

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



**"DISEÑO DE SISTEMA DE DECOLORACION DE
SOLUCIONES AZUCARADAS POR INTERCAMBIO IONICO"**

T E S I S

Presentada por el Bachiller

FRANZ ROMERO LUDEÑA

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
"INGENIERO QUIMICO"**

LIMA - PERU

1996

INDICE

- 1.- **INTRODUCCION**
- 2.- **RESUMEN Y CONCLUSIONES**
- 3.- **FUNDAMENTO TEORICO DE LA DECOLORACION POR INTERCAMBIO IONICO.**
 - 3.1. **Resinas de Intercambio Iónico.**
 - 3.2. **Resinas de Intercambio Catiónico.**
 - 3.3. **Resinas de Intercambio Aniónico.**
 - 3.4. **Propiedades de las Resinas de Intercambio Iónico.**
 - 3.5. **Química de las sustancias de que originan color.**
 - 3.6. **Mecanismo de la Decoloración por Intercambio Iónico.**
 - 3.7. **Equivalencia de tipo de Resina que se usan en la Industria.**
 - 3.8. **Sistemas de Operación de Columnas de Intercambio Iónico.**
- 4.- **SOLUCIONES AZUCARADAS.**
 - 4.1. **Soluciones Azucaradas en la Industria.**
 - 4.2. **Métodos de Decoloración por Intercambio Iónico de Soluciones Azucaradas.**
- 5.- **PARTE EXPERIMENTAL**
 - 5.1. **Diseño del Equipo.**
 - 5.2. **Implementación del Equipo.**
 - 5.3. **Condiciones de Operación.**
 - 5.4. **Regeneración de la Resina.**
 - 5.5. **Evaluación de la Resina. Capacidad de Decoloración.**
- 6.- **DISEÑO DE UN SISTEMA DE DECOLORACIÓN PARA SOLUCIONES AZUCARADAS.**
 - 6.1. **Condiciones de Operación**
 - 6.2. **Diseño de Equipos.**
 - 6.3. **Control y Monitoreo.**
- 7.- **BIBLIOGRAFIA.**

1.- INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objetivo diseñar un sistema de decoloración de soluciones azucaradas utilizando resinas de intercambio iónico, para su posterior cristalización.

Mediante pruebas experimentales se determinará el volumen de la resina necesaria para decolorar una determinada cantidad de solución azucarada, teniendo en cuenta condiciones de operación; del mismo modo la regeneración de la resina seleccionada.

Cabe mencionar que en la decoloración ha sido y es actualmente, el carbón activado uno de los insumos más importantes para la realización de éstas; pero debido a su elevado costo se hace necesario reemplazar ó complementar con otros elementos la culminación de esta tarea.

La importancia de la decoloración en la industria de productos químicos y farmacéuticos ha alcanzado niveles elevados, debido a que ha mejorado la calidad de las sustancias y ha disminuído sus costos de fabricación. La decoloración de una solución antes de la Cristalización da como resultado un rendimiento más elevado de cristales, además se necesitan menos recristalizaciones para obtener una pureza determinada.

Todos los puntos arriba mencionados serán visualizados de una forma más detenida en este trabajo.

2.1 RESUMEN:

Las resinas de intercambio iónico son utilizadas en la industria para diferentes aplicaciones . Estos son de dos tipos catiónicas que intercambian cationes y aniónicas que intercambian aniones.

Para la decoloración de soluciones azucaradas, que es un proceso de purificación que consiste en la eliminación de sustancias coloreadas (cuya estructura es de origen orgánico y complejo siendo en su mayoría compuestos cargados negativamente), se ha seleccionado la resina aniónica básicamente débil (WA-30), para atrapar estas sustancias, mediante un sistema de columna de intercambio iónico.

Esta resina posteriormente es regenerada con NaOH para utilizarla nuevamente.

En la parte experimental se realizó la decoloración de una solución azucarada (azúcar rubia en solución), y se fijó condiciones de operación, con las cuales se determinó el volumen de resina para decolorar ésta.

Adicionalmente se realizó corridas de decoloración con carbón activado haciéndose la comparación respectiva.

En la industria para la decoloración dependiendo de las sustancias a tratar se utiliza solo el carbón activado ó éste en combinación con resinas de intercambio iónico. Estas últimas generalmente son utilizadas como complemento debido a que hay sustancias coloreadas de alto peso molecular que las pueden saturar rápidamente.

El sistema de decoloración que se va a diseñar sirve para decolorar una solución azucarada que tiene un determinado grado de color, las condiciones de operación que sirven de base del diseño dependen en general del tipo de solución, en este caso se va a considerar los datos obtenidos en la parte experimental, diseñándose dos torres de decoloración que siempre mantendrán un flujo continuo, para lo cual una estará decolorando y la otra se estará regenerando. La distribución de los tanques, equipos, líneas y válvulas a utilizar se realizó en un diagrama de flujo y posteriormente se realizó el diseño de cada uno de estos.

Finalmente se dá lineamiento para un efectivo control y monitoreo de este sistema.

2.2 CONCLUSIONES:

- **Para realizar el diseño de un sistema de decoloración, no es posible realizar un balance y plantear ecuaciones de intercambio debido a que la estructura química de estas materias colorantes es muy compleja y en ciertos casos es difícil de determinar; por lo que la única forma es encontrar el porcentaje de decoloración a nivel de laboratorio y luego aplicarla a nivel de planta.**
- **Se ha encontrado el porcentaje de decoloración (51.79%), para la resina WA-30; partiendo de condiciones de operación fijas como: color inicial de la solución a tratar y color final deseado de la solución azucarada, SV(velocidad espacial), temperatura y volumen a tratar determinando el volumen de la resina a utilizar.**
- **Se comprobó que la decoloración con carbón activado es más eficiente que con la resina de intercambio iónico; sin embargo la combinación de ambos en la decoloración es mucho mejor, y es así como generalmente se utiliza en la industria.**
- **Se determinó la capacidad total (1.56 meq/ml.) de intercambio iónico de la resina; y ésta es de mucha utilidad ya que en base a ésta se puede predecir el cambio de resinas en base a la disminución de su capacidad.**
- **Para el diseño del sistema de decoloración, se tomó como condiciones de operación las utilizadas en la parte experimental; realizando el escalamiento del volumen en base al color extraído de la solución, el volumen a tratar y el tiempo de duración del ciclo.**
- **Se ha establecido el método necesario para el diseño de estos sistemas de decoloración por intercambio iónico.**
- **El método empleado en este trabajo es aplicable para todo tipo de solución que se desee decolorar.**
- **El punto más importante en el diseño del sistema es determinar el volumen necesario para decolorar; luego para los equipos pueden utilizarse los criterios técnicos ya establecidos en diseños de plantas.**
- **En este trabajo se presenta amplia información sobre propiedades de las resinas de intercambio iónico la que ayuda a describir el mecanismo de trabajo durante la decoloración.**

3.- FUNDAMENTO TEORICO DE LA DECOLORACION POR INTERCAMBIO IONICO

3.- FUNDAMENTO TEORICO DE LA DECOLORACION POR INTERCAMBIO IONICO

3.1 RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

Las resinas de Intercambio Iónico fabricadas para uso Industrial tiene una forma amorfa ó esférica. Los grupos iónicos están enlazados a copolímeros los cuales tienen una red tridimensional.

Las resinas de Intercambio Iónico que intercambian cationes son llamadas resinas de Intercambio Catiónico y las que intercambian aniones son llamadas resinas de Intercambio Aniónico. Los usos de las resinas de intercambio iónico en la industria son múltiples, estos a su vez se han ido ampliando con el desarrollo de éstas.

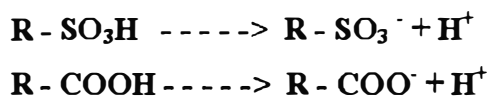
En la tabla N° 3.1 se presentan en forma resumida los diferentes tipos y los usos más comunes en la actualidad.(5)

Considerando que el tema central de la presente tesis es decoloración por intercambio iónico utilizando resinas aniónicas débilmente básicas se tratarán éstas de una forma más detallada en el siguiente punto iniciando por la descripción de las resinas catiónicas.

3.2 RESINAS DE INTERCAMBIO CATIONICO

Estas son producidas por la introducción de grupos ácidos tales como $-SO_3H$ y $-COOH$ como grupos de intercambio dentro de un polímero tridimensional.

Si la matriz de polímero de la resina de intercambio iónico es representada por "R", la resina de intercambio catiónico puede ser expresada con $R-SO_3H$ ó $R-COOH$, si estas resinas son sumergidas dentro de agua los grupos de intercambio se disocian de la siguiente forma:



Las resinas de Intercambio Catiónicas Fuertemente Acidas son las más usadas dentro del grupo de resinas catiónicas. La estructura de estas resinas son mostradas en la Fig. N° 3.1: Estas resinas se venden en forma sódica: $R-SO_3Na$. Cuando estas resinas son usadas en forma Hidrógeno estas deben ser cambiadas a RSO_3H por un proceso llamado "REGENERACION".

TABLA N° 3.1 : TABLA DE CLASIFICACION Y USOS MAS COMUNES
S.E. - ENTRECruzAMIENTO STANDAR

** TIPO DE RESINA: MARCA DIAION

** B.E. - BAJO ENTRECruzAMIENTO

S.E. - ENTRECruzAMIENTO STANDAR

RESINA TIPO GEL	RESINA TIPO GEL		RESINA TIPO GEL	USOS MAS COMUNES
	BAJO/ALTO	ENTRECruzADA		
TIPO	ESQUEMATICA DE LA ESTRUCTURA	ESQUEMATICA DE LA ESTRUCTURA	ESQUEMATICA DE LA ESTRUCTURA	ESQUEMATICA DE LA ESTRUCTURA
R E S I N A	ACIDA FUERTE		PK208 PK212 PK216 PK220 PK226	ABLANDAMIENTO Y DEIONIZACION DE AGUA SEPARACION Y RECUPERACION DE METALES DESECACION DE SOLVENTES ORGANICOS, CATALISIS
C A T I O N I C A	TIPO ACIDA METACRILICO	$\begin{matrix} \text{CH}_2 \\ \\ \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \quad \text{COOH} \end{matrix}$	WK10 WK11	RECUPERACION DE METALES, DE ALICAZACION, REMOCION DE FE, PURIFICACION DE ANTIBIOTICOS FARMACEUTICOS, AMINO ACIDOS, ETC
I N I C A	TIPO ACIDA ACRILICO	$\text{- C H - CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$	WK 20	TRATAMIENTO DE AGUA, RECUPERACION DE METALES, DEALICAZACION, REMOCION DE FE, PURIFICACION DE ANTIBIOTICOS, AMINO ACIDOS, ETC.
B F A U S E I R	TIPO I	$\begin{matrix} \text{- CH} - \text{CH}_2 - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_{10} \\ \\ \text{CH}_3\text{N}(\text{CH}_3)_3 \text{ Cl} \end{matrix}$	PA306 PA308 PA316 PA318 PA312	DEIONIZACION DE AGUA CATALISIS, SEPARACION DE AMINO ACIDOS, REFINACION DE URANIO, AZUCAR RECUPERACION DE METALES
R E S I N A	TIPO II	$\begin{matrix} \text{- CH} - \text{CH}_2 - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_{10} \\ \\ \text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2 \text{ C}_2\text{H}_4\text{OH} \text{ Cl} \end{matrix}$	HPA	D E I O N I Z A C I O N D E M E T A L E S, R E F I N A C I O N D E F O R M A L I N A, S E P A R A C I O N D E A M I N O A C I D O S E T C.
A N I O	TIPO ACRILAMIDA (AMINA TERCIARIA)	$\begin{matrix} \text{- CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_{10} \\ \\ \text{CONH}(\text{CH}_2)_{12} \text{ N}(\text{CH}_3)_2 \end{matrix}$	WA 10 WA 11	PRETRATAMIENTO DE JARABE DE MAIZ, AZUCAR REMOLACHA Y DEXTROSA, REFINACION DE FORMALINA, REMOCION DE SUSTANCIAS ORGANICAS
B A S E I C A	ESTIRENO (AMINA PRIMARIA Y SECUNDARIA)	$\begin{matrix} \text{- CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_{10} \\ \\ \text{CH}_3\text{NH}(\text{CH}_2)_2 \text{ CH}_2\text{NH} \end{matrix}$	WA 20	TRATAMIENTO DE AGUA, REMOCION DE ACIDOS LIBRES TRATAMIENTO DE SOLVENTES ORGANICOS, ETC.
A C I L	ESTIRENO (TIPO AMINA TERCIARIA)	$\begin{matrix} \text{- CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_{10} \\ \\ \text{CH}_2 \text{ N}(\text{CH}_3)_2 \end{matrix}$	WA 30	TRATAMIENTO DE AGUA, PRETRATAMIENTO DE JARABE DE MAIZ, AZUCAR REMOLACHA Y CANA DEXTROSA, REFINACION DE FORMALINA, ENZIMAS, CATALISIS ETC.

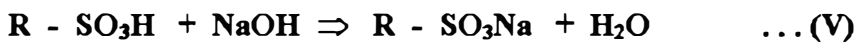
Cuando las resinas en forma sódica son puestas en solución acuosa de HCl ó H₂SO₄, estas pasan a la forma Hidrógeno como sigue:



Esta reacción de intercambio es reversible. Si la resina es regenerada en un sistema BATCH se consigue un equilibrio y la reacción no procede hacia la derecha completamente. Para que esto ocurra debe cambiarse frecuentemente el HCl ó H₂SO₄ (3)

Si la resina es empacada dentro de una columna y una solución de HCl ó H₂SO₄ es añadida lentamente a través de las capas, el equilibrio en las ecuaciones (I) y (II) cambia hacia la derecha y la resina es eficientemente regenerada a la forma Hidrógeno. El empaque de una resina en una columna y el intercambio iónico efectuado con un flujo de fluido es llamado el "METODO DE LA COLUMNA".

Cuando las resinas así regeneradas a la forma Hidrógeno es lavada con agua desionizada y luego colocadas en soluciones acuosas que contiene sales ó bases, ocurren las siguientes reacciones:



Las ecuaciones (III) y (IV) son reversibles por lo que es necesario usar el método de la columna para la regeneración. Pero en la adsorción de bases como la ecuación (V) el equilibrio no existe y el intercambio puede ser conseguido con un sistema Batch.

La resina de intercambio catiónico Débilmente Ácida se disocia solo bajo condiciones alcalinas y no en sales neutras como: NaCl y CaCl₂.

Estas resinas pueden ser usadas para la adsorción de iones de Sodio de una solución de NaOH como en la ecuación (V) ó pueden adsorber iones sodio de soluciones de sales débilmente ácidas como NaHCO₃.

Las resinas de tipo "R- SO₃H". Se disocian fácilmente y tienen la misma acidez que el ácido clorhídrico HCl y el ácido sulfúrico H₂SO₄ y son llamadas RESINAS DE INTERCAMBIO FUERTEMENTE ACIDAS.

Por otro lado las resinas del tipo "R-COOH" al igual que los ácidos orgánicos se disocian con dificultad y tienen un caracter ácido débil son llamados RESINAS DE INTERCAMBIO DEBILMENTE ACIDAS.

Los grupos “-SO₃⁻” y “-COOH” están enlazados a la matriz de polímero y no pueden moverse en forma libre y son llamados “IONES FIJOS”. Los iones móviles que tienen cargas opuestas y neutralizan a estos eléctricamente; son llamados “IONES CONTRARIOS”, (H⁺ en el caso de R - SO₃H). Por lo tanto la reacción de intercambio iónico es realmente un fenómeno de intercambio de estos iones contrarios, esto es necesario para que los grupos de intercambio se disocien.

En la Fig. No. 3.2 se muestra un modelo del estado de disociación de una resina de intercambio catiónico. En esta figura “H” representa el ión Hidrógeno.

3.3. RESINAS DE INTERCAMBIO ANIONICO:

La estructura de estas resinas se basa en que la matriz es fabricada por polimerización o condensación del tipo tri-dimensional.

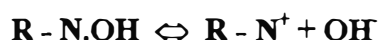
Como grupo de intercambio tenemos amonio cuaternario, grupo amino primario (NH₂), grupos amino secundarios (-NHR) y grupo amino terciario (-NR₂). Estos se sitúan al borde de la matriz de la resina.

3.3.1. TIPOS DE RESINA ANIONICA:

De acuerdo a su estructura tenemos:

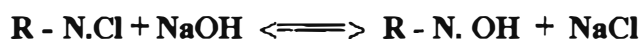
a) Resinas aniónica básica fuerte:

Aquellas resinas que tienen grupos amonios cuaternarios, y su grupo de intercambio son básicamente fuertes, son llamados resinas aniónicas básicas fuertes. Estas se representan como R-N. OH, y se disocian en el agua de la siguiente manera:



La basicidad de los grupos amonios es alta y su disociación e intercambio en soluciones es en todo el rango de pH. Estas resinas son vendidas en las formas cloro (R-N.CL) porque su estabilidad química es buena.

Cuando son usadas en la forma R-N.OH éstas pueden ser regeneradas con una solución de Na.OH :



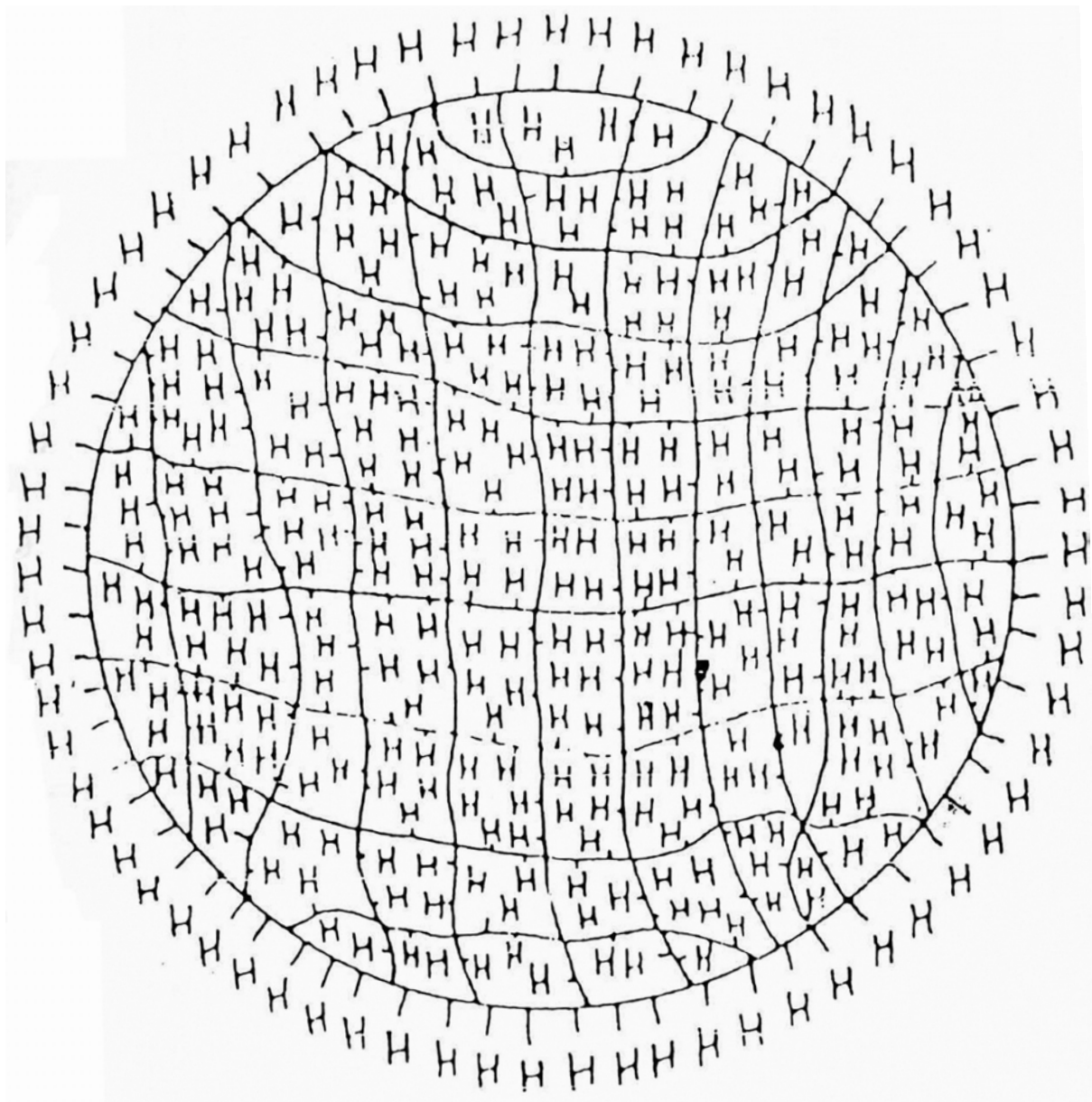
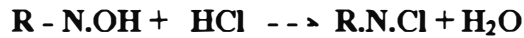
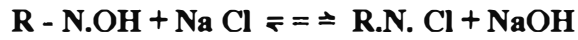


Fig. 3.2 Estructura de una Resina de Intercambio
Catiónica Acida Fuerte

Esta reacción es reversible, la regeneración es más efectiva con el método de columna que con el sistema Batch ⁽⁴⁾. Cuando la resina regenerada a la forma R-N.OH es lavada con agua, añadiendo la solución de NaCl ó HCl, los iones intercambiados se muestran en las siguientes ecuaciones:



Hay dos tipos de resinas de intercambio básico fuerte (según Diaion)⁽⁴⁾. Tipo I: Tienen fuerte basicidad, tipo II: Tienen basicidad débil. Su estructura es mostrada en la Fig. 3.3 y la Fig. 3.4.

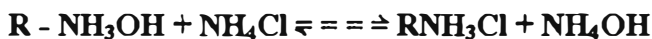
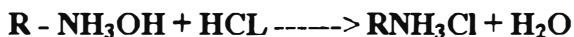
b) Resinas Aniónica Débil Básica:

Se describirá en el siguiente punto.

3.3.2. RESINA DE INTERCAMBIO ANIONICA DEBIL BASICA (R.I.A.D.B.)

Estas son resinas que tienen grupos primarios, secundarios y terciarios amino; éstos disocian y tienen alta capacidad de intercambio principalmente en soluciones ácidas; éstas pueden intercambiar ácidos minerales y sales básicas pero no pueden intercambiar con sales neutras como (NaCl), ni ácidos débiles.

Los grupos de las R.I.A.D.B. son básicas débiles, y estos se disocian con dificultad en soluciones básicas y no tienen capacidad de intercambio, en soluciones ácidas, éstas disocian y tienen capacidad de intercambio. En ácidos minerales como HCl, H₂SO₄ y sales básicas débiles como NH₄Cl pueden ser intercambiadas, pero sales neutrales como NaCl no pueden ser separadas por estas R.I.A.D.B.:



Estas resinas intercambian ácidos débiles con dificultad, y no pueden cambiar ácido silícico.

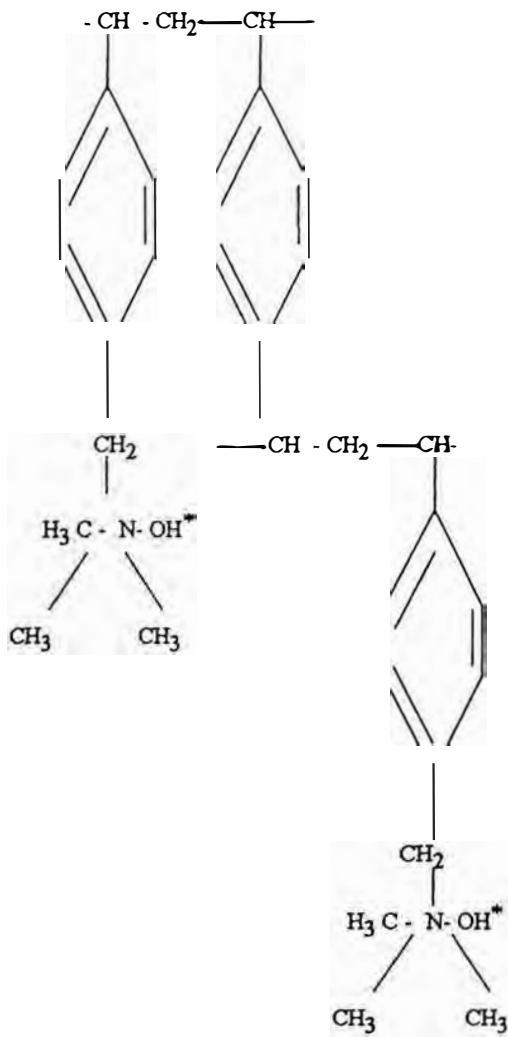


FIG. 3.3 ESTRUCTURA DE RESINA ANIONICA BASICA FUERTE (TIPO I)

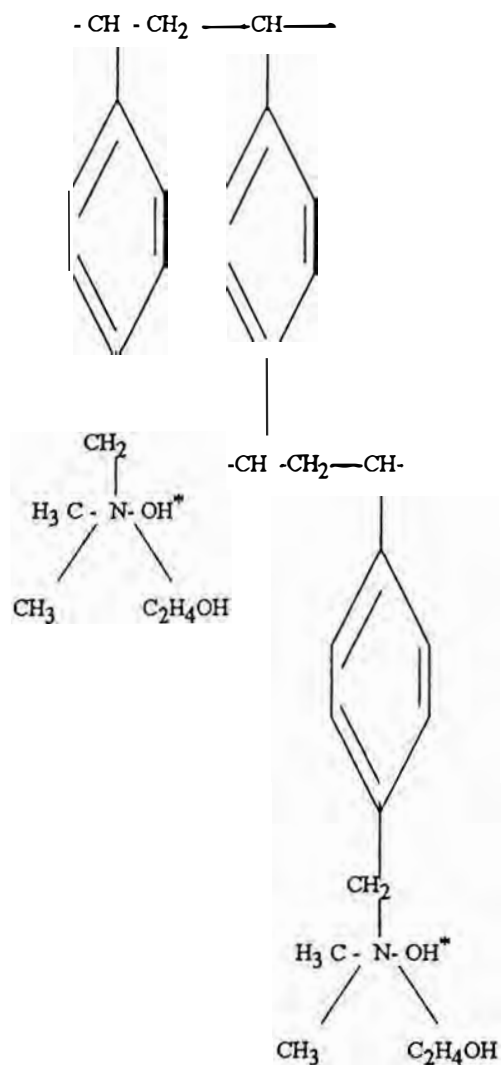


FIG. 3.4 ESTRUCTURA DE UNA RESINA ANIONICA BASICA FUERTE (TIPO II)

Como su basicidad es baja, las resinas en forma de sal son fácilmente regeneradas a su forma libre. La regeneración puede ser realizada con Na_2CO_3 y NH_4OH y también con NaOH , cuando un regenerante básicamente fuerte como NaOH es usada en la regeneración sólo una pequeña cantidad de regenerante es requerida para la capacidad de intercambio, lo cual hace que estas resinas sean muy económicas.

Hay muchos tipos de resina de intercambio iónico básica débil en el mercado, algunos de los cuales no están descritos claramente. Sin embargo las resinas están basadas en Copolímeros de estireno y D.V.B. Dentro de estas según Diaion tenemos: WA20 y WA21 tienen grupos Aminos primarios y secundarios.

WA30 tiene grupos aminos terciarios solamente.

WA10 y WA11 son grupos terciarios Aminos producidos por una reacción de RIC ácida débil basada en polímeros acrílicos ácidos con una amina especial.

La estructura de estas resinas se aprecian en la Fig.3.5, 3.6, y 3.7.

Todas las resinas pueden ser utilizadas para tratamiento de aguas.

WA30 tiene excelente capacidad de decoloración, por lo que es usada para la purificación de soluciones azucaradas.

Las R.I.A. débiles básicas son fácilmente regeneradas.

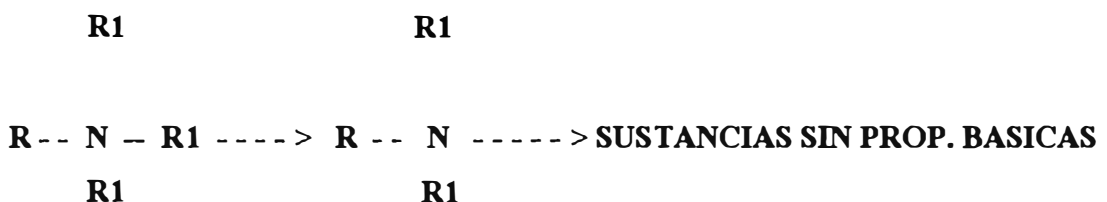
3.3.3 DETERIORO DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO ANIONICA (RIA):

Si las resinas de intercambio son usadas por un largo período, la calidad y cantidad de los líquidos tratados cae debido al deterioro de las resinas.

Aunque el deterioro de la capacidad de las R.I.A. es complicada se mencionará algunos de los problemas más comunes:

3.3.3.1 DESCOMPOSICION DE LOS GRUPOS DE INTERCAMBIO

Como las R.I.A. tienen grupos cuaternarios amonio como grupos de intercambio, son relativamente inestables. Las resinas ANIONICAS básicas fuertes están divididas en 2 grupos: TIPO I Básica Fuerte y TIPO II Básica Débil. Cuando las R.I.A. básica fuerte son oxidadas los grupos de intercambio cambian de amonio cuaternario a grupo amino y finalmente a un grupo no básico:



En este punto la resina de intercambio básica fuerte contiene ambos grupos básicos fuertes y básicos débiles ocasionando que la capacidad disminuya.

3.3.3.2 HINCHAMIENTO IRREVERSIBLE DE LAS R.I.A.

Si las R.I.A. básica fuerte son oxidadas sus grupos de intercambio se convierten en básicos débil. En tales casos el contenido de humedad decrece y la resina se contrae. Cuando la estructura de la red es oxidado, el entrecruzamiento se rompe y algunas veces ocurre el hinchamiento irreversible. Es dificultoso distinguir entre este dos tipos de oxidación aún si la capacidad de intercambio y el contenido de humedad son medidas. Estas oxidaciones dependen del tipo de resina y las condiciones de oxidación.

3.3.3.3 FOULING DE LAS R.I.A. POR SUSTANCIAS ORGANICAS

3.3.3.3.1.- Fundamentos del “Organic Fouling”:

En el tratamiento de agua; la pureza de ésta decrece repentinamente después de repetidos ciclos. En el tratamiento de dextrosa y sacarosa con R.I.A. las resinas gradualmente se tornan negra y la velocidad de reacción disminuye.

En la Fig. 3.8 Na_2SO_4 - 0.5 N fue pasado al mismo flujo a través de dos columnas - una contiene resina de intercambio Aniónico el cual fue usada previamente para la purificación de dextrosa siendo luego completamente regenerada, la otra con una nueva R.I.A. de la forma OH. Posteriormente se midió la liberación de NaOH en el efluente y se comparó el porcentaje de reacción realizado.

Aunque la reacción de la nueva resina fue completada después de 200 ml., la reacción de la resina usada no fue completa aún pasando 1,200 ml., este fenómeno es causado por algunas sustancias orgánicas las cuales son absorbidas por los microporos de la resina.

Tal interferencia es llamada “ORGANIC FOULING” (Daño orgánico). Estas sustancias orgánicas con frecuencia ingresan dentro de las macromoléculas, ocasionando dificultades para restablecer la resina dañada.

Aún en el tratamiento de agua, el “ORGANIC FOULING” es causado por sustancias orgánicas como: ácido fúmico.

Esto reduce a través del tiempo la capacidad de la resina aniónica. La regeneración se hace más difícil y los problemas se manifiestan en la solución a tratar.

Por ejemplo los efectos de la contaminación orgánica en las R.I.A. básica fuerte al tratar agua son:

1. Bajo PH y Alta Conductividad, estos efectos se atribuyen a una hidrólisis parcial de la materia orgánica que permanece después de la regeneración.

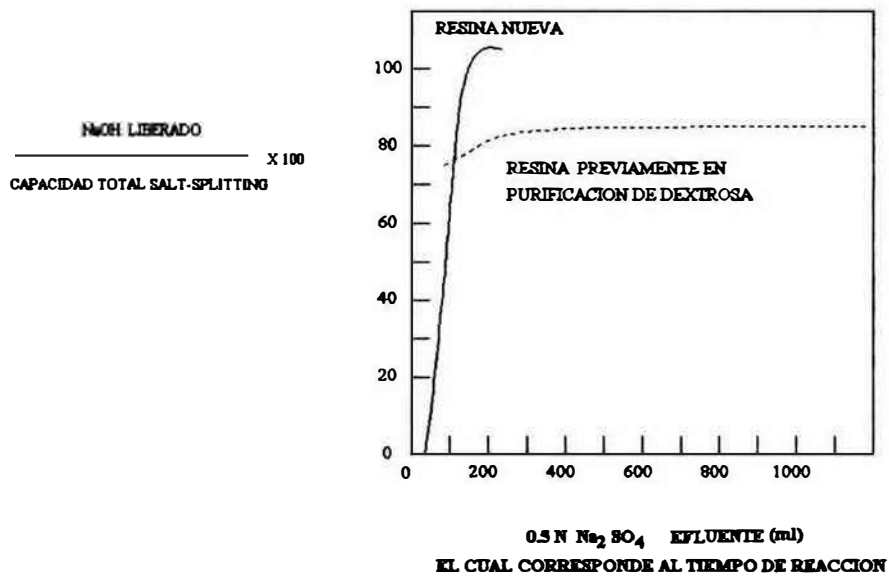


FIG.3.8 CARACTERISTICAS DE CAIDA DE CAPACIDAD DE RESINA ANIONICA BASICA FUERTE

2. Fuga de Sílice mayor, se debe a una regeneración incompleta por los efectos estéricos de los contaminantes.
3. Aumento en el agua necesaria para enjuague, esto se debe al efecto anfotérico de los contaminantes.

3.3.3.2. Acciones para eliminar el "Organic Fouling" en las resinas

La primera acción es seleccionar una resina adecuada para el tratamiento de soluciones cuyo contenido de sustancias orgánicas es alta, siendo las más recomendables aquellos que tengan bajo grado de entrecruzamiento; pero aún en estos casos es conveniente efectuar tratamientos con salmuera alcalina en forma periódica; la frecuencia puede ser desde un tratamiento por año hasta un tratamiento por mes, dependiendo del tipo de solución de alimentación al sistema y del tipo de resina aniónica en operación.

Para la limpieza con Salmuera Alcalina

Concentración:	NaCl	10%	
	NaOH :	2%	
Nivel de Regeneración:	NaCl (100%)	300 gr/Lt	(a)
	NaOH (100%)	60 gr/Lt	(a)
Temperatura:	35 - 50°C		(b)

Nota: (a) El nivel de regeneración se refiere al volumen total de resina, así por ejemplo en el caso de lechos mixtos debe considerarse el volumen de la resina catiónica también, aún en el caso de que solamente se desee tratar la resina aniónica.

(b) Es necesario verificar la resistencia a la temperatura indicada por el fabricante.

Solamente en caso de que el tratamiento de salmuera alcalino no resulte efectivo para eliminar la contaminación orgánica, debe intentarse el tratamiento extremo de limpieza con hipoclorito de sodio, es importante anotar que el ión hipoclorito puede reaccionar con los grupos activos de la resina y posteriormente, degradarlo, por lo que se recomienda saturar las resinas aniónicas con cloruros.

Para la limpieza con Hipoclorito de Sodio

Concentración	1%	(como Cl libre)
Volumen	3	(volumen de resina)
Temperatura	Ambiente	

Notas :

- a) **Este procedimiento es un recurso extremo y solo se recomienda cuando otros procedimientos no han resultado efectivos.**
- b) **El Hipoclorito de Sodio es un oxidante poderoso y debe conocerse bien las precauciones de manejo antes de emplear este procedimiento.**
Para protección de los operadores, los drenajes deben enjuagarse antes de que se descargue ácido ya que podría generarse gas cloro en las tuberías.
- c) **Antes de iniciar el tratamiento de limpieza con hipoclorito se debe asegurar que las resinas estén completamente agotadas.**

3.3.3.4 INTERFERENCIA EN EL INTERCAMBIO IONICO DEBIDO A DEPOSITOS EN R.I.A.

Al igual que R.I. catiónico, la capacidad de intercambio es algunas veces bajada por impurezas el cual se acumula en las resinas. Acido silícico a veces se acumula en las R.I.A. básicas fuertes y baja su capacidad para remover ácido silícico. En tales casos se usa suficiente cantidad de NaOH caliente regenerando la resina para restablecer su estado original.

Si R.I.A. regenerada es lavada con agua dura, Mg(OH) se deposita en la resina y baja su capacidad de intercambio por lo que se recomienda agua blanda para el desplazamiento y el enjuage.

3.4 PROPIEDADES DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO:

A continuación se mencionan las propiedades generales de las Resinas de intercambio.

3.4.1 LOS ENLACES CRUZADOS DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO:

La matriz de Polímero de la Resina de Intercambio Iónico (R.I.I.) es principalmente un copolímero de Estireno y Divinilbenceno (DVB). El Radical de Polimerización de una mezcla de Estireno (con grupo vinil) y DVB (con dos grupos vinilos) con la ayuda de un iniciador de Polimerización origina un copolímero de enlaces cruzados como en la Fig. N° 3.9.

Aunque la figura N° 3.9 está mostrando un modelo planar, en realidad el copolímero tiene una complicada estructura tridimensional como se aprecia en la Fig. N° 3.10.

Esta estructura puede ser representada como una cadena elástica que son enlaces cruzados irregulares. Si la Polimerización es realizada con gran cantidad de DVB, muchos enlaces se forman para producir una estructura densa. Un pequeño % DVB en la resina, tienen pocos enlaces con una estructura de red con diámetros de poros grandes.

De este modo el DVB actúa como un nudo en la estructura de la red y es llamado “Agente de Entrecruzamiento”. El Porcentaje de DVB ($\%DVB = DVB / TOTAL\ MONOMEROS \times 100$) es usado para indicar la aspereza de la estructura de la Malla, y se conoce como grado de entrecruzamiento. Generalmente una resina que tiene cerca del 8% de entrecruzamiento es considerada como resina de entrecruzamiento estándar.

Las resinas que tienen más del 8% son llamadas resinas de alto entrecruzamiento, y las que tienen menos del 8% son llamadas resinas de bajo entrecruzamiento.

El copolímero de Estireno-DVB no es Hidrofilico. Cuando los grupos de intercambio son introducidos dentro de éste, ésta adsorbe mucha agua y se hincha. Esta adsorción característica es debido a la presión osmótica y la hidratación de iones fijos y contrarios.

Cuando la resina adsorbe agua, las cadenas de la matriz del polímero se extienden proporcionalmente y esta fuerza de adsorción guarda un equilibrio con la fuerza elástica de la matriz del polímero. De esta forma el estado de hinchamiento y el contenido de humedad de la Resina son estables. Las cadenas de las resinas de alto entrecruzamiento se dilatan con dificultad y de este modo limitan el contenido de la humedad.

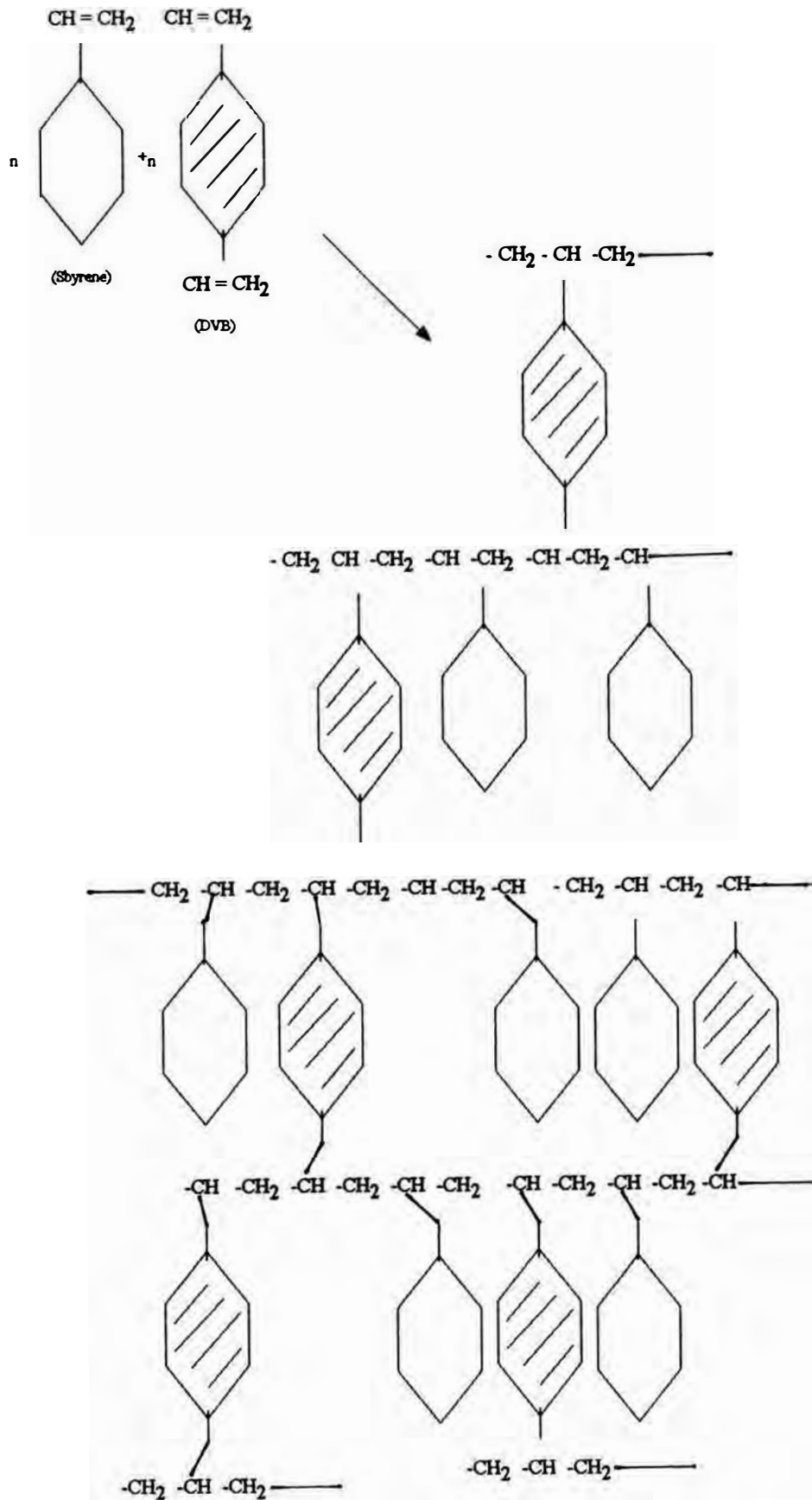
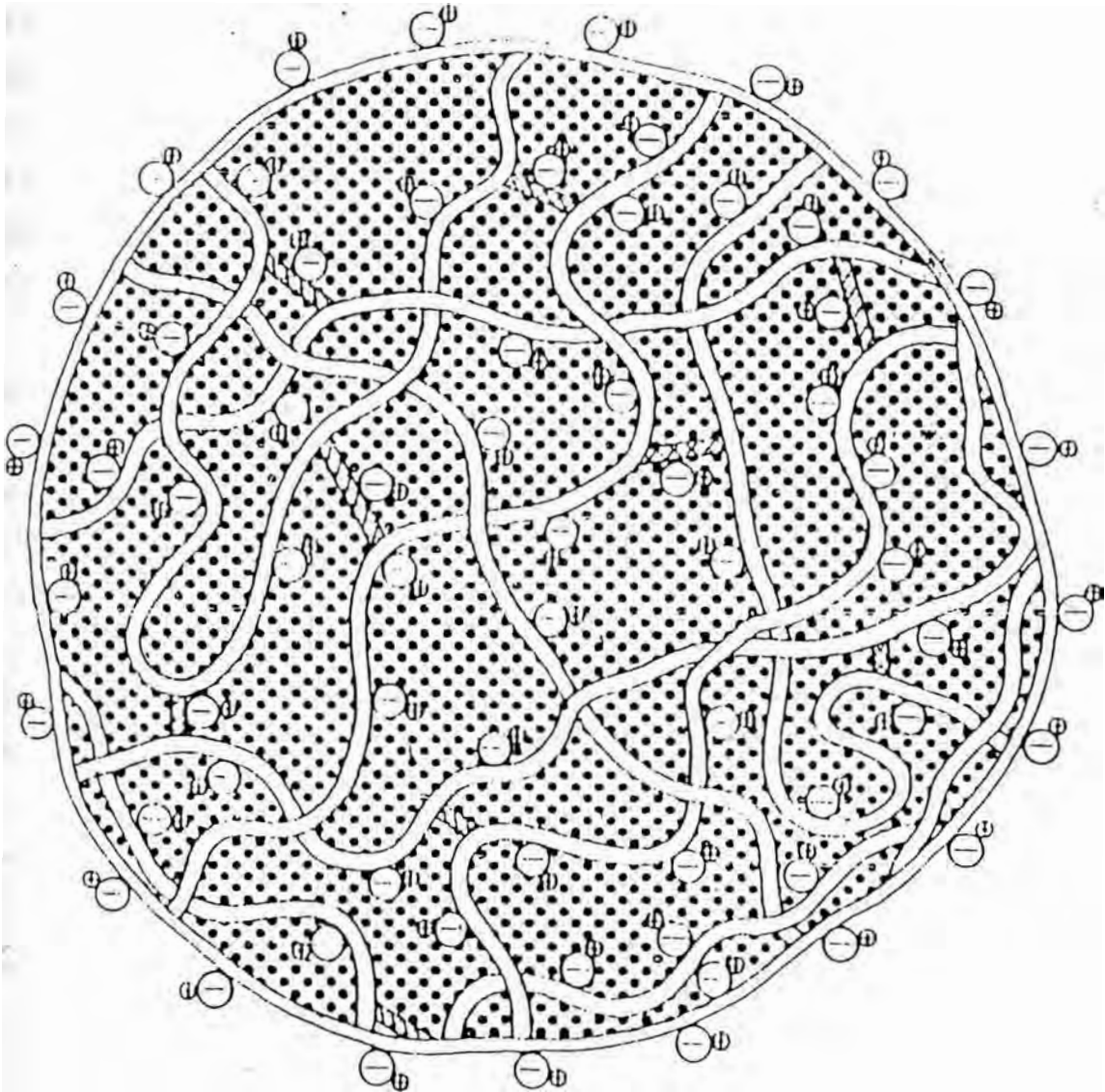


FIG. 3.9 ESTRUCTURA DEL COPOLIMERO DE ESTIRENO Y DVB



⊖ Anión Fijo SO_3^-

⊕ Cation Contrario Na^+

~ Estireno

xxxxxxx Agente de Entrecruzamiento (DVB)

⋯ Agua Hidratante

Fig. 3.10 Estructura de una Resina de Intercambio Iónico

Las resinas de bajo entrecruzamiento, sin embargo tienen alto contenido de humedad y altas características de hinchamiento.

Cuando las resinas de intercambio iónicas adsorben agua, forman microporos en la resina. Los iones contrarios se difunden dentro de estos microporos y se da lugar al intercambio iónico. El tamaño del microporo es una característica muy importante de la resina de intercambio iónico, y de éste depende el entrecruzamiento.

3.4.2 RELACION DEL GRADO DE ENTRECruzAMIENTO Y PROPIEDADES DE LA RESINA DE INTERCAMBIO:

a) Relación de Reacción:

Cuando una resina tiene bajo porcentaje de entrecruzamiento la velocidad de reacción es rápida, porque los microporos se agrandan y la difusión de los iones es más fácil.

b) Cambio de Volumen:

El volumen de resina de intercambio varía con los diferentes iones contrarios ó cuando son remojados en una solución con electrólitos; estos volúmenes cambian siendo mayores con un bajo % de entrecruzamiento.

Tales cambios de volúmenes algunas veces traen varios problemas en los usos prácticos por ejemplo, cuando las resinas de bajo entrecruzamiento son usadas en columnas, éstas a veces obstruyen la columna por un repentino cambio de volumen e interfieren con la completa desionización del agua que se está tratando.

c) Coefficiente de Selectividad:

El alto grado de entrecruzamiento trae un coeficiente de selectividad mayor.⁽⁶⁾

d) Oxidación de Resinas Aniónicas Fuertemente Básicas:

Como se mencionó anteriormente, si una RIA fuertemente Básica es oxidada, decrece la capacidad de intercambio debido al deterioro de grupos de intercambio dentro de grupos débilmente básicos y la oxidación de la red del polímero cuanto menor es el entrecruzamiento más fácil es la oxidación.

e) “Organic Fouling”: en Resina de Intercambio Aniónica:

Un alto grado de entrecruzamiento ocasiona una gran tendencia a ser dañada por sustancias orgánicas. El uso de las resinas de bajo entrecruzamiento se ha incrementado en la actualidad por ejemplo éstas son utilizadas en la purificación de soluciones de azúcar,

con buenos resultados, utilizándose por un largo período. Si se utiliza resinas con un entrecruzamiento standard para este caso la capacidad de deionización y decoloración disminuiría luego de varios ciclos.

Especialmente para decoloración, una pequeña variación en el grado de entrecruzamiento tiene un gran efecto en la eficiencia de la resina.

f) Eficiencia de Regeneración:

Las resinas catiónicas ácidas fuertes y las aniónicas básicas fuertes tienen grupos de intercambio que contiene fuertes electrólitos y no pueden ser regenerados fácilmente, especialmente cuando el grado de entrecruzamiento es alto.

En la fig. 3.11 el porcentaje de regeneración es graficada con el nivel de regeneración para algunas resinas de diferentes entrecruzamientos. Aquí se aprecia que a bajo grado de entrecruzamiento más fácil es la regeneración.

3.4.3 TENDENCIA SELECTIVA DE IONES DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO

A continuación se dan las siguientes pautas de selectividad de resinas Catiónicas ácida fuerte:

a) Cuando una solución acuosa de baja concentración y normal temperatura es tratada con una R.I.C. ácida fuerte, la selectividad de adsorción es mayor conforme la valencia de los iones crece: $\text{Na}^+ < \text{Ca}^{+2} < \text{Al}^{+3} < \text{Th}^{+4}$, cuando la valencia es idéntica la selectividad es mayor conforme crece el número atómico: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{Cs}^+ < \text{Mg}^{+2} < \text{Ca}^{+2} < \text{Sr}^{+2} < \text{Ba}^{+2}$. Aunque la diferencia no es muy grande como el caso de diferentes valencias.

b) Este caso anterior se refiere a soluciones diluidas, cuando la concentración de iones se incrementa, la diferencia en selectividad decrece y algunas veces es inversa.

En continuación, la selectividad de una RIC ácida fuerte para diferentes cationes es el siguiente:

$\text{Ba}^{+2} > \text{Pb}^{+2} > \text{Sr}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{Ni}^{+2} > \text{Cd}^{+2} > \text{Cu}^{+2} > \text{Co}^{+2} > \text{Zn}^{+2} > \text{Ti}^+ > \text{Ag}^+ > \text{Cs}^+ > \text{Pb}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$

La selectividad de resinas aniónicas es como sigue: ⁽¹³⁾

$\text{OH}^- > \text{CITRATO}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{OXALATO}^- > \text{I}^- > \text{NO}_3^- > \text{CrO}_4^{-2} > \text{Br}^- > \text{SCN}^- > \text{Cl}^- > \text{FORMATE}^- > \text{ACETATO}^- > \text{F}^-$

3.4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD E HINCHAMIENTO DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO

Cuando las resinas de intercambio secas son guardadas en aire o agua, las resinas absorben agua y se hinchan.

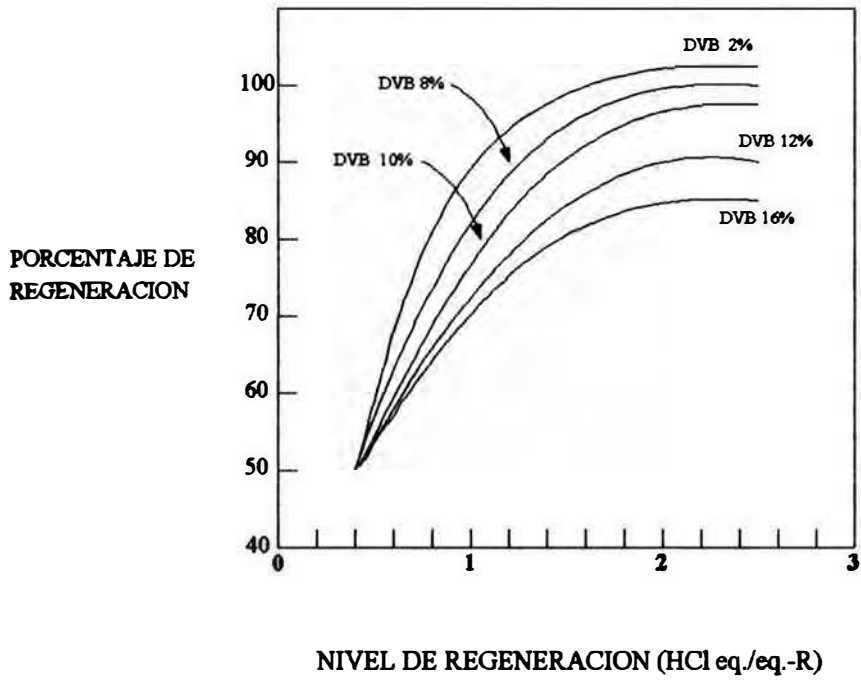


FIG. 3.11 RELACION DEL % DE REGENERACION AL GRADO DE ENTRECruzAMIENTO DE UNA RESINA CATIONICA ACIDA FUERTE

Aunque la contracción de las resinas pueden ser observadas en la regeneración de las resinas, su volumen es recobrado en los pasos de desplazamiento y enjuague.

Esta característica es causada por la hidradación de iones fijos y contrarios en la resina y la presión osmótica

3.4.5 PROPIEDADES HIDRAULICAS Y TAMAÑO DE PARTICULAS DE RESINAS DE INTERCAMBIO

Las propiedades hidráulicas de las resinas de intercambio (la principal pérdida de flujo en el proceso y la expansión del lecho en el retrolavado) están relacionados con el tamaño de la partícula.

El tamaño industrial de las resinas de intercambio generalmente es: 10-50 MESH.

Para expresar la distribución del tamaño de la partícula, el análisis de mallas es usado algunas veces, pero generalmente se usa el tamaño efectivo de partícula y el coeficiente de uniformidad. El tamaño efectivo de partícula significa MESH de la malla (mm), el cual pasa el 10% y retiene 90% de la totalidad de la resina.

El coeficiente de uniformidad es el valor que muestra calidad cortante de la distribución del tamaño de la partícula. Este valor se puede obtener por

$$\text{COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD} = \frac{\text{MALLAMESH (mm) PASA 60\% Y RETIENE 40\% DE LA RESINA TOTAL}}{\text{MALLA MESH (mm) PASA 10\% Y RETIENE 90\% DE LA RESINA TOTAL}}$$

3.4.6 VOLUMEN APARENTE DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO

Es conveniente para el manipuleo de las resinas de intercambio tomar como base el volumen, porque estas resinas son usadas generalmente en columnas. El volumen sin embargo es problemático y muy dificultoso medirlo exactamente.

El volumen de resina de intercambio es medido con una probeta graduada. En éste método la resina es cargada poco a poco dentro de un cilindro previamente llenado con agua. Después suavemente de taponar a la probeta, el volumen puede ser leído. Este método es llamado "Tamp. Method".

Otro método es utilizado en la columna. En este método el volumen es determinado después de hacer un retrolavado a la resina que esta en la columna y a un flujo que causa expansión del lecho a 50% - 70%, y posteriormente se llena el agua hasta que el agua alcance el nivel superior de la capa de resina. Este método es llamado "Backwash and drain Method".

El volumen medido con el último método es cercano al volumen obtenido en la industria.

3.4.7 DURABILIDAD FISICA DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO

Después de que las resinas han sido usadas por un largo período, éstas están propensas a desmenuzarse, causando un incremento en la pérdida.

En el caso del “lecho mixto” en el cual las resinas catiónica y aniónica son usadas en estado mezclado, los dos tipos de resinas alcanzan un grado en el cual la regeneración no puede ser acabada satisfactoriamente.

Cambios en el contenido de humedad de las resinas de intercambio debido a la regeneración, enjuague y deionización, causa cambios en el volumen. Si tales cambios de volúmenes ocurren rápidamente, la tensión en las partículas de la resina causa rajaduras y finalmente rotura.

Las técnicas de fabricación usadas tienen mucho que ver con la duración físicas de las resinas. Los equipos mal diseñados también incrementan la rotura. Por ejemplo, si el lecho de resina es tan alta, en relación al diámetro de la columna de la resina, ocurre rotura porque la resina se hincha rápidamente después de la regeneración y las partículas en la parte baja son aplastadas una y otra vez.

Resinas de alto % de entrecruzamiento no son siempre fuertes.

Estas son duras pero les falta elasticidad, por otro lado las resinas de bajo entrecruzamiento son elásticas pero no son muy fuertes.

La experiencia muestra que la resina con intermedio % de entrecruzamiento son las más fuertes.

3.4.8 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

En el tratamiento de la ionización con resinas de intercambio, la velocidad espacial (sv) es generalmente usada para la representación del flujo aplicado a la columna de resina.

Estos valores muestran cuantas veces el volumen de la resina es pasado de hora. Por ejemplo, pasando una solución de 1000 ml. por hora a través de 100 ml. de resina da un $sv=10$.

Algunas veces la velocidad lineal (LV) puede ser usada. LV representa el flujo en la forma de m/hr. y puede ser obtenida como sigue: (volumen flujo por hora/area sección de la columna de resina: $m^3/hr/m^2 = m/hr$).

Si el regenerante es insuficiente, la regeneración de la resina puede ser incompleta y se necesitará más regenerante.


La Fig. 3.12 muestra un resultado standard de tratamiento de deionización, el cual es obtenido por el paso de una solución de sal continua a una resina de intercambio regenerada y analizando la “fuga” en el efluente.


En la Fig. 3.12 el volumen del efluente se encuentra en la abcisa y la “fuga” en la ordenada. Como se puede apreciar al principio, una mínima “fuga” es encontrada en el efluente conforme va avanzando la operación la “fuga” repentinamente empieza a incrementarse. Este punto es llamado “Breakthrough point” BTP (punto de ruptura continuo).

Algunas veces el incremento del punto de “fuga” no es muy claro. En estos casos el punto donde la “fuga” alcanza un cierto valor es usado como BTP.

En adsorción los iones de resinas de intercambio hay dos posibilidades:

Una es obtener líquidos tratados de alta pureza y el otro de recuperar los iones adsorbidos.

En el primer caso la operación es solo continuada arriba de BTP, mientras que en el otro caso la operación puede ser continuada hasta que el efluente alcanza la misma concentración del efluente con el fin de capturar la mayor cantidad iones. La capacidad obtenida por la continuidad de la operación arriba del BTP es llamada “Breakthrough Capacity” (BTC) el cual corresponde al área representada por  en la Fig. 3.12.

La capacidad obtenida por la continuidad de operación hasta que la concentración de iones se convierte en la misma que la del influente corresponde al número de grupos intercambio regenerados, el cual es el área representada por . Estas capacidades de intercambio pueden ser calculados desde la concentración de iones en el influente, la concentración del efluente y el volumen del efluente.

La capacidad es representada por MEQ/ML-R ó gramos $\text{CaCO}_3/1\text{-r}$ (en algunos casos $\text{CaCO}_3/\text{g-dry-R}$). En algunos países como USA, kilogramo como $\text{CaCO}_3/\text{ft}^3\text{-R}$ es usado.

El mleg/ml-r significa cuantos miliequivalentes de grupos de intercambio son contenidos en un mililitro de resina de intercambio iónico.

Las resinas de intercambio básicas fuerte y ácida fuerte son dificultosas para regenerar, por lo que mucho más regenerante es necesario para recuperarlas completamente. En la industria estas son casi siempre usadas en un estado de regeneración incompleta.

“La capacidad Breakthrough” no es fácil medirla no solo por la dificultad de la medición sino por los cambios en los valores de las medidas causadas por el flujo, la concentración de iones en el agua y la composición de iones en el agua cruda.

En el contraste con ésta; la capacidad total de intercambio puede ser fácilmente medida por simple cálculo total de iones contrarios en la resina.

CONCENTRACION DE IONES DEL AGUA CRUDA

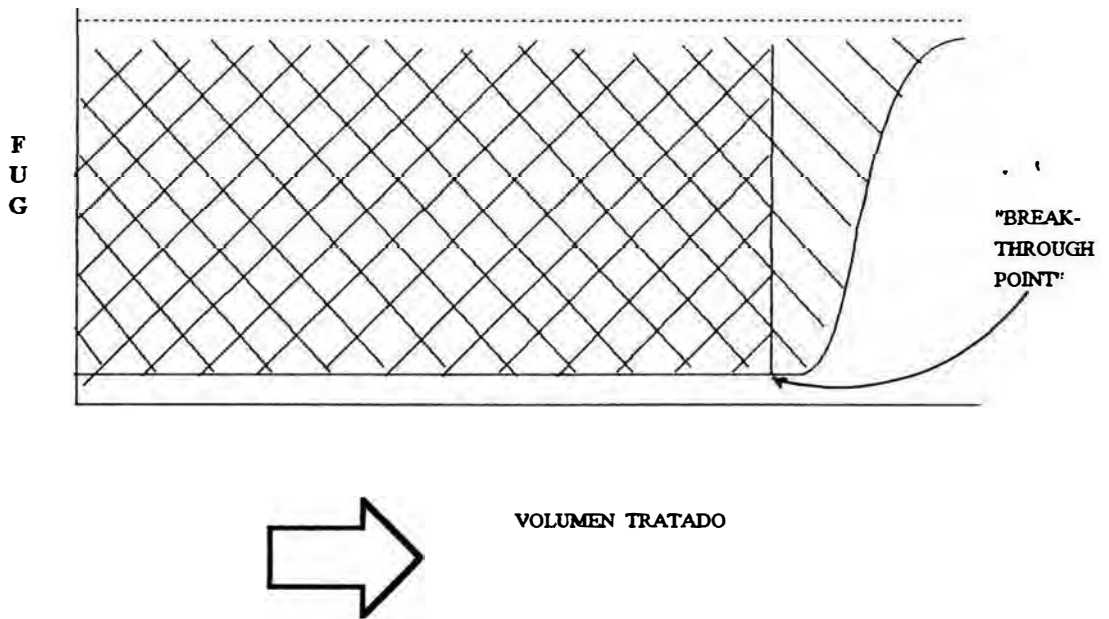


FIG. 3.12 MODELO DE FUGA DURANTE LA DEIONIZACION

Por lo tanto la capacidad total de intercambio es generalmente usada para descripción de resina de intercambio.

En el caso R.L.C. ácida fuerte, esta puede determinarse por el paso de solución de NaCl a través de la resina en la forma regenerada y midiendo los iones H liberados en la forma HCL.

En el caso R.L.A. básica fuerte la capacidad total de intercambio es determinada pasando solución de NaCl a través de la resina en la forma regenerada y medir los OH liberados en la forma NaOH.

Debido a que los grupos de intercambio iónico ácida fuerte y básica fuerte descomponen las sales neutras, su capacidad de intercambio es algunas veces llamadas "Salt - Splitting Capacity".

3.4.9 REGENERACION PARCIAL EN INTERCAMBIO IONICO:

Si se usa una gran cantidad de regenerante, los grupos de intercambio de la resina puede ser casi completamente regenerados, aunque este método no es favorable desde el punto de vista económico. En la industria se emplea el método que utiliza menor cantidad de regenerantes, este método es llamado "regeneración parcial". La cantidad de regenerante usado es llamado "nivel de regeneración" el cual representa la cantidad de regenerante usado por unidad de volumen de resina por ejemplo: si 50 mlt de resina son regenerados con 10 gr. de HCl, el nivel de regeneración es 200 gr. HCL/R.

Al cargar un R.L.C. ácida fuerte en la forma sódica en una columna y regenerándola con una adecuada cantidad de HCl, la resina es regenerada a la forma hidrógeno (al usar menos regenerantes origina que en la parte baja de la capa de la resina aún hay partes no regeneradas) a la columna se añade una solución de NaCl y se mide el HCl en el effluente.

Por este camino el porcentaje de resina regenerada y el porcentaje de regeneración puede ser determinada. La relación entre el porcentaje de regeneración y el nivel de regeneración es mostrada en la figura N° 3.13.

Si el nivel de regeneración es alcanzado, el porcentaje de regeneración puede incrementarse, pero la relación de cantidad de resina regenerada a la cantidad total de regenerante usado (eficiencia de regeneración) decrecerá. Inversamente no se obtiene un alto porcentaje de regeneración pero la eficiencia de regeneración se incrementa.

Operar con un bajo nivel de regeneración es un camino económico para usar resinas de intercambio iónico.

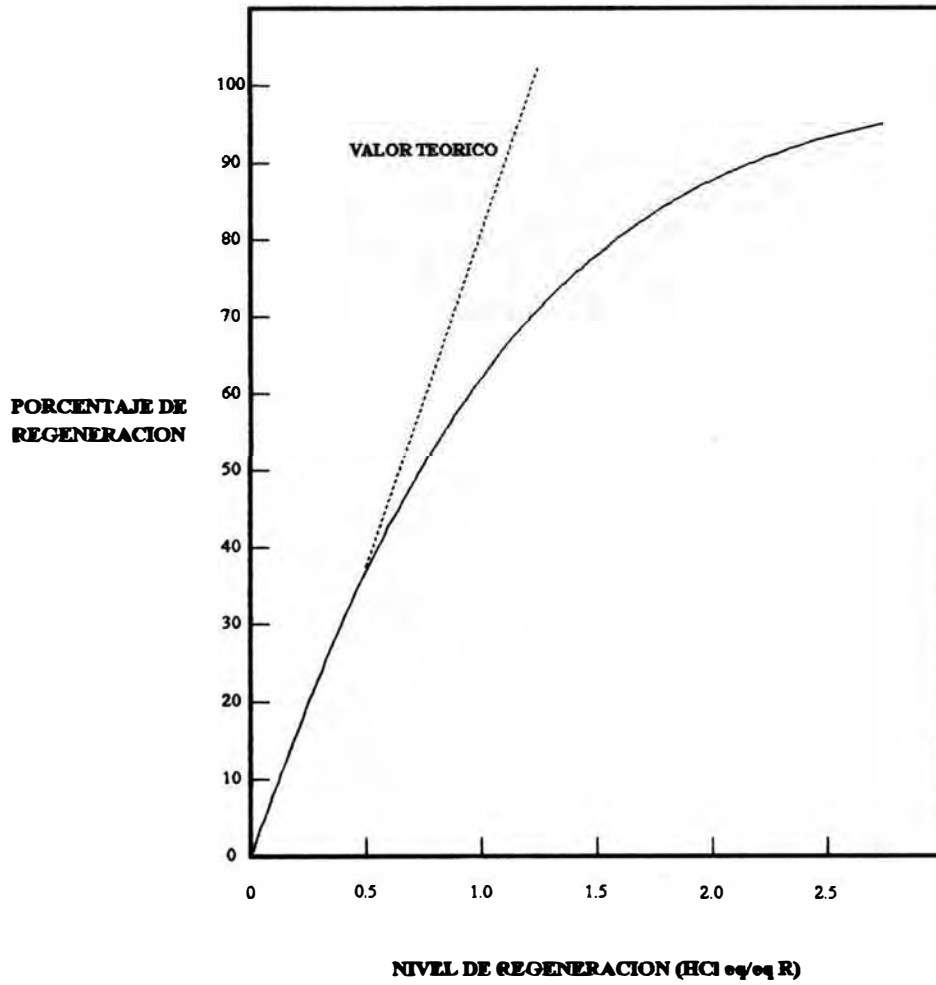


FIG. 3.13 RELACION DE PORCENTAJE DE REGENERACION CON EL NIVEL DE REGENERACION

3.5 QUIMICA DE LAS SUSTANCIAS QUE ORIGINAN COLOR

3.5.1 INTRODUCCION

Las soluciones azucaradas provienen del tratamiento de la caña de azúcar, y en ésta se encuentran sustancias coloreadas. Su carácter depende hasta cierto punto, del tipo de la caña, del suelo, de las condiciones de cultivo, del área geográfica y de los procesos de molienda y refinación empleados.

Las sustancias responsables del color se clasifican normalmente como impurezas diferentes del azúcar (no azúcares).

Desde hace tiempo se han efectuado numerosas investigaciones sobre el color en las soluciones azucaradas, su separación y medición. Sin embargo, todavía es limitada la cantidad de información que se tiene sobre éste.⁽¹²⁾

Gran parte de este trabajo se ha efectuado sobre la determinación del color pues se ha encontrado que se necesita una medición correcta por medio de los modernos métodos de análisis espectro fotométricos, antes de llevar a cabo investigaciones más exactas sobre propiedades físicas de las sustancias que originan color.

3.5.2 QUIMICA DE LAS SUSTANCIAS COLOREADAS

La naturaleza general de las sustancias coloreadas responsables del color de la caña de azúcar que se manifiestan posteriormente en sus soluciones azucaradas provienen de: las sustancias de la caña que ya tienen color en su forma original, las sustancias de la caña que son normalmente incoloras en su forma original pero que pueden desarrollar un color después de su extracción de la caña y los compuestos coloreados que se forman durante el proceso por descomposición de algunos productos y por otras reacciones químicas.

La estructura química de alguna de estas materias colorantes es muy compleja y en ciertos casos difícil de determinar, a pesar de que varios textos describen métodos analíticos que pueden ser aplicados. Por otra parte el desarrollo de los métodos cromatográficos durante los últimos años ha proporcionado nuevos procedimientos y otros autores han reportado numerosas citas que se refieren a tales procedimientos en la separación de diferentes pigmentos.

3.5.2.1 SUSTANCIAS COLOREADAS EXISTENTES ORIGINALMENTE EN LA CAÑA DE AZUCAR

Si bien en la literatura se dan diversos nombres a las sustancias de color que existen en la caña parece ser que éstas se pueden clasificar en cuatro tipos principales que son:

- a) **Clorofila.-** Es la monoproteína que forma la materia colorante verde de las plantas. No es un solo pigmento. Si no que consiste en dos pigmentos similares que han sido descritos como clorofila “a” ($C_{55} H_{72} O_5 N_4 Mg$) y la clorofila “b” ($C_{55} H_{70} O_6 N_4 Mg$) el Magnesio sostiene junta la molécula dándole sus propiedades reaccionantes.
- b) **Xantofila.-** Está estrechamente relacionada con la clorofila y constituye el pigmento amarillo que se presenta en las plantas. Su fórmula es: $C_{40} H_{36} O_2$. Es insoluble en el agua.
- c) **Caroteno.-** También están estrechamente asociados con las clorofilas e igualmente son pigmentos amarillos. Su fórmula es $C_{40} H_{56}$ tanto para el α -caroteno como para el β -caroteno. Son insolubles en el agua.
- d) **Antocianina.-** Es un término general para el grupo de sustancias rojas, azules y violetas que se encuentran en las plantas. Según una definición, la antocianina es el pigmento soluble de las flores rojas y azules y se compone de antocianidina combinada con glucosa y otros azúcares.

Las antocianinas son solubles en agua perteneciendo al grupo de compuestos orgánicos clasificados como glucósidos.

3.5.2.2 SUSTANCIAS EN LA CAÑA QUE PUEDEN DESARROLLAR UN COLOR

Se han descrito numerosas sustancias (no azúcares) incoloros que se encuentran en la caña, con los que, por subsecuente reacción o combinación con otras sustancias, forman materias colorantes.

Probablemente las más significantes de tales materiales pueden clasificarse en dos grupos generales.

a) **Polifenoles.-** Estos reaccionan particularmente con el hierro y el oxígeno para dar origen a compuestos de color oscuro, especialmente en soluciones alcalinas. Entre ellos están incluidos el tanino y la sacaretina.

El tanino derivado del ácido piloto catéquico reacciona más fácilmente que la sacaretina, debido a que es soluble tanto en agua como en el jugo. En otras palabras la presencia de tanino o de otros polifenoles similares solubles en agua pueden explicar el color oscuro de los productos de caña.

b) **Aminocompuestos.-** Existen en el jugo de caña unos pocos centésimos del 1% de nitrógeno, estando cerca de la mitad en forma de amoníaco, aminoácidos y amidas. Estos compuestos incluyen asparraguina y glutamina, con sus correspondientes ácidos aspárticos y glutámico.

Otros compuestos menos significantes son: tirosina, lisina, guanina, xantina y 5-metilcitosina.

3.5.2.3 SUSTANCIAS COLOREADAS OBTENIDOS DE LOS PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION DEL AZUCAR

En el proceso de fabricación, tanto los azúcares como los no azúcares están sujetos a la acción del color, de la variación del pH, del aire, del hierro (del equipo) de los reactivos químicos añadidos (por ejemplo la cal) etc. Todos estos factores tienen un efecto diferentes en lo que respecta al desarrollo del color.

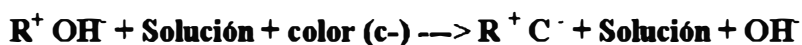
Algunos colores pueden ser revelados por la acción química ejercida sobre los no azúcares de la caña y pueden originarse también como resultado de la descomposición de los productos formados.

El tipo de estos compuestos coloreados es variable y entre ellos se incluyen los productos de caramelización y descomposición de los azúcares y los subsecuentes productos que se forman con otros compuestos.

3.6. MECANISMO DE DECOLORACION POR INTERCAMBIO IONICO:

Como se ha mencionado anteriormente las resinas de intercambio aniónicas débilmente básica trabajan en su forma OH:

R⁺ OH⁻ de tal forma que al pasar una solución coloreada a través de esta reacción:



Se aprecia que la resina atrapa sustancias coloreadas que están cargadas negativamente, por lo que podemos asumir que son colores ácido u otras sustancias que posean cargas negativas.

La resina queda saturada como: R⁺C⁻.

Para poder regenerarla se adiciona NaOH obteniéndose la siguiente reacción:



y el C⁻ (color) es eluado.

3.7 EQUIVALENCIA DE TIPO DE RESINAS QUE SE USAN EN LA INDUSTRIA:

En la tabla 3.2 se muestra en forma resumida la equivalencia de diferentes tipo de resina y sus fabricantes respectivos.⁽²⁾

TABLA 3.2 EQUIVALENCIA DE TIPOS DE RESINAS

DUOLITE	AMBERLITE	IMAC	LEWATT	DOWEX	KASTEL	TONAC	RELITE	DIAION	PUROLITE	WOFAT
RESINAS CATIONICAS ACIDA DEBIL										
C433	IRC84			CCR2	C100		CC	WK20	C105	CA20
C462	IRC50							WK10		
C464				MWC2					C106	
C468			ATP202							
C476	IRC76	25	CNP80							
RESINAS CATIONICAS ACIDA FUERTE										
TIPO GEL										
C20	IR120	C12	S100	HCR W2	C300	C267	CF	SK1B	C100	KPS
C225										
C20S	IR120PLUS			HCR S		C249			C100 E	
C206		C37							C120 E	KP 6
C255	IR122,132	C14	S115	HGR W2		C250		SK110	C100x10	
TIPO MACROPOROSA										
C3			DN							
C26	252	C8P	SP112	88	C300P	CFP110	CFS	PK220	C150	KS 1
C264	200	C16P	SP120	MSC1			CFZ	PK228		
C265						C360				
RESINAS ANIONICAS BASICA DEBIL										
A308		A327		WGR2	A100	A305		CR40		
A368S		A24	MP62	66		AFP329	4MS	WA21		
A369	IRA94S	A20SU			A101S				A105	
A374					A102		MG1			
A375	IRA67	A28	AP49					WA11		
A378	IRA93SP	A20S	MP64	MWA1	A101	A328	WBS	WA30	A100	AD4
RESINAS ANIONICA BASICA FUERTE										
TIPO GEL										
A101	IRA402	S5-40							A450	SBW
A102		S4-42					2A		A250	SBK
A104	IRA410								A300	
A109	IRA440			SBR		ASB1			A600	
A113	IRA420		M500	SBR P	A500	ASB1P	3A	SAS10A	A400	
A116	IRA416		M600	SAR	A300	ASB2		SA20A	A200	
A132	IRA458	A35								
	IRA468									
A134	IRA478		AP246							
A147	IRA401S	A34	M500Z		A501D			SA11A		
TIPO MOCROPOROSA										
A161	IRA900	S5-50		MSA1	A500P	A641		PA312	A500	SZ3
A162	IRA910	A32	MP600	MSA2	A300P	A651	2AS	PA412	A510	SL3
A165			MP500			A652	3AS			
A171	IRA901		MP500A	11	A501P		3AZ	PA308		EA6
A173	IRA958	A31	AP247A							

3.8 SISTEMAS DE OPERACION DE COLUMNAS DE INTERCAMBIO IONICO:

Muchas combinaciones de unidades de intercambio ionico son empleadas en la industria, pero las más usadas para el tratamiento de agua seran consideradas aqui (ver Fig. 3.14).

Esta incluye el pretratamiento, ablandamiento, desmineralización y “polishing” (pulido). El ablandamiento intercambia el Ca^{+2} y Mg^{+2} por iones Na^{+2} , la desmineralización intercambia todos los cationes por H^{+} y todos los aniones por OH^{-} . El Polishing (pulido) remueve los cationes y aniones que han escapado el 1er paso desmineralización.

Las resinas de intercambio iónico son cargadas dentro de la columna vacía hasta la mitad, la otra mitad se deja vacía, este equipo generalmente se opera de la siguiente manera:

1. RETROLAVADO:

Para retirar las sustancias depositadas en la parte superior e interior de la capa de resina durante el paso de intercambio y para mover la resina comprimida, el agua es pasada hacia arriba desde la parte inferior de la columna.

El flujo de agua es regulado para lograr que la resina se expande cerca del 50-80%. Después del retrolavado la capa de resina expandida se acomoda y las partículas más grandes se van al fondo, luego al haber retirado las sustancias totalmente. El retrolavado se suspende y se inicia el proceso de regeneración.

2. REGENERACION:

El regenerante es pasado de arriba hacia abajo de la columna lentamente. La cantidad de regenerante difiere de acuerdo al tipo de resina y la solución a tratar. Idealmente la resina debe estar en contacto con la solución regenerante por un largo período de tiempo y el regenerante debe ser distribuido uniformemente a través de la resina. Pero el fluido de regeneración no debe ser parado durante ésta. Cuando termina la regeneración se da inicio al desplazamiento.

3. DESPLAZAMIENTO:

Luego del paso de regeneración queda remanente del regenerante en las capas de resina. Inmediatamente después de la regeneración se añade agua de arriba hacia abajo de la columna con el mismo flujo del regenerante.

El volumen de agua a desplazar es cerca de 2 veces como volumen de la resina. Este paso puede ser considerado como una prolongación del paso de regeneración.

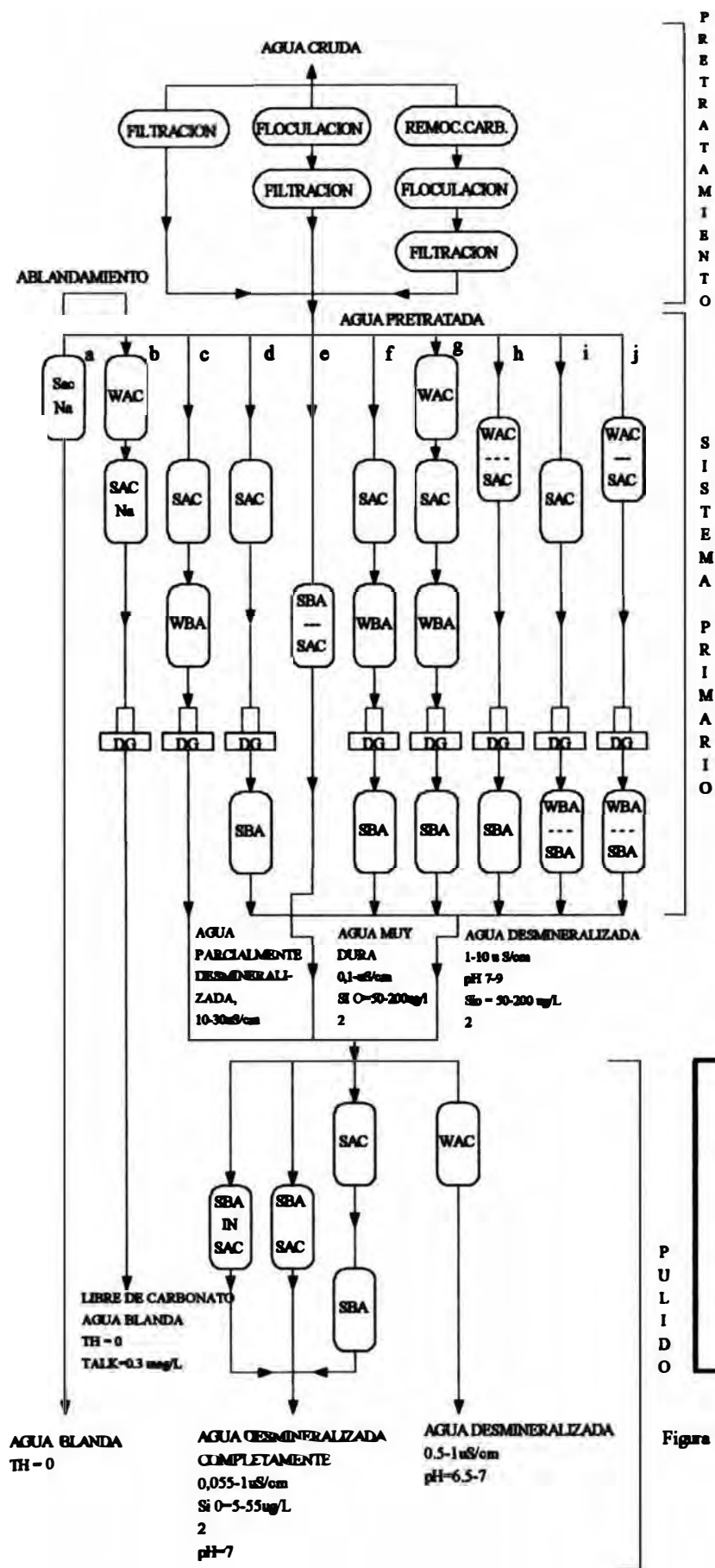


Figura 3.14 Sistemas Combinados de Intercambio Iónico para tratamiento de Agua.

4. ENJUAGUE:

Para lavar la mínima cantidad de regenerante remanente después del desplazamiento, se inicia el paso de enjuague con un incremento del flujo.

Este paso es continuo hasta que se lave completamente todo el regenerante.

En el caso de tratamiento de agua, el paso de ionización puede entonces ser iniciado.

En casos tales como tratamiento de soluciones de azúcar, para evitar la dilución de la solución, el agua es drenada hasta la superficie de la resina y la solución es pasada de arriba hacia abajo de la columna.

El efluente es solo agua al principio, pero la concentración de azúcar se va incrementando gradualmente.

El efluente es removido hasta alcanzar la concentración de azúcar apropiada y el paso desionización es iniciado. Este procedimiento es llamado "Sweetening on".

5. DESIONIZACION:

Los líquidos a tratar son pasados hacia abajo en la columna. El flujo difiere de acuerdo al tipo del líquido a tratar en el tratamiento de agua el flujo es conducido a un flujo relativamente alto y se continua hasta que se inicie la fuga de iones cuando esto ocurre el flujo es parado y se inicia el retrolavado.

Cuando es necesario recuperar el líquido no tratado, el cual está en la resina, entonces se drena el líquido hasta la superficie de la resina y se empuja el líquido con agua. Este procedimiento es llamado: "sweetening off".

La operación de columnas de resina de intercambio de iones consiste en la repetición de los pasos arriba mencionados.

4.- SOLUCIONES AZUCARADAS

4.1 SOLUCIONES AZUCARADAS EN LA INDUSTRIA:

Los principales edulcorantes en todo el mundo son la sacarosa y los azúcares de maíz. La sacarosa es uno de los edulcorantes más efectivos que conoce el hombre y las referencias alcanzan los primeros registros escritos. Sin duda, es el edulcorante más antiguo derivado de plantas que se cultivan en forma comercial. La sacarosa está distribuida en una gran variedad de plantas, pero sólo en cuatro; caña de azúcar, remolacha, árbol de palma y arce, son fuentes comerciales del producto **granulado**. Casi todo el **suministro** del comercio mundial de sacarosa proviene, sin embargo, de la caña de azúcar y de la remolacha. La recuperación de sacarosa y la remolacha es continua desde la raíz hasta el producto terminado. El azúcar de caña se produce generalmente como azúcar cruda en las áreas de cultivo y refinada en el país donde va a venderse.

El azúcar de la remolacha hoy en día alcanza el 40% del azúcar que se produce en el mundo.

Los edulcorantes de que se dispone en la actualidad son muy numerosos. Los tipos generales son:

- 1) Sacarosa, un azúcar compuesto formado por levulosa y dextrosa.
- 2) Invertasa, una mezcla de azúcares simples, levulosa, dextrosa y sacarosa.
- 3) Dextrosa, un azúcar simple.
- 4) Lactosa, un azúcar compuesto de dextrosa y galactosa.
- 5) Jarabe de maíz, una mezcla de dextrosa y sus polímeros.
- 6) Maltosa, azúcar compuesto de dos unidades de dextrosa.
- 7) Jarabes de dextrosa levulosa, una solución de dextrosa y sacarosa.
- 8) Melaza, una mezcla de levulosa, dextrosa y sacarosa.
- 9) Maple, compuesta de levulosa, dextrosa y sacarosa.
- 10) Miel, compuesta de dextrosa, levulosa, sacarosa e invertido.
- 11) No nutritivo, edulcorantes que no están formados por carbohidratos.

Las principales industrias alimentarias que emplean las mayores cantidades de edulcorantes en orden de volumen son: refrescos, panaderías, dulcerías, enlatadoras, lácteos y cerveceras.

La fabricación de dulces alcanzó la categoría de industria al incrementarse la disponibilidad del azúcar en el siglo XVIII. Esto permitió que la persona promedio

disfrutara de dulces que antes eran un lujo elaborado a muy alto costo para muy pocas personas. En la actualidad es un alimento de costo relativamente bajo que llega a millones de personas.

4.2 METODOS DE DECOLORACION POR INTERCAMBIO IONICO DE SOLUCIONES AZUCARADAS

4.2.1 DECOLORACION Y DESALINACION DE DEXTROSA

El azúcar del almidón es fabricado por hidrolización del almidón con ácido oxálico o enzimas. Este azúcar de almidón es clasificado en jarabe de almidón de intermedia equivalencia en dextrosa o dextrosa de alta D.E. (Equivalencia de dextrosa).

De acuerdo al grado de hidrólisis. El proceso de fabricación de dextrosa y jarabe de almidón se muestra en la figura N. 4.1.

Las soluciones que son sacarificadas contienen varias impurezas tales como cenizas, color, proteínas, aminas y ácidos orgánicos, grasas, taninos, enzimas de sacarización y HMF (S-HIDROXI-METIL FURFURAL). Estas impurezas son removidas con resinas de intercambio en combinación con carbón activado.

El tratamiento para este propósito con intercambio iónico es con un sistema de lecho mixto que contiene una resina catiónica ácida fuerte y una resina aniónica básica fuerte o con un pre-tratamiento con un sistema de lecho mixto conformado por una resina catiónica ácida fuerte y una resina básica débil, seguidamente tratada por otro sistema de lecho mixto con una resina catiónica ácida fuerte y una resina aniónica básica fuerte.

La selección de la resina de intercambio (particularmente las resinas de intercambio aniónica) es más importante aquí, Si su selección es incorrecta la vida de la resina no será prolongada.

En este tratamiento la resina catiónica básica fuerte de entrecruzamiento standar es usada con la resina aniónica básica fuerte, preferentemente resina porosa de bajo entrecruzamiento, debido a que las soluciones sacarificadas contienen una gran cantidad de impurezas que contaminan la resina aniónica básica fuerte.

Como la resina del tipo amina terciaria no sufren con la contaminación de sustancias orgánicas como las resinas básicas fuertes, la selección de la resina débilmente básica es seleccionada principalmente desde un punto de vista de resistencia física.

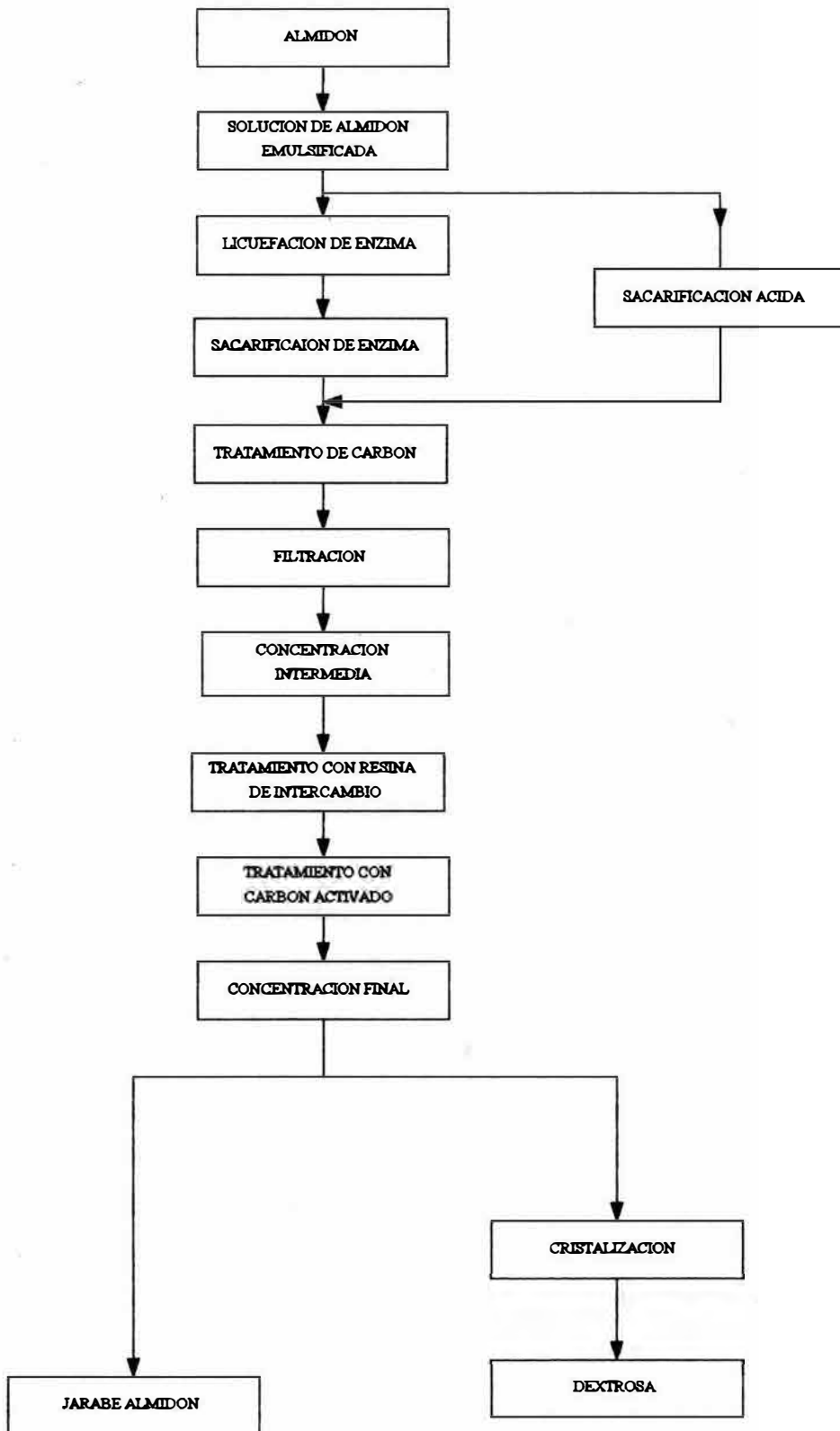


FIG. 4.1 PROCESO DE FABRICACION DE DEXTROSA

Antes del tratamiento con resina de intercambio, la solución de azúcar bruto es purificada con pre-tratamiento con carbón activado. Si la solución de azúcar de almidón es alcalina las sustancias colorantes se incrementan, sin embargo la glucosa es parcialmente isomerizada en fructuosa en condiciones alcalinas. Es esencial para dirigir el tratamiento con intercambio iónico solo con el pH ácido.

Es un sistema de lecho mixto, donde la mezcla de resina no es uniforme, el pH se convierte en alcalino en algunas partes de las capas de resina y deben ser tomados con cuidado para evitar tal incremento de pH local.

4.2.2 DECOLORACION DE AZUCAR DE CAÑA CON RESINA ANIONICA BASICA FUERTE FORMA CLORURO

En Japón la caña de azúcar es importante como azúcar bruto y refinada por procesos como se muestra en la Fig. N° 4.2 una solución de azúcar después de la afinación y fusión contiene sustancias de alto peso molecular y sustancias colorantes.

Las primeras sustancias son removidas por carbonatación y las segundas son removidas con resinas de intercambio iónico. Las resinas de intercambio iónico de bajo entrecruzamiento absorbe sustancias colorantes muy bien. La Fig. N° 4.3 muestra la decolorización de azúcar de caña y azúcar de remolacha con resinas de intercambio aniónico de diferente entrecruzamiento.

Se observa que resinas con bajo entrecruzamiento dan mejores resultados. Después del pre-tratamiento con carbón activado ó carbón de hueso, las sustancias colorantes remanentes pueden ser removidas con resina aniónica básica fuerte de bajo entrecruzamiento, el cual es regenerada con NaCl. Este proceso se caracteriza por el uso de la resina en forma-cloro. La regeneración de esta resina es llevada con solución de NaCl caliente. La forma-cloro intercambia SO_4^- en las soluciones de azúcar por Cl^- y ayuda a eliminar la formación de Ca_2SO_4 .

Hay una serie de reportes de Ohara referente a decoloración de azúcar con resinas, los principales resultados son mostrados en las Fig. 4.4 y 4.5. Estas figuras muestran la relación entre el porcentaje de decoloración y la concentración de azúcar (Fig. 4.4), el porcentaje de decoloración y la temperatura (Fig. 4.5), porcentaje de decoloración y contenido de cenizas (Fig. 4.6),

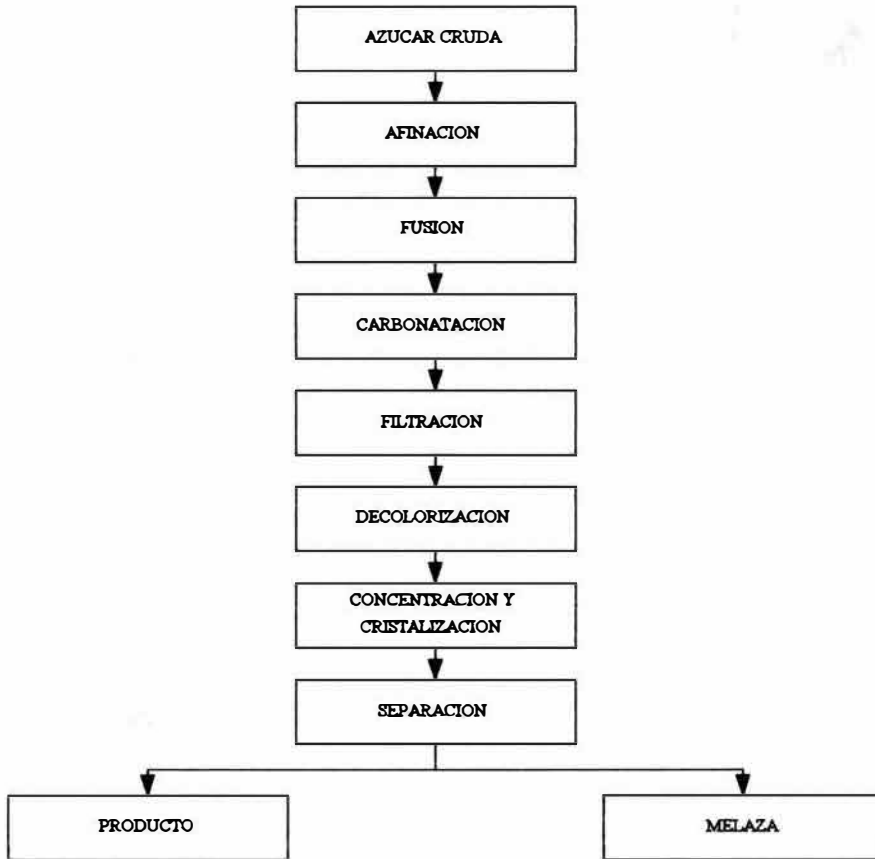


FIG. 4.2 PROCESO DE REFINACION DE CAÑA DE AZUCAR

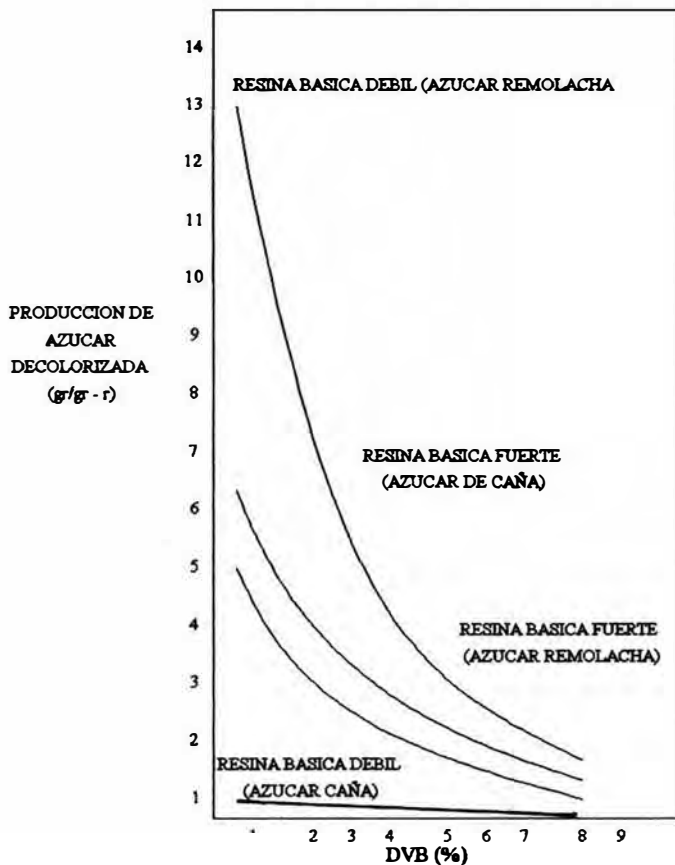


FIG. 4.3 RELACION ENTRE LA CAPACIDAD DE DECOLORIZACION Y EL % DVB DE UNA RESINA DE INTERCAMBIO ANIONICO

PORCENTAJE DE
DECOLORACION

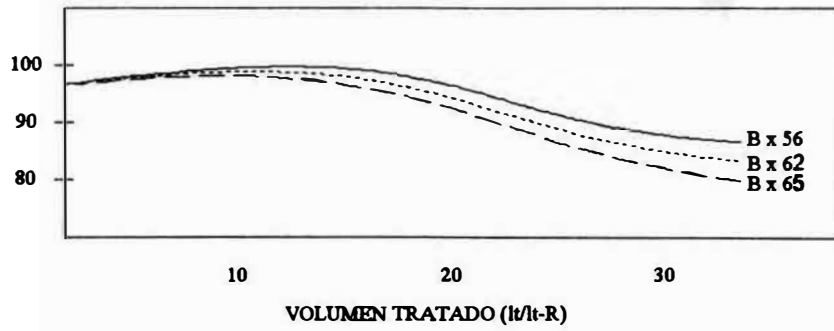


FIG. 4.4 RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE DECOLORIZACION Y LA CONCENTRACION DE DECOLORACION CON RESINA ANIONICA FORMA-CLORO

PORCENTAJE DE
DECOLORACION

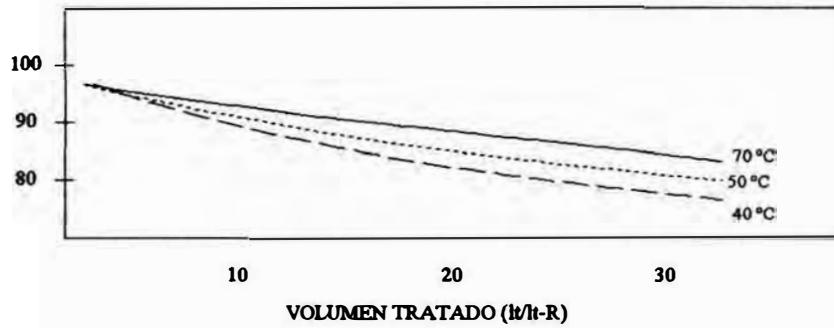


FIG. 4.5 RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE DECOLORACION Y TEMPERATURA EN LA DECOLORACION CON RESINA ANIONICA FORMA-CLORO

PORCENTAJE DE
DECOLORACION

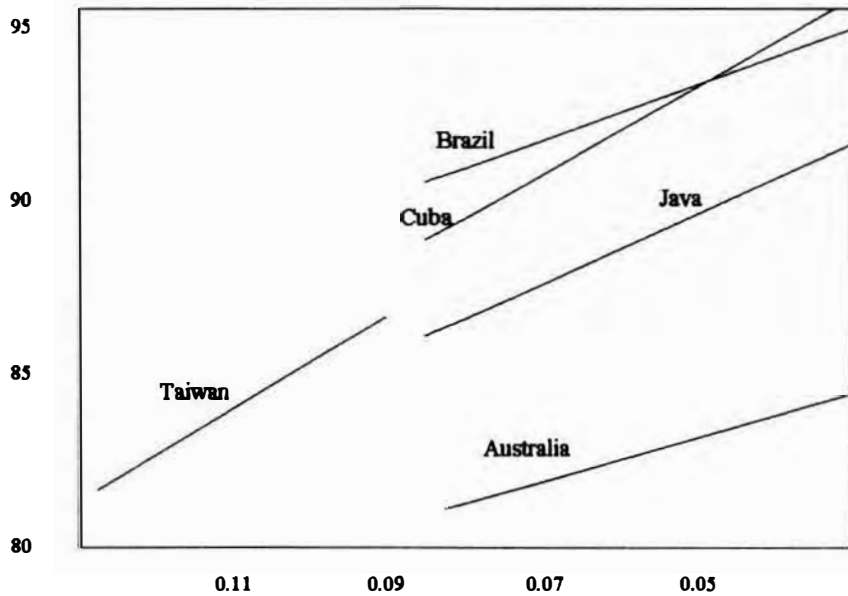


FIG. 4.6 RELACION ENTRE EL % DECOLORACION Y EL CONTENIDO DE CENIZAS EN LA DECOLORACION CON RESINAS DE INTERCAMBIO ANIONICO FORMA-CLORO

4.2.3 REFINACION DEL AZUCAR DE REMOLACHA:

La sacarosa antiguamente se fabricaba de la remolacha por el proceso de STEFFEN; el cual consiste en recuperar la sacarosa como sacarato de calcio de la melaza de remolacha. Actualmente, sin embargo, la refinación con resina de intercambio es ampliamente empleada.

En la Fig. 4.7 muestra la fabricación del azúcar de remolacha por el proceso de STEFFEN y por método de intercambio iónico. Relativamente una gran cantidad de dureza es contenida en jugo espeso después de la carbonatación. Esta dureza puede ser removida con resina de intercambio catiónico ácida fuerte forma sódica de la misma forma que el agua es ablandada. El jugo espeso también contiene compuestos nitrogenados y es necesario remover estas impurezas porque ésta no solo causa coloración sino también deterioro del producto.

En la actualidad se sabe que los compuestos nitrogenados están conformados principalmente por: betanina, el cual puede ser adsorbido con resina catiónica ácida fuerte de la forma hidrógeno, aminoácidos anfotéricos pueden ser absorbidos por ambos tipos de resina catiónica y aniónica y el pirro-lodin carboxilado, puede ser adsorbido con una resina aniónica.

Los principales procesos son presentados a continuación:

a. **ABLANDAMIENTO CON RESINA DE INTERCAMBIO CATIONICA ACIDA FUERTE FORMA-SODICA**

Una solución de sacarosa contiene una gran cantidad de dureza como calcio, su concentración causa en los concentradores la baja de eficiencia en la transferencia de calor. La solución de sacarosa es ablandada con resina catiónica fuerte forma-sódica.

Esta operación debe realizarse a bajo flujo debido a que la solución es altamente viscosa.

b. **DECOLORACION CON RESINA ANIONICA BASICA FUERTE FORMA-COLORO**

Una solución de azúcar de remolacha es decolorada de la misma forma que la solución de azúcar de caña, con una resina aniónica básica fuerte forma-cloro.

Este proceso de regeneración es llevado con NaCl caliente o NaOH + NaCl. Este tratamiento es a veces realizado en combinación con "a".

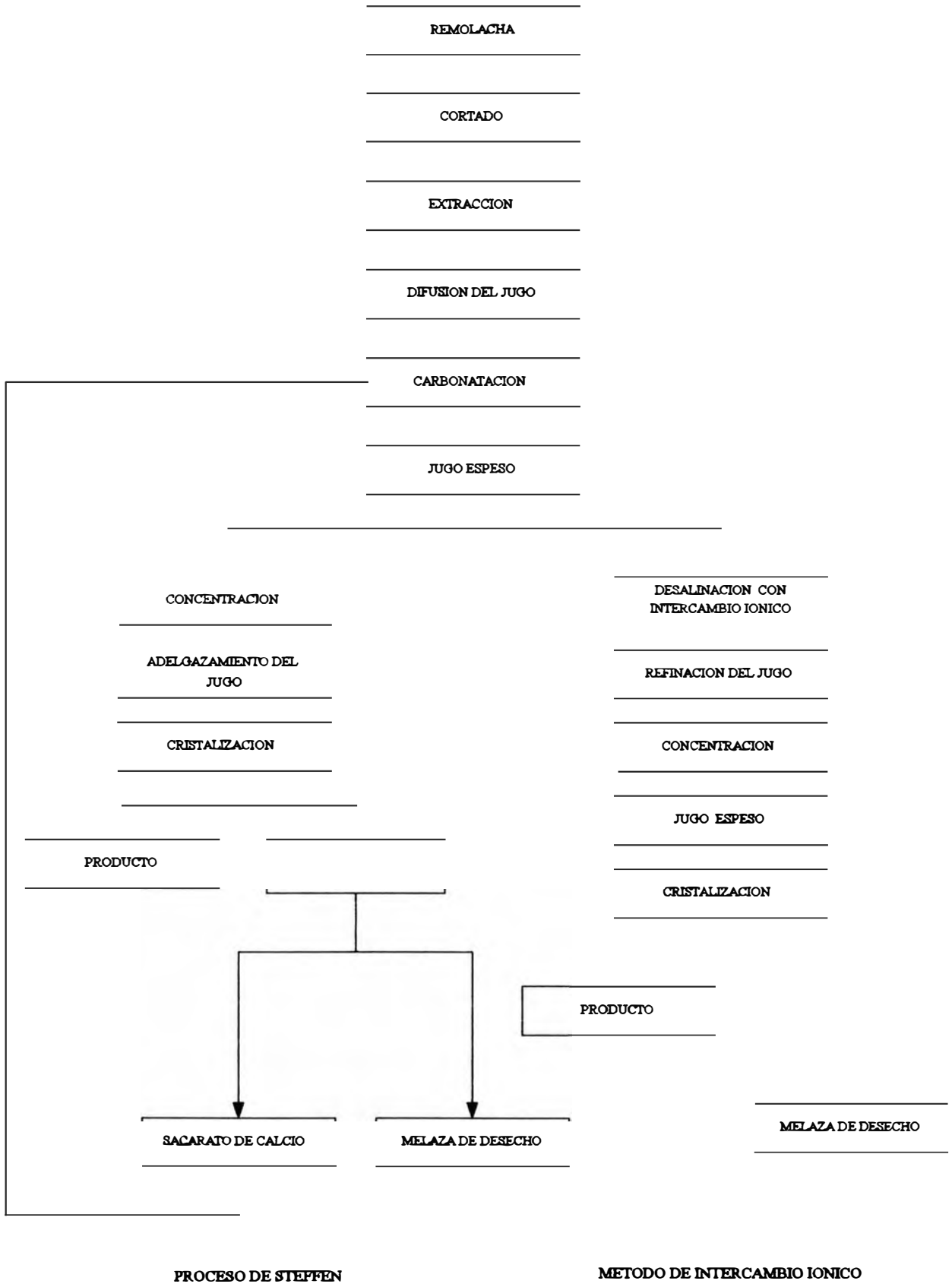


FIG. 4.7 PROCESO DE FABRICACION DEL AZUCAR DE REMOLACHA

c. DESALINIZACION CON AMBAS RESINAS ANIONICAS Y CATIONICA

Una solución de sacarosa es a veces desalinizada con ambas resinas aniónicas y catiónica en orden para mejorar la producción del azúcar.

Este tratamiento es llevado evitando la disminución del pH y las temperaturas altas para prevenir la inversión. Los siguientes sistemas son adoptados:

- * Resina aniónica básica fuerte forma-hidróxido → resina catiónica ácida débil forma hidrógeno.
- * Resina catiónica ácida débil forma hidrógeno → resina aniónica básica débil forma-hidróxido → resina aniónica básica fuerte forma-hidróxido.

4.2.4 REFINACION DE AZUCAR LIQUIDA

El azúcar líquida es ampliamente usada en la industria de alimentación. Varios tipos de azúcar líquida están siendo actualmente producidas, las cuales son tratadas con resinas de intercambio:

- a) Azúcar líquida tipo Sacarosa: esta puede ser obtenida por disolución de la sacarosa. Esta es refinada usando un sistema inverso.
- b) Azúcar líquida tipo inversión: Esta puede ser fabricada por el paso de una solución de sacarosa caliente a través de una resina catiónica ácida fuerte de forma-hidrógeno para la inversión, y al mismo tiempo tratando la solución con una resina aniónica básica débil. Este tipo de azúcar líquido es la mezcla de sacarosa, fructuosa y glucosa.
- c) Azúcar líquida tipo mezclado: Este tipo de azúcar es producida por adición de glucosa al azúcar tipo sacarosa o al tipo inversión para incrementar la concentración de azúcar. En la adición hay otro tipo de azúcar líquido que se produce por isomerización parcial de la glucosa y fructuosa con enzimas.

5. PARTE EXPERIMENTAL

En esta parte se determina la cantidad de color que puede ser extraída de un cierto volumen de una solución azucarada coloreada por una resina de intercambio, para lo cual a continuación se describirá los pasos que se siguió para lograr este objetivo. Esta experimentación se realizó en la sección de intercambio iónico del laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería.

5.1 DISEÑO DEL EQUIPO

5.1.1 VOLUMEN DE RESINA

Las propiedades generales de las resinas de intercambio son con frecuencia expresadas en base al volumen, existen dos métodos para medir el volumen de resina: el método “BS & D” y el método tamping.

En general los valores obtenidos por estos dos métodos para la misma muestra no son iguales.

A) METODO “BS & D” (BACKWASHED, SETTLED AND DRAINED METHOD)

La resina con agua es vertida en una columna, la profundidad del lecho es cerca de 60 cm.

El procedimiento es el siguiente:

I. Se realiza retrolavado por cinco minutos hasta alcanzar la expansión de la resina 50-60%.

II. Se para el retrolavado y se deja que la resina se asiente por dos minutos.

III. Se drena el agua a una velocidad lineal de 12-20 mt/hr hasta que el nivel alcance 1 cm., por encima del lecho y leer el volumen.

IV. Se repite el procedimiento tres veces y promediar los valores. El diámetro de columna puede ser de 25 mm a 30 mm.

B) METODO DE TAMPING

Se añade la resina a una probeta que contiene agua y en la probeta ésta es aprisionada hasta que la profundidad del lecho deje de cambiar. La probeta graduada la cual es usada debe ser seleccionada de acuerdo al volumen medido:

VOLUMEN DE RESINA MEDIDO	ESCALA DE PROBETA GRADUADA
10 ml	10 ml
10-25 ml	25 ml
25-50 ml	50 ml
50-100 ml	100 ml
100-250 ml	250 ml
250-500 ml	500 ml
500-1000 ml	1000 ml

Para nuestro caso se utilizó el método b). y se midió: 100 ml de resina.

5.1.2 COLUMNA DE DECOLORACION

Se preparó una columna de vidrio de dimensiones: 18 cm de altura y 3.8 cm de diámetro, esto básicamente para tratar los 100 ml de resina, las dimensiones de la columna para esta parte experimental se basó en que la altura total de la columna sería el doble de la profundidad del lecho.

5.1.3 RESINA DE DECOLORACION

En el mercado existen diferentes marcas de resinas que se usan para la decoloración de soluciones azucaradas u otros componentes orgánicos (Ver tabla # 3.1) debido a que las materias colorantes de estas soluciones son con frecuencia ácidas, las resinas que se utilizan son aniónicas débilmente básicas y fuertemente básicas.

Para seleccionar el tipo de resina con la que se va a trabajar, se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Definir el proceso para la cual se va a utilizar la resina y la solución que se va a tratar.

De acuerdo a esto seleccionar de la tabla de fabricantes los tipos de resinas que recomiendan para nuestra necesidad.

b) De todos los tipos de resinas de los diferentes fabricantes, pero que son equivalentes.

Realizar una prueba experimental con cada una de ellas, con la solución a tratar y bajo las mismas condiciones de operación, seleccionando aquella que dé mejores resultados.

Para nuestro caso que es un proceso de decoloración es necesario que sea una resina Aniónica y que tenga bajo entrecruzamiento; de la tabla # 3.2 tenemos resinas aniónicas básicas débiles y fuertes, así como sus equivalencias; sin embargo para la experimentación

utilizaremos la resina aniónica débil DIAION WA 30 debido a que tenemos disponibilidad de ésta; ya que es una resina aniónica y de bajo entrecruzamiento.

Pero cabe mencionar que esta resina no es necesariamente la mejor para este proceso de decoloración de esta solución azucarada.

A continuación mostramos las características físicas y químicas de este tipo de resina (Ver cuadro # 5.1)

CUADRO # 5.1 Características de la resina aniónica WA 30:

CARACTERISTICAS

1.- Físicas

. Apariencia	Color crema
. Densidad de Embarque	Aprox. 615 gr/lt -resina
. Contenido de Humedad	43 - 55 %
. Nivel de Tamiz	1190 - 297 μ Max: 1% pasa 297 μ a) Tamaño Efectivo: 0.35 -0.55 mm b) Coeficiente de uniformidad: Max. 1.6
. Gravedad específica	1,050 (Forma OH)

2.- Químicas

. Grupo funcional	Grupo amino terciario
. Forma iónica de embarque	Forma OH
. Capacidad total de intercambio	1.5 eq/lt-resina 75 kg como CaCO_3/m^3 -Resina
. Estabilidad química	Resistencia a alcalis y ácidos Resistencia a agentes oxidantes y reductores
. Rango pH	0 -9
. Máxima temperatura	100°C

3.- Características Hidráulicas.

. Caída de presión	Ver Figura # 5.1
. Expansión de lecho	Ver Figura # 5.2

FIG. 5.1 CAIDA DE PRESION (FORMA BASE LIBRE)

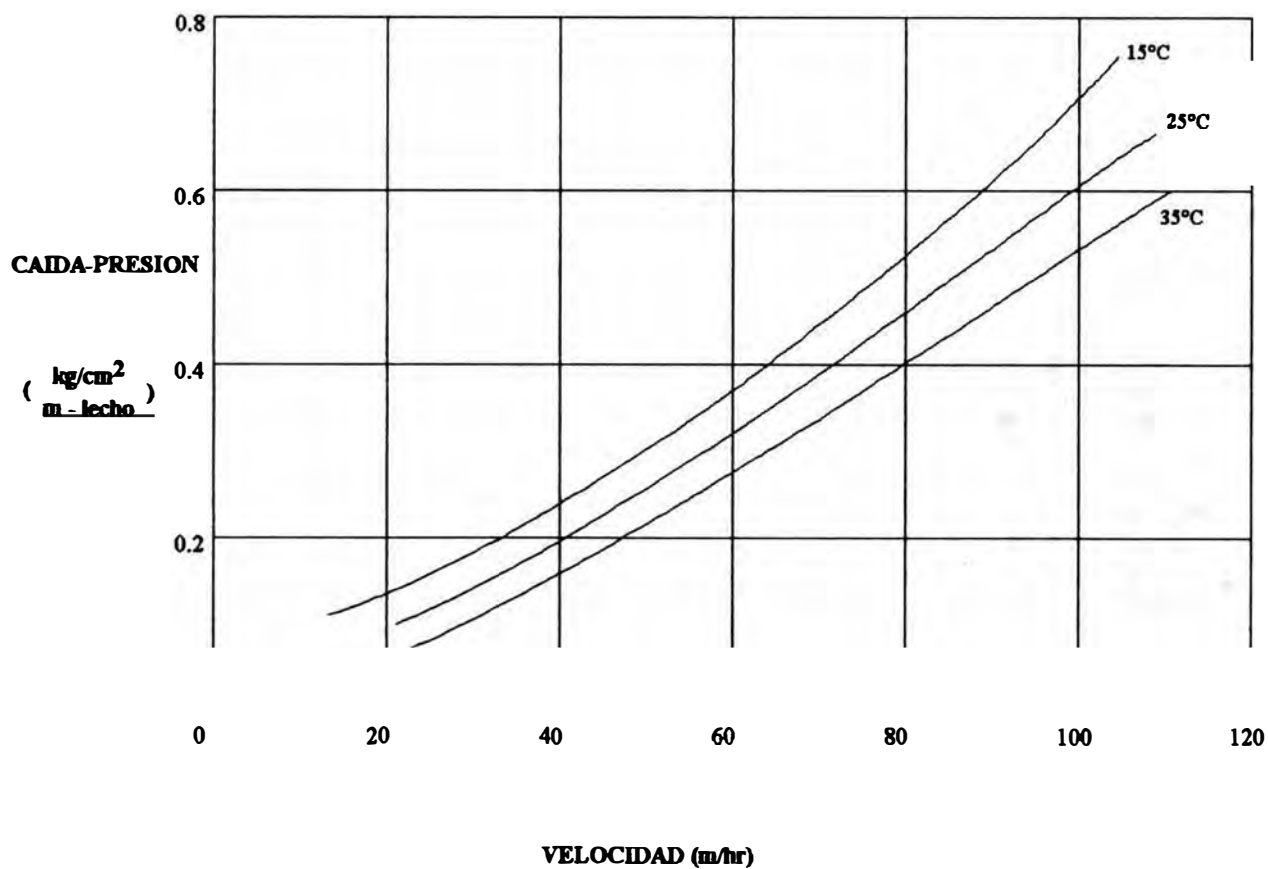
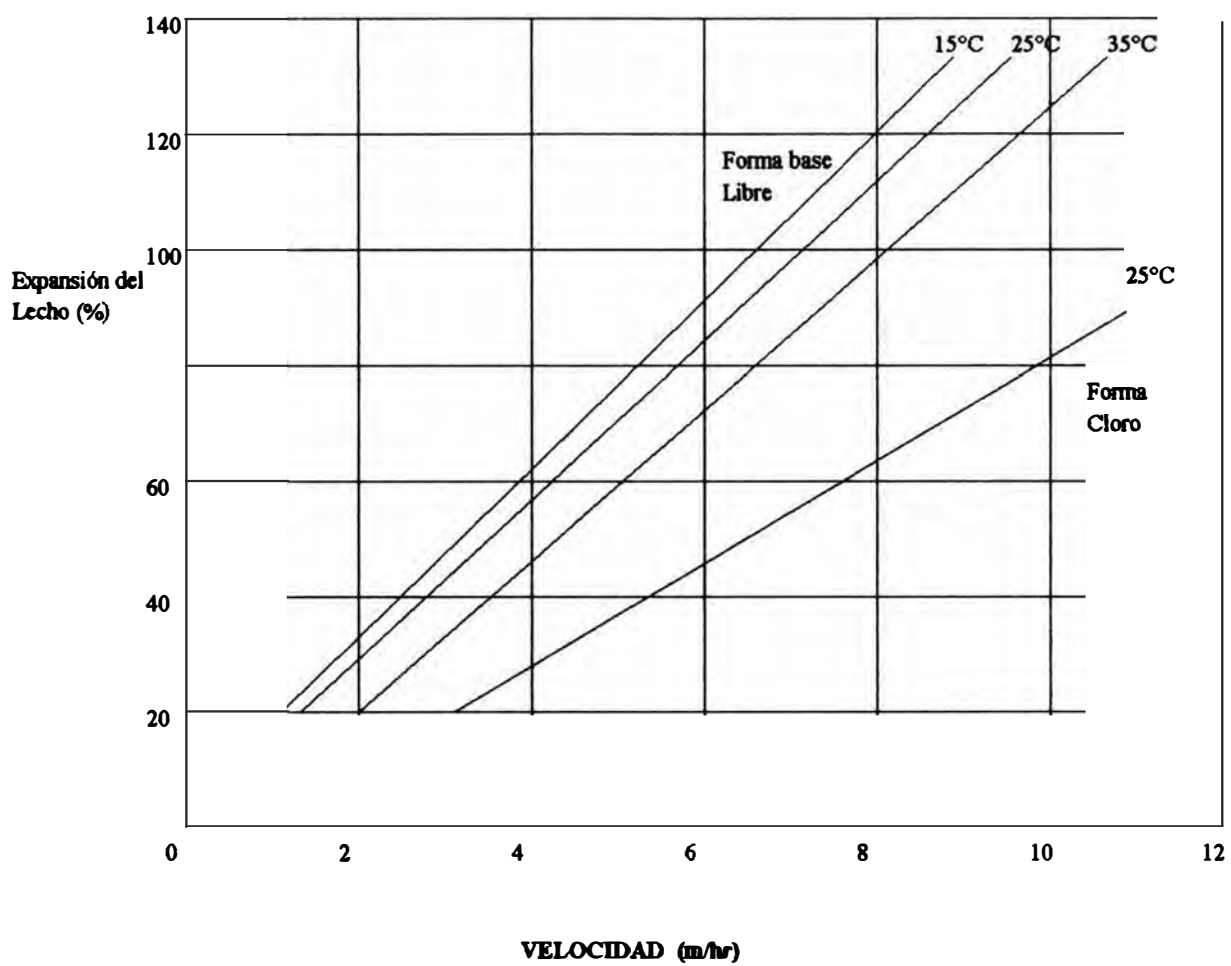


FIG. 5.2 EXPANSION DEL LECHO



5.2 IMPLEMENTACION DEL EQUIPO

5.2.1 EQUIPOS Y MATERIALES

A continuación se mostrarán todos los materiales utilizados para la prueba:

- 1) Pera de decantación
- 2) Columna de Vidrio ($\varnothing = 3.8 \text{ cm}$)
- 3) Vaso de Precipitado de 100 ml.
- 4) Mangueras.
- 5) Aros.
- 6) Pinzas.
- 7) Soporte.

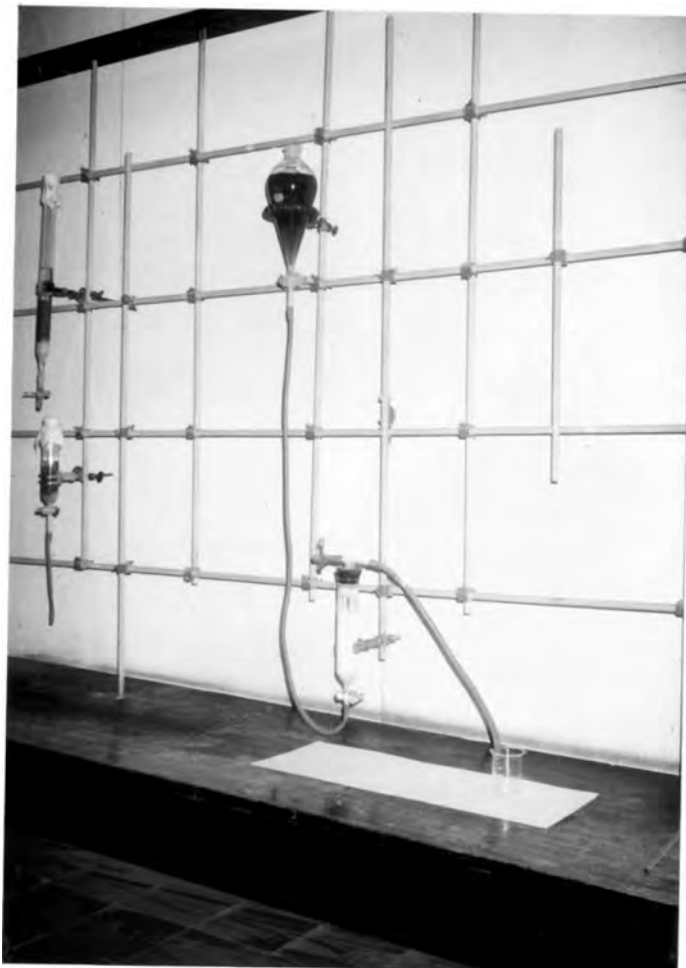


FIG. 5.3 EQUIPO DE DECOLORACION

5.2.2 SOLUCION A DECOLORAR

Para la realización de los ensayos de decoloración se tomó como muestra una solución de azúcar rubia con las siguientes características:

- . Densidad Solución = 1.208 gr/cc
- . Brix = 46
- . Baume = 25
- . Color = 9.5% a 10% transmitancia (a 420 nm)

5.2.3 PROCEDIMIENTO DE DECOLORACION

Se preparó el equipo y materiales como se muestra en la Fig. N° 5.3 debido a que la densidad de la resina es menor (1.05 gr/cc) que la solución a tratar (1.208 gr/cc). Esta flota cuando se alimenta la solución azucarada de arriba hacia abajo.

Este fenómeno provoca que no haya cama de solución en la torre y no sea eficiente la decoloración.

Por esta razón se tuvo que realizar la alimentación de abajo hacia arriba (Ver figura # 5.3) acomodándose el lecho.

Se alimentó la solución azucarada (preparada según ítem: 5.2.2) y se inició la decoloración.

5.3 CONDICIONES DE OPERACION

5.3.1 FLUJO DE ALIMENTACION

Se realizó esta prueba para SV = 1 1/hr. Esto es:

$$\text{Flujo} = \text{SV} \times \text{VOL.RES}$$

$$\text{Flujo} = 1 \text{ 1/hr} \times 100 \text{ ml}$$

$$\text{Flujo} = 100 \text{ ml/hr}$$

5.3.2 DECOLORACION DE LA SOLUCION

Se decoloró la solución preparada según ítems 5.2.2; se trató a T° ambiente, volumen a decolorar: 600 ml ; se sacó una muestra cada hora, y se midió el color.

La medición del color se realizó en un fotocolorímetro modelo 2C marca: HIRAMA RIKKA de procedencia japonesa, a una longitud de onda 420 nm.

La lectura que daba este fotocolorímetro es en % transmitancia, posteriormente se cambió a absorbancia, mediante la siguiente relación: Absorbancia = - log (%T)

5.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

COLOR (% TRANSMITANCIA)

PRUEBA		1	2	3	4	5
MUESTRA	VOL.					
INICIAL	PASADO	10.0	9.5	9.0	10.0	9.0
	(ml)					
1era	100	---	---	---	---	---
2da	200	46.0	56.0	44.0	45.0	43.0
3era	300	31.0	36.0	39.5	37.0	39.0
4ta	400	36.0	29.0	28.0	28.0	30.0
5ta	500	30.0	28.0	26.0	26.0	25.0
6ta	600	25.0	22.0	23.0	22.0	23.0

Si pasamos estos valores a absorbancia tenemos:

COLOR (- logT = ABSORVANCIA)

UNIDADES DE COLOR (U.C.)

DE CORRIDAS		1	2	3	4	5	PROM.
MUESTRA	VOL.	1.000	1.020	1.020	1.000	1.050	1.018
INICIAL	PASADO						
	(ml)						
1era	100	---	---	---	---	---	---
2da	200	0.337	0.252	0.357	0.357	0.367	0.332
3era	300	0.509	0.444	0.403	0.403	0.409	0.439
4ta	400	0.444	0.538	0.553	0.553	0.523	0.522
5ta	500	0.522	0.553	0.602	0.585	0.602	0.573
6ta	600	0.602	0.658	0.638	0.658	0.638	0.639

PROMEDIO : 0.501

5.3.4 PREDECOLORACION CON CARBON ACTIVADO

En la industria según el tipo de solución que se trate es necesario el uso de carbón activado, para una eficiente purificación.⁽⁷⁾

Como es sabido las impurezas en una solución son el color, sustancias coloidales y algunas sustancias inorgánicas con cargas aniónicas o catiónicas.

Debido a que las resinas en general absorben color y sobre todo este tiene carga aniónica, es imprescindible el uso de la combinación de estos dos sistemas de purificación. En esta parte experimental se realizará una pre-decoloración con carbón activado de una solución azucarada y luego será tratada con resina de intercambio iónico.

La pre-decoloración fue con un carbón activado, de procedencia: REINO UNIDO con las siguientes especificaciones técnicas:

% Humedad	MAX 12%
Absorbente al azul de metileno	MIN 25 gr/100gr
Rango de pH	2 -3
Fosfatos	MAX 3%
Fierro (Fe)	MAX 200 ppm

ANALISIS TIPICOS

Densidad (Tamped)	300 gr/lt
Superficie interna (B.E.T.)	1400 m² /gr
Contenido de cenizas	4%
Material soluble en ácido	4%
Fierro (Fe)	100 ppm
Calcio (Ca)	150 ppm
Tamaño de partícula	75 Micron (Mesh 200)

Se realizaron dos corridas de la siguiente forma:

Se preparó 600 ml de la solución según el ítem 5.2.2 y se añadió 1.8 gr. de carbón activado se agitó durante 1 hora y luego se filtró, se tomó el color de esta solución resultante obteniéndose: 0.350 en absorbancia como promedio de las dos corridas.

Posteriormente esta solución se trató de la misma forma que en la anterior experiencia (ítem 5.2.3) con la diferencia que ésta estaba pre-decolorada obteniéndose los resultados siguientes:

#CORRIDAS	COLOR (% TRAMITANCIA)		COLOR (ABSORVANCIA. UNID. COLOR)		COLOR ABSORV.
	1	2	1	2	PROM
Muestra inicial	9.5	10.0	1.020	1.000	1.010
Muestra DECOL. C.A	44.5	45.0	0.352	0.347	0.350
1era	---	---	---	---	---
2da	80.0	81.0	0.097	0.092	0.095
3era	69.0	68.0	0.161	0.167	0.164
4ta	67.5	66.0	0.170	0.180	0.175
5ta	65.5	63.0	0.183	0.200	0.192
6ta	60.0	61.0	0.221	0.215	0.218
				PROMEDIO	0.169
				FINAL	

5.3.5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

5.3.5.1. Decoloración con resina:

El volumen que se pasó a través de la columna fue de 600 ml a un flujo de 100 ml/hr; la primera hora no se considera ya que es el desplazamiento del agua del interior de la columna por la solución azucarada.

A partir de la segunda hora se muestreó cada hora y se tomó el color.

Como se aprecia en el cuadro el color de la solución inicial fue como promedio de 1.018 y luego de pasar por la columna fue disminuyendo para luego subir nuevamente hasta 0.639; este último efecto se da porque la resina se va saturando poco a poco.

El color de la solución total que ha pasado a través de la columna fue de: 0.501 como promedio; esto quiere decir que el color captado por la resina fue de: $1.018 - 0.501 = 0.517$.

El porcentaje de decoloración se puede calcular por la siguiente relación:

$$\% D = [1 - \text{color de salida} / \text{color aumentado}] \times 100$$

Reemplazando valores tenemos:

$$\% D = [1 - 0.501 / 1.018] \times 100 = 50.79\%$$

Para nuestra experimentación esta columna tiene un 50.79% de decoloración.

Para el cálculo del volumen de resina necesario para decolorar, se debe conocer el color inicial de la solución y cual es el nivel mínimo de color que tiene que tener la solución decolorada y en base a corridas de experimentación determinar este volumen.

Para nuestro caso asumiremos que se desea decolorar la solución de 1.018 a 0.501, por lo tanto el volumen necesario de resina será los 100 ml de resina que se ha utilizado.

5.3.5.2. Decoloración con Carbón Activado:

De los resultados obtenidos se puede apreciar que el carbón activado decolora un 14.56% más que la resina de decoloración:

SISTEMA	COLOR SOLUCION INICIAL	COLOR SOLUCION FINAL	DECOLORACION %
C.A.	1.010	0.350	65.35
Resina Aniónica	1.018	0.501	50.79
		$\Delta\%D$	14.56

si observamos la decoloración con resina de la solución pre-decolorada con C.A. tenemos:

SISTEMA	COLOR SOLUCION INICIAL	COLOR SOLUCION FINAL	DECOLORACION %
Resina Aniónica	0.350	0.169	51.71

5.4 REGENERACION DE RESINA

Luego de cumplir el ciclo de decoloración la resina se regenera siguiendo los siguientes pasos:

5.4.1 Lavado de resina

Se realiza con agua destilada, hasta recuperar la solución azucarada adherida en la superficie de la resina. (Sweetening off) (Ver Fig. 5.4)

5.4.2 Regeneracion con NaCl

Se utiliza NaCl con una concentración del 12% con la finalidad de eliminar la saturación de la resina por sustancias orgánicas. ⁽¹⁾

5.4.3 Lavado de NaCl

Se realiza con agua destilada para lavar la NaCl remanente en la superficie de la resina.

5.4.4 Regeneracion con NaOH

Utilizamos NaOH 1.6N (6%) este paso es donde se regenera la resina a la forma -OH (Ver fig. 5.5) ⁽³⁾

5.4.5 Lavado de NaOH

Se lava la resina con agua hasta obtener pH = 9.0

5.5 EVALUACION DE LA RESINA: CAPACIDAD DE DECOLORACION

Esta evaluación de la resina es aplicable a una resina nueva o usada.

Se utiliza para ver la variación de la capacidad conforme va, incrementándose el número de ciclos y preveer la disminución de la capacidad para cambiar la resina.

a. ACONDICIONAMIENTO

1) Se coloca la resina dentro de la columna y se hace pasar HCl 1N, SV = 5 (Velocidad espacial), por 90 minutos.



FIG. 5.4. INICIO DE LA REGENERACION CON NaOH

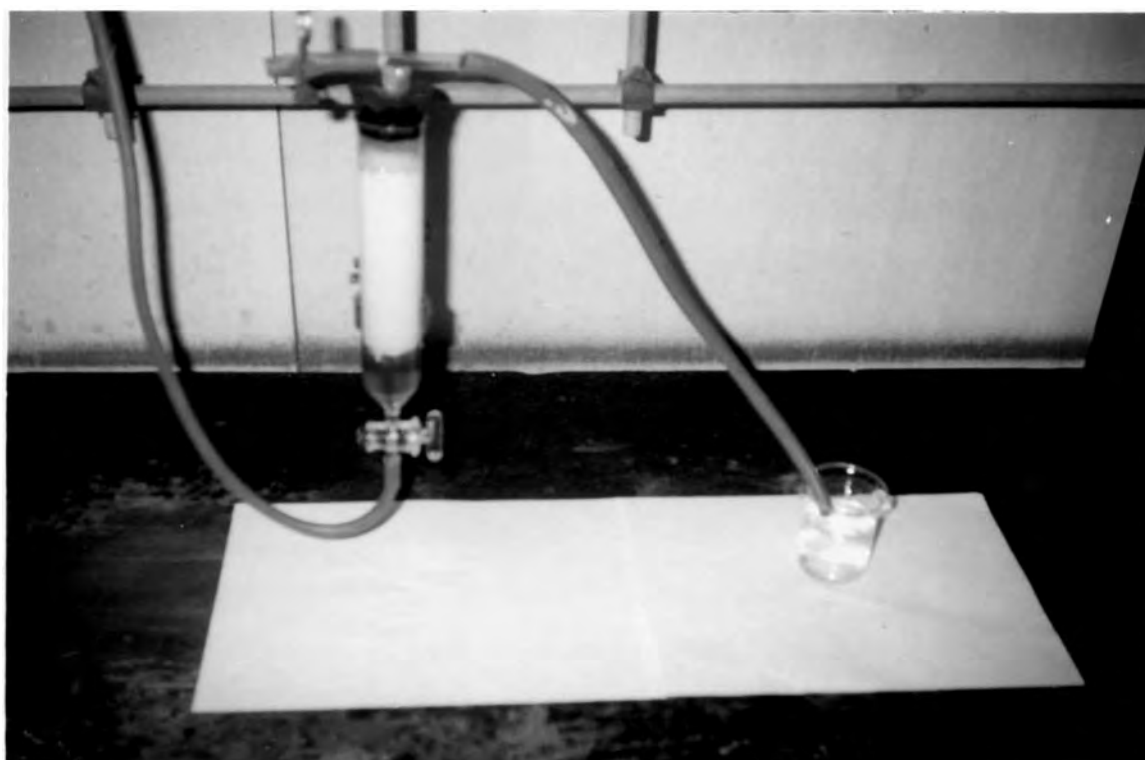


FIG. 5.5. REGENERACION EN CAMINO

- 2) Se enjuaga el ácido residual con agua desionizada, con SV = 50, por 30 minutos.
- 3) Se hace pasar NaOH 1N, a SV = 5, por 90 minutos.
- 4) Enjuagar el álcali residual con agua desionizada hasta que una muestra del efluente no presente coloración alcalina con fenolftaleína.

b. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad se define como el % contenido de agua en la resina completamente dilatada con agua. Unos 5grs., de esta resina completamente dilatada con agua son envueltos con una tela o una esponja de vinil y el agua adherida en la superficie de la resina es removida por centrifugación.

La resina se transfiere a una botella y se pesa. Luego la resina se seca. Las condiciones de secado difieren con el tipo de resina:

Resina Aniónica débilmente básica:

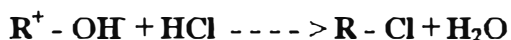
50 ± 2°C 8 hrs. (secado al vacío a 10 mm Hg)

Luego del secado la resina se deja enfriar por 30 minutos en un secador conteniendo P₂O₅ y es luego pesada, el contenido de humedad se calcula por la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{peso de resina dilatada con agua} - \text{peso de resina seca}}{\text{peso de resina dilatada con agua}} \times 100$$

c. CAPACIDAD DE LA RESINA

- Se toman 20 ml de muestra de resina, el agua adherida es removida por centrifugación, tal como se explica en el acápite: b).
- Se transfiere la resina a un recipiente tarado y se pesa la muestra.
- Se toma 5 grs. de muestra, exactamente pesada y se seca en estufa al vacío por 8 horas, a 50 ± 2°C y 10 ± 2 mm Hg. La humedad contenida se determina tal como se explica en el acápite b).
- Adicionalmente, se mide exactamente 250 ml de HCl 0.2N, en un frasco se agrega 3 gr., de muestra. Se guarda por una noche y se agita frecuentemente hasta completar neutralización (si es posible guardar a 30°C).



- Se toma 25 ml., de solución y se titula con NaOH 0.1N, usando fenolftaleína como indicador (VOLUMEN A). Repetir la titulación dos veces.
- Se toma 25 ml., del HCl 0,2N y se titula con la misma solución de NaOH 0.1N (VOLUMEN B).

- La capacidad de la resina se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Capac. de resina (meq/gr)} = \frac{[(B-A)]}{(\text{peso de la muestra}) (100-\text{humed. en } \%) } \times 100$$

$$\text{Capac. de resina (meq/ml-R)} = \frac{(\text{meq/grR}) \times (100-\text{humed. en } \%) }{100} \times \frac{\text{Densidad de embarque}}{100}$$

d. RESULTADOS OBTENIDOS

VOL. RES (ml)	Peso Resina	% Humedad	Cap. Resina (meq/lit)	meq/gr
20	12.9861	49.07	1.569	4.745
20	12.9594	49.79	1.566	4.813

6.- DISEÑO DE UN SISTEMA DE DECOLORACION PARA SOLUCIONES AZUCARADAS

6.1 CONDICIONES DE OPERACION

El sistema de decoloración que se va a diseñar en este trabajo sirve para decolorar una solución azucarada que tiene un determinado grado de color.

La solución se hace pasar a través de la resina aniónica de columna de intercambio iónico, y ésta atrapa las sustancias coloreadas cargadas negativamente manteniendo los azúcares y otros constituyentes no iónicos inalterados obteniéndose así una solución azucarada con menos grado de color, lo que equivale a decir con menos grado de impureza.

Las condiciones de operación que sirven como base para el diseño depende en general de la solución que se va a tratar, el color inicial de ésta, el nivel de decoloración al cual se desea llegar, y el volumen de solución a decolorar. Estos datos son determinados según los requerimientos en planta.

Para nuestro caso se tomarán las condiciones de operación con las que se trabajó en la parte experimental, esto es:

- Color inicial de la solución a decolorar (C_0): 1.018 U.C.
- Color final requerido de la solución decolorada (C_f): 0.501 U.C.
- Volumen a tratar: 80,000 Lts/día.

El volumen a tratar ha sido tomado como un volumen aproximado que se utiliza en la industria.

Se diseñarán dos torres de decoloración, de tal forma que mientras una esté decolorando la otra se está regenerando de esta manera se mantendrá un flujo de decoloración continuo.

La distribución de los equipos y líneas a utilizar en este diseño se muestra en la Fig. 6.0.

Este sistema tendrá un TK de alimentación de la solución azucarada que será bombeada hasta la torre de decoloración, la cual luego de pasar por ésta, será recepcionada en un TK de solución decolorada (Ver fig. 6.0).

Como es sabido la resina luego de pasar un cierto volumen de solución coloreada se satura, este efecto se distingue al realizar un chequeo de color con un fotocolorímetro sacando una muestra del efluente.

Para la regeneración de la resina se seguirá los siguientes pasos:

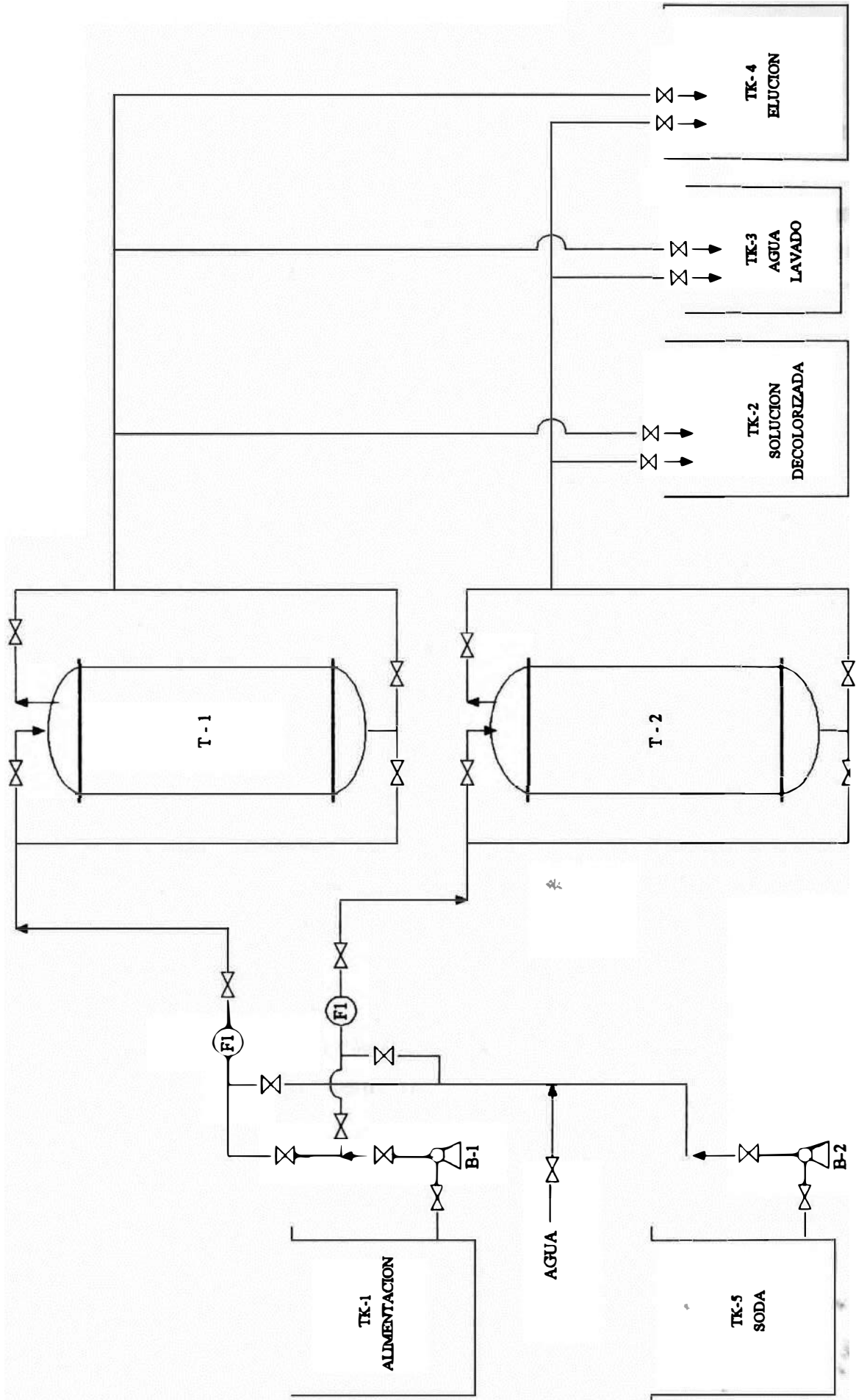


FIG. 6. 0 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE DECOLORACION

a) LAVADO DE RESINA (SWEETENING OFF)

Una vez que la resina está saturada es necesario recuperar la solución que está dentro de la columna para lo cual se lava con agua desplazando esta solución, para ser recuperada en un TK-3 de agua de lavado (ver Fig. 6.0). El volumen de agua utilizado varía según la cantidad máxima de solución azucarada a recuperar, esto se define de acuerdo a los datos en planta; basados en la cantidad mínima a perder. Esta operación se realiza a un $SV=1$ por el lapso de 1 hr.

b) RETROLAVADO

Luego de la recuperación de la solución el lecho de resina debe ser lavado en contracorriente para eliminar partículas acumuladas en su superficie (tiempo de operación 30 minutos, $SV=2$). A partir de este paso la caída se desvía al TK-4 de elución.

c) REGENERACION

Este paso se realiza con la adición de NaOH al 6%, a un $SV=1$ para que el contacto entre el regenerante y la resina sea efectiva y lograr una eficiente regeneración. Para nuestra columna se utilizará 7.7 Kl. de NaOH por batch. Este volumen de regeneración va al TK-4 de elución.

d) ENJUAGUE

Se realiza con agua para retirar el remanente del regenerante que queda en la superficie y entre las partículas de la resina. Esto a un $SV=2$, y un tiempo de 1 hora.

e) INICIO DE LA DECOLORACION (SWEETENING ON)

Con este paso se inicia la alimentación de la solución azucarada a la torre de decoloración, la cual desplaza el agua que hay dentro de la torre, esta se envía al igual que el lavado de resina al TK-3 de agua de lavado (ver Fig. 6.0). Cabe señalar que la concentración del efluente se irá incrementando poco a poco conforme la solución desplace al agua, por lo que luego tendrá que desviarse la caída al TK-2 de solución decolorada.

El inicio de la recepción de la solución decolorada depende de la concentración a la que ha llegado el efluente, debiendo ser esta similar a la del influente.

Puede iniciarse la recuperación de la solución decolorada antes de igualar la concentración del influente, pero esta supeditado a las condiciones en planta.

Esta operación se realiza a un $SV=1$ por lapso de 1 hora, aproximadamente.

6.2 DISEÑO DE EQUIPOS

En esta parte se describirá el diseño de los equipos a utilizar en el sistema de decoloración como se aprecia en la fig. 6.0.

6.2.1 DISEÑO DE LA COLUMNA DE DECOLORACION

Para el diseño de la columna tendremos en cuenta las condiciones de operación con las que se trabajo en la parte experimental:

$C_o = 1.018$ U.C. (valor inicial)

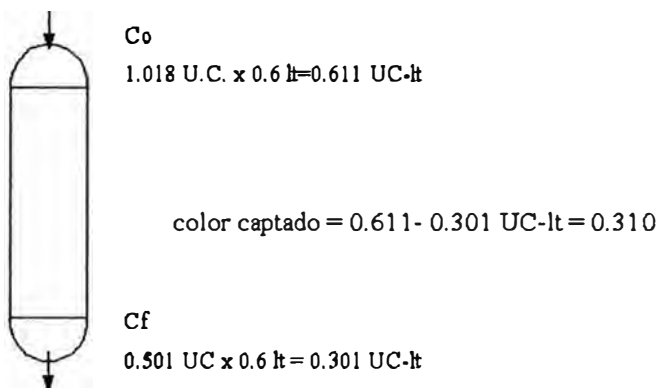
$C_f = 0.501$ U.C. (valor deseado)

Volumen a tratar = 80,000 Lts/día.

De la parte experimental se sabe que cada ciclo dura 6 horas; entonces al día (24 horas) se pasarán 20,000 Lts/ciclo.

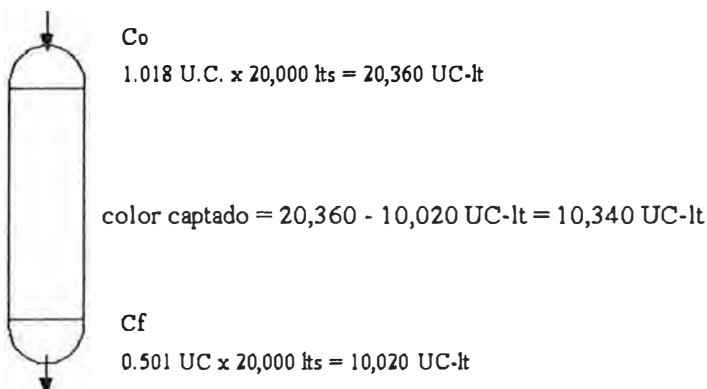
El primer paso es calcular el volumen necesario de resina:

De la parte experimental calcularemos la concentración de color captado por la resina:



Es decir 0.100 lts de resina atrapan 0.310 UC-lt

Como el volumen a tratar es de: 20,000 lts. de solución tenemos que:



Luego, tenemos que determinar la cantidad de resina que será necesaria para atrapar 10,340 UC.lt.

Para lo cual realizaremos un escalamiento de nuestro diseño; teniendo en cuenta lo siguiente:

- Debido a que el proceso de decoloración se desarrolla en planta bajo las mismas condiciones de operación que en el laboratorio y estas condiciones no inciden de manera apreciable en el proceso por la naturaleza de éste. Asumiremos que estas permanecen constantes.
- Como es sabido que resulta difícil determinar las estructuras de las sustancias que originan color, no se realizará un balance de iones, para el cálculo de la cantidad de resina necesaria.
- Teniendo como base las corridas experimentales hemos determinado la cantidad de resina necesaria para decolorar nuestra solución alcanzando el nivel deseado; utilizando este volumen para el escalamiento.

Entonces podemos decir:

$$0.1 \text{ lt} \text{ ————— } 0.310 \text{ UC-lt}$$

$$\text{"X" Vol. Resina} - 10,340 \text{ UC-lt} \rightarrow \text{"X" Vol Resina} = 3,335.48 \text{ lts}$$

$$\text{Volumen Real} = (1+0.15) 3,335.48 \text{ lts} = 3,835.80 \text{ lts}$$

$$\text{Volumen Real} = 3,850 \text{ lts}$$

- El volumen de la resina $V_R = 3.85 \text{ m}^3$

- Vamos a considerar la altura del lecho de resina = 1.5 mt (Recomendación de John Payne, "Principios de Tecnología Azucarera": $h_R = 1.5 \text{ mt}$)

El rango que recomienda John Payne es de 12mt a 1.5mt sin embargo se ha tomado el extremo superior esto es: 1.5 mt; porque mientras más alta es la altura del lecho la decoloración será más eficiente.

Entonces:

$$V_R = \frac{\pi D^2_{TRR} \times h_R}{4}$$

* Esta altura del lecho de resina se ha tomado de diferentes recomendaciones de autores de manuales y fabricantes de resina en la industria:

ESPECIFICACIONES	UNID.	ROHM AND HASS	MANUAL RIEGEL QUIM. IND.	MANUAL AZUCAR SPENCER -MEADE	PRINCIPIOS TEC. AZUCARERA	MITSUBISHI
DIAMETRO DE TRR	mt	0.8 - 3.6	3.0 - 3.0	2.4 - 3.0	---	---
ALTURA DEL LECHO	mt	0.7 - 2.5	0.5 - 1.0	0.6 - 1.2	1.2 - 1.5	0.7 (min)

Donde D_{TRR} : Diámetro de la Torre, reemplazando valores:

$$D_{TRR} = \left[\frac{3.85 \times 4}{1.5 \times \pi} \right] = 1.81 \text{ mt}$$
$$D_{TRR} = 1,81 \text{ mt}$$

- Altura de Torre:

La altura de la torre será el doble de la altura del lecho; para que haya una suficiente cámara de expansión de la resina:

$$h_{TRR} = 2h_R$$

$$h_{TRR} = 2 (1.5 \text{ mt})$$

$$h_{TRR} = 3.0 \text{ mt}$$

6.2.2 DETERMINACION DEL DIAMETRO OPTIMO DE LAS TUBERIAS

Considerando para nuestro diseño flujo turbulento: $R_e > 2,100$ entonces para flujos en cañerías de acero, el diámetro optimo se puede calcular por: ⁽¹⁶⁾

$$D_{\text{optimo}} = 3.9 Q_f^{0.45} \rho^{0.13}$$

donde:

- D_{optimo} : Diámetro interno optimo en pulgadas
- Q_f : Flujo Volumetrico o Caudal del flujo en p^3/seg .
- ρ : Densidad del flujo, en lbs/p^3 .

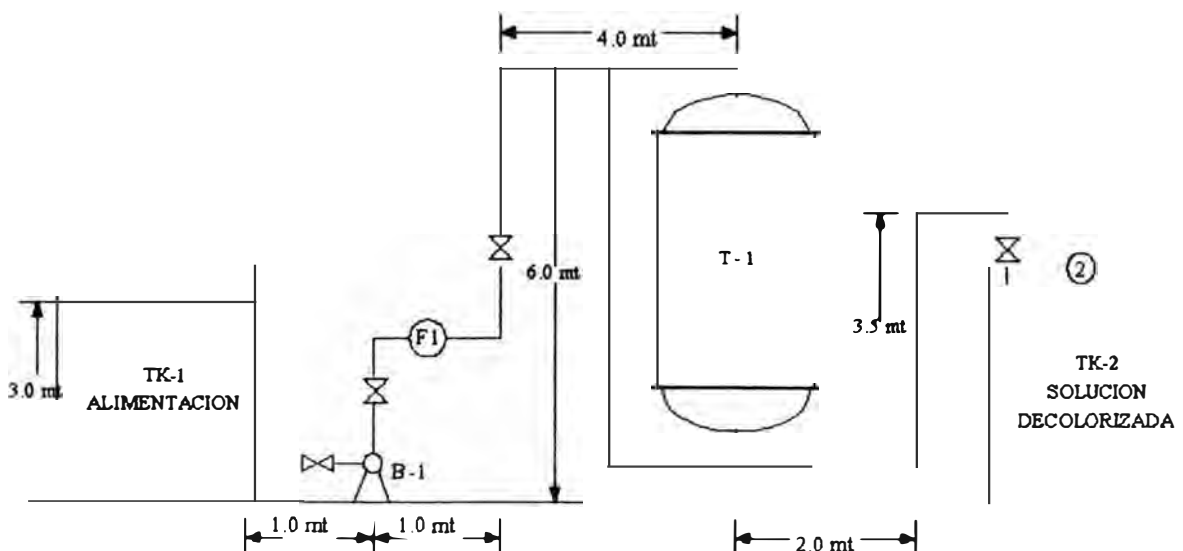
Reemplazando datos:

$$D_{\text{optimo}} = 3.9 (0.378)^{0.45} (75.5)^{0.13} = 1.567''$$

Del apéndice C-6 dimensiones de los tubos de aceros normales (11) y del resultado obtenido seleccionaremos el diámetro de la tubería, este será: $D = 2''$

6.2.3 DISEÑO DE LA BOMBA DE ENVIO

Para esto proyectaremos la siguiente distribución; tomando como base el diagrama de flujo de la fig. 6.0:



Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos ① y ②:

$$E_1 + H_B = E_2 + h \dots\dots (I)$$

$$E_1 = 3.0 \text{ mt} + V_1^2 / 2g$$

H_B = Head de la bomba

$$E_2 = 2.5 \text{ mt} + V_2^2 / 2g$$

$$h = h_{\text{toberia - valvula - codos}} + h_{\text{TRR}} + h_{\text{contometro}}$$

Asumiremos : $h_{\text{contometro}} \text{ despreciable} = 0$ $V_1 = 0$

$$h_{\text{fTRR}} = 0.5 \text{ Kgr/cm}^2 = 5.165 \text{ mt} \quad V_2 = 0$$

$$L V^2$$

$$\text{Calculando } h_{\text{f toberia - valv. - codos}} = F \frac{\quad}{D \ 2g} = h_{\text{fl}}$$

Longitud Equivalente		= 16.0
Valvula de Asiento	: 6 x 18.0	= 108.0
Codo 90	: 8 x 4.0	= 32.0

I) Longitud Equivalente Total: 16.0 + 108.0 + 32.0 (Ver fig. 6.2)

$$L = 156.0 \text{ mt}$$

$$3.85 \text{ m}^3/\text{hr}$$

II) Velocidad = $V = \frac{3.85 \text{ m}^3/\text{hr}}{2.0268 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 0.528 \text{ m/seg}$

$$V D \rho$$

III) $N_{re} = \frac{\quad}{\mu}$

donde:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,208 \text{ Kgr/m}^3 \\ \mu &= 8.423 \times 10^{-3} \text{ kgr-m/seg} \\ D &= 0.0508 \text{ m} \end{aligned}$$

$$N_{re} = \frac{(0.528) (0.0508) (1,208)}{8.423 \times 10^{-3}} = 3,847$$

IV) De la fig. 6. : $E/D = 0.0009$

V) De la fig 6.3 : $f = 0.040$

$$(156.0) (0.528)$$

VI) Reemplazando valores: $h_f = 0.040 \cdot \frac{(156.0) (0.528)}{(0.0528) (2) (9.81)} = 3.18 \text{ mt.}$

$$(0.0528) (2) (9.81)$$

$$h_f = 3.18 \text{ mt.}$$

Reemplazando valores en la ecuación (I)

$$3.0 + H_B = 3.5 + 0 + 3.18 + 5.165 + 0$$

$$H_B = 11.845 - 3.0$$

$$H_B = 8.845 \text{ mt} = 8.85 \text{ mt}$$

Cálculo de la potencia de la bomba:

$$P_b = \frac{H_b \cdot Q \cdot \rho}{75} = \frac{(8.85) (1.07 \times 10^{-3}) (1,208)}{75}$$

$$P_b = 0.153 \text{ CV}$$

Si el rendimiento de la bomba es del 60% la potencia nominal de ésta habrá de ser:

$$\frac{0.153 \text{ CV}}{0.60} = > P_{B-1} = 0.30 \text{ CV}$$

Para el diseño de B-2 (Bomba de envío de NaOH) seleccionaremos las bombas de similar capacidad que B-1.

6.2.4 DISEÑO DE TKS DE ALIMENTACION Y RECEPCION:

El volumen de los TKS está supeditado al volumen a tratar y al tipo de sistema que se utilizará ya sea proceso continuo o batch. Otro factor que interviene es la disponibilidad del espacio para instalar el Tk en la planta que incide más en las dimensiones (altura, diámetro) ya que la capacidad generalmente si ya se determinó se trata de mantener constante.

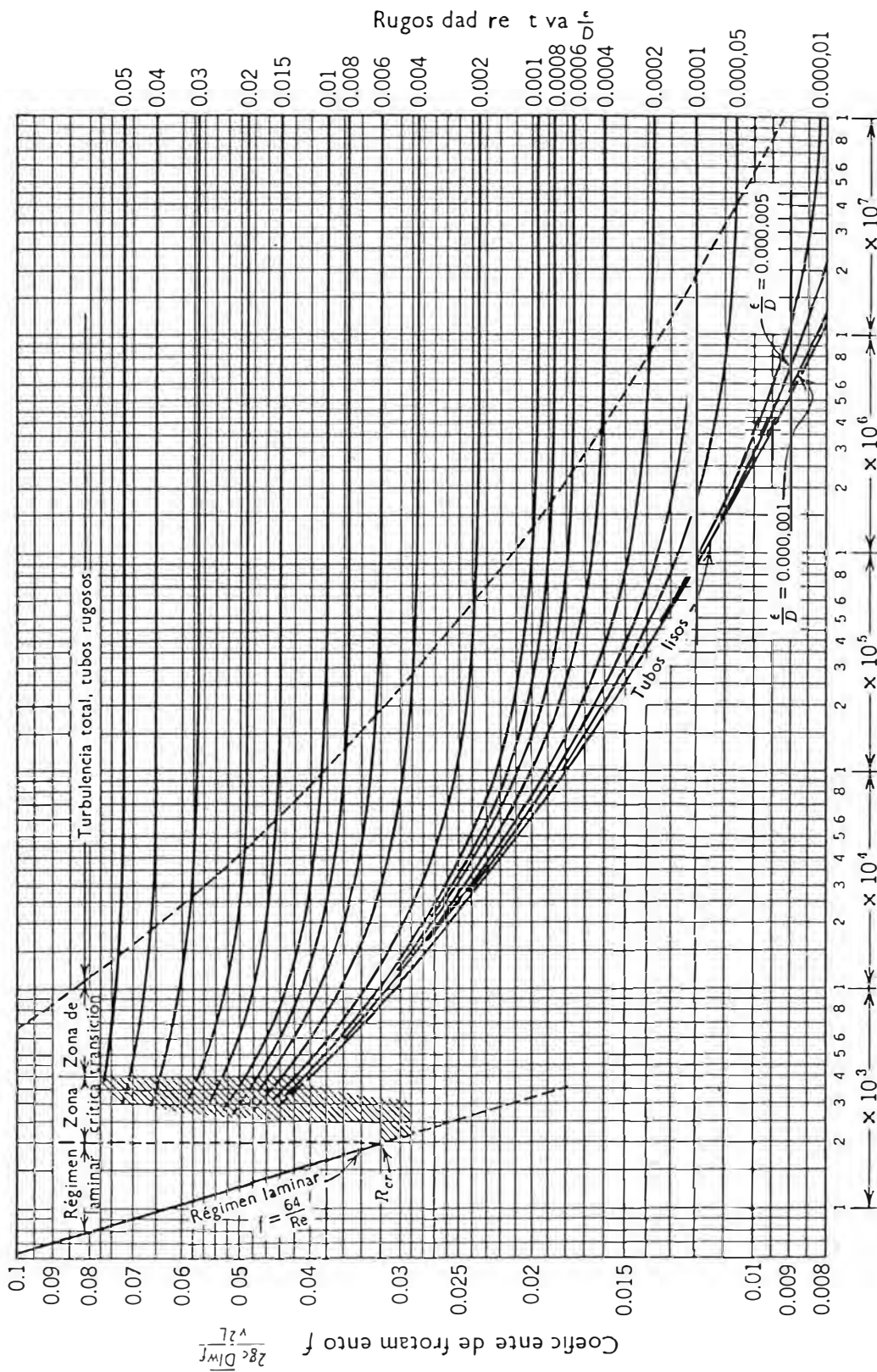


Fig. 8.3 Coeficiente de frotamiento en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la superficie del tubo. (1)

Para nuestro caso tenemos TKS de alimentación y recepción, abiertos y la temperatura de trabajo es ambiente; por lo que las dimensiones se harán basados en el volumen a tratar y para un proceso batch.

6.2.4.1 TK DE ALIMENTACION (TK-1)

Teniendo en cuenta que se tratan de 80 m^3 de solución al día, esto es 26.7 m^3 por turno y que cada turno se envía esta cantidad para mantener el nivel del TK, entonces este debe de tener una capacidad de 30 m^3 , luego sus dimensiones serán:

$$\phi_{\text{TK-1}} = 3.1 \text{ mt}$$

$$h_{\text{TK-1}} = 4.0 \text{ mt}$$

6.2.4.2 TK DE SOLUCION DECOLORADA (TK-2)

De la misma forma que en el caso anterior; al ser sistema batch y el llenado en cada turno entonces tendrá la misma dimensión:

$$\phi_{\text{TK-2}} = 3.1 \text{ mt}$$

$$h_{\text{TK-2}} = 4.0 \text{ mt}$$

6.2.4.3 TK DE AGUA DE LAVADO (TK-3)

Asumiendo que después de cada ciclo de regeneración se evacúa, entonces deberá tener capacidad para 3.85 m^3 de agua de lavado (SWEETENING OFF) más 3.85 m^3 de inicio de decoloración (SWEETENING ON) hace un total de 7.7 m^3 , luego el tanque será de:

$$\phi_{\text{TK-3}} = 2.0 \text{ mt}$$

$$h_{\text{TK-3}} = 2.6 \text{ mt}$$

6.2.4.4 TK DE ELUCION (TK-4)

El volumen que se acumula en cada ciclo de regeneración es: Retrolavado: 3.85 m^3 , Regeneración: 7.7 m^3 y Enjuague: 7.7 m^3 , haciendo un total de 19.25 m^3 . Luego el tanque será de:

$$\phi_{\text{TK-4}} = 2.7 \text{ mt}$$

$$h_{\text{TK-4}} = 3.5 \text{ mt}$$

Este último TK es alternativo ya que directamente puede ir al desagüe.

6.2.4.5 TK DE STOCK DE NaOH (TK-5)

Para decolorar los 80 m³ de solución es necesario que ambas torres trabajen alternadamente; como cada torre un tiempo de decoloración de 6 hrs. se tendrá que regenerar 2 veces al día cada torre.

Entonces se necesitarán $4 \times 7.7 = 30.8 \text{ m}^3$ de NaOH/día, por lo que el tanque tendrá:

$$\phi_{\text{TK-5}} = 3.2 \text{ mt}$$

$$h_{\text{TK-5}} = 4.0 \text{ mt}$$

6.2.5 RESUMEN DEL DISEÑO DE EQUIPOS

EQUIPOS	CODIGO	ESPECIFICACIONES
1. TORRE DE DECOLORACION	T - 1	$\phi = 1.5 \text{ mt}$ h = 3.0 mt
1. TORRE DE DECOLORACION	T - 2	$\phi = 1.5 \text{ mt}$ h = 3.0 mt
3. BOMBA DE ENVIO DE SOLUC.	B - 1	HEAD=10.50 mt; Q=3.85 m ³ /hr; POTENCIA=0.30 CV
4. BOMBA DE ENVIO DE NaOH	B - 2	HEAD=10.50 mt; Q=3.85 m ³ /hr; POTENCIA=0.30 CV
5. TK ALIMENTACION	TK - 1	$\phi = 3.10 \text{ mt}$ h = 4.0 mt V=30.0 m ³
6. TK SOLUC. DECOLORADA	TK - 2	$\phi = 3.10 \text{ mt}$ h = 4.0 mt V=30.0 m ³
7. TK AGUA DE LAVADO	TK - 3	$\phi = 2.0 \text{ mt}$ h = 2.6 mt V=8.0 m ³
8. TK DE ELUCION	TK - 4	$\phi = 2.7 \text{ mt}$ h = 3.5 mt V=20.0 m ³
9. TK DE STOCK NaOH	TK - 5	$\phi = 3.2 \text{ mt}$ h = 4.0 mt V=32.0 m ³
10. TUBERIAS	--	$\phi = 2''$
11. VALVULAS	--	$\phi = 2''$

NOTA: EL TIPO DE MATERIAL QUE SE EMPLEA PARA LA FABRICACION SERA ACERO AISI 316

6.3 CONTROL Y MONITOREO

Para que la operación de decoloración sea controlada eficientemente debe de realizarse un chequeo cada hora del color de la solución que sale de la torre de resina; debido a que al ser un sistema batch cada lote de solución a decolorar no necesariamente tendrá la misma coloración; pudiendo ser algunas veces más coloreada y otras menos coloreadas que el color standard establecido, ocurriendo en el primer caso la disminución del ciclo de decoloración y en el segundo caso el aumento de éste.

Por esto se saca una muestra y se mide el color en un fotocolorímetro y se compara con el valor standard y en caso de no cumplir con éste se dará inicio a la regeneración.

El control de la toma de color es manual; así como las operaciones de decoloración y regeneración; sin embargo para realizar un control automático de esta torre de decoloración es necesario definir los flujos con los que se va a trabajar durante el proceso de regeneración y decoloración, de esta forma conociendo el volumen que se va a emplear se puede saber el tiempo que tomará cada paso de regeneración.

Conociendo estos datos se puede utilizar un controlador lógico programable (P.L.C.) en el cual se puede programar los tiempos de duración de cada paso de regeneración y éste dará una señal a válvulas neumáticas ON-OFF, abriendo o cerrando la línea que se va utilizar, adicionalmente se instalará válvulas de control automático, el cual mantendrá el flujo deseado según lo programado en el P.L.C.

Este control será realizado desde un panel de control que podrá ser ubicado en cualquier lugar desde donde se desee manipular; a este panel llegarán indicaciones luminosas que permitirán seguir el desarrollo del proceso.

En la fig.6.4. se muestra el esquema del control automático utilizando un PLC.

7. BIBLIOGRAFIA

- 1.- V. R. Davies, Rohmand Hass-Canadá, "Solución a Problemas y Recomendaciones de Mantenimiento a Sistemas de Intercambio Iónico" Impreso en USA 1989. Pág. 6.**
- 2.- Francois de Dardel, Rohmand Hass-París, Francia, "Ion Exchangers: Principles and Applications". Reimpresión por Enciclopedia de Tecnología Química, VCH, Wein heim. Alemania, 1990. Pág.431.**
- 3.- Rohm and Hass Company, " Ion Exchange Data" Impreso en U.S.A., junio, 1992.**
- 4.- Mitsubishi Chemical Industries Limited, "DIAION: Manual of Ion Exchange Resins I" Edición Revisada Impreso en Japón, Octubre 1984.**
- 5.- Mitsubishi Chemical Industries Limited, " DIAION: Manual of Ion Exchange Resins II" Edición Revisada Impreso en Japón, Diciembre 1986.**
- 6.- Reichenberg D. "Los Intercambiadores Iónicos" Endeavour N° 87 Setiembre 1963. Editado por Imperial Chemical Industries Limited. Impreso en: The Kynoch Press, R.U.**
- 7.- Trey ball E. Robert, "Operaciones de Transferencia de Masa" 2da. Edición. Pág. 707.**
- 8.- R. Morris Shreve, "Industrias de Proceso Químico" Editorial Dossat S.A., Madrid. Pág.187.**
- 9.- Spencer-Meade, "Manual del Azúcar de Caña" 9na. Edición, Editorial: Montaner y Simón S.A., Barcelona, 1967.**
- 10.- A, Vian - J. Ocon, "Elementos de Ingeniería Química", Aguilar S.A. de Ediciones Madrid. 1952. Pág.472.**
- 11.- A. Foust, "Principios de Operaciones Unitarias", Compañía Editorial Continental S.A., Impreso en Mexico 1985.Pág. 503.**

12.- Pieter Honig, "Principios de Tecnología Azucarera: Tomo I" Cía. Editorial Continental S.A. de C.V. Mexico. Pág.622.

13.- Samuel B., Appbaum, "Intercambio de Iones". New York Academic Press 1968.

14.- R. Kumin, "Intercambio Iónico". 2da. Edición New York,1963.

15.- Charles B. Broeg, "Manual de Riegel de Química Industrial". Pág. 532.

16.- Max S. Peters, "Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos".

New York Mc. Graw Hill 1968 Pág. 295.