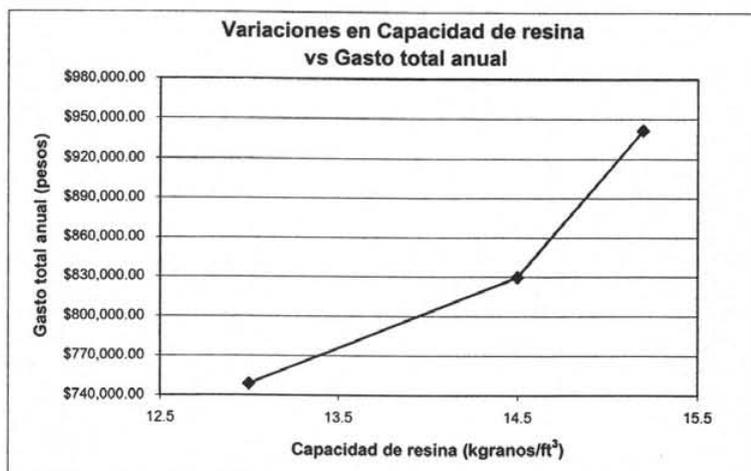
	Unidades	Costo
Agua	Pesos/m³	9.5
Regenerante: Hidróxido de Sodio al 98%.	Pesos / kg.	3.713
Resina: Amberlite IR-120 Plus.	Pesos/ft³	1817.71

* El costo del agua engloba costo del agua a la empresa y costo para tratar esa agua. Por motivos de confidencialidad no se presentan estos costos y solo se proporciona el costo global.

CASO 1 "Variaciones en capacidad de resina".

"Variaciones en capacidad de resina".				
	Unidades	13	14.5	15.2
Consumo agua c/unidad	Gal	12255	11796	11958
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 160,859.34	\$ 154,834.50	\$ 156,960.92
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	136	163	194
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 494,281.71	\$ 590,872.17	\$ 704,601.99
Volumen resina c/u	ft ³	145	130	124
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 93,567.23	\$ 83,868.70	\$ 79,875.57
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 748,708.28	\$ 829,575.37	\$ 941,438.48
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	-\$ 80,867.09	-\$ 192,730.19

La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de capacidad de resina = 13.0



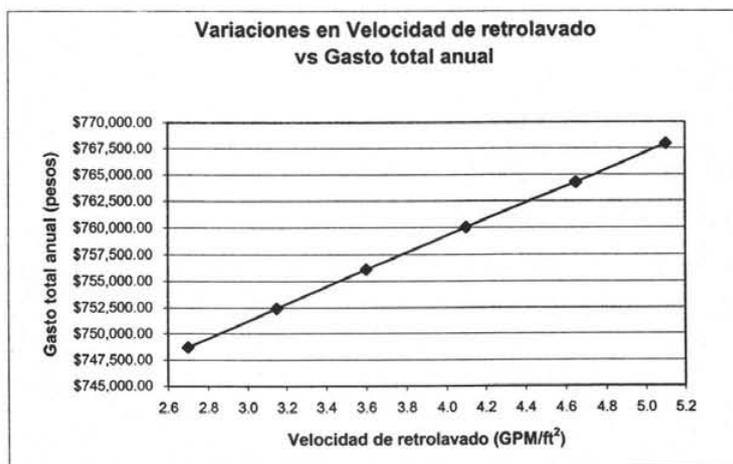
CASO 2 "Variación en Velocidad de operación".

"Variación en Velocidad de operación".			
	Unidades	13.8	16.0
Consumo agua c/unidad	Gal	12255	12255
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 160,859.34	\$ 160,859.34
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	136.12	136.12
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 494,281.71	\$ 494,281.71
Volumen resina c/u	ft ³	145	145
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 93,567.23	\$ 93,567.23
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 748,708.28	\$ 748,708.28
DIFERENCIA	Pesos	\$ -	\$ -

CASO 3 "Variación en Velocidad de retrolavado".

"Variación en Velocidad de retrolavado".							
	Unidades	2.7	3.2	3.6	4.1	4.7	5.1
Consumo agua c/unidad	Gal	12255	12537	12818	13119	13439	13721
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$ 160,859.34	\$164,560.88	\$168,249.29	\$172,200.22	\$176,400.55	\$180,102.08
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	136	136	136	136	136	136
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71
Volumen resina c/u	ft ³	145	145	145	145	145	145
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$ 93,567.23	\$ 93,567.23	\$ 93,567.23	\$ 93,567.23	\$ 93,567.23	\$ 93,567.23
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$ 748,708.28	\$752,409.82	\$756,098.23	\$760,049.16	\$764,249.49	\$767,951.02
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	\$3,701.54	\$7,389.95	\$11,340.88	\$15,541.20	\$19,242.74

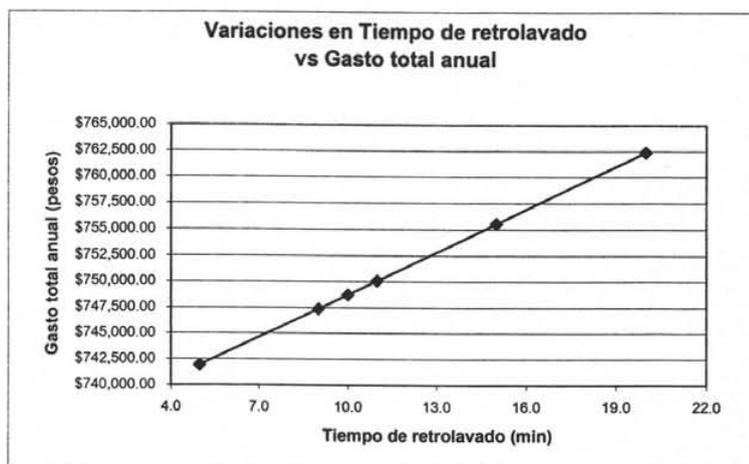
La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Velocidad de retrolavado = 2.7



CASO 4 "Variación en Tiempo de retrolavado".

"Variación en Tiempo de retrolavado".							
	Unidades	5	9	10	11	15	20
Consumo agua c/unidad	Gal	11736	12152	12255	12359	12775	13295
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$154,046.94	\$159,507.36	\$160,859.34	\$162,224.45	\$167,684.87	\$174,510.40
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	136	136	136	136	136	136
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$ 494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71
Volumen resina c/u	ft ³	145	145	145	145	145	145
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$741,895.88	\$747,356.30	\$748,708.28	\$750,073.39	\$755,533.81	\$762,359.34
DIFERENCIA	Pesos	-\$ 6,812.40	-\$1,351.98	\$ 0	\$1,365.11	\$6,825.53	\$13,651.06

La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Tiempo de retrolavado = 10.0



CASO 5 "Variación en Velocidad de regeneración".

"Variación en Velocidad de regeneración".							
	Unidades	0.4	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0
Consumo agua c/unidad	Gal	12255	12255	12255	12255	12255	12255
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	136	136	136	136	136	136
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71
Volumen resina c/u	ft ³	145	145	145	145	145	145
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

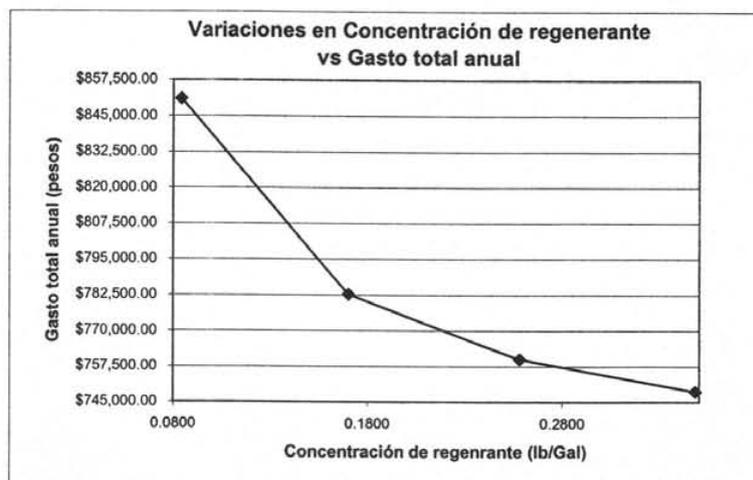
CASO 6 "Variación Velocidad de enjuague".

"Variación Velocidad de enjuague".							
	Unidades	0.5	1.0	1.4	1.5	1.6	2.0
Consumo agua c/unidad	Gal	12255	12255	12255	12255	12255	12255
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34	\$160,859.34
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	136	136	136	136	136	136
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71
Volumen resina c/u	ft ³	145	145	145	145	145	145
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28	\$748,708.28
DIFERENCIA	Pesos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

CASO 7 "Variación en Concentración de regenerante".

"Variación en Concentración de regenerante".					
	Unidades	1	2	3	4
Consumo agua c/unidad	Gal	20050	14849	13120	12255
COSTO ANUAL AGUA	Pesos	\$263,176.65	\$194,908.23	\$172,213.35	\$160,859.34
Vol. H2SO4 98% c/u	Gal	134	134	134	134
COSTO ANUAL ÁCIDO	Pesos	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71	\$494,281.71
Volumen resina c/u	ft ³	145	145	145	145
COSTO ANUAL RESINA	Pesos	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23	\$93,567.23
GASTO TOTAL ANUAL	Pesos	\$851,025.59	\$782,757.17	\$760,062.29	\$748,708.28
DIFERENCIA	Pesos	\$102,317.31	\$34,048.89	\$11,354.00	\$ 0

La diferencia en los costos se obtuvo tomando como base la variación de Concentración de regenerante = 4.0



4.3 CONCLUSIONES.

1.- Aspecto operacional

Como se mostró en el análisis cualitativo, el efecto de todos los criterios de diseño provoca, diferentes resultados en la operación de las unidades catiónicas y aniónicas

A continuación se dan las conclusiones con base en los criterios que mas afectan el aspecto operacional en el siguiente orden:

1. Capacidad de resina.
2. Velocidad de retrolavado.
3. Velocidad de regeneración.
4. Concentración de regenerante.
5. Velocidad de enjuague.
6. Tiempo de retrolavado.
7. Velocidad de operación.

La **capacidad de resina** es el criterio de mayor efecto, ya que en base a este se determina la cantidad de: resina, regenerante, así como los flujos y consumos de agua para cada uno de los pasos de la regeneración (con excepción del paso "retrolavado"), así como en el consumo total de agua.

La **velocidad de retrolavado** provoca variaciones en los volúmenes de agua para retrolavado y desplazamiento, Flujo de agua para retrolavado, profundidad incluyendo expansión de resina, tiempo de desplazamiento y consumo total de agua.

La **velocidad de regeneración** causa efectos en los tiempos de regeneración y desplazamiento, así como en los flujos de regenerante (concentrado y diluido) y flujos de agua para dilución y desplazamiento.

La **concentración de regenerante** afecta en los volúmenes de: regenerante diluido y agua para dilución, tiempo de regeneración, flujo de regenerante concentrado y consumo total de agua.

La **velocidad de enjuague** causa efectos en el flujo de agua para enjuague y el tiempo de enjuague.

El **tiempo de retrolavado** solo provoca variaciones en consumo total de agua.

La **velocidad de operación**, como ya se menciona es un caso especial ya que básicamente nos sirve para determinar el diámetro de la unidad, en base a la selección del diámetro se determina cuantas unidades serán utilizadas y dependiendo del numero de unidades es como se verá el efecto que tiene en los

resultados mostrados en la tabla del análisis cualitativo, pero si hay variaciones en la cantidad de unidades requeridas, prácticamente todos los resultados sufren una variación.

Como se puede ver el criterio de diseño que mas afecta en la operación de la unidad es la capacidad de resina, ya que los demás criterios de diseño son específicos para ciertos pasos de la regeneración y por lo tanto no afectan en los demás pasos.

2. Aspecto económico

Como se mostró en el análisis cuantitativo, los únicos criterios que no producen un efecto, son las velocidades de regeneración y la velocidad de enjuague, solo afectan en la determinación del tiempo total de regeneración, esto aplica a las unidades catiónicas y aniónicas.

A continuación se dan las conclusiones con base en los criterios que mas afectan el aspecto económico en el siguiente orden:

1. Capacidad de resina.
2. Concentración de regenerante.
3. Velocidad de retrolavado.
4. Tiempo de retrolavado.
5. Velocidad de operación.

La **capacidad de resina** es el criterio que provoca las mayores variaciones en el costo, ya que con base en este se determinan los costos de: resina, regenerante y el costo total de agua.

La **velocidad de retrolavado** provoca variaciones en el costo del consumo total de agua.

La **concentración de regenerante** afecta el costo total de agua.

El **tiempo de retrolavado** provoca pequeñas variaciones en el costo total de agua.

La **velocidad de operación**, provoca variaciones en la cantidad de unidades requeridas, entre más unidades sean utilizadas mas aumentará el costo, ya que el volumen de agua para retrolavado aumenta proporcionalmente con el numero de unidades.

Se menciono que las **velocidades de operación y de regeneración** no provocan variaciones en el aspecto económico, para fines de este trabajo, que es el gasto relacionado a consumos de regenerante, resina y agua, pero en realidad si producen un gasto en lo que se refiere al equipo para bombeo, la energía necesaria para que funcione, mantenimiento, etc.

3.- Criterios idóneos.

Tomando en cuenta que el **costo total** (determinado en el análisis cuantitativo) y el **tiempo total de regeneración** (determinado en el capítulo 3) engloban a todos los demás resultados como son: volúmenes, flujos, consumos de agua, regenerantes y resinas, será los que se tomaran como parámetros para verificar cuales son los criterios idóneos para el funcionamiento de la unidad.

El **costo** como es lógico afecta en el **aspecto económico**, ya que en una industria lo que se busca es invertir lo menos posible teniendo los mejores resultados.

El **tiempo** afecta en el **aspecto operacional**, ya que se tiene un tiempo determinado para los ciclos de operación de la unidad y al haber una alteración en éste, se afecta el ciclo de operación previsto.

Para observar el efecto que producen los tiempos totales de regeneración, tenemos que recordar que los ciclos de operación son de 12 horas, 3 horas como máximo para regeneración y lo restante, 9 horas, para operación tanto para las unidades catiónicas como para las aniónicas

Debido a que el comportamiento de las unidades catiónica y aniónicas es idéntico, los criterios de diseño idóneos, se determinaran al mismo tiempo.

Capacidad de resina.

Unidad Catiónica

Variaciones (kgranos/ft ³)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
14.57	76	\$808,454.2
15.90	80	\$815,023.7
17.07	84	\$827,762.8
18.02	88	\$849,122.3
18.69	92	\$880,266.5
19.47	96	\$904,074.8

Unidad Aniónica

Variaciones (kgranos/ft ³)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
13.0	102	\$748,708.28
14.5	113	\$829,575.37
15.2	125	\$941,438.48

Como se puede observar en las tablas anteriores, las variaciones de estos criterios de diseño con respecto al **tiempo** cumplen con el requerido para la regeneración, ya que en ningún caso se excede de las 3 horas (180 minutos) máximas propuestas.

Con respecto al **costo**, para el caso de la unidad catiónica las capacidades de resina más convenientes serían: de **14.57, 15.90 y 17.07 kgranos/ft³** y para la unidad aniónica las capacidades serían: **13.0 y 14.5 kgranos/ft³**.

Tomando en cuenta que se busca lograr los mejores beneficios con bajos costos y en poco tiempo, para la unidad catiónica, se recomienda utilizar la capacidad de **14.57 kgranos/ft³** y para la unidad aniónica se recomienda la capacidad de **13.0 kgranos/ft³**, ya que para estos valores el **tiempo de regeneración es menor** y el **costo es mas bajo**; si se utiliza otro valor, se tendría que comprar un tanque de mayor capacidad, para poder almacenar el regenerante (ácido sulfúrico al 98% o sosa al 50%), lo que provocaría un gasto mayor.

Debido a que la capacidad de resina se determina en función del nivel de regeneración. El nivel de regeneración que se debe utilizar es:

Para la **unidad catiónica**: 5 lb/ft³.

Para la **unidad aniónica**: 6 lb/ft³.

Concentración de regenerante.

Unidad Catiónica

Variaciones (%)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
1	116	\$947,772.1
2	86	\$843,279.3
3	76	\$808,454.2
4	71	\$791,045.9
5	68	\$780,604.3

Unidad Aniónica

Variaciones (%)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
1	210	\$851,025.59
2	138	\$782,757.17
3	114	\$760,062.29
4	102	\$748,708.28

Las variaciones en este criterio de diseño, para la unidad catiónica, cumplen con el **tiempo** máximo de 180 minutos propuesto para la regeneración. En el caso de la unidad aniónica, para la concentración del **1%**, el **tiempo** de regeneración de 210 min **sobrepasa al propuesto, pero para las otras concentraciones si** cumplen con el tiempo.

Con respecto al costo, para la unidad catiónica se recomienda utilizar la concentración de **5%** y para la unidad aniónica se recomienda la concentración de **4%**; con estos valores se tiene un **bajo costo** y un **menor tiempo** para la regeneración, además de que se utilizaría una menor cantidad de agua para diluir el regenerante (ácido sulfúrico al 98% ó Sosa al 50%).

Velocidad de retrolavado.

Unidad Catiónica

Variaciones (GPM/ft ²)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
7.0	76	\$808,454.2
8.0	76	\$816,114.8
9.0	77	\$823,780.4
10.0	78	\$831,432.9
11.0	79	\$839,098.5
11.8	79	\$845,753.4

Unidad Aniónica

Variaciones (GPM/ft ²)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
2.7	102	\$748,708.28
3.2	103	\$752,409.82
3.6	105	\$756,098.23
4.1	106	\$760,049.16
4.7	108	\$764,249.49
5.1	109	\$767,951.02

Como se observa en las tablas anteriores, ninguna de las variaciones para este criterio de diseño excede las 3 horas (180 minutos) máximas propuestas.

Como lo que se busca es tener los mejores beneficios con bajos costos y en poco tiempo, en el caso de la unidad catiónica se recomienda utilizar la velocidad de **7.0 GPM/ft²** y para la unidad aniónica se recomienda la velocidad de **2.7 GPM/ft²**, ya que a estos valores les corresponde el **menor tiempo** para regeneración y el **costo mas bajo**.

Debido a que la velocidad de retrolavado se determina en función del porcentaje de expansión de la cama de resina.

La expansión de la cama de resina que se debe utilizar es:

Para la **unidad catiónica** es **50 %**.

Para la **unidad aniónica** es **50 %**.

Tiempo de retrolavado.

Unidad Catiónica

Variaciones (min)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
5.0	71	\$790,774.00
9.0	75	\$804,918.19
10.0	76	\$808,454.24
11.0	77	\$811,990.28
15.0	81	\$826,134.47
20.0	86	\$843,814.70

Unidad Aniónica

Variaciones (min)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
5.0	97	\$741,895.88
9.0	101	\$747,356.30
10.0	102	\$748,708.28
11.0	103	\$750,073.39
15.0	107	\$755,533.81
20.0	112	\$762,359.34

Igual que en caso anterior las variaciones para este criterio de diseño cumplen con el **tiempo** requerido para la regeneración, ya que ninguno excede las 3 horas (180 minutos) máximas propuestas.

Con respecto al costo, prácticamente se puede utilizar cualquiera de los valores presentados en las dos tablas, ya que no hay una diferencia muy grande en los costos; sin embargo, de acuerdo a la información dada por los proveedores el valor recomendado es de **10 minutos** para las dos unidades.

El análisis realizado a este criterio de diseño fue con el fin de ver que pasaría si se presentara una alteración en éste, pero como se muestra en las tablas anteriores, el tiempo de retrolavado no sufre grandes alteraciones, mientras el valor utilizado sea lo mas cercano al recomendado.

Velocidad de regeneración.

Unidad Catiónica

Variaciones (GPM/ft ³)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
0.5	107	\$808,454.24
0.9	79	\$808,454.24
1.0	76	\$808,454.24
1.1	73	\$808,454.24
1.5	66	\$808,454.24
2.0	60	\$808,454.24

Unidad Aniónica

Variaciones (GPM/ft ³)	Tiempo (min)	Costo (pesos)
0.4	116	\$748,708.28
0.5	102	\$748,708.28
0.6	92	\$748,708.28
1.0	74	\$748,708.28
1.5	64	\$748,708.28
2.0	59	\$748,708.28

Como se aprecia en las tablas anteriores ninguna de las variaciones para estos criterio de diseño excede el tiempo de las 3 horas (180 minutos) máximas propuestas,

Como ya se había mencionado este criterio no influye en el costo.

Este criterio también es recomendado por proveedores, por lo que para la unidad la unidad catiónica el valor a utilizar de la velocidad es de 1.0 GPM/ft³ y para la unidad aniónica el valor a utilizar es de 0.5 GPM/ft³. Y el análisis que se realizo a este criterio de diseño fue con el fin de ver que pasa con los tiempos y costos si hubiera una alteración en el mismo, como ya se vio no influye en los costos y con respecto al tiempo este no sufre grandes alteraciones mientras el valor utilizado sea lo mas cercano al recomendado, en el caso de la unidad catiónica y para la unidad aniónica si se ve un cambio mas brusco aunque los valores utilizados sean muy similares al propuesto.

Velocidad de enjuague.

Unidad Catiónica

Variaciones (GPM/ft ³)	Tiempo	Costo
0.5	142	\$808,454.24
1.0	92	\$808,454.24
1.4	78	\$808,454.24
1.5	76	\$808,454.24
1.6	74	\$808,454.24
2.0	67	\$808,454.24

Unidad Aniónica

Variaciones (GPM/ft ³)	Tiempo	Costo
0.5	168	\$748,708.28
1.0	118	\$748,708.28
1.4	104	\$748,708.28
1.5	102	\$748,708.28
1.8	100	\$748,708.28
2.0	94	\$748,708.28

Con respecto al **tiempo**, las variaciones para estos criterio de diseño cumplen con el tiempo requerido para la regeneración, ya que ninguno excede las 3 horas (180 minutos) máximas propuestas.

Como ya se había mencionado este criterio no influye en el costo.

Al igual que los criterios de diseño anteriores este criterio también es recomendado por proveedores, por lo que el valor a utilizar de la velocidad es de **1.5 GPM/ft³** para la unidad la unidad catiónica y para la unidad aniónica el valor a utilizar es de **1.5 GPM/ft³**, el análisis que se realizo a este criterio de diseño fue con el fin de ver que pasa con los tiempos y costos si hubiera una alteración en el mismo, como ya se vio no influye en los costos y con respecto al tiempo este no sufre grandes alteraciones mientras el valor utilizado sea lo mas cercano al recomendado para las dos unidades.

Como ya se había comentado la **velocidad de operación** es muy importante, debido a que sirve mas que nada para determinar el diámetro y numero de unidades que se necesitaran, por lo que la velocidad de operación idónea será aquella que se determine en base a una caída de presión igual o muy similar **1 psi/ft.**

Por lo que los criterios de diseño idóneos para este trabajo son:

Criterios de diseño	Unidades	Unidad Catiónica	Unidad Aniónica
Velocidad operación	GPM/ft ²	14.5	13.8
Expansión cama	%	50	50
Velocidad retrolavado	GPM/ft ²	7	2.7
Tiempo retrolavado	Min	10	10
Velocidad regeneración	GPM/ft ³	1.0	0.5
Velocidad enjuague	GPM/ft ³	1.5	1.5
Nivel regeneración	lb H ₂ SO ₄ /ft ³	5	6
Capacidad resina	Kgranos/ft ³	14.57	13.0
Concentración regenerante	%	5	4
Concentración regenerante	lb/Gal	0.4305	0.3481

En lo que respecta a la altura de la unidad, no hay gran problema ya que las unidades se hacen de placas de los siguientes tamaños:

Tamaños de placas: 5'x20', 6'x20', 8'x20'

Los siguientes tamaños, son cortes: 3'x8', 3'x10', 4'x8', 4'x10', etc

Los espesores son desde 3/8", 1/4", 1/2" y mayores

Así de que la altura de la unidad se ajusta a los valores mostrados.

Por lo expuesto anteriormente, se concluye que se cumplió satisfactoriamente con los objetivos de este trabajo, ya que se vio de que forma influye en la operación de una unidad de este tipo el realizar una variación en los criterios de diseño, así como se especifico cuales son los mas propicios para ser utilizados. Cabe hacer hincapié en que los criterios mostrados en la tabla, son los idóneos para este trabajo, ya que para otro análisis, en el que habrá otra caracterización del agua, estos criterios tal vez no sean útiles, pero la finalidad de este trabajo es la de dar una idea de cómo encontrar los criterios de diseño con los cuales la unidad trabaje de la mejor manera en cuanto a tiempos, costos y operación de la misma.

Capítulo 5: Apéndices y bibliografía

5.1 Apéndice 1

5.2 Apéndice 2

5.3 Anexo 1

5.4 Anexo 2

5.3 Bibliografía.

1. Rohm and Haas Company. Resina catiónica Amberlite IRA-402.
2. GE GLEGG Water Technologies Inc.
3. Demineralization by Ion Exchange in Water Treatment and Chemical Processing of other Liquids; Academics Press; Samuel B. Applebaum; page 174-176, 197-198
4. Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse; McGraw-Hill International Editions; Third Edition; Metcalf & Eddy; page 756-757.
5. Manual el Agua: Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones; Nalco Chemical Company; Frank N. Kemmer, John McCallion; McGRAW-HILL; Páginas 12-10 a 12-17, 12-3.
6. ASME Code for Unfired Pressure Vessels.