



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:**

---

**“ESTANDARIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE  
EL PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE  
GELATINA EN LA EMPRESA GELCO - PLANTA AMBATO”**

---

**Autora:** Samantha Michelle Azogue Guachichulca

**Tutor:** Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre - 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica con el tema: **“ESTANDARIZACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE PROCESO DEL INTERCAMBIO IÓNICO UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE GELATINA EN LA EMPRESA GELCO INTERNATIONAL– PLANTA AMBATO”**, elaborado por la Srta. **Samantha Michelle Azogue Guachichulca**, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 0605542455, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

### CERTIFICO:

- Que el presente proyecto técnico es original del autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022

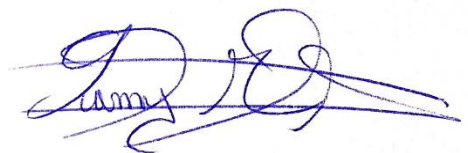
.....  
**Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Yo, **Samantha Michelle Azogue Guachichulca**, con C.I. 0605542455, declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente proyecto de titulación con el tema: **“ESTANDARIZACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE PROCESO DEL INTERCAMBIO IÓNICO UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE GELATINA EN LA EMPRESA GELCO INTERNATIONAL– PLANTA AMBATO”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



.....  
**Azogue Guachichulca Samantha Michelle**

**CI: 0605542455**

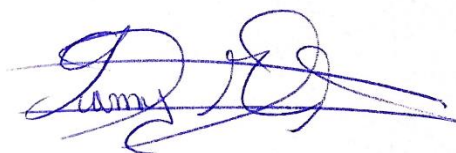
**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2022



.....  
**Azogue Guachichulca Samantha Michelle**

**CI: 0605542455**

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por la estudiante Samantha Michelle Azogue Guachichulca de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“ESTANDARIZACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE PROCESO DEL INTERCAMBIO IÓNICO UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE GELATINA EN LA EMPRESA GELCO INTERNATIONAL– PLANTA AMBATO”**.

Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:

.....  
**Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo**  
**Miembro Calificador**

.....  
**Ing. Mg. José Luis Yunapanta Velastegu**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación va dedicado en primer lugar a Dios quien me ha brindado las fuerzas y ganas suficientes para poder cumplir mi tan anhelado objetivo.*

*A mi madre Gloria Hortencia Azogue Guachichulca quien estando lejos me ha brindado su apoyo incondicional, con sus palabras de aliento*

*A mi padre José Eliseo Moreno Cortes a quien con su amor, cariño y comprensión me ha inculcado los valores y las ganas de salir adelante.*

*Además, a mis hermanos en especial a mi hermano William Samuel Moreno Azogue que siempre me ha acompañado en todas alegrías, tristezas es y serás mi pilar fundamental*

*Así mismo a mis compañeros de los cuales me han acompañado en mi vida estudiantil y brindado su apoyo.*

***Samantha Azogue***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mi prestigiosa institución por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente y enseñarme los valores de ética y moral.*

*Así también a mis profesores de toda la carrera gracias a ellos por brindarme sus conocimientos, sus experiencias las cuales motivaron a seguir en este camino.*

*A la empresa GELCO-PLANTA AMBATO especialmente a mi tutor interno Ing. Edgar Medina Estrella quien una persona a la cual llegue a admirar demasiado por brindarme la oportunidad de desarrollar mis habilidades y aprendizajes adquiridos en mi carrera.*

*Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Luis Escobar quien, con su conocimiento, guía y dedicación, comprensión se llevó a cabo el desarrollo del proyecto*

*A mi amigo Ing. Jonathan Sebastián Pujos Alcaciega quien ha estado siempre apoyándome en todas mis alegrías y tristezas de la vida universitaria, motivándome con el si podemos vamos.*

*A mi profesor de colegio Ing. Nelson Coque por llenarme de inspiración para poder elegir esta carrera que gracias a sus enseñanzas me llamó la atención el estudio de la ingeniería.*

*Y a todas esas personas que forman y formaron parte de mi vida en algún momento, en cada etapa las cuales me han apoyado con sus palabras de aliento, motivaciones sinceras.*

*Muchas gracias a todos.*

**Samantha Azogue**

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
GLOSARIO.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos .....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación teórica .....	3
1.1.4. Propiedades de la gelatina.....	3
1.1.5. Proceso de producción de la grenetina.....	9
1.1.6. Intercambio iónico .....	10
1.1.7. Deionización .....	11
1.1.8. Resina de intercambio iónico.....	12
1.1.9. Procesos de intercambio iónico.....	13
1.1.10. Características de las resinas de IO .....	16



1.1.11.	Cinética y selectividad.....	17
1.1.12.	Descripción de la resina.....	18
1.1.13.	Resina de intercambio iónico aniónico.....	18
1.1.14.	Descripción de una unidad básica de intercambio iónico .....	18
1.1.15.	Ciclo de trabajo de un intercambio iónico.....	19
1.1.16.	Operaciones de columna.....	23
1.2.	Objetivos.....	32
1.2.1.	Objetivo general.....	32
1.2.2.	Objetivos específicos .....	32
CAPÍTULO II .....		33
METODOLOGÍA .....		33
2.1.	Materiales y equipos.....	33
2.2.	Métodos .....	34
2.2.1.	Criterios de diseño.....	34
2.2.2.	Condiciones hidráulicas .....	38
2.2.3.	Condiciones de operación .....	43
2.2.4.	Condiciones del fluido .....	46
2.2.5.	Condiciones de diseño actuales.....	47
2.2.6.	Condiciones de resina .....	48
2.2.7.	Condiciones de diseño de tanque .....	49
2.2.8.	Códigos utilizados para el diseño de tanques.....	49
2.2.9.	Diseño de tanques de almacenamiento .....	49
2.2.10.	Soldaduras en tanques de almacenamiento .....	54
2.2.11.	Número de Reynolds .....	55
CAPÍTULO III .....		56

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	56
3.1.1. Cálculos.....	56
3.1.2. Cálculo de la caída de presión.....	59
3.1.3. Cálculo de presión en la columna .....	60
3.1.4. Presión de entrada a columna.....	60
3.1.5. Presión de salida.....	61
3.1.6. Presión de aire.....	62
3.1.7. Cálculo de la cantidad de regenerante.....	62
3.1.8. Tiempo de contacto con regenerante.....	62
3.1.9. Cálculo del flujo másico de vapor.....	63
3.1.10. Condiciones para el retro- lavado.....	64
3.1.11. Condiciones para el enjuague.....	64
3.1.12. Dimensionamiento de tanque .....	64
3.1.13. Cálculo de soportes.....	68
3.1.14. Cálculo y selección de la bomba .....	70
3.1.15. Número de Reynolds.....	70
3.1.16. Pérdidas de carga.....	71
3.1.17. Ecuación de Bernoulli .....	72
3.1.18. Potencia de la bomba.....	74
3.2. Propuesta de mejora en el proceso .....	75
3.3. Propuesta de mejora en el diseño 1 .....	75
3.4. Propuesta de mejora en el diseño 2 .....	77
3.5. Alternativas.....	80

3.6. Resumen propuesto de mejora aplicados al proceso .....	82
3.6.1. Proceso en estudio.....	84
3.6.2. Proceso propuesto 1 .....	86
3.1. Estimación de disminución de costos durante la regenerada .....	87
CAPÍTULO IV.....	91
4.1. Conclusiones.....	91
4.2. Recomendaciones.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS 95	
Anexo A . Propiedades del agua .....	95
Anexo B Diagrama de Moody .....	97
Anexo C Rugosidades de materiales .....	98
Anexo D Factor K para accesorios .....	99
Anexo E Malla tejido plano standard.....	100
Anexo F Ficha técnica crepina -filtro tipo k1 .....	101
FICHA TÉCNICA IO .....	102
PLANOS 103	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Características de las resinas de IO.....	15
Tabla 1:	Valores típicos utilizados para el diseño con resinas.....	15
Tabla 2:	Efecto sobre el sistema de intercambio iónico.....	29
Tabla 3:	Valores límite de la carga de sólidos suspendidos admisible por diversos tipos de columnas de IO.....	30
Tabla 4:	Cargas orgánicas y temperaturas máximas de trabajo para distintas resinas aniónicas	31
Tabla 5:	Rangos de consumo de regenerante para resinas fuertes.....	35
Tabla 6:	Valores típicos para el dimensionamiento de una columna de intercambio..	37
Tabla 7:	Porcentajes de hinchamiento de las resinas .....	37
Tabla 8:	Alturas del lecho según distintas configuraciones del sistema de intercambio iónico	37
Tabla 9:	Velocidades de flujo en distintas etapas del ciclo.....	37
Tabla 10:	Volúmenes de agua precisos para las operaciones de enjuague .....	37
Tabla 11:	La tasa de flujo de un fluido y la ecuación de continuidad.....	40
Tabla 12:	Velocidades de flujo recomendadas en tuberías y ductos.....	40
Tabla 13:	Requerimientos de diversos estándares para tanques .....	49
Tabla 14:	Selección de malla .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elevación de la resistencia del gel al 6 2/3% a 10°C cómo función del tiempo expresado cómo porcentaje de la resistencia final del gel. [2].....	4
Figura 2: Fuerza de gel en función de la concentración de gelatina a 10°C. [2].....	5
Figura 3: Variación de la resistencia en la mezcla relacionada con la temperatura y concentración para gelatina de bajo, medio y alto <i>Bloom</i> . [2].....	5
Figura 4: Pérdida de fuerza de gelificación a 60°C en función de pH y el tiempo [2]....	6
Figura 5: Pérdida de fuerza de gelificación con pH 5.5 relacionado con la temperatura y el tiempo. [2].....	6
Figura 6: La viscosidad de un sistema de gelatina/agua y su dependencia de la calidad, temperatura y concentración. [3].....	7
Figura 7: Los intercambiadores de iones en columnas grandes eliminan específicamente los cationes o aniones o des ionizar la solución de gelatina por completo. [6].....	11
Figura 8: Partículas de resina aniónica [11]......	13
Figura 9: Esferas mostradas a nivel de microscopio [12] .....	16
Figura 10: Proceso completo de desmineralización [15] .....	19
Figura 11: Distribución de carga de resina (esquemático) durante la carga y regeneración -modo de coflujo [13].....	20
Figura 12: Proceso de regeneración coflujo[16] .....	20
Figura 13: Distribución de carga de resina esquemático durante la carga y regeneración- modo de contra flujo. [13].....	21
Figura 14: Proceso de fuga típicos esquemáticos durante el ciclo de carga. [13].....	22
Figura 15: Proceso de regeneración de contra corriente [16].....	22
Figura 16: Proceso general de intercambio iónico [17] .....	24
Figura 17: Tipos de flujos [23].....	39
Figura 18: Dimensionamiento de tanques .....	50
Figura 19: Dimensionamiento de tanques .....	65

## GLOSARIO

**PDI:** Placa diversora de ingreso

**Brix:** mide la concentración de sal o azúcar mediante la utilización de un refractómetro en (°Brix).

**pH** (potencial de hidrógeno) es una medida de acidez en la disolución el cual indica la concentración de iones de hidrógeno en la disolución (potencial de hidrógeno)

**IO:** proceso de intercambio iónico

**PSI:** medida de presión por pulgada cuadrada

**UF:** ultrafiltración

**BLOOM:** Fuerza de gelificación de la gelatina se mide en grados Bloom.

**SOSA:** elemento químico constituido por moléculas NaOH hidróxido de sodio en este estudio utilizado para la regeneración

**CONDUCTIVIDAD:** o también denominada conductancia específica tiene la capacidad de conducir la electricidad en una solución de electrolito la unidad de medida es us/cm micro siemens por metro.

**VISOCIDAD:** propiedad de los fluidos caracterizada por la resistencia a fluir la viscosidad dinámica se mide en cp centipoise, la viscosidad cinemática se mide en  $m^2/s$  metro cuadrado por segundo.

**CENTIPOISE:** unidad de medida de la viscosidad dinámica cp.

**REGENERACIÓN:** etapa donde se restaura las partículas de resina

**RETRO LAVADO:** etapa en la cual se envía el fluido para el enjuague contrario durante la operación.

**TEMPERATURA:** unidad de medida de calor medida mediante un termómetro unidades °C grados centígrados.

**CAUDAL:** cantidad de fluido que atraviesa una sección transversal en un tiempo determinado se lo mide en  $\text{m}^3/\text{h}$  metros cúbicos por hora o gpm galones por minuto.

**RECIPIENTE:** depósito cerrado que almacena un fluido

**TANQUE:** depósito abierto que trabaja con presión atmosférica y con presiones muy bajas

**BV/h:** es el volumen por hora de líquido a tratar / volumen de resina, (Bed volumen)

## RESUMEN

El proceso de intercambio iónico en la obtención de grenetina es de suma importancia debido a que cumple funciones significativas tales como la absorción de sales el cual mejora las propiedades finales, brindando así un producto de calidad y competitividad en el mercado.

Las etapas principales para el funcionamiento de este proceso son: la operación, el retro lavado, la inyección química y el enjuague. En este estudio se realizó la estandarización de las condiciones de operación del proceso de intercambio iónico aniónico es decir se determinó las condiciones operativas como: caudal, presión de ingreso, velocidad de fluidización, caída de presión, potencia correcta de la bomba, mientras que durante la inyección química, se estableció el método adecuado para regenerar la resina que se agota durante el tiempo de trabajo, en el retro lavado se diseñó un filtro para evitar que la resina se vaya en el drenaje y en el enjuague se determinó la cantidad apropiada de agua a utilizar y la temperatura con la que se debe quedar embotellada la columna.

Las condiciones de operación disminuyeron el envejecimiento rápido de la resina, se propuso reducir en un 50 por ciento el consumo de químico, se evitó que la resina se vaya por el drenaje debido a que se fijó la malla adecuada para el filtrado y para el enjuague se determinó la temperatura del agua precisa a aplicar.

**Palabras clave:** Intercambio iónico, Intercambio aniónico, Resina aniónica, Columnas de intercambio, Retro lavado, Regeneración de resina.



## ABSTRACT

The ion exchange process in the production of grenetin is of utmost importance because it fulfills significant functions such as the absorption of salts which improves the final properties, thus providing a quality product and competitiveness in the market.

The main stages for the operation of this process are operation, backwashing, chemical injection and rinsing. In this study, the standardization of the operating conditions of the anionic ion exchange process was carried out, i.e., the operating conditions were determined, such as: flow rate, inlet pressure, chemical injection and rinsing: flow rate, inlet pressure, fluidization speed, pressure drop, correct pump power, while during chemical injection, the appropriate method was established to regenerate the resin that is exhausted during the working time, in backwashing a filter was designed to prevent the resin from going down the drain and in rinsing the appropriate amount of water to be used and the temperature at which the column should be bottled was determined.

The operating conditions reduced the rapid aging of the resin, it was proposed to reduce by 50 percent the consumption of chemical and the resin was prevented from going down the drain because the appropriate mesh was set for filtering and for rinsing, the precise water temperature to be applied was determined.

**Keywords:** Ion exchange, Anion exchange, Anionic resin, Exchange columns, Backwashing, Resin regeneration

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

En el estudio realizado por Héctor Miguel Ángel Carbajal Contreras en el año bajo el tema: “Rediseño de columnas de intercambio iónico catiónico en un proceso de producción de grenetina” concluye que: bajo las condiciones hidráulicas calculadas se alcanzó la fluidización por lo tanto el lecho es suspendido y compactado en la parte superior de la columna, el tiempo de operación por ciclo se incrementó en un 25% respecto al diseño anterior por lo tanto esto reduce el número de regeneraciones por año.

En la siguiente investigación realizado por Fanny Esther Hidalgo Domínguez y Marco Vinicio Guamán Pérez bajo el tema: “Diseño y construcción de un des mineralizador de lecho múltiple” se concluye que se empezó a notar el agotamiento de resina, luego de que por estas habían pasado 2300 litros de agua, un conocimiento correcto de la parte mecánica y operacional del equipo asegura un buen rendimiento de este, las resinas viejas son resquebradas perdiendo su vida útil, una correcta regeneración de las resinas se da utilizando los regenerante y sus concentraciones adecuadas, permite que la unidad des mineralizadora cumpla a satisfacción con su fin.

En el estudio realizado por Luis Alfredo Cervantes Anangón; “Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica” concluye: que para que el ablandador trabaje de forma correcta debe realizar los cuatro ciclos: servicio, retro lavado, regeneración y enjuague. Para conseguir un diseño funcional del equipo se debe considerar los parámetros establecidos de la velocidad lineal y la velocidad espacial los cálculos con eso se

garantizan que el fluido atravesará la cámara de resina a la velocidad adecuada con lo cual se garantiza el intercambio de iones en el fluido y la resina.

En el estudio realizado por Bach Ayala Capra, Zait Becker: “Informe de tesis para título profesional de ingeniero en energía” 2019 concluye: “el sistema de intercambio iónico trabaja en un rango de presión de 30 - 50 Psi con un caudal de suministro de agua de 9600 galones por día con resina catiónica en 20 ft cúbicos tanque de salmuera una válvula de control una bomba de alimentación de 20 galones por minuto a 40 psi que en los tiempos para la regeneración y tiene resina catiónica y quedan determinados en un total de 118 minutos aplicados lo que es en retro lavado 11 minutos succión de la salmuera 58 minutos enjuague 37 minutos de nada tanque de salmuera 12 minutos

Durante el proyecto realizado por Ismael Martínez González, “Automatización de una columna de intercambio iónico” 2012 concluye que durante la operación del intercambio iónico por lo general se lo realiza de forma semicontinua que atraviesa un fluido por un lecho fijo de resina, donde el funcionamiento no es estacionario debido a que la concentración de iones en cada punto del sistema varia.

### **1.1.2. Justificación**

El presente proyecto técnico se lo realizó con el fin estandarizar las condiciones de operación, basadas en un estudio previo para determinar parámetros de diseño en función de un rediseño del sistema de filtrado durante el intercambio iónico entre la resina y grenetina para la producción de gelatina en la empresa Gelco.

La grenetina es un fluido con alta densidad y viscosidad el cual es obtenido mediante la piel de ganado bovino conocida como carnaza, para obtener buenas propiedades como el pH, la conductividad, el color y disminuir el exceso de cenizas que se encuentran en el fluido de esta, se los filtra mediante un tipo de resina con el fin de atrapar (sales, calcio, sodio). [1]. El incremento prolongado del mercado de la producción de gelatina ha llevado a implementar un sistema de intercambio iónico para así satisfacer necesidades del cliente.

### **1.1.3. Fundamentación teórica**

**La grenetina.** - Es un coloide gel, por lo que es una mezcla semisólida a temperatura ambiente, incolora, translúcida, quebradiza e insípida por lo que en otros términos es una proteína compleja considerado un polímero compuesto de aminoácidos y químicamente se la conoce cómo un hidrocoloide que esta contiene 85% de proteínas, 12% de agua y entre el 1% al 2% sales, con propiedades las cuales son; fuerza de gel, viscosidad y transparencia. [2]

Según estudios realizados se tiene que la grenetina es considerada un elemento que se obtiene a partir de la hidrólisis de colágeno de la dermis de la piel del animal el mismo que es un tejido conectivo blanco también de puede obtener de huesos de animales [1]. Es un sólido vítreo, quebradizo y de un color tenuemente amarillo, este elemento contiene entre un 8 a 13% de humedad, con densidad relativa de 1,3 a 1,4 [3].

Entre las propiedades más importantes de la grenetina se tiene que son la fuerza y viscosidad del gel la cuales se tienden a debilitar sucesivamente por exceso de calor en solución por encima de los 40°C. entonces este elemento es una mezcla de fracciones compuesto de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos formando así polímeros que cuentan con un rango de masa molecular de 15 000 a 400 000. Además, en términos simples esta consta de 50.5% de carbono, 6.8% de hidrogeno, 17% de nitrógeno y 25.55% de oxígeno. [3]

### **1.1.4. Propiedades de la gelatina**

**Propiedades anfóteras.** -es decir que esta se puede comportar cómo ácido o base que cuando hay soluciones ácidas se carga positivamente (catión) mientras en soluciones alcalinas se carga negativamente (anión).

**Concentración.** -se tiene que la concentración química es una cantidad en donde las sustancias se disuelven (solute) con relación a la sustancia que lo disuelven (solvente), estas se expresan por molaridad, molalidad o fracción molar. (%p/p; %v/v; %p/v; ppm). [4]

**Fuerza de gel (BLOOM).** -esta propiedad es la primera más importante, debido a que cuando una solución acuosa de gelatina con una concentración alta o aproximada al 0,5% se enfría a 35-40°C esta eleva su viscosidad para así formar un gel, todo esto depende de la concentración de gelatina, la fuerza intrínseca, el pH, la temperatura y cualquier aditivo [3].

Brix. - El brix es una unidad, que mide la concentración de sal o azúcar mediante la utilización de un refractómetro en este caso para la aplicación del estudio mide el nivel de azúcar en la gelatina. [5]

A continuación, se muestra en las figuras 1, 2, 3 y 4 la calidad de formación de gel de gelatina donde se tiene que están en función del tiempo, la concentración, el pH y la temperatura.

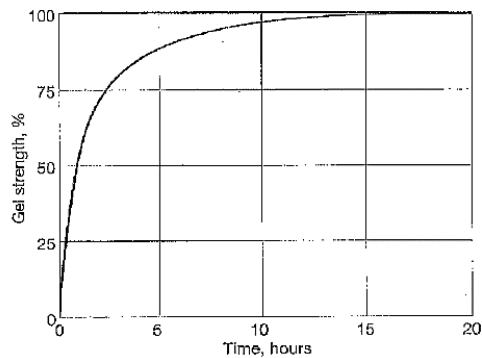


Figura 1: Elevación de la resistencia del gel al 6 2/3% a 10°C cómo función del tiempo expresado cómo porcentaje de la resistencia final del gel. [3]

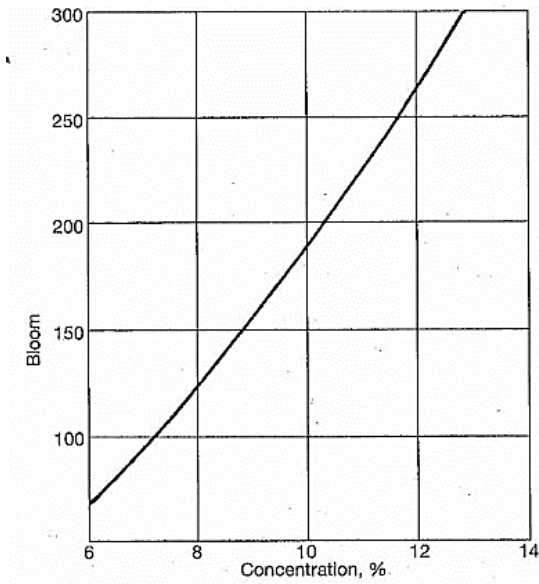


Figura 2: Fuerza de gel en función de la concentración de gelatina a 10°C. [3]

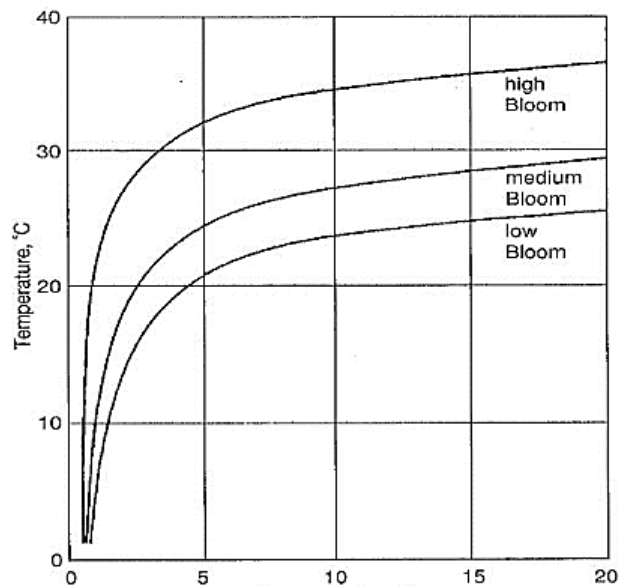


Figura 3: Variación de la resistencia en la mezcla relacionada con la temperatura y concentración para gelatina de bajo, medio y alto *Bloom*. [3]

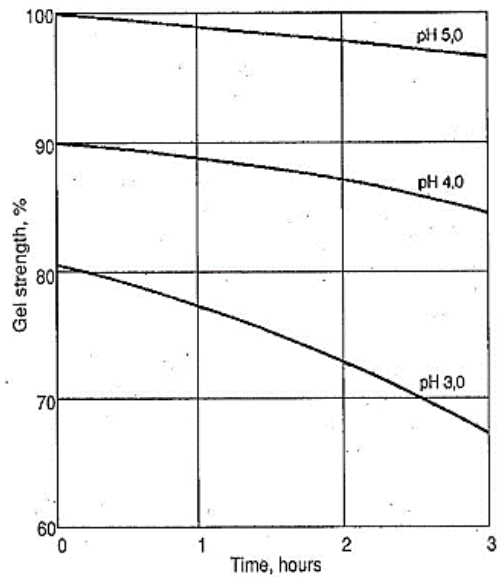


Figura 4: Pérdida de fuerza de gelificación a 60°C en función de pH y el tiempo [3]

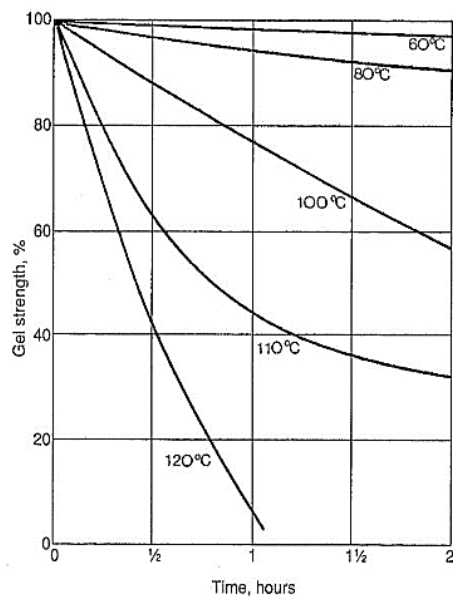


Figura 5: Pérdida de fuerza de gelificación con pH 5.5 relacionado con la temperatura y el tiempo. [2]

**Viscosidad.** – es la propiedad que le sigue al *Bloom* como más importante y clave de la gelatina, esta depende de su aplicación. Si en algunos casos se necesita viscosidades elevadas, por ejemplo, para estabilizar alimentos, productos farmacéuticos y emulsiones fotográficas, en la industria comercial elige por gelatina de la viscosidad de baja evitando

así efectos de “cola”. La viscosidad estándar para medirla se requiere una pipeta calibrada, determinando el tiempo de ejecución para 100 ml de una solución de gelatina al 6,67% a 60 0 ° C teniendo en resultado en mPa \* s o cP. [6]

Un efecto que puede tener la viscosidad es que esta está en función de la distribución del peso molecular en donde la gelatina de mayor *Bloom* puede tener viscosidad baja comparadas con gelatinas de bajo *Bloom*. En la figura 6 se tiene un ejemplo de cómo varía la viscosidad en función del tiempo y en función de la concentración.

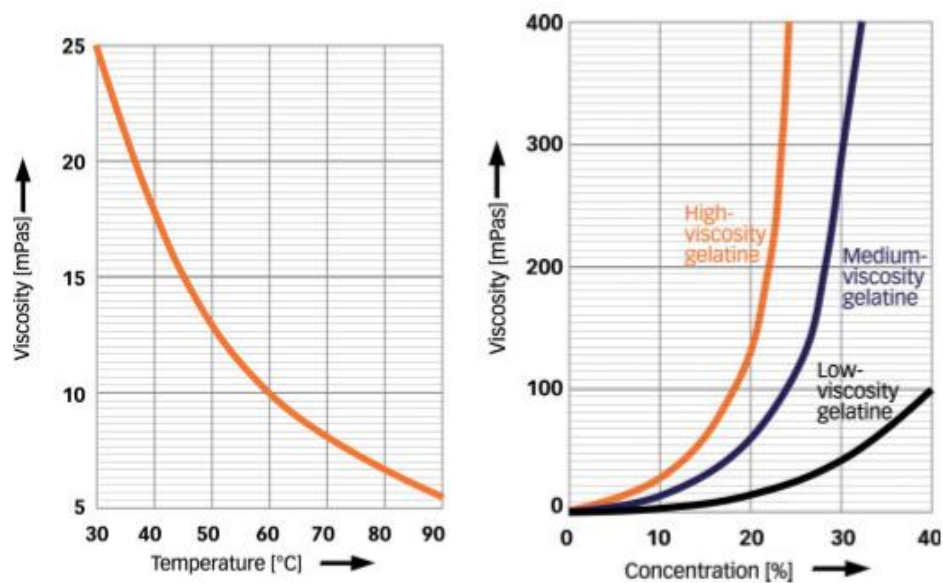


Figura 6: La viscosidad de un sistema de gelatina/agua y su dependencia de la calidad, temperatura y concentración. [3]

### Potencial hidrógeno pH

En algunas especificaciones reglamentarias, el pH se especifica dentro de un rango muy amplio. Sin embargo, también es un criterio que puede influir en el procesamiento posterior de gelatina. Por ejemplo, tiene una influencia considerable en la formación de espuma y la interacción de la gelatina con los otros componentes de una formulación particular. Es, por lo tanto, generalmente se incluye en el Certificado de



Análisis. La medición del pH se lleva a cabo típicamente en una solución de gelatina al 6,67% a 55-60°C usando un electrodo de vidrio. [6]

Se tiene que el pH es aplicado para medir qué tan elevado se encuentra la concentración de iones de hidrógeno en las soluciones, en un sistema acuoso se tiene la concentración sea ácida o básica, es decir, que cómo es una medida se la utiliza en términos de acidez o alcalinidad.

La escala utilizada para medir el pH va desde 0 a 14, donde las sustancias con  $\text{pH} < 7$  son consideradas ácidas mientras que la alcalinas con un  $\text{pH} > 7$ , y si tienen un  $\text{pH} = 7$  es neutro. [7]

### **Componentes inorgánicos**

La determinación de cenizas y numerosos iones de metales pesados está prescrita por la ley. Tales determinaciones también son de relevancia tecnológica: en el sector farmacéutico y los sectores fotográficos, por ejemplo, los clientes a menudo requieren gelatina con un contenido de ceniza bajo.

La cantidad de cenizas en la gelatina varía según el tipo de materia prima y el método de proceso que las pieles y la oseína contienen principalmente sales de calcio de los ácidos que son utilizados en la neutralización después del encalado, para lo cual se utiliza el proceso de intercambio iónico para así desmineralizar o eliminar cenizas de gelatinas. [3]

### **Conductividad**

La conductividad eléctrica se determina utilizando una célula de medición y una solución al 1% de gelatina. El valor, expresado en  $\text{BS cm}^{-1}$ , permite el contenido de sales solubles en la gelatina a estimar. El análisis depende en gran medida de la temperatura y, por lo tanto, se lleva a cabo a 30°C. La prueba es un excelente suplemento a la ceniza la determinación cómo conductividad y contenido de cenizas juntos indican la verdadera cantidad de sal en un tipo particular de gelatina.

### **Turbidez**

Es una propiedad que mide la transparencia del líquido la cual se puede encontrar con materias insolubles o extrañas de manera de emulsiones o dispersiones las mismas que se han estabilizado por la acción coloidal de la gelatina o a una gelatina isoeléctrica.

#### **1.1.5. Proceso de producción de la grenetina**

Para la obtención de este producto se utiliza el proceso de hidrolisis parcial del colágeno, en donde es una materia prima de origen animal que se le encuentra en la piel porcina, el cuero y los huesos de ganado bovino. El colágeno por su origen natural es insoluble que mediante la aplicación del algún proceso se convierte en un producto soluble en agua templada. [8]

#### **Pretratamiento**

**Proceso ácido.** -este proceso se lo realiza para gelatina tipo A, la cual pertenece al grupo de materia prima porcina, el cual se someta a un lavado ácido durante 24 horas.

**Proceso alcalino.** – proceso realizado para la obtención de gelatina de materia prima oseína o piel bovina, durante el cual el proceso puede durar semanas por su tratamiento alcalino.

#### **Extracción**

En la industria se tiene dos tipos de extracción para la obtención de grenetina, la que es extracción continua y discontinua, en esta operación es desnaturalizar el colágeno, en donde se mezcla lo que es agua con una temperatura que va desde los 60°C hasta los 100°C, por diferentes medios de mezclas el colágeno se hidroliza y se disuelve en el agua. [3]

Un método clásico es el proceso continuo en donde se añade agua caliente y la materia prima en bruto se van añadiendo continuamente al recipiente de extracción y la solución se retira continuamente, mediante el pH, la temperatura se pueden ajustar las propiedades de la gelatina. [9]

#### **Purificación**

Después de la extracción el fluido contiene un contenido elevado de grasa y fibras estas provocan niveles de turbidez importantes, razón por la cual se somete a un intenso proceso de purificación, es decir pasan por filtros que en cada planta difiere en base a su experiencia completando así el tratamiento mecánico. Para completar la purificación se aplica el proceso de deionización para así eliminar sales que se encuentran en la gelatina (proceso de intercambio iónico). [9]

### **Concentración**

Durante este proceso se aplica el uso de evaporadores de múltiples etapas para así eliminar cierta parte del agua de la solución de gelatina, convirtiéndole a la solución más viscosa.

### **Secado**

Seguido del proceso anterior se procede a la esterilización de seguridad para posterior a ser enfriadas hasta su solidificación, formando así “fideos de gel” los cuales son extruidos y se depositan en una cinta dentro el secador, donde la gelatina es secada con un aire filtrado, purificado, pre-secado y esterilizado, obteniendo así una gelatina dura y quebradiza para así ser molida y posterior almacenada de manera provisional, luego se autoriza después de pasar un examen bacteriológico, físico y químico para el siguiente proceso. [9]

### **Molido, tamizado y mezclado**

Estas son las tres últimas etapas, el producto se encuentra almacenado después de haber recibido la autorización final del laboratorio de control de calidad solo así se entrega al cliente. [9]

#### **1.1.6. Intercambio iónico**

Durante el proceso de intercambio iónico se tiene iones libres móviles de un sólido en un intercambiador en donde mediante una reacción química interactúan distintos iones con carga parecida a la disolución.

### 1.1.7. Deionización

Cómo consecuencia del acondicionamiento y la neutralización, la solución de gelatina, a pesar de numerosos pasos de lavado, todavía contiene cantidades considerables de sales minerales. Las cenizas contenidas en la gelatina se encuentran en un rango del 2-3%, por lo cual con prioridad supera el límite requerido por la parte de la farmacéutica y las regulaciones alimentarias, estas necesitan menos del 2%, la farmacéutica solicita un nivel de cenizas inferior al 1% para ciertas aplicaciones. Mientras que, en la industria de la fotografía se ocupa gelatina “libre de sal”, es decir, con contenido de ciertos cationes de sólo unas pocas partes por millón. Las sales disueltas ejercen una influencia sobre la mayoría de las propiedades físicas de gelatina, que empeoran con el aumento del contenido de sal. A veces, sin embargo, sólo ciertas sales son indeseables. Por ejemplo, si la gelatina de alto contenido en sulfato se disuelve en agua potable que contiene mucho calcio, el producto secado final puede demostrar turbidez causada por el calcio su destino o precipitados de otras sales insolubles. Para evitar tales efectos no deseados, se pasa la solución de gelatina diluida a través de intercambiadores de iones (ver Figura 8).



Figura 7: Los intercambiadores de iones en columnas grandes eliminan específicamente los cationes o aniones o desionizar la solución de gelatina por completo. [6]

Estos eliminan cationes o aniones específicamente o, utilizando la llamada cama mixta procedimiento, la solución se puede des ionizar completamente en un solo paso. El método tiene la ventaja de que la composición final de sal mineral se puede ajustar a la solicitud prevista. La ultrafiltración también es una técnica adecuada para des aglutinar gelatina. Aquí, en efecto de concentración sobre la solución de gelatina diluida, las sales se re emocionan. La nanofiltración con un tamaño de poro de aproximadamente 0,005 micras es otra posibilidad. Sin embargo, debido al rendimiento de ion, solo es práctico cuando las sales minerales deben eliminarse parcialmente. Los iones son átomos o grupos de átomos los cuales atraen a carga positiva o negativa en un proceso de transferir los electrones, donde el átomo neutro acepta o rechaza electrones en función de esa característica tiende a formar cationes y aniones. [6]

#### **1.1.8. Resina de intercambio iónico**

Los materiales utilizados para la fabricación se tienen que son sintéticos, solidos e insolubles en agua los cuales tiene forma de esferas o perlas que cuentan con un rango de medida de 0.3 1.2 mm de tamaño efectivo difieren de algunas que si son en polvo.

Este tipo de resinas se compone por una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos las cuales se encuentran en una matriz de un polímero sintético, estas actúan tomando, cediendo iones de las soluciones de manera simultánea de otros iones [10].

Para eliminar iones una técnica utilizada es pasar la sustancia o las sustancias a través de resinas, el intercambio iónico tiene varias aplicaciones cómo a continuación se mencionan:

- Recuperación de uranio
- Decoloración y reducción de cenizas en soluciones de azúcar
- Recuperación y purificación de estreptomicina
- Remoción del ácido fórmico del formaldehído

- Recuperación de metales
- Desalinización de aguas salobres
- Eliminación de acidez de efluentes minero-metalúrgicos

### 1.1.9. Procesos de intercambio iónico

#### Fundamentos de los procesos de IO

Durante el proceso de intercambio iónico se trata de un componente sólido el cual está rodeado con un elemento líquido en donde mediante un balance estequiométrico se produce un intercambio de iones positivos (cationes) o negativos (aniones). [11]

Cationes: calcio, magnesio, bario, estroncio y radio

Aniones: fluoruro, nitrato, arseniato, cromato, ácidos húmicos y fúlvicos.

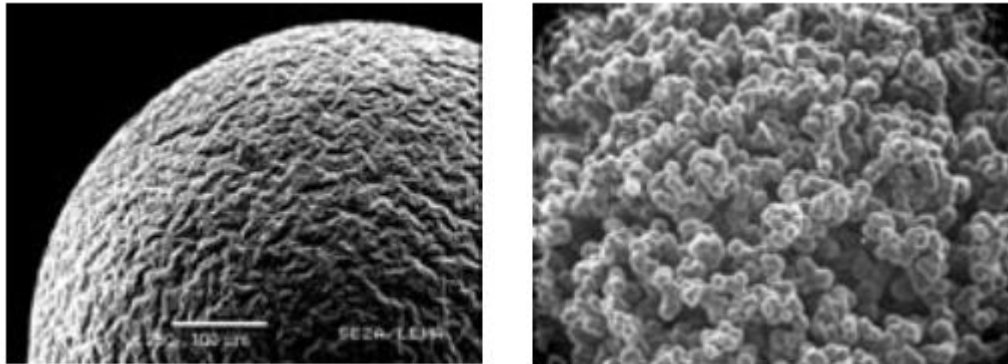


Figura 8: Partículas de resina aniónica [10].

#### Tipos de resinas de intercambio iónico

Para la fabricación de resinas de IO en la actualidad se utilizan materiales compuestos sintéticos en donde se las obtiene por copolimerización de estireno y vinil benceno o partir de materiales acrílicos. Existen varios tipos de resinas las cuales se clasifican de su estructura química, ya sea esta ácidas o básicas, a continuación, se mencionan cuatro tipos de resinas en base a sus componentes químicos

- **Resinas catiónicas ácido fuerte (SAC).** -estas contienen grupos sulfúricos  $-SO_3-$ , estos grupos funcionales son ácidos fuertes que cuando son disueltos en forma acuosa se los puede encontrar hidrolizados, estas atraen iones cargados positivamente intercambiando así protones o sodio las cuales dependen de formas ácida o sal sódica.
- **Resinas catiónicas ácido débil (WAC).** -estas contienen el grupo carboxilo  $-COO^-$  como parte de su grupo funcional, absorben o eliminan cationes con un balance estequiométrico también absorben otros ácidos débiles en la disolución tales como; bicarbonatos, los cuales para una regeneración es muy sencilla.
- **Resinas aniónicas base fuerte (SBA).** -estas contienen iones de amonio cuaternario como grupo funcional, se subdividen en dos clases tipo 1 y tipo 2.
- **Resinas aniónicas bases débil (WBA).** -este tipo de resina contienen un grupo funcional amino, las cuales a su vez son muy fáciles para la regeneración debido a que son vulnerables a la hidrólisis, estas son capaces de absorber o eliminar ácidos fuertes, pero a la vez estas pueden absorber aniones ácidos débiles como silicatos o bicarbonatos, este tipo de resina en el proceso de regeneración es muy eficiente debido a que se la hace de manera casi estequiométrica utilizando el hidróxido de sodio, estas deben ser utilizadas cuando en los influentes tienen un nivel alto de sulfatos y cloruros. [12]

En la siguiente tabla 2 se observa la caracterización y reacción de equilibrio durante el intercambio de los cuatro tipos de resinas presentadas anteriormente.

Tabla 1: Características de las resinas de IO

Tipo de resina	Reacción fundamental de intercambio iónico	Iones regenerantes (X <sup>+</sup> )	pK	Capacidad de intercambio, meq/l	Iones eliminados
Catiónica ácido fuerte	$n[\text{RSO}_3]\text{X}^+ + \text{M}^{n+} \leftrightarrow [\text{nRSO}_3]\text{M}^{n+} + \text{nX}^+$	H <sup>+</sup> o Na <sup>+</sup>	< 0	1,7 – 2,1	Forma H <sup>+</sup> : cualquier catión Forma Na <sup>+</sup> : cationes divalentes
Catiónica ácido débil	$n[\text{RCOO}]\text{X}^+ + \text{M}^{n+} \leftrightarrow [\text{nRCOO}]\text{M}^{n+} + \text{nX}^+$	H <sup>+</sup>	4 - 5	4 – 4,5	Cationes divalentes >> cationes monovalentes
Aniónica base fuerte – Tipo 1	$n[\text{R}(\text{CH}_3)_3\text{N}^+]\text{X}^- + \text{A}^{n-} \leftrightarrow [\text{nR}(\text{CH}_3)_3\text{N}^+]\text{A}^{n-} + \text{nX}^-$	OH <sup>-</sup> o Cl <sup>-</sup>	> 13	1 – 1,4	Forma OH <sup>-</sup> : cualquier anión Forma Cl <sup>-</sup> : sulfato, nitrato, perclorato...
Aniónica base fuerte – Tipo 2	$n[\text{R}(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})\text{N}^+]\text{X}^- + \text{A}^{n-} \leftrightarrow [\text{nR}(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})\text{N}^+]\text{A}^{n-} + \text{nX}^-$	OH <sup>-</sup> o Cl <sup>-</sup>	> 13	2 – 2,5	Forma OH <sup>-</sup> : cualquier anión Forma Cl <sup>-</sup> : sulfato, nitrato, perclorato...
Aniónica base débil	$[\text{R}(\text{CH}_3)_2\text{N}]\text{HX} + \text{HA} \leftrightarrow [\text{R}(\text{CH}_3)_2\text{N}]\text{HA} + \text{HX}$	OH <sup>-</sup>	5,7 – 7,3	2 - 3	Aniones divalentes >> aniones monovalentes

X: catión no metálico; M: catión metálico; N: nitrógeno; A: anión

Fuente: [11]

Tabla 1: Valores típicos utilizados para el diseño con resinas

Tipos de resina	Cargas superficiales mínima y máxima (m/h)	Altura mínima del lecho (m)	Temperatura máxima de operación (°C)	Capacidad efectiva (eq/l)	Regenerante (g/l resina)
Catiónica ácido débil	3 – 20	0,6	120	0,5 – 2,0	110% teórico (HCl o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Catiónica ácido débil	3 – 30	0,6	120	0,5 – 1,5	80-250 NaCl 35-200 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 66 °Bé 80-500 HCl 20 °Bé
Aniónica base débil	3 – 17	0,75	40	0,8 – 1,4	35 – 70 NaOH
Aniónica base fuerte	3 – 17	0,75	50	0,35 – 0,7	70 – 140 NaOH
Mezcla equivalente de catiónica y aniónica base fuerte	Máx. 40	1,2	50	0,2 – 0,35 (según la mezcla)	El mismo que catiónica y aniónica por separado

Fuente: [13]



### 1.1.10. Características de las resinas de IO

#### Presentación y propiedades físicas de resinas de IO

La representación de las resinas por lo general se encuentra en esferas de distribución gaussiana llegando partículas desde 0.04 a 1.2 mm, así como las esferas de presentación uniforme, en las siguientes figuras se tiene la figura 10 con representación gaussiana y la otra con tamaño uniforme a nivel de microscopio.

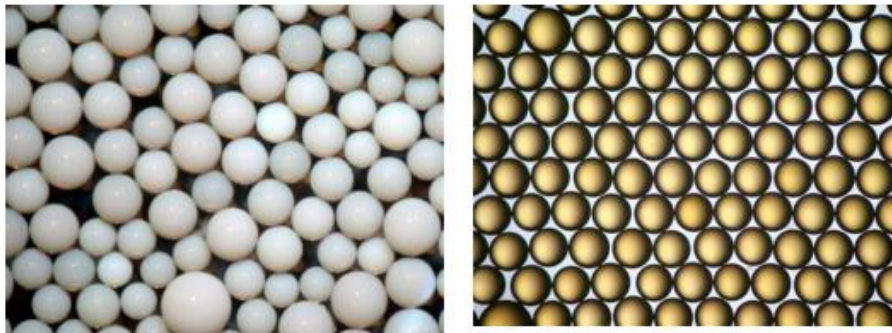


Figura 9: Esferas mostradas a nivel de microscopio [11]

El fabricante por lo general proporciona información necesaria como los parámetros, el tamaño de las partículas, el intervalo de tamaño de partícula, el tamaño medio de la partícula y el coeficiente de uniformidad. El tamaño de la esfera estipula algunos aspectos operativos y su rendimiento que se consigue en el IO de las cuales dos parámetros de destacan:

- Mientras el tamaño de las partículas sea elevado, la tasa de intercambio iónico se reduce.
- Las partículas de resina se rompen debido a que las pérdidas de carga en el lecho se elevan las cuales someten a dichas condiciones.

Estas características opuestas son necesarias para obtener en una solución adecuada al momento de seleccionar el tamaño correcto de partículas de resina.

**Capacidad de intercambio iónico.** – es la capacidad de intercambiar iones con condiciones de trabajo adecuadas, las cuales están se muestran en equivalentes por unidad de masa o de volumen de resina, se las pueden encontrar también en

CaCO<sub>3</sub> por unidad de volumen de resina o masa de iones por unidades de volumen de resina.

La capacidad se define para las siguientes condiciones operativas:

- **La capacidad máxima.** -es la cantidad total de iones intercambiados por unidad de masa de la resina (miliequivalentes por gramo) meq/g.
- **La capacidad efectiva.** -es la ionización completa esta viene a ser la fracción de la capacidad máxima
- **La capacidad dinámica.** –esta capacidad está en función del tiempo entre las variables resina y fluido a tratar, es decir representa el no haber alcanzado aun el equilibrio entre las fases mencionadas.
- **La capacidad operativa o capacidad útil.** – es la cantidad real que alcanza la resina ya una vez operativa en proceso, esta depende de varios aspectos cómo: el tipo de regenerante aplicado a la resina, las propiedades químicas del fluido a tratar, el caudal de operación, la temperatura de funcionamiento, el tamaño de la partícula, en condiciones óptimas la capacidad mencionada suele encontrarse entre el 40% y 70% del total.

#### **1.1.11. Cinética y selectividad**

La velocidad a la que se encuentra el proceso de IO de especies iónicas entre la fase sólida y líquida, dependiendo del tiempo que necesitan para alcanzar el equilibrio entre las dos fases. [12]. La transferencia de iones consta de tres etapas:

- Se produce transferencia desde la parte interna de la esfera hasta la parte externa denominada capa límite en donde no interfiere en absolutamente nada el tamaño de la resina
- La velocidad de intercambio es inversamente proporcional al radio de la partícula de resina desde la parte externa de la partícula hasta su superficie.
- De manera similar se produce el intercambio del ion desde la parte externa hasta la parte interna de la esfera.

### **1.1.12. Descripción de la resina**

La estructura y las características de intercambio iónico de las resinas disponibles comercialmente aparecen comúnmente en forma de un resumen de datos o «especificación» que figuran en la documentación sobre productos facilitada por todos los líderes fabricantes de resina. La terminología contenida en dicha técnica boletines se enumera en la Tabla 4.1 y comprende un descripción física y química de cualquier resina. Típicamente, un ion la resina de intercambio se describe cómo "débil o fuerte", "ácida o básica",

### **1.1.13. Resina de intercambio iónico aniónico**

Este tipo de resina es un tipo de resina de IO débilmente alcalina, es una resina de intercambio aniónico de tipo altamente poroso débilmente básica. Tiene funcionalidad de amina terciaria con alta eficiencia de regeneración. Se recomienda una amplia gama de aplicaciones, especialmente en un campo de eliminación de sustancias orgánicas, pretratamiento de aguas crudas que contienen incrustantes orgánicos, des ionización y decoloración de hidrolizados de almidón. [14]

### **1.1.14. Descripción de una unidad básica de intercambio iónico**

El proceso de intercambio iónico se trabaja por lo general bajo el modelo de lecho, fijo o móvil, colocado en una columna o tanque en donde el fluido sea capaz traspasar el lecho filtrante de resina sin ninguna obstrucción, por lo general existen dos o más columnas debido a que una se encuentra regenerando la otra debe estar operativa.

En la figura 10 se muestra un esquema detalla de una columna de IO en donde una columna no se la debe ocupar todo el lugar debido a que mientras la resina trabaja en su proceso de intercambio esta tiene un porcentaje de hinchazón llegando a tener desde un 30% hasta un 100% dependiendo del tipo de resina.

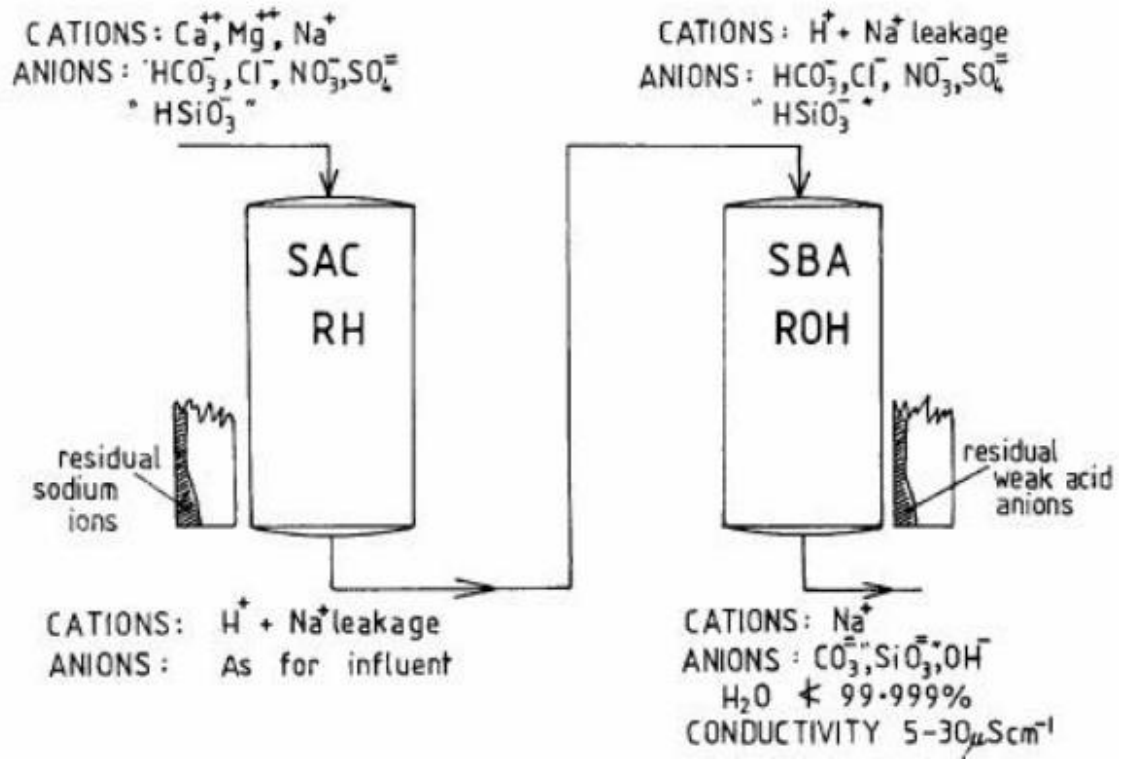


Figura 10: Proceso completo de desmineralización [15]

### 1.1.15. Ciclo de trabajo de un intercambio iónico

En la química tradicional se tiene que el intercambio iónico es una reacción química reversible, el proceso de IO estándar de la gelatina trata de un arreglo en serie de un lecho de intercambio con resina catiónica fuerte seguida de un lecho estratificado de resina aniónica débil y fuerte. El tipo y cantidad de estos lechos va en función de las características del fluido a ser tratado. [6]

En los procesos de intercambio iónico en columna se puede trabajar de dos modos:

- **Ciclo de regeneración (coflujo)**

Se considera coflujo cuando las disoluciones de carga y de regeneración se introducen siempre por la parte superior de la columna cómo se puede apreciar en la figura 15. es decir la regeneración juntamente con el enjuague tienen la misma dirección que el ciclo de carga u operación con el flujo de manera descendente, donde el regenerante concentrado con la superficie superior del lecho de resina el

cual a la vez se encuentra agotada con iones de elevada afinidad por la resina, donde los equilibrios de la regenerada se vuelve desfavorable mientras el regenerante avanza por el interior de la columna, la concentración se ve agotada mientras esta recorre esta produce después un intercambio. Como resultado del coflujo en la superficie superior del lecho se encuentra altamente regenerada, pero de forma contraria en la salida de la columna la resina se regenera parcialmente como se muestra en la figura 11 y figura 12.

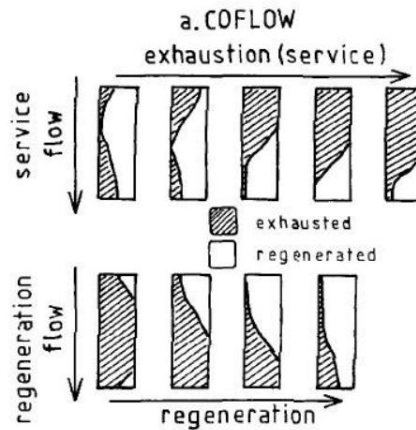


Figura 11: Distribución de carga de resina (esquemático) durante la carga y regeneración -modo de coflujo [12]

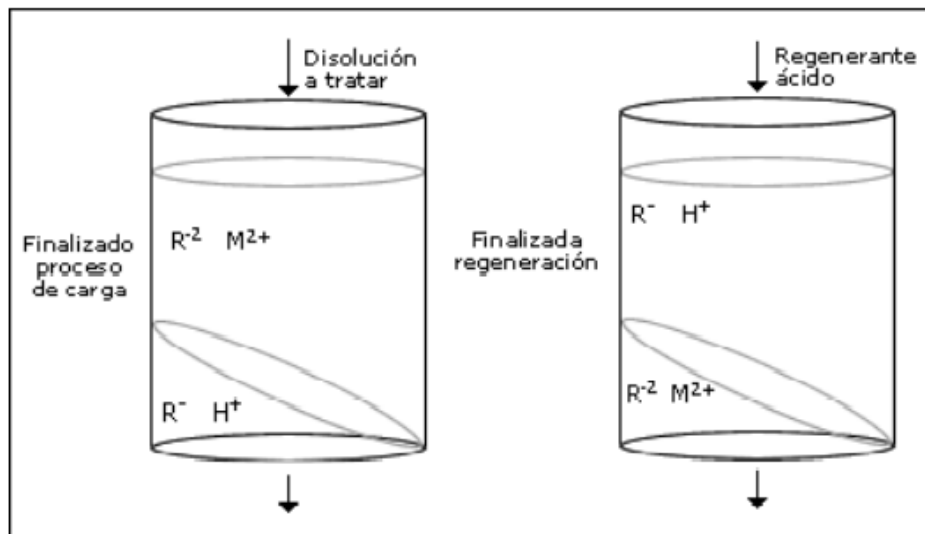


Figura 12: Proceso de regeneración coflujo [13]

- **Ciclo de regeneración (contra flujo)**

El regenerante se introduce en dirección opuesta a la disolución de carga, cómo se muestra en la figura 15. Este proceso se denomina, proceso en contracorriente, que durante la regeneración el fluido químico regenerador y enjuague es opuesto al ciclo de carga de la columna, el regenerante fresco y concentrado entra en contacto con la región de la columna de resina menos agotada, los iones de menor afinidad para la resina, cómo resultado la eficiencia general de regeneración y grado de conversión en toda el área de salida de resina es elevado.

Cómo historial de las columnas que aplican el contraflujo se muestra en la figura 16. la zona de salida de servicio de lecho se encuentra totalmente regenerada dando cómo resultado que la fuga por elución se reduce grandemente en la figura 17 se aprecia entre los dos tipos de regeneración

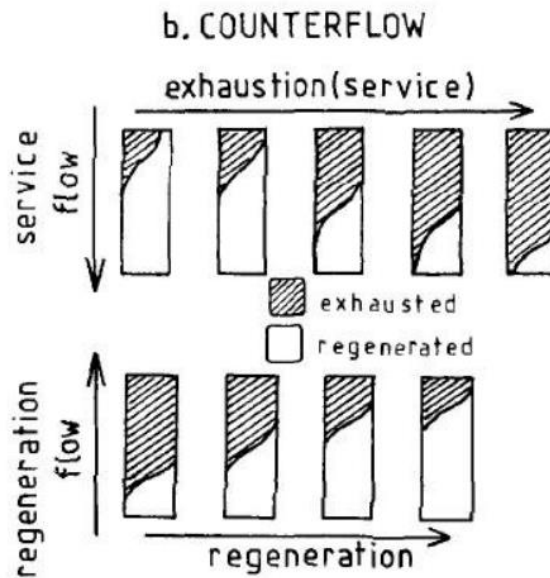


Figura 13: Distribución de carga de resina esquemático durante la carga y regeneración- modo de contra flujo. [12]

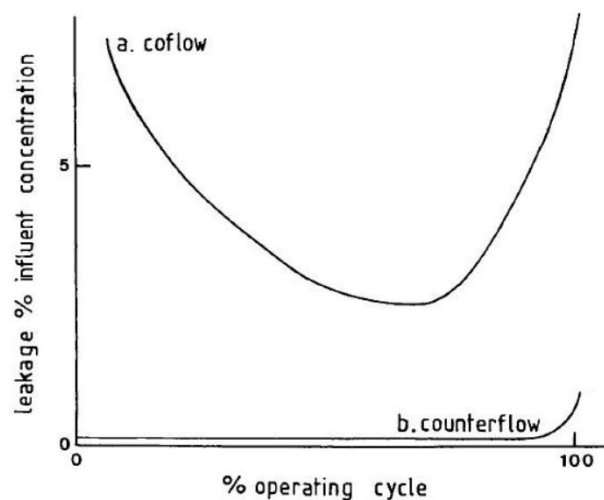


Figura 14: Proceso de fuga típicos esquemáticos durante el ciclo de carga. [13]

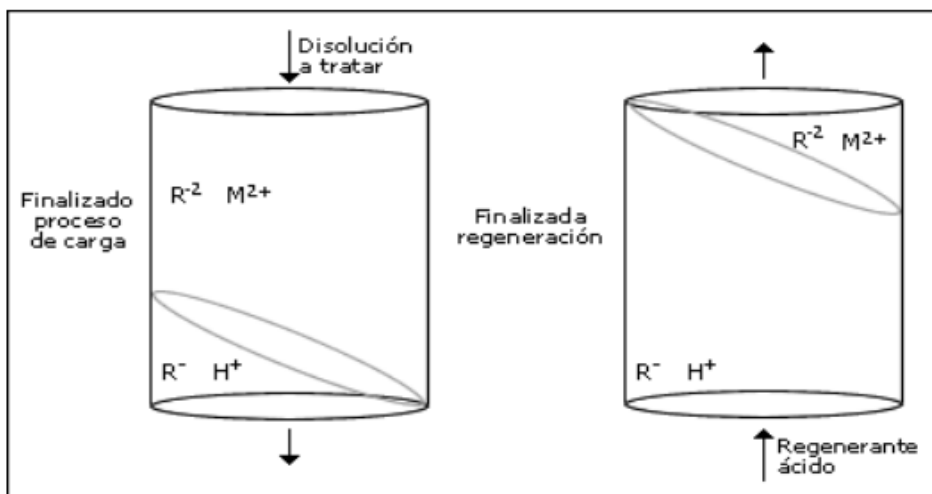


Figura 15: Proceso de regeneración de contra corriente [13]

El procedimiento más común es el primero, ya que supone un equipamiento más barato que el segundo. No obstante, este modo de operación utiliza el regenerante menos eficientemente que el proceso en contracorriente. En éste, al pasar el regenerante de abajo a arriba, se fluidiza el lecho de intercambiador, de manera que se aumenta la superficie de contacto, la regeneración es más rápida y se necesita menos volumen de regenerante.

### **Ventajas del contra flujo**

- Eficiencia de regeneración muy mejorada
- Inventario de resina más bajo
- Calidad del producto tratado mejorado

Estas ventajas en la regeneración de contraflujo de lecho fijo, es importante que el lecho de resina permanezca compactado y sin perturbaciones durante la carga y la regeneración de flujo inverso

#### **1.1.16. Operaciones de columna**

De entrada, para entender el proceso de intercambio iónico general, se requiere analizar y explicar los términos que por lo frecuente surgen cuando se describe las operaciones de las unidades de intercambio iónico. El proceso de columna mostrado de forma general por la Figura 19 suministra una base sólida donde, cómo un ejemplo, se pretende eliminar los cationes  $B^+$ ,  $C^+$  y  $D^+$  de una solución acuosa de electrolitos mixtos  $BX$ ,  $CY$  y  $DZ$  por intercambio de cationes  $A^+$  en la resina. En aras de la simplicidad, los cationes se asumen monovalentes y en asociación con los iones  $X^-$ ,  $Y^-$  y  $Z^-$ . De manera similar ocurriría si se tuviera un caso de intercambio iónico aniónico, en donde los aniones pasan por una solución acuosa de electrolitos mixtos, por intercambio de aniones. [16]



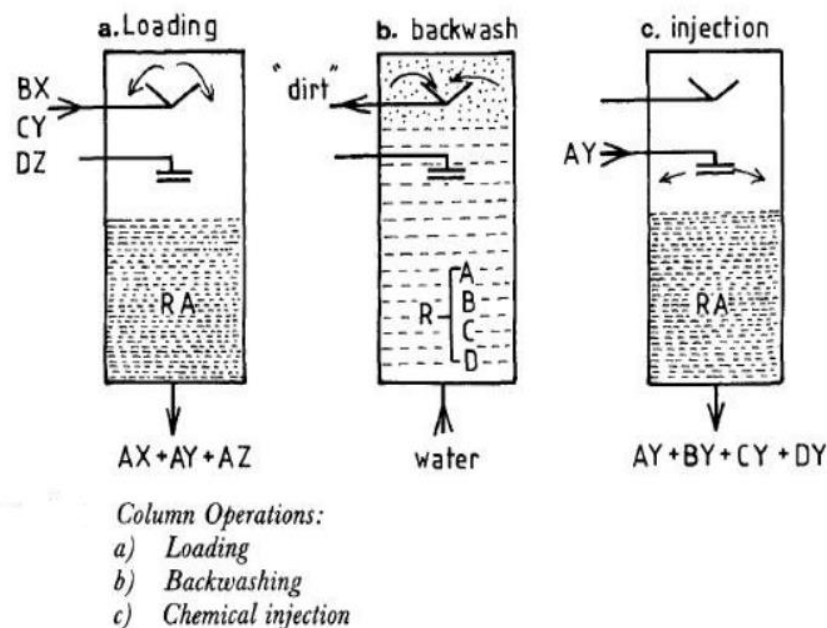


Figura 16: Proceso general de intercambio iónico [16]

- **Carga u operación**

Para la operación de una columna se empieza con el paso de una solución electrolítica mixta a través de la columna de resina de IO, creando así una corriente continua de componentes mixtos AX, AY, AZ teniendo una concentración total igual a la de la alimentación de la columna. El fluido residual de la columna se destina al producto final o le permite ingresar a otro tratamiento de IO debido a estas razones se denomina el ciclo de trabajo de una columna, que cuando esta alcanza su capacidad operativa, puede ser el volumen requerido a tratar (capacidad medida) o por la calidad del producto cae por debajo de los límites predeterminados (capacidad de avance). [16]

Cuando ya el producto atraviesa la resina y no cumple con las capacidades mencionadas el proceso se detiene y la columna se la pone fuera de servicio, está a la vez se prepara para regenerar. Debido a que la carga debe continuar el equipo debe estar diseñado para cambiar de una columna a otra columna o se tiene una alternativa para que el ciclo sea continuo. Al final del ciclo de carga en la operación

de lecho fijo, la columna permanece inundada con la carga parcialmente manipulada con agua previamente tratada. [16]

- **Retro lavado**

El retro lavado, cómo su nombre lo indica, se lo realiza alimentando agua desde el fondo de la columna a la de colección del fluido y permitiéndole salir por la parte superior de la columna. Los orificios de salida no están cubiertos de algún medio de retención de sólidos, porque otro propósito del retro lavado es remover las partículas finas de resina y despojos de esta del lecho. La pérdida de resina es impedida por el control adecuado del flujo de retro lavado para que la expansión de la resina solamente ocupe una parte del espacio libre disponible sobre el lecho.

Un buen retrolavado requiere mantener el lecho con una expansión del 50% aproximadamente de 15 a 20 min. La expansión obtenida depende de la Ley de Stokes para esferas y las variables involucradas son:

- a. Diferencia de densidad entre la resina y el líquido.
- b. Tamaño de la partícula.
- c. Viscosidad del líquido.
- d. Velocidad lineal de flujo.

A partir que la densidad y viscosidad del agua son función de la temperatura, la expansión obtenida es sensible a la temperatura. Cuando el período de retro lavado termina, el flujo es detenido y permite que las partículas se asienten antes de iniciar el siguiente paso.

Con algunas excepciones, que se indican a continuación, el primer paso en la secuencia regenerativa de operaciones es el retro lavado con un flujo de agua controlado para producir típicamente una expansión de la cama en un 30-40%, el retro lavado de una cama se la realiza para realizar los siguientes requisitos que son importantes:

1. Eliminar las partículas que hayan entrado en la alimentación del fluido y se hayan filtrado atravesando los centímetros superiores del lecho de resina. Un lecho de IO no es un filtro en el sentido de operación de la unidad, esto se puede tolerar en un rango de 2-4 g/m<sup>3</sup> de sólidos suspendidos, el taponamiento de los lechos de resina a través de una carga excesiva de suciedad da lugar a un diferencial inaceptable a través del lecho (caída de presión), la cual causa; la disminución del flujo así como también genera una fuerza de compresión neta muy elevada para romper las perlas de resina tal vez distorsionar o romper los componentes internos fabricados. Para las caídas de presión influye el tipo de resinas, pero en cualquier caso no es recomendable trabajar con presiones diferenciales a través del lecho de resina por sí solo muy superior a 170 kPa (1.7bar). [16]
2. Para eliminar pequeños fragmentos rotos de resina de IO o resina fina que surgen a través de la degradación normal anticipada de la resina, pero estos se eliminarán los fragmentos demasiados pequeños como para llevarse a cabo con el flujo ascendente. [16]
3. Para clasificar el lecho mediante el cual la resina rota que es demasiado gruesa para ser lavada por completo se acumula en la superficie de la cama de donde se puede eliminar mediante raspado. La acumulación de resina rota y totalmente fina se debe controlar en el lecho de la resina, porque esto causa una elevada caída de presión la cual aumenta de manera rápida que más resina se rompa. Los granos de resina después de un largo período de uso tienden a romperse y fragmentarse, dando lugar al apareamiento de las denominadas multas, que son partículas de malla con dimensiones de (0,297 milímetros o 0.0117 pulgadas de diámetro); es necesario eliminar estas multas de resina para mantener buenas condiciones hidráulicas del lecho de resina, prevenir la canalización y la caída de presión. [16]
4. Para descomprimir y homogeneizar el lecho de resina, disminuyendo la caída de presión y eliminar de cualquier forma las rutas de flujo preferenciales o la canalización, de modo a que reduce la capacidad de intercambio de resina y el avance prematuro de la columna. [16]

5. También se lo aplica para clasificar lechos de resina mixtos en donde en el interior de la columna se quiere obtener una separación entre diferentes tipos de resina. [16]

- **Inyección química**

La inyección química es el siguiente paso del ciclo de regeneración durante el cual se pasa una solución electrolítica adecuada de concentración típicamente entre 5-150 kg/m<sup>3</sup> a través de la resina para convertirla a su forma iónica inicial lista para el siguiente ciclo de tratamiento. Para empezar la siguiente etapa, primero la columna recibe un enjuague de desplazamiento regenerador corto seguido de un enjuague rápido más largo para purgar el lecho de resina de los últimos rastros de producto químico regenerador. De igual forma que el alimento puede conservarse “endulzando una columna antes de la regeneración”, el “endulzamiento” puede aplicarse al comienzo del ciclo de carga cuando se desechan o reciclan los primeros volúmenes de lecho del producto de la columna, ya que este producto inicial se diluye en gran medida mediante el enjuague desplazado (frecuentemente agua). [16]

- **Enjuague**

Otra etapa del ciclo de operación de un lecho fijo de intercambio iónico es el enjuague. Normalmente, se lleva a cabo después de la regeneración, excepto en los casos en que el regenerante remanente en el lecho no dañara a la solución a tratar. [16]

En tratamiento de aguas, normalmente, se puede emplear el agua cruda para lavar el lecho, tirando o reciclando el fluente, mientras que en la mayoría de los procesos químicos se emplea agua desmineralizada hasta que se alcanza cierta concentración de regenerante en el efluente. [16]

El lavado consiste en dos etapas: la inicial es llamada desplazamiento y consiste en hacer pasar agua a la misma velocidad a la que se hizo pasar el regenerante (cómo uno

o dos volúmenes del lecho). Esto sirve para expulsar el grueso del regenerante a través del lecho. [16]

En la segunda etapa de lavado, se aumenta la velocidad de flujo para reducir el tiempo requerido hasta alcanzar una aceptable calidad del efluente antes de iniciar la siguiente etapa del ciclo, así como expulsar completamente cualquier residuo de regenerante. [16]

La cantidad de agua necesaria para el lavado es una característica importante del sistema de intercambio. Si el volumen es excesivo, se provoca un gran desperdicio de agua y si es muy pequeño, se disminuye el tiempo de vida útil de la resina y los tiempos de ruptura. El volumen de agua de lavado depende del tipo de resina, naturaleza del regenerante, diseño del equipo, temperatura Y velocidad de flujo, los requerimientos de lavado se incrementan con los tiempos de operación, particularmente en las resinas aniónicas. [16]

Las siguientes condiciones de lavado son recomendadas y han demostrado ser aplicables a muchos procesos industriales, tanto químicos como de tratamiento de aguas:

- Primera etapa (desplazamiento) misma velocidad de flujo que la regeneración empleada (1 a 2 VL)
- Segunda etapa (lavado) 10-15 veces el volumen del lecho a 10 VL/h

### **Parámetros y estrategias de control**

- **Composición del fluido de entrada al sistema**

Las propiedades físicas y químicas del fluido a tratar son de vital importancia ya que estas afectan de una manera u otra el rendimiento del proceso de intercambio iónico

- **Salinidad**

Es un factor crítico para el funcionamiento adecuado de un sistema de IO y a veces es la causa más frecuente de un mal funcionamiento en la siguiente tabla se puede

observar algunos efectos de la variación de en la concentración de sales sobre un funcionamiento de IO:

Tabla 2: Efecto sobre el sistema de intercambio iónico

<b>Modificación</b>	<b>Efecto sobre el sistema de intercambio iónico</b>
Cambio en la composición salina del fluido de alimentación	Variación de la calidad del fluido a tratar. El volumen de resina puede desajustarse. La producción de CO <sub>2</sub> puede verse modificada
Incremento en la concentración de silicatos	Aumenta la fuga de sílice en el efluente. Para su control es preciso modificar las condiciones de regeneración de la resina.
Mayor concentración de sales disueltas	Ciclos de operación más breves. Se reduce el volumen de fluido tratado se ve alterada.
Menor concentración de sales disueltas	Ciclos de operación prolongados. Aumenta el volumen de agua tratada por ciclo. Es posible espaciar la regeneración de la resina.

Fuente: [17]

Se debe mantener una monitorización permanente del fluido de alimentación en las columnas de intercambio, así cómo también las fluctuaciones, y ajustar de nuevo las condiciones de operación (frecuencia de regeneración), y se debe estimar las condiciones de trabajo del sistema y la duración del ciclo de operación bajo todos los supuestos y reajustar el sistema. [17]

#### - **Materias en suspensión**

Un sistema adecuado de funcionamiento de intercambio iónico es controlar o minimizar las materias en suspensión debido a que estas llegan a atascar las columnas provocando así que se realice un retro lavado seguido el cual no es muy recomendable. [15]

A continuación, se tiene algunos de admisión según Dardel:

- En columnas que se regeneran en co-corriente, el retro-lavado del lecho se lo realiza antes de cada regeneración, el cual permite eliminar materias sólidas acumuladas en el lecho. Este proceso es aplicado cuando el ciclo de trabajo no supera las 24 horas donde las columnas pueden tolerar a los miligramos por litro

de gasolina en suspensión. pero si el ciclo de trabajo supera las 24 horas los sólidos suspendidos acumulados puede llegar a generar pérdidas de carga en el hecho. [15]

- las columnas que utilizan el proceso en contra corriente para la regeneración por lo general no se somete a retro lavado al final de cada con la finalidad de mantener el correcto funcionamiento de la estratificación del hecho. pero aquí es necesario realizar un seguimiento de sólidos suspendidos para así determinar la pérdida de carga en el hecho dando cómo resultado realizar un proceso de retro lavado. [15]
- Se tiene que cuando las columnas con hechos compactados éstas no se someten a retro lavado un sitio debido a que son muy sensibles de la presencia de materias en suspensión cómo un valor de indicador se tiene que la concentración no debe superar de 1 mg/l. [15]
- Cómo limites admisibles en la materia en suspensión se debe expresar cómo: la masa total que se almacena mientras la columna se encuentra operativa en función a la sección transversal de la columna. En la siguiente tabla se muestra algunos valores sugeridos por Dardel. [15]

Tabla 3: Valores límite de la carga de sólidos suspendidos admisible por diversos tipos de columnas de IO

<b>Sistema de regeneración de la columna</b>	<b>Carga máxima admisible por ciclo (kg · m<sup>-2</sup>)</b>
Co-corriente	6
Flujo dividido	6
Contracorriente con bloqueo por aire o agua	2
Condensados	2
Upcore™ y similares	0,5
Amberpack™ y similares	0,2
ADI™, ADN™	0,1

Fuente: [18]

### - **Temperatura**

La temperatura del agua es decir en la solución regenerante que ingresa a la columna de intercambio iónico tiene una gran capacidad de afectación en el rendimiento del sistema. “Cómo normativa general, la capacidad operativa de todas las resinas

aumenta con la temperatura hasta ciertos límites operativos” donde va a estar en función de los componentes de la resina y su proceso de fabricación

- **Las resinas catiónicas** son altamente eficaces a temperaturas elevadas superando así los 100°C pero en la degradación es acelerada debido al estrés térmico
- **Las resinas aniónicas** estas son muy sensibles debido a su composición química porque el calor deteriora los grupos funcionales, en este tipo de resina se tiene que en todos los casos se encuentra por debajo de los 60°C.

En la siguiente tabla se incluyen algunos tipos de resinas con límites orientativos de temperatura de trabajo y regeneración para resinas aniónicas, y las temperaturas de trabajo específico para cada resina se las encuentra en la ficha técnica.

Tabla 4: Cargas orgánicas y temperaturas máximas de trabajo para distintas resinas aniónicas

Tipo de resina aniónica	Temperatura máxima (°C)	Carga orgánica máxima (g KMnO <sub>4</sub> /l resina)	Máximo valor del índice de ensuciamiento N
BF estirénica tipo 1, gel	60	2	3
BF estirénica tipo 2, gel	35	3	6
BF estirénica tipo 1, macroporosa	60	4	6
BF estirénica tipo 2, macroporosa	35	5	10
BF acrílica	35	8	15
BF acrílica macroporosa	60	15	18
BF selectiva a nitrato, macroporosa	35	2	3
Acrílica bifuncional	25	10	15
BD estirénica, macroporosa	60	12	12
BD acrílica, gel	60	25	20
BD selectiva a boro	40	5	6

*BF: Base fuerte; BD: Base débil*

Fuente: [18]

### Valor del pH en resinas

El valor de pH en las resinas por lo general se encuentra desde 0-14, para las resinas catiónicas un buen funcionamiento el pH del fluido a tratar es alto es decir exceso de H<sup>+</sup> mientras que para las aniónicas trabajan correctamente con pH bajos o exceso de OH los rangos de pH de operación para distintas categorías de resinas de intercambio iónico se muestran en la siguiente tabla.



<b>Tipo de resina</b>	<b>Rango de pH de operación</b>
Ácido débil	6 – 14
Ácido fuerte	4 – 14
Básica débil	0 – 7
Básica fuerte	0 – 9

Fuente. [18]

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Estandarizar las condiciones de operación durante el proceso de intercambio iónico para la producción de gelatina en la empresa Gelco International– Planta Ambato

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros de diseño y condiciones de operación actuales aplicados en el proceso.
- Realizar un estudio de diseño para estandarizar los parámetros y condiciones, para el funcionamiento adecuado del sistema.
- Elaborar la propuesta de estandarización y optimización de condiciones de operación

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Materiales y equipos**

##### **Registro de parámetros de diseño y condiciones de operación**

- Materiales:
  - Libreta de registros
  - Ficha técnica (Proporcionada por la empresa)
  - Base de datos
- Equipo:
  - Flexómetro
  - Manómetro
  - Tanques
  - Bomba
  - Sensor de pH
  - Sensor de conductividad
  - Termómetros
  - Medidor de flujo
  - Horómetro
  - Visores
  - Válvula reguladora de aire

##### **Diseño y propuesta de estandarización**

- Materiales:
  - Planos
  - Fichas técnicas
- Equipo:
  - Flexómetro
  - Software de diseño
  - Manómetro

## **2.2. Métodos**

### **Descripción de la Metodología**

El enfoque para todo el proceso investigativo en este estudio técnico es cualitativo y cuantitativo debido a que se ajusta con la realidad de la investigación realizada, debido a que es necesario observar y obtener datos reales de campo.

### **Tipo de Investigación**

Los tipos de investigación en función con el tema del proyecto serán:

#### **Investigación Bibliográfica**

La investigación bibliográfica es necesaria en la elaboración de este trabajo técnico porque brinda la información necesaria a través de investigaciones previas relacionados con el tema, libros, tesis para obtener una guía y proceder al desarrollo de la investigación con una referencia del tema.

#### **Investigación Exploratoria**

Este tipo de investigación permite recolectar información en campo debido a que se realizará vivitas periódicas en el proceso, el registro de datos como: caudal de trabajo, presiones de trabajo, y ciclos de operación en distintos turnos.

#### **Investigación de laboratorio**

Se desarrolla en el laboratorio de la misma planta en donde el fluido que pasa por el lecho filtrante es llevado en muestras para su respectivo análisis en donde se obtiene las propiedades.

### **2.2.1. Criterios de diseño**

#### **Consideraciones de partida**

Los requisitos para el fluido de alimentación y su tratamiento previo con mucha precaución en especial a los sólidos disueltos, el que haya materia o partículas impuras pueden llegar a colmar a la columna. El tipo y diseño de las columnas de IO se debe considerar de vital importancia al agente regenerante.

### **Selección del sistema de regeneración de la resina**

Independiente de la configuración designada se debe mantener el lecho en un estado compacto debido a que los iones pueden encontrar espacio entre esferas de la resina y no alcanzar la distancia necesaria para el intercambio, la fluidización se puede utilizar únicamente por los procesos de retro lavado y para la separación de resina en caso de lechos estratificados.

### **Selección del tipo de resina y del esquema de tratamiento**

Para la selección del sistema de IO, esta varía según el tipo de fluido a tratar y sus propiedades en donde al productor le convenga por temas económicos considerar algunas alternativas en

### **Estimación del consumo de reactivos regenerante**

Se tiene que como eficiencia química para la regeneración en una columna de IO es un parámetro adimensional.

$$\text{Volumen de resina (litros)} = \left( \text{Salinidad del fluido} \left( \frac{\text{eq}}{\text{m}^3} \right) \right) * \left( \text{Volumen tratado m}^3 \right) * \left( \text{Capacidad operativa} \left( \frac{\text{eq}}{\text{l}} \right)^{-1} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

Debido a que lo teórico aplicado en el uso del regenerante siempre es mayor a la unidad que oscilan entre 105% y 300% el cual depende del flujo y reactivo regenerante se aplique al proceso. En la tabla se tienen algunos consumos de reactivos regenerante los cuales su función es incrementar la capacidad operativa y reducen pérdidas iónicas pero la eficiencia química del sistema empeora en conjunto.

Tabla 5: Rangos de consumo de regenerante para resinas fuertes

<b>Tipo de resina</b>	<b>Regenerante</b>	<b>Cantidad de producto puro, g/l resina</b>
Catiónica ácido fuerte	NaCl	80 -300
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80 – 250
	HCl	40 – 200
Base ácido fuerte	NaOH	40 – 100
	NH <sub>3</sub>	30 – 60
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	60 – 130
	NaOH	40 – 200

Fuente: [19]

### **Retro lavados y expansión del lecho**

Esto se lo realiza de manera que ascienda un caudal uniforme de agua a la columna para que se produzca el recorrido del fluido a través del lecho de resina, logrando así retirar o llevarse elementos tipo polvos acumulados cuando la columna está operativa y en la regenerada.

### **Dimensionamiento del sistema**

Cómo requisitos para el diseño se deben considerar lo siguiente:

- a. La calidad del fluido a tratar
- b. Método de regeneración seleccionado (co-corriente o contracorriente)

Estos valores definen la capacidad operativa del sistema, utilizando un factor de seguridad de 5% para resinas catiónicas y un 10% para resinas aniónicas es recomendable para determinar las condiciones adecuadas de operación esto se hace para considerar cuando la resina ya tienda a envejecer debido a su utilización, esta capacidad se la puede estimar con pruebas piloto a escala, utilizando las curvas características que ofrecen los fabricantes.

A continuación, se muestran tablas con algunos parámetros de diseño de un intercambio iónico para resinas monodispersas.

Tabla 6: Valores típicos para el dimensionamiento de una columna de intercambio.

Parámetro	Valores de referencia
Diámetro máximo	3,5 metros
Pérdida de carga máxima en el lecho	1 bar
Relación (Altura del lecho/diámetro)	2/3 – 3/2
Espacio libre para expansión	80 – 100% de la altura del lecho

Fuente: [20]

Tabla 7: Porcentajes de hinchamiento de las resinas

Tipo de resina	Porcentaje de hinchamiento
Catiónica ácido fuerte	5 – 8%
Catiónica ácido débil	15 – 20%
Aniónica base fuerte	15 – 25%
Aniónica base débil	15 – 25%

Fuente: [20]

Tabla 8: Alturas del lecho según distintas configuraciones del sistema de intercambio iónico

Configuración del sistema	Profundidad del lecho, mm
Co-corriente, resina única	800
Contracorriente, resina única	1200
Lecho estratificado, aniónica base fuerte	800
Lecho estratificado, aniónica base débil	600

Fuente: [20]

Tabla 9: Velocidades de flujo en distintas etapas del ciclo

	Velocidad de flujo (m/h)
Operación: Enjuague rápido	5 – 60
Operación: afinado del condensado	75 – 120
Regeneración co-corriente: enjuague	1 – 10
Regeneración contra-corriente: enjuague	5 – 20

Fuente: [20]

Tabla 10: Volúmenes de agua precisos para las operaciones de enjuague

Tipo de resina	Volumen de agua para enjuague
Catiónica ácido fuerte	2 – 6 BV
Catiónica ácido débil	3 – 6 BV
Aniónica base fuerte	3 – 6 BV
Aniónica base débil	2 – 4 BV

*BV: Volumen del lecho (bed volume)*

Fuente: [20]

**Número de líneas.** - la cantidad adecuada de líneas en operación se las puede estimar mediante la ecuación mostrada en base a la recomendación si el caudal supera los 400 m<sup>3</sup>/h pero si la cantidad de caudal es menor a la mencionada se considera entre dos o tres líneas aproximadamente

Mediante la fórmula que se muestra a continuación se puede estimar el número de líneas optimo. [11]

$$N \text{ de líneas} = \frac{\text{Tiempo de operación} + \text{tiempo de regeneración}}{\text{tiempo de regeneración}}$$

### 2.2.2. Condiciones hidráulicas

**Presión.** – se tiene cómo definición de presión es la cantidad de fuerza que se aplica en una unidad de área de alguna sustancia, en Pa esto se lo presenta mediante la siguiente ecuación.

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

F: Fuerza que se ejerce (N)

A: Área de sección transversal aplicada (m<sup>2</sup>)

**Densidad.** – es la cantidad de masa por unidad de volumen en kg/m<sup>3</sup>

$$\rho = m/V \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

m: masa (kg)

V: volumen (m<sup>3</sup>)

**Peso específico.** -es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia en (N/m<sup>3</sup> o lb/pie<sup>3</sup>), con frecuencia se lo representa en relación con la densidad del fluido.

$$\gamma = \rho * g \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$\gamma$ : peso específico ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$ : aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

### **El flujo de fluidos y la ecuación de Bernoulli**

En la mecánica de fluidos se tiene cómo la mecánica de medios continuos el cual estudia el movimiento de los fluidos, las fuerzas que provocan el movimiento, la interacción entre el fluido y el contorno que lo limita, el fluido es una sustancia que fluye y que toma la forma del recipiente que lo contiene. [21]

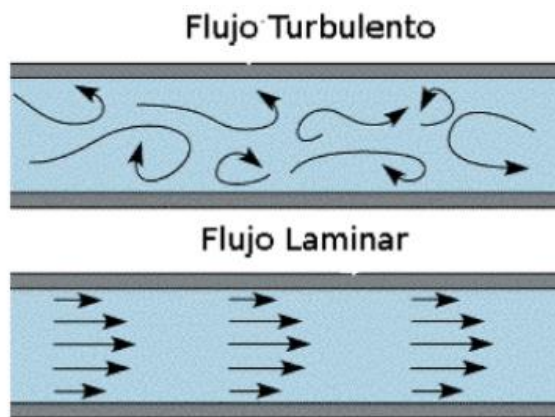


Figura 17: Tipos de flujos [21]

### **La tasa de flujo de un fluido y la ecuación de continuidad**

Se establece que la cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo se los puede expresar mediante las siguientes definiciones:

Q: El flujo volumétrico es el volumen de fluido que atraviesa una sección por unidad de tiempo.

W: El flujo en peso

M: el flujo másico



En la tabla 6 se resume los tres tipos de flujos

Tabla 11: La tasa de flujo de un fluido y la ecuación de continuidad

Símbolo	Nombre	Definición	Unidades SI	Unidades del sistema inglés
<b>Q</b>	Flujo volumétrico	$Q = A * v$	m <sup>3</sup> /s	pie <sup>3</sup> /s
<b>W</b>	Flujo en peso	$W = \gamma * Q$ $W = \gamma * A * v$	N/s	lb/s
<b>M</b>	Flujo másico	$M = \rho * Q$ $M = \rho * A * v$	kg/s	slugs/s

Fuente: [22]

### Velocidades de flujo recomendadas en tuberías y ductos

Se tiene muchos factores que influyen para lograr una velocidad de flujo estable, entre los cuales los más importantes son: el tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de tubería o tubo, la caída de presión que puede tolerar, los elementos (bombas, válvulas entre otras) que se conectan a la tubería, temperatura, presión y ruido. [22]

Tabla 12: Velocidades de flujo recomendadas en tuberías y ductos

		LÍNEA DE SUCCIÓN			LÍNEA DE DESCARGA		
Flujo volumétrico		Tamaño de tub. (pulg)	Velocidad		Tamaño de tub. (pulg)	Velocidad	
Gal/min	m <sup>3</sup> /h		Pie/s	m/s		Pie/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	¾	6.0	1.8
100	22.7	2 ½	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 ½	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Fuente: [22]

### Ecuación de la continuidad

$$Q=A*v$$

Ec. 5

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/h)

A: Área de sección transversal (m<sup>2</sup>)

v: Velocidad con la que atraviesa el fluido ( m/h

### Cálculo de soportes

Diseño con factores de carga y resistencia LRFD. -La especificación AISC brinda dos métodos para diseñar miembros de acero el cual proporciona dos métodos LRFD Diseño con factores de carga y ASD diseño por esfuerzos permisibles para este estudio se va a utilizar el método LRFD debido a las consideraciones económicas que brinda el método.

$$F: m*a \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

m: masa (kg)

a: aceleración (m/s<sup>2</sup>)

$$P_u = D*1.2 + 1.6L \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

P<sub>u</sub>: Carga (kg)

D: cargas muertas (kg)

L: cargas vivas (kg)

$$P_u = \phi_t * F_y * A_g \quad \text{Ec.8}$$

Donde:


$\phi_t$ : Factor 0.9

F<sub>y</sub>: Esfuerzo permisible del material (N/mm<sup>2</sup>)

A<sub>g</sub>: Área de sección transversal (mm<sup>2</sup>)

A continuación se muestran las tablas en donde se establece las condiciones de operación, fluido, parámetros de diseño actual y tipo de resina.

### 2.2.3. Condiciones de operación

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
CONDICIONES DE OPERACIÓN					
<b>FECHA:</b>	28/11/2021	<b>SITIO</b>	Gelco - Planta Ambato		
<b>ÁREA DE INSPECCIÓN</b>	Zona húmeda	<b>EQUIPO</b>	Columnas de intercambio iónico		
<b>TEMPERATURA</b>	25 °C	<b>HORA DE INSPECCIÓN</b>	10:30 a. m.		
<b>RESPONSABLE</b>	Azogue Samantha				
PROCESO ACTUAL IO					
ETAPA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		OBSERVACIONES	
CONDICIONES DE OPERACIÓN	<b>Fluido</b> Grenetina (Gelatina-Licor liviano)				
	<b>Flujo de caudal</b>	10,17	m <sup>3</sup> /h		
	<b>Concentración de gel</b>	7,00	°Brix		
	<b>Temperatura de trabajo</b>	58,00	°C		
	<b>Potencial de hidrógeno inicial de gelatina</b>	2,8-3,2	pH		
	<b>Presión de ingreso de gelatina</b>	30-50	psi		
	<b>Presión de columna</b>	5-15	psi		
	<b>Potencial de hidrógeno salida de columnas de IO</b>	9,50	pH		
	<b>Potencial de hidrógeno regulado</b>	5,7-6	pH		
	<b>Altura de resina</b>	1,52	m		
	<b>Altura de grenetina</b>	2,30	m		
	<b>Tiempo de operación de columna</b>	9,00	h		
	<b>Caída de presión</b>	5,00	psi		
DESCONCENTRACIÓN	<b>Fluido</b> Agua tratada				
	<b>Temperatura</b>	65-70	°C		
	<b>Mínima concentración de gel que debe alcanzar</b>	1,00	°Brix		

	<b>Fluido proviene desde</b> Calentador de agua			
	<b>Tiempo mínimo de desconcentración</b>	20-25	Min	
<b>ENJUAGUE RÁPIDO/RETRO LAVADO</b>	<b>Fluido</b> Agua calentada			
	<b>Altura de agua en columna</b>	2,30	m	
	<b>Temperatura</b>	65,00	°C	
	<b>Ingreso de fluido</b> Parte superior de columna (ingreso de gelatina)			
	<b>Tiempo de llenado</b>	2,00	min	
	<b>Tiempo de remoción</b>	5-7	min	
	<b>Presión de aire</b>	40-60	psi	
	<b>Ingreso de aire</b> Parte inferior de columna			
	<b>Abertura de válvula de ingreso de aire</b>		1/4-1/2	
	<b>Drenaje</b> Parte inferior de columna			
	<b>Tiempo de drenaje</b>	9-15	min	
	<b>Salida de drenaje</b> Parte inferior de columna			
	<b>Salida de retro lavado</b>			
<b>REGENERACIÓN 1</b>	<b>Fluido</b> Agua+ sosa cáustica Hidróxido de sodio		NaOH	
	<b>Capacidad de tanque</b>	3200	l	
	<b>Cantidad de SOSA</b>	180	l	
	<b>Conductividad de mezcla</b>	140-170	us/cm	
	<b>Temperatura de mezcla</b>	65,00	°C	
	<b>Ingreso de sosa</b> Parte superior de columna (ingreso de gelatina)			
	<b>Tiempo de remoción con SOSA</b>	10-15	min	
	<b>Presión para remoción aire</b>	40-60	psi	
	<b>Tiempo de reposo</b>	30,00	min	
	<b>Salida de drenaje</b> Por la parte inferior de columna			
	<b>SEGUNDA REGENERACIÓN</b>			
<b>Fluido</b> Agua+ sosa cáustica		NaOH		

	<b>Capacidad de tanque</b>	3200,00	m3	
	<b>Cantidad de SOSA</b>	180,00	l	
	<b>Conductividad de mezcla</b>	140-170	Us/cm	
	<b>Temperatura de mezcla</b>	65,00	°C	
	<b>Ingreso de sosa</b> Parte superior de columna (ingreso de gelatina)			
	<b>Remoción de SOSA</b>	10-15		
	<b>Presión para remoción aire</b>	40-60	psi	
	<b>Tiempo de reposo</b>	30,00	min	
	<b>Salida de drenaje</b> Por la parte inferior de columna			
<b>REPOSO / ENJUAGUE FINAL RÁPIDO</b>	<b>Agua</b>	3	m3	
	<b>Temperatura de agua</b>	65,00	°C	
	<b>Nivel de agua en columna</b>	2,30	m	
	<b>Tiempo de reposo</b>	240-600	min	

## 2.2.4. Condiciones del fluido

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	DATOS CONDICIONES		
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>FECHA:</b>	28/11/2021	<b>SITIO</b>	Gelco - Planta Ambato
<b>ÁREA DE INSPECCIÓN</b>	Zona húmeda	<b>EQUIPO</b>	Columnas de intercambio iónico
<b>TEMPERATURA</b>	30 °C	<b>HORA DE INSPECCIÓN</b>	10:30 a. m.
<b>RESPONSABLE</b>	Azogue Samantha		
<b>CONDICIONES DE FLUIDO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Flujo</b>	10,17	m <sup>3</sup> /h	
<b>Viscosidad</b>	40	cP	
<b>Temperatura</b>	60	°C	
<b>Densidad</b>	1,1	kg/l	
<b>Concentración</b>	6.5%-7.5%		
<b>NTU Turbidez</b>	80-150		
<b>Cenizas</b>			
<b>pH</b>	2,8-3,5	pH	
<b>Balance de la carga iónica</b>	Cationes y aniones		

### 2.2.5. Condiciones de diseño actuales

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	CONDICIONES DE DISEÑO ACTUALES		
<b>FECHA:</b>	28/11/2021	<b>SITIO</b>	Gelco - Planta Ambato
<b>ÁREA DE INSPECCIÓN</b>	Zona húmeda	<b>EQUIPO</b>	Columnas de intercambio iónico
<b>TEMPERATURA</b>	30 °C	<b>HORA DE INSPECCIÓN</b>	10:30 a. m.
<b>RESPONSABLE</b>	Azogue Samantha		
CONDICIONES DE DISEÑO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	OBSERVACIONES
Columna Anión	3	c/u cada uno	
Diámetro	1,8	m	
Altura total	3	m	
Volumen columna aniónica	7,63	m <sup>3</sup>	
Altura Resina	1,5	m	
Resina/columna	3,8	m <sup>3</sup>	
Flujo licor	12	m <sup>3</sup> /h	
Concentración licor (%)	4		
pH ingreso	2,8 a 3,2	pH	
pH salida	10	pH	
Temperatura de Operación	60	°C	
Tiempo Operación	8	h	
Frecuencia de Rejuvenecimiento	1/mes		
Material Columna	AISI 316		
Espesor de cilindro	5/16	in	
Presión Operación	10	psi	
Área transversal	2,54	m <sup>2</sup>	
Velocidad	4,7	m/h	
Flujo específico	3,2 a 2,4	BV/h	



### 2.2.6. Condiciones de resina

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
<b>FECHA:</b>	28/11/2021	<b>SITIO</b>	Gelco - Planta Ambato
<b>ÁREA DE INSPECCIÓN</b>	Zona húmeda	<b>EQUIPO</b>	Columnas de intercambio iónico
<b>TEMPERATURA</b>	30 °C	<b>HORA DE INSPECCIÓN</b>	10:30 a. m.
<b>RESPONSABLE</b>	Azogue Samantha		
CONDICIONES DE RESINA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	OBSERVACIONES
<b>Tipo</b>	Aniónica débilmente básica		
<b>Tamaño efectivo</b>	0.45 mínimo	mm	
<b>Capacidad de intercambio total</b>	1.45 mínimo	meq/mL	
<b>Densidad de la partícula</b>	1,05	g/mL	
<b>% de hinchazón total</b>	17	%	
<b>Máx. temperatura de operación</b>	100	°C	
<b>Rango de operación de pH</b>	0-9	pH	
<b>Tasa de flujo de servicio</b>	10 – 40	m/h	
<b>Regenerante</b>	NaOH	Hidróxido de sodio	
<b>Concentración de regenerante</b>	1-4%	%	
<b>Nivel de regenerante (% de carga iónica)</b>	120		
<b>Tasa de flujo regenerante m/h</b>	2-4.	m/h	
<b>Requisito de enjuague total</b>	5-10 BV	Volumen de lecho	

### 2.2.7. Condiciones de diseño de tanque

#### Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento se utilizados como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para comercialización, se diseñan según el código API-ASME que tienen presiones de trabajo atmosféricas.

### 2.2.8. Códigos utilizados para el diseño de tanques

El diseño y cálculo de tanques de almacenamiento se basa en la publicación que realiza el “Instituto Americano del petróleo” en donde que para tanques de almacenamiento a presión atmosférica se aplica la “STANDAR API 650”, mientras que para tanques de almacenamiento con presiones internas próximas a 1 kg/ cm<sup>2</sup> (141 psi) se aplica “STANDAR API 620” a continuación se muestra los diferentes requerimientos para distinto tipo de fabricación de tanques de almacenamiento.

Tabla 13: Requerimientos de diversos estándares para tanques

Tabla 1.1	A.P.I. 650			A.P.I. 620			A.N.S.I.	AWWA
	Básico	Apéndice A	Apéndice F	Básico	Apéndice R	Apéndice Q	B96.1	
Presión Interna Máxima	Atm.	Atm.	0.17 Kg/cm <sup>2</sup>	1 Kg/cm <sup>2</sup>	1 Kg/cm <sup>2</sup>	1 Kg/cm <sup>2</sup>	Atm.	Atm.
Temperatura Mínima	NS	(-)28.8°C	NS	(-)45.5°C	(-)54.4°C	(-)167°C	(-)28.8°C	(-)48.3°C
Temperatura Máxima	93.3°C	93.3°C	93.3°C	93.3°C	(-)40°C	93.3°C	204°C	RT
Espesor Máximo del Cuerpo	44.4 cm.	12.7 cm.	44.4 mm.	NS	NS	NS	NS	50.8 mm.
Espesor Mínimo del Cuerpo								
<b>D &lt; 15.2 m.</b>	<b>4.76 mm.</b>			<b>4.76 mm.</b>			<b>4.76 mm.</b>	
15.2 m. < D > 36.5 m.	6.35 mm.			6.35 mm.			6.36 mm.	
36.5 m. < D > 60.9 m.	7.93 mm.			7.93 mm.			7.93 mm.	
D > 60.9 m.	9.52 mm.			9.52 mm.			9.52 mm.	
Espesor Mínimo del Techo	4.76 mm.			NS			4.76 mm.	
Espesor Máximo del Techo	6.35 mm. + CA			NS			6.35 mm.	
Ángulo Mínimo de Coronamiento								
D < 10.6 m.	50.8 mm. x 50.8 mm. x 4.76 mm.			NS			63.5 mm. x 63.5 mm. x 6.35 mm.	
10.6 m. < D > 18.2 m.	50.8 mm. x 50.8 mm. x 6.35 mm.			NS			63.5 mm. x 63.5 mm. x 7.93 mm.	
D > 18.2 m.	76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.			NS			76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.	

NS = Sin Especificación      CA = Corrosión Permisible      RT = Temperatura Ambiente

Fuente: [23]

### 2.2.9. Diseño de tanques de almacenamiento

**Procedimiento de cálculo.** – se diseñan según el código API-ASME para tanques que operan a presión atmosférica y almacenan productos líquidos o sólidos en el interior

#### Geometría de los recipientes

- Recipientes para sólidos:  
Cabeza: elipsoidal 2:1  
Fondo: cónico  
Carcasa: cilíndrica
- Recipientes para líquidos:
- Cabeza y fondo: cónico
- Carcasa: cilíndrica

Según la norma las medidas de las siguientes partes vienen en función de la altura de la carcasa cilíndrica H en la siguiente figura se muestra la proporcionalidad de cada una.

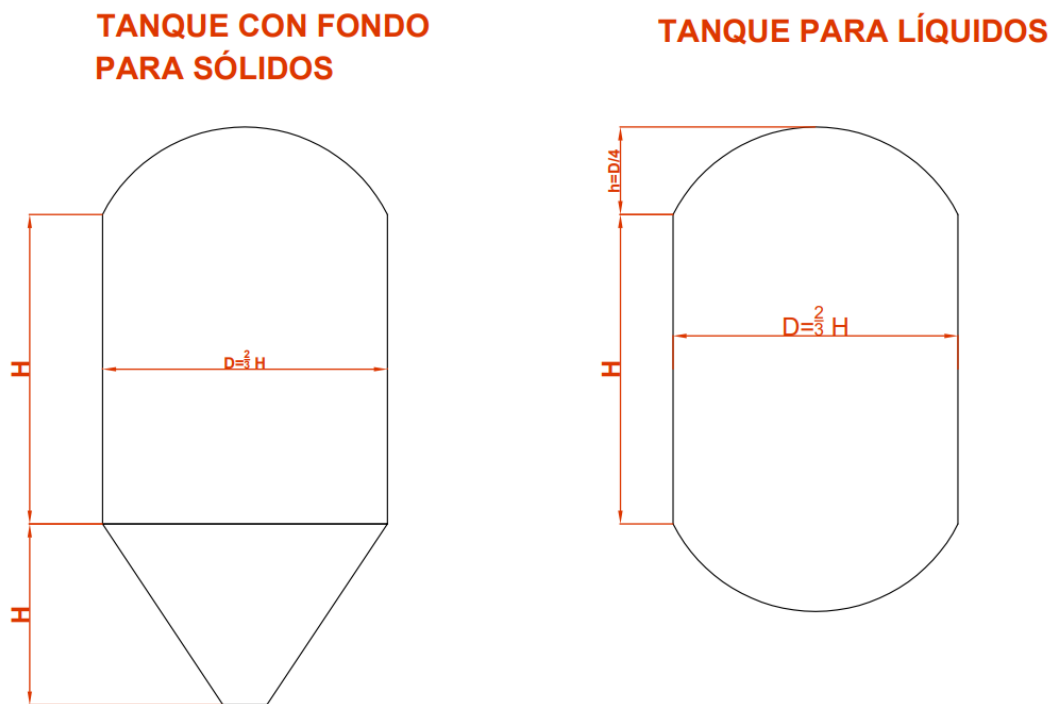


Figura 18: Dimensionamiento de tanques

### Volumen de los recipientes

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * H$$

Ec. 7

Donde:

V: Volumen del cilindro (m<sup>3</sup>)

r: radio del cilindro (m)

H: altura referencial del cilindro (m)

$$V_{cabeza} = \frac{\pi * D^2 * h_{cabeza}}{6} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$V_{cabeza}$ : Volumen de cabeza elipsoidal (m<sup>3</sup>)

D: Diámetro del cilindro (m)

$h_{cabeza}$ : Altura de cabeza elipsoidal (m)

$V_{total}$ : Volumen total

$$V_{total} = V_{cilindro} + 2V_{cabeza} \quad \text{Ec. 9}$$

Una condición para determinar las dimensiones es la de tener en cuenta que por seguridad el tanque se encuentra lleno máximo al 80% para determinar sus dimensiones más aproximadas.

El valor de H se determinada en función del volumen requerido y en base a la altura se determina el resto de las dimensiones.

### **Altura del tanque**

la altura del tanque se determina del sumatorio total de las tres partes que forman parte del tanque carcasa, cabeza y fondo.

$$H_t = H + 2 * h_{cab.} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$H_t$ : Altura total del tanque (m)

H: Altura del cilindro (m)

$h_{cab}$ : Altura de cabeza elipsoidal (m)

### Presión de proyecto

La presión del proyecto en el diseño debe ser mayor que la máxima.

$P > 1.1 * \text{Presión máxima de operación}$

$P > \text{Presión máxima de operación} + 1 \text{ kg/cm}^2$

### Espesor de recipientes

$$t_{cilindro} = \frac{\gamma * d * r}{\sigma_t * E_s} \quad \text{Ec. 11}$$

$$t_{cabeza} = \frac{P * D_e}{2 * \sigma_t * E_s + 1.8P} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$\gamma$ : peso específico del producto almacenado ( $\text{kg/cm}^3$ )

$d$ : nivel máximo de producto almacenado (cm)

$r$ : radio del cilindro, cono, cabeza elipsoidal (cm)

$\sigma_t$ : tensión máxima admisible del material ( $\text{kg/cm}^2$ )

$E_s$ : eficiencia de soldadura según tipo de soldadura, cómo recomendación se tiene

que para junta soldada a top en doble V y no examinada, se debe tomar el valor de 0.6.

$P$ : presión externa ( $\text{kg/cm}^2$ )

$D_e$ : diámetro externo (cm)

Se debe considerar la corrosión en función del producto almacenado y a agentes externos por lo tanto el espesor final es de:

$$t_{fcilindro} = t_{cilindro} + t_{corrosión} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$t_{\text{cilindro}}$ : espesor final del cilindro (mm)

$t_{\text{cilindro}}$ : espesor del cilindro (mm)

$t_{\text{corrosión}}$ : espesor en función del material (mm)

### **Material de construcción**

El material se determina en función de los requerimientos de almacenaje del producto y con la tensión admisible  $\sigma_t$  el cuál se muestra en la siguiente ecuación,

$$\sigma_t = \frac{\sigma_a}{n} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

n: coeficiente de seguridad

$\sigma_t$ : esfuerzo admisible (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_a$ : esfuerzo del material (N/mm<sup>2</sup>)

### **Temperatura de proyecto**

La temperatura de proyecto de proyecto será:

$$T_{\text{proyecto}} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

$T_{\text{proyecto}}$ : Temperatura del proyecto (°C)

$T_{\text{trabajo}}$ : Temperatura de trabajo (°C)

$T_{\text{ambiente}}$ : Temperatura ambiente (°C)

### **Prueba hidráulica**

Antes de poner en operación, todos los recipientes deben ser comprobados sometiéndolos a una prueba hidráulica a una presión mayor que la del proyecto.

La presión de prueba hidráulica será:

$$P_{hidráulica} = \frac{1.5 * P * \sigma_t}{\sigma_{amb}} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

P: presión del proyecto (kPa)

$\sigma_t$ : tensión máxima admisible (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{amb}$ : tensión máxima admisible a temperatura ambiente (N/mm<sup>2</sup>)

El recipiente debe soportar la presión hidráulica y se debe verificar que la tensión máxima desarrollada en las paredes < 90 % del límite elástico del material.

### 2.2.10. Soldaduras en tanques de almacenamiento

La normativa API 605 se guía del código ASME sección IX para determinar las referencias que se debe seguir para la unión y soldadura de los materiales. Donde el código ASME especifica espesores mínimos:

MÁXIMO ESPESOR DEL TANQUE (mm.)	DIMENSIÓN MÍNIMA DEL FILETE (mm.)
4.76	4.76
> 4.76 - 19.05	6.35
> 19.05 - 31.75	7.93
> 31.75 - 44.45	9.52

Fuente: [23]

Cálculo de espesores del cuerpo

Aplicando el método de un pie se tiene la siguiente ecuación

$$t_d = \frac{0.0005D*(H-30.48)*G}{s_d} + C.A \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$t_d$ : espesor del tanque (cm)

H: Altura (m)

G: densidad relativa (kg/cm<sup>3</sup>)

Sd: esfuerzo de diseño (kg/cm<sup>2</sup>)

C.A: corrosión permisible (cm)

D: diámetro del tanque (cm)

### 2.2.11. Número de Reynolds

Se determina el número de Reynolds considerando que es un flujo controlado,

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\delta} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

Re: Reynolds se determina si el flujo es laminar o turbulento

V: velocidad con la cual atraviesa el fluido (m/s)

D: diámetro de tubería (m)

$\nu$  : viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

$\eta$ : viscosidad dinámica (kg/ (m.s))

$\delta$  : densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)



## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se presentará los resultados obtenidos en los ensayos de campo, laboratorio y oficina los cuales permitieron el desarrollo de la investigación y cumplir con el objetivo de la misma.

##### 3.1.1. Cálculos

1. Altura mínima de lecho de resina (h)

Por diseño se tiene  $V_{\text{resina}} = 3.87 \text{ m}^3$ ;  $h = 1.52 \text{ m}$

2. Altura mínima pared lateral: según recomendaciones se establece que un 40% de columna debe quedar libre para que produzca su IO

$$H_{\text{pl}} = 2900\text{mm}$$

3. Velocidad lineal l (Salida de columna)

$Q_{\text{diseño}}=12\text{m}^3/\text{h}$ ;  $Q_{\text{real}}=10.17\text{m}^3/\text{h}$ ;

$$\phi = 1\frac{1}{2} \text{ in} ; 2 \text{ in}$$

$$Q = V * A \tag{Ec. 20}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{10.17\text{m}^3/\text{h}}{0.12\text{m}^2} = 2.47\text{m/s}$$

4. Velocidad espacial o velocidad de reacción

$$v_e = \frac{Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{A(\text{m}^2)} \tag{Ec. 21}$$

$$v_e = \frac{10.17 \text{ m}^3/\text{h}}{2.54\text{m}^2}$$

$$v_e = \frac{4m}{h}$$

Donde:

Ve: Velocidad espacial (m/h)

### **Variables fundamentales**

Volumen de resina se determinará a través de un sistema de cálculo iterativo que revisa en forma secuencial el cumplimiento de parámetros de diseño establecidos por los fabricantes de resina.

#### 5. Dimensionamiento del lecho de resina

Se tiene una altura estimada  $h=1.52$  m;  $3.89m^3$

$$V_c = \pi * r^2 * h$$

$$V_c = A * h$$

$$A = \frac{V_c}{h} = \frac{3.89m^3}{1.52m} = 2.54m^2$$

Recalculo la velocidad lineal para verificar que se encuentre dentro de rango

$$v_1 = \frac{10.17m^3/h}{2.54m^2} = 4 \frac{m}{h}$$

Altura total de la columna denominada cómo pared lateral mínima (H)

$$H = h + L1$$

Ec. 22

Donde:

h: altura del lecho de resina

H: Altura de pared lateral mínima

L1: Altura libre para la expansión

El % de expansión según ficha técnica de resina estable un 17%-25% se selecciona el 25% teniendo en cuenta consideraciones de diseño

$$H = 1.5 + 25\% * 2,30$$

$$H = 1.9\text{m}$$

Entonces cómo se tiene espacio para aumentar más cantidad de resina recalculo

$$h = H - L1$$

$$h = 2.3\text{m} - 25\% * 2.3\text{m}$$

$$h = 1.92\text{m}$$

el volumen de resina recalculado se tiene

$$V_c = \pi * r^2 * h$$

$$V_c = \pi * \left(\frac{1.8}{2}\text{m}\right)^2 * 1.92\text{m}$$

$$V_c = 4.88 \text{ m}^3$$

En la cantidad que viene la resina es de 25 kg

$$m = \rho * V_c \quad \text{Ec. 23}$$

Donde

$$\rho: \text{Densidad de resina: } 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c: \text{Volumen de resina: } 4.88 \text{ m}^3$$

Reemplazando valores en la ecuación 18 se tiene lo siguiente:

$$m = \rho * V_c$$

$$m_t = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4.88\text{m}^3 = 5130.09 \text{ kg}$$

$$m_t = 5130 \text{ kg}$$

Cantidad de quintales de resina

El quintal especificado en este estudio es de 25kg

$$\#qq = \frac{mt}{\text{cantidad por qq (kg)}} \quad \text{Ec. 24}$$

$$\#qq = \frac{5130 \text{ kg}}{25 \text{ kg}} = 205 \text{ qq}$$

### 3.1.2. Cálculo de la caída de presión

$$\Delta P = h * v * \mu * Fr \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

h: profundidad de lecho (m)=1.52m

v: Velocidad lineal (m/h): 3.99 m/h

$\mu$ : Viscosidad (cp):40

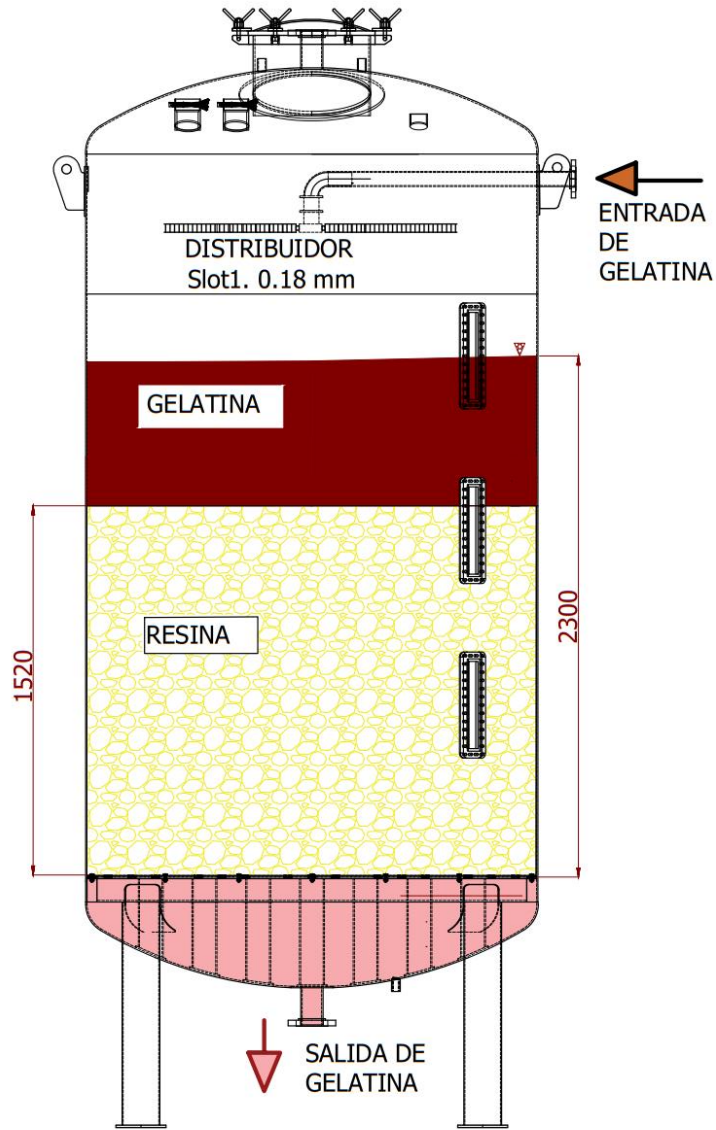
$F_R$ : Factor de caída de presión específica de la resina ( $\text{kPa} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ ): 0.9 unidades

$$\Delta P = 1.52 * 3.99 * 40 * 0.9$$

$$\Delta P = 31.7 \text{ kPa}$$

$$\Delta P = 4.5 \text{ psi}$$

### 3.1.3. Cálculo de presión en la columna



### 3.1.4. Presión de entrada a columna

$$P = \rho * h * g$$

Ec. 26

Donde

P: presión en Pa

h: altura del punto (m)

g: gravedad ( $m/s^2$ )

Se tiene

$$69 \text{ kPa} - \frac{1100\text{kg}}{\text{m}^3} * (2.28 - 1.52)\text{m} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} - \frac{1050\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.52\text{m} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} - \frac{1225\text{kg}}{\text{m}^3} * (3 - 2.28 - 1.52) * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} =$$

$$P_{\text{in}} = 62\text{kPa} - 32.93\text{kPa}$$

$$P_{\text{in}} = 36.06 \text{ psi}$$

### 3.1.5. Presión de salida

Datos

Paire= 10 psi

H de resina: 1.52m

H de gelatina: 2.28 m

Aplicando la siguiente ecuación

$$P = \rho * h * g$$

Donde

P: presión en Pa

h: altura del punto (m)

g: gravedad

Se tiene

$$69 \text{ kPa} + \frac{1100\text{kg}}{\text{m}^3} * (2.28 - 1.52)\text{m} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{1050\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.52\text{m} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} =$$

$$P_{\text{outsal}} = 13.33 \text{ psi}$$

### 3.1.6. Presión de aire

Para vencer la presión de salida que se tiene en la columna al momento de remover la resina se lo realiza con 15 psi.

### 3.1.7. Cálculo de la cantidad de regenerante

Se tiene que para un primer enjuague la cantidad de regenerante de NaOH es a un 2% de concentración

Resina aniónica

Regenerante.....NaOH

Concentración..... 1-4%

Densidad del regenerante..... 1050 kg/m<sup>3</sup>

Temperatura..... 60°C

#### 1. Caudal necesario del regenerante

V<sub>lr</sub>: Velocidad lineal del regenerante 2-6 m/h: se considera un promedio de 4m/h

A: Área de sección transversal de columna: 2.54 m<sup>2</sup>

$$Q_{\text{reg}} = 4\text{m/h} * 2.54\text{m}^2$$

$$Q_{\text{reg}} = 10.18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se tiene un tanque de capacidad de 3200L

$$V_{\text{tanq de sosa}} = 3.2\text{m}^3$$

$$T_{\text{llenado}} = \frac{V}{Q} = \frac{3.2}{10.17} = 0.31\text{h}$$

### 3.1.8. Tiempo de contacto con regenerante

El tiempo de contacto que debe tener el regenerante con el lecho de resina debe estar en el rango 5-10 BV/h (Bed volumen). Bed Volume es el volumen por hora de líquido a tratar / volumen de resina en la cual hay una relación equivalente según Baruth “1 ft<sup>3</sup> posee 28 1BV”. [24]

En este proceso se selecciona 4 BV/h como el mínimo valor y hallamos el valor multiplicando

$$28 \frac{\text{lt}}{\text{BV}} * 4 \frac{\text{BV}}{\text{h}} = \frac{112 \text{lt}}{\text{h}}$$

Entonces el tiempo de contacto se tiene

$$t_c = \frac{Q_w}{112 \frac{\text{lt}}{\text{h}}} =$$

$$t_c = \frac{10.17}{112 \text{ m/h}}$$

$$t_c = 1.34 \text{ h}$$

Donde

$Q_w$ : Cantidad de regenerante: 10.17 m<sup>3</sup>/h (aplicados actual)

### 3.1.9. Cálculo del flujo másico de vapor

En ocasiones es necesario temperar el agua hasta alcanzar una temperatura de 65°C entonces se la procede a calentar con ingreso de vapor mediante un serpentín

$$M = \rho * Q \tag{Ec. 27}$$

$$M = \rho * A * v$$

Donde:

Presión: 115 psi; Temperatura de saturación: 170.41°C; volumen específico: 0.24035 m<sup>3</sup>/h

$\rho$ : densidad del fluido (vapor): 4.15 kg/m<sup>3</sup>

A: Área de sección transversal

Diámetro: 0.038m

V: velocidad del fluido: 20 m/s



$$M = 4.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0011\text{m}^2 * \frac{20\text{m}}{\text{s}}$$

$$M = 0.094 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$M = 339.45 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

### 3.1.10. Condiciones para el retro- lavado

El retro lavado se debe realizar por un lapso de 10 a 20 minutos cómo máximo el cual depende de las cantidades de impurezas que se haya depositado en la resina. [24]

Las partículas de un fluido en el retro lavado deberá tener una velocidad de  $V_1$  de 15m/h. donde el caudal mínimo se lo estima con la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{rtl}} = V * A$$

$$Q_{\text{rtl}} = \frac{15\text{m}}{\text{h}} * 2.54\text{m}^2$$

$$Q_{\text{rtl}} = 38.17 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### 3.1.11. Condiciones para el enjuague

Para el enjuague se deberá mantener el mismo flujo del ciclo de servicio y se deberá utilizar aproximadamente  $0.11 \text{ m}^3$  de agua por cada pie cubico de resina.

El flujo que se tiene es  $10.17\text{m}^3/\text{h}$ .

Entonces:

$$t_c = \frac{0.11 \text{ m}^3}{10.17 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 0.64 \text{ min}$$

### 3.1.12. Dimensionamiento de tanque

#### Geometría de los recipientes

En base al estudio realizado se tiene que la geometría del tanque es tanque para líquidos.

- Recipientes para líquidos:
- Cabeza y fondo: cónico
- Carcasa: cilíndrica

Según la norma las medidas de las siguientes partes vienen en función de la altura de la carcasa cilíndrica H en la siguiente figura se muestra la proporcionalidad de cada una.

Cómo dato referencial se tiene; altura H: 3 m

### TANQUE PARA LÍQUIDOS

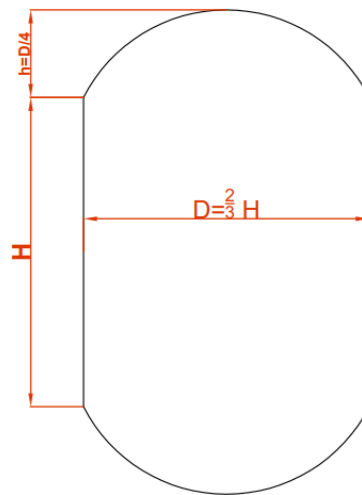


Figura 19: Dimensionamiento de tanques

$$D = \frac{2}{3} * H = \frac{2}{3} * 3\text{m} = 2\text{m}$$

$$h = \frac{D}{4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}\text{m} = 0.5\text{m}$$

#### Volumen del recipiente

#### Cómo datos se tienen:

Diámetro interno: 1.8 m

Remplazando valores se tiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * 0.9^2 * 3$$

$$V_{\text{cilindro}} = 7.6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cabeza}} = \frac{\pi * 1.8^2 * 0.5}{6}$$

$$V_{\text{cabeza}} = 0.84 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 7.6 + 2 * 0.8 = 9.26 \text{ m}^3$$

### **Altura del tanque**

La altura del tanque se determina del sumatorio total de las tres partes que forman parte del tanque carcasa, cabeza y fondo.

$$H_t = 3 + 2 * 0.5$$

$$H_t = 4 \text{ m}$$

### **Presión de proyecto**

La presión del proyecto en el diseño debe ser mayor que la máxima.

$P > 1.1 * \text{Presión máxima de operación}$

$$23 \text{ psi} = 1.1 * 15 = 16.5 \text{ psi}$$

$P > \text{Presión máxima de operación} + 1 \text{ kg/cm}^2$

### **Material de construcción**

El material se determina en función de los requerimientos de almacenaje del producto y con la tensión admisible  $\sigma_t$  el cuál se muestra en la siguiente ecuación,

$$\sigma_t = \frac{\sigma_a}{n} = \frac{2100}{1.5} = \frac{1400 \text{ kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

n: Coeficiente de seguridad

$\sigma_t$ : esfuerzo admisible ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$\sigma_a$ : límite elástico o límite de fluencia ( $2100\text{kg}/\text{cm}^2$ ):

### Espesor de recipientes

Aplicando el método de un pie la condición específica que se puede aplicar la fórmula si el diámetro del tanque es menor o igual a 60.96m

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{0.005 * D * (H - 30.48) * G}{S_d} + C$$
$$t_{\text{cilindro}} = \frac{0.005 * 200 * (300 - 30.48)}{1400} + 0.20$$
$$t_{\text{cilindro}} = 0.39 \text{ cm}$$

Ec. 29

Donde:

G: gravedad específica del producto almacenado en  $\text{kg}/\text{cm}^3=0.001:1$

H: nivel máximo de producto almacenado en cm: 300

$S_d$ : tensión máxima admisible del material en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ : 1400

$E_s$ : eficiencia de soldadura según tipo de soldadura, como recomendación se tiene que para junta soldada a tope en doble V y no examinada, se debe tomar el valor de 0.6.

P: presión de trabajo en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ : 14 psi;

D: diámetro externo, cm:200

C: corrosión se debe considerar la corrosión en función del producto almacenado y a agentes externos por lo tanto el espesor final es de:0.20

Entonces el espesor mínimo que recomienda la norma es de 6.35 mm; entonces como espesor se tiene 7.8mm

### Temperatura de proyecto

La temperatura de proyecto de proyecto será:

$$T_{\text{proyecto}} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}}$$

$$T_{\text{proyecto}} = 58 + 25 = 83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

T trabajo:  $58^\circ \text{C}$

T ambiente:  $25^\circ\text{C}$

### 3.1.13. Cálculo de soportes

$$F: m \cdot a \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

m: masa (kg)

a: aceleración ( $\text{m/s}^2$ )

$$P_u = D \cdot 1.2 + 1.6L \quad \text{Ec.33}$$

Donde:

$P_u$ : Carga (kg)

D: cargas muertas masa de la columna + masa de la resina (1500+4021 kg)

L: cargas vivas masa de la grenetina (8900kg)

$$P_u = 5521 \cdot 1.2 + 1.6 \cdot 8900$$

$$P_u = 20865,2 \text{ kg}$$

$$P_u = 20865,2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P_u = 204687,61 \text{ N}$$

$$P_u = \phi_t \cdot F_y \cdot A_g \quad \text{Ec.34}$$

Donde:

$\phi_t$ : Factor 0.9

$F_y$ : Esfuerzo permisible del material  $S_y = 235$  (N/mm<sup>2</sup>)

$A_g$ : Área de sección transversal de miembro estructural (mm<sup>2</sup>)

Despejo  $A_g$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi_t * F_y}$$

$$A_g = \frac{204687,612}{0.9 * 235}$$

$$A_g = 967,79 \text{ mm}^2$$

Se considera un factor de seguridad de 2 teniendo en cuenta que se tiene cuatro soportes

$$A_g = 7742,32 \text{ mm}^2$$

Despejando la siguiente formula se tiene un diámetro de:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 7742,32}{\pi}}$$

$$D = 99.28 \text{ mm}$$

Entonces de diámetro se selecciona un comercial de 101.3mm

### 3.1.14. Cálculo y selección de la bomba

$$D_{\text{int}} = 1 \frac{1}{2} \text{in} = 0.042 \text{m}$$

Donde:

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ): 0.004167

$D_{\text{int}}$ : Diámetro interno (m): 0.0381

$V_{\text{intf}}$ : Velocidad del fluido (m/s) 3.65

Utilizando la ecuación 1

Se determina la velocidad del fluido dentro de la tubería

$$V_{\text{intf}} = 3.65 \text{ m/s}$$

### 3.1.15. Número de Reynolds

Se determina el número de Reynolds considerando que es un flujo controlado,

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad \text{Ec. 35}$$

35

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

V: Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s): 3.65

D: Diámetro interno de la tubería (m): 0.0381

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido a  $60^\circ\text{C}$ - $65^\circ\text{C}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ):  $4.76 \cdot 10^{-7}$

$\rho$ : Densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ): 980.6

$\eta$ : Viscosidad dinámica del agua ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ): 0.000467-0.000434

viscosidad de la sosa con el agua:

$$Re = 292006.72$$

A continuación, se lee el diagrama de Moody -Anexo el valor del coeficiente de roce f para el numero de Reynolds con una rugosidad  $\epsilon$  del acero inoxidable de 0.02 mm

El coeficiente de roce f: 0.017

### 3.1.16. Pérdidas de carga

Para las pérdidas de carga se toma en cuenta las pérdidas por los accesorios y se calcula de la siguiente manera

$$HL = HL_S + HL_f \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

$HL_S$ : Pérdida de carga secundaria

$HL_f$ : Pérdida de carga primaria

Para la pérdida de carga primaria se tiene la siguiente ecuación:

$$HL_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad \text{Ec. 3831}$$

Donde:

f: Coeficiente de roce: 0.017

L: Longitud de tubería en cada tramo (m): 5m

V: velocidad del fluido (m/s): 3.65

D: diámetro interno de la tubería (m): 1 ½ in; 0.0381m

g: gravedad 9,81 m<sup>2</sup>/s

Reemplazando los valores se tiene:

$$HL_f = 0.017 \frac{5 * 3.65^2}{0.0381 * 2 * 9.8}$$

$$HL_f = 1.51\text{m}$$



Para las pérdidas secundarias se tiene la siguiente fórmula

$$HL_s = k \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 39}$$

Donde

k: rugosidad por accesorios (ver anexo):

4 codos de 90°: k=0.9; válvula de compuerta k:0.2; tee: paso directo k:0.6 tramo 1: 5m

$$HL_{s1} = 2.6 * \frac{3.65^2}{2 * 9.81}$$

$$HL_{s1} = 1.76\text{m}$$

Para el tramo 2; tee directa k:0.6; codo k:0.9, tramo

$$HL_{s2} = 1.5 \frac{2.48^2}{2 * 9.81}$$

$$HL_{s2} = 1.01\text{m}$$

**Total, de pérdidas por accesorios**

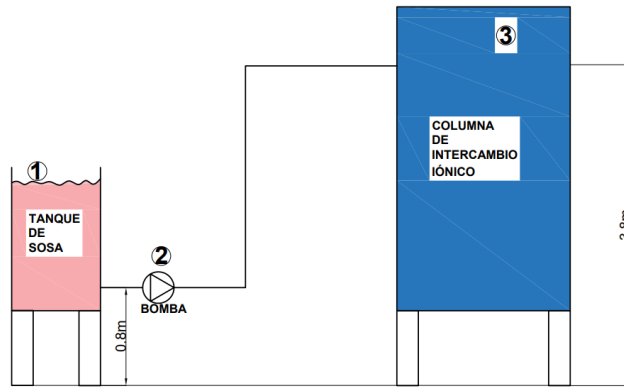
$$HL = HL_s + HL_f$$

$$HL = 1.51\text{m} + 1.76\text{m} + 1.01\text{m}$$

$$HL = 4.3\text{m}$$

### **3.1.17. Ecuación de Bernoulli**

Para determinar la mayor y menor pérdida se emplea la ecuación de Bernoulli desde el punto 1 hasta el 3



$$\frac{P_1}{\lambda} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + H_B = \frac{P_3}{\lambda} + \frac{V_3^2}{2g} + h_3 + H_L \quad \text{Ec.40}$$

Donde:

$P_1$ : Presión en el punto inicial 0 kPa; debido a que es un tanque abierto

$\lambda$ : Peso específico del fluido  $\text{kN/m}^3$ ; 10.79

$V_1$ : Velocidad en el punto inicial 0; en tanques de gran tamaño se anula las velocidades

$h_1$ : Altura del punto inicial; 0.8m

$H_B$ : Altura de la bomba

$H_L$ : Pérdidas de carga en todo el tramo (por pérdidas de accesorios)

$P_3$ : Presión en el punto final: 50  $P_3=345$  kPa

$V_3$ : Velocidad en el punto final; 0

$h_3$ : Altura del punto final: 3.8m

Despejamos  $H_b$

$$H_B = \frac{345}{10.79} + 3.8 + 4.3 - 0.8$$

$$H_B = 39.3 \text{ m}$$

Se toma en consideración lo siguiente: la presión en el punto inicial al ser un tanque abierto solo la presión atmosférica y presión manométrica es 0, la velocidad en el tanque, la energía extraída es nula debido a que no se tiene una turbina en el sistema.

$$\text{Pot bomba} = Q * \gamma_{\text{fluido}} * h$$

Altura neta de la bomba h con Bernoulli

Cómo altura total se tiene

$$H_b = 39.3 \text{ m}$$

$\gamma_{\text{fluido}}$ : peso específico del fluido:  $10.79 \text{ kN/m}^3$

### 3.1.18. Potencia de la bomba

En la siguiente grafica teniendo en cuenta las consideraciones cómo pérdidas por accesorios, rugosidades se tiene el caudal y altura se selecciona la bomba más adecuada para el sistema de bombeo.

$$Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}; 4.17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_b = 39.3 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{fluido}}: \text{densidad} * \text{gravedad} = 1100 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Potencia: } Q * h * \gamma_{\text{fluido}}$$

$$\text{Potencia nominal: } 4.17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} * 39.3 \text{ m} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 1100 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pot} = 1753.15 \text{ W}$$

Eficiencia del motor: 0.89

$$\text{Potencia real} = 1753.15 \text{ W} / 0.89 = 1969.83 \text{ W}$$

$$\text{Potencia real} = 2.65 \text{ Hp}$$

### **3.2.Propuesta de mejora en el proceso**

Inadecuada operación del proceso

Para evitar el retro lavado lo recomendable es realizar el enjuague en contracorriente controlando el flujo de nivel de agua con solución y a una velocidad adecuada para no generar turbulencia y así evitar que el lecho no se encuentre compactado

La temperatura del agua durante el enjuague no es la adecuada debido a que el estudio realizado recomienda utilizar temperaturas de agua para el enjuague en resinas aniónicas de base débil por debajo de los 60°C y en el proceso de se utiliza de 65°C-70°C, el cual se tiende a romper o deteriorarse por estrés térmico.

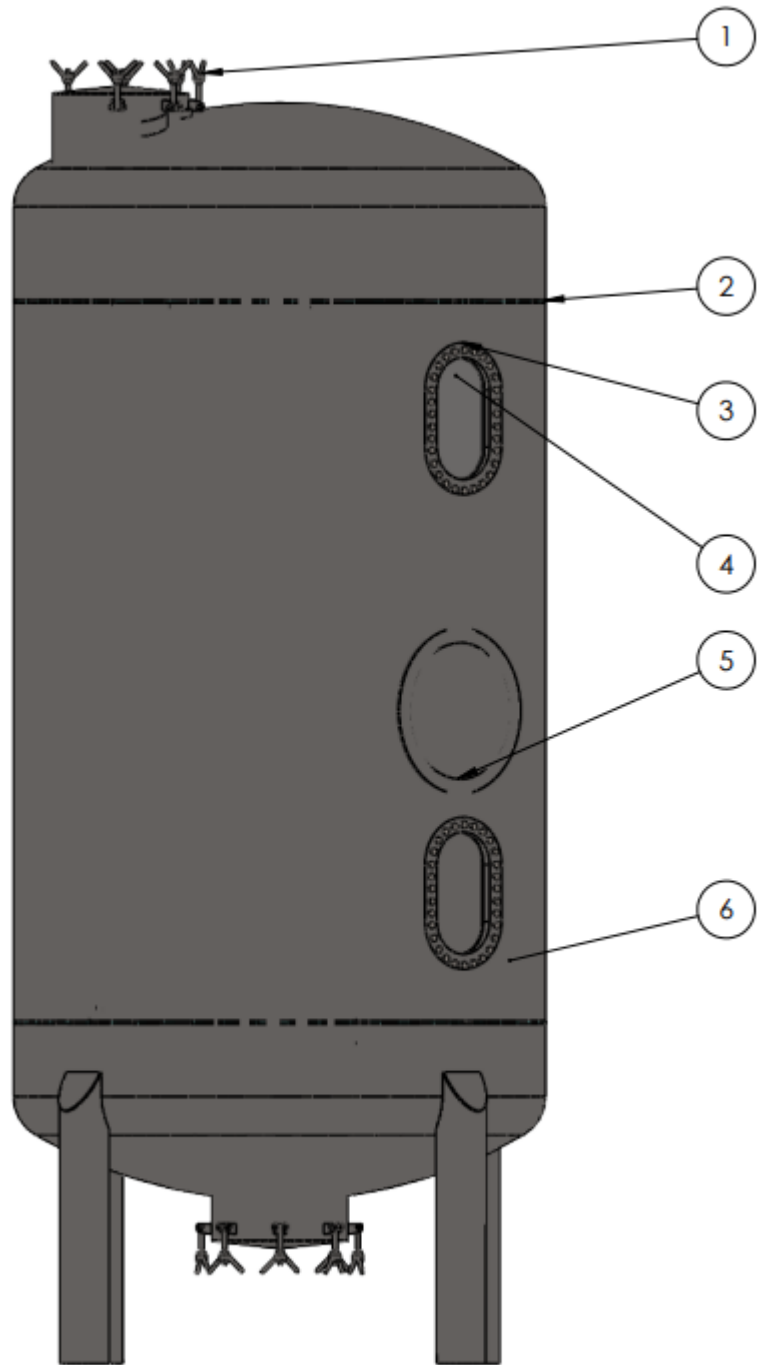
El agua para la regeneración debe ser tratada debido a que los grupos funcionales de la resina que se utiliza tienden a crear materias en suspensión, estas a la vez tienden a tascar los filtros porque existe un exceso y hay pérdidas de carga en el intercambio.

Durante la operación de regeneración recomiendan dejar un tiempo estimado en función del volumen con regenerante a máx. 60°C la temperatura de la solución en reposo con la resina, mientras que en el proceso se lo deja reposar con agua caliente a 65°C-70°C.

Durante la regeneración es recomendable realizarlo dependiendo del volumen dos regeneraciones, la primera con una concentración al 2% durante 45 min y la segunda con una concentración al 4% del regenerante en un tiempo de 1.5 h.

### **3.3.Propuesta de mejora en el diseño 1**

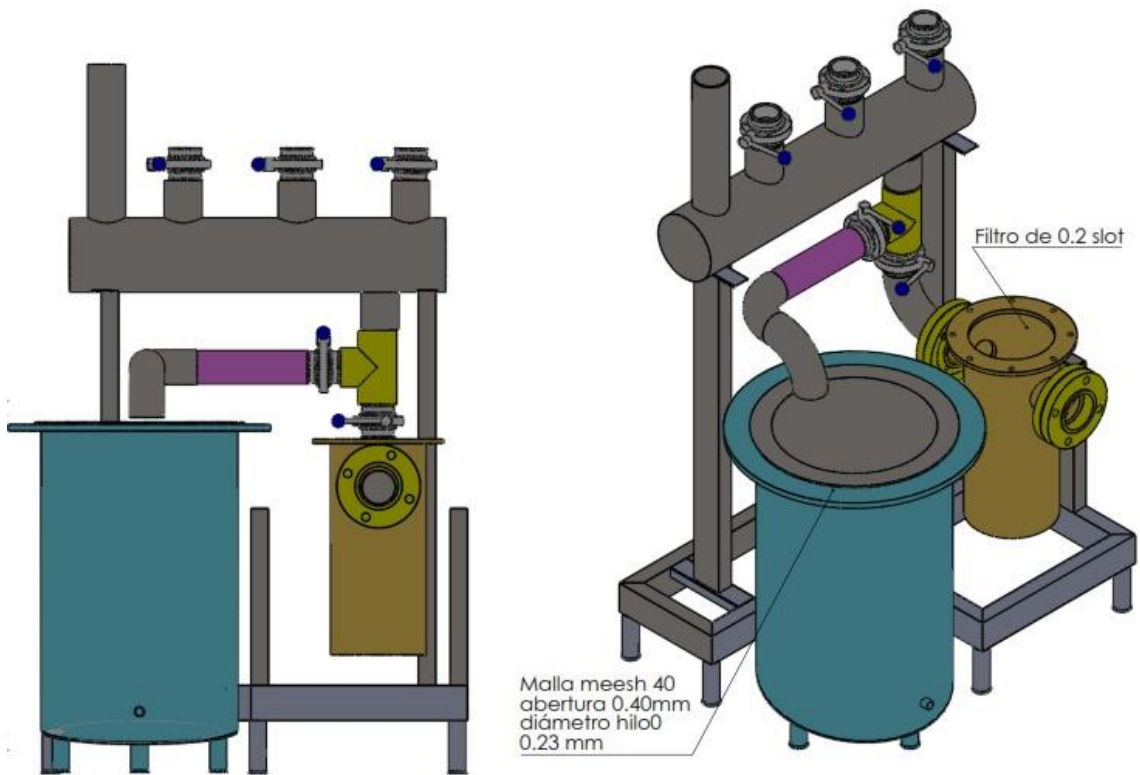
Se recomienda que para evitar la salida de la resina buena y que se quede solo en los filtros la resina agotada mejorar el diseño de la columna, en base al estudio se tiene el siguiente diseño aplicado cómo referencia en una planta.



7	Filtro		Polipropileno	160		
6	Columna		Acero inoxidable	1		
5	Acceso a columna interior		Acero inoxidable	1		
4	Visor		Vidrio templado	2		
3	Marco de visor		Acero inoxidable	2		
2	Placa		Acero inoxidable	2		
1	Manhol		Acero inoxidable	2		
N.º de Pieza	Denominación	Nº de Dibujo/Norma	Material	Nº de Piezas	Peso	Observaciones

### 3.4. Propuesta de mejora en el diseño 2

Se tiene un filtro de capacidad de 10 litros para el retro lavado, el cual se tapaba y es necesario el diseño e incorporación de otro filtro debido a que la capacidad de la columna de intercambio es de 7,6 m<sup>3</sup> y la resina salía de 3.3 kg hasta 20 kg en un retro lavado por columna. En la siguiente figura se tiene el modelo propuesto



A continuación, se muestran fotografías de muestras de resina revisadas a nivel de microscopio en resolución de x100

El diámetro de la malla se selecciona en función del tamaño de la partícula triturada

Tabla 14: Selección de malla

Tamaño real de partícula	0.45 mm
Tamaño de partícula que se queda en la malla mesh 40	0.4-0.45mm
Tamaño de partícula que atraviesa la malla	Menores a 0.40

A continuación, se muestran fotografías observadas en el microscopio electrónico al 100x donde se puede apreciar claramente cómo se encuentran las partículas de resina.

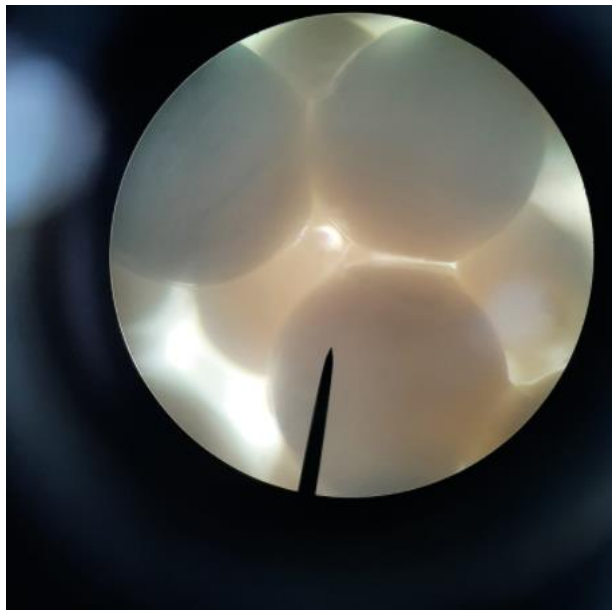


Figura 1: Resina nueva

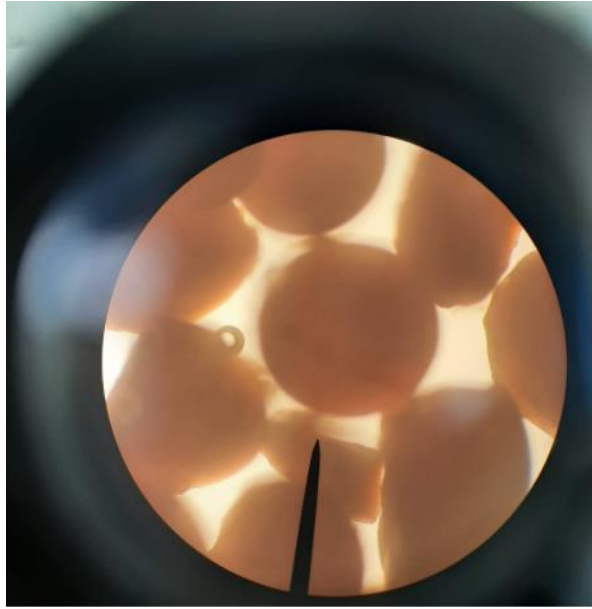


Figura 2: Resina que se queda en la malla mesh 40

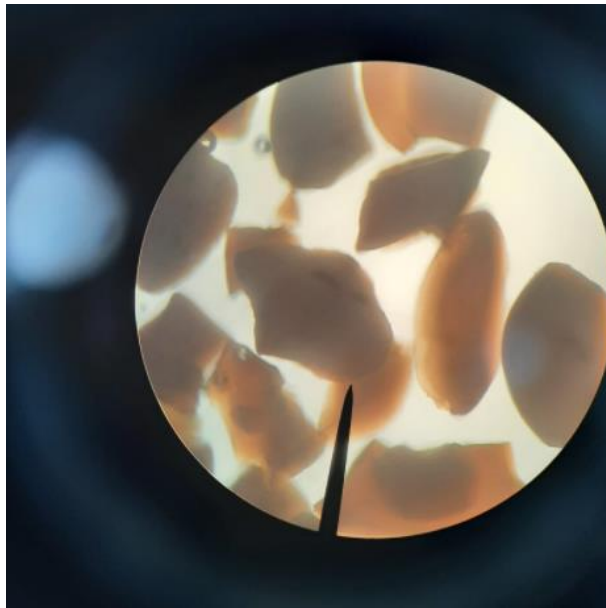


Figura 3: Resina que se atraviesa la malla mesh 40 y tapa los filtros de ingreso de gelatina

Se toma muestras por cada retro lavado de columna



Y se tiene un peso de 2.8-3.3 kg por lavado que realiza el operario, de ese proceso se tamiza en una malla mesh 40 teniendo como peso 33 gramos de resina triturada (tipo polvos)

Se instala un nuevo filtro el cual recepta resina de retro lavado desde 3.3 kg hasta 25 kg de resina aproximadamente por retro lavado de cada columna. En el anexo de la malla se encuentra la abertura de la malla

### **3.5. Alternativas**

#### **Economía de la alternativa 1**

La economía del proceso contempla los costos de operación del proceso de io, para una buena comparación entre las condiciones anteriores al proyecto y las actuales, los costos para el proceso se describen a continuación en donde se detalla un concepto para la relevancia comparativa.

- **Químicos de regeneración**

Los químicos de regeneración son un de costo diferencial, debido a que la cantidad de resina y condiciones de regeneración son diferentes debido al estudio realizado.

- **Agua caliente de operación**

De la misma forma que lo anterior mencionado aquí si representa un costo diferencial el cual implica su tratamiento.

- **Energía eléctrica de para funcionamiento de bombeos**

En energía eléctrica no es diferencial, por lo que el proyecto no incluye el cambio del sistema de bombeo, debido a que se seguirá ocupando la misma bomba de alimentación.

- **Energía térmica necesaria para elevar la temperatura del agua**

Este costo térmico si es diferencial debido a que se reducirá el consumo de agua caliente debido a modificaciones en el sistema de regeneración.

- **Mano de obra**

Durante este ítem no es diferencial debido a que se seguirá aplicando la misma cantidad de operadores y turnos de operación.

- **Mantenimiento**

Este costo si difiere debido a que se tendrá que realizar mantenimiento para prevenir que la resina salga de una manera extrema por los platos

Las condiciones operativas que dan origen al costeo se muestran en la tabla donde se muestra los valores comparativos del proceso anterior y el rediseño propuesto.

Las condiciones operativas se tienen para realizar un análisis de costo se detalla en la siguiente tabla:

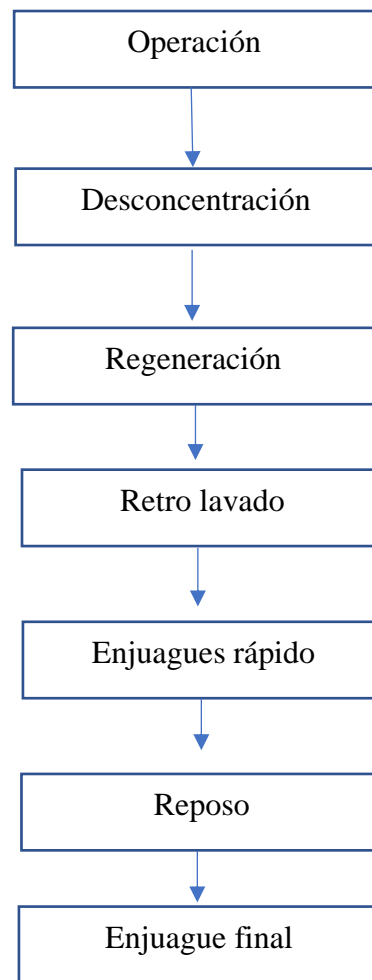
### 3.6. Resumen propuesto de mejora aplicados al proceso

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  <b>DATOS DE PROCESO DE IO PROPUESTO</b> </div> 			
DATOS INFORMATIVOS			
<b>FECHA:</b>	28/11/2021	<b>SITIO</b>	Gelco - Planta Ambato
<b>ÁREA DE INSPECCIÓN</b>	Zona húmeda	<b>EQUIPO</b>	Columnas de intercambio
<b>TEMPERATURA</b>	30 °C	<b>HORA</b>	10:30 a. m.
PROCESO PROPUESTO IO			
ETAPA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	<b>Fluido</b>	Grenetina (Gelatina-Licor liviano)	
	<b>Flujo de caudal</b>	15,00	m3/h
	<b>Concentración de gel</b>	7,00	°Brix
	<b>Temperatura de trabajo</b>	58,00	
	<b>Potencial de hidrógeno inicial de gelatina</b>	2,8-3,2	pH
	<b>Presión de ingreso de gelatina</b>	30-50	psi
	<b>Presión de columna</b>	5-15	psi
	<b>Potencial de hidrógeno salida de columnas de IO</b>	9,50	pH
	<b>Potencial de hidrógeno regulado</b>	5,7-6	pH
	<b>Altura de resina</b>	1,52	m
	<b>Altura de grenetina</b>	2,30	m
	<b>Tiempo de operación de columna</b>	8,00	h
	<b>Caída de presión</b>	5,00	psi
	<b>DESCONCENTRACIÓN</b>	<b>Fluido</b>	Agua
<b>Temperatura</b>		65,00	°C
<b>Mínima concentración de gel que debe alcanzar</b>		1,00	°Brix
<b>Fluido proviene desde</b>		Calentador de agua	
<b>Tiempo mínimo de desconcentración</b>		20-25	min
	<b>Enjuague</b>	Agua a 65°C	

<b>REGENERACIÓN/ RETROLAVADO</b>	<b>PRIMERA REGENERACIÓN</b>			
	<b>Fluido</b>			NaOH
	<b>Agua+ sosa cáustica</b>			Hidróxido de sodio
	<b>Capacidad de tanque</b>	3200		l
	<b>Cantidad de SOSA 2%</b>		90	l
	<b>Conductividad de mezcla</b>		140-170	Us/cm
	<b>Temperatura de mezcla</b>		65	°C
	<b>Ingreso de sosa</b>			Parte inferior de columna (salida de gelatina)
	<b>Tiempo de remoción con SOSA</b>		-	
	<b>Presión para remoción aire</b>		-	
	<b>Tiempo de reposo</b>		1,50	h
	<b>Salida de drenaje</b>			Por la parte inferior de columna
	<b>SEGUNDA REGENERACIÓN</b>			
	<b>Fluido</b>			NaOH
	<b>Agua+ sosa cáustica</b>			Hidróxido de sodio
	<b>Capacidad de tanque</b>		3200	m3
	<b>Cantidad de SOSA</b>		180	l
<b>Conductividad de mezcla</b>		140-170	Us/cm	
<b>Temperatura de mezcla</b>		65	°C	
<b>Ingreso de sosa</b>			Parte inferior de columna (salida de gelatina)	
<b>Tiempo de reposo</b>		45,00	min	
<b>Salida de drenaje</b>			Por la parte inferior de columna	
<b>ENJUAGUE LENTO</b>	<b>Agua</b>		Flujo controlado	
	<b>Temperatura de agua</b>		30-40	°C
	<b>Nivel de agua en columna</b>		2,30	m
	<b>Drenaje</b>			Parte inferior de columna
<b>ENJUAGUE FINAL</b>	<b>Agua</b>		Flujo controlado	m3
	<b>Temperatura de agua</b>		65,00	°C
	<b>Nivel de agua en columna</b>		2,30	m
	<b>Drenaje</b>			Parte inferior de columna

La comparación entre etapas de operación del proceso actual y el propuesto se muestra continuación en los siguientes diagramas.

### 3.6.1. Proceso en estudio



**Operación.** -durante la operación se la realiza con el fluido que ingresa por la parte superior con un pH de 2.5 a 3.5 el cual atraviesa el lecho de resina a una velocidad de 4 m/h, y sale por la parte inferior de la columna con un pH de 6-11, este se mezcla con un pH crudo porque el de operación de estar entre 6-6.2 pH, el tiempo de operación de la columna es de 9-12h, donde ya la resina se satura y ya no alcanza el pH que se requiere y se procede a cambiar de columna.

**Desconcentración.** - durante esta etapa se ingresa agua caliente a 65°C por un tiempo de 20 min aproximados y el flujo de aquí se le regresa a un tanque principal para reincorporar a la nueva columna que se encuentre en línea.

**Retro lavado.** – ingresa el agua caliente por la parte superior a 65°C, y por la parte inferior le ingresan aire durante 5 minutos a una presión de 40-60 psi, para luego removerla durante 15 min, dando la vuelta por una tubería en donde se reincorpora y los excedentes salen por un drenaje de retro lavado en donde se tiene un filtro 1 para atrapar la resina con capacidad de 10 litros.

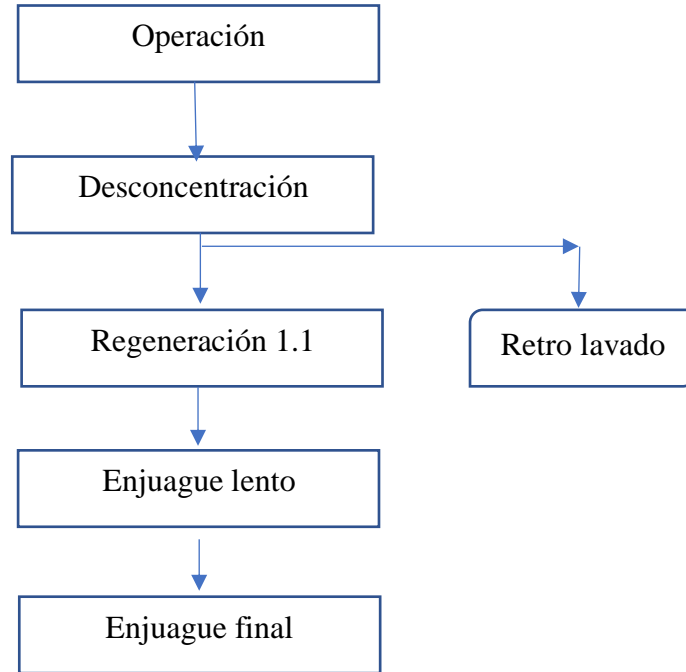
**Enjuagues rápidos.** – aquí se lo realiza a con agua a temperatura a 65°C , esta se empieza a drenar después de realizar la etapa de retro lavado.

**Regeneración 1.** – durante este proceso lo realiza con ingreso de mezcla de regenerante NaOH por la parte superior con una velocidad de 4m/h, con temperatura de agua a 65°C y una conductividad de 140 a 170.

**Reposo.** -esta la dejan reposar por 30 minutos para luego enviar ese fluido saliente al drenaje. Este proceso los hace 2 veces por columna. En total se tiene tres columnas para el proceso porque debe ser continua durante las 24 horas.

**Enjuague final.** Ingresan nuevamente agua por la parte superior de la columna, a 65°C y la dejan reposar por 4 a 5 horas y ya está lista para la siguiente operación.

### 3.6.2. Proceso propuesto 1



En base al diagrama mencionado anteriormente se puede evitar algunas etapas del proceso de intercambio anión, específicamente en el retro lavado, enjuague que es una de las etapas de mayor consumo de agua. También en base a la configuración de regeneración se reducirá el consumo de químico, así también las condiciones hidráulicas se establece ahorros importantes en la regeneración y la cantidad de agua utilizada en los enjuagues.

**Operación.** -proceso durante se produce el intercambio iónico entre el fluido y la resina este proceso debe tener una duración de 8h para no llegar a saturar demasiado a la resina, las condiciones del fluido se mantienen las mencionadas anteriormente.

**Desconcentración.** -tiene cómo objetivo disminuir el excedente de gelatina para su posterior regenerada, esta se la regresa a su tanque principal, en un tiempo de 20 min con la temperatura del agua a 60°C, para cuidar las partículas de resina y así evitar el estrés térmico en las partículas y esta se rompan.

**Regeneración1.1.** – durante este proceso es necesario que se trate el agua, y controlar la temperatura de enjuague min 50°C máx. 60°C, con dos enjuagues el uno al 2% de la concentración con un tiempo de contacto de una hora y media para su posterior enjuague, el segundo enjuague se mantiene las temperaturas, pero con una concentración al 4% y un tiempo de contacto entre la solución y resina durante 45 minutos, su posterior enjuague con una velocidad lenta de 4 m/h, se debe ingresar el flujo de agua por la parte inferior de la columna.

**Enjuague lento.** – se realiza controlando el flujo y con agua a temperatura 35°C - 40°C para compactar a la resina y estabilizarla, por un tiempo de 30 min.

**Enjuague rápido.** -en esta etapa tiene cómo objetivo obtener un pH que se aproxime al neutro, el cual ya garantiza que es un enjuague correcto, en este proceso se ingresa el agua caliente a 60°C para así temperar la resina para su próximo ciclo de operación.

### 3.1. Estimación de disminución de costos durante la regenerada

La siguiente tabla muestra los costos de mayor importancia del proceso y la comparativa del proceso actual con el proceso propuesto.

<b>CONSUMO DE SOSA ACTUAL</b>						
<b>% de aplicación</b>	<b>Cantidad utilizada L</b>	<b>Tiempo de contacto</b>	<b>costo de sosa/galón</b>	<b>costo de sosa/litro</b>	<b>Costo por regenerada</b>	<b>costo diario (2 veces x columna)</b>
<b>2%-4%</b>	180	0,30 min	\$ 10,00	\$ 2,67	\$ 480,00	\$ 960,00
<b>2%-4%</b>	180	0,30 min			\$ 480,00	\$ 960,00
<b>COSTO TOTAL DIARIO</b>						\$ 1.920,00
<b>COSTO SEMANAL</b>						\$ 13.440,00
<b>COSTO MENSUAL</b>						\$ 57.600,00
<b>COSTO ANUAL</b>						<b>\$ 700.800,00</b>



<b>CONSUMO DE PROPUESTO</b>						
<b>% de aplicación</b>	<b>Cantidad utilizada</b>	<b>Tiempo de contacto</b>	<b>costo de sosa/galón</b>	<b>costo de sosa/litro</b>	<b>Costo por regenerada</b>	<b>costo diario</b>
<b>2%</b>	90	1,5 h	\$ 10,00	\$ 2,67	\$ 240,00	\$ 480,00
<b>4%</b>	180	0,45 min			\$ 480,00	\$ 960,00
<b>COSTO TOTAL DIARIO</b>						\$ 1.440,00
<b>COSTO SEMANAL</b>						\$ 10.080,00
<b>COSTO MENSUAL</b>						\$ 43.200,00
<b>COSTO ANUAL</b>						\$ <b>525.600,00</b>
<b>AHORRO ANUAL</b>						\$ <b>175.200,00</b>
						25%
<b>AHORRO DIARIO POR COLUMNA</b>						\$ <b>480,00</b>
<b>AHORRO DIARIO TOTAL</b>						\$ <b>1.440,00</b>

En base a lo estudiado y la propuesta de mejora se tiene un ahorro anual de \$700 800.00 si se considerase las condiciones para la regenerada. Los costos operacionales se mantienen y los costos de mantenimiento se mantienen.

**Costo propuesto en base al diseño 1**

<b>COSTO PROPUESTO EN FUNCIÓN AL DISEÑO 1</b>				
<b>Costos directos</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>\$TOTAL</b>
<b>Filtros</b>	PP	160	\$ 5,00	\$ 1.600,00
<b>Tuercas</b>	PP	160	\$ 1,00	\$ 320,00
<b>Empaques</b>	Silicon	112	\$ 5,00	\$ 560,00
<b>Plato</b>	SST	2	\$ 500,00	\$ 1.000,00
<b>Costos indirectos</b>				
<b>Locite (sellador de tuercas)</b>				
<b>Soldadura</b>		kg/columna	Precio / 5kg	
<b>Electrodos E306L</b>		2,5		
<b>Costo de mano de obra</b>	\$/h	2,53	8	20,2380952
<b>COSTO APROXIMADO</b>				<b>\$ 3.500,24</b>

En base al nuevo diseño propuesto manteniendo las mismas características del proceso actual, mejorando el sistema de regenerado y con el sistema de filtrado propuesto se tiene cómo inversión inicial de \$3 500,24 para evitar que la resina se vaya en cada proceso de retro lavado.

### **Costo propuesto en base al diseño 2**

<b>COSTO PROPUESTO EN FUNCIÓN AL DISEÑO 2</b>				
<b>Costos directos</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>\$TOTAL</b>
<b>Tanque</b>	SST	1	\$ 500,00	\$ 500,00
<b>Filtro</b>	SST	1	\$ 120,00	\$ 120,00

<b>Malla</b>	SST	1	\$ 60,00	\$ 60,00
				\$ -
<b>Costos indirectos</b>				
<b>Soldadura</b>		kg	Precio / 5kg	
<b>Electrodos E306L</b>		5	25	5
<b>Costo de mano de obra</b>	\$/h	2,53	24	60,7142857
<b>COSTO APROXIMADO</b>				
				<b>\$ 745,71</b>

La instalación de un filtro 2 en base al costo beneficio y ya para evitar que se tapone el filtro 1 es una alternativa favorable por cuestiones de tiempo.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. Conclusiones

- Las condiciones de operación, así como presión de ingreso queda establecidas de 30-50 psi, caudal de fluido de 9-12 m<sup>3</sup>/h, velocidad de fluidización en 2-6 m/h, temperatura de fluido en 60°C, altura mínima de resina 1.52 m, volumen de resina 3.8 m<sup>3</sup>, nivel de gelatina 2.3m, caída de presión mínima 4.5 psi.
- Durante la operación de regeneración y enjuague la temperatura del agua para enjuagar la resina ya una vez operada, alcanza una temperatura de 60°C máximo, evitando el agotamiento térmico de la resina.
- En el proceso de regeneración se debe realizar una primera regenerada al 2% de la concentración y dejar reposar por 1.5h, mientras que para una segunda regenerada se le debe realizar con una concentración al 4% dejando en reposo aproximadamente 45 min.
- En el retro lavado se seleccionó una malla mesh 40 porque ya en lo practica se realizó pruebas de 150 gramos donde el tamizado y vistas microscópica en 100X se observa claramente que partículas atraviesan la mesh 40 en un 5% obteniendo así que la resina no se vaya por el retro lavado.
- Durante el intercambio de iones pierde la carga de intercambio en el lecho de resina razón por la cual, el tamaño de las partículas se reduce, alcanzando unas condiciones que provocan la ruptura y estas a su vez son dispersadas durante el proceso de retro lavado.
- Para obtener una buena tasa de intercambio iónico el tamaño de partículas de la resina es una condición necesaria, el modelo de partícula en estudio tiene las esferas Gaussiana por lo cual la tasa de intercambio se encuentra en condiciones óptimas en términos promedio.

### 4.2. Recomendaciones

- Para el volumen de resina que se utiliza se recomienda aumentar el caudal de ingreso a la columna porque las condiciones de la resina establecen cómo mínima

fluidización de 10-40 m/h, y en base al estudio realizado alcanza una velocidad de 4 m/h.

- Controlar la temperatura de enjuague para así evitar que se degrade la resina por estrés térmico, la cual tiende a deteriorarse hasta en situaciones romperse y disminuir sus grupos funcionales.
- Diseñar un filtro para evitar que se salga la resina por retro lavado, la cual se tiende a partir por el estrés térmico causado por la mala operación.
- En base al estudio realizado se recomienda que el retro lavado convencional en una columna diseñada para la regenerada en contra flujo es innecesaria, debido a que la perturbación ocasionada del lecho hace que la resina agotada se mezcle con la resina ligeramente cargada, en caso de requerir retro lavado completo se debe utilizar la cantidad doble de regenerante utilizado en contra flujo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. m. o. Europe, «GME,» Cefic, [En línea]. Available: <https://www.gelatine.org/es/gme/misiones-y-objetivos.html>.
- [2] GMIA Instituto Americano de fabricantes de gelatina, «Gelatin Handbook,» New York, 2012.
- [3] ALEPH, «Aleph,» Aleph.org.mx, 2021. [En línea]. Available: <https://aleph.org.mx/> s.
- [4] Graus, «Significados.com,» 2013-2021. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/concentracion-quimica/>.
- [5] Airunp, Captainingerund, Chien, Cinabrium, Diádoco, Elxacto, FAL56, Francisco Valdez Mendoza, «Index,» [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?>
- [6] Reinhard Schrieber and Herbert Gareis, «Gelatin Handbook-Theory and industrial practice», WILEY-VCH, 2007.
- [7] R. L. Mott, «Mecánica de fluidos», México: Pearson Educación, 2006.
- [8] Laura M. Marinez Riascos, Ariey A. Puentes Mendez, Jeison Peña Rojas, «PH, ALCALINIDAD Y ACIDEZ,» Uniersidad Militar Nueva Granda, Nueva Granda, 2014.
- [9] Rousselot, «Rousselot.com,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.rousselot.com/es/rousselot-functional-ingredients/gelatinas-rousselot/proceso-de-produccion-de-la-gelatina>.
- [10] Gelita, «Gelita.com,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.gelita.com/es/conocimientos/gelatina/que-es-la-gelatina/produccion>.
- [11] A. Tamashiro, «Scribd,» Scribd, 02 08 2015. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/273271014/Papers-Resinas-de-Intercambio-Ionico>.
- [12] Concepción Sanchez Ruiz, «Intercambio iónico,» Da Coruña, Coruña, 2015.
- [13] C. Michaud, «Designing Ion Exchangue Systems Water conditioning Purification», 1990.
- [14] Mitsubishi Chemical Corporación, «Data sheet RELITE JA310,» Japan, 2005.
- [15] D. F., «Ion Exchangue,» Francoi, 2015. [En línea]. Available: <http://dardel.info/IX/index.html>.
- [16] Perry, « Manual del Ingeniero Químico», Mexico: Mc Graw Hill, 2001.

- [17] C. Harland, «Ion Exchange : Theory and Practice, Royal Society of Chemistry,» ProQuest Ebook Central, 1994. [En línea]. Available: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uta-ebooks/detail.action?docID=1185659>.
- [18] Verdict, «Power Technology,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.power-technology.com/contractors/filtration/dowwater/>.
- [19] Dégremont, « Manual Técnico del agua-Filtración del agua», EEUU: 1970, 2021.
- [20] D. Water.
- [21] Corbitt R., «Manual de referencia de la ingeniería ambiental», España: McGraw-Hill, 2003.
- [22] Dardel, «Manual de funcionamiento IO», España, 2015.
- [23] «Sgpwe,» Sgpwe, [En línea]. Available: <http://sgpwe.izt.uam.mx/Curso/208.Flujo-de-Fluidos>.
- [24] J. M. L. Estrada, «Diseño y cálculo de recipientes a presión», Mexico D.F.: Inglesa, 1994.
- [25] Baruth, «Water treatment plant desing», USA: McGraw-Hill, 1990.
- [26] Daimlerstraße, «KSH GmbH Kleemeier,» Schewe & CO., 2020. [En línea]. Available: <https://www.ksh-filter.de/en/products/filter-nozzles-accessories/filter-nozzles/type-k1-kr2>.
- [27] T.-L. Quimico, «Portal de contenidos educativos de Química General y laboratorio quimico,» TP-Laboratorio Quimico, 2021. [En línea]. Available: <https://www.tplaboratorioquimico.com/quimica-general/teoria-atomica/iones-2.html>. s

## ANEXOS

### Anexo A . Propiedades del agua

#### Propiedades del agua en función de su temperatura

Temperatura T [°C]	Densidad $\rho_{\text{agua}}$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico $C_p$ [J/kg.K]	Viscosidad $\mu$ [Pa.s]	Tensión superficial. $\sigma_{\text{agua}}$ [N/m]
0	999.8	421.76	1793x10 <sup>-6</sup>	0.07564
5	1000.0			
10	999.7	419.21	1307x10 <sup>-6</sup>	0.07423
15	999.1			
20	998.2	418.18	1002x10 <sup>-6</sup>	0.07275
25	997.0			
30	995.6	417.84	797.7x10 <sup>-6</sup>	0.07120
35	994.1			
40	992.2	417.85	653.2x10 <sup>-6</sup>	0.06960
45	990.2			
50	988.1	418.06	547.0x10 <sup>-6</sup>	0.06794
55	985.7			
60	983.2	418.43	466.5x10 <sup>-6</sup>	0.06624
65	980.6			
70	977.8	418.95	404.0x10 <sup>-6</sup>	0.06447
75	974.9			
80	971.8	419.63	354.4x10 <sup>-6</sup>	0.06267
85				
90	965.3	420.5	314.5x10 <sup>-6</sup>	0.06080
95				
100	958.4	421.59	281.8x10 <sup>-6</sup>	0.05891



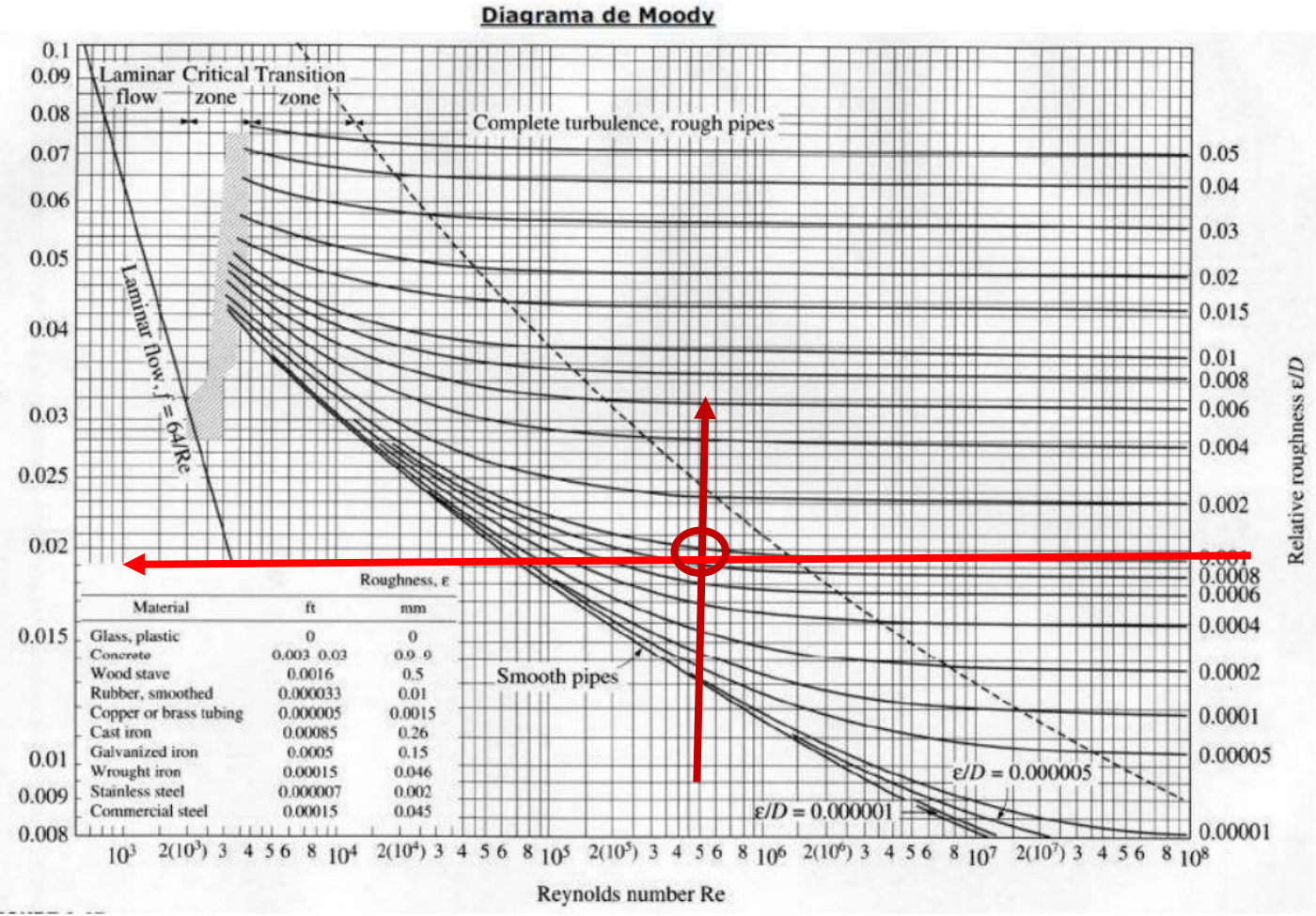
Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

Anexo B Diagrama de Moody



## Anexo C      Rugosidades de materiales

$$f = f(\text{Re}, \varepsilon_r); \quad \text{Re} = D * v * \rho / \mu; \quad \varepsilon_r = \varepsilon / D$$

$\rho$ : densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>). Consultar tabla.

$\mu$ : viscosidad del agua (N·s/m<sup>2</sup>). Consultar tabla.

$\varepsilon$ : rugosidad absoluta de la tubería (m)



RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\varepsilon$ (mm)	Material	$\varepsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

## Anexo D Factor K para accesorios

Coeficientes referenciales de pérdida de carga singular "K" a utilizar en procedimiento según método cinético

TIPO DE ACCESORIO	COEFICIENTE K
Ampliación gradual	0,30
Reducción gradual	0,15
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Entrada normal en tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Válvula de ángulo, abierto	5,00
Válvula compuerta, abierto	0,20
Válvula tipo globo, abierto	10,00
Tee, paso directo	0,60
Tee, salida lateral	1,30
Tee, salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50

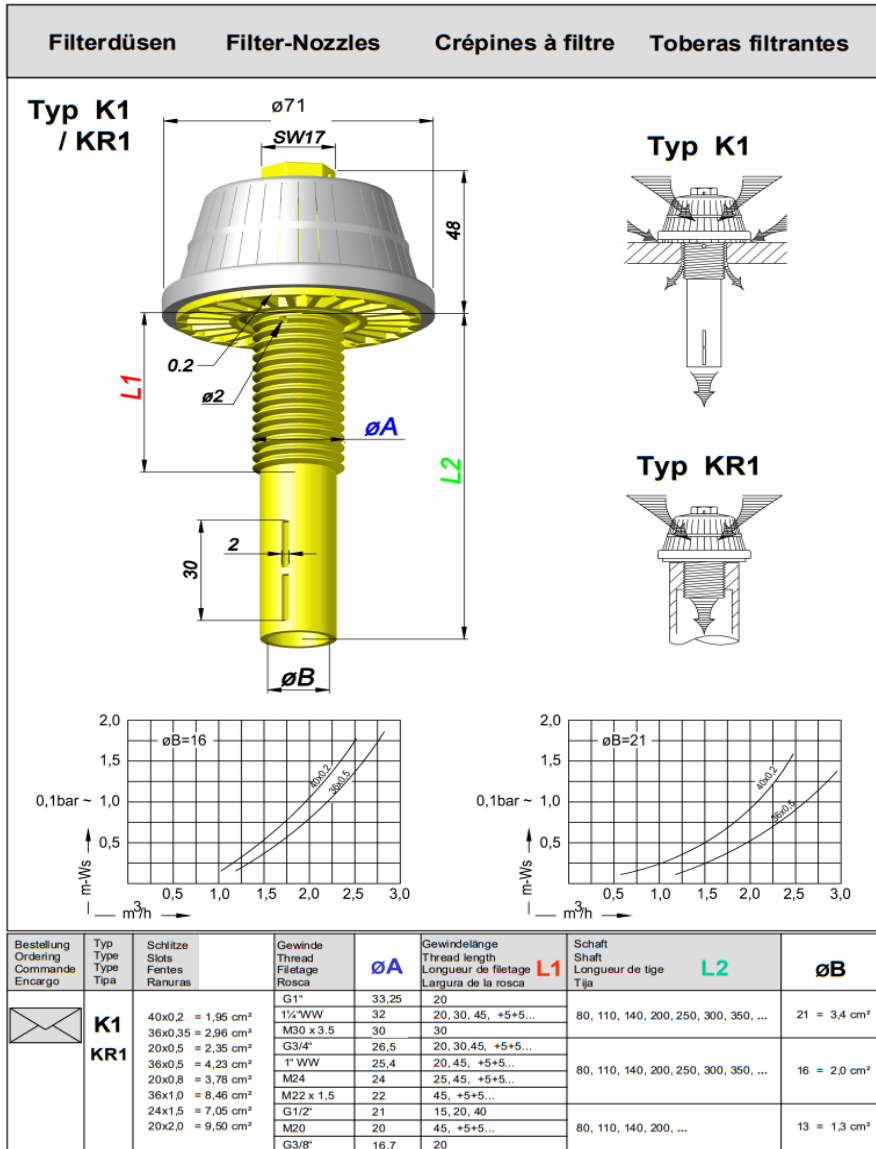
**Tabla 1. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales**  
(elaborado por los autores según valores estándares de la literatura)

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Anexo E Malla tejido plano standard

MALLAS TEJIDO PLANO STANDARD			
MESH	Ø HILO mm	ABERTURA mm	AREA LIBRE %
2	1,500	11,00	77,0
3	1,300	8,00	69,4
4	1,100	5,20	57,6
5	1,000	4	64,0
6	0,900	3,33	62,1
7	0,800	2,80	51,0
8	0,700	2,50	60,0
10	0,630	2	57,0
10	0,900	1,80	48,0
12	0,500	1,60	57,6
14	0,500	1,32	52,0
16	0,440	1,15	51,0
18	0,400	1,00	51,0
20	0,400	850 um	46,2
20	0,500	800 um	38,0
24	0,360	710 um	44,4
30	0,300	540 um	40,0
40	0,250	400 um	38,0
50	0,200	308 um	36,0
60	0,160	250 um	38,0
80	0,125	200 um	38,0
100	0,1000	160 um	36,0
120	0,0900	125 um	34,0
150	0,0630	100 um	38,0
180	0,0560	90 um	35,0
200	0,0500	80 um	38,0
250	0,0400	63 um	38,0
325	0,0360	45 um	36,0
400	0,0280	36 um	31,0
500	0,0250	25 um	25,0
24 × 110	0,026 × 0,036	80 um	

## Anexo F Ficha técnica crepina -filtro tipo k1



## FICHA TÉCNICA IO

FICHA TÉCNICA IO	
Flujo de gelatina (m3/h)	9--12
Concentración de geletina en licor liviano (°Brix)	6--10
Temperatura	55-60
pH de ingreso	2,5-3,5
ph salida	9--11
ph regulado	5,5-6,2
Altura mínima de resina (m) (desde la base-plato crepina)	1,52
Nivel de gelatina (m) (en el tanque, la mitad de tercer visor desde base-plato crepina)	2,3
Capacidad de tanque (m3)	7,8
Volumen de resina instalado (m3)	3,89
Diámetro de tubería de ingreso (in)	1,5
Area de sección transversal de columna (m2)	2,50
Presión de ingreso de gelatina (psi)	30-50
Presión de trabajo columna (psi)	10--15
Presión de aire (psi)	10--15
Tiempo de operación por ciclo (h)	9--12
Caída de presión (psi)	4,5
<b>Regenerante SOSA CAÚSTICA NaOH</b>	
Consumo de químico NaOH (litros_NaOH/regeneración)	180
Consumo de agua caliente para regeneración a 65°C (m3_water/ciclo)	2,60
Concentración de regenerante %	2--4
Velocidad nominal del regenerante (m/h)	2--6
<b>RESINA</b>	
Tamaño efectivo de resina (mm)	0,45
Cantidad total de resina que llegó a planta (m3)	11,5
Densidad de resina (kg/m3)	1050
Cantidad de sacos (sacos/columna)	137
Cantidad de resina sobrante (sacos 25kg)	50
Hinchazón de resina (%)	17
<b>SLOT DE FILTROS</b>	
Slot de faluta de ingreso (mm)	0,18
Slot de crepina (mm)	0,15
Slot de filtro de salida de gelatina (mm) mesh 50	0,3
Trampa de salida de retrolavado (mm) slot-mesh 40	0,4
Potencia total instalada (hp)	32
Número de crepinas (#/plato)	112

## **PLANOS**