

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y**  
**MANUFACTURERA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“ESTUDIO Y OPTIMIZACION DE LAS**  
**CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ADSORCIÓN**  
**DE UN AMINOACIDO EN UNA TORRE DE**  
**INTERCAMBIO IONICO INDUSTRIAL”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

PRESENTADA POR LOS BACHILLERES:

RUBEN EPIFANIO AGREDA PAZ  
LUIS MIGUEL DIAZ CABREJO

ASESORA  
DRA. MARIA SUN KOU

UNI - SETIEMBRE  
2000

## AGRADECIMIENTOS

Los tesisistas, queremos expresar nuestra gratitud y agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera han colaborado en la ejecución de la presente monografía, la cual representa para nosotros la culminación de una etapa muy importante y el inicio de otra en nuestra vida profesional.

Se agradece a las autoridades de la Empresa AJINOMOTO DEL PERU S.A., quienes nos autorizaron a llevar a cabo el presente estudio, el cual pertenece a una parte de su proceso productivo. De manera especial se agradece al Ing. Jorge Hanashiro, Gerente del Departamento de Refinación, quien nos brindó las facilidades de instalaciones y horarios para realizar las diferentes pruebas propias de este estudio.

También un profundo agradecimiento a nuestra asesora de Tesis la Dra. María Sun Kou por su valiosísimo y desinteresado apoyo en la revisión, sugerencias y aportes brindados, que permitieron culminar la redacción del ejemplar final. Mencionamos que en el transcurso de la ejecución de este trabajo, hemos aprendido mucho de ella, y nos motivó con su empuje a no decaer y llegar en buen término al objetivo final.

Quisiéramos mencionar tantos nombres, como son el personal de planta y laboratorio de la Empresa, amigos, profesores de la universidad, como el Ing.

Emilio Porras quien nos guió en la evaluación económica, pero por cuestiones de espacio omitiremos aquí sus nombres; pero ellos saben lo importante que han sido para nosotros el conseguir este logro.

Por último, pero no de menos de importancia, agradecemos y dedicamos este trabajo a nuestros familiares, quienes han sido nuestra motivación e incondicional soporte a lo largo de la realización de la presente monografía.

Estamos seguros que con la presente monografía habremos brindado un pequeño aporte tanto a la Empresa, Universidad y a la juventud estudiosa a quienes exhortamos se encuentren siempre motivados a realizar trabajos de investigación, lo cual debe ser siempre una buena práctica de todo Ingeniero.

**DEDICATORIA MIGUEL:**

*Dedico la presente monografía a mi padre José, a mi Tía Rosa, mi segunda madre, a mis hermanos Antonio, Ricardo y Carlos, a mi esposa Susana a la cual durante la elaboración de este trabajo deje de lado en muchos momentos; y muy especial a mi madre Elisa, que aunque ya no esté conmigo fue la que siempre me motivo para seguir una carrera profesional.*

*DEDICATORIA RUBEN:*

*Con cariño a mi querida Madre Luz, fuente de inspiración y ternura, a mi Padre Epifanio ejemplo de lucha en la vida, a mis hermanos y cuñados por que me brindan el calor de una familia unida y a mi enamorada Rosemarie quien me motiva tanto a alcanzar a ser un buen profesional. Por que sé que a todos ellos la culminación de este trabajo, les hace tan feliz, como me siento yo.*

## INDICE

	Pág.
<b>I.- INTRODUCCION</b> .....	1
<b>II.- MARCO TEORICO</b>	
II.1.- ADSORCION E INTERCAMBIO IONICO .....	6
II.1.1.- Tipos de Adsorción .....	8
II.1.2.- Naturaleza de los Adsorbentes .....	9
II.1.3.- Tipos de Adsorbentes .....	11
II.2.- RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO	
II.2.1.- Estructura y acción de intercambio de las Resinas de intercambio iónico .....	14
II.2.2.- Tipos de resinas	
II.2.2.1.- Resinas de intercambio catiónico..	15
II.2.2.2.- Resinas de intercambio aniónico...	18
II.2.3.- Crosslinkage (reticulación) de las resinas de intercambio Iónico .....	19
II.2.4.- Resinas de intercambio tipo poroso .....	25
II.2.5.- Tendencia de la selectividad iónica .....	26
II.3.- RESINA A EMPLEAR .....	30
<b>III.- DESCRIPCION DEL PRODUCTO</b>	
III.1.- AMINOACIDOS .....	33
III.2.- QUIMICA DE LOS AMINOACIDOS .....	34
III.3.- PUNTO ISOELECTRICO DE LOS AMINOACIDOS ..	35

III.4.- USOS DE LOS AMINOACIDOS .....	38
III.5.- ACIDO GLUTAMICO .....	41
III.5.1.- Aminoácidos Esenciales .....	42
III.5.2.- Aminoácidos no esenciales .....	42
III.6.- LICOR A ADSORBER .....	45

#### **IV.- METODOLOGIA**

IV.1.- ESCALAMIENTO .....	48
IV.2.- CURVA DE ADSORCION .....	50
IV.3.- METODOS ANALITICOS	
IV.3.1.- Análisis del Acido Glutámico .....	53
IV.3.1.1 Principio de medición .....	53
IV.3.2.- Análisis elemental de metales .....	55
IV.3.3.- Medición de Nitrógeno Total y Amoniacal .....	56
IV.3.4.- Análisis de Bacterias .....	57
IV.3.5.- Análisis de Cenizas .....	57
IV.3.6.- Análisis de Color .....	58
IV.3.7.- Análisis de Sulfatos .....	58
IV.3.8.- Análisis de Sólidos Totales .....	59
IV.3.9.- Análisis de Materia Orgánica .....	59

#### **V.- PROCESO ACTUAL**

V.1.- BREVE DESCRIPCION .....	62
V.2.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO .....	65
V.3.- ADSORCION DEL AMINOACIDO .....	67
V.4.- RENDIMIENTO ACTUAL Y PROBLEMAS .....	68

<b>VI.- RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANALISIS</b>	
<b>VI.1.- ACONDICIONAMIENTO</b>	
VI.1.1.- Acondicionamiento de la resina antes de la Adsorción .....	71
VI.1.2.- Análisis respecto a la remoción de Nitrógeno ....	74
VI.1.3.- Análisis respecto a la remoción de A.G. ....	76
VI.1.4.- Análisis respecto a la remoción de Materia Orgánica .....	78
VI.1.5.- Análisis respecto a la remoción de color .....	80
<b>VI.2.- PROCESO DE ADSORCION</b>	
VI.2.1.- Condiciones ideales en la adsorción .....	82
VI.2.1.1.- Análisis .....	85
VI.2.2.- Prueba efecto de la Temperatura en adsorción...	85
VI.2.2.1.- Análisis .....	87
VI.2.3.- Prueba de control de velocidad de acidificación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en el licor de pH ajustado .....	87
VI.2.3.1.- Descripción de la prueba.....	88
VI.2.3.2.- Análisis .....	90
VI.2.4.- Prueba efecto composición en adsorción .....	90
VI.2.4.1.- Análisis .....	94
VI.2.5.- Variaciones de R.V. y S.V. en filtración en arena al sedimento de licor de pH ajustado.....	96
VI.2.5.1.- Resultados.....	97
VI.2.5.2.- Análisis .....	99
VI.2.6.- Comparación adsorción normal vs adsorción Acompañada de filtración al sedimento .....	99
VI.2.6.1.- Resultados.....	100
VI.2.6.2.- Análisis .....	102
<b>VII.- EVALUACION ECONOMICA .....</b>	103
<b>VIII.- CONCLUSIONES .....</b>	112
<b>IX.- BIBLIOGRAFIA .....</b>	118

## **I. INTRODUCCION**

## I. INTRODUCCION

En el marco global de la economía actual se da mucha importancia al Tratamiento de Efluentes Industriales, que en su composición presentan productos recuperables y valiosos a pesar que se encuentran en bajas concentraciones, tal como es el caso de la industria Bioquímica en lo que se refiere a la producción de productos farmacéuticos y algunos productos alimenticios. Sobre esto último, es de importancia la recuperación de los aminoácidos en las torres de adsorción dentro del proceso de fabricación de los mismos.

Se tiene referencia de trabajos previamente realizados [12] relacionados al tema de estudio, en el cual el objetivo principal fue la decoloración de soluciones azucaradas empleando para ello resinas aniónicas básicas débiles, con tres finalidades básicas: una, para encontrar la óptima cantidad de resina de intercambio a usar para decolorar una cantidad de solución azucarada, otra, hacer corridas comparativas con otro adsorbente como el carbón activado, y otra para mejorar la calidad de la solución decolorada mejorando su rendimiento de la solución para una posterior cristalización del producto valioso.

En el proceso de adsorción en las torres de resina catiónica, un proceso óptimo nos permitiría obtener un grado de adsorción cercano al 100%. Sin embargo, en la práctica se observa que existe una pérdida apreciable de dicha capacidad de adsorción, lo cual puede ser atribuido a la presencia en el licor a adsorber de las siguientes causas:

- Materia orgánica

- Presencia de otros aminoácidos
- Bacterias
- Presencia de aniones, los cuales tienen una tendencia a formar sales (arrastré de cationes a torres).
- Un inadecuado acondicionamiento de la resina antes de la adsorción (Retrolavado-regeneración).

Todo ello conlleva a bajar el rendimiento de la producción, y hace necesaria la búsqueda de alternativas de solución al problema.

Así, este trabajo que se plantea como *tema de tesis de grado*, tiene como objetivo principal determinar cuál o cuales son las causas más relevantes que están afectando la captación del Acido Glutámico y buscar su posible solución, en una primera fase a nivel laboratorio y en una segunda con la aplicación a nivel industrial.

Como se indicó anteriormente, el enfoque principal para este trabajo estará centrado en la búsqueda de los factores que más afectan el grado de adsorción en la torre de intercambio. Una vez determinado esto, se plantearán, y se probarán diferentes alternativas a fin de mejorarlo. Es importante mencionar que el producto valioso que es el Acido Glutámico, será enfocado desde un punto de vista secundario, haciéndose mención de éste sólo en los casos que sean necesarios.

Con respecto a las etapas del proceso de adsorción en torres de resina, los estudios se centrarán sólo al acondicionamiento previo de la resina, conformado por el

retrolavado y la regeneración, y a la adsorción propiamente dicha. Las siguientes etapas del proceso que forman parte de la recuperación del Aminoácido no serán tocadas en detalle, tan sólo se harán mención de ellas cuando se necesite establecer la línea del proceso, que como se sabe constituyen una secuencia particular original del proceso que se hace en la Empresa **AJINOMOTO DEL PERU**.

Finalmente, se presenta una evaluación económica del proceso de adsorción actual y el modificado a fin de establecer la aplicabilidad del mismo.

## **II. MARCO TEORICO**

## **II. MARCO TEORICO**

### **II.1. ADSORCION E INTERCAMBIO IONICO**

Las operaciones de adsorción emplean la capacidad especial de ciertos sólidos para hacer que sustancias específicas de una solución se concentren en la superficie de la misma. De esta forma, los componentes de soluciones gaseosas o líquidas pueden separarse unos de otros. Unos cuantos ejemplos indicarán la naturaleza general de las separaciones y al mismo tiempo la gran variedad de aplicaciones prácticas.

- (a) En el campo de las separaciones gaseosas, la adsorción se utiliza para deshumidificar aire y otros gases, para eliminar olores e impurezas desagradables de gases industriales como dióxido de carbono, para recuperar vapores valiosos de disolventes a partir de mezclas diluidas con aire y otros gases, y para fraccionar mezclas de gases de hidrocarburos que contienen sustancias como metano, etileno, etano, propileno y propano.
- (b) Las separaciones típicas de líquidos incluyen la eliminación de humedad disuelta en gasolina, decoloración de productos de petróleo y soluciones acuosas de azúcar, eliminación de sabores y olores desagradables del agua y del fraccionamiento de mezclas de hidrocarburos aromáticos y parafínicos. La escala de operación va desde el uso de unos cuantos gramos de adsorbente en el

laboratorio, hasta las plantas industriales, cuyo inventario de adsorbente excede los 135000 kg [16].

Todas estas operaciones se asemejan en que la mezcla por separar se pone en contacto con otra fase insoluble, el sólido adsorbente, y en que la distinta distribución de los componentes originales entre la fase adsorbida en la superficie sólida y el fluido permite que se lleve a cabo una separación. Se tienen separaciones por lotes en una sola etapa, continuas en varias etapas, y análogas a la absorción y desorción a contracorriente en el campo del contacto gas-líquido, y a la rectificación y extracción mediante reflujo. Además, la rigidez e inmovilidad de un lecho de partículas adsorbentes sólidas, hace posible la útil aplicación de los métodos semicontinuos, que de ninguna manera son aplicables cuando se ponen en contacto dos fluidos.

Otra operación sólido-líquido de gran importancia es el intercambio iónico, en el que ocurre el intercambio reversible de iones entre ciertos sólidos y una solución electrolítica, que permite la separación y fraccionamiento de solutos electrolíticos. Por supuesto, su naturaleza es química, pero abarca no sólo la interacción de los iones con el sólido sino también la difusión de los iones dentro de la fase sólida. Aunque el fenómeno puede ser más complejo que la adsorción, las técnicas generales y los resultados obtenidos son muy similares. Las características especiales del intercambio iónico se consideran por separado al final de este capítulo.

### **II.1.1. TIPOS DE ADSORCIÓN**

Se debe distinguir dos tipos de fenómenos de adsorción: físicos y químicos [14].

La adsorción física, o adsorción de "Van der Waals", fenómeno fácilmente reversible, es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y las de la sustancia adsorbida. Por ejemplo, cuando las fuerzas atractivas intermoleculares entre un sólido y un gas son mayores que las existentes entre moléculas del gas mismo, el gas se condensará sobre la superficie del sólido, aunque su presión sea menor que la presión de vapor que corresponde a la temperatura predominante. Cuando ocurra esta condensación, se desprenderá cierta cantidad de calor, que generalmente será algo mayor que el calor latente de evaporación y parecida al calor de sublimación del gas. La sustancia adsorbida no penetra dentro de la red cristalina ni se disuelve en ella, sino que permanece totalmente sobre la superficie. Sin embargo, si el sólido es muy poroso y contiene muchos pequeños capilares, la sustancia adsorbida penetrará en estos intersticios si es que la sustancia humedece al sólido.

*Quimisorción*, o adsorción activada, es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza de la unión química puede variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos de la manera usual; empero, la fuerza de adhesión es generalmente

mucho mayor que la observada en la adsorción física. El calor liberado durante la quimisorción es comúnmente grande, es parecido al calor de una reacción química. El proceso frecuentemente es irreversible; en la desorción, de ordinario se descubre que la sustancia original ha sufrido un cambio químico. La misma sustancia, que en condiciones de baja temperatura, sufrirá esencialmente sólo la adsorción física sobre un sólido, algunas veces exhibe quimisorción a temperaturas más elevadas; además, los dos fenómenos pueden ocurrir al mismo tiempo.

### II.1.2. NATURALEZA DE LOS ADSORBENTES

Los sólidos adsorbentes por lo general se utilizan en forma granular; varían de tamaño: desde aproximadamente 12mm de diámetro hasta granos tan pequeños de 50 $\mu$ . Los sólidos deben poseer ciertas propiedades mecánicas además de poseer buenas propiedades adsorbentes, según la aplicación que se les vaya a dar. Por ejemplo, si se utilizan en un lecho fijo a través del cual va a fluir un líquido o un gas, no deben ofrecer una caída de presión del flujo muy grande, ni deben ser arrastrados con facilidad por la corriente que fluyen. Deben tener adecuada consistencia para que no se reduzca su tamaño al ser manejados o para que no se rompan al soportar su propio peso en lechos del espesor requerido. Si se van a sacar y poner con frecuencia en los recipientes que los contienen, deben fluir libremente. Estas son propiedades fácilmente reconocibles.

La adsorción es un fenómeno muy general; los sólidos comunes adsorberán gases y vapores, cuando menos a cierto grado. Sin embargo, sólo ciertos sólidos exhiben la suficiente especificidad y capacidad de adsorción para ser útiles como adsorbentes industriales. Puesto que los sólidos poseen frecuentemente una capacidad muy específica para adsorber grandes cantidades de ciertas sustancias, es evidente que la naturaleza química del sólido tiene mucho que ver con sus características de adsorción. Empero, la simple identidad química no es suficiente para caracterizar su propiedad adsorbente. En la extracción líquida, todas las muestras de acetato de butilo puro tienen la misma capacidad para extraer ácido acético de una solución acuosa. Esto no es cierto para las características de adsorción de la sílica gel con respecto al vapor de agua, por ejemplo. Influyen también su método de fabricación y sus antecedentes de adsorción y desorción.

Parece ser esencial una gran superficie específica por unidad de peso para todos los adsorbentes útiles. Dicha superficie toma en cuenta el área interna de los poros de la partícula. Los poros generalmente son muy pequeños, son microporos cuyos diámetros alcanzan hasta 50 Å, pero su gran número proporciona una enorme superficie para la adsorción. Por ejemplo, se calcula que el carbón típico de una máscara de gases tiene una superficie efectiva de 1 000 000 m<sup>2</sup>/Kg [18].

### II.1.3. TIPOS DE ADSORBENTES

1. *Tierras de Fuller.* Son arcillas naturales; las variedades norteamericanas proceden generalmente de Florida y Georgia. Principalmente son silicatos de aluminio y magnesio, bajo la forma de atapulguita y montmorillonita. La arcilla se calienta y se seca, y durante esta operación desarrolla una estructura porosa, posteriormente es molida y cernida. Los tamaños que se consiguen comercialmente van desde grandes gránulos hasta polvos finos. Las arcillas son particularmente útiles para decolorar, neutralizar y secar productos del petróleo, como aceites lubricantes, aceites de transformador, querosenes y gasolinas, lo mismo que aceites vegetales y animales. Lavando y quemando la materia orgánica adsorbida sobre la arcilla durante su utilización, el adsorbente puede utilizarse muchas veces.
2. *Arcillas activadas* [13]. Son bentonitas u otras arcillas que no muestran ningún poder de adsorción hasta que se activan mediante un tratamiento con ácido sulfúrico o clorhídrico. Después de este tratamiento, la arcilla se lava, se seca y se reduce a un polvo fino. Es particularmente útil para decolorar productos del petróleo; generalmente se descarta después de una sola aplicación.
3. *Bauxita.* Es una forma de la alúmina hidratada natural que debe activarse mediante calentamiento a temperaturas que varían entre 450 a 1500 °F, con el fin de activar su poder de adsorción. Se utiliza para decolorar

productos del petróleo y para secar gases; se puede reactivar mediante calentamiento.

4. *Alúmina*. Es un óxido de aluminio hidratado, duro, que se activa por calentamiento para eliminar la humedad. El producto poroso se puede conseguir como gránulos o polvos; se utiliza principalmente como desecante de gases y líquidos. Puede reactivarse para volverse a utilizar.
  
5. *Carbones decolorantes*. Se preparan de modos distintos. (a) Se mezcla materia vegetal con sustancias inorgánicas como cloruro de calcio; se carboniza y elimina por lixiviación la materia inorgánica. (b) Mezclando materia orgánica, como aserrín, con sustancias porosas como piedra pómez; luego se emplea calentamiento y carbonización para depositar la materia carbónica en todas las partículas porosas. (c) Se carboniza madera, aserrín y similares; luego se emplea activación con aire o vapor caliente. La lignita y el carbón bituminoso también son materias primas. Se utilizan para gran cantidad de fines, incluso para la decoloración de soluciones de azúcar, sustancias químicas industriales, drogas y líquidos de limpieza en seco, purificación de agua, refinamiento de aceites vegetales y animales y para la recuperación de oro y plata a partir de sus soluciones de cianuro.
  
6. *Carbón activado de malla molecular*. Es una forma preparada especialmente con aberturas de poro controladas, que van desde 5 hasta 5.5 Angstroms (la mayoría de los carbones activados van desde 14 hasta

60 Angstroms). Los poros pueden admitir, por ejemplo, hidrocarburos parafínicos, pero rechazan isoparafinas de diámetros moleculares grandes. El producto es útil para fraccionar compuestos acetilénicos, alcoholes, ácidos orgánicos, cetonas, aldehidos y muchos otros. Existen buenos estudios generales sobre carbones activados [18].

7. *Sílica gel*. Es un producto muy duro, granular, muy poroso; se prepara a partir del gel precipitado por tratamiento ácido de una solución de silicato de sodio. Su contenido en humedad antes de utilizarse varía del 4 a 7%, más o menos; se utiliza principalmente para deshidratación del aire y otros gases, en máscaras de gases y para el fraccionamiento de hidrocarburos. Para volverse a utilizar, se puede revivir por evaporación de la materia adsorbida.
8. *Adsorbentes poliméricos sintéticos*. Son perlas esféricas porosas, 0.5 mm de diámetro en promedio; cada perla está constituida de un conjunto de microesferas de  $10^{-4}$  mm de diámetro. El material es sintético, fabricado de monómeros polimerizables de dos tipos principales. Los fabricados a partir de aromáticos insaturados, como estireno y divinibenceno, son útiles para la adsorción de compuestos orgánicos no polares a partir de soluciones acuosas. Los fabricados a partir de ésteres acrílicos, son adecuados para solutos más polares. Se utilizan principalmente en el tratamiento de soluciones acuosas; se regeneran por lixiviación con alcoholes o cetonas de bajo peso molecular.

Estos últimos son la base de las resinas de intercambio iónico que serán materia del presente estudio.

De todos los adsorbentes expuestos, se encuentra que las resinas de intercambio iónico son las más adecuadas para el estudio realizado, puesto que tienen la facilidad de ser regenerables varias veces, optimizando de esta manera su aplicación.

## **II.2. RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO**

### **II.2.1. ESTRUCTURA Y ACCIÓN DE INTERCAMBIO DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO**

Las resinas de intercambio iónico fabricadas para uso industrial tienen una forma amorfa o esférica de 10 a 50 mesh [20]. Los grupos iónicos son unidos a copolímeros, los cuales tienen una distribución tridimensional. Las diferencias en las propiedades de intercambio iónico son debido al tipo de los grupos funcionales. Las resinas de intercambio iónico que intercambian cationes son llamadas resinas de intercambio catiónico y aquellas que intercambian aniones son llamadas resinas de intercambio aniónico. Podemos dividir las resinas de intercambio iónico de manera simple en estos dos grupos.

## II.2.2. TIPOS DE RESINAS

### II.2.2.1. Resinas de intercambio catiónico

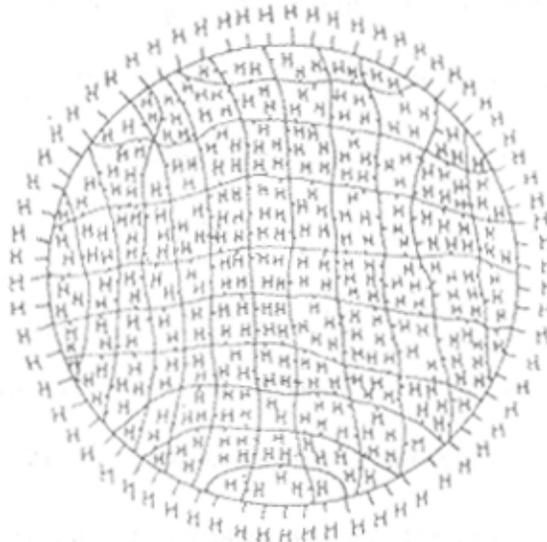
Estos grupos son producidos por la inclusión de grupos ácidos tales como  $-\text{SO}_3\text{H}$  y  $-\text{COOH}$ , como grupos de intercambio en un polímero tridimensional. Si la matriz polimérica de las resinas de intercambio iónico es representado por R, las resinas de intercambio iónico pueden ser expresadas como  $\text{R-SO}_3\text{H}$  y  $\text{R-COOH}$ . Si estas resinas son inmersas en agua y se le permite que hinchen, los grupos de intercambio se disocian como se muestran a continuación en las reacciones (1) y (2):



Las resinas tipo  $\text{R-SO}_3\text{H}$  fácilmente se disocian y tienen la misma acidez del  $\text{HCl}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y son resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas. De otro lado, las resinas tipo  $\text{R-COOH}$ , que como los ácidos orgánicos se disocian con dificultad y tienen un carácter ácido débil, son llamadas resinas de intercambio catiónico débilmente ácidas. Los grupos  $-\text{SO}_3^-$  y  $-\text{COO}^-$  unidos a la matriz polimérica no pueden moverse libremente y son llamados “iones fijos”. Los iones móviles cargados opuestamente, los que neutralizan eléctricamente a los iones fijos, son llamados “iones de intercambio” ( $\text{H}^+$  en el caso  $\text{R-SO}_3\text{H}$ ). Desde que la reacción de intercambio iónico es el fenómeno de intercambio de estos iones, es necesario para estos grupos de intercambio disociarse. Las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas tienen acidez fuerte, y naturalmente se disocian en soluciones alcalinas y aún en soluciones ácidas. Por el contrario, como las resinas de intercambio catiónico débilmente ácidas no se disocian bajo

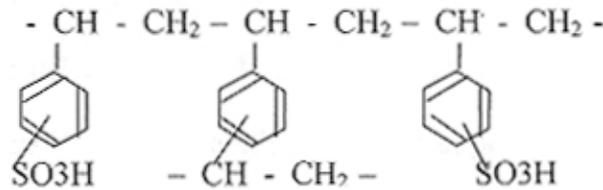
condiciones ácidas, su habilidad de intercambio iónico es restringido a soluciones neutras y alcalinas.

La Fig. II.1 muestra un modelo de estado de ionización de una resina de intercambio catiónico. En esta figura, H representa el ion hidrógeno.



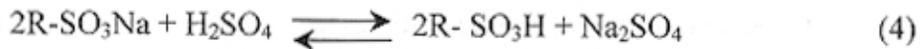
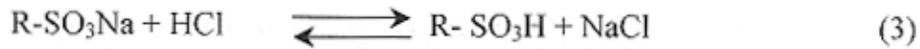
**Fig.II.1 Estructura modelo de las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácida**

Las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas son las más ampliamente usadas de todas las resinas de intercambio existentes. La estructura de estas resinas es presentada la figura II.2. Las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas están en la forma de sales de sodio ( $R-SO_3Na$ ). Cuando estas resinas son usadas en la forma de hidrógeno, ellas deben ser cambiadas hacia  $R-SO_3H$  por un proceso llamado "regeneración".

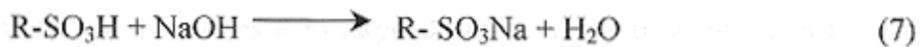
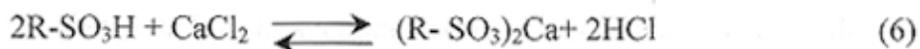


**Fig.II.2 Estructura modelo de las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácida**

Así, cuando las resinas en la forma sodio son puestas en soluciones acuosas de HCl y de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, la resina es regenerada en la forma hidrógeno como sigue:



Esta reacción de intercambio es reversible. Si la resina es regenerada en un sistema batch, se alcanza un equilibrio y la reacción hacia la derecha no puede proceder completamente. El inducir la reacción para que proceda hacia la derecha requiere de un flujo frecuente de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o de HCl. Si la resina es empacada en una columna y una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o de HCl, es añadida lentamente a través de las capas de resina, el equilibrio en las ecuaciones (3) y (4) cambian a la derecha y la resina es regenerada eficientemente hacia la forma hidrógeno. El empacar la resina en una columna y efectuar el intercambio iónico con un flujo de fluido, es llamado el método de la columna. Cuando la resina así regenerada en la forma hidrógeno es lavada con agua desionizada y puesta en una solución acuosa que contiene sales o bases, la resina reacciona como sigue:



Las ecuaciones (5) y (6) son reacciones reversibles, así que es útil emplear la regeneración del método de la columna. Pero en la adsorción de bases tales como en la ecuación (7), el equilibrio no existe, por tanto el intercambio iónico efectivo puede ser alcanzado aún con el sistema batch.

Las resinas de intercambio iónico débilmente ácidas disocian sólo bajo condiciones alcalinas, y así no puede descomponer sales neutras tales como NaCl y CaCl<sub>2</sub>. Estas resinas pueden ser usadas para la adsorción de iones sodio a partir de una solución de NaOH como en la ecuación (7), o ellas pueden absorber iones sodio a partir de soluciones de sal débilmente ácida, tal como NaHCO<sub>3</sub>.

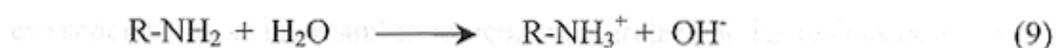
#### II.2.2.2. Resinas de intercambio aniónico

Capaz de intercambiar aniones, la estructura de estas resinas es la matriz hecha por polimerización tridimensional o condensación [21]. Como grupos de intercambio se tienen a los grupos amonio cuaternario, grupos amino primarios (-NH<sub>2</sub>), grupos amino secundarios (-NHR) y grupos amino terciarios (-NR<sub>2</sub>), y están enlazados a la matriz de las resinas. Las resinas que tienen al grupo amonio cuaternario como su grupo de intercambio son fuertemente básicas y son llamadas resinas de intercambio aniónica fuertemente básicas. Expresando estas resinas como R-NOH, ellas se disocian en agua del siguiente modo:



La basicidad de los grupo aminos cuaternarios es alta, y ellas se disocian e intercambian en soluciones a lo largo de todo el rango de pH. Las resinas de intercambio aniónico que tienen grupos aminos terciarios tienen baja basicidad y son llamadas resinas de intercambio aniónico débilmente ácidas.

Resinas del tipo R-NH<sub>2</sub> se disocian como sigue:



Sin embargo, en soluciones alcalinas ellas no se disocian y no tienen capacidad de intercambio.

Las resinas de intercambio aniónicas fuertemente básicas se encuentran en el mercado en la forma cloruro (R-N.Cl) debido a su estabilidad química. Cuando son usadas en la forma R-N.OH, ellas deben ser regeneradas con una solución de NaOH.



Desde que esta reacción es también reversible, la regeneración es más efectiva con el método de la columna que con el sistema batch. Cuando la resina regenerada a la forma R-N.OH es lavada con agua desionizada, y una solución de NaCl ó HCl es añadida, los iones son intercambiados como se exhiben en las ecuaciones (11) y (12):

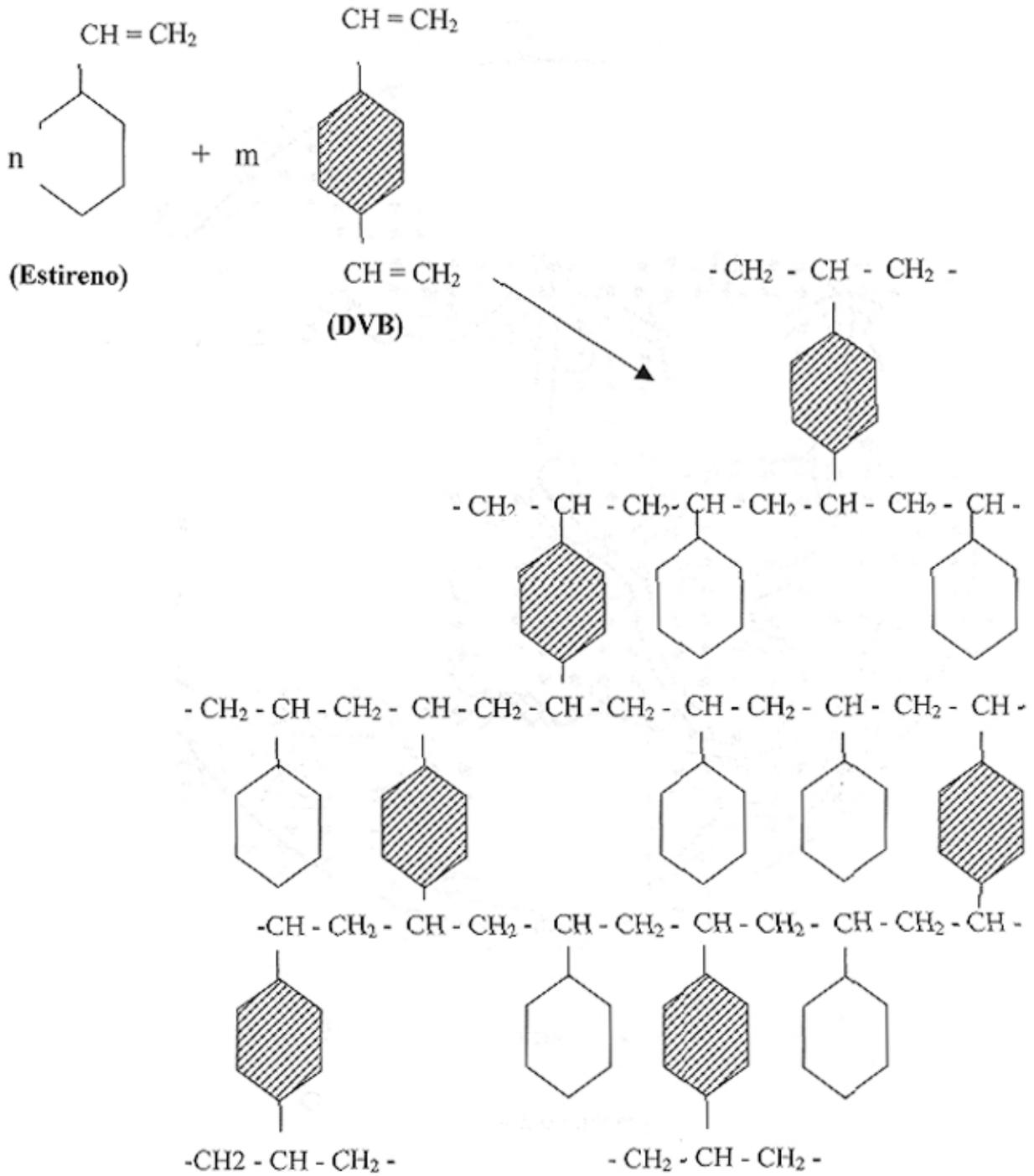


Las resinas de intercambio aniónico débilmente básicas no pueden descomponer e intercambiar sales neutras tales como NaCl, pero ellas pueden descomponer sales débilmente ácidas tales como NH<sub>4</sub>Cl, o pueden absorber ácidos libres como en la ecuación (12).

### II.2.3. **CROSSLINKAGE (RETICULACION) DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO**

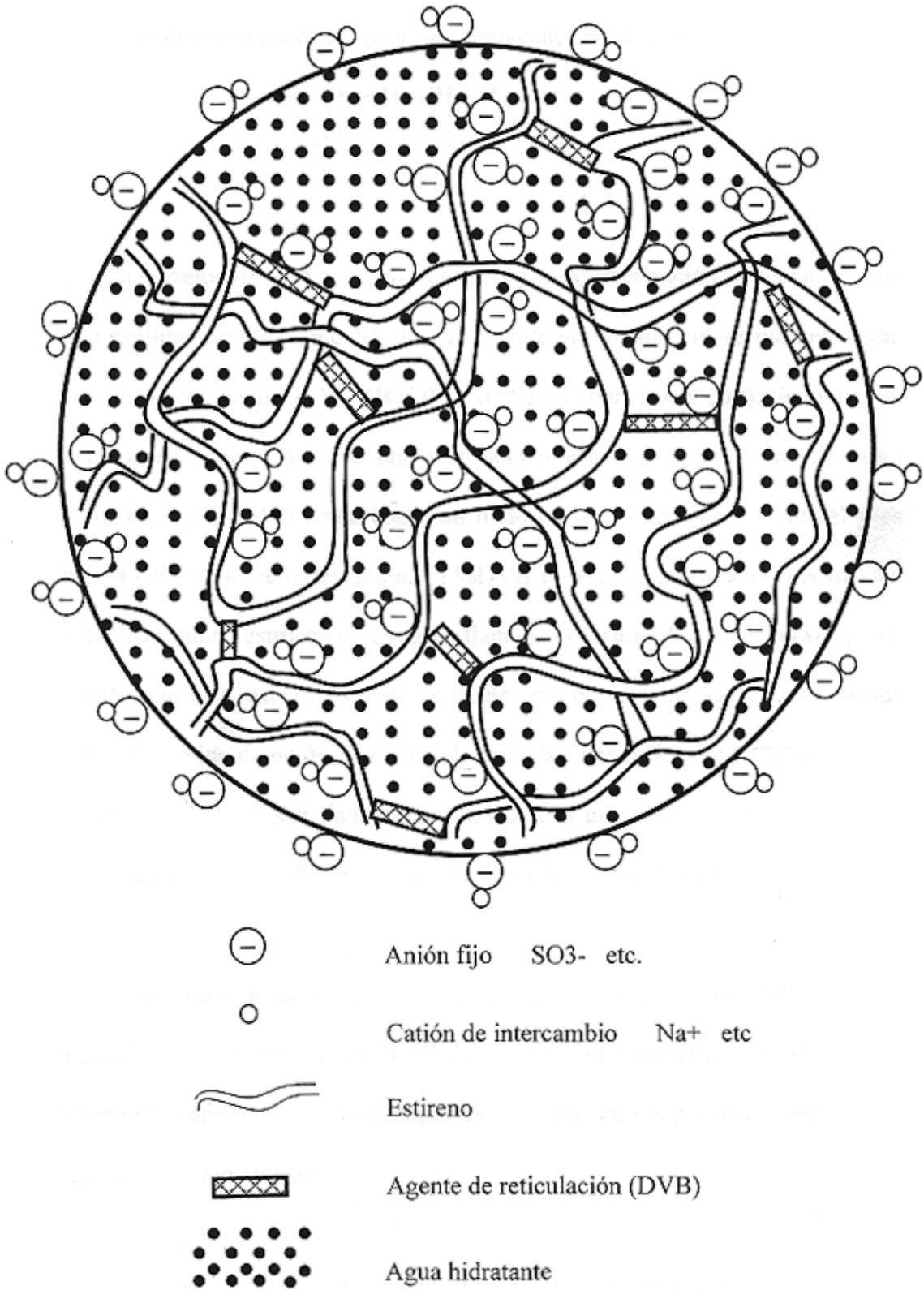
Desde que la difusión de iones de intercambio hacia la partícula de resina es esencial para el intercambio iónico, la naturaleza de las resinas de intercambio son grandemente influenciadas por la red estructural de la matriz polimérica.

La matriz polimérica de las resinas de intercambio iónico es principalmente un copolímero de estireno y divinilbenceno (DVB) [4]. La polimerización radical de una mezcla de estireno (con un grupo vinílico) y DVB (con dos grupos vinilo) con la ayuda de un iniciador de la polimerización [20], da un polímero entrecruzado como el presentado en la fig.II. 3.



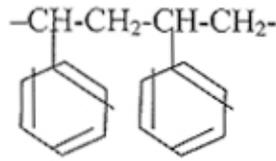
**Fig.II.3. Estructura del Copolímero de Estireno y DVB**

Aunque la fig. II.3 es expresada como un modelo planar, en realidad el copolímero tiene una complicada estructura tridimensional como se presenta en la fig. II. 4.



**Fig II.4. Modelo estructural de la resina de intercambio**

La estructura puede ser pensada como cadenas elásticas



que están irregularmente entrecruzadas [1]. Si la polimerización es hecha con una gran cantidad de DVB, muchas formas puente producirán una estructura densa. Una resina con pequeño %DVB (DVB/total de monómeros x 100), sin embargo, tiene pocos puentes y tiene una distribución estructural con poros de largo diámetro. Así el DVB actúa como un nudo en la distribución estructural y es llamado el agente de reticulación. El %DVB es usada para indicar la porosidad de la distribución estructural, y este es llamado el **Grado de Crosslinkage** [5,20]. Usualmente una resina que tiene cerca del 8% de crosslinkage es considerada como una resina de unión entrecruzada estándar. Las resinas que tienen más del 8% de crosslinkage son llamadas resinas de alta unión entrecruzada y aquellas que tienen menos del 8% son resinas de baja unión entrecruzada.

Las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas son fabricadas por inclusión de grupos ácidos sulfónicos hacia el polímero; las resinas de intercambio aniónicas son hechas por clorometilación del polímero, seguido por una reacción con aminas.

Cuando los grupos de intercambio son introducidos a la resina, algunas veces ocurren reacciones secundarias de uniones entrecruzadas [20], así que el

indicar el crosslinkage es sólo aproximado. Desafortunadamente no existe otro método mejor.

El copolímero de estireno-DVB no es hidrofílico. Cuando los grupos de intercambio son introducidos hacia este, este absorbe mucha agua y se hincha. Esta característica de absorción es debido a la presión osmótica y a la hidratación de los iones fijos y de los iones de intercambio. Cuando la resina absorbe agua, las cadenas de la matriz polimérica se extienden proporcionalmente y esta fuerza de absorción se mantiene en equilibrio con la fuerza elástica de la matriz polimérica. En esta forma, el estado de hinchamiento y el contenido de humedad de la resina se mantienen controlados. Las cadenas de alto crosslinkage se estiran con dificultad y así el contenido de humedad es limitado. Las resinas de bajo crosslinkage, sin embargo, tienen alto contenido de humedad y altas características de hinchamiento.

Cuando las resinas de intercambio iónico absorben agua, los microporos se forman en la resina. Los iones de intercambio se difunden hacia los microporos y se da lugar al intercambio iónico. El tamaño de los microporos es una muy importante característica de las resinas de intercambio iónico.

Las resinas de intercambio iónico producidas sólo con estireno y DVB son casi transparentes y tienen una estructura gelada. Estas son llamadas resinas de intercambio tipo gel, las cuales deberían ser diferenciadas de las resinas tipo poroso, en que tienen mucho menor %DVB.

#### **II.2.4. LAS RESINAS DE INTERCAMBIO TIPO POROSO**

Por un método especial de polimerización, pueden ser obtenidas las resinas de intercambio con poros visibles. Tales resinas son llamadas resinas de intercambio iónico tipo poroso [10]. La estructura de esta clase de resina es básicamente la misma que el de las resinas tipo gel, pero difieren de estas en que poseen poros.

Estas tienen dos tipos de poros, macro y microporo, en el estado hinchado. Las resinas de intercambio iónico tipo poroso están divididas en dos grupos:

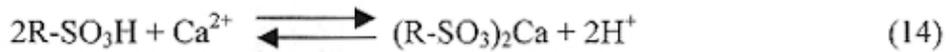
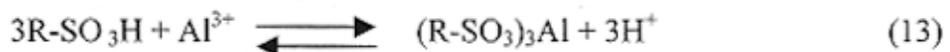
1. Resinas porosas con más bajo grado de reticulación (menos porosas). Aunque ellas tienen pocos macroporos, sus microporos son muy largos en el estado hinchado, haciéndolas efectivas para el tratamiento de agua. Estas resinas son llamadas “resinas de intercambio tipo poroso”.
2. Resinas altamente porosas con más alto grado de reticulación. Estas resinas tienen alta porosidad y área superficial más larga, y son eficientes para el intercambio iónico en solventes no polares y para iones grandes. En soluciones acuosas ellas son inferiores a las resinas tipo poroso porque ellas tienen un grado más alto de crosslinkage y microporos pequeños. Estas resinas son llamadas resinas de intercambio iónico del tipo altamente poroso”.

Estas resinas son inferiores en capacidad de intercambio por volumen a las resinas tipo gel, pero superiores en la razón de reacción, capacidad de decolorización, resistencia al ensuciamiento orgánico y durabilidad física. Los

polímeros altamente porosos que no tienen ningún grupo de intercambio iónico pueden ser usados como adsorbentes.

## II.2.5. TENDENCIA DE LA SELECTIVIDAD IONICA

Para cargar una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida, se pasa una gran cantidad de solución de HCl a través de ella, lavándola luego continuamente con agua desionizada, la capa de resina puede ser regenerada a la forma hidrógeno. Para hacer la prueba de selectividad se hace pasar una solución diluida que contenga tres iones mezclados:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{Na}^{+}$ , estos iones son capturados e intercambiados en la capa de resina. En una primera etapa, estos iones no podrán ser detectados en el efluente ya que saldrán sólo los iones  $\text{H}^{+}$ .



La distribución de los iones capturados en la capa de resina en este punto, es mostrado en la figura II.5.  $\text{Al}^{3+}$  es adsorbido en la parte superior de la capa de resina, seguidas por bandas descendentes de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^{+}$ , con una banda inferior de resina en la forma hidrógeno, la cual todavía no realiza el intercambio. Si el flujo de la solución continúa, cada banda de iones adsorbidos se expanden y la banda forma hidrógeno se torna más pequeña. Cuando la banda de iones sodio adsorbidos alcanza la parte inferior de la capa de resina, el ion sodio comienza a fugar.

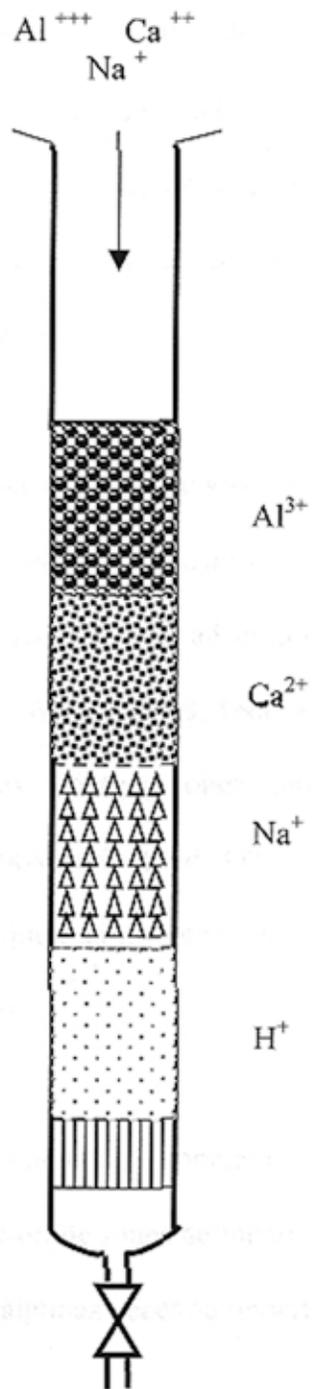
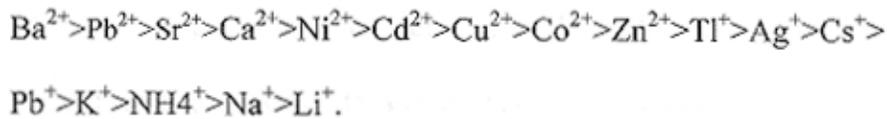


Fig. II.5 Bandas de adsorción en la columna de resina

La razón para la ocurrencia de una banda por cada ion puede ser explicada por la diferencia de afinidad entre la resina de intercambio iónico y los iones. En otras palabras, la resina de intercambio iónico tiene diferente selectividad de adsorción para diferentes iones. El conocer esta selectividad de la adsorción es muy conveniente cuando se usan resinas de intercambio iónico. Lo siguiente da una idea general de la selectividad de las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas:

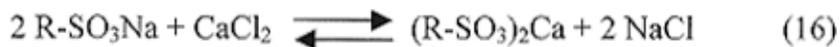
- i) Cuando una solución acuosa de baja concentración a temperatura normal es tratada con resinas de intercambio catiónico fuertemente ácida, la selectividad de adsorción empieza a crecer conforme crece la valencia de los iones, ( $\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Th}^{4+}$ ). Cuando la valencia es idéntica, iones con número atómico mayor tienen también mayor selectividad ( $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Ba}^{2+}$ ), aunque esta diferencia no es muy notoria como en el caso de las valencias.
- ii) El caso mencionado concierne a soluciones diluidas. Cuando la concentración de iones se incrementa, la diferencia en selectividad decrece y algunas veces se revierte.

En conclusión, la selectividad de las resinas de intercambio catiónico fuertemente ácidas para varios cationes es como sigue:



La selectividad para el ion hidrógeno se encuentra entre la del sodio y la del litio en el caso de resinas fuertemente ácidas, y es mucho mayor que el sodio y el litio con resinas débilmente ácidas.

Se va a mostrar un ejemplo del uso de la selectividad de los iones [11]. Cuando una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida es cargada en una columna, y una solución de cloruro de calcio se pasa a través de ella, los iones calcio tienen mayor selectividad que los iones sodio, y la siguiente reacción de intercambio ocurre:



Los iones calcio son capturados y los iones sodio son eluados. Este método es comúnmente usado en el ablandamiento de agua. La resina con los iones calcio capturados puede ser regenerada a la forma sodio con una solución altamente concentrada de NaCl, y puede ser utilizada repetidamente.



Cuando una solución de NaCl concentrada es usada en esta reacción de regeneración, la selectividad por los iones sodio se eleva y procede la reacción.

De esta forma, en el caso de soluciones altamente concentradas el orden de la selectividad iónica cambia.

La selectividad de las resinas de intercambio aniónico es:

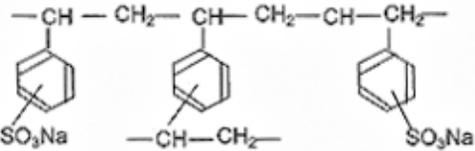
Citrato >  $\text{SO}_4^{2-}$  > Oxalato >  $\text{I}^-$  >  $\text{NO}_3^-$  >  $\text{CrO}_4^{2-}$  >  $\text{Br}^-$  >  $\text{SCN}^-$  >  $\text{Cl}^-$  >

Formiato > Acetato >  $\text{F}^-$ .

### **II.3. RESINA A EMPLEAR**

Para este estudio se va a utilizar una resina de intercambio catiónico fuertemente ácida del tipo poroso, cuyas características y propiedades más relevantes se muestran a continuación en la tabla II.1.

TABLA III.1. RESINAS DE INTERCAMBIO CATIONICAS FUERTEMENTE ACIDAS TIPO POROSOS

Cualidades	DIAION PK212L
Características	Matriz de poliestireno entrecruzada. Alta estabilidad para solventes orgánicos, ácidos fuertes, bases fuertes y otros agentes reductores. Debido a la estructura porosa de estas resinas, presenta características superiores a las resinas tipo gel, así: alta relación de reacción, alta capacidad de decolorización, buena estabilidad frente al fouling orgánico, alta tensión física, etc.. A mayor número de crosslinkage, mayor estabilidad frente a la oxidación.
Fórmula Estructural	
Forma iónica de presentación	Forma Na
Color y forma	esferas opacas de color marrón blanquesino
Gravedad específica	1.20 - 1.26
Densidad de embarque (g/l) (aproximado)	765
Contenido de Humedad (%)	52 - 58
Capacidad Total (Meq/ml) (mínimo)	1.5
tamaño efectivo (mm)	0.40 - 0.55
Coefficiente de uniformidad (Máximo)	1.6
Temperatura de operación (°C)(Máx.)	40 (Forma Na y H)
Rango de pH efectivo	0 - 14
Productos equivalentes	Duolite C-25, Amberlite 200, Lewatit SP 100, Kastel C-300P
Usos	Usadas para desionización y ablandamiento de agua. Se usan para recuperación y separación de metales. Refinación de químicos, azúcar y dextrosa. Catálisis. Separación de amino ácidos. Deseccación de solventes orgánicos. Alguno otros usos.

La mitad del valor de los dos últimos dígitos de cada estándar representa el grado de crosslinkage. Por ejemplo la resina PK212L tiene una grado de crosslinkage de  $12/2 = 6\%$ .

### **III. DESCRIPCION DEL PRODUCTO**

### III. DESCRIPCION DEL PRODUCTO

#### III.1. AMINOACIDOS

Los aminoácidos son constituyentes básicos de las proteínas desde que estas son fuente vital de la restauración y del desarrollo de las biofunciones de todo ser vivo.

El bajo nivel de proteínas en los alimentos, principalmente en los países subdesarrollados, es una de las principales causas de la alta mortalidad infantil y el motivo de varias enfermedades. En estos países, el déficit de proteínas es una cuestión más de calidad que de cantidad [19].

Las moléculas grandes de proteínas (los pesos moleculares usualmente oscilan entre 10 000 y 5 000 000) se componen en su mayor parte de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de azufre (también pueden estar presentes trazas de otros elementos). Cuando las proteínas se tratan con soluciones hirvientes de ácido o base, se hidrolizan en pequeños fragmentos, los cuales se han identificado como  $\alpha$  - aminoácidos carboxílicos. En el curso de muchas investigaciones de dichas degradaciones, los químicos han aislado de 20 a 30 aminoácidos diferentes. Algunos de estos  $\alpha$  - aminoácidos de origen natural tienen funciones amino o ácido carboxílico adicionales y se denominan *aminoácidos básicos o ácidos*, respectivamente.

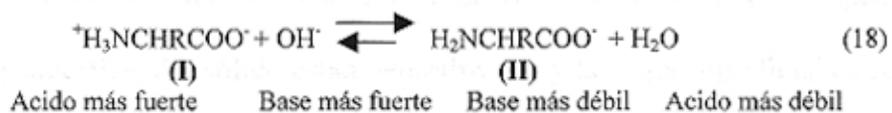
A partir de estudios de difracción por Rayos X de las proteínas, es claro que las unidades de aminoácidos se une entre sí por una secuencia de enlaces de amida que se repiten, llamados *enlaces peptídicos* [15].

Por tanto, las proteínas son polímeros naturales que consisten en largas cadenas de poliamidas (un polipéptido), a las cuales están unidas varias cadenas laterales o funciones características de cada aminoácido en la cadena. El número de unidades de aminoácidos que contiene una proteína determinada es usualmente muy alto; por tanto las posibles combinaciones de 20 ó más aminoácidos diferentes son enormes.

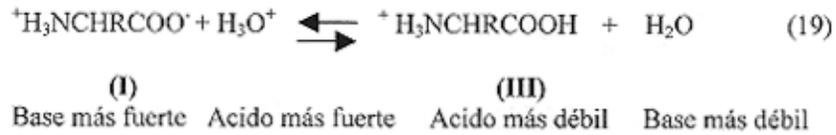
Las proteínas incompletas puede ser grandemente mejoradas en su valor nutritivo vía la adición de aminoácidos. Un ejemplo de esta aplicación es el enriquecimiento del pan por la adición de L-lisina [17]. También cuando los aminoácidos son añadidos en los alimentos para cerdos y gallinas, se logra un mejor rendimiento de carne y huevos que redundan en un significativo incremento económico en la producción de alimentos de proteína animal.

### III.2 QUIMICA DE LOS AMINOACIDOS

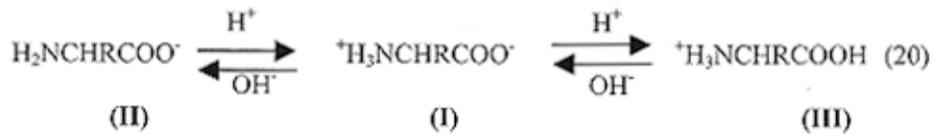
Los aminoácidos dan reacciones que son características de aminas y ácidos carboxílicos. Así, cuando se alcaliniza la solución de un aminoácido, el ión dipolar I se convierte en el anión II; el ion hidróxido, que es la base más fuerte, le quita un protón al ión amonio y desplaza así la base más debil, la amina.



Cuando se acidifica una solución de un aminoácido, se convierte el ión dipolar I en el catión III; el ácido más fuerte  $\text{H}_3\text{O}^+$ , prescinde de un protón, el cual pasa al carboxilato, con lo que desplaza al ácido carboxílico más débil”.



En resumen, el grupo ácido de un aminoácido simple como la glicina no es el  $-\text{COOH}$  sino el  $-\text{NH}_3^+$ , y el grupo básico es  $-\text{COO}^-$  y no el  $-\text{NH}_2$ . Debemos tener presente que los iones II y III, que contienen un grupo  $-\text{NH}_2$  o  $-\text{COOH}$  libres, están en equilibrio con el ión dipolar I.



En los casos en que sea posible podemos acelerar una reacción deseada ajustando la acidez o alcalinidad de la solución de modo tal que aumente la concentración de la especie reactiva.

### III.3. PUNTO ISOELECTRICO DE LOS AMINOACIDOS

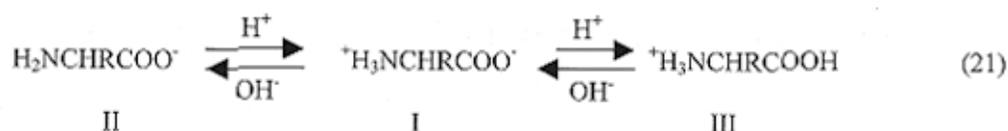
Los fenómenos de polarización de la superficie de un sólido en contacto con una solución acuosa, están influenciados por el pH de la solución.

En el punto isoelectrico (PIE) de un sólido [13], todos los iones y especies cargadas en la superficie del sólido están neutralizados y la carga superficial es cero (punto de carga cero). En contacto con una solución de distinto pH se polariza hasta alcanzar el equilibrio eléctrico en la interfase, tal como se muestra en la figura III.1:



**Fig. III.1 Punto Isoeléctrico**

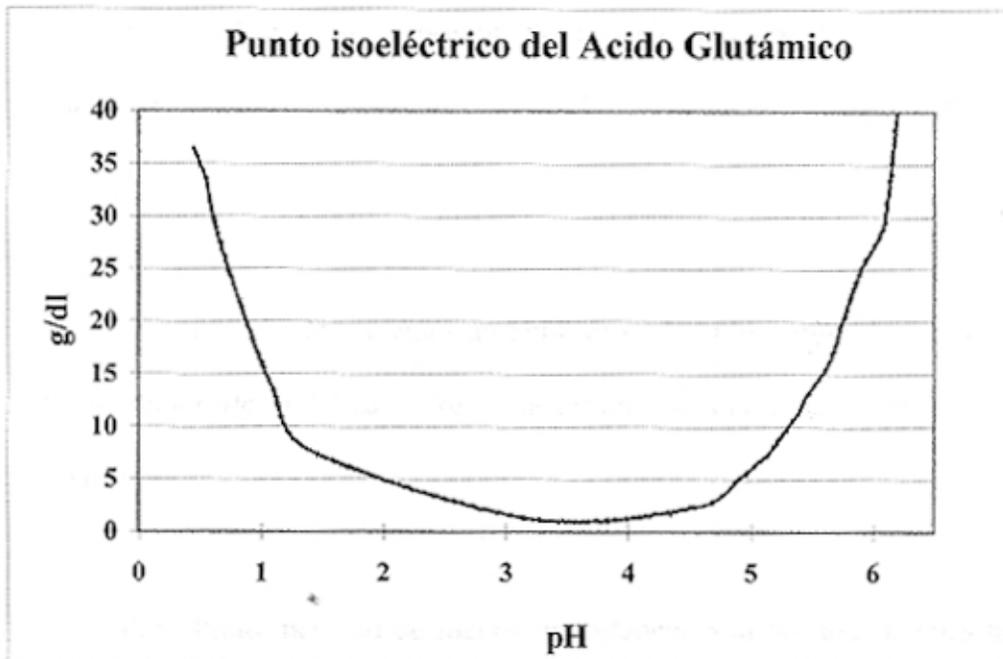
Lo que suceda con una solución de un aminoácido, cuando se la coloca en un campo eléctrico, depende de su acidez o alcalinidad.



En solución bien alcalina hay más aniones II que cationes III, por lo que hay una migración neta del aminoácido hacia el ánodo. En soluciones ácidas, en cambio, se encuentran los cationes III en exceso, por lo que hay migración neta del aminoácido hacia el cátodo. Si II y III se equilibran exactamente, no hay migración, en tales condiciones existe cualquiera de las moléculas como ión positivo y negativo durante el mismo lapso de tiempo, de modo que cualquier movimiento pequeño en la dirección de uno de los electrodos es anulado por uno igual y contrario hacia el otro electrodo. La concentración de ión hidrógeno de la solución para la cual un aminoácido determinado no migra en un campo eléctrico se conoce como el **punto isoelectrico** de dicho aminoácido.

Un ácido monoamino-monocarboxílico,  ${}^+\text{H}_3\text{NCHR}\text{COO}^-$ , es ligeramente más ácido que básico (por ejemplo, glicina:  $K_a=1.6 \cdot 10^{-10}$  y  $K_b=2.5 \cdot 10^{-12}$ ). Si se disuelven cristales de tal aminoácido en agua, la solución resultante contiene más del anión II,  $\text{H}_2\text{NCHR}\text{COO}^-$ , que del catión III,  ${}^+\text{H}_3\text{NCHR}\text{COOH}$ . Esta ionización “en exceso” del ion amonio amina ( $\text{I} \rightleftharpoons \text{II} + \text{H}^+$ ) debe ser compensada por adición de ácido para alcanzar el punto isoeléctrico, el que se encuentra, en consecuencia, ligeramente por debajo de la neutralidad (pH 7). Para la glicina, por ejemplo, el punto isoeléctrico corresponde a un pH de 6.1.

A continuación en la figura III.2 se presenta el punto isoeléctrico del ácido glutámico, el cual es a un pH de 3.22



**Fig. III.2 Punto isoeléctrico del ácido glutámico**

Morrison y Boyd [6] establecen que: “Un aminoácido generalmente tiene la solubilidad más baja cuando su solución se encuentra en el punto isoeléctrico, puesto que se tiene allí la concentración más alta del ion dipolar. A medida que la solución se hace más alcalina o más ácida, aumenta la concentración de uno de los iones más solubles, sea de II ó de III ”.

#### **III.4. USOS DE LOS AMINO ACIDOS**

A continuación se describe los cuatro principales usos de los aminoácidos:

##### **a) Uso médico y farmacéutico**

Los amino ácidos juegan un gran rol en las funciones metabólicas del cuerpo humano [19]. Actualmente existe un gran número de formulaciones de aminoácidos que son usados extensamente para enfermedades gastrointestinales y del hígado. Los aminoácidos intervienen en la estructura de nuevas drogas para el tratamiento de problemas del cerebro, sistema circulatorio, piel y muchas otras partes del cuerpo.

Los aminoácidos se emplean también en la preparación de tónicos para la recuperación de la fatiga, estrés y la promoción del crecimiento de los seres vivos.

Por último, pero no de menos importancia, son las aplicaciones médicas de los aminoácidos en la forma de infusión como un sustituto nutritivo de la sangre, llegando a ser más y más esencial en operaciones quirúrgicas o en tratamiento para quemaduras graves.

**b) Mejora del valor nutritivo y sabor de los alimentos**

El balance proporcional de aminoácidos es nutricionalmente muy importante. Generalmente, los aminoácidos en proteínas animales existen en proporciones bien balanceadas, caso contrario ocurre en las proteínas vegetales, donde se encuentran por lo general en concentraciones bajas, de este modo el valor nutricional disminuye.

Por lo tanto, el valor nutricional de las proteínas de los alimentos de primera necesidad, puede ser mejorada por la adición adecuada de ciertos aminoácidos que se encuentren deficientes o escasos.

Corrientemente, las investigaciones realizadas hasta el momento son extensivamente llevadas a cabo en suplementación de aminoácidos, cereales y proteínas de semillas oleaginosas. Así tenemos que la lisina y treonina son añadidos al arroz, trigo, sorghum; otro aminoácido como el triptofán es incorporado al maíz, y el aminoácido metionina a los granos de soya o maní. Los resultados de tales esfuerzos de investigación han tenido como resultado un enriquecimiento de proteínas, lo que ha redundado en un mejoramiento de la salud y el bienestar de la humanidad.

Otras aplicaciones adicionales se hallan en los alimentos para bebés, alimentos de bajas calorías, alimentos dietéticos y aún dietas especiales para astronautas.

Por otro lado, el sabor de los alimentos, y la variedad de sabores es principalmente derivada de los aminoácidos contenidos. Ejemplo de ello es el Glutamato Monosódico (GMS), que es un aminoácido comúnmente usado como un resaltador del sabor de los alimentos; muchos productos que contienen aminoácidos solos o en varias mezclas pueden ser mejorados con la adición del GMS para resaltar el sabor de las comidas.

### **c) Enriquecimiento de alimentos balanceados**

El estudio realizado está básicamente aplicado a los alimentos como trigo, maíz, soya; los resultados han sido positivos y por ello los aminoácidos han sido extensamente aceptados alrededor del mundo. Actualmente, el glutamato monosódico es usado tanto en la industria de procesos de alimentos, como en la industria de alimentos balanceados. Le siguen en importancia los aminoácidos DL-metionina, L-Lisina, teonina y triptofán.

Estos últimos cuatro mayores aminoácidos limitantes, definitivamente pueden mejorar la cantidad proteínica de los alimentos balanceados.

Otras importantes ventajas del uso de los aminoácidos en la crianza de animales son el reducir la cantidad de alimento habitualmente usado, mejorando el crecimiento de los animales de la granja. El incremento en el rendimiento de la producción de carne a bajo costo, es una de las más grandes contribuciones de los aminoácidos en el problema de la escasez de los alimentos a nivel mundial.

#### d) Usos Industriales

Las propiedades químicas y físicas específicas de los aminoácidos particulares son utilizados en varios campos de la industria. La producción de la fibra y cuero sintético, usando ácido glutámico como materia prima ha sido estudiada por muchos años [18]. Los aminoácidos también pueden ser usados de muchas maneras, tales como, agentes tensoactivos, agentes buffer, o antioxidantes. Además, los aminoácidos pueden ser uno de los componentes sintéticos para producir antibiótico y vacunas.

En conclusión los aminoácidos forman parte esencial en todos los campos de la industria.

### III.5. ACIDO GLUTAMICO

El rol de los aminoácidos es de importancia vital ya que a ellos se debe el mantenimiento de una vida plenamente saludable. Esto se debe a que los

aminoácidos forman parte de las proteínas que constituyen el mayor componente de los órganos del cuerpo humano. La importancia se evidencia en la síntesis de las proteínas en el cuerpo humano, ya que la falta o deficiencia de un aminoácido trae consigo que no se lleve a cabo esta reacción en proporción a su insuficiencia.

El cuerpo humano necesita de una cantidad de proteínas, pero esto no tiene sentido si es que no se considera la clase y cantidad de aminoácidos que las componen. Según los requerimientos del cuerpo existen dos grandes grupos de aminoácidos:

### **III.5.1. Aminoácidos Esenciales**

Son aquellos que no son sintetizados por el cuerpo humano o que su velocidad de síntesis es más baja que la de consumo. Algunos de estos aminoácidos son: isoleucina, leucina, lisina, triptofan, tereonina, metionina, valina y la fenilalanina.

### **III.5.2. Aminoácidos no esenciales**

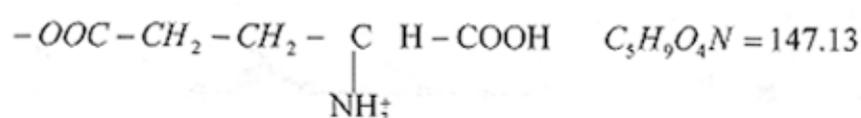
Son aquellos que son sintetizados por el cuerpo humano. Un ejemplo de estos es el **Acido Glutámico (AG)**, a partir del cual se obtiene el **Glutamato Monosódico (GMS)**.

Desde hace mucho tiempo se conoce la función del GMS como realizador del sabor de las comidas. El efecto de este aminoácido y el de otros revelan que cada comida tiene un patrón específico de aminoácidos libres y que su sabor

individual es bastante influenciado por su clase y cantidad. Según los estudios [2], los aminoácidos libres y no las proteínas son las que dan el sabor agradable a cada comida.

A continuación se describen las características y usos del AG y L-GMS.

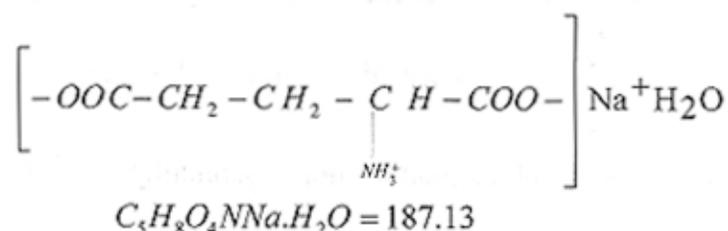
### L-Acido Glutámico



**Descripción:** Es un cristal blanco o polvo cristalino, inodoro, de sabor ácido y ligeramente agradable. Juega un rol especial en el metabolismo del cerebro, y es esencial para mejorar y mantener su función (puede ser llamado alimento del cerebro).

L-Acido Glutámico, secado a 105° por 3 horas, contiene entre 9.42 y 9.57% de Nitrógeno.

### L-Glutamato Monosódico Monohidratado



**Descripción:** Es un cristal prismático transparente o blanco, o un polvo cristalino blanco, de sabor agradable. Es un excelente resaltador del sabor de las comidas.

El GMS, secado a 98° por 5 horas, contiene entre 7.42 y 7.53% de Nitrógeno.

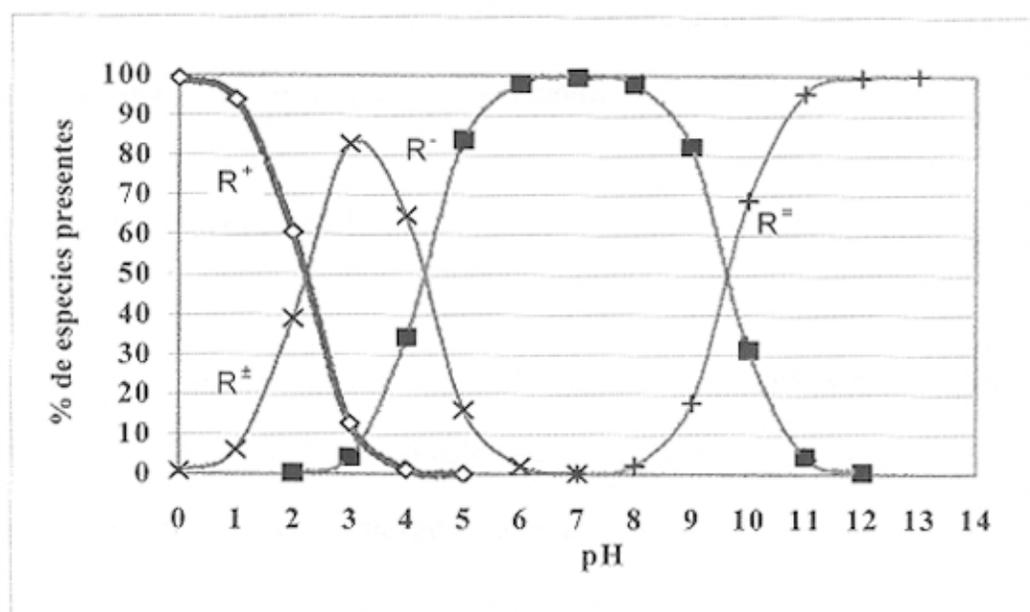


Fig. III.3 Curva de Disociación del Acido Glutámico

Como se puede apreciar en la figura III.3 el ácido glutámico presenta 4 estados de ionización, los cuales se describen a continuación:

$R^+$  → Clorhidrato de AG, cuya mayor presencia se da a un rango de pH de 1 a 2.

$R^\pm$  → AG propiamente dicho, este se presenta en mayor porcentaje a un pH de 3.22 (Punto isoeléctrico).

$R^\pm$  → Glutamato monosódico, es la sal sódica del ácido glutámico cuya mayor presencia se da a un pH de 6.4.

$R^-$  → Glutamato disódico, es la sal disódica del ácido glutámico.

Este comportamiento del amino ácido es aprovechado durante la adsorción para la recuperación de éste de los licores madres (esto se verá con más detalle en el capítulo dónde se describe la adsorción).

### **III.6. LICOR A ADSORBER**

Todo aminoácido es obtenido industrialmente vía fermentación y el producto final de este proceso es llamado el caldo de fermentación (ver en capítulo V). Este caldo de fermentación es llevado al punto isoeléctrico, para obtener vía cristalización, la mayor cantidad del aminoácido. Si bien al pH del punto isoeléctrico se obtiene la mayor cantidad de aminoácido en forma de cristal existe una cantidad que aún permanece en solución. La mezcla del aminoácido cristalizado con esta solución se llama magma.

El licor a adsorber, llamado el Licor de pH ajustado, es la solución separada del cristal, la cual tiene una baja pero considerable concentración en el aminoácido, cuya recuperación es rentable.

Este licor es llamado así debido a que posterior a la separación es llevado a un pH de 1.65, condición para la cual el aminoácido contenido en la solución pasa a una forma catiónica.

A continuación se presenta la composición promedio de este licor:

**TABLA III.1. Composición promedio del LpHA**

Acido Glutámico (g/dl)	2.670
Densidad (g/ml)	1.099
Nitrógeno Amoniacal (g/dl)	1.065
Nitrógeno Total (g/dl)	1.996
Ca (g/dl)	0.043
K (g/dl)	0.496
Na (g/dl)	0.823
Mg (g/dl)	0.034
Fe (ppm)	40.000
Bacterias (g/dl)	1.551
Cenizas (g/dl)	3.901
Sulfatos (g/dl)	7.453
Materia orgánica (g/dl)	6.376
Sólidos Totales (g/dl)	22.220
Conductividad (mS)	(4/100) 8,00

De acuerdo a la tabla, se puede apreciar en el licor a adsorber en la torre de resina catiónica la presencia de cationes, bacterias, materia orgánica y otros componentes, que son los que darán origen a una disminución del poder de adsorción que serán estudiadas más adelante.

#### **IV. METODOLOGIA**

## **IV. METODOLOGIA**

### **IV.1. ESCALAMIENTO**

Puesto que el objetivo de la tesis es evaluar una torre de adsorción de una planta a nivel industrial, fue necesario escalar [3] hasta un nivel de laboratorio este sistema, a fin de poder evaluar el comportamiento de las diferentes variables, que podrían afectar el proceso de adsorción, para el caso de la operación de adsorción en torres de resina, los parámetros que se mantienen constantes son:

**a) Relación altura – diámetro de la torre**, esto es:

$$\left(\frac{H}{D}\right)_{planta} \cong \left(\frac{h}{d}\right)_{Lab}$$

Siendo:

H: El nivel de lecho de resina en la torre

D: Diámetro de la columna

**b) Parámetro RV (Relación volumen)**

Se define RV, a la relación que existe entre el volumen del licor a tratar en un batch de adsorción y el volumen de la cama de resina.

Ejemplo: RV=2, significa que si la torre esta cargada con 20 m<sup>3</sup> de resina, en un batch se hará pasar por ella 40 m<sup>3</sup> de licor para su adsorción.

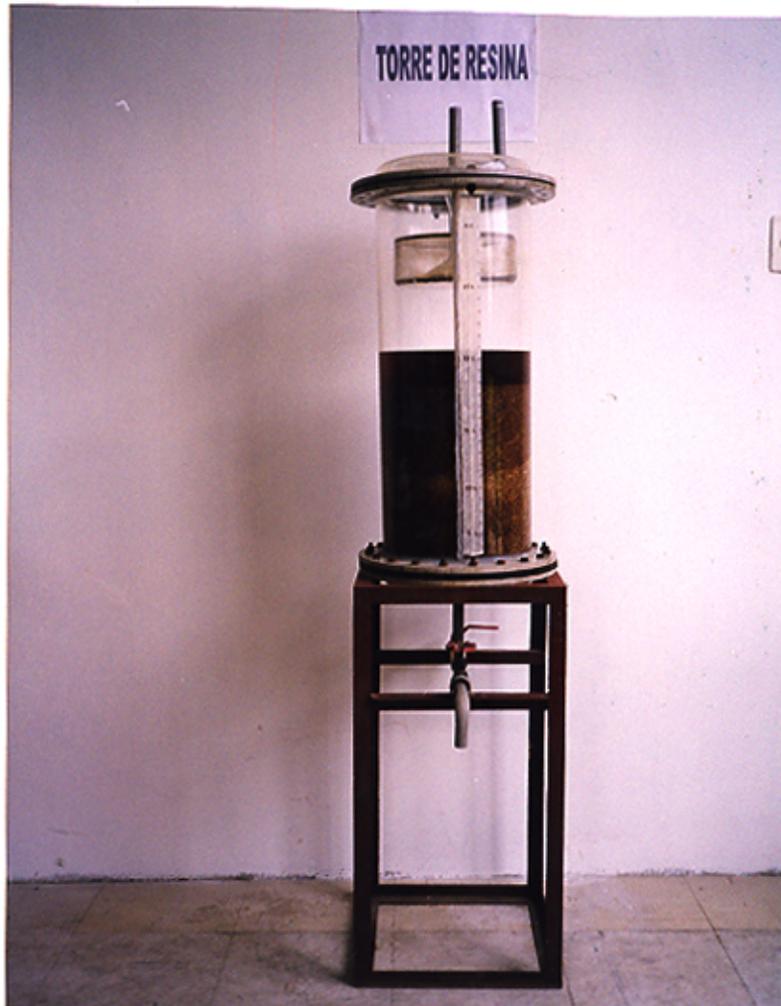
**c) Parámetro SV (Velocidad espacial)**

Se define SV, a la relación que existe entre el flujo de alimentación del licor a adsorber y el volumen de la cama de resina.

Ejemplo:  $SV=1$ , significa que si la torre está cargada con  $20 \text{ m}^3$  de resina, el flujo con el que se alimenta el licor es  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ .

En los dos últimos casos, el volumen de resina es considerando un enrase definido de la resina con agua, según lo establecido en la norma **ASTM D 1782 – 91**.

En el presente estudio, para las corridas experimentales, se diseñó y se construyó una torre a nivel laboratorio con las condiciones de escalamiento antes mencionadas.



**Fig. IV.1. Torre de Prueba**

## IV.2. CURVA DE ADSORCION

Se menciona en este capítulo como se elabora la curva de adsorción, debido a que es la base de las comparaciones que se hacen entre las condiciones actuales y las optimizadas que se van a presentar posteriormente.

Teóricamente considérese el caso de una solución binaria líquida [14], que contiene un soluto en concentración  $C_0$ . El fluido se va a pasar continuamente a través de un lecho relativamente profundo de adsorbente que al principio está libre de adsorbato. La capa superior de sólido, en contacto con la fuerte solución entrante, al principio adsorbe el soluto rápida y efectivamente; el poco remanente de soluto en la solución queda prácticamente eliminado por las capas de sólido en la parte inferior del lecho. El efluente del fondo del lecho está prácticamente libre de soluto como en  $C_a$ , en la parte inferior de la figura IV.2. La distribución de adsorbato en el lecho sólido se indica en la parte inferior de esta figura, en la parte (a) la densidad relativa de las líneas horizontales en el lecho adsorbente sirve para indicar la concentración relativa de adsorbato. En las etapas sucesivas la capa superior del lecho, se va prácticamente saturando; en donde la mayor parte de la adsorción tiene lugar en una zona de adsorción relativamente estrecha, en la cual la concentración cambia rápidamente, como se muestra en la figura. Mientras continúa fluyendo la solución, la zona de adsorción se mueve hacia abajo como una onda, con una rapidez generalmente mucho más lenta que la velocidad lineal del fluido a través del lecho. Después de cierto tiempo (etapa (b) en la figura), aproximadamente la mitad del lecho está saturada con soluto, pero la concentración

del efluente  $C_b$  es aún básicamente cero. En la etapa (c), la parte inferior de la zona de adsorción ha alcanzado el fondo del lecho y la concentración del soluto en el efluente ha aumentado bruscamente hasta un valor apreciable  $C_c$  por primera vez. Se dice que el sistema ha alcanzado el “**Punto de ruptura**” [14]. Ahora la concentración de soluto en el efluente aumenta con rapidez al pasar la zona de adsorción a través del fondo del lecho; en la etapa (d) se ha alcanzado básicamente el valor final  $C_0$ . Si la solución continúa fluyendo, ocurre poca adsorción adicional, puesto que el lecho, para todos los propósitos prácticos, está completamente en el equilibrio con la solución de alimentación. La curva resultante se muestra en la figura IV-2

En el presente estudio, se comparó curvas de adsorción de planta con las curvas obtenidas a nivel laboratorio (con las condiciones de escalamiento respectivas), y se observó similitud en estas curvas y en el rendimiento de adsorción, lo que nos permite confiar en los resultados obtenidos.

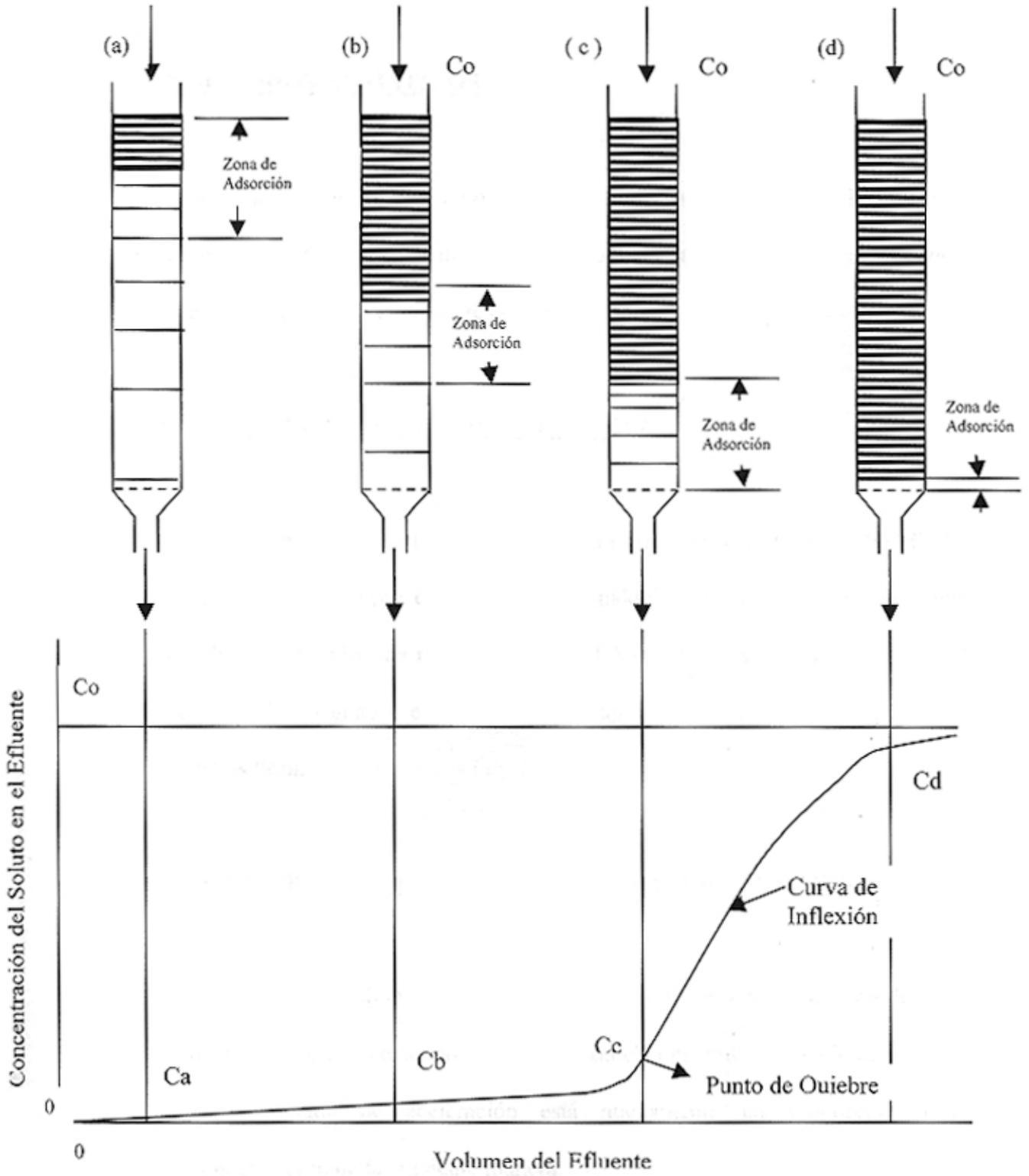


Figura IV.2. La curva de adsorción

### **IV.3. METODOS ANALITICOS**

A continuación se va a considerar de manera esquemática, las técnicas experimentales más importantes para la caracterización de los componentes principales a analizar en el presente estudio

#### **IV.3.1 ANALISIS DEL ACIDO GLUTAMICO**

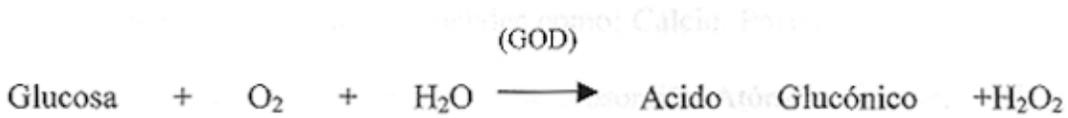
Este análisis se realiza en un equipo electrónico denominado **BIOTECH**, el cual usa el principio de medición de cualquier aminoácido: Se utiliza una Membrana Inmovilizada 600 y se aplica el Método de aceleración de pico del electrodo de Oxígeno y el cual tiene una capacidad de respuesta de 160 – 200 muestras/hora.

##### **IV.3.1.1. PRINCIPIO DE MEDICION: REACCION EN CELDA**

Este es el objetivo para el análisis de la glucosa por detección del pico de aceleración de consumo de oxígeno con el consiguiente cálculo diferencial. Esta reacción de aceleración está nuevamente en proporción a la concentración de la siguiente manera:

“Aproximadamente 5ml de buffer a pH 6.5 preparado a partir de un estándar” se coloca en la celda de reacción adjunta a la membrana inmovilizada en el electrodo **GOD**, por un dosificador de Buffer.

Simultáneamente la muestra es adsorbida por el dosificador de muestra y la siguiente reacción enzimática ocurre sobre la superficie del electrodo



Por esta reacción, el oxígeno contenido en la solución es consumido y este consumo de oxígeno es directamente proporcional a la concentración de Glucosa. Este mismo principio se usa en la medición del ácido glutámico con la excepción de que usa una enzima apropiada en el electrodo.

Se calibra el equipo con dos estándares de 0 y 200 mg/dl y se aspira la muestra diluida en un rango permitido (aproximadamente 1.8 ml con un tiempo de contacto de 3 segundos). Al ocurrir el contacto entre la muestra y el electrodo se genera un potencial en mv por esta reacción, el cual es comparado dentro de un rango calibrado que es proporcional a la concentración del ácido glutámico.

```

*** Analysis ***
( MODE 1 )
99/11/29 . 11:30
-----
( Full Calib. )
Calib. Low:
  0) -12.2uV
  -12.2
  -11.9
  -10.6
-11.0uV 0 mg/dl
-----
Calib. High
  200 mg/dl
  197
  196
1073.0uV 200 mg/dl
-----
( Analysis )
S.No. mg/dl
CIRL 1 201
      1 100 1076.0uV
      2 124 573.4uV
      3 661.2uV
      4 129 609.1uV
      5 132 702.2uV
      6 120 608.9uV
      7 149 797.0uV
      8 129 607.9uV
      9 120 603.9uV
      0 123 663.9uV
  
```

Figura IV.3. Calibración del Biotech

#### **IV.3.2. ANALISIS ELEMENTAL DE METALES**

El análisis elemental de metales como: Calcio, Potasio, Sodio y Fierro, se realizó en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Hitachi, modelo 2010 equipado con CRT. La ganancia, la corriente de lámpara de cátodo hueco y el procesamiento de señales y datos, son controlados automáticamente. El modelo 2010 admite hasta 4 patrones, calibra automáticamente el cero y las concentraciones de calibración, incluyendo la corrección automática de curvatura, y se puede ajustar por una ecuación lineal de otros dos coeficientes. Dispone además de un método estándar, para trabajar por adición, junto con el método de calibración de patrones de adición.

Se prepararon las curvas de calibración a partir de las soluciones estándares de cada elemento a analizar en medio ácido, utilizando para ello HCl 0.12N.

Para todos los análisis se pipetearon volúmenes entre 5 y 10 ml de muestra y se diluyeron a concentraciones entre 1 y 5 ppm para su lectura correspondiente, debiendo previamente acidificar la muestra pipeteada con HCl 0.12N. Para el análisis de los elementos, el sodio y el potasio se determinaron por emisión, y el resto de los elementos por absorción, utilizando como fuente de radiación, lámparas de cátodo hueco.

Las condiciones de medida, longitud de onda, ancho de rendija ( $\eta\text{m}$ ) y composición de la llama utilizada, fueron en todo momento las indicadas en el manual de operación, y son las que se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla VI.1 Condiciones de operación para la Absorción Atómica de elementos**

Elementos	Modo	$\lambda$ (nm)	Rendija	Llama
Na	Emisión	589.0	0.7	Aire-acetileno
K	Emisión	766.4	2.0	Aire-acetileno
Ca	Absorción	422.7	0.7	Aire-acetileno
Fe	Absorción	248.3	0.2	Aire-acetileno
Mg	Absorción	285.2	0.7	Aire-acetileno

#### **IV.3.3. MEDICION DE NITROGENO TOTAL Y AMONIACAL**

Los análisis de Nitrógeno total y Amoniacal se realizaron en el equipo **Analizador Automático Kjeltec 1030**, el cual utiliza el método común **Kjeldahl**. Para los análisis de nitrógeno total, se toma un volumen de muestra entre 2 a 10 ml según la concentración esperada y se coloca en un sistema de digestión, adicionando 5g de catalizador de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y 5g de  $\text{CuSO}_4$  y antiespumante; se digesta a una temperatura de  $420^\circ\text{C}$  por espacio de 30 a 45 min, con el objeto de liberar todo el nitrógeno a la forma amoniacal.

La muestra empleada y la muestra digestada usada para la determinación del nitrógeno total son puestas independientemente en tubos a los cuales se les añade automáticamente 20 ml de soda, para pasar todo el nitrógeno a la forma de  $\text{NH}_4\text{OH}$ , y luego la muestra es titulada con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1N, donde el gasto de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  es proporcional a la concentración de nitrógeno en la muestra. En este equipo la destilación, titulación y el cálculo son realizados en forma automática.

#### **IV.3.4. ANALISIS DE BACTERIAS**

Este análisis es por la vía clásica, se tara primero el peso de tubos vacíos y se deposita en ellos 9 ml de muestra, luego se separan las bacterias en una centrífuga automática a 5000 RPM durante 15 min, se lava el precipitado dos veces con HCl 0.1 N y una vez con  $\text{H}_2\text{O}$ . Al final el sólido precipitado se seca en una estufa al vacío y se pesa descartando el contenido de los tubos. Posteriormente se calcula el porcentaje de las bacterias por diferencia con el peso de los tubos vacíos.

#### **IV.3.5. ANALISIS DE CENIZAS**

El análisis de cenizas es por vía seca, para lo cual se coloca una muestra de 2 ml sobre un crisol previamente tarado, se le agregan 4 a 5 gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y se evapora el ácido calentado a sequedad dentro de una campana de extracción, luego se calienta por dos horas en una mufla a  $550^\circ\text{C}$ .

Se repite el procedimiento anterior agregando 2 gotas más de  $H_2SO_4$  a la muestra seca. Luego se enfría en un desecador. El cálculo del porcentaje de ceniza se calcula por diferencia de pesos

#### **IV.3.6. ANALISIS DE COLOR**

Los análisis de color se realizaron en un espectrofotómetro UV.

Si las sustancias son claras y no muestran presencia de cristales, se realiza la lectura directamente, si las sustancias son oscuras se diluyen hasta un valor de unidades de color permitido por la máquina, y si son densas se filtran y diluyen.

Previamente antes de hacer las mediciones, se enciende el espectrofotómetro UV y se deja que estabilice por lo menos 10 min. antes, se regula la longitud de onda a 400 nm, se calibra la absorbancia (0.000%) y la transmitancia (100%) con una muestra de agua destilada. La muestra es colocada en la celda de cuarzo y es introducida al equipo, adjunta a otra celda conteniendo la solución de referencia que normalmente es agua y se anota la lectura en unidades de absorbancia.

#### **IV.3.7. ANALISIS DE SULFATOS**

Este análisis se efectuó por la vía clásica. La muestra es llevada a pH ácido y se le añade  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  como agente precipitante, formándose

precipitado de  $\text{BaSO}_4$ , el cual se filtra y se lava con agua destilada caliente varias veces, hasta la total desaparición de cloruros, lo cual se comprueba cuando al añadir  $\text{AgNO}_3$  al filtrado no se forma precipitado blanco.

La muestra filtrada conjuntamente con el papel de filtro se colocan sobre un crisol tarado y se lleva a la mufla por 2 horas a aproximadamente  $800^\circ\text{C}$ , luego se enfría a temperatura ambiente y se pesa el  $\text{BaSO}_4$  precipitado y seco.

#### **IV.3.8. ANALISIS DE SOLIDOS TOTALES**

Este análisis se realiza por vía seca y es muy común y sencillo. Se toma 10ml de muestra, sobre un recipiente tipo plato previamente tarado, se le coloca en una estufa a  $120^\circ\text{C}$  por espacio de 24 horas, y se pesa luego el plato enfriado con el residuo que puede haber quedado.

#### **IV.3.9. ANALISIS DE MATERIA ORGANICA (M.O.)**

Este análisis se realiza por vía clásica. Se toma 1 ml de muestra y se coloca en un Erlenmeyer de 500 ml, se adiciona 10 ml de dicromato de potasio 1N, y se mezcla manualmente con movimiento de giro manual. En paralelo se hace el mismo procedimiento con una muestra en blanco.

Luego a ambos Erlenmeyer se les agrega 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  Q.P. y se agita manualmente por un minuto, se deja reposar por  $\frac{1}{2}$  hora, se enrasa luego hasta 200 ml con agua destilada, se le agrega 10 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  Q.P. más 2 ml de disolución de indicador difenilamina, y por último se titula con sulfato ferroamoniaco, produciéndose un cambio de color, de verde oscuro pasando por azul turbio y finalmente verde brillante.

## **V. PROCESO ACTUAL**

## V. PROCESO ACTUAL

### V.1. BREVE DESCRIPCION

El aminoácido en estudio se obtiene a través de un proceso fermentativo, usándose como materia prima las melazas de caña de azúcar, cuyo producto final es el llamado Caldo de fermentación (CF). En este proceso inicial participa la Bacteria Lactum Fermentus, el cual a través de un proceso metabólico genera el aminoácido.

Como parte de la refinación del aminoácido, el Caldo de Fermentación es cristalizado, de tal manera que las impurezas y los agentes extraños que en él se encuentren queden en la solución, para posteriormente ser eliminados. En la figura V.1 se muestra el diagrama de preparación del aminoácido a partir del CF.

Para que se efectúe la cristalización, previamente el CF con pH de 8.00 y concentración de AG de 12.80 g/dl, es enfriado a una temperatura de 15 °C, lo que se hace por dos razones:

- Evitar la formación de cristales  $\beta$  que perjudiquen la formación del cristal característico (forma  $\alpha$ ) durante esta etapa inicial de refinación.
- Evitar la descomposición del aminoácido por el incremento de microorganismos [7].

Posteriormente el caldo es acidificado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 98% y una densidad de 1.84 g/cc hasta un pH de 3.22, en un tanque abierto con agitación. Este pH

corresponde al **punto isoeléctrico** (ver capítulo III.3) del aminoácido, es decir, el punto para el cual tiene su mínima solubilidad (mayor formación de cristales). Dado que la reacción con el ácido es exotérmica, es necesario mantener la temperatura inicial de 15 °C, para lo cual se usa un enfriador de platos que trabaja con agua refrigerada a aproximadamente 6 °C con contacto indirecto.

Una vez que se forman los primeros cristales, el licor acidificado pasa a ser llamado **magma**. Este magma una vez acidificado y con temperatura de 15 °C, es envejecido en un sistema continuo de 4 cristalizadores que le proveen además de un tiempo de reposo de aproximadamente 32 h, y en ese lapso de tiempo la temperatura del licor desciende a 13 °C. Luego el magma pasa a ser separado por medio de 4 equipos de separación centrífugos, haciendo que estos se depositen en las paredes del equipo.

De esta separación se origina el **Licor Madre #1** denominado en adelante LM#1, cuyas características son: pH de 3.22 y concentración de AG de 2.39 g/dl y los **Cristales de separación #1 (AG#1)**.

Los cristales de separación #1 se reciben en un tanque, en donde son lavados con agua tratada. De aquí este magma es enviado para separación a otro equipo de separación centrífugo, donde se originan el **Licor Madre #2** denominado en adelante LM#2 (cuyas características son las siguientes: pH de 3.75 y concentración en AG de 4.3 g/dl) y los **Cristales #2 (AG#2)**. Este último pasa a la refinación final.

Los LM#1 y LM#2 que se generan en ambas separaciones aún son ricos en el aminoácido. Para su recuperación es necesario pasar el aminoácido a su forma iónica cargada positivamente  $R^+$ . Esta especie se presenta casi en un 100% para un pH de 1.65. De esta manera los licores madres son acidificados con  $H_2SO_4$  al 98% para generar el **Licor de pH Ajustado**, denominado en adelante LpHA (pH de 1.65 y concentración en AG de 2.67g/dl), del cual el aminoácido es recuperado por medio de 4 torres de resina de intercambio iónico conteniendo un lecho de resina catiónica ácida fuerte en su forma sódica (ver descripción de la resina en el capítulo II.3).

Bajo las condiciones actuales en la torre de resina el porcentaje de recuperación estándar es de 68% en peso. Como puede apreciarse existe una pérdida apreciable de dicho poder de adsorción que puede ser atribuido a la presencia de las siguientes causas:

- Materia orgánica
- Otros aminoácidos
- Cationes extraños
- Bacterias
- La existencia de aniones, los cuales tienen una alta tendencia a formar sales (arrastre de cationes a lo largo de la torre).
- Un inadecuado acondicionamiento de la resina antes de la adsorción (retrolavado - regeneración).

## V.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

A continuación se presenta parte del Diagrama de flujo, relacionado al proceso de adsorción:

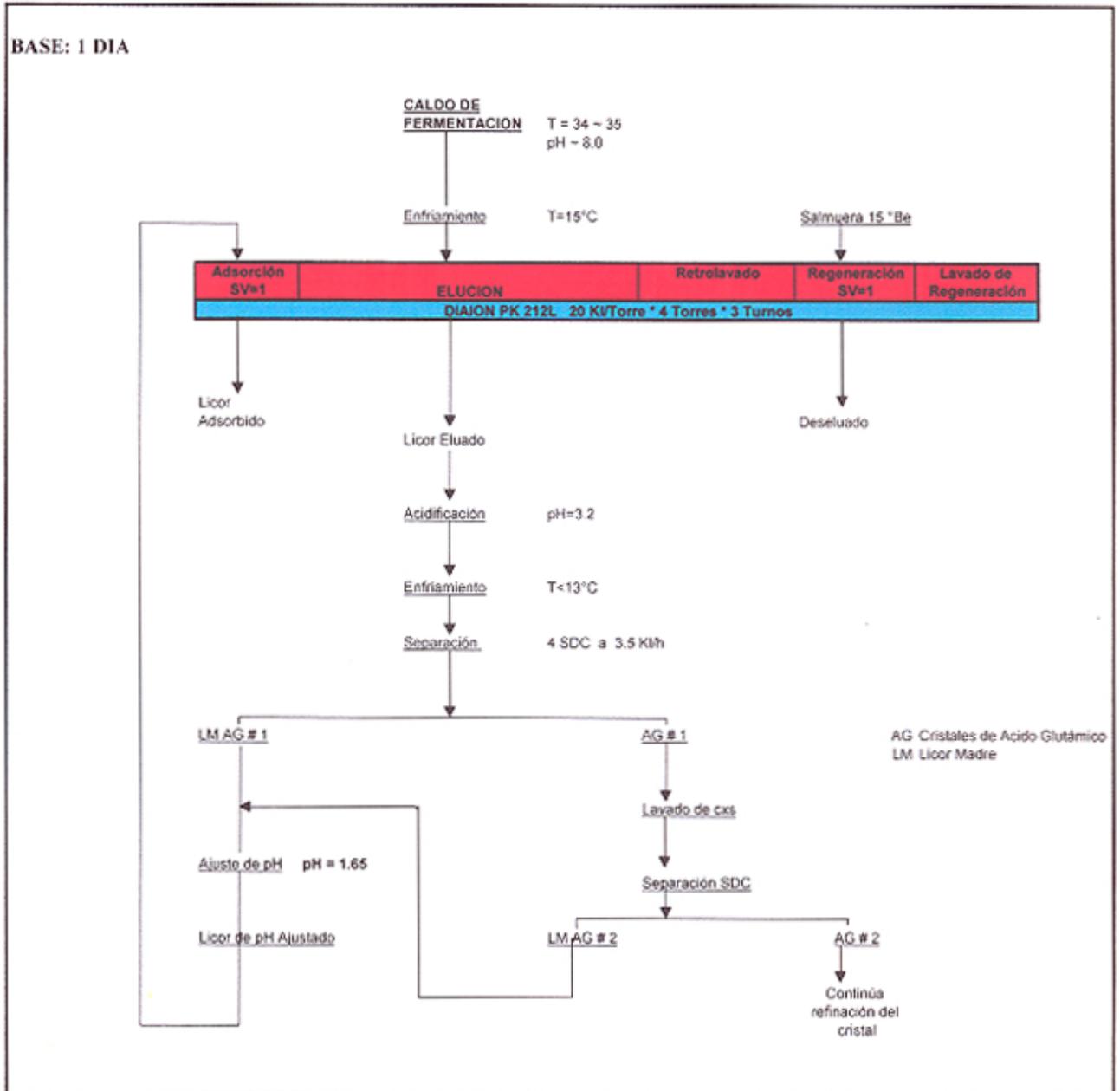
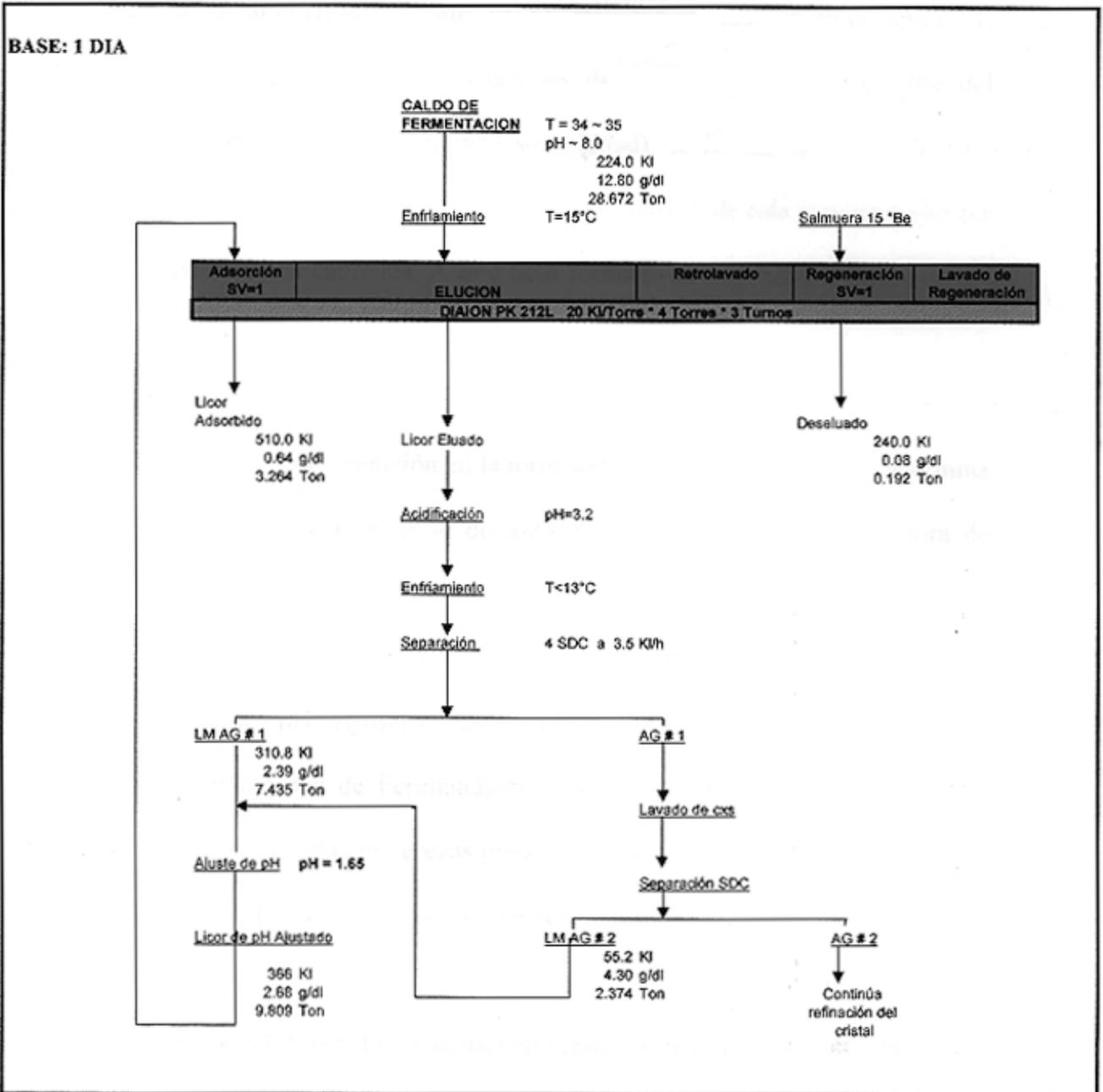


figura V.1: Diagrama de Flujo del proceso



**figura V.2: Balance de Materia del proceso**

### V.3 ADSORCION DEL AMINOACIDO.

De acuerdo al diagrama de flujo del proceso que se presentó en la figura V1, el licor madre producto de las separaciones del cristal, que contiene parte del producto principal en solución (mínima solubilidad), es llevado a un pH de 1.65 para garantizar la presencia de este en el estado catiónico y de esta manera poder ser recuperado en la resina catiónica. A este licor formado se le denomina Licor de pH Ajustado.

Las condiciones de operación en la torre son:  $RV=2$  y  $SV=1$ , lo que determina un tiempo de 2 horas para el paso de todo el licor en la torre, más  $\frac{1}{2}$  hora de drenado.

El Licor de pH Ajustado contiene en solución todas las impurezas provenientes del proceso de Fermentación, tales como: otros cationes, bacterias, cenizas y otros. Todas estas impurezas presentes pueden ser las causas que originan una disminución del poder de Adsorción de la resina.

El Licor de pH Ajustado (Original) en reposo forma dos fases diferenciables, una de ellas es un **sedimento presente en un 20% en volumen aproximadamente, y un clarificado**. A continuación se presenta en la Tabla V.1. la composición promedio del Licor Original y sus dos fases presentes en reposo, el Sedimento y el Clarificado:

**TABLA V.1: Composición y características físico químicas del licor original, sedimento y clarificado**

<b>Licor</b>	<b>Original</b>	<b>Sedimento</b>	<b>Clarificado</b>
Concentración de AG (g/dl)	2.670	2.550	2.690
Densidad (g/ml)	1.099	1.106	1.099
Nitrógeno Amoniacal (g/dl)	1.065	1.064	1.100
Nitrógeno Total (g/dl)	1.996	2.319	1.917
Ca (g/dl)	0.043	0.017	0.046
K (g/dl)	0.496	0.389	1.012
Na (g/dl)	0.823	0.684	1.803
Mg (g/dl)	0.034	0.032	0.035
Fe (ppm)	40.000	70.000	32.000
Bacterias (g/dl)	1.551	7.044	0.192
Cenizas (g/dl)	3.901	5.034	3.620
Sulfatos (g/dl)	7.453	7.298	7.698
Materia orgánica (g/dl)	6.376	7.800	5.948
Sólidos Totales (g/dl)	22.220	25.460	21.751
Conductividad (mS)	(4/100) 8,00	(4/100) 7.90	(4/100) 8,30

#### **V.4 RENDIMIENTO ACTUAL Y PROBLEMAS**

De acuerdo a la Tabla V.1 observamos que en la fase sedimento, se encuentran presentes en mayor proporción los componentes indeseables, que podrían estar afectando negativamente el proceso de Adsorción en la torre de resina (cenizas, materia orgánica, bacterias, Fe). Pero en el proceso actual no se descarta todo el sedimento debido a que este también presenta una concentración apreciable del producto valioso (A.G).

En la actualidad, el licor que es efluente del proceso de Adsorción, y que todavía contiene el producto valioso en menor concentración, que no pudo ser captado en la resina, recibe el nombre de Licor Adsorbido, el cual ya no recibe tratamiento para recuperar el producto valioso.

Se estima que con un diseño ideal de la torre de adsorción, se llegaría a un rendimiento cercano al 100% en la captación del producto valioso. En la actualidad, el rendimiento oscila entre el 68 a 70 por ciento, cuyas variaciones se deben a la concentración de A.G. que presenta el Licor de pH Ajustado, la concentración de cationes como el Calcio que compite de acuerdo a la selectividad con el aminoácido y las diversas concentraciones de las demás impurezas. En el presente trabajo se evalúa la influencia de estas impurezas en el proceso de adsorción de la torre de resina.

Otros de los problemas que se tratará es la operación previa a la Adsorción (Acondicionamiento de la Resina) que influencia grandemente en el resultado de la adsorción. La selección de esta área de estudio y la optimización de las condiciones de operación y/o de algún tratamiento que se le pueda dar al Licor de pH Ajustado, radica en que la mayor pérdida en el Licor Adsorbido (cercano al 11%) se presenta en esta área, de acuerdo al Balance de Materia de todo el proceso de Refinación mostrado en la figura V.3 comparado con las demás pérdidas.

## **VI. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANALISIS**

## VI. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANALISIS.

### VI.1 ACONDICIONAMIENTO

#### VI.1.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA RESINA ANTES DE LA ADSORCION

Debido a la importancia de un buen acondicionamiento de la resina antes del proceso de Adsorción, en esta prueba se hace una comparación de los efectos de remoción de Nitrógeno, Materia Orgánica, Color y Acido Glutámico (A.G.) en las operaciones de lavado y retrolavado de resina.

Para ello se ha hecho un seguimiento de dichas operaciones tomando muestras de efluente en cada caso y analizando el componente a estudiar, para construir curvas de concentración del componente versus el volumen de agua consumido, para que por medio de estas curvas podamos calcular la masa removida por metro cúbico de agua y poder comparar y sugerir alguna variación permitida en dichas operaciones. En la tabla VI.1 se muestran los valores obtenidos de Color, A.G. Nitrógeno Total y Materia Orgánica a diferentes tiempos de retrolavado.

Operaciones	Valores promedio			
	Color	A.G. (g/dl)	N.T.(g/dl)	Mat.Orgánica (%)
Inicio Retrolavado	6.8125	0.1025	0.0657	0.2041
T = 15 min.	4.1225	0.0310	0.0409	0.1530
T = 30 min. Fin retrolavado	2.3870	0.0100	0.0300	0.1309
T = 45 min. Fin drenado	2.4665	0.0080	0.0255	0.1360

**Condiciones:** Volumen de resina en la torre: 20 m<sup>3</sup>.

Gasto de agua: 60 m<sup>3</sup>/torre

**TABLA VI.1. PRUEBA DE RETROLAVADO DE RESINA**

En forma similar en la tabla VI.2 se dan los resultados para la prueba de lavado de resina. En este caso se consideró 4 etapas: aireado, drenado, adición de 5 Kl de agua con presión, completar 11.5 Kl de agua sin presión, y una muestra promedio de todo el efluente de agua de lavado obtenido en un tanque.

Operaciones	Valores promedio			
	Color	A.G. (g/dl)	N.T.(g/dl)	Mat.Orgánica (%)
Fin de 1 <sup>er</sup> aireado	8.945	0.144	0.1707	0.5614
Fin drenado	7.265	0.133	0.0818	0.4209
Fin 5 Kl con P	9.085	0.033	0.0503	0.2982
Fin 11.5 Kl sin P	8.550	0.072	0.1098	0.2666
Promedio del TK	7.990	0.062	0.0892	0.3157

**Condiciones:**

Volumen de resina en la torre: 20 m<sup>3</sup>.

Gasto de agua: 11.5 m<sup>3</sup>/torre

**TABLA VI.2. PRUEBA DE LAVADO DE RESINA:**

Dichas etapas se seleccionaron, dada la facilidad para obtener volúmenes conocidos de agua empleada que requerían cada etapa.

Para este estudio, se tomó 60m<sup>3</sup> de agua para el retrolavado y de 11.5m<sup>3</sup> de agua para el lavado, estos valores se determinaron sobre la base de los volúmenes promedio de agua empleados actualmente en planta. Con este estudio se determinará los volúmenes óptimos de operación sobre la base de los 4 parámetros considerados.

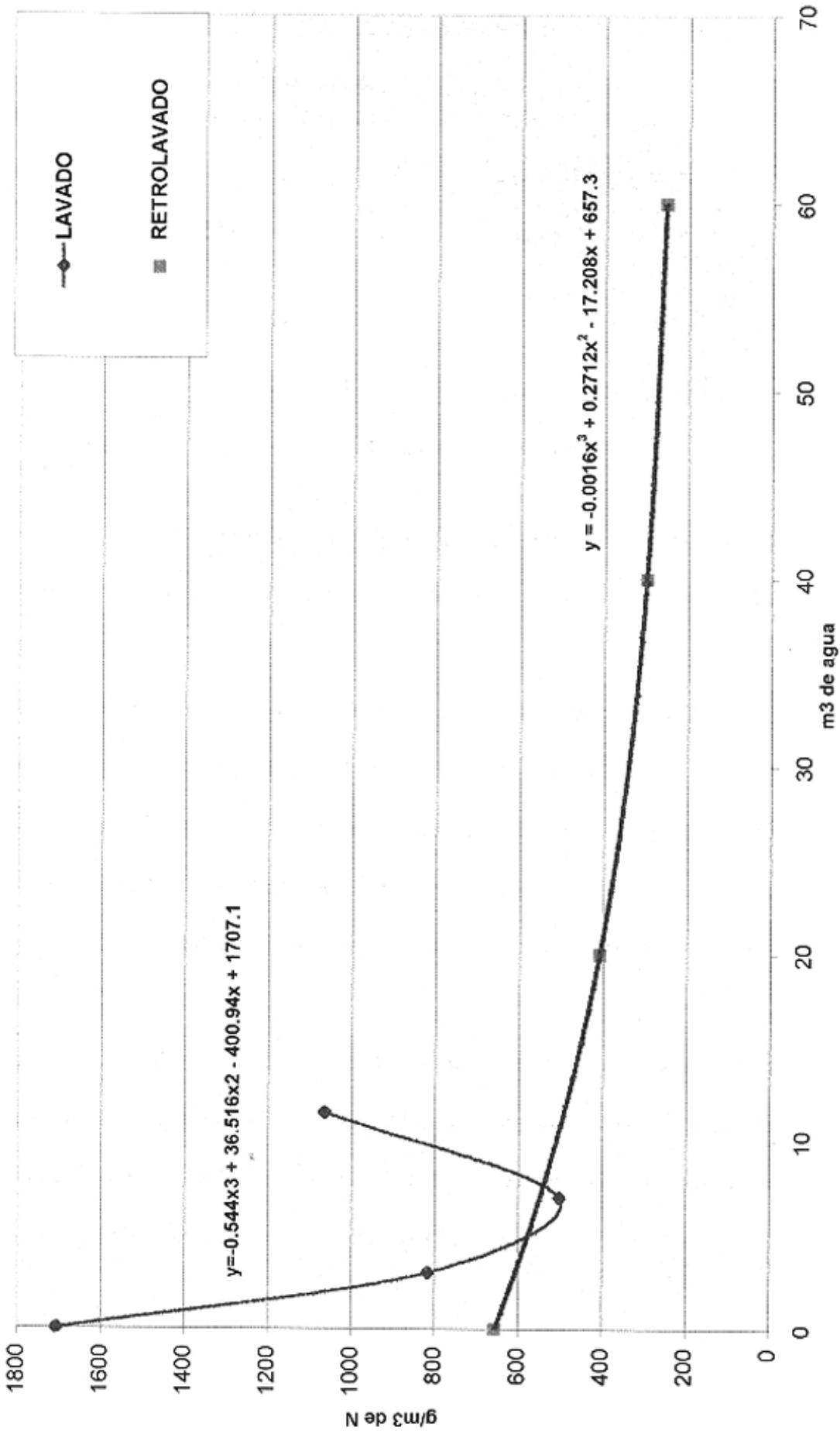


Figura VI.1. :Remoción de Nitrógeno por lavado y retrolavado durante la etapa de regeneración de la resina.

### VI.1.2. ANALISIS RESPECTO A LA REMOCION DE NITROGENO

En referencia a la figura VI.1; se obtuvo:

- Remoción de Nitrógeno por retrolavado:

$$Area = \int_0^{60} (-0.0016x^3 + 0.2712x^2 - 17.208x + 657.3) dx = 22806 \text{ g de N}$$

$$\frac{\text{g de N removidos}}{\text{m}^3 \text{ de agua}} = \frac{22806 \text{ g}}{60 \text{ m}^3} = 380.10 \text{ g de N/m}^3 \text{ de agua.}$$

- Remoción de Nitrógeno por lavado:

$$Area = \int_0^{11.5} (-0.544x^3 + 36.516x^2 - 400.94x + 1707.1) dx = 9252.93 \text{ g de N}$$

$$\frac{\text{g de N removidos}}{\text{m}^3 \text{ de agua}} = \frac{9252.93 \text{ g}}{11.5 \text{ m}^3} = 804.60 \text{ g de N/m}^3 \text{ de agua.}$$

- Se observa que con el retrolavado se logra remover unas 2.46 veces el Nitrógeno comparado al removido por lavado, pero esto es a costa de un mayor gasto de agua.
- En cuanto al rendimiento por  $\text{m}^3$  de agua, el lavado supera unas 2.12 veces al retrolavado en lo concerniente a g de N removido/ $\text{m}^3$  de agua.
- El pico de subida que se observa en la gráfica de lavado se debe a que hay un aireado previo antes de bajar hasta el nivel de adsorción. El aireado sirve para remover partículas extrañas adheridas a la resina y uniformizar el lecho de resina para la adsorción.
- Como en el lavado se recolectó todo el efluente de la torre de resina sobre un tanque, se pudo obtener una concentración promedio, la cual según la tabla VI.2 es 0.0892 g/dl ó 891.8 g de  $\text{N/m}^3$ , que es un valor próximo al calculado según las áreas de la gráfica (804.60 g de  $\text{N/m}^3$  de agua).

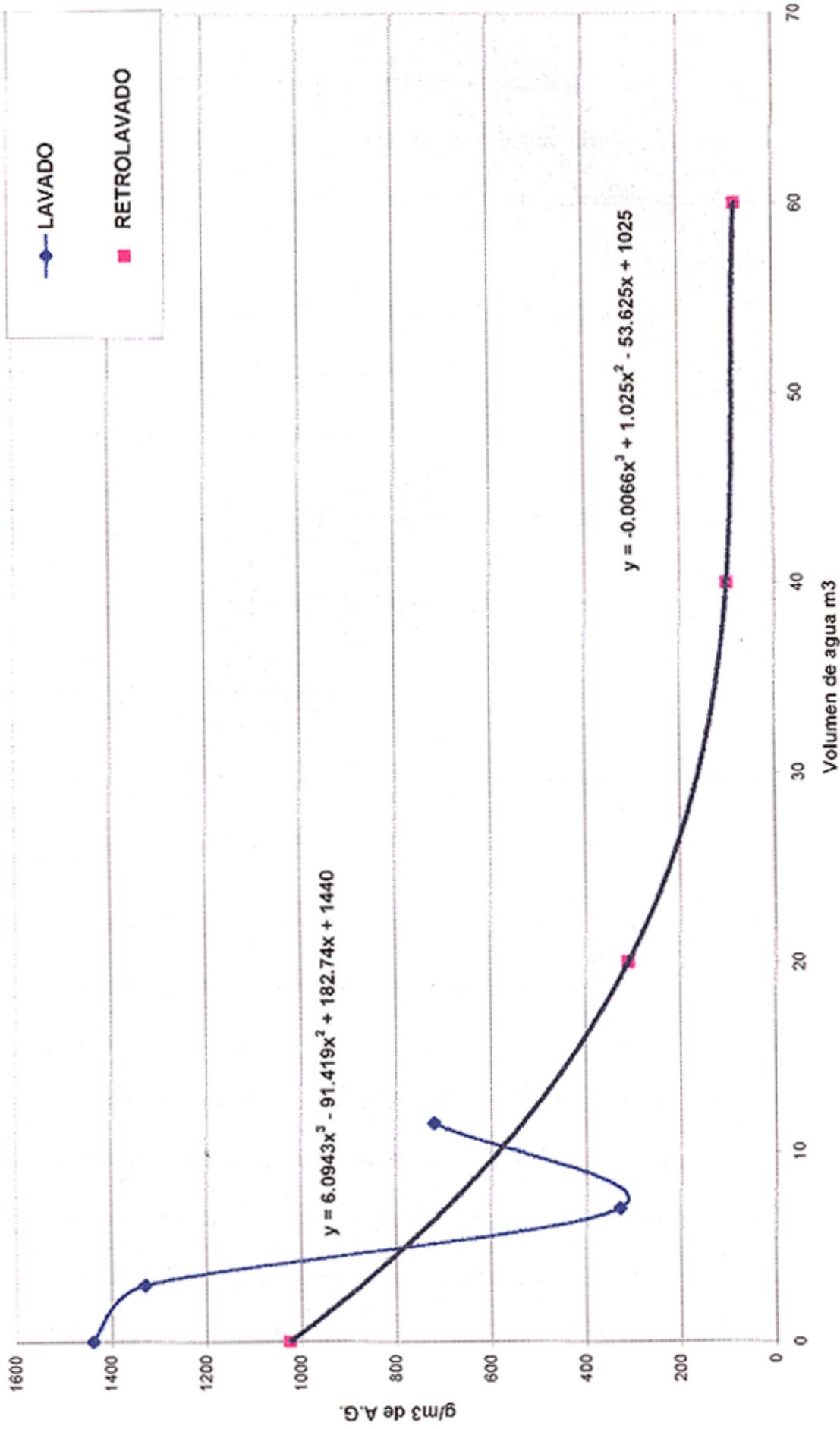


Figura VI.2: Remoción de Acido Glutámico por lavado y retrolavado durante la etapa de regeneración de la resina

- Según las tendencias de las curvas tanto en el retrolavado como en el lavado, se podría proseguir con la operación, esto se justificaría más en el lavado, aunque esto esté limitado a los tiempos disponibles en planta para dicha operación.

### VI.1.3. ANALISIS RESPECTO A LA REMOCION DE A.G.

En referencia a la figura VI.2; se obtuvo

- Remoción de A.G. por retrolavado:

$$Area = \int_0^{60} (-0.0066x^3 + 1.025x^2 - 53.625x + 1025) dx = 17391 \text{ g de AG}$$

$$\frac{\text{g de A.G. removidos}}{\text{m}^3 \text{ de agua}} = 17391 \text{ g}/60 \text{ m}^3 = 289.85 \text{ g de A.G./m}^3 \text{ de agua}$$

- Remoción de A.G. por lavado:

$$Area = \int_0^{11.5} (6.0943x^3 - 91.419x^2 + 182.74x + 1440) dx = 8945.48 \text{ g de AG}$$

$$\frac{\text{g de A.G. removidos}}{\text{m}^3 \text{ de agua}} = 8945.48 \text{ g}/11.5 \text{ m}^3 = 777.87 \text{ g de A.G./m}^3 \text{ de agua}$$

- De la figura VI.2 se observa que con el retrolavado se logra remover 1.94 veces el A.G. comparado al removido por lavado, pero esto es a cambio de un mayor gasto de agua.
- En cuanto al rendimiento por m<sup>3</sup> de agua, el lavado supera unas 2.68 veces al retrolavado en lo concerniente a g de A.G. removido/m<sup>3</sup> de agua.
- El pico de subida que se observa en la gráfica de lavado se debe a que hay un aireado previo antes de bajar hasta el nivel de adsorción.

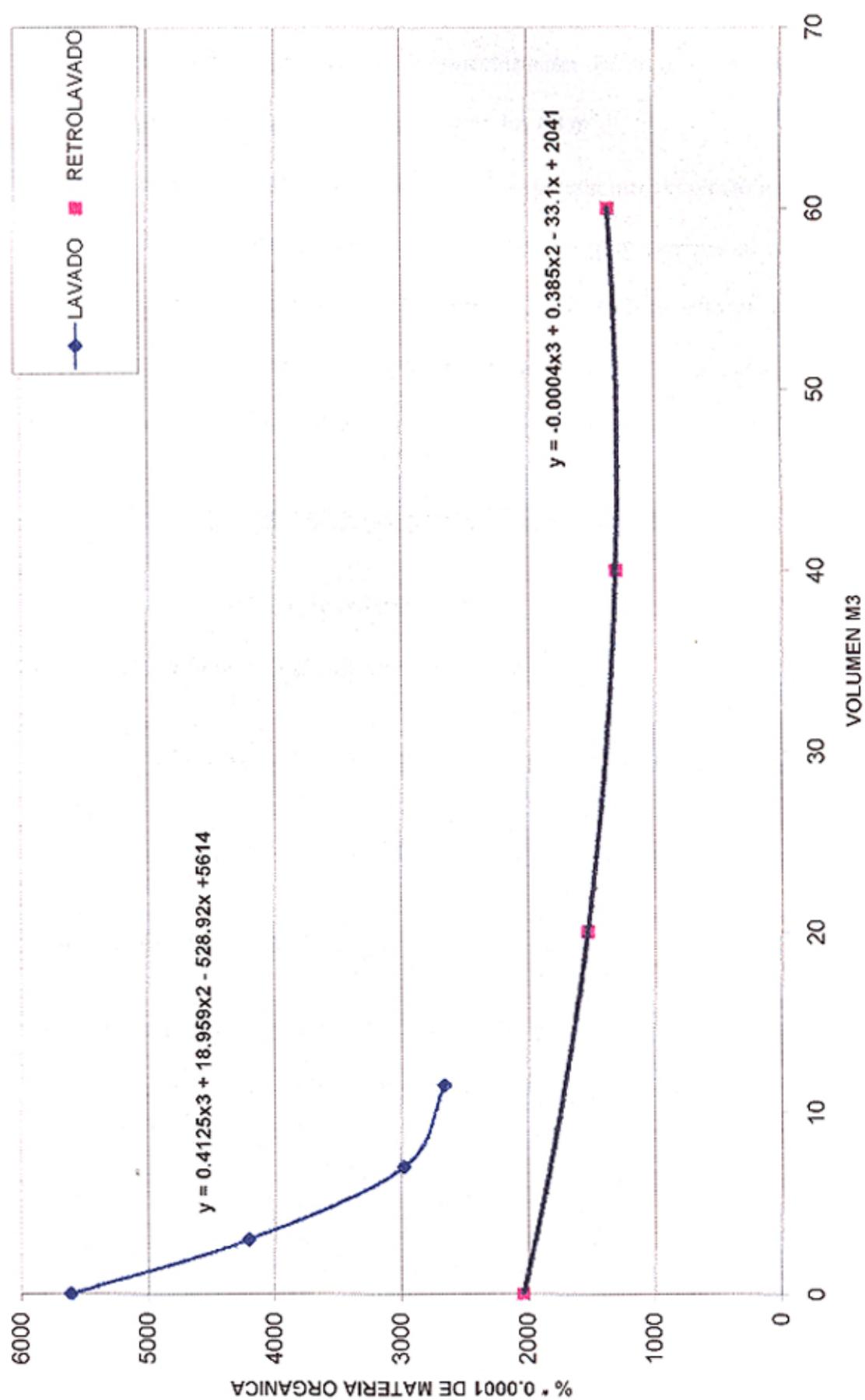


Figura VI.3. : Remoción de materia orgánica por lavado y retrolavado durante la etapa de regeneración de la resina

- De acuerdo a la curva de retrolavado a partir de un gasto de  $40 \text{ m}^3$  de agua ya no hay disminución apreciable en la concentración del A.G. removido, por lo que sería innecesario un gasto de agua hasta los  $60 \text{ m}^3$ .
- La concentración promedio de A.G. en todo el tanque que recolectó el agua de lavado es de  $620 \text{ g de A.G./m}^3$  de agua, valor no muy cercano al calculado mediante el método del área del gráfico (777.87). Esta diferencia puede atribuirse a que el A.G. promedio presente en el tanque que recolectó el agua de lavado pueda sufrir descomposición

#### VI.1.4. ANALISIS RESPECTO A LA REMOCION DE MATERIA ORGANICA

En referencia a la figura VI.3; se obtuvo:

- Remoción de Materia Orgánica por retrolavado:

$$Area = \int_0^{60} (-0.0004x^3 + 0.385x^2 - 33.1x + 2041) dx = 89304 \text{ g de materia orgánica}$$

$$\frac{\text{g de M.O. removidos}}{\text{m}^3 \text{ de agua}} = 89304 \text{ g}/60 \text{ m}^3 = 1488.4 \text{ g de M.O./m}^3 \text{ de agua}$$

- Remoción de Materia Orgánica por lavado:

$$Area = \int_0^{11.5} (0.4125x^3 + 18.959x^2 - 528.92x + 8614) dx = 41001.25 \text{ g de materia orgánica}$$

$$\frac{\text{g de M.O. removidos}}{\text{m}^3 \text{ de agua}} = 41001.25 \text{ g}/11.5 \text{ m}^3 = 3565.33 \text{ g de M.O./m}^3 \text{ de agua}$$

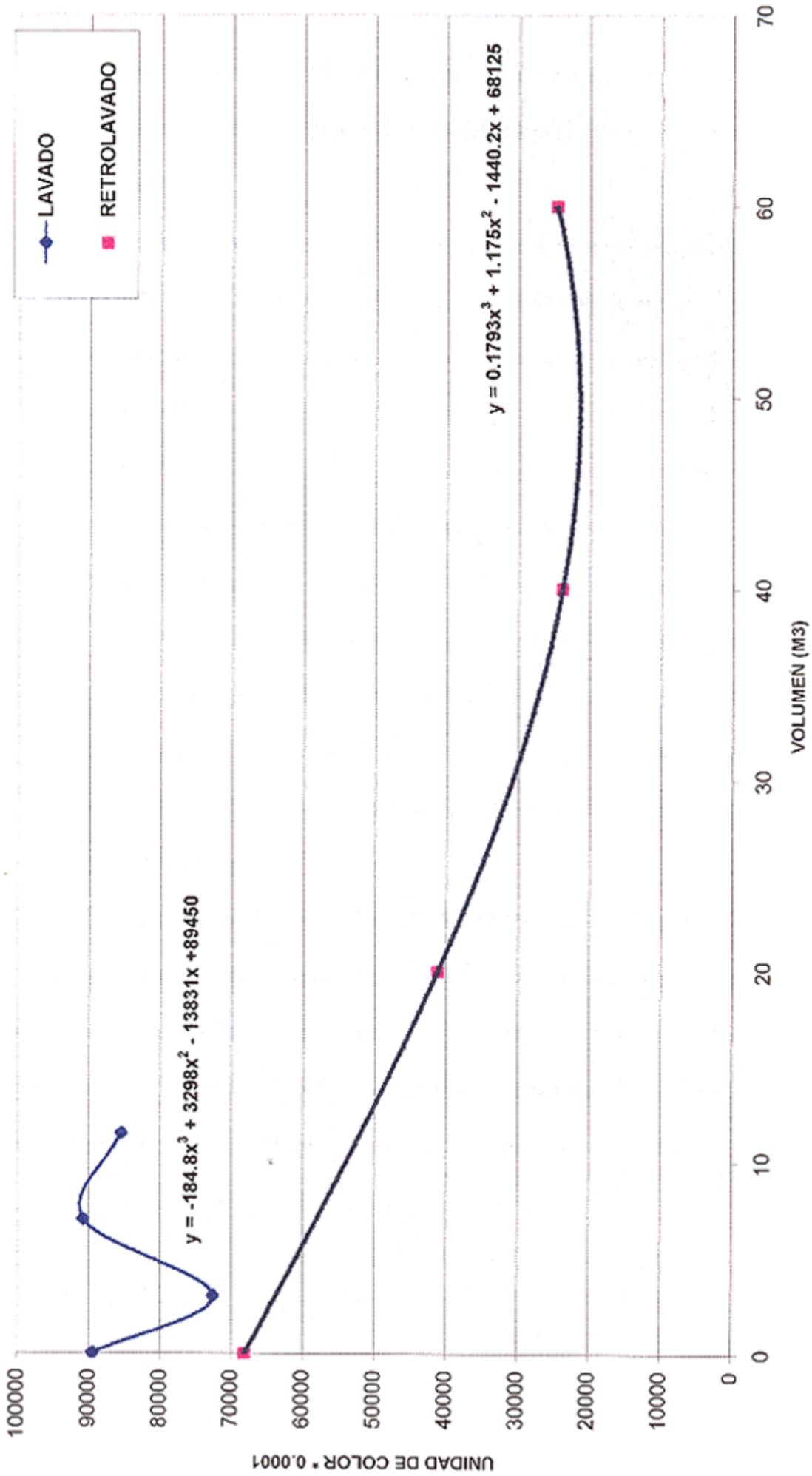


Figura VI.4. : Remoción de color por lavado y retrolavado durante la etapa de regeneración de resina

- Se observa que con el retrolavado se logra remover unas 2.18 veces la Materia Orgánica comparado al removido por lavado, también a expensas de un mayor gasto de agua.
- En cuanto al rendimiento por  $m^3$  de agua, el lavado supera unas 2.39 veces al retrolavado en lo concerniente a g de M.O. removido/ $m^3$  de agua.
- La concentración promedio de M.O. en todo el tanque que recolectó el agua de lavado es de 3157 g de M.O./  $m^3$  de agua, algo cercano al calculado mediante el gráfico (3565.33 g de M.O./  $m^3$  de agua). La pequeña diferencia puede atribuirse a algún error en el ajuste de la gráfica o error de análisis.
- Por lo que se observa en la curva de lavado, se hace necesario agregar más agua de lavado, debido a la pronunciada pendiente descendente a seguir.
- En la curva de retrolavado, nuevamente se aprecia que a partir de 40  $m^3$  de gasto de agua, ya no es necesario proseguir con el retrolavado, debido que hasta los 60  $m^3$  ya no hay disminución apreciable en la concentración del componente a remover.

#### **VI.1.5. ANALISIS RESPECTO A LA REMOCION DE COLOR**

El color es debido a la presencia de pigmentos carotenoides y otros similares, que pueden ser eliminados por tratamientos de decoloración. Muchos productos de degradación muy coloreados contribuyen a dar una apariencia de mala calidad, por lo que su determinación constituye un parámetro de interés en este estudio.

En referencia a la figura VI.4; se obtuvo:

- Como las unidades de color no están referidas al volumen, calcularemos las áreas bajo los gráficos para efectos comparativos únicamente.

$$Area = \int_0^{60} (0.1793x^3 + 1.175x^2 - 1440.2x + 68125) dx = 216.07$$

- Area bajo la curva de retrolavado:

$$Area / m^3 \text{ de agua} = 216.07/60 = 3.60$$

- Area bajo la curva de lavado:

$$Area = \int_0^{11.5} (-184.8x^3 + 3298x^2 - 13831x + 89450) dx = 97.80$$

$$Area / m^3 \text{ de agua} = 97.80/11.5 = 8.50$$

- Nuevamente con retrolavado se remueve teóricamente unas 2.21 veces más de color con respecto a la remoción con lavado.
- En cuanto al rendimiento por  $m^3$  de agua, el lavado supera unas 2.36 veces al retrolavado.
- En cuanto a la muestra promedio del tanque que recolectó todo el efluente del lavado, el valor de  $Area/m^3$  es de 7.99, valor cercano al encontrado con la figura VI.4.
- De acuerdo a la gráfica de lavado, sería conveniente proseguir con la operación.
- Nuevamente en el retrolavado, de acuerdo a la gráfica bastaría con terminar la operación en un gasto de  $40 m^3$  de agua.

- Por último para una mejor comparación respecto a estas dos operaciones, sería recomendable adjuntarle los rendimientos en la posterior operación de adsorción. Es decir, a dos torres de la misma capacidad acondicionarlas una con lavado y la otra con retrolavado, luego con un mismo licor efectuar la adsorción y comparar los rendimientos obtenidos en esta operación.

## **VI.2 PROCESO DE ADSORCION**

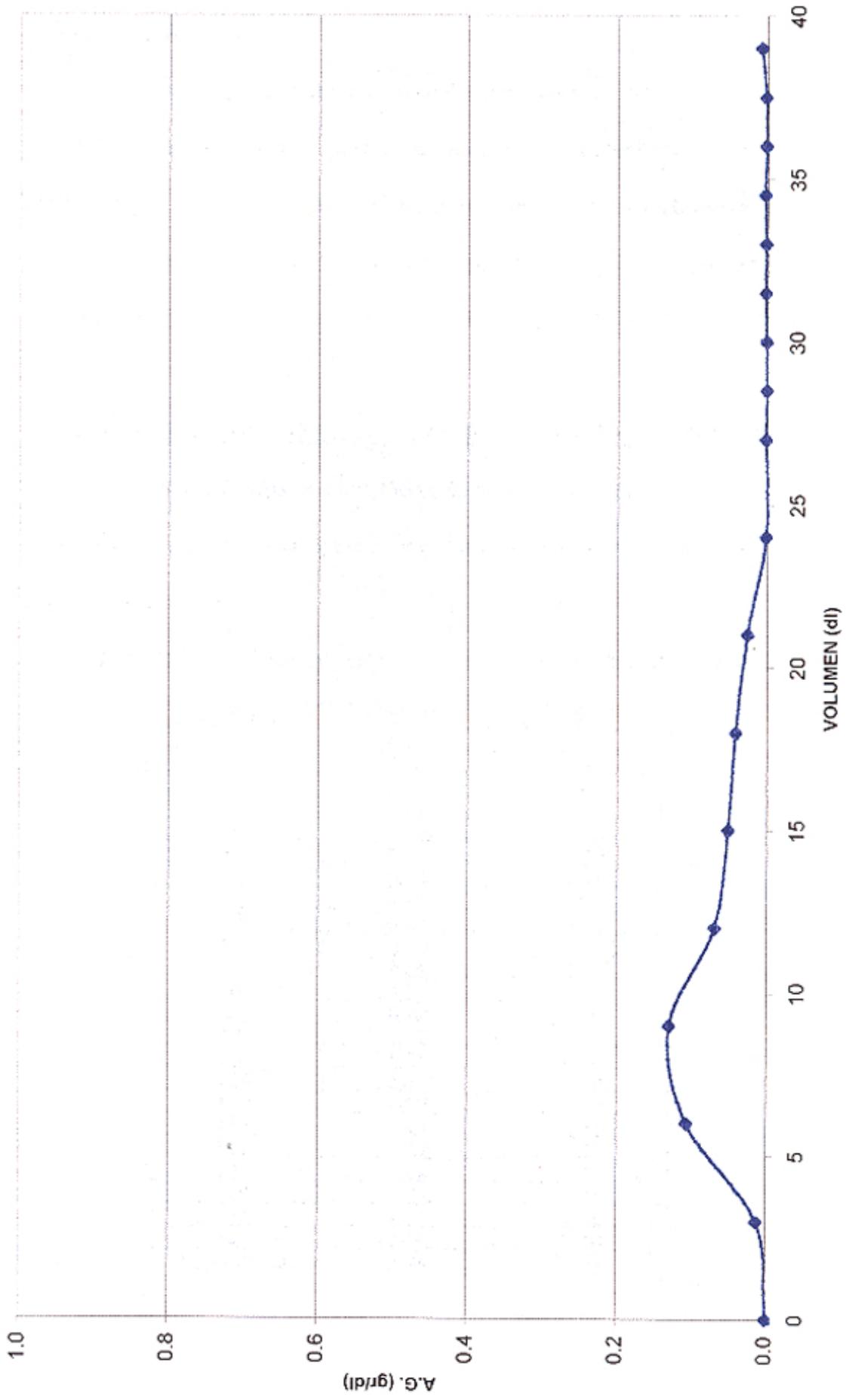
En esta parte se presentarán los resultados de las pruebas más importantes del presente estudio, es decir del proceso de Adsorción mismo.

### **VI.2.1 CONDICIONES IDEALES EN LA ADSORCION**

Se sabe que los licores de pH ajustado a ser adsorbidos en planta presentan una serie de impurezas, que presumiblemente están afectando el grado de adsorción, impurezas tales como bacterias, cenizas, sólidos totales, cationes y aniones. Es por ello que en esta prueba se presenta el resultado de adsorción de una solución ideal preparada con cristales puros de Acido Glutámico y disuelto en agua destilada, ajustada a un pH y concentración similar a los licores en planta, con la finalidad de demostrar la posibilidad de un tratamiento al licor, previo a la corrida de adsorción.

TABLA VI.2.1.1: Solución patrón de A.G. = 2.68 g/dl y pH = 1.65

<b>TIEMPO(Min)</b>	<b>VOL.(dl)</b>	<b>A.G. (g/dl)</b>
0	0.0	0.000
10	3.0	0.013
20	6.0	0.107
30	9.0	0.130
40	12.0	0.070
50	15.0	0.052
60	18.0	0.042
70	21.0	0.027
80	24.0	0.002
90	27.0	0.002
95	28.5	0.001
100	30.0	0.001
105	31.5	0.003
110	33.0	0.002
115	34.5	0.004
120	36.0	0.002
125	37.5	0.003
130	39.0	0.008
<b>Promedio licor adsorbido:</b>		<b>0.029</b>
<b>Rendimiento de adsorción:</b>		<b>98.66</b> %



FIGURAVI.5.: ADSORCION IDEAL

### VI.2.1.1 ANALISIS:

De acuerdo al rendimiento obtenido y a la figura VI.5 mostrada con la solución ideal, se encontró que sería favorable el tratamiento al licor de pH ajustado, ya que de un rendimiento en planta cercano al 70% elevamos este hasta el 98.66% para una solución libre de impurezas. Es por ello que se estudiará aisladamente el efecto de cada una de las impurezas en el licor de pH ajustado.

### VI.2.2. PRUEBA EFECTO DE LA TEMPERATURA EN ADSORCION

El objetivo es comparar a nivel torre de prueba los rendimientos de adsorción de un mismo licor cuando se opera a temperatura ambiente y en el caso de enfriar el licor de pH ajustado.

**TABLA VI.2.2.1: Concentraciones de A.G. g/dl en Licor Adsorbido**

MINUTOS	20°C	13°C
0	0.00	0.00
10	0.00	0.00
20	0.03	0.00
30	0.09	0.00
40	0.15	0.00
50	0.21	0.00
60	0.28	0.01
65	0.35	0.03
70	0.42	0.09
75	0.59	0.16
80	0.69	0.25
85	0.84	0.36
90	0.98	0.55
95	1.11	0.71
100	1.24	0.86
105	1.41	1.10
110	1.57	1.24
115	1.64	1.41
120	1.84	1.60
125	1.98	1.78
130	2.04	1.85
135	2.17	1.96
140	2.15	2.20
<b>PROMEDIO:</b>	<b>0.89</b>	<b>0.70</b>

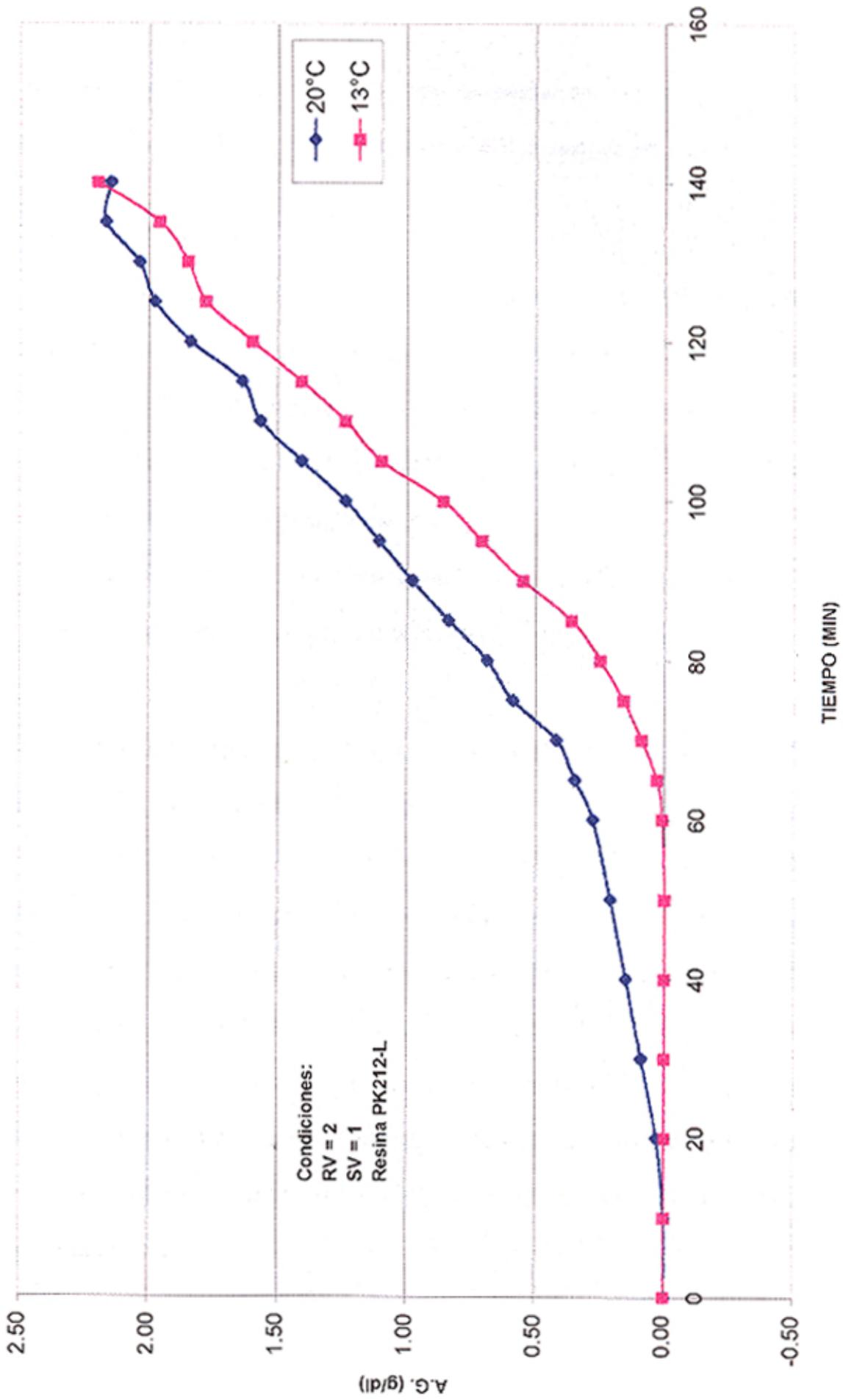


Figura VI.6.: EFECTO TEMPERATURA EN ADSORCION

El ensayo se realizó con el mismo tipo de resina, en condiciones similares de S.V.=1, R.V. = 2 y la misma concentración inicial de licor de pH ajustado.

#### **VI.2.2.1 ANALISIS**

De acuerdo a la gráfica mostrada y a las concentraciones promedio en el licor adsorbido se observa menores pérdidas de A.G. en el caso de 13 °C; por lo que se recomendaría un enfriamiento previo al licor de pH ajustado, y esto es factible ya que en planta hay un enfriador disponible. Esto puede deberse a que al disminuir la temperatura se baja la solubilidad del A.G.

También estos resultados confirman la teoría que el proceso de Adsorción es una reacción exotérmica, por lo que aumenta el rendimiento a menor temperatura.

#### **VI.2.3. PRUEBA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE ACIDIFICACION CON H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> EN EL LICOR DE PH AJUSTADO**

Se sospecha que una alta velocidad de adición de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en los tanques de LpHA, haría posible la formación de otros compuestos de A.G., que si bien en los análisis se evidencian como tales, durante la adsorción no son captados por la resina. Así también una acidificación brusca podría carbonizar el producto principal, disminuyendo su concentración y originando mayores pérdidas en el licor adsorbido. Es por ello que el objetivo de esta prueba es analizar la incidencia que tiene la variación en la velocidad de acidificación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de los tanques de LpHA, en el proceso de torres de resina.

### VI.2.3.1. DESCRIPCION DE LA PRUEBA

Para realizar la prueba se hizo variar la velocidad de acidificación al licor de pH ajustado y ver su efecto sobre la curva de adsorción.

TABLA VI.2.3.1.1 Se mantiene constante: Volumen resina y T(°C) del licor

Tiempo (min)	Velocidades de acidificación (l/h)					
	1800		900		300	
	Vol (dl)	A.G. (g/dl)	Vol (dl)	A.G. (g/dl)	Vol (dl)	A.G. (g/dl)
0	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
5	1.5	0.003	1.5	0.004	1.5	0.002
10	3.0	0.006	3.0	0.006	3.0	0.006
15	4.5	0.014	4.5	0.013	4.5	0.015
20	6.0	0.024	6.0	0.025	6.0	0.024
25	7.5	0.025	7.5	0.026	7.5	0.025
30	9.0	0.026	9.0	0.028	9.0	0.027
35	10.5	0.028	10.5	0.029	10.5	0.028
40	12.0	0.028	12.0	0.030	12.0	0.030
45	13.5	0.042	13.5	0.040	13.5	0.041
50	15.0	0.053	15.0	0.052	15.0	0.050
55	16.5	0.105	16.5	0.106	16.5	0.100
60	18.0	0.164	18.0	0.170	18.0	0.168
70	21.0	0.404	21.0	0.410	21.0	0.411
80	24.0	0.618	24.0	0.617	24.0	0.620
90	27.0	0.984	27.0	0.990	27.0	0.988
100	30.0	1.340	30.0	1.342	30.0	1.337
105	31.5	1.450	31.5	1.452	31.5	1.455
110	33.0	1.606	33.0	1.612	33.0	1.616
115	34.5	1.700	34.5	1.702	34.5	1.698
120	36.0	1.780	36.0	1.790	36.0	1.788
125	37.5	1.740	37.5	1.750	37.5	1.760
130	39.0	1.740	39.0	1.745	39.0	1.750

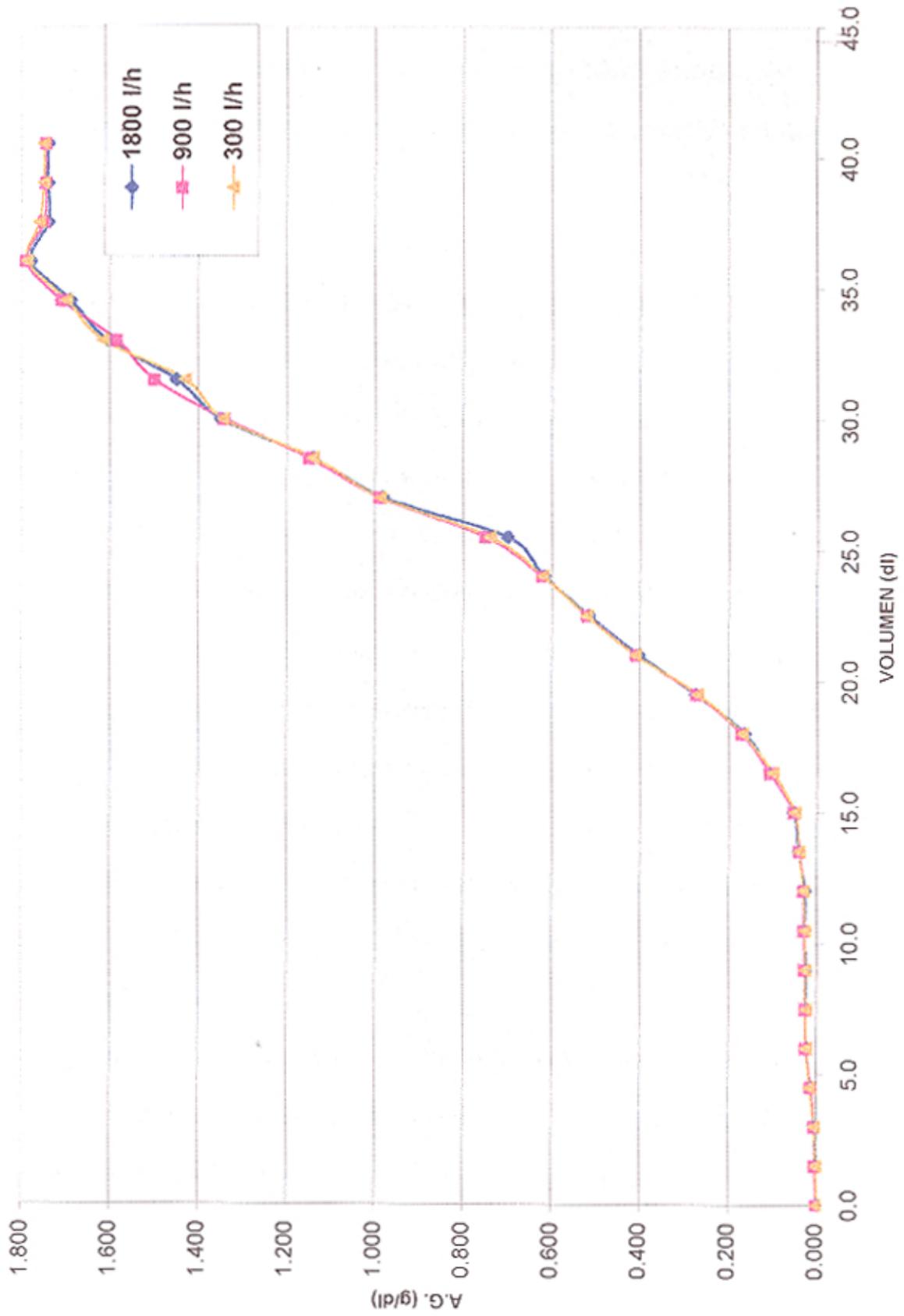


FIGURA VI.7: INCIDENCIA DE LA VELOCIDAD DE ACIDIFICACION

### **VI.2.3.2. ANALISIS**

De acuerdo a los resultados y a las curvas obtenidas, no se nota diferencia en los rendimientos de adsorción, descartándose todo efecto perjudicial en el proceso de adsorción, debido al flujo de acidificación para la obtención del licor de pH ajustado.

### **VI.2.4. PRUEBA EFECTO COMPOSICION EN ADSORCION**

Se sabe de las dos fases diferenciables que componen el Licor de pH Ajustado (sedimento y clarificado), y la variación en la composición química de estas dos fases. También se sabe que en los procesos de adsorción los sedimentos causan problemas ya sea por atoros o por ensuciamiento de la resina, pero debido a la presencia de una concentración apreciable de A.G. en este sedimento es que no puede ser descartado. Es por ello que en las pruebas que se presentarán en este trabajo se conocerán las diferencias entre las curvas de adsorción de un Licor de pH Ajustado normal, y la adsorción por separado para las dos fases diferenciables, luego de separarlas por decantación.

Se presenta también una comparación de los componentes principales presentes en los licores estudiados, así como de algunas propiedades físicas como densidad, conductividad.

Hay que señalar que en las pruebas de adsorción, previamente se han ajustado las concentraciones de A.G. a valores iguales, que permitan descartar el efecto en el rendimiento debido a esta causa.

En esta tabla VI.2.4.1 se muestran los resultados del análisis químico, del licor de pH ajustado original y el de sus dos fases presentes: sedimento y clarificado.

**TABLA VI.2.4.1.: Análisis químico**

ITEMS	ORIGINAL	SEDIMENTO	CLARIFICADO
A.G.(g/dl)	2.670	2.550	2.690
DENSIDAD (g/ml)	1.099	1.106	1.099
NITROGENO AMONIACAL(g/dl)	1.065	1.064	1.100
NITROGENO TOTAL (g/dl)	1.996	2.319	1.917
CALCIO (g/dl)	0.043	0.017	0.046
POTASIO (g/dl)	0.496	0.389	1.012
MAGNESIO (g/dl)	0.034	0.032	0.035
SODIO (g/dl)	0.823	0.684	1.803
FIERRO (ppm)	40.000	70.000	40.000
BACTERIAS (g/dl)	1.551	7.044	0.192
CENIZAS (g/dl)	3.901	5.034	4.104
SULFATOS (g/dl)	7.453	7.298	7.698
M.ORGANICA (g/dl)	6.376	7.800	5.948
SOL.TOTALES (g/dl)	22.220	25.460	21.751
CONDUCTIVIDAD (ms)	(4/100) 8.00	(4/100) 7.90	(4/100) 8.30

En la tabla VI.2.4.2 se muestran los resultados de adsorción por separados del licor de pH ajustado original y el de sus fases presentes.

COMPARACION LICOR ORIGINAL, SEDIMENTO, CLARIFICADO

ORIGINAL 100% A.G.: 2.671 g/dl

SEDIMENTO 11.63% A.G.: 2.557 g/d

CLARIFICADO 88.37% A.G.: 2.686 g/dl

RESULTADOS ADSORCION: A.G. (g/dl)

TIEMPO (MIN)	VOLUMEN (dl)	ORIGINAL	SEDIMENTO	CLARIFICADO
10	3.0	0.006	0.000	0.025
20	6.0	0.024	0.000	0.035
30	9.0	0.027	0.000	0.036
40	12.0	0.028	0.204	0.044
50	15.0	0.053	0.596	0.056
60	18.0	0.164	0.952	0.190
70	21.0	0.404	1.472	0.255
80	24.0	0.618	1.710	0.320
90	27.0	0.984	1.880	0.440
100	30.0	1.340	2.080	1.210
110	33.0	1.606	2.160	1.625
120	36.0	1.780	2.140	1.775
130	39.0	1.740	2.150	1.790
Promedio Licor Adsorbido		0.590	0.970	0.555
Rendimientos de Adsorción:				
Licor promedio:		72.66%	58.50%	74.27%
Area bajo curva		72.38%	57.20%	73.86%

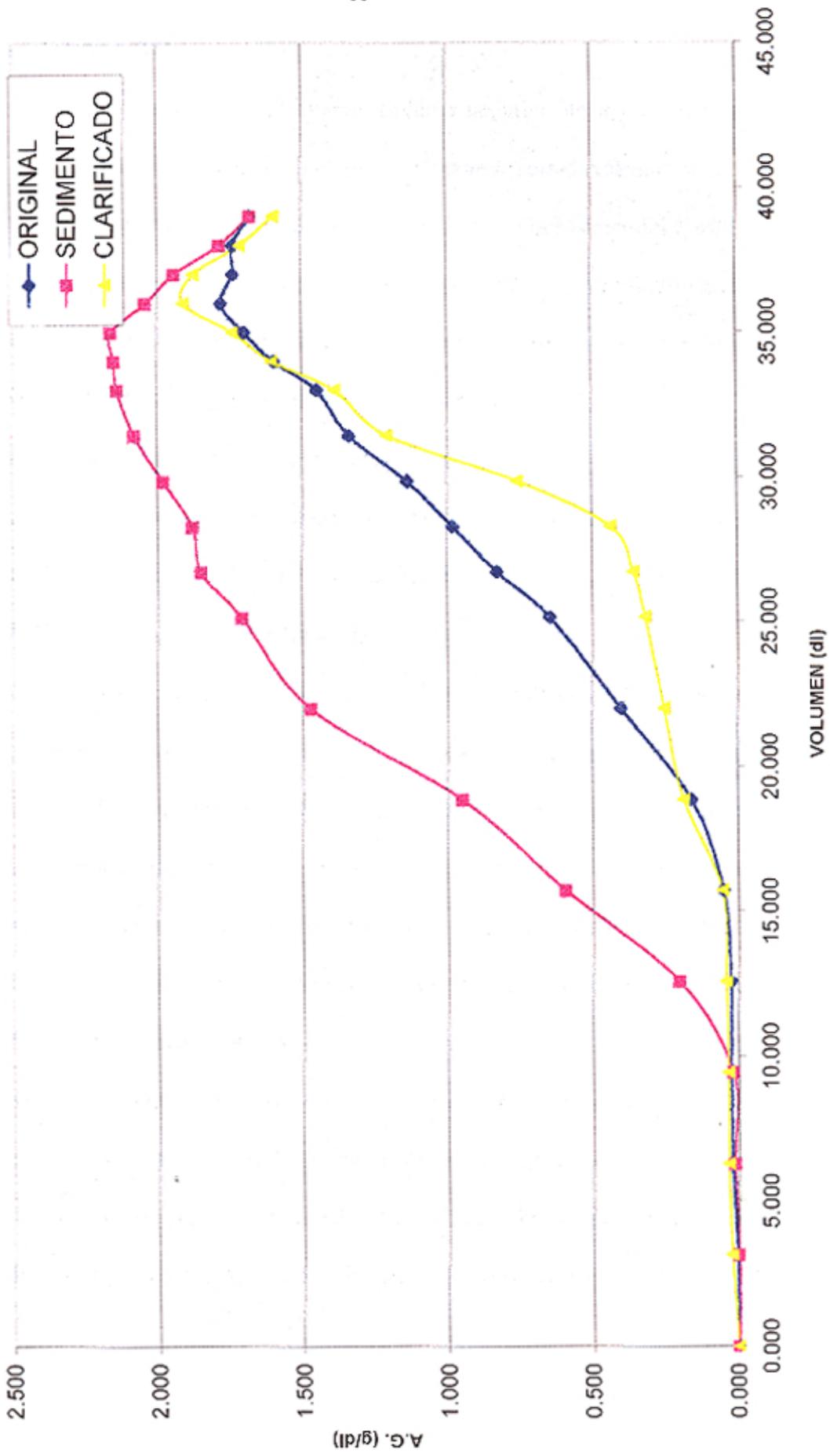


FIGURA VI.8 CURVAS DE ADSORCION, EFECTO COMPOSICION

#### VI.2.4.1 ANALISIS:

- Como se esperaba se comprueba el efecto negativo de los sedimentos en el rendimiento de adsorción, aunque comparando estos valores para el licor original y clarificado la mejora en rendimiento es del orden del 1.6%, lo cual no justificaría deshacerse del sedimento que tiene una cantidad apreciable de A.G., más bien buscar un tratamiento adecuado a este que permita separar los componentes más perjudiciales para la adsorción.
- La curva de adsorción construida a nivel laboratorio del licor original se asemeja a la de una curva construida con datos de planta, lo cual nos permite confiar en el escalamiento hecho, donde  $RV_{lab} = RV_{planta}$ ,  $SV_{lab} = SV_{planta}$ ,  $H/D_{lab} = H/D_{planta}$  se mantienen constantes.
- Observando la tabla de análisis a los licores estudiados, apreciamos que los cationes inorgánicos se encuentran en mayor concentración sobre el licor clarificado, a excepción del fierro, que al ser más insoluble aparece más concentrado en el sedimento, aunque en el orden de ppm., también la materia orgánica, cenizas, bacterias, se encuentran más concentradas en el sedimento; en consecuencia se debe prestar mayor atención a la disminución o separación de estos en el licor original.
- Según la selectividad [11], la presencia de otros cationes pueden afectar el proceso de adsorción de la resina al competir con el AG. Sin embargo los resultados obtenidos no muestran una variación apreciable de los contenidos de Ca, K, Mg, Na, Fe en las diferentes fases presentes en el licor de pH

ajustado, con lo cual su influencia no sería muy relevante en el rendimiento de adsorción.

- De la tabla VI.2.4.1. se observa que el contenido de bacterias (7.044 g/dl) en el sedimento, es el más alto con respecto al clarificado y licor original, en tanto que el contenido de otros tipos impurezas en las mismas fases no están muy diferenciadas. Con lo que se puede establecer que la impureza que pueda estar afectando en mayor proporción es el contenido de bacterias.

**VI.2.5. VARIACIONES DE R.V. Y S.V. EN FILTRACION EN ARENA AL  
SEDIMENTO DE LICOR DE PH AJUSTADO.**

Anteriormente se ha ido confirmando que el tratamiento al sedimento del licor de pH ajustado influiría en una mejora en el rendimiento del proceso de adsorción y siendo la filtración una operación factible a realizar con las condiciones actuales de planta, es que se presentan los resultados obtenidos, de análisis de importancia, al variar parámetros físicos de RV y SV en la operación de filtración en arena al sedimento mencionado, que permitan acercarse a las condiciones operativas más favorables.

Lo que se busca en el filtrado con respecto al sedimento a filtrar, es que la pérdida de AG sea mínima, y que las pérdidas de los componentes indeseables (cenizas, sólidos totales, bacterias) sea la mayor posible, es decir que se queden retenidos en mayor proporción en el lecho de arena.

**CONDICIONES:**

Lecho filtrante : Arena de tamaño entre malla 20 y 40.

Volumen de arena : 1.5 lt.

Licor a filtrar : Sedimento de licor de pH ajustado.

Combinaciones de RV y SV :

a) SV = 3.00      RV = 1.25

b) SV = 3.00      RV = 3.00

c) SV = 1.25      R.V = 1.25

d) SV = 1.25      RV = 3.00

## VI.2.5.1. RESULTADOS

a) SV = 3.00      RV = 1.25

TIEMPO / ANALISIS A FILTRAD.	A.G (g/dl)	CENIZAS (g/dl)	SOLIDOS TOTALES (g/dl)	BACTERIAS (g/dl)
t=0 INICIAL	2.33	3.14	22.29	5.80
5'	1.43	2.42	14.99	3.57
17'	2.43	3.24	22.44	5.79
25'	2.40	3.28	22.53	5.75
35' / soplado	2.33	3.30	22.61	6.36
Promedio filtrado	1.97	2.68	18.51	4.90
% Disminución (inicial-prom.filt)x100 inicial	15.45%	14.65%	16.96%	15.52%

b) SV = 3.00      RV = 3.00

TIEMPO / ANALISIS A FILTRAD.	A.G (g/dl)	CENIZAS (g/dl)	SOLIDOS TOTALES (g/dl)	BACTERIAS (g/dl)
t=0 INICIAL	2.51	3.01	21.93	7.53
10'	1.90	-----	17.42	5.20
20'	2.36	2.82	20.20	7.03
25'	2.46	2.87	21.70	6.20
40'	2.47	2.85	21.62	5.72
50'	2.46	2.85	21.23	7.19
60'	2.47	2.78	21.71	6.65
70'	2.50	2.92	21.36	6.84
90'	2.44	3.02	22.57	9.28
Promedio filtrado	2.26	2.67	20.25	6.80
% Disminución (inicial-prom.filt)x100 inicial	9.96%	11.30%	7.66%	9.69%

c) SV = 1.25

RV = 1.25

d) SV = 1.25

RV = 3.00

ANALISIS A FILTRAD.		A.G	CENIZAS	SOLIDOS TOTALES	BACTERIAS
TIEMPO		(g/dl)	(g/dl)	(g/dl)	(g/dl)
t=0	INICIAL	2.48	3.02	23.01	8.75
	10'	-----	-----	-----	-----
	20'	1.80	2.88	17.62	5.02
	35'	2.50	3.33	22.90	9.16
	50'	2.52	3.21	23.06	9.43
	60'	2.52	3.00	23.30	9.20
	75'	2.54	2.95	21.02	5.62
	Soplado	2.40	2.94	23.46	9.55
	Promedio /filtrado	2.00	3.16	18.21	5.73
	% Disminución (inicial-prom.filt)x100 inicial	19.35%	-----	20.86%	34.51%
ANALISIS A FILTRAD.		A.G	CENIZAS	SOLIDOS TOTALES	BACTERIAS
TIEMPO		(g/dl)	(g/dl)	(g/dl)	(g/dl)
t=0	INICIAL	2.44	2.95	23.77	6.11
	10'	0.88	1.74	9.73	5.78
	20'	2.36	3.21	22.67	4.78
	40'	2.46	3.08	22.90	3.78
	60'	2.52	3.15	24.06	2.67
	80'	2.50	3.18	24.36	5.89
	100'	2.48	2.99	23.28	6.00
	120'	2.48	3.17	24.55	9.25
	144'	2.48	2.97	22.76	6.56
	170'	2.50	2.87	23.96	5.33
	195'	2.50	2.80	22.26	4.89
	Soplado	2.36	2.63	25.11	6.89
	Promedio filtrado	2.32	2.98	22.36	5.56
	% Disminución (inicial-prom.filt)x100 inicial	4.92%	-----	5.93%	9.00%

### VI.2.5.2 ANALISIS

- Como se observan en los datos de la última fila en las cuatro tablas, a medida que el porcentaje de disminución de los componentes indeseados en el filtrado aumenta, también aumenta la pérdida de AG, y esto hace más difícil elegir las condiciones más favorables.
- Teniendo en cuenta la relación de pérdida de bacteria entre pérdida de AG, en la cuarta condición ( $SV=1.25$   $RV=3$ ), el cociente es apreciablemente mayor que en los otros tres casos (aproximadamente 2 veces), por lo que deducimos que sería la condición más favorable, debido a la poca pérdida de A.G. y un R.V. mayor, que permitiría tratar más sedimento antes de proceder al lavado del lecho filtrante. Se elige la pérdida de bacteria como determinante, debido a que es la impureza más perjudicial para la resina de adsorción.

### VI.2.6. COMPARACION ADSORCION NORMAL VS ADSORCION ACOMPAÑADA DE FILTRACION AL SEDIMENTO.

En la prueba VI.2.4 se demostró el efecto negativo en la curva de adsorción que causa el sedimento presente en el licor de pH ajustado. Es por ello que esto sugiere un tratamiento a dicho sedimento. En la prueba VI.2.5 se buscó las condiciones ideales de RV y SV para la filtración del sedimento. En esta prueba, se

comparará los rendimientos obtenidos en una adsorción normal y en la propuesta modificada de adsorción acompañada de filtración al sedimento.

#### VI.2.6.1. RESULTADOS

##### a) Adsorción normal

Muestra : Licor de pH ajustado

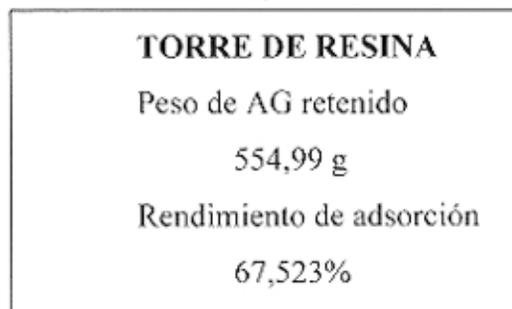
pH de resina inicial : 7,20

Volumen de resina : 19,0 lt

RV = 1,71

SV = 1,00

Volumen : 32,500 l  
 AG : 2,529 g/dl  
 Peso de AG : 821,93 g



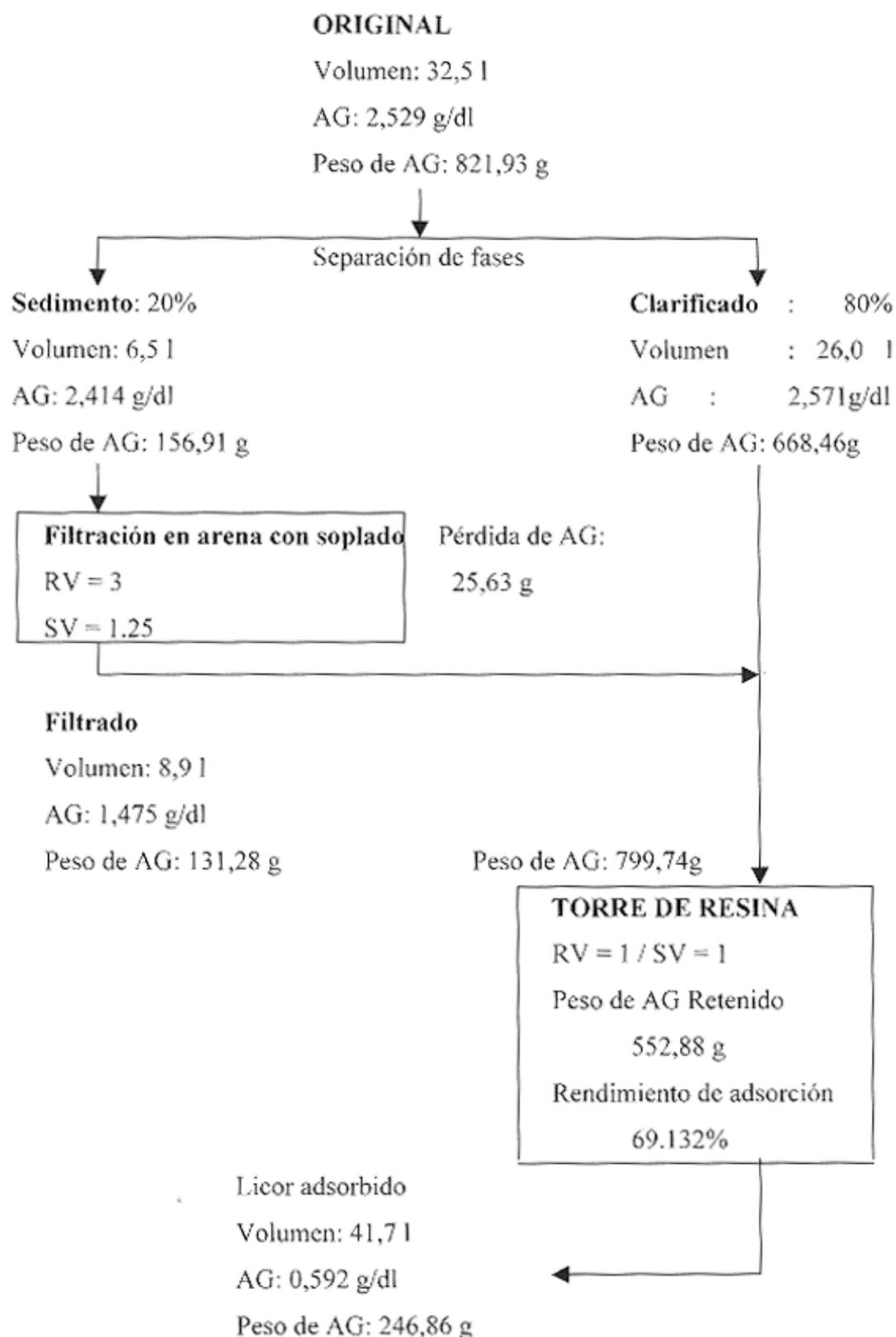
Licor adsorbido:  
 Volumen : 36,600 l  
 AG : 0,718 g/dl  
 Peso de A.G. : 262,79 g

##### b) Adsorción acompañada de filtración al sedimento

Muestra: Licor de pH ajustado

pH de resina inicial: 7,20

Volumen de resina: 19,0 l.



#### **VI.2.6.2. ANALISIS**

El rendimiento con el método propuesto con relación al método normal, es ligeramente mayor, y además se evita mayor ensuciamiento en torres, ello redundará en un mayor tiempo de vida operativa de la resina, y representa un ahorro económico, que será estimado en la evaluación económica.

## VII. EVALUACION ECONOMICA

## VII. EVALUACION ECONOMICA

### COMPARACION DEL PROCESO ACTUAL VS EL PROCESO

#### PROPUESTO

PROCESO ACTUAL	PROCESO PROPUESTO	OBSERVACION
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 torres de adsorción de 20 Kl cada una</li> <li>• 3 tanques de LpHA de 60 Kl</li> <li>• 1 bomba de envío desde tanque de LpHA a torre de adsorción</li> <li>• Materia prima: 75 Kl de caldo de fermentación por batch</li> <li>• Peso de AG retenido en la torre de resina en el proceso de adsorción:  <math>0.67523 * 9.809 = 6.623 \text{ Ton/día (i)}</math></li> <li>• Tiempo de vida de la resina: 12 meses   <math>80\text{Kl} * 1.6\\$/\text{l} * 1000 = 128,000 \text{ \\$/año}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 torres de adsorción de 20 Kl cada una</li> <li>• 3 tanques de LpHA de 60 Kl</li> <li>• 1 bomba de envío desde tanque de LpHA a torre de adsorción</li> <li>• Materia prima: 75 Kl de caldo de fermentación por batch</li> <li>• Peso de AG retenido en la torre de resina en el proceso de adsorción:  <math>0.69132 * 9.809 = 6.781 \text{ Ton/día(ii)}</math></li> <li>• Tiempo de vida de la resina: 15 meses (estimado sobre la base de las pruebas)  <math>128,000 / 1.25 = 102,400 \text{ \\$/año}</math></li> <li>• Uso de bomba para envío de sedimento a tanque filtro.</li> <li>• Uso de un tanque de acero de 60Kl para ser usado como filtro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay diferencia</li> <li>• No hay diferencia</li> <li>• No hay diferencia</li> <li>• No hay diferencia</li> <li>• Incremento en la producción de 0.158 Ton/día</li> <li>• Ahorro por mayor tiempo de vida de la resina 25,600 \$/año</li> <li>• Inversión por costo de la bomba: 5, 000 dólares.</li> <li>• Inversión por costo de tanque: 20,450 dólares</li> <li>• Más costos directos e indirectos producto de la inversión</li> </ul>

(i),(ii) ver páginas 66, 99 y 100

**INVERSION DE CAPITAL FIJO****COSTO DE LOS EQUIPOS (MUSS)**

Tanque de acero para filtro	20.45
Bomba de envío:	5.00
<b>Total</b>	<b>25.45</b>

En función del costo de los equipos y características del proceso:

**Costos directos (activos fijos)**

<b>Items</b>	<b>Fracción típica</b>	<b>MUSS</b>
Costo del equipo	1.00	25.45
Instalación	0.45	11.45
Instrumentación	0.13	3.31
Tubería y accesorios	0.40	10.18
Instalaciones eléctricas	0.09	2.29
Edificios	0.25	6.36
Delimitaciones	0.13	3.31
Facilidades y servicios	0.56	14.25
Terreno	0.04	1.02
<b>TOTAL DIRECTOS</b>	<b>3.05</b>	<b>77.62</b>

Monto a depreciar	3.01	76.60
-------------------	------	-------

**Costos Indirectos (intangibles)**

<b>Items</b>	<b>Fracción típica</b>	<b>MUSS</b>
Supervisión e ingeniería	0.35	8.91
Costos de construcción	0.40	10.18
Utilidad de contratista	0.17	4.33
Contingencias	0.43	10.94
<b>TOTAL INDIRECTOS</b>	<b>1.35</b>	<b>34.36</b>

Monto a amortizar	1.35	34.36
-------------------	------	-------

**Total de inversión en capital fijo**

<b>4.40</b>	<b>112.00</b>
-------------	---------------









**FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA**

(MUS del AÑO 0 /AÑO)

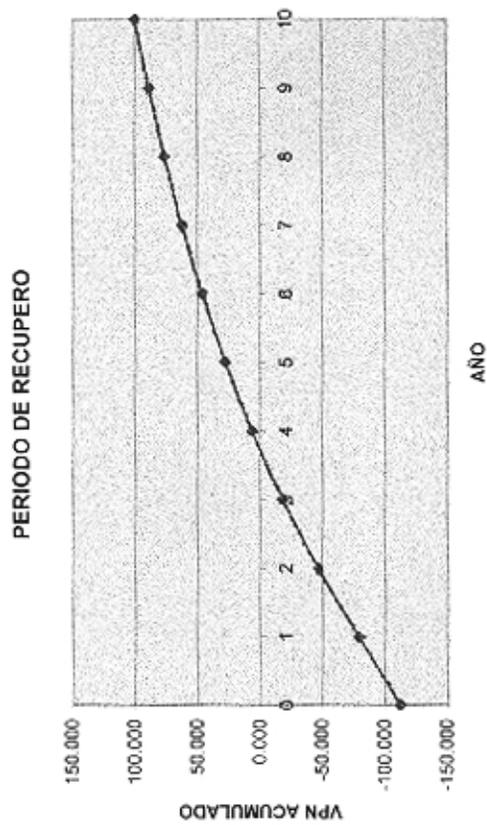
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INVERSIONES</b>											
Propia	112.000										
Amort. Deuda	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Capital de trabajo	4.442	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.442
<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>112.000</b>	<b>4.442</b>	<b>0.000</b>	<b>-4.442</b>							
<b>UTILIDAD NETA</b>		<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>	<b>31.650</b>
<b>DEPRECIACION</b>		<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>	<b>11.200</b>
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>-112.000</b>	<b>38.408</b>	<b>42.850</b>	<b>47.291</b>							
Aportes	112.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dividendos		31.650	31.650	31.650	31.650	31.650	31.650	31.650	31.650	31.650	31.650
Saldo de Caja	0.000	6.758	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	15.642
Caja residual	0.000	6.758	17.958	29.158	40.358	51.558	62.758	73.958	85.158	96.358	112.000
	<b>-112.00</b>	<b>33.398</b>	<b>32.401</b>	<b>28.174</b>	<b>24.499</b>	<b>21.304</b>	<b>18.525</b>	<b>16.109</b>	<b>14.008</b>	<b>12.181</b>	<b>100.289</b>
	<b>-112.00</b>	<b>-40.881</b>	<b>43.516</b>	<b>51.219</b>	<b>56.741</b>	<b>63.160</b>	<b>63.260</b>	<b>63.260</b>	<b>58.203</b>	<b>57.929</b>	<b>135.907</b>
											<b>TIR (%)</b>
											<b>26.527</b>

**ANALISIS:** Desde el punto de vista económico el proyecto es rentable,  $VPN > 0$ ,  $TIR > TD$  (15%).

PERIODO DE RECUPERO

FLUJO NETO DE FONDOS	-112.000	38.408	42.850	42.850	42.850	42.850	42.850	42.850	42.850	42.850	42.850	47.291
----------------------	----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

VPN(i)	AÑO	VPN(i)
VPN(0)	0	-112.000
VPN(1)	1	-78.602
VPN(2)	2	-46.201
VPN(3)	3	-18.027
VPN(4)	4	6.473
VPN(5)	5	27.777
VPN(6)	6	46.302
VPN(7)	7	62.411
VPN(8)	8	76.418
VPN(9)	9	88.599
VPN(10)	10	100.289



**ANÁLISIS :**

De acuerdo a la gráfica la inversión se recupera entre el tercer y cuarto año

## **VIII. CONCLUSIONES**

## **VIII.- CONCLUSIONES**

- Se ha tratado con este trabajo de estudiar los efectos que genera la presencia de componentes distintos al producto a adsorber en las torres de resina, y se comprueba que estos disminuyen el poder de adsorción.

### **Respecto al producto y el material adsorbente**

1. La recuperación de un aminoácido, en este caso Acido Glutámico, en torres de resina catiónica, es muy factible debido a la composición catiónica del aminoácido a pH bajos según su curva de disociación (figura III.3).
2. El uso de resinas de intercambio en el proceso de recuperación del aminoácido, facilita que el producto principal (AG) sea liberado en forma más concentrada (de 2.5 g/dl hasta 10 g/dl) en la etapa de elución, la cual es posterior a la adsorción del AG en la torre.

### **Respecto a la metodología**

3. Del trabajo realizado, se ha encontrado que manteniendo parámetros fijos de  $RV = 2$  y  $SV = 1$  y la relación (altura/diámetro) de lecho de resina, se logra un buen escalamiento de los parámetros concernientes a la adsorción del aminoácido en torres de resina de nivel industrial a nivel laboratorio por la similitud obtenida en las curvas de adsorción en ambos niveles, con lo cual podemos establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Respecto al proceso actual**

4. Del balance de materia del proceso actual (figura V.3), se encuentra que existe en el licor adsorbido una pérdida cercana al 11% en peso de AG respecto a la masa de aminoácido que ingresa por cada batch. Dado que esta pérdida tiene una importancia económica bastante significativa, se justifica el estudio y la optimización de las condiciones de operación de adsorción con la finalidad de aumentar el rendimiento hacia el AG y el uso de la resina de intercambio.
5. El estudio realizado mostró que dentro de todas las impurezas presentes en el licor de pH ajustado: cenizas, otros cationes, materia orgánica, bacterias, sólidos totales, lo que más podría afectar el proceso de adsorción en la torre de resina es la presencia del alto contenido de bacterias, en el orden de 7.044 g/dl, que se encuentran en el sedimento, con respecto al contenido de bacterias en el clarificado (0.192 g/dl) y en el licor original (1.551 g/dl)

**Respecto a las pruebas experimentales de acondicionamiento de la resina antes de la adsorción**

6. Los resultados obtenidos en el retrolavado de la resina, muestran que este proceso logra remover aproximadamente 2.5 veces en masa de impurezas que en el proceso de lavado de resina; sin embargo esta remoción es a costa de mayor uso de agua (aproximadamente 4.5 veces más que en el lavado- 11.5 Kl/ciclo), con lo que se demuestra la necesidad de modificar las condiciones actuales de ambas etapas.

7. En vista a la conclusión anterior y según las tendencias de las curvas para el lavado de resina, sería recomendable no cortar la operación en el volumen actual, ya que de acuerdo a las pendientes de las curvas descendentes a seguir todavía se justificaría un mayor consumo de agua por ciclo. Así mismo, para la evaluación en la etapa de retrolavado y de acuerdo a las curvas obtenidas, se justificaría hacer una reducción en el consumo de agua a tan sólo 40 Kl, ya que de 40 a 60 Kl la remoción de impurezas es poco significativa, ahorrándose de esta manera un consumo excesivo y que puede ser utilizado en la etapa de lavado.

#### **Respecto a las pruebas de adsorción**

8. Conservando las condiciones de operación de adsorción, se hizo una corrida de un licor llamado ideal (preparado con cristales puros de AG, ajustado a pH 1.65 y a la misma concentración de AG que la de licor de pH ajustado de planta, y libre de impurezas), con lo cual se obtuvo un rendimiento cercano al 99%, muy superior al obtenido en planta, que es de 70%, lo que confirma que la presencia de impurezas en el licor a adsorber afecta en una caída del poder de adsorción del producto principal (AG), y lo que justifica la realización de un tratamiento previo al licor antes de la adsorción.
9. De la prueba efecto temperatura en adsorción, se concluye que a menor temperatura se obtiene una mejora en la curva de adsorción (más cerca al eje de las abscisas), ya que el área bajo la curva representa las pérdidas de A.G. en el licor adsorbido. Esto confirma que la adsorción es un proceso exotérmico y a menor temperatura

posiblemente disminuye la solubilidad del A.G., pasando este a reaccionar con la resina.

10. De la prueba control de velocidad de acidificación con  $H_2SO_4$  al licor de pH ajustado, no se logra ninguna mejora en la curva de adsorción con ninguna de las condiciones dadas (flujos 300, 900 y 1800 l/min), por lo que se concluye que el flujo con que se ajusta el pH del licor a adsorber no es factor determinante para el rendimiento obtenido en la posterior adsorción.
11. Del ensayo realizado para ver la influencia de la composición de fases en el licor de pH ajustado, se observa que existe una mayor presencia de impurezas en la fase sedimento (bacterias, ceniza, sólidos totales), siendo el contenido de bacterias la más resaltante (7.044 g/dl) comparado con las otras fases. Las curvas de adsorción de cada una de estas fases, muestran que con la fase clarificado se obtiene una mejor curva (menor área bajo la curva) que con la del licor original, lo que representa una menor pérdida del producto en el licor adsorbido. Por otro lado, la curva de adsorción de la fase sedimento (con mayor contenido de impurezas) muestra una mayor área bajo la curva, lo que confirma que la presencia de impurezas origina mayor pérdida de AG en el licor adsorbido, por lo que se sugirió un tratamiento previo a este sedimento antes de la adsorción.
12. De la búsqueda de las mejores condiciones de filtración del sedimento, se concluye que a S.V.= 1.25 y R.V.= 3, sería la mejor combinación, debido al mayor cociente (pérdida de bacteria a pérdida de A.G.); además un R.V. más alto permite tratar más sedimento antes de proceder al lavado del lecho filtrante.

13. Los resultados obtenidos de la adsorción que se realiza en el proceso actual comparado con el propuesto (adsorción acompañada de una filtración de la fase sedimento), han demostrado que el método propuesto origina una mejora en el rendimiento de adsorción (69.13%) con respecto al 67.52% del proceso actual. Además al ingresar un licor más limpio a la torre de resina se logra un mayor tiempo de vida de esta, lo que redunda en un beneficio económico, mostrado en la evaluación económica.

#### **Respecto a la evaluación económica**

14. Se concluye, que con una inversión de \$ 112 000, y con un tiempo de vida del proyecto propuesto, se logra una rentabilidad económica, debido a un  $VPN > 0$  y  $TIR > TD$ . Además se obtiene un período de recuero de entre 3 y 4 años, haciendo atractivo el proyecto.

## **IX. BIBLIOGRAFIA**

**IX. BIBLIOGRAFIA**

1. Appbaum, Samuel B. "Intercambio de Iones". Editorial Reverte, pág. 146-161. 1992.
2. Broeg, Charles B. "Manual de Riegel de Química Industrial". Editorial Continental México, pág. 76-92. 1989.
3. Davies, V.R. "Solución a problemas y recomendaciones de mantenimiento a sistemas de Intercambio Iónico". Editorial Rohm and Hass- Canadá, pág. 47-52. 1991.
4. Francois de Dardel. "Ion Exchange: Principle and Applications". Editorial Wein Heim- Alemania., Pág. 51-60. 1995.
5. Kunin, R. "Intercambio Iónico". Editorial Mc Graw Hill, pág. 27-52.
6. Morrison y Boyd. "Química Orgánica" 5<sup>ta</sup> Edición. Editorial Addison Wesley Iberoamericana, pág. 225-241.
7. Norris Shreve, R. "Industria de procesos químicos". Editorial Dossat S.A.- Madrid, pág. 125-140. 1994.
8. Peters, Max S. "Diseño de plantas y su evaluación económica para Ingenieros Químicos". Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, pág. 130-162. 1994.
9. Porras Sosa, Emilio. "Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión". Petroperú. Pág. Todas. 1992.
10. Reichemberg D. "Los Intercambiadores Iónicos". Editado por Imperial Chemical Industries Limited. Pág. 27-62. 1992.
11. Rohm and Hass, "Ion Exchange Data". Editorial Prentice Hall, pág. Todas. 1995.

12. Romero Ludeña, Franz. "Diseño de un sistema de decolorización de soluciones azucaradas por Intercambio Iónico". Tesis de Grado. "Universidad Nacional de Ingeniería". 1996.
13. Sun Kou, María. " Desarrollo de catalizadores de cobre soportados en arcillas naturales y evaluación de los mismos en la reacción de deshidrogenación de metanol a formiato de metilo". Tesis de Maestría. "Universidad Nacional de Ingeniería". 1996.
14. Treyball E. Robert. "Operaciones de Transferencia de Masa" 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Hispanoamericana S.A., pág. 275-308. 1993.
15. Wade Jr, L.G. "Química Orgánica" 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., pág. 1171-1189. 1993.
16. Revista: Chemical Engineering, Editorial The Mc Graw-Hill, Diciembre 1997.
17. Revista: Chemical Engineering, Editorial The Mc Graw-Hill, Junio 1998.
18. Revista: Chemical Engineering, Editorial The Mc Graw-Hill, Agosto 1998.
19. Revista: Chemical Engineering, Editorial The Mc Graw-Hill, Abril 1999.
20. Revista: Mitsubishi Chemical Industries Limited. "DIAION: Manual of Ion Exchange Resins I". Editorial Limusa, pág. 45-72. 1994.
21. Revista: Mitsubishi Chemical Industries Limited. "DIAION: Manual of Ion Exchange Resins II". Editorial Limusa, pág. 52-83. 1994.