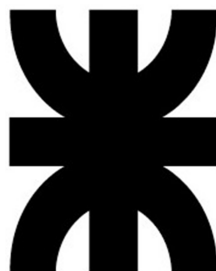


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA



Proyecto final de grado de Ingeniería Química

# **Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario**

BELLOTTI Camila  
IRIGO SIMÓ Ornella Belén

Año 2018



Firma de los alumnos:

Apellido y Nombres: **Bellotti Camila**

Firma:.....

Apellido y Nombres: **Irigo Simó Ornella Belén**

Firma:.....

Aceptado por Facultad Regional Villa María de la UTN, Villa María,.....

Aprobada por su contenido y estilo.

Presidente del Tribunal:.....

Primer Miembro Vocal:.....

Segundo Miembro Vocal:.....

Fecha:..... Calificación:..... Libro:..... Folio:.....

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer en primer lugar al Ing. Rubén Baccifava, quien fue nuestro guía y supervisor durante el transcurso de este camino para concretar la meta final, brindándonos su incondicional apoyo.

También, destacamos la gran ayuda del Ing. Luis Toselli, Ing. Virginia González Estévez y Lic. Fernando Bonaterra quienes con sus valiosos aportes contribuyeron para la realización de este proyecto.

Finalmente, un enorme y sentido agradecimiento a nuestra querida UTN, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María, institución que formó parte de nuestro hogar durante 5 hermosos años, y no podemos dejar de mencionar a todo el cuerpo docente y no docente que fue partícipe de nuestra formación durante este período, grandes profesionales y de una enorme calidad humana.

### **Camila**

Por este logro quiero agradecer principalmente a mi mamá, Mónica, y a mi abuela Jacqueline, por acompañarme y apoyarme a largo de todos estos años; por permitirme alcanzar mis sueños y no dejar que me rinda cuando el camino se ponía difícil. Agradezco a mi abuelo, Pedro y a toda mi familia por estar presente.

A mi novio, Gonzalo, por ser mi gran compañero en esta trayectoria, por escucharme y aconsejarme cada vez que lo necesite.

También agradecer a mis amigas por el apoyo y cariño de todo este tiempo. Finalmente quiero agradecer a Ornella por la constancia y dedicación de estos años que atravesamos juntas en la universidad hasta alcanzar la meta final.

### **Ornella**

Quiero agradecer por este gran logro a mis padres, Olga y Omar por acompañarme siempre de manera incondicional a lo largo de estos años y por el enorme esfuerzo que hicieron para que pueda hoy alcanzar esta meta. A mis hermanos Sebastián, Alejandro y Oriana por estar siempre presente y brindarme su apoyo en los momentos difíciles. A mis queridas abuelas y familia en general.

A Camila por su amistad y compañerismo, a todos mis valiosos amigos universitarios y a aquellas personas que formaron parte de esta hermosa etapa.



## ÍNDICE

1. FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS .....	13
1.1. Objetivos generales.....	13
1.2. Objetivos específicos.....	13
1.3. Finalidad del proyecto .....	14
1.4. Bibliografía .....	15
2. DESCRIPCION DEL PRODUCTO.....	17
2.1. Introducción y principales usos.....	17
2.2. Ventajas y aplicaciones.....	18
2.3. Propiedades físico-químicas.....	19
2.4. Principales coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas .....	21
2.5. Descripción de los coagulantes más comunes .....	22
2.6. Comparación entre los agentes coagulantes.....	22
2.7. Implicancia del policloruro de aluminio en el tratamiento de aguas.....	24
2.8. Elaboración del coagulante y condiciones de almacenamiento .....	26
2.9. Bibliografía .....	27
3. ESTUDIO DE MERCADO.....	30
3.1. Introducción.....	30
3.2. Comercio exterior de Argentina .....	30
3.3. Industria química argentina .....	31
3.4. Producción nacional de policloruro de aluminio.....	32
3.5. Importaciones.....	33
3.6. Exportaciones.....	34
3.7. Demanda insatisfecha .....	35
3.8. Materias primas.....	37
3.8.1. Aluminio.....	37
3.8.2. Ácido clorhídrico .....	39
3.9. Mercados previstos .....	41
3.10. Análisis FODA .....	41
3.10.1. Fortalezas .....	41
3.10.2. Oportunidades .....	41
3.10.3. Debilidades .....	42

3.10.4. Amenazas.....	42
3.11. Bibliografía .....	43
4. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	45
4.1. Introducción.....	45
4.2. Macro y micro localización.....	45
4.2.1. Disponibilidad de la materia prima .....	45
4.2.2. Localización del mercado consumidor .....	47
4.2.3. Disponibilidad de mano de obra.....	50
4.2.4. Disponibilidad de transporte.....	50
4.3. Atanor S.A.....	51
4.4. Bibliografía .....	53
5. CAPACIDAD DE LA PLANTA DE PRODUCCION .....	55
5.1. Introducción.....	55
5.2. Factores que determinan el tamaño .....	55
5.3. Tamaño de la planta.....	56
5.4. Determinación de la producción óptima en función de la demanda .....	57
5.5. Bibliografía .....	59
6. SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	61
6.1. Introducción.....	61
6.2. Métodos de obtención de policloruro de aluminio .....	61
6.2.1. Obtención de PAC a partir de aluminio metálico secundario (chatarra).....	62
6.2.2. Obtención de PAC a partir de hidróxido de aluminio – Patente CN1046512A. 62	
6.2.3. Obtención de PAC a partir de alúmina – Patente CN101898775A.....	63
6.2.4. Cuadro comparativo entre los métodos de obtención .....	63
6.3. Proceso de obtención seleccionado .....	64
6.3.1. La industria del aluminio secundario .....	64
6.3.2. Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario .....	68
6.3.3. Diagrama de flujo del proceso.....	72
6.3.4. Régimen de trabajo.....	74
7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	78
7.1. Introducción.....	78

7.2. Balance de masa.....	79
7.2.1. Molino .....	81
7.2.2. Reactor .....	83
7.2.3. Intercambiador de calor .....	85
7.2.4. Condensador .....	87
7.2.5. Filtro.....	89
7.3. Balance de energía .....	91
7.3.1. Reactor .....	91
7.3.2. Intercambiador de calor .....	94
7.3.3. Condensador .....	95
7.4. Resumen de los balances de masa y energía .....	98
7.5. Bibliografía .....	99
8. DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS.....	101
8.1. Introducción.....	101
8.2. Recepción y almacenamiento de materias primas.....	102
8.2.1. Diseño de la tolva de almacenamiento de la materia prima de aluminio A-01	102
8.2.2. Diseño del tanque regulador de caudal de agua A-02.....	104
8.2.3. Diseño del tanque regulador de caudal de ácido clorhídrico al 37% A-03 .....	107
8.2.4. Diseño del tanque regulador de caudal de ácido clorhídrico al 11% A-04 .....	108
8.3. Adopción del molino de martillos M-01 .....	109
8.4. Diseño de tolva de almacenamiento de aluminio molido A-05.....	111
8.5. Diseño del reactor R-01.....	112
8.5.1. Cinética de la reacción.....	113
8.5.2. Cálculo del volumen del reactor .....	114
8.5.3. Cálculo de las dimensiones del reactor y sistema de agitación .....	115
8.5.4. Selección del material de construcción de los reactores .....	120
8.5.5. Determinación del espesor y diámetro exterior .....	120
8.5.6. Determinación de las dimensiones de la tapa y el fondo.....	121
8.5.7. Cálculo de la potencia de agitación.....	122
8.5.8. Adopción del motor eléctrico y caja reductora .....	124
8.5.9. Cálculo del aislante térmico .....	125
8.6. Diseño del intercambiador de calor I-01 .....	127

8.7. Diseño de condensador-subenfriador del agua I-02 .....	129
8.8. Adopción del filtro prensa de placas y marcos F-01 .....	131
8.9. Diseño de tanque de almacenamiento del policloruro de aluminio A-06 .....	135
8.10. Equipos adicionales.....	136
8.10.1. Adopción del transportador de sólidos tipo tornillo helicoidal A-07 .....	137
8.10.2. Adopción de los sistemas de transporte neumático A-08.....	139
8.10.3. Adopción del ventilador centrífugo A-09.....	141
8.10.4. Cálculo y adopción de bombas .....	143
8.11. Bibliografía .....	158
9. SERVICIOS AUXILIARES .....	161
9.1. Introducción.....	161
9.2. Servicio de aire.....	161
9.3. Servicio de agua.....	166
9.3.1. Agua para proceso.....	166
9.3.2. Agua de enfriamiento.....	167
9.3.3. Agua para limpieza .....	172
9.4. Bombas.....	176
9.5. Servicio de electricidad.....	183
9.5.1. Descripción de la instalación eléctrica.....	183
9.5.2. Consumo de energía eléctrica de los equipos.....	185
9.5.3. Consumo de energía eléctrica en luminaria .....	186
9.6. Bibliografía .....	192
10. CONTROL DE CALIDAD .....	194
10.1. Introducción.....	194
10.2. Plan de control de calidad .....	194
10.2.1. Sistema de control de materias primas .....	195
10.2.2. Sistema del control del proceso productivo .....	197
10.2.3. Sistema del control del producto terminado .....	200
10.2.4. Procedimiento de control de producto no conforme (ISO 9001) .....	202
10.3. Registros.....	202
10.4. Bibliografía .....	203

11. TRATAMIENTO DE EFLUENTES .....	205
11.1. Introducción.....	205
11.2. Perfil ambiental de la ciudad.....	206
11.3. Tipos de tratamiento.....	206
11.4. Normativa sobre el vertido de efluentes.....	208
11.5. Caracterización de los efluentes de la planta de policloruro de aluminio .....	210
11.6. Tratamiento de efluentes generados en la etapa de reacción.....	210
11.7. Tratamiento de efluentes generados en la etapa de filtración.....	211
11.8. Parámetros evaluados de los efluentes líquidos vertidos por la industria .....	212
11.9. Bibliografía .....	213
12. INSTALACIONES CIVILES.....	215
12.1. Introducción.....	215
12.2. Requisitos de espacio .....	215
12.3. Descripción general del establecimiento.....	216
12.4. Descripción de las áreas .....	217
12.4.1. Sector I .....	219
12.4.2. Sector II .....	220
12.4.3. Sector III .....	221
12.4.4. Sector IV.....	223
12.4.5. Sector V.....	223
12.4.6. Sector VI.....	224
12.4.7. Sector VII.....	224
12.4.8. Sector VIII.....	225
12.4.9. Sector IX.....	225
12.4.10. Sectores adicionales.....	226
12.5. Bibliografía .....	227
13. ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL .....	229
13.1. Introducción.....	229
13.2. Naturaleza jurídica de la empresa .....	229
13.3. Estructura organizativa.....	229
13.4. Descripción de los puestos de trabajo .....	233
13.4.1. Jefe del departamento de producción (Pertenece a ATANOR S.A).....	233

13.4.2. Jefe de planta .....	233
13.4.3. Jefe de turno o supervisor.....	234
13.4.4. Operarios.....	234
13.4.5. Jefe de laboratorio y control de calidad (Pertenece a ATANOR S.A) .....	234
13.4.6. Analista de laboratorio .....	235
13.4.7. Auxiliares de otras áreas.....	235
13.5. Organización de la producción .....	236
13.6. Cantidad de personal y turnos de trabajo .....	237
13.7. Bibliografía .....	239
<b>14. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO .....</b>	<b>241</b>
14.1. Introducción.....	241
14.2. Inversión.....	241
14.2.1. Activos fijos.....	242
14.2.2. Activos nominales .....	250
14.2.3. Capital de trabajo.....	251
14.2.4. Inversión necesaria.....	251
14.3. Análisis de costos.....	252
14.3.1. Costos variables .....	253
14.3.2. Costos fijos .....	258
14.4. Ingresos por ventas.....	263
14.5. Costo total y unitario de producción.....	263
14.6. Evaluación económica del proyecto .....	264
14.6.1. Estado de resultados .....	264
14.6.2. Valor Actual Neto (VAN) .....	267
14.6.3. Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	268
14.6.4. Período de Recuperación de la Inversión.....	269
14.7. Análisis de sensibilidad .....	269
14.7.1. Variación de la TIR con el precio de venta.....	270
14.7.2. Variación de la TIR con el precio de las materias primas .....	271
14.7.3. Variación de la TIR con los costos de mano de obra.....	272
14.8. Bibliografía .....	273
<b>15. CONCLUSIONES .....</b>	<b>276</b>

ANEXO A.....	277
ANEXO B.....	290
ANEXO C.....	301

---

# FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS

---

CAPÍTULO 1



## **1. FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivos generales**

- ✓ Determinar la factibilidad técnica y económica-financiera referida a la producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario.
- ✓ Aplicar los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera para el desarrollo y confección del proyecto.
- ✓ Evaluar y analizar alternativas mediante criterios de formación profesional, con el fin de tomar decisiones y llegar a las conclusiones pertinentes en lo respectivo a la realización del presente proyecto.
- ✓ Definir adecuadamente los procesos productivos involucrados, lo que permitirá a la empresa desarrollar y utilizar las tecnologías y recursos necesarios para consolidar su posición en el mercado.
- ✓ Buscar una adaptación más efectiva a las nuevas condiciones materiales y energéticas, así como el equilibrio con el medio ambiente, partiendo de las realidades de la situación económica presente y futura.

### **1.2. Objetivos específicos**

- ✓ Confeccionar una descripción detallada del producto a elaborar, resaltando las características físico-químicas del mismo, su aplicación en las industrias de interés y usos en general.
- ✓ Definir a través de un estudio de mercado, aspectos geográficos y económicos relacionados a los proveedores de materias primas e insumos, el consumo final del producto terminado y los mercados que lo integran, con el fin de tomar decisiones referidas a la localización de la planta y la capacidad de producción.
- ✓ Seleccionar el proceso más conveniente de elaboración de policloruro de aluminio.
- ✓ Diseñar equipos e instalaciones industriales para el proceso de producción seleccionado mediante software de simulación.
- ✓ Detallar mediante la elaboración de planos las correspondientes ubicaciones de los equipos y especificar de esta forma las diferentes áreas de proceso, junto con la distribución de las instalaciones en la planta.
- ✓ Analizar la factibilidad técnica económica financiera del proyecto.

### **1.3. Finalidad del proyecto**

El presente proyecto tiene como finalidad la evaluación técnica y económica referida a la viabilidad de instalar una planta de elaboración de policloruro de aluminio líquido (PAC) en Argentina, ubicada en un espacio geográfico que se adecúe a los requerimientos necesarios para lograr los objetivos de este proyecto. Por tales razones, la industria de elaboración de PAC se decide anexar a Atanor S.A (Río Tercero), con la finalidad de aprovechar el ácido clorhídrico obtenido como producto secundario, y así lograr una mayor rentabilidad del producto final; además de darle un uso y destino a las producciones sobrantes y disponibles, se logra aumentar la capacidad productiva de la planta ya existente. Se pretende también desarrollar un método de producción que permita conseguir un producto de índole competitiva en el mercado, relacionando variables como precio, demanda y calidad.

El producto seleccionado es de interés debido a la amplia variedad de aplicaciones y usos que presenta, dentro de los cuales se destaca su utilización en el tratamiento de aguas y aguas residuales, ya que sin duda estos procedimientos son de suma importancia para la sustentabilidad del medio ambiente y la vida de ser humano.

Por lo tanto, se tiene por meta lograr la sustitución de las compras en el exterior y el aumento de producción de la industria Argentina, con todos los beneficios productivos y económicos que esto implica.

#### **1.4. Bibliografía**

- **BACA URBINA, Gabriel. 1995.** *Evaluación de proyectos.* México : McGraw Hill, 1995.
- **SANCHEZ MACHADO, I.R. 2010.** *Cambio tecnológico en industria química cubana: criterio económico y ambiental.* 2010.

---

# DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

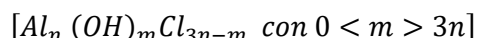
---

CAPÍTULO 2

## **2. DESCRIPCION DEL PRODUCTO**

### **2.1. Introducción y principales usos**

Los polímeros inorgánicos son macromoléculas de cadena larga, obtenidas por asociación de monómeros simples, que poseen cargas eléctricas o grupos ionizables. El policloruro de aluminio es un polímero inorgánico, fabricado a partir de materias primas seleccionadas, bajo estrictas condiciones de proceso, se trata de una sal de alta basicidad con base en anión cloruro, que presenta especies polinucleares de aluminio. Corresponde a un producto cuya fórmula general es:



Para  $n = 2$  y  $m = 5$  se tiene la fórmula de PAC en cuestión:



Esta característica conformación lo convierte en un coagulante de alto desempeño, con excelentes propiedades para el tratamiento de aguas. (ROMERO, y otros, 2007)

Es un producto que se presenta en forma líquida, lo que facilita su manejo y su aplicación en plantas industriales y de potabilización, aunque también puede comercializarse en estado sólido. Se sintetiza a partir de sustancias que contengan aluminio, incluido el aluminio metálico, la alúmina trihidratada, el cloruro de aluminio, y combinaciones de éstos.

Desestabiliza los microorganismos y las partículas coloidales, permitiendo que éstas se junten entre sí, formando coágulos que posteriormente se aglomeran (reducción de turbidez y DQO). Con lo cual, se emplea para remover color y materia coloidal en sistemas acuosos, como coagulante primario en sistemas de potabilización de aguas superficiales o profundas, tratamiento de aguas residuales industriales, industrias metal-mecánica, derivados lácteos, entre muchos otros. (ABRAMOVICH, 2005). En la industria papelera, por su alta densidad de carga, tiene el potencial de incrementar la eficiencia de los procesos de encolado, retención y drenado, también tiene aplicación en la clarificación de los efluentes industriales generados en este sector.

### 2.2. Ventajas y aplicaciones

Dentro de las ventajas referidas a su comportamiento químico se destacan:

- ✓ Gran fuerza coagulante/floculante, coagula sólidos suspendidos o dispersiones coloidales, produciendo flóculos de fácil sedimentación y filtrables.
- ✓ Facilidad de uso, es de fácil manejo, almacenamiento y dosificación.
- ✓ En gran cantidad de aplicaciones se requiere del uso de polímeros orgánicos como ayudante de floculación, pero al usar PAC el consumo de éstos es mucho menor o innecesario, ya que el pH del agua permanece invariable aún en casos de sobredosificación.
- ✓ Efectivo en un amplio intervalo de pH, sin perder eficiencia, en comparación con el sulfato de aluminio y otros coagulantes. Trabaja en un rango de pH de 6 a 9 dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en agua.
- ✓ Debido a la polimerización de su molécula permite una alta captación de contaminantes (orgánicos e inorgánicos).
- ✓ No deja residuos insolubles indeseados y puede usarse tanto diluido como concentrado.
- ✓ La dosis a implementar varía dependiendo del efluente y el agua a tratar, desde las 10 a 100 ppm en la clarificación de aguas, pudiendo alcanzar en efluentes hasta las 1000 ppm. (ANDRADE LÓPEZ , 2012)

En cuanto a los beneficios productivos y aplicaciones en general cabe mencionar:

- ✓ Rápida formación de flóculos.
- ✓ Tiempos cortos para reaccionar y sedimentar.
- ✓ Muy versátil para tratar aguas de variada turbiedad, alcalinidad y contenido de materia orgánica.
- ✓ Comparado con el sulfato de aluminio, presenta un mejor efecto coagulante, aún cuando se trata de agua a bajas temperaturas (<10°C).
- ✓ Mejora en la remoción de turbidez.
- ✓ Mejora en la remoción de color.
- ✓ Aumento en la remoción de carbón orgánico total.
- ✓ Aumento en la operación de filtrado.
- ✓ Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros.
- ✓ Puede ser diluido a cualquier concentración sin que se altere el producto.

- ✓ Su doble función de coagulante/floculante hace que no sea necesario, en la mayoría de los casos, el uso de floculantes de alto peso molecular.
- ✓ Reducción de lodos en un 25-75%.
- ✓ Menor costo de operación.
- ✓ Muy efectivo a bajas concentraciones, lo que disminuye los costos del tratamiento.
- ✓ Dentro de los usos más importantes se destaca su aplicación para purificar las aguas superficiales, aguas residuales de industrias, municipios y para el tratamiento del agua en las piscinas.
- ✓ Muy eficiente para el tratamiento de aguas con alto contenido de hierro o compuestos de hierro, aguas con partículas de petróleo, aguas duras o con color.

Por todas estas características es un producto que presenta una excelente prestación en el tratamiento de las aguas y efluentes líquidos, sin producir ningún tipo de contaminación ni interferencias.

### **2.3. Propiedades físico-químicas**

El policloruro de aluminio es una sal inorgánica de aluminio multinuclear (PAC) capaz de formar con mayor rapidez y perfección flóculos, que presentan mayor velocidad de sedimentación y poder clarificante, logrando así remociones más altas de turbiedad respecto a otras sales de aluminio mononuclear como el sulfato de aluminio. El rango de pH óptimo de funcionamiento se encuentra entre 5 y 9 dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en el agua. El policloruro de aluminio se presenta comercialmente como un líquido ligeramente viscoso de color ámbar claro, posee la ventaja de su fácil manejo y dosificación sin dejar residuos insolubles indeseados, a diferencia de los coagulantes convencionales granulados que deben disolverse y en muchos casos dejan residuos que dañan los equipos dosificadores (COGOLLO FLÓREZ, 2011).

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química



Figura 2-1. Policloruro de aluminio líquido

En la tabla 2-1 se detallan las propiedades físico químicas del policloruro de aluminio.

Tabla 2-1. Propiedades físico-químicas del PAC

Parámetro	Descripción
Concentración ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	18%
Peso molecular	174,41 g/mol
Estado físico	Líquido
Familia Química	Polímero inorgánico
Apariencia – color	Amarillento - Ámbar claro
Olor	Ligeramente ácido
pH del compuesto	2-3
Basicidad*	38 - 44%
Solubilidad en agua	Completa
Solubilidad en otros	Insoluble en solventes orgánicos
Punto de ebullición	120-130°C
Punto de fusión	-20°C
Densidad (a 25°C)	1,360 a 1,380 g/cm <sup>3</sup>
Estabilidad	Estable a temperatura y presión normales.
Descomposición térmica	A más de 200°C emite gases tóxicos de HCl

\*La basicidad se refiere al número de iones hidróxido promedio por átomos de aluminio en las moléculas del PAC ( $[\text{OH}]/[\text{Al}]$ ). Es un índice del grado de polimerización.



### 2.4. Principales coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas

Las plantas de tratamiento de aguas, independientemente de su tamaño, nivel de sofisticación tecnológica o la calidad del agua tratada, necesitan periódicamente introducir cambios en sus procesos para garantizar mejoras en su funcionamiento y en la calidad del agua para estar a la par de los avances y cumplir con las legislaciones gubernamentales, cada día más exigentes.

La utilización de los coagulantes más comunes como el sulfato de aluminio, se ha cuestionado en los últimos tiempos debido a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (BECARIA, y otros, 2006). En este contexto, si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y puede solubilizarse el aluminio ocasionando problemas de altas variaciones en los valores de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y aluminio residual del agua clarificada. El aluminio en solución ocasiona una reestabilización de las cargas de las partículas en suspensión y experimenta una post floculación generando problemas en la apariencia del producto terminado, especialmente en aguas envasadas (NORDBERG, 1990).

Una de las opciones para alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes alternativos, como el policloruro de aluminio, el cual presenta un mejor desempeño que los coagulantes convencionales para tratamiento de aguas municipales y aguas residuales.

Los productos más comunes en el tratamiento químico de aguas son:

- ✓ Sulfato de Aluminio.
- ✓ Policloruro de Aluminio.
- ✓ Cloruros de Hierro.
- ✓ Sulfatos de Hierro.
- ✓ Mezclas Inorgánicas/Orgánicas.

### 2.5. Descripción de los coagulantes más comunes

Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la asociación de las partículas coloidales dando origen a la formación de flóculos de mayor tamaño. Los más comunes que se utilizan en el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio o cloruro férrico, los cuales presentan un rango específico de pH donde ocurre la máxima precipitación de las partículas (YE, y otros, 2007).

Tradicionalmente, el *sulfato de aluminio (alum)* ha sido el químico coagulante que ha dominado el mercado, estando disponible en todo el mundo con un costo razonable a causa de la versatilidad de su producción. Sin embargo, en los últimos años se ha desarrollado una nueva generación de coagulantes inorgánicos polimerizados como el policloruro de aluminio, el cual presenta diferencias significativas en el proceso de clarificación de aguas en comparación al alum.

El *policloruro de aluminio* presenta diferentes fases sólidas durante las reacciones hidrolíticas respecto a los coagulantes convencionales: los flóculos de PAC tienden a ser grupos de pequeñas esferas y/o estructuras tipo cadena con tamaño menor a 25 mm, mientras que los flóculos de sulfato de aluminio son usualmente estructuras esponjosas y porosas con tamaño de 25 a 100 mm, lo que ocasiona que produzcan una menor turbiedad en suspensión en comparación con el sulfato de aluminio. En este contexto, el PAC presenta una gama de especies hidrolíticas de Al (III) preformadas de calidad superior, que poseen una estructura estable ante hidrólisis posteriores, lo que contribuye a una mayor eficiencia de coagulación junto con una menor producción de lodos.

### 2.6. Comparación entre los agentes coagulantes

Como se observa en la tabla 2-2, se considera que el PAC es más eficiente que el sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas, debido a su mayor capacidad de remoción de sólidos suspendidos, entre otros factores. Particularmente, el policloruro de aluminio se caracteriza por su alta velocidad de reacción y rápido accionar en el proceso de coagulación y clarificación.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 2-2. Comparación entre los principales agentes coagulantes

Factor	Sulfato de aluminio	Policloruro de aluminio
Temperatura	Afecta la hidrólisis y por ende, la producción de complejos hidróxidos cargados positivamente, esenciales para la coagulación.	Menor efecto de la temperatura por la presencia de estructuras de aluminio prepolimerizadas.
pH	El rango de trabajo de pH controla cualquier especie de hidróxido de aluminio que se produce. Es limitado.	Se espera menor impacto del pH por la presencia de formas de aluminio prepolimerizadas.
Especie de aluminio	La mayoría de especies de aluminio son complejos hidroxilo monoméricas con una carga catiónica de +1 a +3.	Presencia de formas de aluminio monoméricas y poliméricas.
Velocidad de reacción	Lenta	Rápida
Flóculos	Formación lenta. Indefinidos, porosos.	Definidos. Sedimentan fácilmente.
Contenido de aluminio residual	Alto	Bajo
Producción de lodos y turbiedad	Alta	Baja

Uno de los detalles más importantes en una planta de tratamiento de agua potable es el punto de dosificación del coagulante inorgánico. La dosificación del PAC normalmente no requiere la aplicación adicional de neutralizadores como el carbonato de sodio (las sales del sulfato de aluminio forman hidróxido cuando coagulan, liberando un grupo  $H^+$  por cada ión  $OH^-$  que ganan, de ahí que se altere el pH del agua tratada, siendo necesario el ajuste del pH utilizando estos aditivos) y debido a que el PAC se encuentra parcialmente hidrolizado la caída de pH es significativamente menor (A. TORRA, 1998).

Además, el PAC deja un residual de aluminio en el agua que se mide en partes por billón a diferencia del sulfato de aluminio que deja un residual medible en partes por millón. Este dato es de gran importancia, por cuanto existen investigaciones científicas que establecen que el aluminio en exceso en el agua de consumo, es una de las posibles causas de la aparición de Alzheimer en los seres humanos.

### 2.7. Implicancia del policloruro de aluminio en el tratamiento de aguas

Recientemente, la disponibilidad del agua se ha convertido en una problemática en muchas regiones donde no existen suficientes fuentes de este recurso natural. La contaminación cada vez más seria de los ríos, lagos e incluso del agua subterránea hacen el tratamiento de agua potable para consumo, un reto cada vez más difícil.

El proceso de tratamiento de aguas, está conformado por una serie de operaciones que tienen por finalidad remover o reducir sus contaminantes, con el objetivo de cumplir con las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas especificadas en la legislación vigente.

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se puedan remover con mayor facilidad. Es un proceso utilizado tanto en sistemas de tratamiento de aguas municipales con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales, ya sea agua para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, entre otras. Las principales etapas involucradas son:

- ✓ *Coagulación:* es el proceso de formación de pequeñas partículas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente. La mezcla rápida favorece la dispersión del producto químico en el agua, promoviendo la agrupación de la materia en suspensión. Es la etapa más eficaz para la eliminación de impurezas.
- ✓ *Floculación:* es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado flóculo, debido a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. La floculación se ve favorecida por un mecanismo de agitación lenta, ya que un mezclado demasiado intenso rompe y desestabiliza los flóculos, evitando que se vuelvan a formar eficazmente.
- ✓ *Sedimentación:* es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad, se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado. Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas y coloides agrupados generados en las etapas anteriores de coagulación y floculación.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

La clarificación es una etapa fundamental en el tratamiento de aguas, ya que de su correcto desarrollo deriva la efectividad de la remoción de las impurezas. En el mercado existen muchos tipos de coagulantes convencionales que se han utilizado tradicionalmente para la desestabilización de las partículas, sin embargo, las exigencias crecientes en cuanto a especificaciones de calidad del agua tratada y de optimización técnica y financiera de los procesos en cuestión, han provocado que se vea cuestionada la eficiencia de los mismos y se considere su remplazo por una nueva generación de agentes alternativos, como el policloruro de aluminio (CARTWRIGHT, 2009).

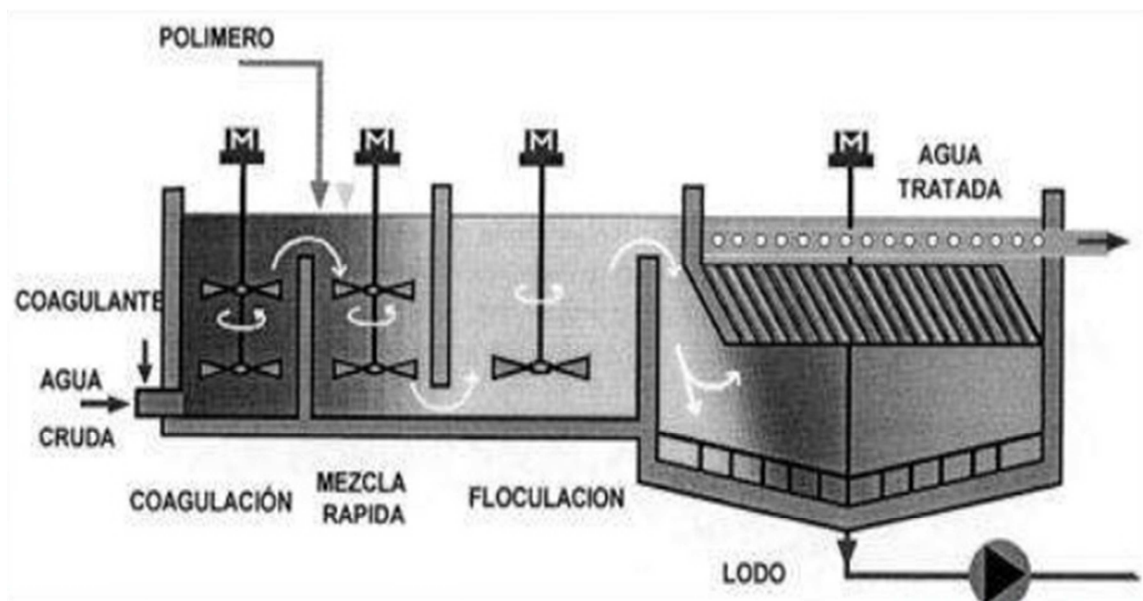


Figura 2-2. Esquema del proceso de clarificación de aguas

En los sistemas de tratamiento de aguas industriales, con el uso de coagulantes polimerizados como el PAC se consigue un mejor resultado del proceso de clarificación desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad del agua tratada y del costo del tratamiento, en comparación con los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio. Este producto no presenta alto riesgo en su manejo pero, por ser una sal ácida debe tratarse con cuidado, evitando el contacto con los metales que puedan sufrir corrosión tales como hierro, cobre, bronce, aluminio y acero inoxidable. El PAC no emite gases y por lo tanto, no causa efectos nocivos al ser inhalado.

### 2.8. Elaboración del coagulante y condiciones de almacenamiento

La materia prima necesaria para la fabricación del PAC, es cualquier fuente de aluminio (como hidróxido de aluminio, aluminio sólido metálico, bauxita natural) y ácido clorhídrico. Ambos productos se introducen en un reactor químico, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura mientras son agitados durante un cierto tiempo. El producto resultante, es sometido a filtración y luego almacenado para su uso. El PAC es estable a temperatura y presión normales.

Como el PAC es un producto corrosivo, se almacena en tanques de PRFV (plástico reforzado con vidrio o fibra de vidrio), fibra de vidrio, plástico (PP, PVC, PE); no debe almacenarse en tanques de cobre, hierro o aluminio. El área de almacenamiento debe estar adecuadamente ventilada y los recipientes deben permanecer bien cerrados cuando no estén en uso (tanto esta zona como el sistema de iluminación deben construirse de materiales resistentes a la corrosión). Los recipientes deben estar debidamente etiquetados y alejados de fuentes de calor, y se debe evitar el uso de recipientes metálicos debido a su corrosividad.

Debe tenerse en cuenta que por descomposición térmica (pirólisis) libera gases irritantes de ácido clorhídrico. Se deben evitar las temperaturas excesivamente altas, los contactos con bases, ya que reaccionan produciendo desprendimiento de calor, oxidantes y productos que desprenden gases en medio ácido (cloritos, hipocloritos, sulfitos, sulfuros).

### 2.9. Bibliografía

- **A. TORRA, F. 1998.** *Policloruro de aluminio en el proceso de potabilización de aguas superficiales.* 1998.
- **ABRAMOVICH, B. 2005.** *Remoción de enteroparásitos en agua por coagulación, floculación y sedimentación.* Buenos Aires, Argentina : s.n., 2005.
- **ALDAR QUÍMICA S.A. 2010.** *PAC - Propiedades físicas.* 2010.
- **ANDRADE LÓPEZ , M.G. 2012.** *Estudio de policloruro de aluminio como sustituto del sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas en plantas de Mahuarca y Uchupucun.* 2012.
- **ARQUIMIA.** Policloruro de Aluminio PAC 18. [Citado el: 7 de Noviembre de 2017.] [http://www.arquimiasa.com.ar/descargar\\_archivoM.php?id=19](http://www.arquimiasa.com.ar/descargar_archivoM.php?id=19).
- **ARQUIMIA S.A.** PAC 18 - Policloruro de Aluminio Coagulante Inorgánico. [Citado el: 7 de Noviembre de 2017.] [http://www.arquimiasa.com.ar/descargar\\_archivoB.php?id=19](http://www.arquimiasa.com.ar/descargar_archivoB.php?id=19).
- **AWT PAC - Policloruro de Aluminio.** awtsa.com. [Citado el: 2017 de noviembre de 21.] <http://www.awtsa.com/store/productView.do?code=26&description=AWT+PAC++Policloruro+de+Aluminio>.
- **AWT S.A.** AWT PAC. [Citado el: 7 de Noviembre de 2017.] [http://torres.com.ec/pdf/pac\\_01.pdf](http://torres.com.ec/pdf/pac_01.pdf).
- **BECARIA, A, LAHIRI, D y BONDY, S. 2006.** *Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain.* s.l. : Journal of Neuroimmunology, 2006.
- **BOCHKAREV, G, KURBATOV, P y KONDRAT'EV, S. 2003.** *Intensification of coagulation purification of highly colored waters.* s.l. : Journal of Mining Science, 2003.
- **CARTWRIGHT, P. 2009.** *Tratamiento y reuso del agua en aplicaciones comerciales e industriales.* 2009.
- **Cinética Química.** Policloruro de Aluminio. [Citado el: 7 de Noviembre de 2017.] <http://policlorurodealuminio.com/>.
- **COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. 2011.** *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del policloruro del aluminio.* Medellín, Colombia : DYNA, 2011. 2346-2183.
- **DUFOUR, P. 2000.** *Procedimiento para la preparación de policlorosulfatos básicos de aluminio y sus aplicaciones.* 2000.

- **GARCÉS, R. 2010.** *Dosificación de policloruro de aluminio en aguas residuales.* Pereira, Colombia : s.n., 2010.
- **GTM Grupo Transmerquim. 2016.** *Policloruro de aluminio líquido.* 2016.
- **GTM.** PAC Ficha de Seguridad. [Citado el: 7 de Noviembre de 2017.] <http://www.gtm.net/images/industrial/p/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20LIQUIDO.pdf>.
- **MENDOZA MOYÓN, Jazmín del Rocío. 2012.** *Obtención de Policloruro de Aluminio a partir de chatarra para uso en potabilización de agua.* Guayaquil : s.n., 2012.
- **NORDBERG, G.F. 1990.** *Human health effects of metals in drinking water: relationship to cultural acidification.* s.l. : Environmental Toxicology and Chemistry, 1990.
- **PERNITSKY, D.J y EDZWALD, J.K. 2006.** *Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications.* s.l. : Journal of Water Supply: Research and Technology, 2006.
- **RINNE, Toumas. 2001.** *Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro.* México : s.n., 2001.
- **ROMERO, C, y otros. 2007.** *Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua.* s.l. : Revista Ingeniería UC, 2007.
- **SHEN, YH y DEMPSEY, B. 1998.** *Synthesis and speciation of polyaluminum chloride for water treatment.* 1998.
- **VAN BENSCHOTEN, J.E y EDZWALD, J.K. 1990.** *Chemical aspects of coagulation using aluminum salts: Hydrolytic reaction of alum and polyaluminum chloride.* 1990.
- **YE, C, WANG, D y SHI, B. 2007.** *Alkalinity effect of coagulation with polyaluminum chlorides: Role of electrostatic patch.* Colloids and Surfaces. s.l. : Physicochemical and Engineering Aspects, 2007.



---

# ESTUDIO DE MERCADO

---

CAPÍTULO 3

### 3. ESTUDIO DE MERCADO

#### 3.1. Introducción

En el presente estudio de mercado se determina y estipula de manera cuantitativa la oferta y demanda del policloruro de aluminio y de las materias primas involucradas en el proceso. Además, se analizan los precios de estos productos con el fin de evaluar el precio de venta a futuro del PAC y determinar la demanda insatisfecha del mismo en el país, así como su variación en los próximos años. A partir de estas observaciones, es posible adjudicar una determinada capacidad de producción, dato base sobre el cual se realizarán todos los estudios de factibilidad del proyecto.

En el presente capítulo se evalúa el mercado del PAC y se analizan las materias primas principales que se emplean para su elaboración. También, se lleva a cabo un análisis en cuanto a su posición competitiva en el mercado, ya que en los últimos años los coagulantes alternativos han desplazado a los convencionales (sulfato de aluminio) debido a su eficiencia de coagulación, menor costo, menor dependencia de temperatura y pH, y menor producción de lodos. Por último, se realiza un estudio FODA para especificar las fortalezas y debilidades del presente proyecto.

#### 3.2. Comercio exterior de Argentina

Durante el año 2011 el comercio exterior argentino, medido como la suma de las exportaciones e importaciones de bienes, a valores corrientes, suma 158.191 millones de dólares, lo que representa un crecimiento de 26,9% respecto a los 124.636 millones de dólares que había alcanzado en 2010. De este modo continúa con la trayectoria creciente iniciada en 2003, y que se había visto interrumpida en 2009 en el marco de la crisis económica internacional. En el año 2012 en cambio se presenta un decrecimiento de 5,2% respecto al alcanzado en 2011, de este modo se ve interrumpida la trayectoria positiva en la que se había ubicado durante los años previos. Mientras que en el año 2013, suma 157.028 millones de dólares, lo que representa un crecimiento de 5,1% respecto a los 149.434 millones de dólares que había alcanzado en 2012, recuperando así el sendero de crecimiento, aunque no logra alcanzar el nivel de 2011. En 2014 registra una merma de 11,7% respecto al alcanzado en 2013. De este modo, el comercio exterior argentino retrocede a un nivel menor al de los tres años previos. En 2015 se tiene una caída de 5,4% de las exportaciones, explicado por una baja en las cantidades vendidas de 14% y una merma en los precios de 12%. Por el lado de las importaciones, se observa

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

un retroceso de 5% en relación al año anterior. Argentina tuvo un superávit comercial en 2016, luego de registrar déficit el año previo, el valor de las exportaciones aumenta un 7,3% mientras que el de las importaciones se redujo 0,4%. Las exportaciones tuvieron una evolución diferenciada por rubro, debido a que el impacto del cambio no fue uniforme. Por otro lado, la reducción del PBI del 2016 implica una menor demanda de productos provenientes del exterior. Finalmente en 2017, las exportaciones argentinas fueron de 5.241 millones de dólares, lo que representa un incremento de apenas 1,8%. En cuanto a las importaciones, se observa que sumaron 6.039 millones de dólares, implicando un alza de 2,4% en relación al mes anterior. En términos interanuales, aumentaron un 29,9%, debido al incremento en las cantidades adquiridas (23,5%) y en los precios (5,2%).

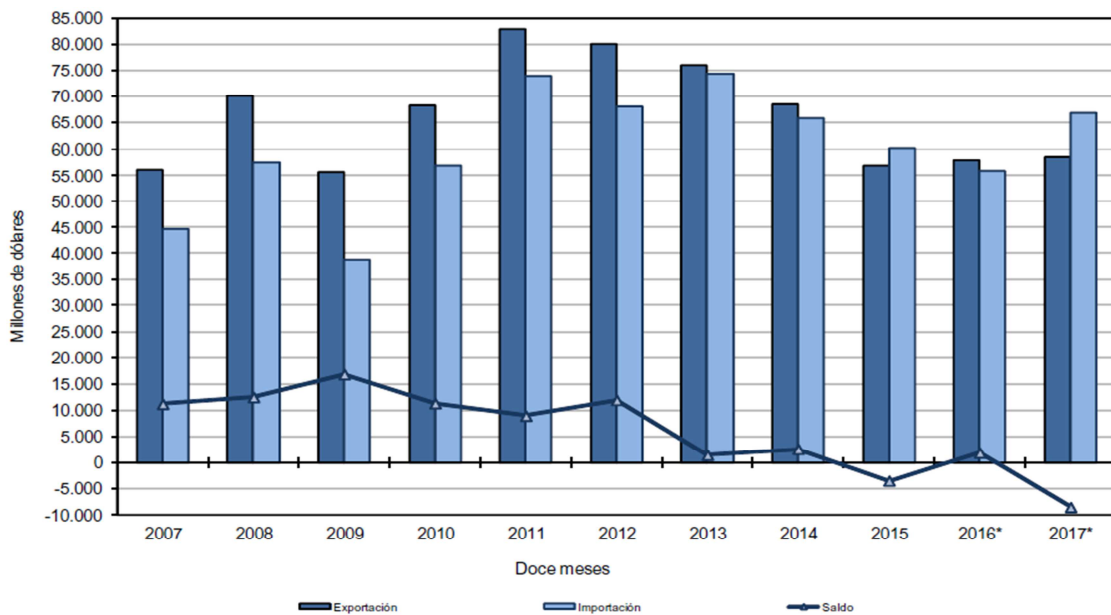


Figura 3-1. Exportaciones, importaciones y saldo comercial. Fuente: INDEC

### 3.3. Industria química argentina

Es notorio que la actividad industrial dedicada a la producción de sustancias y productos químicos tiene sectores con características económicas, comerciales y técnicas diferenciadas, que incluyen empresas de muy diversa magnitud. En gran parte del mundo el sector de productos químicos básicos está incluido dentro de las industrias más globalizadas, con claras consecuencias para los países, tanto a nivel interno como externo. Dicho nivel de globalización no solamente implica generalmente, altas relaciones

de exportación, de penetración de importaciones y de exposición a la competencia externa, sino también una fuerte presencia de inversión extranjera directa en el sector.

La industria química argentina con un 0,9% de participación en las ventas de la industria química mundial, se posiciona como la segunda de Sudamérica, después de la brasilera, con la cual demuestra un elevado y recíproco intercambio comercial; ello también constituye una muy interesante oportunidad para su crecimiento, a la vez que Brasil, a pesar de su fortaleza industrial, es un gran importador de productos químicos.

Para evaluar el potencial de crecimiento de la industria química se consideran escenarios económicos con crecimientos del PBI del 3%, 4% y 6%, valores compatibles con el sostenido crecimiento demostrado por el país en los últimos años.

En términos generales, los productos químicos básicos, tanto orgánicos como inorgánicos, poseen un volumen de producción elevado. Su precio es moderado y en general sujeto al balance de oferta y demanda mundial, y poseen especificaciones técnicas sobre composición, propiedades, pureza y otros aspectos, que suelen estar sometidas a un alto grado de estandarización.

### **3.4. Producción nacional de policloruro de aluminio**

La producción nacional de policloruro de aluminio (PAC) está liderada por dos empresas en Argentina, Petroquímica Río Tercero S.A y Transclor S.A. La primera, localizada en la ciudad de Río Tercero, provincia de Córdoba, se fundó en 1978 y desde el 2002, pone en marcha la primera planta en el país de producción de policloruro de aluminio, que continúa en vigencia hasta la actualidad. El complejo industrial de PRIII ocupa casi el 50% de la superficie que la empresa posee dentro del Área Industrial de Río Tercero, donde operan otras plantas químicas como Atanor SA y Fábrica Militar Río Tercero.

Por otro lado, Transclor S.A se edificó en 1992 en Pilar, provincia de Buenos Aires. En la localidad de Bernal, a partir del año 2010, cuenta con una segunda unidad productiva orientada específicamente a la elaboración de policloruro de aluminio.

El PAC es un potabilizador moderno que ha suplantado al sulfato de aluminio en las naciones más desarrolladas, ya que entre otras virtudes, permite brindar más seguridad al proceso de potabilización reduciendo sensiblemente los costos. Además, es más eficiente debido a que su estructura polimérica aumenta la eficacia de la coagulación, con dosis menores y mayor variedad de condiciones del agua bruta, facilitando de esta manera las operaciones en los procesos posteriores.

### 3.5. Importaciones

Tabla 3-1. Importaciones de PAC

Año	Cantidad (t)
2008	1148
2009	1237
2010	1543
2011	1853
2012	2478
2013	2070
2014	2716
2015	2262
2016	3045
2017	3267

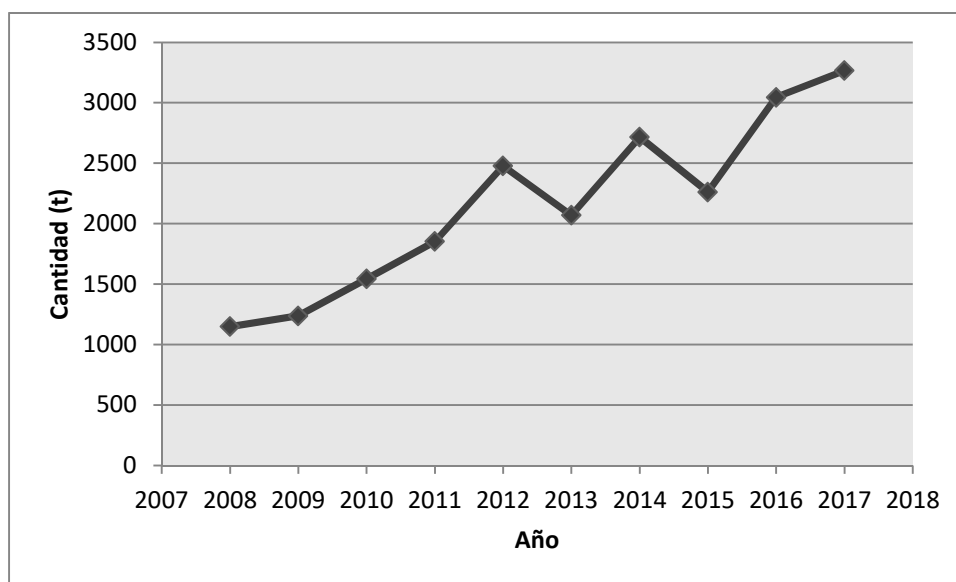


Gráfico 1-1. Cantidades importadas del PAC en función del tiempo

A partir de los datos registrados en la tabla 3-1 se presume que las cantidades importadas de policloruro de aluminio varían a lo largo de los años; de 2008 a 2011 se registra un leve incremento, teniendo un ascenso notable entre el 2012 y 2013, presentando a partir de allí un comportamiento oscilante. Durante los últimos dos años analizados, 2016 y 2017, las importaciones de PAC aumentan debido al notable uso del floculante en industrias químicas, de tratamiento de aguas industriales, entre otras.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Los principales países importadores son India, Estados Unidos, Brasil, Alemania, China, España, Paraguay, Noruega, Francia e Italia.

### 3.6. Exportaciones

Tabla 3-2. Exportaciones de PAC

Año	Cantidad (t)
2008	855
2009	444
2010	399
2011	416
2012	627
2013	521
2014	487
2015	310
2016	652
2017	280

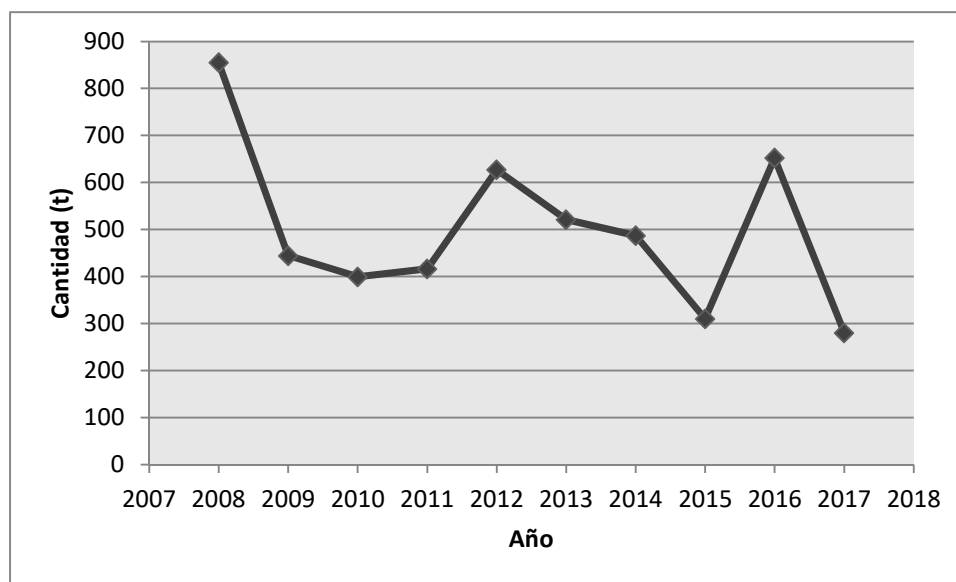


Gráfico 3-2. Exportaciones del PAC en función del tiempo

En la tabla 3-2, las exportaciones de PAC muestran otro panorama, donde las cantidades exportadas disminuyen a lo largo del período comprendido entre 2008 y 2010, observándose a partir de allí un leve incremento hasta el 2012. Durante los períodos siguientes, el comportamiento de este producto hasta la actualidad es variable,

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

registrándose incrementos y disminuciones considerables. Los principales países a los cuales se destina son Brasil, Chile, Uruguay, Bolivia, Paraguay, Colombia, El Salvador, Alemania y Estados Unidos.

### 3.7. Demanda insatisfecha

$$\text{Demanda insatisfecha} = \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

En la tabla 3-3 se observan los valores encontrados en toneladas de la demanda insatisfecha del PAC desde el 2008 al 2017.

Tabla 3-3. Cálculo de la demanda insatisfecha en Argentina

Año	Demanda insatisfecha (t)
2008	293
2009	793
2010	1144
2011	1437
2012	1851
2013	1548
2014	2229
2015	1952
2016	2393
2017	2987

Tras analizar los datos del mercado se observa que las importaciones del PAC en Argentina son superiores a las exportaciones, con lo cual se determina que las producciones nacionales no abastecen el mercado interno en su totalidad, es por ello que se decide evaluar la demanda insatisfecha.

Cabe destacar que al no poder acceder a datos específicos de la producción nacional, no es posible determinar el consumo aparente y emplearlo como indicador del proyecto.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

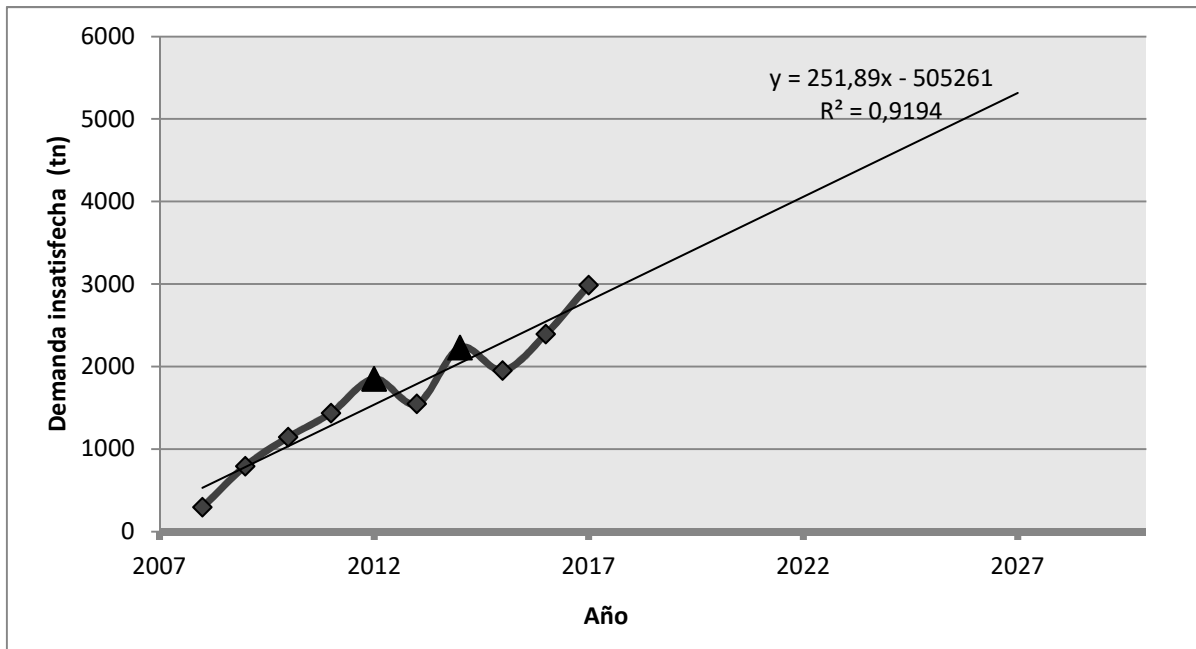


Gráfico 3-3. Demanda insatisfecha del PAC. Fuente: elaboración propia

La gráfica elaborada de la demanda insatisfecha, refleja que durante el 2008 al 2009 la demanda crece a un ritmo paulatino, a pesar de que la situación del comercio argentino no es la más conveniente.

En el 2012 el crecimiento se ve reflejado notablemente con respecto a los años anteriores, sin embargo durante el 2013, el descenso de las importaciones y exportaciones generan una disminución de la demanda en el país. A partir de allí, el comportamiento del producto varía a causa de las múltiples situaciones económicas en las que se encuentra no sólo Argentina, sino también los países importadores y exportadores, años durante los cuales la demanda crece y otros en los cuales disminuye. En los últimos años, las importaciones presentan un notable crecimiento, el cual varía mes a mes mientras que las exportaciones disminuyen, permitiendo así que el comportamiento proyectado en diez períodos a futuro sea positivo.

Se visualiza que el valor obtenido del  $R^2$  es de 0,9194; la tendencia lineal en los próximos años es admisible.

Con la demanda se calcula posteriormente la producción máxima, a partir de la cual se proyectan los equipos y operaciones de la planta.



### 3.8. Materias primas

Para la síntesis de policloruro de aluminio, son necesarios principalmente: una fuente de aluminio y ácido clorhídrico.

#### 3.8.1. Aluminio

El aluminio es un metal no ferroso de gran utilidad, liviano, de color gris plata y el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales, tales como su baja densidad ( $2700 \text{ kg/m}^3$ ) y su alta resistencia a la corrosión. Se extrae únicamente del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio metálico mediante electrólisis. El principal inconveniente para su obtención reside en la elevada cantidad de energía eléctrica que requiere su producción, este problema se compensa por su bajo coste de reciclado, su extendida vida útil y la estabilidad de su precio.

En las últimas décadas se ha producido un incremento masivo del consumo de aluminio, debido principalmente a sus propiedades (ligereza, resistencia a la corrosión, excelente conducción de la electricidad, buena reflectividad, ductilidad, impermeabilidad e inocuidad) y al hecho que puede reciclarse indefinidamente sin perder sus propiedades. Una parte muy importante de esta demanda es satisfecha gracias al uso de aluminio de segunda fusión, cuya materia prima básica son las chatarras y recortes de aluminio ya usado y/o de recortes de fabricación, frente al aluminio de carácter primario, obtenido directamente de la bauxita. Estimaciones recientes apuntan a que un 30-35% de la producción mundial de aluminio corresponde a la producción de aluminio reciclado.

Las chatarras de aluminio proceden de dos fuentes principales

- ✓ *Chatarras obsoletas:* procedente de bienes de consumos e inversión que han cumplido su vida útil, como residuos urbanos con presencia de aluminio (latas de bebida, papel de aluminio) o procedentes de vehículos, equipos electrónicos utilizados, entre otros.
- ✓ *Chatarras de origen industrial:* recortes y virutas que se producen durante la fabricación de productos de aluminio por parte de diversos sectores industriales.

Una vez que esta chatarra de aluminio llega a la fábrica de reciclaje, se le da la terminación óptima para su comercialización, que incluye su clasificación y preparación, separándola de los restos de metales y materiales mediante métodos diversos

## **PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

(manualmente, separación magnética, fragmentado, triturado, cizallado) tratando así de estandarizar la calidad del material para el cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales existentes. Posteriormente, el aluminio así obtenido suele ser prensado y empacado para facilitar su transporte, bien a un mayorista de chatarras o directamente a la fundición para la producción de aluminio secundario.

La denominación de aleaciones secundarias se debe a que la producción de las mismas es a partir de chatarra de aluminio, en reemplazo del aluminio puro o primario, esto trae aparejado un beneficio económico y ecológico, ya que por un lado se reciclan desperdicios evitando que los mismos contaminen el ambiente (tarda 500 años en biodegradarse) y por otro se ahorra el 95% de energía, es decir, se requiere solamente un 5% de la energía total necesaria para la producción de la misma cantidad de aluminio primario.

El aluminio reciclado puede encontrarse como:

- ✓ Aluminio en lingotes.
- ✓ Aleación de aluminio en estado líquido.
- ✓ Aluminio en medias esferas.

Empresas recicladoras de metales no ferrosos en Argentina:

- ✓ Metal Veneta S.A (Córdoba)
- ✓ Del Metal S.A (Córdoba)
- ✓ Fundiciones Crespo (Santa Fe)
- ✓ Reciclados Santa Fe (Santa Fe)
- ✓ Sicmar (Santa Fe)
- ✓ Metales del Talar (Buenos Aires)
- ✓ Sicmar Metales S.A (Buenos Aires)
- ✓ Della Croce (Buenos Aires)
- ✓ Irmet (Buenos Aires)
- ✓ Alusmetal (Buenos Aires)
- ✓ Recuperadora Buenos Aires (Buenos Aires)
- ✓ Industrias Dalafer (Buenos Aires)
- ✓ Arcolana S.A (Buenos Aires)



Figura 3-2. Medias esferas de aluminio reciclado

Los parámetros comerciales del aluminio se resumen en la tabla 3-4.

Tabla 3-4. Descripción comercial del aluminio metálico

Producto	Aluminio metálico
CAS No.	7429-90-5
Apariencia	Sólido (en medias esferas)
Pureza	99,5 %
Embalaje	Big bags de 1000 kg
Precio de mercado	0,87 USD/kg
Empresa	Metal Veneta S.A (Cba)

### 3.8.2. Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno (HCl), se trata de un ácido fuerte y corrosivo que se disocia completamente en solución. El ácido clorhídrico comercial contiene entre 33% y 37% de cloruro de hidrógeno en agua. Las soluciones acuosas son generalmente incoloras pero pueden presentar un ligero color azul o amarillo a causa de la presencia de trazas de hierro, cloro e impurezas orgánicas.

La mayor parte del ácido clorhídrico producido se consume en la industria química pero tiene aplicaciones difundidas en limpieza, desinfección y tratamiento de aguas. Es utilizado en la minería, en la industria petrolera, papelera, en la fabricación de agroquímicos, elaboración de PVC, neutralización de lejías en la industria jabonera y producción de productos farmacéuticos, fertilizantes, colorantes y pigmentos. Otra de sus

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

aplicaciones tiene lugar en la elaboración del policloruro de aluminio, coagulante utilizado en el tratamiento de aguas.

Las industrias productoras en Argentina son:

- ✓ Atanor S.C.A (Río Tercero, Córdoba)
- ✓ Petroquímica Río Tercero S.A (Río Tercero, Córdoba)
- ✓ Clorox Argentina SA (Munro, Buenos Aires)
- ✓ Frío Industrias Argentinas S.A (Villa Mercedes, San Luis)
- ✓ PPE Argentina S.A (Tres Arroyo, Buenos Aires)

Cabe destacar que sólo Atanor S.A, produce y comercializa ácido clorhídrico, las demás lo elaboraran para ser consumido dentro de la misma empresa.

Se debe almacenar separadamente de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y metales, además debe mantenerse en un lugar bien ventilado, fresco y seco. Los contenedores deben permanecer siempre bien cerrados, ajustados y protegidos de cambios extremos de temperatura y de daños físicos.

El ácido clorhídrico se vende a granel en camiones con cisterna de fibra de vidrio o de acero revestido con fibra de vidrio y poliéster.

Los parámetros de comercialización del ácido clorhídrico se resumen en la tabla 3-5.

Tabla 3-5. Descripción comercial del ácido clorhídrico

Producto	Ácido clorhídrico
CAS No.	7647-01-0
Apariencia	Solución transparente, ligeramente amarilla, con olor penetrante. Soluble en agua, etanol e éter. pH<1.
Pureza	Entre 33% - 37%.
Embalaje	Materiales aptos para almacenamiento: acero recubierto de caucho, fibra de vidrio, polietileno o PVC (*)
Precio de mercado	83 USD/t
Empresas	Atanor S.A - Petroquímica Río Tercero S.A

(\*) Los recipientes o tanques pueden acumular gas de hidrógeno en concentraciones peligrosas, por lo que deben tener ventilación constante (válvula de seguridad).

### 3.9. Mercados previstos

El policloruro de aluminio producido se obtendrá en estado líquido a una concentración del 18% de  $A_2O_3$ , el mismo se destinará principalmente a cubrir el mercado interno que abarca en primer lugar, las plantas de tratamiento y potabilización de aguas, además de comercios minoristas.

### 3.10. Análisis FODA

#### 3.10.1. Fortalezas

- ✓ Existen vías de abastecimiento de las materias primas en el país.
- ✓ Argentina cuenta con mano de obra especializada.
- ✓ En el Territorio Nacional se cuenta con la infraestructura necesaria para la instalación del proyecto, ya sea tanto en espacio físico como disponibilidad de servicios.
- ✓ El reemplazo del aluminio puro o primario por aluminio secundario como materia prima en el proceso de producción, trae aparejado un beneficio económico y ecológico.

#### 3.10.2. Oportunidades

- ✓ La demanda de policloruro de aluminio crece a lo largo de los años, aumentando considerablemente debido a que reemplaza el uso coagulantes convenciones como el sulfato de aluminio.
- ✓ Permite accionar sobre cualquier tipo de aguas residuales independientemente del pH de la misma, además de que las dosis adicionadas son menores que los demás floculantes, incrementa la eficiencia del tratamiento.
- ✓ La disponibilidad de sustitutos afecta la preferencia de los consumidores. Dentro de la actitud de un consumidor por un producto en especial, está su análisis hacia aquellos otros que le dan una alternativa para satisfacer su necesidad. En este contexto, el PAC deja un residual de aluminio en el agua que se mide en partes por billón a diferencia del sulfato de aluminio que deja un residual medible en partes por millón. Este dato es de gran importancia, por cuanto existen investigaciones científicas que establecen que el aluminio en exceso en el agua de consumo, es una de las posibles causas de la aparición de enfermedades como el Alzheimer.

**3.10.3. Debilidades**

- ✓ Está sujeto a la liberación de cloruro de hidrógeno, junto con vapor de agua e hidrogeno gaseoso durante el proceso de elaboración. Esto trae aparejado, la necesidad de disponer de equipamiento adicional para separar y reutilizar estos compuestos.
- ✓ Existen desequilibrios económicos-financieros dentro del país que podrían perjudicar a la industria en cuestión.

**3.10.4. Amenazas**

- ✓ Siempre existirán las posibilidades de que otras industrias abastezcan el mercado insuficiente.
- ✓ Ampliación de la capacidad de producción instalada de PRIII.
- ✓ El mundo está sujeto a fluctuaciones económico-financieras.

### 3.11. Bibliografía

- **Ácido clorhídrico.** [Citado el: 9 de Enero de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_clorh%C3%ADrico](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_clorh%C3%ADrico).
- **Ácido Clorhídrico - Seguridad y almacenamiento.** [Citado el: 12 de Enero de 2018.] <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia2.pdf>.
- **Albaugh Argentina.** [Citado el: 5 de diciembre de 2018.] <https://albaugh.com.ar/institucional/plantas-industriales/>.
- **Aluminio.** [Citado el: 9 de Enero de 2018.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>.
- **Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina.** [Citado el: 12 de Enero de 2017.] <http://www.catalogometalurgico.com/products/view/2500>.
- **BACA URBINA, Gabriel. 1995. Evaluación de proyectos.** México : McGraw Hill, 1995.
- **Cámara argentina de comercio y servicios.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] [http://economia.cac.com.ar/economia/Otros\\_Informes\\_de\\_Comercio\\_Exterior\\_1837](http://economia.cac.com.ar/economia/Otros_Informes_de_Comercio_Exterior_1837).
- **Cámara de la Industria Química Argentina.** [Citado el: 21 de Enero de 2018.] <http://www.ciqyp.org.ar/SubBotonera/Gu%C3%ADadeproductosyproductores.aspx>.
- **El Reciclado de Chatarra de Aluminio.** [Citado el: 9 de Enero de 2018.] <http://www.reciclajesamarquez.es/el-reciclado-de-chatarra-de-aluminio/>.
- **Hoja de datos de seguridad del HCl.** [Citado el: 7 de Febrero de 2017.] [http://www.asiquim.com/asiquim2/documentos/05001HCL\\_Completa.pdf](http://www.asiquim.com/asiquim2/documentos/05001HCL_Completa.pdf).
- **INDEC.** [Citado el: 12 de Diciembre de 2017.] [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/ica\\_01\\_18.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/ica_01_18.pdf).
- **Petroquímica Río Tercero S.A.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] <http://www.pr3.com.ar/>.
- **Reciclado de aluminio.** [Citado el: 12 de Enero de 2018.] <http://www.metalveneta.com.ar/recicladados.html>.
- **Recicladores argentinos.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] <http://recicladores.com.ar/sitio/>.
- **SCAVAGE.** [Citado el: 1 de Diciembre de 2017.] <https://www.scavage.com/>.
- **Seguridad de Hidrógeno.** [Citado el: 10 de Febrero de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad\\_de\\_hidr%C3%B3geno](https://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad_de_hidr%C3%B3geno).
- **Transclor.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] <http://www.transclor.com.ar/>.

---

# LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

---

CAPÍTULO 4



### 4. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

#### 4.1. Introducción

El proceso de producción del policloruro de aluminio requiere de una zona industrial desarrollada, debido a las etapas productivas involucradas y a la necesidad de instalaciones que permitan la disponibilidad de materias primas y materiales, junto con la accesibilidad para la distribución del producto terminado.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se decide anexar a la planta industrial Atanor S.A (Río Tercero), la producción de policloruro de aluminio, con la finalidad de aprovechar el ácido clorhídrico que se desprende como producto secundario, siendo éste una materia prima indispensable para la fabricación de PAC y así además, obtener una mayor rentabilidad.

Ubicar la planta de elaboración de PAC donde exista disponibilidad de la materia prima, tiene un impacto significativo en el costo de producción debido a la reducción en los costos de transporte del ácido a la planta de producción.

#### 4.2. Macro y micro localización

Se proyecta localizar la planta de producción del PAC en el polo industrial de la ciudad de Río Tercero, provincia de Córdoba, territorio de la República Argentina. Se tiene por objetivo, sustituir las importaciones del coagulante en cuestión y desplazar el empleo de sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas, debido a las desventajas productivas y el impacto en la salud que genera el mismo, asimismo se pretende aprovechar el ácido clorhídrico producido por Atanor S.A, que en la actualidad no se destina a un proceso en particular.

Para establecer la ubicación de la planta industrial del PAC se deben tener en cuenta ciertos factores como lo son la disponibilidad de materia prima, cercanía al mercado consumidor, mano de obra, entre otros.

##### 4.2.1. Disponibilidad de la materia prima

Para la síntesis de policloruro de aluminio, una de las principales materias primas es el ácido clorhídrico en altas concentraciones y grandes volúmenes. Por las características químicas del mismo, es riesgoso transportarlo a largas distancias por rutas o carreteras, por tal motivo se decide ubicar la planta dentro del complejo industrial de Atanor S.A.

Con respecto a la fuente de aluminio, existen varias empresas recicladoras que procesan el material y que generan productos de aluminio secundario aptos para ser utilizados,

## **PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

debido a que el proceso de reciclaje en sí no afecta ni altera las propiedades intrínsecas del metal. En nuestro país se encuentran las siguientes industrias recicladoras de metales no ferrosos:

- ✓ Metal Veneta S.A - Provincia de Córdoba
- ✓ Del Metal S.A - Provincia de Córdoba
- ✓ Fundiciones Crespo - Provincia de Santa Fe
- ✓ Reciclados Santa Fe - Provincia de Santa Fe
- ✓ Sicmar - Provincia de Santa Fe
- ✓ Metales del Talar - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Sicmar Metales S.A - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Della Croce - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Irmet - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Alusmetal - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Recuperadora Buenos Aires - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Industrias Dalafer - Provincia de Buenos Aires
- ✓ Arcolana S.A - Provincia de Buenos Aires

De todas las posibles de recicladoras dentro del país, las más convenientes debido a su localización son las ubicadas en la provincia de Córdoba. Metal Veneta S.A, es una de las mayores empresas dedicadas a este rubro, distribuye aluminio sólido en medias esferas, a granel o en bolsas de 10 kg dentro de un big bag de 1000 kg. Esta recicladora sería la más conveniente, se localiza a 106 km de Atanor S.A (Río Tercero, Córdoba) por ruta nacional número 36.

En la figura 4-1 se ilustra la distancia entre la ubicación geográfica de Metal Veneta S.A y Atanor S.A

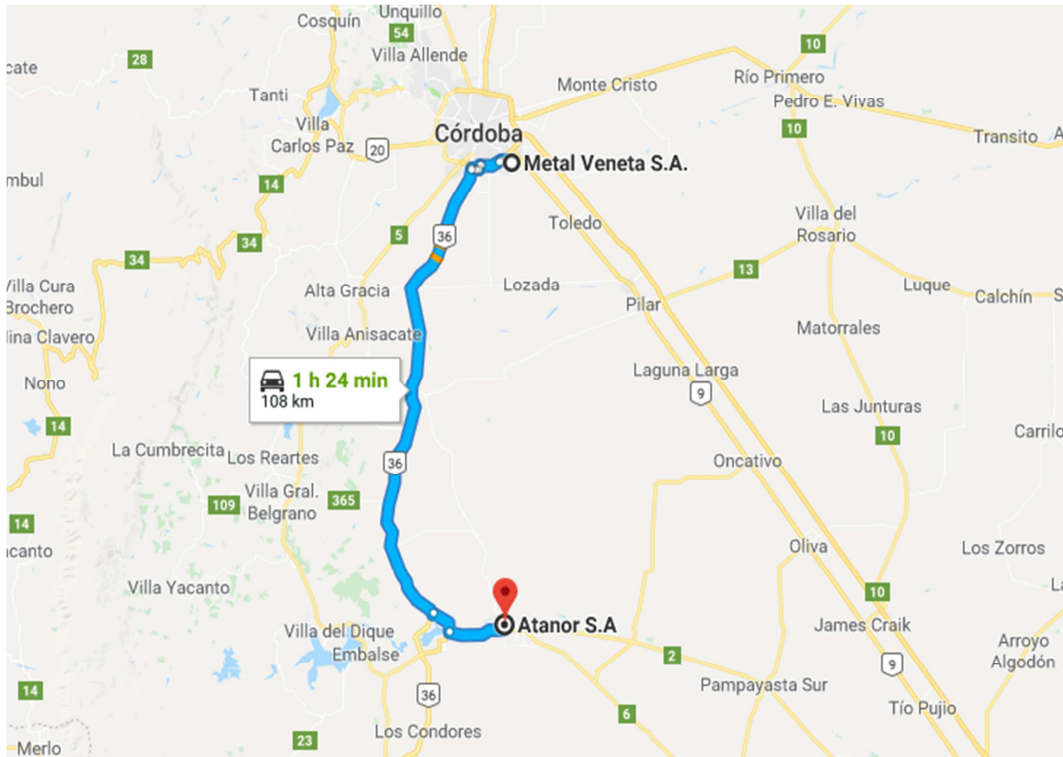


Figura 4-1. Distancia geográfica entre las empresas Metal Veneta S.A y Atanor S.A

#### **4.2.2. Localización del mercado consumidor**

La ciudad de Río Tercero se encuentra aproximadamente en el centro de la República Argentina. Esta ventaja favorece al mercado consumidor ya que en la superficie territorial argentina existe una gran cantidad de plantas de tratamiento de agua que requieren de este tipo de productos. En la tabla 4-1 se enumeran las plantas de tratamiento de agua localizadas en Argentina.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 4-1. Plantas de tratamiento de aguas en Argentina

<b>Plantas de tratamiento</b>	<b>Localizacion</b>
Planta Depuradora Tartagal Aguas del Norte – Planta Los Molinos	Salta
Cooperativa de Agua Potable San Pedro de Colalao	Tucumán
Aguas de Catamarca SAPEN	Catamarca
Establecimiento Potabilizador Villa San Agustín de OSSE	San Juan
Planta Verificadora CAMPO ESPEJO – Planta Depuradora de Líquidos Cloacales	Mendoza
SODERIA ARIEL	San Luis
Hielos del Paso - Aguas de Corrientes S.A	Corrientes
Planta Potabilizadora C.E.L.O - S.A.M.S.A	Misiones
Obras Sanitarias Municipal - Planta Tratamiento de Efluentes	Entre Ríos
Aguas y Procesos	Santa Fe
Aeration Argentina S.A - Planta Depuradora Norte SpurAmbiental S.R.L Filtomal Water Systems S.R.L Planta Potabilizadora General San Martín AySA Planta Depuradora Hurlingham AySA Planta Depuradora Las Catonas Aquatherm S.A Argentina - Ecopreneur S.A AySA Planta Depuradora Sur Oeste Distrito La Matanza Oeste Planta Aeropuertos Argentina 2000 Ezeiza - Acquabio Faisan S.A - AySA General Belgrano ABSA Aguas Bonaerenses S.A	Buenos Aires
Planta Potabilizadora Suquia Los Naranjos Planta Potabilizadora Los Molinos Cooperativa de Trabajo 15 de Mayo	Córdoba
Soda Trenel	La Pampa
Planta de Tratamiento de Líquidos Cloacales CHOS MALAL	Neuquén
Planta Potabilizadora de Agua	Río Negro
Sociedad Cooperativa Popular Limitada de Comodoro Rivadavia	Chubut
Planta Potabilizadora BUENA ESPERANZA	Tierra del Fuego

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Se detalla en la figura 4-2, el mapa de la República Argentina, mediante un ícono de color rojo se identifica la ciudad de Río Tercero donde se ubicará geográficamente la planta de producción, y con íconos de rombo azul se localizan las principales plantas de tratamiento de agua del país.



Figura 4-1. Ubicación de las plantas de tratamiento de agua en Argentina. (Elaboración propia)

#### **4.2.3. Disponibilidad de mano de obra**

El recurso humano es el bien máspreciado de cualquier tipo de empresa, por lo que es fundamental que el lugar en donde se radique la misma cuente con la capacidad de captar personal idóneo.

Río Tercero es una ciudad argentina situada en el centro de la provincia de Córdoba, en el departamento Tercero Arriba. Cuenta con una población de 46.800 habitantes según el censo realizado en 2010 por INDEC, por lo que constituye la séptima ciudad más poblada de la provincia. Tanto la esperanza de vida como las tasas de alfabetización son altas, la primera de 75,3 años y la segunda de 98,1%.

#### **4.2.4. Disponibilidad de transporte**

En Argentina existen rutas que conectan a lo largo del país todas las regiones, la red de carreteras de Argentina tiene aproximadamente 500.000 km, de los cuales 37.800 km pertenecen a la red troncal primaria con jurisdicción nacional, 178.000 km están gestionados por la jurisdicción provincial, 285.000 km forman la red terciaria administrada por municipalidades o comunas. Se trata sin duda de una red compleja a la cual naturalmente se debe sumar la red ferroviaria con la cual se completa el sistema de transporte argentino.

La red de carreteras argentinas se divide en carreteras troncales, secundarias y terciarias, las primeras poseen una longitud de 38.000 km, son aquellas que tienen jurisdicción nacional (rutas nacionales, autopistas y autovías concesionadas), las segundas tienen una extensión de 178.000 km, están formadas por el conjunto de las carreteras de jurisdicción provincial (rutas provinciales argentinas) y las últimas totalizan aproximadamente unos 400.000 km, constituidas por el conjunto de las carreteras de titularidad municipal o comunal.

Río Tercero por encontrarse en el centro de la República Argentina presenta fácil acceso a las rutas tanto nacionales como provinciales. Esta ventaja facilita el transporte del producto final en todo el territorio. También se tiene en cuenta las cercanías a los puertos en caso de que se requiera la exportación del producto en un futuro.

En figura 4-3 se reflejan las diferentes rutas que se encuentran a lo largo del territorio argentino y se observa que la mayor densidad se localiza en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe.

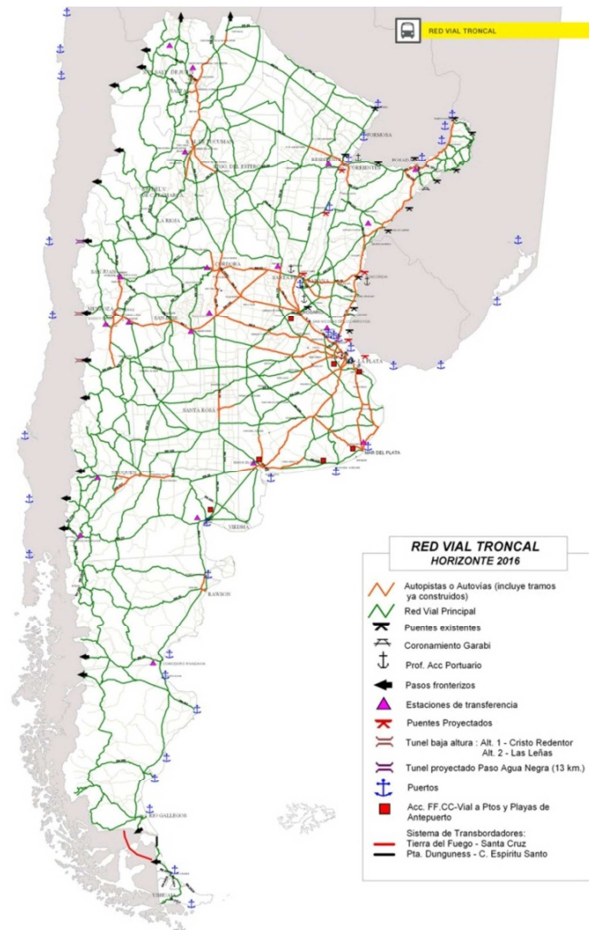


Figura 4-3. Mapa de ruta de transporte en Argentina

### 4.3. Atanor S.A

El grupo Albaugh Inc., se encuentra radicado en el estado de Iowa, en los Estados Unidos de América y es reconocido como uno de los principales formuladores y fraccionadores independientes de productos agroquímicos en dicho país. El mismo adquiere el 51% del capital con derecho a voto de Atanor.

Atanor dispone de cinco centros productivos en las ciudades de Munro, Baradero, Llavallol, San Nicolás y Río Tercero, los primeros ubicados en la provincia de Buenos Aires, y el último en la Provincia de Córdoba; en la actualidad los dos primeros centros han sido cerrados. En particular, la empresa Atanor S.A (Río Tercero), se encuentra ubicada en el polo químico de la ciudad de Río Tercero, en la Provincia de Córdoba. Presenta un complejo industrial totalmente integrado, compuesto por la planta química de 33.863 m<sup>2</sup> en un área total de 200.000 m<sup>2</sup> que cuenta con un total de 298 colaboradores. Dentro de este complejo industrial se anexará la planta química de producción de

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

policloruro de aluminio, debido principalmente a razones estratégicas, dentro de las cuales prevalece la revalorización del ácido clorhídrico producido

En la figura 4-4 se observa la localización satelital de Atanor S.A en la ciudad de Río Tercero, Córdoba.

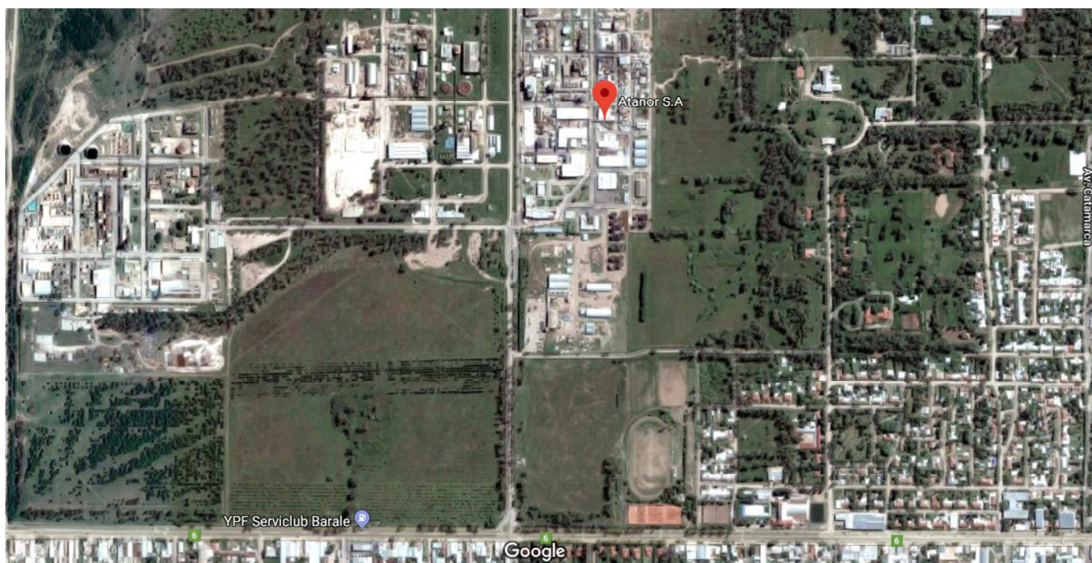


Figura 4-4. Mapa Satelital de Atanor S.A



#### **4.4. Bibliografía**

- **Albaugh Argentina.** [Citado el: 5 de diciembre de 2018.] <https://albaugh.com.ar/institucional/plantas-industriales/>.
- **BACA URBINA, Gabriel. 1995.** *Evaluación de proyectos*. México: McGraw Hill, 1995.
- **Cámara argentina de comercio y servicios.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] [http://economia.cac.com.ar/economia/Otros\\_Informes\\_de\\_Comercio\\_Exterior\\_1837](http://economia.cac.com.ar/economia/Otros_Informes_de_Comercio_Exterior_1837).
- **Ciudad de Río Tercero.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad\\_de\\_R%C3%ADo\\_Tercero](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_de_R%C3%ADo_Tercero).
- **Demografía de Argentina.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Demograf%C3%ADa\\_de\\_Argentina](https://es.wikipedia.org/wiki/Demograf%C3%ADa_de_Argentina).
- **Google Maps.** [Citado el: 15 de Marzo de 2018.] <https://www.google.com/maps>.
- **Red vial de Argentina.** [Citado el: 5 de Diciembre de 2017.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_vial\\_de\\_Argentina](https://es.wikipedia.org/wiki/Red_vial_de_Argentina).

---

# CAPACIDAD DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

---

CAPÍTULO 5

## **5. CAPACIDAD DE LA PLANTA DE PRODUCCION**

### **5.1. Introducción**

Determinar la capacidad de una nueva unidad productiva tiene estrecha relación no sólo con la demanda del producto, sino también con la disponibilidad de materias primas, la tecnología, el financiamiento y los equipos que se requieren para el desarrollo del proyecto.

La decisión que se tome con respecto al tamaño determinará el nivel de operación que finalmente fundamentará la estimación de los ingresos por ventas.

### **5.2. Factores que determinan el tamaño**

El factor condicionante más importante de tamaño es quizás la cantidad demandada proyectada a futuro, sin embargo no necesariamente deberá definirse en función de un crecimiento esperado del mercado, aunque el tamaño puede ir posteriormente adecuándose a mayores requerimientos de operación para enfrentar un mercado creciente, es necesario que se evalúe esa opción contra la de definir un tamaño con una capacidad ociosa inicial, que posibilite responder oportunamente a una demanda creciente en el tiempo.

Con el fin de determinar la capacidad de la planta en cuestión se considera la demanda en función del estudio de mercado, y se realizan proyecciones futuras de los datos analizados con el objetivo de que el tamaño no responda solamente a corto plazo, sino que se optimice frente al dinamismo de la demanda. En muchas ocasiones la distribución geográfica es un factor a tener en cuenta.

Se requiere tener conocimiento sobre disponibilidad de abastecimiento de insumos y materias primas que satisfagan la capacidad seleccionada y la calidad requerida, con lo cual este es un factor que puede ser limitante en el tamaño del proyecto. Es necesario analizar las reservas de los recursos, la existencia de sustitutos e incluso la posibilidad de cambios en los precios de los insumos a futuro. Asimismo, la relación entre tamaño, tecnología y equipos son factores a tener en consideración ya que siempre se debe tratar de disminuir el costo de producción, aumentar las utilidades y elevar la rentabilidad.

También es necesario asegurarse de contar con el personal competente y en cantidad necesaria para cada uno de los puestos que la planta requiera, y que los recursos financieros sean suficientes para atender las necesidades de inversión de la planta.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

En resumen, la determinación del tamaño de una planta industrial requiere de la revisión y análisis detallado del conjunto de factores de influencia, los cuales tienen repercusión en el monto de las inversiones necesarias para instalar la planta, en los niveles de rentabilidad que habrán de obtenerse y en las perspectivas de crecimiento de la misma.

### 5.3. Tamaño de la planta

A partir de los datos obtenidos y analizados en el estudio de mercado (tabla 3-3) se confecciona la tabla 5-1 y se registran los valores de la demanda insatisfecha del PAC proyectada a 10 años a futuro. La relación matemática empleada para calcular estos valores es la obtenida de la regresión lineal del gráfico 3-3. La ecuación 5-1 representa entonces el cálculo de la demanda insatisfecha del PAC.

$$Y = 251,89 * X - 505261$$

Ecuación 5-1

Tabla 5-2. Proyección de la demanda a satisfacer

Año	Demanda insatisfecha (t)
2018	3053
2019	3305
2020	3557
2021	3809
2022	4061
2023	4312
2024	4564
2025	4816
2026	5068
2027	5320

En el gráfico 5-1 se representa el incremento de la demanda a satisfacer proyectada a futuro, desde 2018 a 2027, a partir de los datos obtenidos de la tabla 5-1.

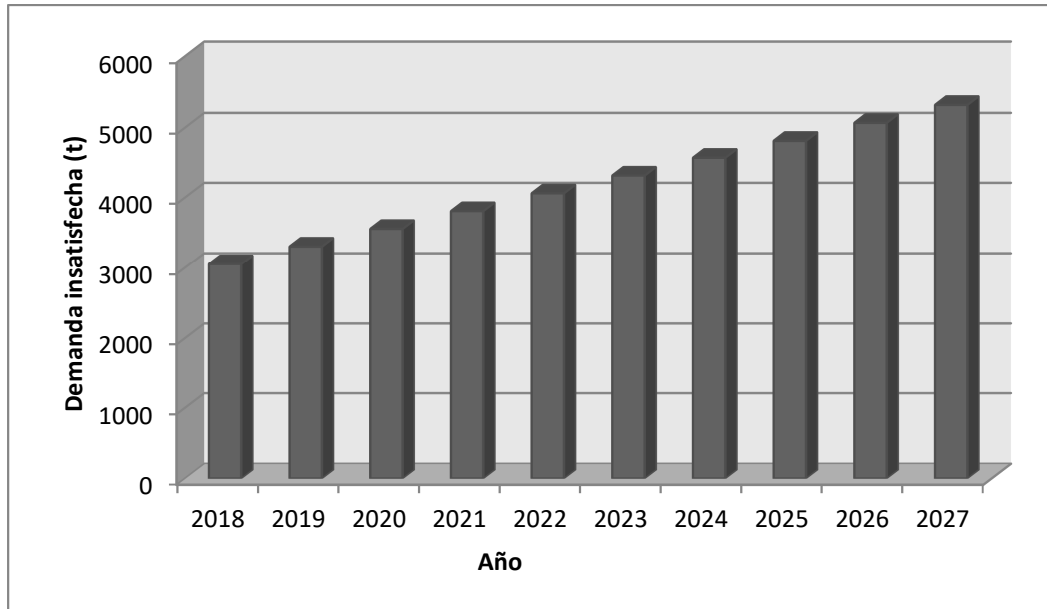


Gráfico 5-2. Proyección del incremento de la demanda a satisfacer

A partir de los datos representados, se puede estimar una tasa de crecimiento promedio de la demanda de policloruro de aluminio de 0,05597.

#### **5.4. Determinación de la producción óptima en función de la demanda**

Muchos son los factores que influyen en la determinación del tamaño óptimo del proyecto, entre ellos se destaca la cantidad demandada futura, la disponibilidad de insumos, la capacidad financiera del inversionista, el crecimiento de la competencia, las economías de escala, entre muchos otros.

En el caso que se considera, se tiene en cuenta la importancia de la demanda futura creciente, de esta manera debe optarse por tomar un tamaño inicial lo suficientemente grande como para que se pueda responder a futuro al crecimiento del mercado, por lo que se opta por mantener una capacidad ociosa de producción, o planificar la ampliación progresiva del proyecto.

Para la determinación de la capacidad óptima de producción, se utiliza un método aproximado que puede tenerse en consideración para analizar los factores en cuestión anteriormente citados. Para ello, es necesario conocer o estimar previamente los siguientes parámetros:

- ✓  $D_0$ : magnitud de la demanda actual que satisface el proyecto. (Demanda en 2018: 3053 t/año)
- ✓  $r$ : tasa de crecimiento de la demanda que satisface el proyecto. (0,05597)

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- ✓ N: vida útil de la maquinaria y equipos. (Se considera por conveniencia de 10 años, lo que coincide con los años analizados en el proyecto)
- ✓  $\alpha$ : factor de escala. (0,65)

El factor de escala se obtiene de una lista generada por la Organización de las Naciones Unidas, Boletín N°20, calculada para las industrias químicas, petroquímicas y automovilísticas. Para el caso en estudio, se considera un factor  $\alpha$  de 0,65 (ONU, Boletín N°20, "Industrialización y Productividad").

En primera instancia, se calcula el valor de "n", el cual se refiere al período óptimo al que corresponde el tamaño a determinar del proyecto. Para ello se emplea la ecuación 5-2.

$$\frac{1}{R^2} = 1 - 2 * \left[ \frac{1-\alpha}{\alpha} * \left( \frac{R-1}{R+1} \right)^{N-n} \right]$$

Ecuación 5-2

En donde R es el desarrollo porcentual de la demanda, que se calcula en función de la tasa de crecimiento promedio estimada de la demanda, r, a través de la ecuación 5-3.

$$R = r + 1$$

Ecuación 5-3

R toma un valor de 1,05597. Por lo tanto, n es igual a 9,35 años.

Una vez hallado el valor del período óptimo de duración del proyecto, en función de éste método, se utiliza la ecuación 5-4 para determinar  $D_n$ , el tamaño óptimo aconsejable.

$$D_n = D_0 * (r + 1)^n$$

Ecuación 5-4

Se obtiene que el valor óptimo aconsejable del tamaño (en cuanto a la producción) de la planta es de **5080 t/año**, el cual permitiría mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada. Cabe destacar que este procedimiento sólo considera la restricción del mercado sin tener en cuenta otros factores limitantes.

### **5.5. Bibliografía**

- **BACA URBINA, Gabriel. 1995.** *Evaluación de proyectos*. México: McGraw Hill, 1995.
- **Ing Saavedra López, Carlos. 2014.** *Diseño y evaluación de proyectos de inversión*. Lima, Perú: Universidad de Lima, 2014.
- **Ybnias, Elí Grijalva. 2015.** *Elementos económicos del estudio técnico*. Barcelona, España: s.n., 2015.

---

# SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

---

CAPÍTULO 6



## 6. SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

### 6.1. Introducción

El policloruro de aluminio (PAC) es un polímero inorgánico, que se utiliza como coagulante en el tratamiento de agua para remover sólidos en suspensión y partículas orgánicas, también es utilizado en la industria de papel, textil, cosméticos, petróleo, entre otras; en los últimos años el policloruro de aluminio, ha sido uno de los coagulantes con mayor uso a nivel mundial, ya que no deja residuo de aluminio en el agua tratada, mejorando ciertas características de la misma para que pueda ser de calidad y apta para el consumo humano.

Los procesos de producción de policloruro de aluminio difieren entre sí principalmente en cuanto al tipo de materias primas empleadas, dentro de las que se incluyen aluminio metálico, hidróxido de aluminio, alúmina; considerando además en cada caso, el equipamiento requerido para cada una de las operaciones involucradas.

En el presente capítulo, se procede a llevar a cabo una revisión bibliográfica de los métodos de obtención de policloruro de aluminio, analizarlos en detalle y así seleccionar un método que se adapte a nuestro proyecto.

### 6.2. Métodos de obtención de policloruro de aluminio

El policloruro de aluminio (PAC) se puede sintetizar a partir de diversas fuentes que contengan en su composición aluminio, incluido el aluminio metálico, hidróxido de aluminio, alúmina y combinaciones de éstos. Durante la producción del polímero, se controlan muy estrechamente una serie de variables como la concentración de ácido clorhídrico, temperatura y pH. (GARCES PAZ, 2010)

A continuación, se describen brevemente los principales métodos de obtención.

- ✓ Obtención de PAC a partir de aluminio secundario (chatarra).
- ✓ Obtención de PAC a partir de hidróxido de aluminio.
- ✓ Obtención de PAC a partir de alúmina.

### 6.2.1. Obtención de PAC a partir de aluminio metálico secundario (chatarra)

La síntesis del polímero tiene lugar en un reactor tanque agitado de poliéster reforzado con fibra de vidrio, donde se introducen cantidades equivalentes de aluminio metálico, ácido clorhídrico al 37% y agua. La reacción de formación del PAC se produce en un rango de temperatura de 70 a 80°C durante un tiempo de 7 – 8 horas hasta alcanzar una temperatura final de entre 112 – 115°C. Una vez culminada la reacción, el producto se bombea hasta un filtro prensa obteniéndose un líquido viscoso claro de una densidad aproximada de 1,38 kg/l y una concentración de 18% de  $Al_2O_3$ . Tras el control de calidad, se almacena en tanques de poliéster reforzado con fibra de vidrio o polietileno de alta densidad, o bien, puede obtenerse en estado sólido como un polvo amarillento, en este caso el líquido filtrante debe secarse a una temperatura entre 150-200°C en un tambor de secado rotatorio. (CHANE-CHING, y otros, 1999)

### 6.2.2. Obtención de PAC a partir de hidróxido de aluminio – Patente CN1046512A

Una de las fuentes de aluminio para la producción de PAC es el hidróxido de aluminio, que en solución acuosa reacciona con ácido clorhídrico al 33% para obtener el polímero deseado. La aplicación de presión y altas temperaturas posibilitan que se complete la reacción en un reactor con agitador, recubierto interiormente con vidrio de 8 m<sup>3</sup> de capacidad; la carga de hidróxido de aluminio se realiza mediante alimentadores de sinfín, tamices y elevadores para separar las impurezas que puedan dañar el recubrimiento de vidrio. El reactor está provisto de un sistema de pesaje para alimentar las cantidades equivalentes de hidróxido de aluminio y ácido clorhídrico más un exceso del 1 % de la primera materia prima. Para el desarrollo de la primera etapa, se alimenta vapor a baja presión hasta alcanzar una temperatura de 70°C; después de alcanzada esta temperatura se alimenta vapor a presión media (8 kgf/cm<sup>2</sup>). La utilización de vapor de dos niveles es para que la diferencia térmica entre el recubrimiento interior de vidrio y la superficie externa no supere los 115°C y prevenir así daños al recubrimiento interior. Luego de transcurrido el tiempo de reacción, comprendido entre 6 a 8 hs, el producto se enfría con agua, a diferentes niveles de temperatura, se filtra y dispone para el almacenamiento. La torta obtenida en el filtro, constituida principalmente por hidróxido de aluminio insoluble, es reutilizada parcialmente en el proceso (MCCURDY, y otros, 2004). Este método presenta mayor complejidad desde el punto de vista tecnológico y altos costos.

**6.2.3. Obtención de PAC a partir de alúmina – Patente CN101898775A**

Para la obtención de PAC al 18%, las materias primas necesarias son alúmina y solución acuosa de ácido clorhídrico al 33%. La reacción tiene lugar en un reactor revestido de vidrio equipado con un agitador interno, durante la cual, la temperatura del reactor se mantiene entre 80 y 90°C. El policloruro de aluminio obtenido se mantiene en agitación y la alúmina no reaccionada, junto con las sustancias insolubles, se separan por filtración. Los efluentes líquidos, principalmente las aguas ácidas, se recogen en un tanque desde el que son recirculados a la planta de producción.

*El método que mejor se adapta a las condiciones de la planta productiva es el que emplea como materias primas el **aluminio metálico de origen secundario (CHATARRA)** y el **ácido clorhídrico al 37%**. Este proceso presenta la ventaja de emplear aluminio de origen secundario (reciclado) para la síntesis del polímero, además de contar con menor cantidad de equipos en comparación con los demás métodos. Además, permite reutilizar el ácido clorhídrico generado en la misma instalación, con el objetivo de optimizar el proceso de producción.*

**6.2.4. Cuadro comparativo entre los métodos de obtención**

Tabla 6-1. Comparación de los procesos de obtención de PAC

Fuente	Ventajas	Desventajas
Aluminio metálico (chatarra)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Materia prima de bajo costo</li> <li>✓ Consumo de energía reducido</li> <li>✓ Ahorro de agua</li> <li>✓ Reducción de impacto ambiental</li> <li>✓ Bajo costo de equipamiento</li> <li>✓ Reutilización del HCl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Generación de hidrógeno residual</li> <li>✓ Efluentes gaseosos y sólidos</li> </ul>
Hidróxido de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disponibilidad de materias primas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Elevado costo de materia prima</li> <li>✓ Aplicación de altas presiones y temperaturas</li> <li>✓ Difícil control de las variables de reacción</li> </ul>
Alúmina	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disponibilidad y acceso de materias primas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alto impacto ambiental</li> <li>✓ Elevado costo de equipamiento</li> <li>✓ Efluentes líquidos y sólidos</li> </ul>

### 6.3. Proceso de obtención seleccionado

#### 6.3.1. La industria del aluminio secundario

Se denomina aluminio secundario al que se obtiene mediante la fusión de productos que han llegado al final de su vida útil, es decir, chatarras de diferente procedencia (automoción, envases, construcción, etc.), recortes de diferentes industrias de manufacturas de aluminio, subproductos de la industria primaria del aluminio, entre otros. Al igual que muchos tipos de materiales, el aluminio se puede reciclar un número ilimitado de veces sin pérdida de sus propiedades, por lo que no se puede distinguir entre el aluminio primario (obtenido a partir de sus menas - bauxita, principalmente - mediante el proceso Bayer en la industria primaria) y el aluminio obtenido en la industria secundaria.

Desde un punto de vista medioambiental, la industria secundaria presenta ventajas respecto a la primaria, como el menor consumo energético (tan sólo el 5% de la energía necesaria para la producción primaria), ahorro de agua y de recursos naturales (no hay extracción de minerales), así como minimización del impacto ambiental producido por la extracción de los mismos (minería a cielo abierto en la extracción de la bauxita) y menor generación de gases y de residuos, siendo así considerado el aluminio reciclado, un material cotizado y rentable. Además, únicamente se produce el 5% del dióxido de carbono durante el proceso de reciclado comparado con la producción de aluminio desde la materia prima, siendo éste un porcentaje aún menor, cuando se toma en cuenta el ciclo completo de su extracción en la mina y su transporte hasta la planta de producción.

El proceso de obtención de aluminio secundario varía de unas plantas a otras, ya que depende del tipo de materia prima secundaria utilizada y del producto final (aluminio, aleaciones con diferente contenido de aluminio). En líneas generales, este proceso consta de las siguientes etapas:

- 1º. Recepción, clasificación y almacenamiento de las materias primas.
- 2º. Tratamiento de los materiales previo a su incorporación al horno de fusión (compactación, eliminación de capas de pinturas, etc.). Luego se procede a un proceso de selección y prensado.
- 3º. Fusión, en función de las materias primarias secundarias se utilizan distintos tipos de hornos, principalmente hornos rotatorios y de reverbero.
- 4º. Control del producto final y moldeado, se fabrican medias esferas (figura 6-1), lingotes (figura 6-2) y láminas que se derivan a producciones de distinto índole.



Figura 6-1. Aluminio reciclado en forma de medias esferas. (Fuente: Metal Veneta)



Figura 6-2. Aluminio reciclado en forma de lingotes. (Fuente: Metal Veneta)

A modo ilustrativo, se expone en la figura 6-3, un diagrama de flujo del proceso de producción de aluminio secundario.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

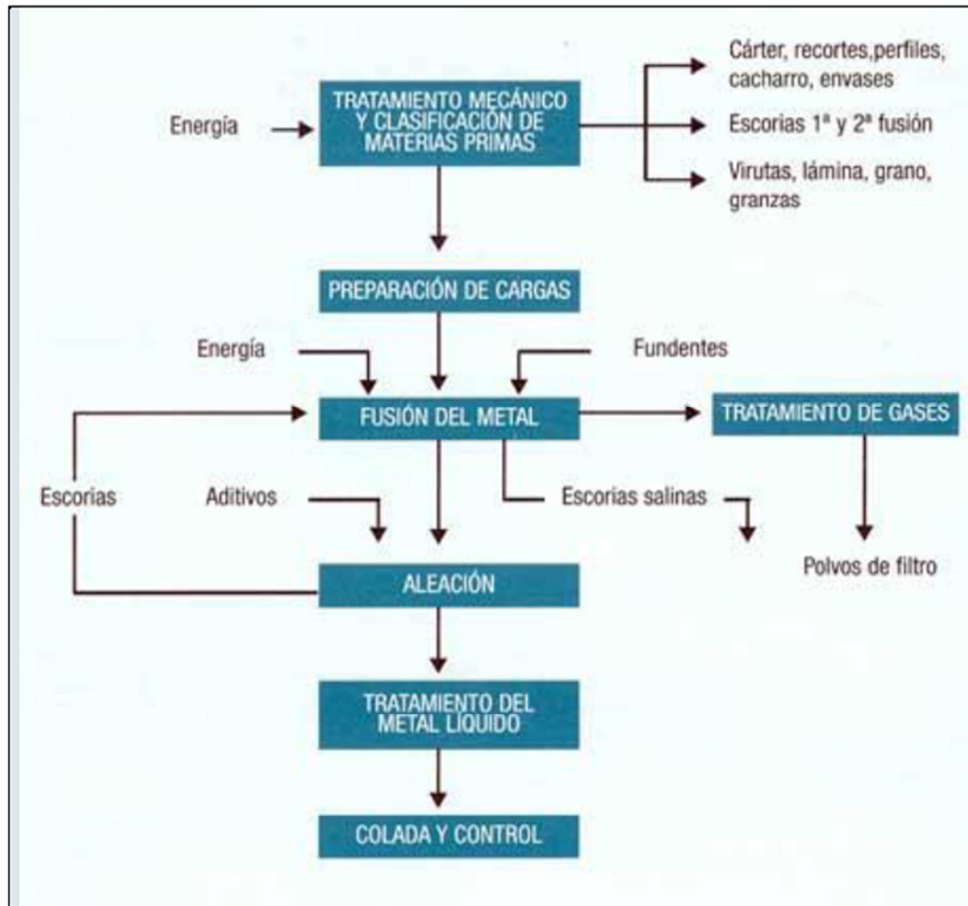


Figura 6-3. Diagrama de la producción de aluminio secundario. (Fuente: [reciclajesamarque.es](http://reciclajesamarque.es))

Las chatarras de aluminio pueden estar formadas por un conjunto de materiales o fracciones muy diverso, debido a que proceden de una gran variedad de productos y componentes de montaje. El silicio, el manganeso, el cobre, el zinc y el magnesio son componentes de aleación que incrementan la dureza del aluminio y determinan el uso primario y secundario de chapas, barras y tubos.

Los perfiles, latas y chapas de aluminio modelado contienen normalmente pocos elementos de aleación y pueden emplearse en casi todos los procesos secundarios. En el procesamiento mecánico del aluminio forjado, se trata primariamente de separar las partes de metales pesados y compuestos, los cuales quedan al descubierto mediante la fragmentación con un molino de martillos o cizalla rotatoria. Las partes ferrosas se separan aquí con imanes; con las fracciones de perfiles, latas y cubertería no suele ser rentable la separación mecánica en húmedo de los metales pesados libres y porcentajes mayores de aleación de aluminio (partes fundidas) que contengan. En estos casos, la separación en seco en función de la densidad atómica es una alternativa segura o un

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

complemento a la separación por inmersión y flotación, para extraer un aluminio de alta aleación y libre de metales pesados; se obtienen así productos con una **pureza de aluminio de >99,5 %**.

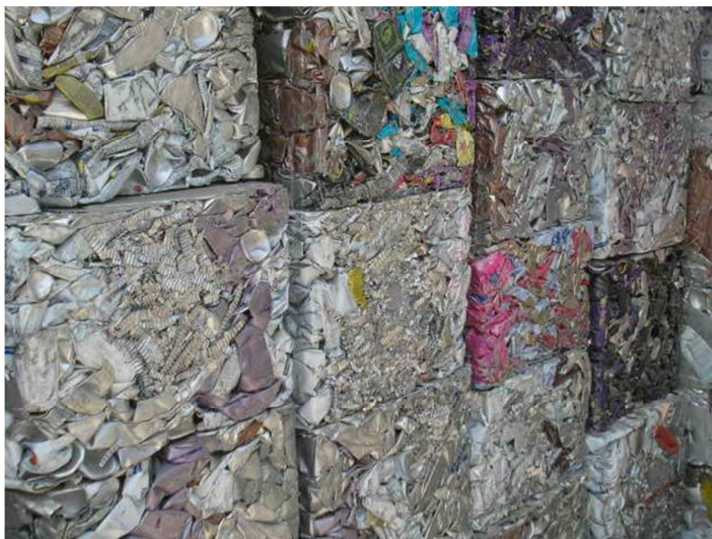


Figura 6-4. Chatarra de aluminio compactada para reciclaje (Fuente: Metal Veneta)

La cantidad de residuos generados durante el proceso de producción de aluminio secundario, depende de la cantidad y calidad de la materia prima y del tipo de horno que se emplee para la fusión; fundamentalmente, los residuos generados son escorias y finos. Las escorias se producen durante la fusión y los finos, durante toda la producción de aluminio, en la molienda y clasificación granulométrica. En términos generales, están constituidos por una mezcla de diferentes compuestos de aluminio: aluminio metálico, alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), espinela ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), nitruro ( $\text{AlN}$ ) y sulfuro de aluminio ( $\text{Al}_2\text{S}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), silicio metálico, hierro y otros metales, principalmente, magnesio, zinc, cobre, plomo, cloruros y fluoruros.

Estos residuos no presentan interés comercial para la industria generadora debido a sus bajos contenidos en aluminio metálico.

El reciclaje del aluminio produce varios ahorros importantes en materia económica y energética aun cuando se tienen en cuenta los costes de recogida, separación y reciclaje. Además, se producen ahorros a nivel nacional debido a la reducción del capital necesario para subvencionar y transportar la materia prima.



### 6.3.2. Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario

#### ✓ *Molienda de las medias esferas de aluminio*

En el proceso de producción del policloruro de aluminio, se emplea como materia prima medias esferas de 3 cm de diámetro de aluminio secundario, las cuales deben ser reducidas a partículas de tamaños de 3 mm, mediante el uso de un molino de martillos; este equipo posee un rotor de alta velocidad que gira dentro de una carcasa cilíndrica. La alimentación se introduce por la parte superior de la carcasa, se rompe y sale por el fondo del molino, mientras atraviesa un tamiz que cubre la abertura de descarga.

El objetivo de la trituración y la molienda es producir partículas pequeñas a partir de otras de mayor tamaño; la obtención de las mismas tiene interés, bien a causa de su gran superficie o por su forma, tamaño y número. El rendimiento energético de la operación se mide por la nueva superficie creada durante la reacción de tamaño. Por estas razones, las características geométricas de las partículas son importantes al evaluar el producto obtenido en un molino.

Cabe destacar, que los polvos metálicos presentan un riesgo debido a su inflamabilidad y el peligro de combustión aumenta notablemente durante las operaciones de molienda. Muchos metales finamente divididos en suspensión en aire son fuentes de riesgo de explosiones potenciales, y las causas de ignición de estas nubes de polvo son muchas, siendo la concentración y el tamaño de las partículas factores importantes que determinan el grado de explosión; por debajo de cierto límite inferior de concentración no se puede producir la explosión, ya que el calor de combustión es insuficiente para propagarla, sin embargo, por encima de la concentración máxima limitante, la explosión tampoco se produce porque no se dispone de suficiente oxígeno. Cuanto más finas sean las partículas, tanto más fácilmente se incendian y tanto mayor, es la velocidad de combustión.

Teniendo en cuenta lo citado anteriormente, como la inflamabilidad del aluminio aumenta cuanto menor es su diámetro, se trabajará con partículas cuyos tamaños sean superiores a los límites inferiores de inflamabilidad.

En la figura 6-5 se ilustra el efecto de la finura con respecto a los riesgos de exposición potenciales de los polvos metálicos.



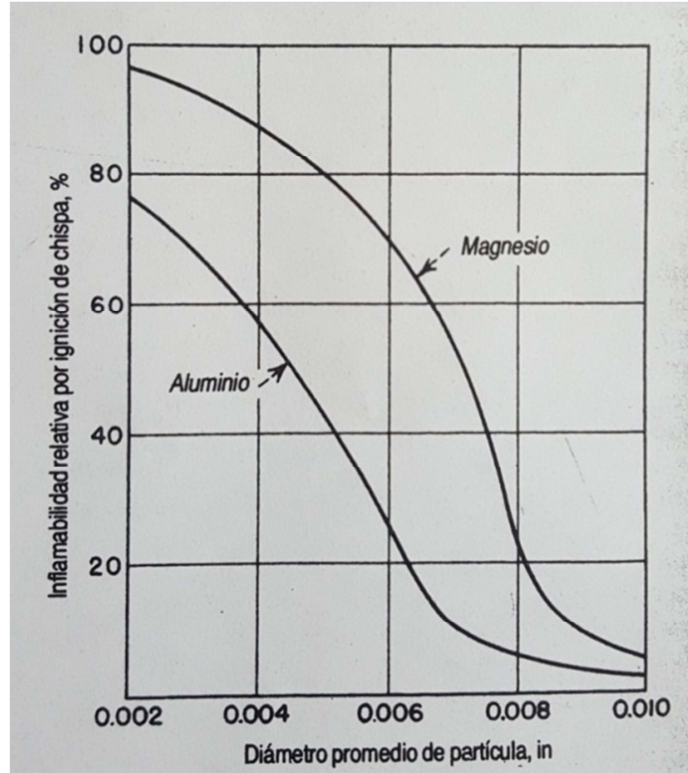
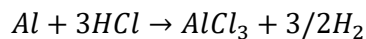


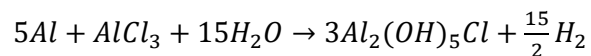
Figura 6-5. Efecto de la inflamabilidad del aluminio con respecto a su diámetro de partícula (Fuente: Perry)

✓ *Reacción de formación del PAC*

La reacción tiene lugar en un reactor batch tanque agitado de poliéster reforzado con fibra de vidrio, revestido con un aislante térmico para preservar las condiciones adiabáticas de operación; en este equipo se introducen cantidades equivalentes de aluminio metálico previamente pulverizado, agua a 25°C previamente suavizada para evitar la formación de durezas a incrustaciones en los equipos, ácido clorhídrico al 37% y ácido clorhídrico al 11% recirculado. Se produce una reacción espontánea, exotérmica e irreversible que provoca la formación del policloruro de aluminio, junto con desprendimiento de hidrógeno gaseoso, en dos etapas:



Ecuación 6-1



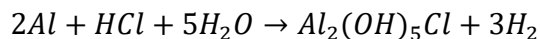
Ecuación 6-2

La reacción total se puede representar como sigue:

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

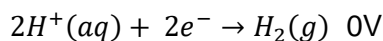
Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

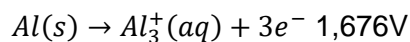


Ecuación 6-3

Cabe mencionar, que la reacción entre el aluminio y el ácido clorhídrico (ecuación 6-1) es una reacción de oxidación-reducción, que da como resultado la formación de cloruro de aluminio y gas hidrógeno. En toda reacción de oxidación-reducción, que se produce gracias a la diferencia de potencial de oxidación de los elementos, hay un componente que pierde electrones (oxidándose) y otro que los gana (reduciéndose). En esta reacción se oxida el aluminio, pasando de aluminio metálico, con estado de oxidación 0, a ión aluminio 3+ y se reduce el hidrógeno desde el protón H+ a gas hidrógeno. Los potenciales de oxidación de cada uno de los elementos son:



Ecuación 6-4



Ecuación 6-5

La principal reacción durante la síntesis del policloruro de aluminio es la que se da entre el aluminio y el ácido clorhídrico. Se caracteriza por ser del tipo oxidación-reducción, fuertemente exotérmica, y se produce de forma espontánea.

Para la obtención de un policloruro de aluminio de calidad, el porcentaje de pureza del aluminio es un factor importante para garantizar que el ácido clorhídrico reaccione con el  $Al^{+3}$ , y así evitar la formación de subproductos o productos no deseados, ya que estos son directamente proporcionales a la relación Al/Cl, y al aspecto final del líquido.

La formación del PAC se produce en un rango de temperatura de 70 a 80°C a 1 atm de presión, durante un tiempo de 7-8 horas, completándose la misma al alcanzar los 112-115°C. El rendimiento total de la reacción es del 75%. Al finalizar, se desprende una corriente gaseosa constituida por cloruro de hidrógeno, vapor de agua e hidrógeno que va a ser tratada para recuperar el ácido clorhídrico; mientras que el PAC, junto con las escorias de restos de metal no reaccionado se descarga y se procede a tratarlo en etapas posteriores para su almacenamiento y distribución.

Las principales perturbaciones del sistema son la temperatura y la concentración de las corrientes de ácido clorhídrico que entran al reactor. Se asume que las propiedades termo físicas del fluido se mantienen constantes, así como el volumen de reacción en el reactor.

### ✓ *Condensación de la corriente gaseosa*

La corriente gaseosa que se desprende de la reacción, constituida por cloruro de hidrógeno, vapor de agua e hidrógeno, es tratada en un condensador vertical que opera a presión atmosférica. Como fluido de enfriamiento se emplea una corriente agua a 5°C previamente tratada en un equipo chiller (enfriador) industrial. La temperatura de salida de las corrientes emergentes de este equipo es de 35°C.

Los condensadores son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible. En la condensación sobre una superficie vertical, se forma una película de condensado, donde la condensación y la transferencia de calor se efectúan por conducción a través de la misma, que se supone que está en régimen de flujo laminar hacia abajo. Las consideraciones a tener en cuenta son:

- El calor desprendido es únicamente calor latente.
- El drenado de la película de condensado es solamente por flujo laminar.
- La cantidad de condensado es proporcional a la cantidad de calor transferido.

A menudo es deseable subenfriar un vapor a una temperatura menor que la temperatura de saturación del mismo, mediante el empleo de condensadores-subenfriadores. Los condensadores verticales son excelentes para usarse como condensadores-subenfriadores. Un condensador vertical es posible dividirlo en dos zonas distintas que operen en serie, la superior para condensación y la inferior para subenfriar.

En esta operación, se obtienen hidrógeno gaseoso y ácido clorhídrico con una concentración del 11%, el cual es recirculado al reactor con el principal objetivo de optimizar el proceso desde un punto de vista económico y medioambiental. De esta manera, se garantiza la preservación y el cuidado del medio ambiente, al evitar la emanación de vapores tóxicos a la atmósfera; el hidrógeno separado se deriva para ser posteriormente quemado en antorcha.

### ✓ *Acondicionamiento térmico de la corriente líquida*

La corriente líquida de policloruro de aluminio que sale del reactor a 112°C, junto con restos de partículas de aluminio y zinc no reaccionados, ingresa a un intercambiador de calor de tubo y coraza, que emplea como fluido de enfriamiento agua a 15°C. La corriente de PAC emerge del mismo a una temperatura de 30°C para ser luego sometida al proceso de filtrado.

Los intercambiadores de calor son dispositivos cuya función es transferir el calor de un fluido a otro de menor temperatura. La transferencia de calor se produce a través de una placa metálica o tubo que favorezca el intercambio térmico entre los fluidos sin que éstos se mezclen; cuando se requieren superficies grandes de transferencia de calor, se emplean equipos de tubo y coraza. Los intercambiadores de contacto indirecto, son aquellos en los que los fluidos no entran en contacto directo, no se mezclan, sino que están separados por un tabique sólido o un espacio, donde el calor se transmite por convección y conducción a través de la pared separadora.

### ✓ *Filtración del PAC*

Luego de reducir la temperatura de la corriente en cuestión, el policloruro de aluminio se bombea hasta un filtro prensa de placas y marcos, obteniéndose un líquido viscoso de color amarillo claro, de una densidad aproximada de 1,3 kg/l a 1,38 kg/l y una concentración de 18% de  $Al_2O_3$ . Las escorias de partículas de aluminio no reaccionado y zinc son desechadas como efluentes sólidos.

La filtración es la separación de partículas sólidas contenidas en un fluido el cual debe atravesar un medio filtrante determinado, donde se depositan los sólidos. A veces, el fluido es la fase valiosa, a veces lo es el sólido y otras, ambos.

### ✓ *Almacenamiento del PAC*

Tras el control de calidad, el policloruro de aluminio se almacena en tanques de acero inoxidable AISI-SAE 304 L o de PRFV.

### **6.3.3. Diagrama de flujo del proceso**

En la figura 6-6 se aprecia el diagrama de flujo del proceso seleccionado para la producción de policloruro de aluminio. Las condiciones de operación de cada etapa se detallan en los capítulos siguientes.

# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

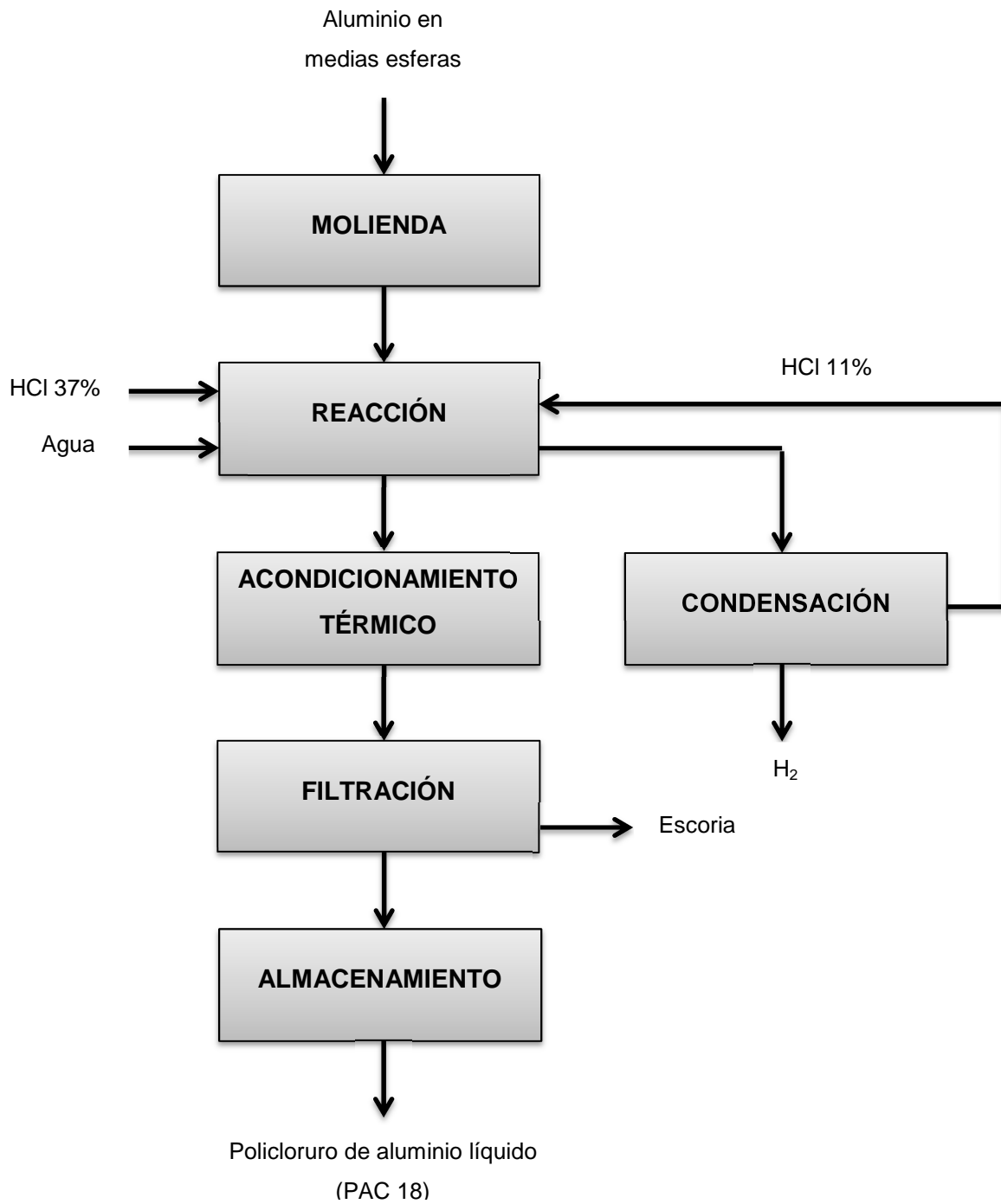


Figura 6-6. Diagrama de flujo del proceso. Fuente: (Elaboración propia)

### 6.3.4. Régimen de trabajo

Dadas las condiciones del proceso de elaboración del PAC antes detalladas, y teniendo en cuenta la productividad del mismo, se opta por establecer un régimen de trabajo continuo con etapas discontinuas.

El régimen continuo es aquel donde la operación no se detiene, hay un flujo permanente de entrada y de salida de producto y no existen cambios en las variables del proceso; se logra de esta manera mantener un ritmo de producción constante y se alcanza con más facilidad el estado estacionario de los equipos de producción.

Los procesos discontinuos (también conocidos como batch o por lotes) son aquellos que presentan tiempos muertos de productividad, es decir, tiempos de carga, descarga y limpieza y en muchos casos coexisten dentro de esquemas de operaciones, que son continuos en forma global. Para el proceso de obtención de PAC, el reactor y el filtro pertenecen a esta clasificación.

En este contexto, cabe señalar que diversos procesos de producción utilizan más de dos equipos para un mismo objetivo con la finalidad de que por lo menos uno se mantenga en operación si algunos de los otros, sino es que todos, llegan a fallar o requerir mantenimiento. Es por ello que se decide operar con tres reactores discontinuos para alcanzar la productividad deseada.

#### 6.4. Bibliografía

- **CHANE-CHING, J Y y YVETTE Y LACHERY, Nathalie. 1999.** *Nuevos policloruros o policlorosulfatos de aluminio, su procedimiento de preparación y su aplicación en el tratamiento de medios acuosos.* España patent application: s.n., 1999.
- **El reciclado de chatarra de aluminio.** [Citado el: 7 de Mayo de 2018.] <http://www.reciclajesamarquez.es/el-reciclado-de-chatarra-de-aluminio/>.
- **GARCES PAZ, Virginia. 2010.** *Obtención de la mínima dosis de remplazo de policloruro de aluminio en aguas.* Universidad de Pereira: s.n., 2010.
- **Intercambiador de calor.** [Citado el: 3 de Junio de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador\\_de\\_calor](https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor).
- **Intercambiador de calor.** [Citado el: 3 de Junio de 2018.] <https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>.
- **KERN, Donald Q. 1965.** *Procesos de transferencia de calor.* s.l. : Trigésima primera reimpresión. Ed. McGraw, 1965.
- **LEVENSPIEL, Octave. 2004.** *Ingeniería de las reacciones químicas.* s.l. : Tercera edición. Ed. Limusa-Wiley, 2004.
- **McCABE, Warren L. 1991.** *Operaciones unitarias en Ingeniería Química.* s.l. : Cuarta Edición. Ed. Mc Graw Hill, 1991.
- **MCCURDY, K, CARLSON, K y GREGORY, D. 2004.** *Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants.* 2004.
- **MENDOZA MOYÓN, Jazmín del Rocío. 2012.** *Obtención de Policloruro de Aluminio a partir de chatarra para uso en potabilización de agua.* Guayaquil : s.n., 2012.
- **Metal Veneta - Aluminio reciclado.** [Citado el: 12 de Mayo de 2018.] <http://www.metalveneta.com.ar/productos.html>.
- **Method and process for producing polymeric aluminum.** [Citado el: 5 de Mayo de 2018.] <https://patents.google.com/patent/CN101898775A/en?q=CN101898775A>.
- **Method for making PAC from aluminium hydroxide.** [Citado el: 27 de Abril de 2018.] <https://patents.google.com/patent/CN1046512A/en?q=CN1046512A>.
- **PALENCIA DÍAZ, Argemira, CARPINTERO DURANGO, Javier Andres y FÁBREGAS VILLEGAS, Jonathan. 2012.** *Modeling, simulation and control of a reactor for the production of aluminum chloride.* Universidad Autónoma del Caribe: s.n., 2012.

- **PERRY, Robert H. 1973.** *Manual del Ingeniero Químico*. s.l. : Quinta edición. Ed. Mc Graw Hill, 1973.
- **Reacción entre aluminio y ácido clorhídrico.** [Citado el: 29 de Mayo de 2018.] <https://www.experimentoscientificos.es/producir-hidrogeno/>.
- **Reciclaje de aluminio.** [Citado el: 12 de Mayo de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje\\_de\\_aluminio](https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_aluminio).
- **RECUPERACIÓN EFICAZ Y MEJORA DE LA CALIDAD DE LAS CHATARRAS DE ALUMINIO.** [Citado el: 7 de Mayo de 2018.] <https://steinertglobal.com/es/reciclaje-de-metales/reciclaje-de-aluminio/>.
- **REVILLARD ULLOA, K. 2005.** *Proyecto de un sistema de distribución de cal para planta de tratamiento de aguas en OXY-CHILE*. s.l. : Chile patent application, 2005.
- **ROMERO, C, y otros. 2007.** *Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua*. s.l.: Revista Ingeniería UC, 2007.



---

# BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

---

CAPÍTULO 7

## **7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA**

### **7.1. Introducción**

En el presente capítulo se describen los balances de masa y energía correspondientes al proceso de producción global, y para cada una de las etapas involucradas. Se analizan las corrientes másicas entrantes y salientes, sus composiciones y los requerimientos energéticos de cada una de ellas.

Para el cálculo de estas corrientes y sus características se toma como base de cálculo la producción necesaria para cubrir la demanda del mercado, de acuerdo al estudio realizado en los capítulos anteriores y considerando un ciclo productivo de 340 días por año en el que se suceden dos turnos diarios. Los días restantes se aglutinan en una única parada de planta para realizar tareas de mantenimiento.

En función de esto, en la tabla 7-1 se muestra la producción anual, mensual, diaria y horaria respectivamente; se elige la producción horaria para el desarrollo de los cálculos correspondientes.

Tabla 7-1. Producción de policloruro de aluminio

<b>Producción anual</b>	5080 t/año
<b>Producción mensual</b>	462 t/mes
<b>Producción diaria</b>	15 t/día
<b>Producción horaria</b>	625 kg/h

A partir de los resultados de los balances de masa y energía es posible llevar a cabo el dimensionamiento y adopción de los equipos involucrados en el proceso de obtención del policloruro de aluminio.

## 7.2. Balance de masa

Para los cálculos del balance de masa se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Se parte de la premisa de que se opera en estado estacionario, es decir, no hay acumulación en el sistema.
- ✓ Cada una de las etapas involucradas en el proceso de producción conlleva un rendimiento asignado.
- ✓ El proceso de producción del polímero presenta etapas discontinuos o batch y continuas.

A continuación, en la tabla 7-2, se especifican las corrientes genéricas del balance global, tomando al proceso como una caja negra.

Tabla 7-2. Balance global del proceso

<i>BALANCE GLOBAL</i>
<b>A + C + D + H + N = K + I + O + Q + R</b>

En la tabla 7-3 se detallan los equipos que se encontrarán en la planta de producción; la codificación de los mismos se detalla tanto en la tabla citada como en la figura 7-1, debido a que para la simulación del proceso con el software CHEMCAD 6.1 se requiere de equipos ficticios auxiliares que en sí no forman parte del esquema real de la planta.

Tabla 7-3. Tabla de referencia de los equipos

<b>M-01</b>	<b>Molino</b>
<b>R-01</b>	<b>Reactor</b>
<b>I-01</b>	<b>Intercambiador de calor</b>
<b>I-02</b>	<b>Condensador</b>
<b>F-01</b>	<b>Filtro</b>

En la figura 7-1 se esquematiza el proceso completo de producción del policloruro de aluminio, elaborado mediante el software de simulación de procesos CHEMCAD 6.1. Se consideran todas las corrientes que intervienen y se señala en color rojo, la corriente de reciclo.

PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO  
Proyecto final de grado – Ingeniería química

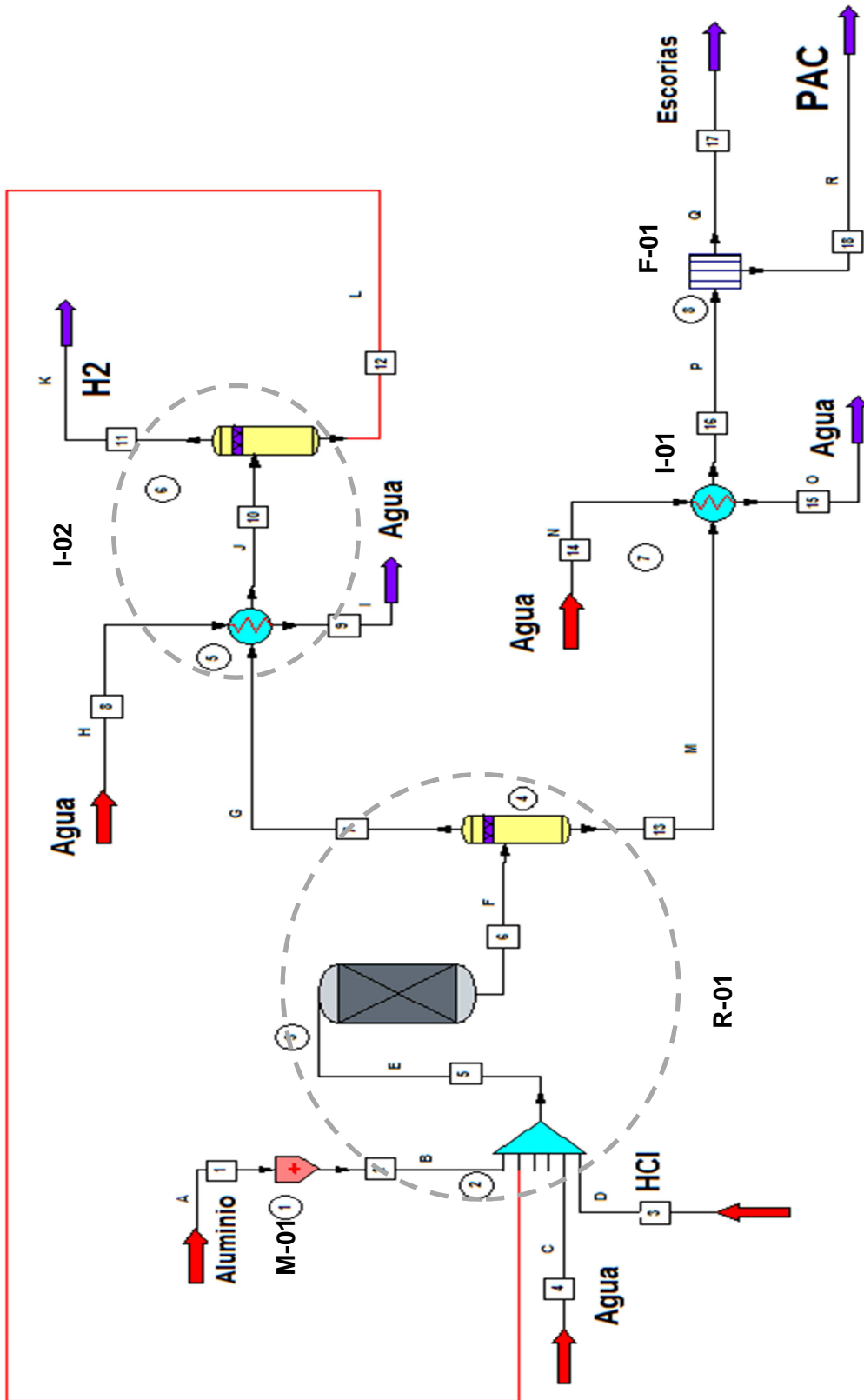


Figura 7-1. Esquema representativo del proceso global

7.2.1. Molino

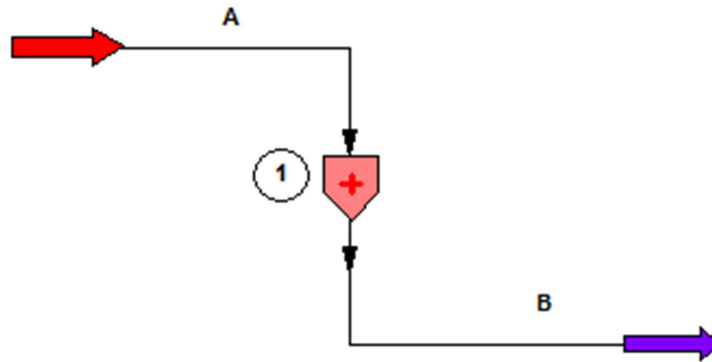


Figura 7-2. Esquema representativo de la molienda

En la figura 7-2 se exhibe un esquema representativo del proceso de molienda de las medias esferas de aluminio, que tiene por objetivo aumentar la superficie específica del material a tratar, tras la disminución del tamaño de las partículas. El molino requerido para esta etapa es uno de martillos.

En la tabla 7-4 se muestra el balance general referido a la molienda.

Tabla 7-4. Balance general para la molienda

<i>BALANCE GENERAL</i>	<b>A = B</b>
<i>Balance de aluminio</i>	<b>xaA = xbB</b>

*Consideraciones:*

- ✓ Se supone que durante la molienda de las medias esferas de aluminio, la reacción de pasivación entre el aluminio y el oxígeno gaseoso, con la consecuente formación de óxido de aluminio, es despreciable e inherente al proceso.
- ✓ Teniendo en cuenta que la inflamabilidad del aluminio aumenta cuanto menor es su diámetro, se trabaja con partículas de dimensiones superiores a los límites inferiores de inflamabilidad, tal como se detalla en el capítulo 6.
- ✓ El rendimiento de molienda se considera del 100%; las partículas únicamente disminuyen de tamaño.
- ✓ No existe variación energética de significancia durante esta etapa. La corriente de entrada y salida presentan la misma temperatura.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 7-5 se especifican las corrientes involucradas en la etapa de molienda.

Tabla 7-5. Balance de componentes para la etapa de molienda

Balance de componentes para cada corriente						
Equipo M-01						
Descripción del equipo: Molino						
Corriente	Entrada Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
A	Entrada	Esferas de aluminio (Dp: 3 cm)	260	Aluminio	99,5%	258,7
				Zinc	0,5%	1,3
B	Salida	Partículas de aluminio (Dp: 0,3 cm)	260	Aluminio	99,5%	258,7
				Zinc	0,5%	1,3

7.2.2. Reactor

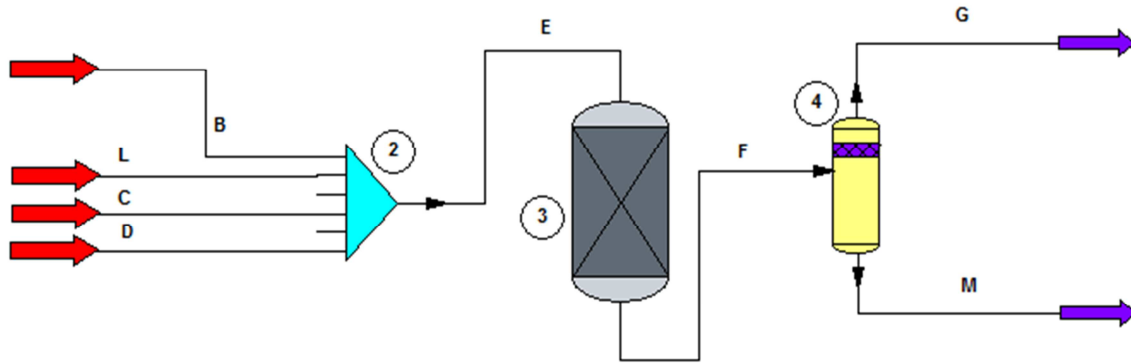


Figura 7-3. Esquema representativo de la etapa de reacción química

En la figura 7-3 se muestra un esquema representativo de la reacción entre el aluminio, el ácido clorhídrico y el agua. En la misma se aprecian tanto las corrientes de entrada como de salida. Cabe destacar que para la simulación en CHEMCAD 6.1 se requirieron dos equipos auxiliares (mixer y flash) que no intervienen en la realidad (de igual manera las corrientes E y F no existen en la realidad). Por lo que la figura 7-3 hace referencia al equipo R-01 por completo.

En la tabla 7-6 se presenta el balance general para esta etapa.

Tabla 7-6. Balance general para el reactor

<i>BALANCE GENERAL</i>	<b>B + L + C + D = G + M</b>
------------------------	------------------------------

*Consideraciones:*

- ✓ Se considera que el reactor es adiabático, es decir que no libera calor al exterior. Esto se consigue mediante la aislación térmica del equipo.
- ✓ Se supone que los calores de mezclado son despreciables en la reacción.
- ✓ El reactor es de tipo discontinuo o batch, trabaja a presión atmosférica y alcanza una temperatura de operación máxima de 112°C.
- ✓ El rendimiento de la reacción de formación de polímero es del 75% con respecto al aluminio.

En la tabla 7-7 se detallan cada una de las corrientes implicadas en la etapa.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 7-7. Balance de componentes en la etapa de reacción química

Balance de componente para cada corriente						
Equipo R-01						
Descripción del equipo: Reactor						
Corriente	Entrada Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
B	Entrada	Partículas de aluminio (Dp: 0,3 cm)	260	Aluminio	99,5%	258,7
				Zinc	0,5%	1,3
C	Entrada	Agua	154	Agua	100%	154
D	Entrada	Ácido clorhídrico al 37%	354,54	Cloruro de hidrógeno	37%	131,18
				Agua	63%	223,36
L	Entrada	Corriente de reciclo de ácido clorhídrico al 11%	394,32	Cloruro de hidrógeno	11%	43,45
				Agua	89%	350,85
				Trazas	Despreciable	0,0164
G	Salida	Gases	425,60	Vapor de agua	84,7%	360,38
				Cloruro de hidrógeno	10,2%	43,47
				Hidrógeno	5,1%	21,74
				Trazas	Despreciable	0,0164
M	Salida	Policloruro de aluminio	737,17	Policloruro de aluminio	85%	627,08
				Agua	6%	44,05
				Aluminio	8,8%	64,67
				Zinc	0,2%	1,3
				Trazas	Despreciable	0,0672



7.2.3. Intercambiador de calor

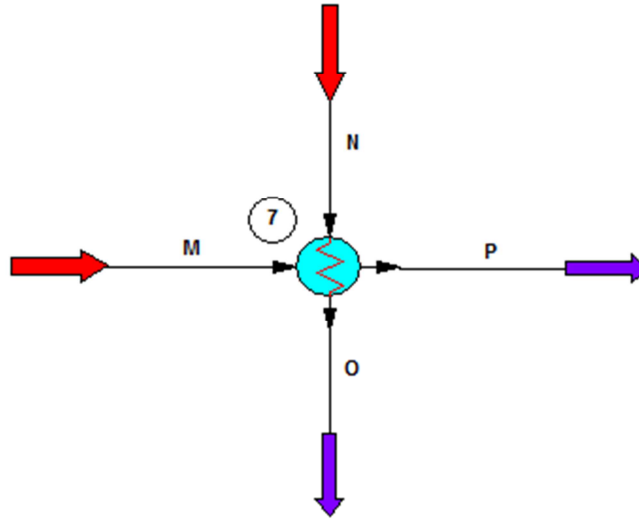


Figura 7-4. Esquema representativo del intercambiador de calor

En la figura 7-4 se expone el esquema representativo del enfriamiento de la corriente líquida de salida del reactor que contiene el producto de interés.

En la tabla 7-8 se presenta el balance general para esta etapa de enfriamiento.

Tabla 7-8. Balance general para el intercambiador de calor

<i>BALANCE GENERAL</i>	<b>M + N = O + P</b>
------------------------	----------------------

*Consideraciones:*

- ✓ Se considera que la pérdida energética hacia el exterior es despreciable.
- ✓ Se supone que la transferencia de energía en el intercambiador de calor es por conducción.
- ✓ Este equipo no presenta una variación másica en las corrientes en cuestión, pero sí energética de manera indirecta.
- ✓ No existen reacciones secundarias entre los componentes de la corriente.

En la tabla 7-9 se registran las características de las corrientes involucradas en el intercambiador de calor, tanto de las corrientes que contienen el producto de interés como aquellas que intervienen indirectamente en la transferencia de energía.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 7-9. Balance de componentes en el intercambiador de calor

Balance de componentes para cada corriente						
Equipo I-01						
Descripción del equipo: Intercambiador de calor						
Corriente	Entrada Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
M	Entrada	Policloruro de aluminio	737,17	Policloruro de aluminio	85%	627,08
				Agua	6%	44,05
				Aluminio	8,8%	64,67
				Zinc	0,2%	1,3
				Trazas	Despreciable	0,0672
N	Entrada	Agua de enfriamiento	2000	Agua	100%	2000
O	Salida	Agua de enfriamiento	2000	Agua	100%	2000
P	Salida	Policloruro de aluminio	737,17	Policloruro de aluminio	85%	627,08
				Agua	6%	44,05
				Aluminio	8,8%	64,67
				Zinc	0,2%	1,3
				Trazas	Despreciable	0,0672

### 7.2.4. Condensador

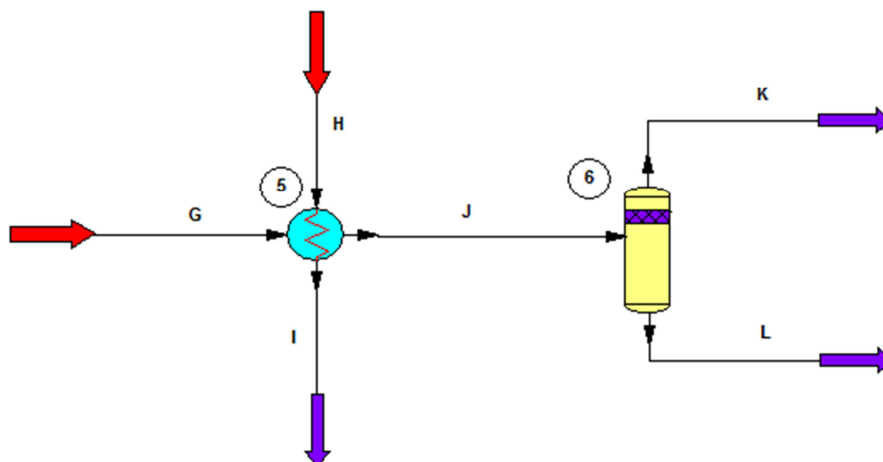


Figura 7-5. Esquema representativo del condensador

En la figura 7-5 se detalla la representación del condensador de la corriente gaseosa saliente del reactor. Para la simulación en CHEMCAD 6.1 son necesarios dos equipos (un intercambiador de calor y un flash).

En la tabla 7-10 se detalla el balance global para el condensador de los gases de salida del reactor.

Tabla 7-10. Balance general del condensador

<i>BALANCE GENERAL</i>	<b>G + H = I + K + L</b>
------------------------	--------------------------

*Consideraciones:*

- ✓ Se emplea una corriente de agua a bajas temperaturas con el objetivo de enfriar y condensar los gases de interés (vapor de agua y cloruro de hidrógeno), separando de esta manera el hidrógeno gaseoso.
- ✓ El calor liberado al exterior se considera despreciable.

En la tabla 7-11 se detallan las características de las corrientes involucradas en esta etapa.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 7-11. Balance de componentes en el condensador

Balance de componente para cada corriente						
Equipo I-02						
Descripción del equipo: Condensador						
Corriente	Entrada Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
G	Entrada	Gases	425,60	Vapor de agua	84,7%	360,38
				Cloruro de hidrógeno	10,2%	43,47
				Hidrógeno	5,1%	21,74
				Trazas	Despreciable	0,0164
H	Entrada	Agua	7000	Agua	100%	7000
I	Salida	Agua	7000	Agua	100%	7000
K	Salida	Gases para quemar	31,29	Hidrógeno	69%	21,74
				Vapor de agua	31%	9,52
				Trazas	Despreciable	0,0151
L	Salida	Corriente de reciclo de ácido clorhídrico al 11%	394,32	Cloruro de hidrógeno	11%	43,45
				Agua	89%	350,85
				Trazas	Despreciable	0,0164

7.2.5. Filtro

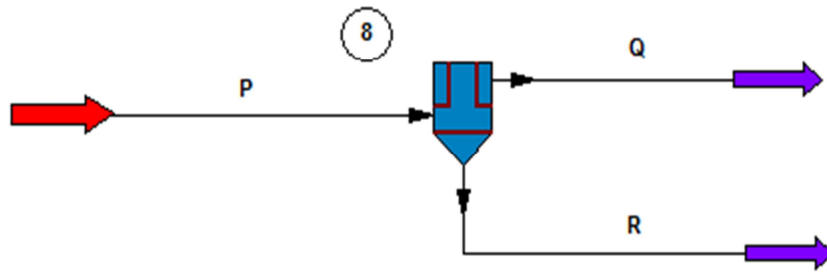


Figura 7-6. Esquema representativo de la filtración

En la figura 7-6, se exhibe el esquema representativo del proceso de filtrado de la corriente de policloruro de aluminio, con el objetivo de separar la escoria remanente tras la reacción de formación del PAC.

En la tabla 7-12 se presenta el balance general para la etapa y en la tabla 7-13 las características de cada una de las corrientes.

Tabla 7-12. Balance general para la filtración

<i>BALANCE GENERAL</i>	<b><math>P = Q + R</math></b>
<i>Balance de aluminio</i>	<b><math>x_p P = x_q Q + x_r R</math></b>

Consideraciones:

- ✓ La escoria que se separa en esta etapa se considera un efluente sólido ya que se encuentra combinado con los coadyuvantes utilizados para facilitar el proceso de filtración. Su posterior tratamiento se detallará en el capítulo 11.
- ✓ El caudal másico de la corriente R es el punto de partida para el balance de masa y es fijado de acuerdo al estudio de mercado realizado con anterioridad, estableciendo un calendario laboral de 340 días.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 7-13. Balance de componentes en el filtro

Balance de componente para cada corriente						
Equipo F-01						
Descripción del equipo: Filtro						
Corriente	Entrada Salida	Denominación	Caudal másico [kg/h]	Componente	Composición fraccional	Caudal másico de la fracción [kg/h]
P	Entrada	Policloruro de aluminio	737,17	Policloruro de aluminio	85%	627,08
				Agua	6%	44,05
				Aluminio	8,8%	64,67
				Zinc	0,2%	1,3
				Trazas	Despreciable	0,0672
R	Salida	Policloruro de aluminio	669,81	Policloruro de aluminio	94%	627,08
				Agua	6%	42,73
Q	Salida	Escoria	67,36	Aluminio	96%	64,67
				Zinc	2%	1,3
				Agua	2%	1,32
				Trazas	Despreciable	0,0672

### 7.3. Balance de energía

Para la realización de los balances de energía, se tendrán en cuenta únicamente aquellas etapas en las que se justifique un análisis de este tipo. Las mismas son:

- ✓ Reacción química (reactor).
- ✓ Condensación de gases de salida del reactor (condensador).
- ✓ Enfriamiento de la corriente de PAC (intercambiador de calor).

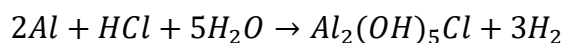
#### 7.3.1. Reactor

Para determinar el balance energético en el reactor, se deben tener en cuenta lo siguiente.

*Consideraciones:*

- ✓ La reacción de formación del policloruro de aluminio es exotérmica, espontánea e irreversible.
- ✓ El calor desprendido por la reacción es el causante del incremento de la temperatura dentro del reactor, desde 25°C a 112°C.
- ✓ Se considera que el reactor es adiabático, posee un aislamiento térmico que evita la eliminación de calor al ambiente.
- ✓ El calor de agitación es despreciable.
- ✓ No se producen reacciones secundarias significativas dentro del equipo.

La reacción general de formación del polímero se observa en la ecuación 7-1.



Ecuación 7-1. Reacción de formación del policloruro de aluminio

En la tabla 7-14 se detallan las entalpías de formación correspondientes a los compuestos involucrados en la reacción.

Tabla 7-14. Entalpías de los compuestos involucrados en la reacción

Compuesto	Entalpia de formación a 25°C [kcal/kg]
Aluminio	0
Ácido clorhídrico	-492,69
Agua	-3795,3
Policloruro de aluminio	-2369,94
Hidrógeno	0

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 7-15 se especifican las propiedades termodinámicas y fisicoquímicas necesarias para el desarrollo del balance energético.

Tabla 7-15. Propiedades de las corrientes involucradas en la etapa de reacción química

Propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes					
Equipo R-01					
Descripción del equipo: Reactor					
Corriente	Sustancia	Concentración [%p/p]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [kcal/kg°C]	Temperatura [°C]
B	Aluminio	99,5%	2712,78	0,21	25
	Zinc	0,5%		0,093	
C	Agua	100%	1000	1	25
D	Cloruro de hidrógeno	37%	1182,79	0,60	25
	Agua	63%			
G	Hidrógeno	5,1%	0,42	0,58	112
	Cloruro de hidrógeno	10,2%			
	Vapor de agua	84,7%			
L	Cloruro de hidrógeno	11%	1051,46	0,80	35
	Agua	89%			
M	Policloruro de aluminio	85%	1570,71	0,72	112
	Aluminio	8,8%		0,22	
	Agua	6%		1	
	Zinc	0,2%		0,093	
Calor latente de vaporización del agua [kcal/kg]					-540
Calor de disolución de cloruro de hidrógeno en agua [kcal/kg]					-491

En la tabla 7-16 se detallan los calores calculados en la etapa de reacción y se especifican además, las ecuaciones empleadas para el balance.



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 7-16. Balance energético en el reactor

$-(Q_R + Q_L) = Q_{Al} + Q_{Zn} + Q_A + Q_V + Q_{HCl}$		
Nomenclatura	Ecuación	Calor [kcal/h]
$Q_R$	$[m \times \Delta H]^\circ + [m \times \Delta Cp \times (T_f - T_i)]$	-220528,24
$Q_L$	$m \times Cp \times \Delta T$	-3155,12
$Q_{Al}$	$m \times Cp \times \Delta T$	1209,65
$Q_{Zn}$	$m \times Cp \times \Delta T$	10,52
$Q_A$	$m \times Cp \times \Delta T$	3832,35
$Q_V$	$[(m \times \lambda) + (m \times Cp \times \Delta T)]$	196378,27
$Q_{HCl}$	$[m \times (-\lambda_{disol})]$	21343,77

### Consideraciones:

- ✓ Calor de reacción ( $Q_R$ ): se tiene en cuenta la entalpía de reacción a 25°C y el calor desprendido entre esa temperatura y los 112°C que se alcanzan al finalizar la reacción.
- ✓ Calor de la corriente de reciclo L ( $Q_L$ ): se considera el calor entregado por la corriente que ingresa a 35°C, en comparación con las demás corrientes que ingresan a 25°C.
- ✓ Calor del aluminio que no reaccionó ( $Q_{Al}$ ): el 25% del aluminio que ingresa al reactor no reacciona, sin embargo el mismo absorbe calor dentro del equipo, y aumenta su temperatura sin cambiar de estado
- ✓ Calor del zinc ( $Q_{Zn}$ ): el zinc ingresa al reactor en pequeñas proporciones y sale del mismo sin reaccionar, aumenta su temperatura sin sufrir cambios de estado.
- ✓ Calor del agua ( $Q_A$ ): una pequeña fracción del agua que ingresa al reactor queda enmascarada en estado líquido dentro de la estructura polimérica del PAC, de manera tal que no cambia de estado, sin embargo incrementa su temperatura absorbiendo parte del calor liberado por la reacción.
- ✓ Calor del vapor de agua ( $Q_V$ ): se tiene en cuenta el porcentaje de masa de agua que cambia de estado, de líquido a vapor sobrecalentado hasta alcanzar la temperatura de 112°C.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

- ✓ Calor del cloruro de hidrógeno ( $Q_{HCl}$ ): se considera la disociación y consecuente cambio de fase del ácido clorhídrico a cloruro de hidrógeno gaseoso.
- ✓ Del balance energético se desprenden -908,8 kcal/h. Mediante la colocación de una aislante térmico al equipo (cálculos en capítulo 8), se consigue operar en condiciones adiabáticas.

### 7.3.2. Intercambiador de calor

La etapa de enfriamiento de la corriente de interés que contiene el policloruro de aluminio, se lleva a cabo en un intercambiador de calor de casco y tubos; se emplea agua de enfriamiento como corriente indirecta para disminuir la temperatura del PAC.

En la tabla 7-17 se detallan las características de las corrientes involucradas.

Tabla 7-17. Propiedades fisicoquímicas de las corrientes involucradas en la etapa de acondicionamiento

Propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes					
Equipo I-01					
Descripción del equipo: Intercambiador de calor					
Corriente	Sustancia	Concentración [%p/p]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [kcal/kg°C]	Temperatura [°C]
M	Policloruro de aluminio	85%	1650	0,72	112
	Aluminio	8,8%	2682	0,22	
	Agua	6%	949,47	1,01	
	Zinc	0,2%	7065	0,093	
P	Policloruro de aluminio	85%	1370	0,48	30
	Aluminio	8,8%	2705	0,217	30
	Agua	6%	1000	1	30
	Zinc	0,2%	7130	0,093	30
N	Agua	100%	1000	1	15
O	Agua	100%	1000	1	33

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 7-18 se detallan los calores calculados para el balance energético.

Tabla 7-18. Balance energético en el intercambiador de calor

$- Q_{Aenf} = Q_{PAC} + Q_{A2} + Q_{Al2} + Q_{Zn2}$		
Nomenclatura	Ecuación	Calor [kcal/h]
$Q_{PAC}$	$m \times Cp \times \Delta T$	-30830
$Q_{A1}$	$m \times Cp \times \Delta T$	-3645
$Q_{Al1}$	$m \times Cp \times \Delta T$	-1162
$Q_{Zn1}$	$m \times Cp \times \Delta T$	-11,2
$Q_{Aenf}$	$m \times Cp \times \Delta T$	36000

Consideraciones:

- ✓ Calor del policloruro de aluminio ( $Q_{PAC}$ ): el policloruro de aluminio se enfría sin presentar cambiar de fase.
- ✓ Calor del agua ( $Q_{A1}$ ): se considera que el agua que se encuentra retenida en la estructura del PAC disminuye su temperatura sin cambiar de estado.
- ✓ Calor del aluminio que no reaccionó ( $Q_{Al1}$ ): el aluminio remanente en la corriente se enfría sin variar de estado.
- ✓ Calor del zinc ( $Q_{Zn1}$ ): de igual manera que en el caso anterior, el zinc libera calor al disminuir su temperatura de 112°C a 30°C.
- ✓ Calor del agua de enfriamiento ( $Q_{Aenf}$ ): el agua de enfriamiento incrementa su temperatura de 15°C a 33°C sin variar de estado.
- ✓ La diferencia numérica entre los valores hallados, se debe a los redondeos realizados durante el cálculo matemático.

### 7.3.3. Condensador

Parte de los gases de salida del reactor se condensan mediante una corriente indirecta de agua; de esta manera se separan dos corrientes de interés, una gaseosa constituida principalmente por hidrógeno gaseoso y una líquida de ácido clorhídrico diluido al 11% que se recircula al reactor. En la tabla 7-19 se detallan las características fisicoquímicas de las corrientes involucradas en la etapa de condensación.

# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 7-19. Propiedades de las corrientes involucradas en la etapa de condensación

Propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de los componentes					
Equipo I-02					
Descripción del equipo: Condensador					
Corriente	Sustancia	Concentración [%p/p]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [kcal/kg°C]	Temperatura [°C]
G	Hidrógeno	5,1%	0,42	0,58	112
	Cloruro de hidrógeno	10,2%			
	Vapor de agua	84,7%			
H	Agua	100%	1000	1	5
I	Agua	100%	1000	1	39
K	Hidrógeno	69%	0,11	2,51	35
	Vapor de agua	31%			
L	Cloruro de hidrógeno	11%	1051,46	0,80	35
	Agua	89%			
Calor latente de vaporización del agua [kcal/kg]					540
Calor de disolución de cloruro de hidrógeno en agua [kcal/kg]					-491

Seguidamente, en la tabla 7-20 se especifica el balance energético de la etapa en cuestión.

Tabla 7-20. Balance energético en el condensador

$- Q_{Cond} = Q_H + Q_{A1} + Q_{HCl11}$		
Nomenclatura	Ecuación	Calor [kcal/h]
$Q_H$	$m \times Cp \times \Delta T$	-5749
$Q_{A2}$	$[m1 \times (Cp \times \Delta T) + (-\lambda) + (Cp \times \Delta T)] + [m2 \times Cp \times \Delta T]$	-214700
$Q_{HCl11}$	$m \times \lambda_{disol}$	-21310
$Q_{Cond}$	$m \times Cp \times \Delta T$	242200

### *Consideraciones:*

- ✓ Calor del hidrógeno ( $Q_H$ ): el hidrógeno presente en la corriente se enfría sin cambiar de estado.
- ✓ Calor del agua ( $Q_{A2}$ ): se tiene en cuenta la fracción de agua que cambia de fase gaseosa a líquida y la correspondiente disminución de la temperatura ( $m1$ ); y una pequeña fracción de la misma que no cambia de estado, sino que se conserva como vapor de agua ( $m2$ ).
- ✓ El calor de vaporización del agua presenta signo negativo ya que el cambio de fase es desde el estado gaseoso a estado líquido.
- ✓ Calor del cloruro de hidrógeno ( $Q_{HCl1}$ ): se considera la disolución del cloruro de hidrógeno en el agua.
- ✓ La ínfima diferencia numérica entre los valores de los calores, se debe a los redondeos realizados durante el cálculo matemático.

# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

## 7.4. Resumen de los balances de masa y energía

En la tabla 7-21 y 7-22 se registran resultados obtenidos.

Tabla 7-21. Resumen de los balances de masa y energía

Corriente	Clasificación	Entrada Salida	Estado	Caudal diario [kg/día]	Caudal horario [kg/h]	Presión [atm]	Temp. [°C]
A	Externa	Entrada	Sólido	6240	260	1	25
B	Interna	Salida Entrada	Sólido	6240	260	1	25
C	Externa	Entrada	Líquido	3696	154	1	25
D	Externa	Entrada	Líquido	8509	354,54	1	25
G	Interna	Salida Entrada	Gaseoso	10215	425,60	1	112
H	Externa	Entrada	Líquido	168000	7000	1	5
I	Externa	Salida	Líquido	168000	7000	1	39
K	Externa	Salida	Gaseoso	750,96	31,29	1	35
L	Interna	Salida Entrada	Líquido	9478,32	394,32	1	35
M	Interna	Salida Entrada	Líquido/ Sólido	17692,08	737,17	1	112
N	Externa	Entrada	Líquido	48000	2000	1	15
O	Externa	Salida	Líquido	48000	2000	1	33
P	Interna	Salida Entrada	Líquido/ Sólido	17692,08	737,17	1,93	30
R	Externa	Salida	Líquido	16075,44	669,81	6,77	30
Q	Externa	Salida	Sólido	1616,64	67,36	6,77	30

Tabla 7-22. Resultado del balance de masa global

Diferencia entre entrada y salida [kg/h]	0,08
--	------

Los datos de caudales, concentraciones, temperaturas, calores específicos y densidades fueron extraídos del CHEMCAD 6.1 y de la bibliografía especificada. En el siguiente capítulo se diseñarán los equipos junto a un esquema que clarifique la operatoria de cada uno de ellos.

## 7.5. Bibliografía

- **Ácido Clorhídrico.** [Citado el: 15 de Julio de 2018.] [https://www.ecured.cu/%C3%81cido\\_clorh%C3%ADrico](https://www.ecured.cu/%C3%81cido_clorh%C3%ADrico).
- **Ácido Clorhídrico.** [Citado el: 29 de Junio de 2018.] <https://www.bescience.com/products/acido-clorhidrico-0-1n-sol-vol-ra>.
- **Aluminio.** [Citado el: 03 de Julio de 2018.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>.
- **BACA URBINA, Gabriel. 1995.** *Evaluación de proyectos*. México: McGraw Hill, 1995.
- **Cloruro de Hidrógeno.** [Citado el: 14 de Julio de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro\\_de\\_hidr%C3%B3geno](https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_hidr%C3%B3geno).
- **Ficha de seguridad HCL 37.** [Citado el: 29 de Junio de 2018.] <http://www.lco.cl/operations/safety-and-health/technical-info/safety-data-sheets/Ficha%20seguridad%20Acido%20Cloridrico.pdf>.
- **Fundamentos del hidrógeno gaseoso.** [Citado el: 12 de Julio de 2018.] [http://www.energiasostenible.net/fundamentos\\_hidrógeno.htm](http://www.energiasostenible.net/fundamentos_hidrógeno.htm).
- **HIMMENBLAU, David M. 1997.** *Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química*. México: Sexta edición. Ed Prentice Hall, 1997.
- **OCÓN, Joaquín y TOJO, Gabriel.** *Problemas de ingeniería química*. s.l.: Aguilar. Tercera edición.
- **Propiedades termodinámicas de sustancias a 298°K.** [Citado el: 25 de Junio de 2018.] [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tablasdepropiedadesthermodinamicas\\_12182.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Tablasdepropiedadesthermodinamicas_12182.pdf).
- **SAUKKORIPI, Jaakko. 2010.** *Theoretical study of the hydrolysis of aluminum complexes*. Department of chemistry, University of Oulu : s.n., 2010.
- **SWIHART, Mark T y CATOIRE, Laurent. 2010.** *Thermochemistry of Aluminum Species for Combustion*. Department of Chemical Engineering, University at Buffalo : s.n., 2010.
- **Tabla de calores.** [Citado el: 25 de Junio de 2018.] <http://www.rumbonorte.cl/downloads/Tabla%20de%20Calor%20Espec%C3%ADfico.pdf>.
- **ZENG, Wenming, CHEN, Qiyuan y CHEN, Xinmin. 1994.** *Determination of the standard enthalpy of formation of aqueous aluminum ion, A13 (aq)*. Department of Chemistry, Central-South University of Technology, Changsha, Hunan. : s.n., 1994.
- **Zinc.** [Citado el: 03 de Julio de 2018.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Zinc>.

---

# DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

---

CAPÍTULO 8



**8. DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS****8.1. Introducción**

En el presente capítulo se desarrollan los cálculos matemáticos para el diseño y la adopción de equipos necesarios para el proceso de producción del policloruro de aluminio, considerando los criterios detallados en los capítulos anteriores. En los casos en los que se lleva a cabo la adopción del equipo, se considera el que esté disponible en el mercado y que mejor se adapte a los requerimientos técnicos que se establecen a través de los cálculos. Además, se evalúan los sistemas de transportes de fluido requeridos, donde se incluyen los cálculos respectivos de las tuberías y bombas necesarias.

Esta sección se ha realizado conjuntamente con el capítulo anterior, ya que para dimensionar y diseñar los equipos son necesarios los datos que se extraen de los balances de masa. Los valores termodinámicos y fisicoquímicos son proporcionados por diversas fuentes bibliográficas, las cuales se citan al final del capítulo.

En la tabla 8-1, se detallan los equipos a diseñar y adoptar.

Tabla 8-1. Equipos para diseño y adopción

<b>Diseño</b>	<b>Adopción</b>
Tanques de almacenamiento de materia prima	Molino de impacto
Tanques de almacenamiento del producto terminado	Filtro de placas y marcos
Reactor batch	Transportador de sólidos tipo tornillo helicoidal
Intercambiador de calor	Transporte neumático
Condensador	Ventilador centrífugo
	Bombas para transporte de fluidos

## 8.2. Recepción y almacenamiento de materias primas

Para el control de la cantidad de materia prima de aluminio que ingresa al complejo industrial, se utiliza la balanza que posee ATANOR S.A., la báscula de la misma tiene capacidad para pesar 100 t, lo cual es suficiente para el pesaje de la materia prima que ingresa en camiones de 45 t.

Después de controlar la cantidad de materia prima ingresada, la misma se almacenará en tolvas, bajo determinadas condiciones de humedad y temperatura.

### 8.2.1. Diseño de la tolva de almacenamiento de la materia prima de aluminio A-01

Para determinar el tamaño de la tolva se tiene en cuenta un ciclo productivo de cinco días. A continuación se calcula el volumen que ocupa la materia prima:

$$V_{MP} = \frac{m_{MP}}{\rho_{MP}}$$

Ecuación 8-1

Dónde:

$m_{MP}$ : Masa de materia prima [kg]

$\rho_{MP}$ : Densidad de materia prima [kg/m<sup>3</sup>]

$$V_{TOLVA} = V_{MP} + 0.3V_{MP}$$

Ecuación 8-2

El volumen de la tolva se calcula a partir del volumen de materia prima a almacenar y considerando un 30% más como factor de seguridad. A su vez:

$$V_{TOLVA} = V_{CIL} + V_{CONO}$$

Ecuación 8-3

$$V_{CIL} = \frac{\pi \cdot D_{CIL}^2}{4} \cdot H_{CIL}$$

Ecuación 8-4

Dónde:

$D_{CIL}$ : Diámetro del cilindro [m]

$H_{CIL}$ : Altura del cilindro [m]

Teniendo en cuenta la relación de esbeltez extraída de SALES, 1972:

$$H_{CIL} = 3 \cdot D_{CIL}$$

Ecuación 8-5

$$D_{CIL} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{CIL}}{3\pi}}$$

Ecuación 8-6

Con el valor del diámetro del cilindro obtenido y la relación de esbeltez se calcula la altura.

Mientras que para la parte del cono:

$$V_{CONO} = \frac{1}{12} \pi \cdot D_{CIL}^2 \cdot \tan \alpha \cdot r_{CIL}$$

Ecuación 8-7

$$H_{CONO} = \tan \alpha \cdot r_{CIL}$$

Ecuación 8-8

Dónde:

$\alpha$ : Ángulo que forma el cono [°]

$r_{CIL}$ : Radio del cilindro [m]

En la tabla 8-2 se detallan los datos y dimensiones calculadas para la tolva de almacenamiento en cuestión.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 8-2. Cálculo de las dimensiones de la tolva de almacenamiento para las medias esferas de aluminio

<b>A-01 Tolva de almacenamiento de medias esferas de aluminio</b>	
Fabricante	Servinox Ingeniería S.A
Material de construcción	AISI 304
<i>Datos</i>	
Masa [kg]	31200
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2713
Volumen [m <sup>3</sup> ]	11,50
Relación de esbeltez	3
Angulo que forma el cono [°]	20
<i>Dimensiones calculadas</i>	
Volumen del cilindro [m <sup>3</sup> ]	13,34
Diámetro del cilindro [m]	1,78
Altura del cilindro [m]	5,35
Radio del cilindro [m]	0,89
Volumen del cono [m <sup>3</sup> ]	1,66
Altura del cono [m]	1,99
Volumen total de la tolva [m <sup>3</sup> ]	15
Altura de la tolva [m]	7,34

El volumen calculado es de 14,95 m<sup>3</sup>, por lo tanto se adopta para el diseño un recipiente de 15 m<sup>3</sup>.

### 8.2.2. Diseño del tanque regulador de caudal de agua A-02

El agua necesaria para la formación del policloruro de aluminio, es suministrada por ATANOR S.A. Se almacena en un tanque regulador con capacidad para cinco días de producción.

Cabe destacar, que el objetivo principal del diseño de este tanque es para proveer de un tiempo de residencia en parada, en caso de fallo o avería en equipos posteriores en la línea de producción.

A continuación se calcula el volumen que ocupa la materia prima:

$$V_{Agua} = \frac{m_{Agua}}{\rho_{Agua}}$$

Ecuación 8-9

Dónde:

$m_{Agua}$ : Masa de agua [kg]

$\rho_{Agua}$ : Densidad de agua [kg/m<sup>3</sup>]

$$V_{TANQUE} = V_{Agua} + 0.3V_{Agua}$$

Ecuación 8-10

El volumen del tanque se calcula con el volumen de agua a almacenar y considerando un 30% más como factor de seguridad. A su vez, el volumen del tanque es la suma del volumen de la parte cilíndrica y el volumen de los extremos:

$$V_{TANQUE} = V_{CIL} + 2V_{EXT}$$

Ecuación 8-11

$$V_{CIL} = \frac{\pi D_{CIL}^2}{4} \cdot H_{CIL}$$

Ecuación 8-12

Dónde:

$D_{CIL}$ : Diámetro del cilindro [m]

$H_{CIL}$ : Altura del cilindro [m]

Teniendo en cuenta la relación de esbeltez extraída de SALES, 1972:

$$H_{CIL} = D_{CIL}$$

Ecuación 8-13

El volumen de los extremos se calcula como:

$$V_{EXT} = \frac{\pi D_{CIL}^3}{24}$$

Ecuación 8-14

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

$$H_{EXT} = \frac{D_{CIL}}{4}$$

Ecuación 8-15

$$H_{TANQUE} = H_{CIL} + 2H_{EXT}$$

Ecuación 8-16

En la tabla 8-3 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el tanque regulador de agua.

Tabla 8-3. Cálculo de las dimensiones del tanque regulador de agua

<b>A-02 Tanque regulador de agua</b>	
Fabricante	FormingPlast
Material de construcción	PEAD
<i>Datos</i>	
Masa [kg]	18480
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
Volumen [m <sup>3</sup> ]	18,43
Relación de esbeltez	1
<i>Dimensiones calculadas</i>	
Volumen del cilindro [m <sup>3</sup> ]	18,75
Diámetro del cilindro [m]	2,88
Altura del cilindro [m]	2,88
Radio del cilindro [m]	1,44
Volumen de cada extremo [m <sup>3</sup> ]	3,12
Altura de cada extremo [m]	0,72
Altura del tanque [m]	4,32
Volumen del tanque [m <sup>3</sup> ]	25

El volumen calculado para el almacenamiento de agua es de 23,96 m<sup>3</sup>, para simplificar el cálculo adopta un volumen de 25 m<sup>3</sup>.

### 8.2.3. Diseño del tanque regulador de caudal de ácido clorhídrico al 37% A-03

El ácido clorhídrico al 37% necesario para la síntesis del policloruro de aluminio, es suministrado por ATANOR S.A. El procedimiento realizado para el cálculo de las dimensiones del tanque regulador de caudal para el ácido clorhídrico al 37% es idéntico al descrito anteriormente. En la tabla 8-4 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8-4. Cálculo de las dimensiones del tanque regulador de ácido clorhídrico al 37%

<b>A-03 Tanque regulador de ácido clorhídrico al 37%</b>	
Fabricante	Mayper
Material de construcción	PRFV
<i>Datos</i>	
Masa [kg]	42550
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1183
Volumen [m <sup>3</sup> ]	35,96
Relación de esbeltez	1
<i>Dimensiones calculadas</i>	
Volumen del cilindro [m <sup>3</sup> ]	37,5
Diámetro del cilindro [m]	3,63
Altura del cilindro [m]	3,63
Radio del cilindro [m]	1,815
Volumen de cada extremo [m <sup>3</sup> ]	6,25
Altura de cada extremo [m]	0,91
Altura del tanque [m]	5,44
Volumen del tanque [m <sup>3</sup> ]	50

Para el diseño del tanque de almacenamiento del ácido al 37% se obtiene un volumen de 46,75 m<sup>3</sup>, por lo tanto se adopta uno de 50 m<sup>3</sup>.

**8.2.4. Diseño del tanque regulador de caudal de ácido clorhídrico al 11% A-04**

Con el fin de facilitar el sistema de cañerías y por ende disminuir la caída de presión en la misma, el ácido clorhídrico recirculado al proceso es almacenado en un tanque pulmón de PRFV, para ingresar al reactor como materia prima. Se dimensiona el tanque regulador para tres días corridos de producción en caso de haber alguna falla durante el proceso. En la tabla 8-5 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8-5. Cálculo de las dimensiones del tanque regulador de ácido clorhídrico al 11%

<b>A-04 Tanque regulador de ácido clorhídrico al 11%</b>	
Fabricante	Mayper
Material de construcción	PRFV
<i>Datos</i>	
Masa [kg]	28430
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1052
Volumen [m <sup>3</sup> ]	27,03
Relación de esbeltez	1
<i>Dimensiones calculadas</i>	
Volumen del cilindro [m <sup>3</sup> ]	27
Diámetro del cilindro [m]	3,25
Altura del cilindro [m]	3,25
Radio del cilindro [m]	1,625
Volumen de cada extremo [m <sup>3</sup> ]	4,5
Altura de cada extremo [m]	0,81
Altura del tanque [m]	4,88
Volumen del tanque [m <sup>3</sup> ]	36

Para el tanque de ácido clorhídrico al 11% el cálculo determina un volumen de 35,14 m<sup>3</sup>, por lo tanto se adopta uno de 36 m<sup>3</sup>.



### 8.3. Adopción del molino de martillos M-01

El término molino se utiliza para describir una gran variedad de máquinas de reducción de tamaño para servicio intermedio. Los molinos de martillo/impacto contienen un rotor que gira a alta velocidad en el interior de una carcasa cilíndrica, que a su vez funciona dentro de un recipiente que contiene placas o revestimientos de molienda. El eje generalmente es horizontal, y sostiene a los martillos que pueden ser elementos en forma de T, estribos o barras; la alimentación entra por la parte superior de la carcasa, se rompe y cae a través de una abertura situada en el fondo. El molino es capaz de recibir material de alimentación de 3 cm y reducirlo a un producto sustancialmente capaz de atravesar una malla N° 200. En la tabla 8-6 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8-6. Datos para la adopción del molino de martillos

<b>M-01 Molino de martillos</b>	
Fabricante	Industrias Tomadoni S.A
Modelo	104
Material de construcción	Cuerpo de hierro laminado
Principio de operación	Impacto
Tamaño de alimentación [mm]	<40
Tamaño de descarga [mm]	0-3
Alimentación [mm]	320x930
Capacidad teórica del procesamiento [t/h]	2-10
Velocidad del rotor [rpm]	800-1000
Potencia del motor [kW]	75
Cantidad de martillos	18
Dimensiones [L x W x H mm]	2130x1665x1610
<i>Datos</i>	
Material	Medias esferas de aluminio
Caudal de alimentación [t/h]	2,34
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2713
Diámetro de entrada de la partícula [mm]	30
Diámetro de salida de la partícula [mm]	3
Índice de trabajo de Bond [kWh/t]	9,45
Factor de seguridad [%]	50

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Se considera que el molino genera partículas de aluminio para abastecer tres días la planta. El equipo opera 8 horas por día, de manera tal que siempre se tiene almacenada materia prima de reserva para un día, esto quiere decir que el equipo se pone en funcionamiento cada dos días.

En las figuras 8-1 y 8-2 observan esquemas del equipo seleccionado.

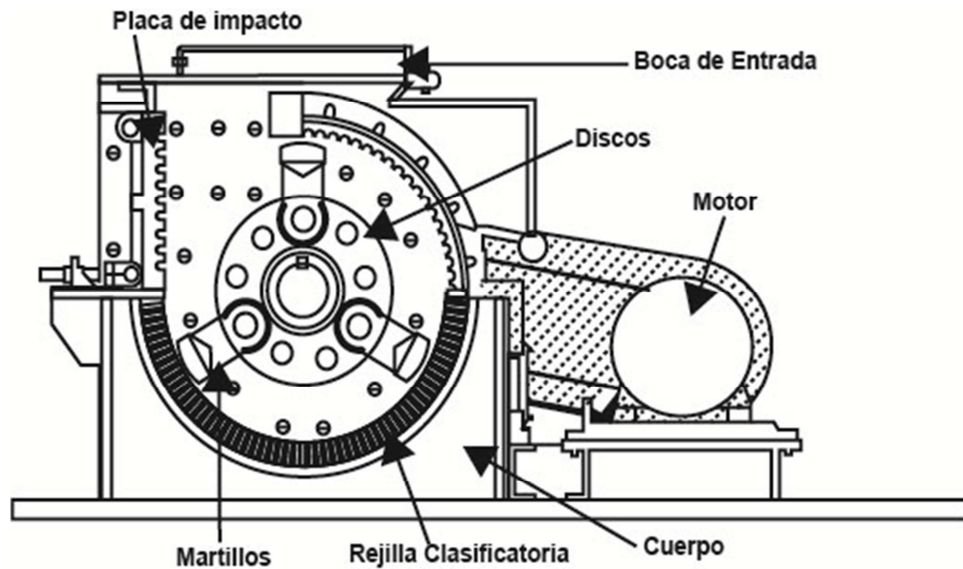


Figura 8-1. Esquema ilustrativo de un molino de martillos



Figura 8-2. Modelo de molino de martillos

#### 8.4. Diseño de tolva de almacenamiento de aluminio molido A-05

El almacenaje de productos en tamaños de pequeñas partículas, ya sea como materias primas o como producto acabado, requiere de depósitos a la espera de su posterior trasvase. Tras la molienda de las medias esferas de aluminio se almacenan en una tolva cuya capacidad es para 3 días de capacidad.

Tabla 8-7. Cálculo de las dimensiones de la tolva de almacenamiento para aluminio molido

<b>A-05 Tolva de almacenamiento de aluminio molido</b>	
Fabricante	Servinox Ingeniería S.A
Material de construcción	AISI 304
<i>Datos</i>	
Masa [kg]	18720
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2713
Volumen [m <sup>3</sup> ]	6,90
Relación de esbeltez	3
Angulo que forma el cono [°]	20
<i>Dimensiones calculadas</i>	
Volumen del cilindro [m <sup>3</sup> ]	8,895
Diámetro del cilindro [m]	1,56
Altura del cilindro [m]	4,67
Radio del cilindro [m]	0,78
Volumen del cono [m <sup>3</sup> ]	1,105
Altura del cono [m]	1,74
Volumen total de la tolva [m <sup>3</sup> ]	10
Altura de la tolva [m]	6,41

El cálculo de la tolva de almacenamiento intermedio del aluminio arroja un volumen de 8,97 m<sup>3</sup>, por lo que se adopta un equipo de 10 m<sup>3</sup>.

### 8.5. Diseño del reactor R-01

El reactor seleccionado es el de tanque agitado tipo batch o por lotes de PRFV, tal como se menciona en el capítulo 6 y recubierto exteriormente con un determinado aislante térmico con el fin de mantener condiciones de operación adiabáticas. En este equipo se introducen el aluminio molino, ácido clorhídrico al 37%, ácido clorhídrico al 11% y agua para que se tenga lugar la reacción de formación de policloruro de aluminio. Entre los motivos de la selección, se destacan la simplicidad del mismo, a la vez que permite un control más fehaciente de las condiciones del reactor; por otro lado, un criterio adicional para optar por este tipo de equipo se fundamenta en la producción de la planta, la cual no justifica una inversión para un régimen continuo.

En un reactor discontinuo se introducen los reactantes, se mezclan mediante un sistema de agitación que permite una mezcla perfecta, se deja que reaccionen un tiempo determinado y finalmente se descarga la mezcla resultante. Esta es una operación no estacionaria en la que la composición varía con el tiempo, aunque en cada instante es uniforme en cada punto del reactor. Cabe destacar que el equipo a diseñar cuenta con un eficaz sistema de agitación, para asegurar la uniformidad en temperatura, composición y presión. Generalmente, esto se aplica para reacciones en fase líquida o en fase sólido-líquido, logrando de esta manera grandes conversiones.

Con fines ilustrativos, en la figura 8-3 se muestra un esquema del reactor batch para el proceso de producción de policloruro de aluminio.

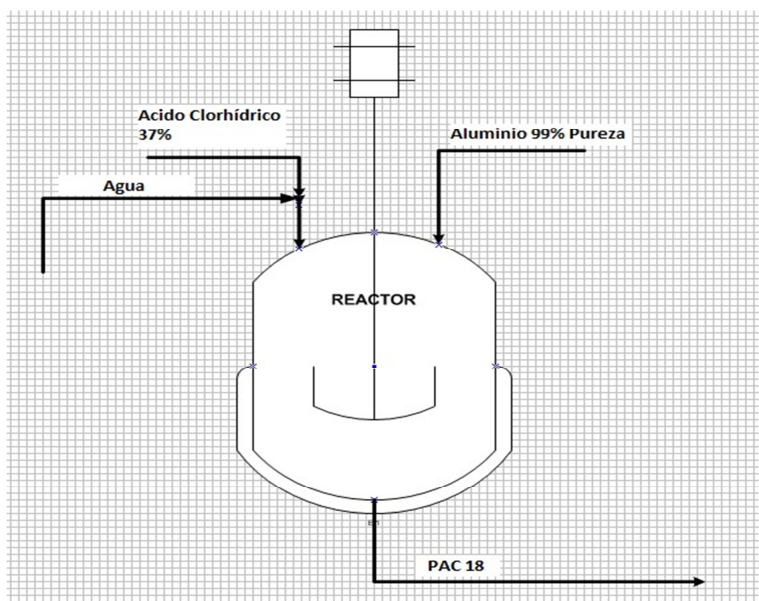
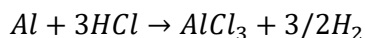


Figura 8-3. Esquema ilustrativo de reactor batch para la síntesis de PAC

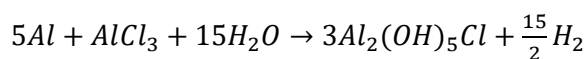
**8.5.1. Cinética de la reacción**

La ecuación cinética representa la velocidad de reacción y puede obtenerse, bien a partir de consideraciones teóricas o ser simplemente el resultado de un procedimiento empírico de ajuste de datos experimentales.

La reacción de formación del PAC, como se explica en el capítulo 6 se desarrolla en dos etapas:



Ecuación 8-17



Ecuación 8-18

Basado en el mecanismo de reacción, la reacción principal es irreversible (ecuación 8-17) ya que la misma se da en una sola dirección hasta alcanzar las condiciones de equilibrio, es decir el aluminio reacciona con el ácido clorhídrico y produce cloruro de aluminio e hidrógeno, hasta agotar la concentración inicial del aluminio.

La cinética intrínseca de la polimerización es muy importante para el desarrollo del proceso. El modelo de la velocidad de reacción se define mediante la ecuación 8-19, la cual se extrae de la bibliografía analizada (MENDOZA MOYÓN, 2012) como se observa se trata de una reacción de segundo orden.

$$-r_A = 7,44 \cdot 10^{-2} \cdot C_A \cdot C_B$$

Ecuación 8-19

Teniendo en cuenta las fases presentes, es una reacción heterogénea ya que se desarrolla en más de una fase; en este caso se trata de una reacción sólido-líquido. Según LEVENSPIEL, 2004 se trata de una reacción sólido-fluido en la que varía el tamaño de las partículas sólidas (modelo de reacción progresiva). Además, es una reacción no catalizada siempre que se la desarrolla en un reactor discontinuo.

En este contexto, ejemplos de operaciones discontinuas son la disolución y reacción de una cantidad dada de un sólido en un fluido, como en este caso, el ataque de un sólido por un ácido.

### 8.5.2. Cálculo del volumen del reactor

Para determinar el volumen del reactor se tiene en cuenta el caudal a tratar de materias primas, con el fin de alcanzar la producción estimada de policloruro de aluminio y de esta manera satisfacer la demanda del producto en el mercado nacional. Cabe destacar, que se emplean tres reactores tipo batch para completar la producción diaria de PAC.

En la tabla 8-8, se exponen los datos de los caudales que ingresan al reactor.

Tabla 8-8. Datos del caudal que ingresa al reactor

<b>Datos para el cálculo del tamaño de los reactores</b>	
Caudal másico [kg/h]	1162,93
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1240,98
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	0,9371
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /día]	22,49

El tiempo de reacción del PAC es de 8 hs, a los cuales deben sumarse los tiempos correspondientes a la carga, descarga y limpieza del reactor, extraídos de la bibliografía. El tiempo total de cada ciclo se observa en la tabla 8-9.

Tabla 8-9. Datos de los tiempos de funcionamiento del reactor

<b>Tiempos operativos y no operativos [h]</b>	
Carga	1
Reacción	8
Descarga	1
Limpieza	0,5
<i>Tiempo total del batch</i>	10,5 h

Por consiguiente, para obtener el volumen de cada lote se emplea la ecuación 8-20.

$$V_L = \frac{Q_V}{N_R} \times T_T$$

Ecuación 8-20

Donde:

$Q_V$ : Caudal volumétrico que ingresa al reactor [m<sup>3</sup>/h]

$N_L$ : Número de reactores

$T_T$ : Duración total de un lote [h]

Los resultados se exponen en la tabla 8-10.

Tabla 8-10. Resultados del cálculo del volumen del lote

Volumen del lote y cantidad de reactores necesarios	
Número de reactores necesarios	3
Volumen del lote [m <sup>3</sup> ]	3,28

### 8.5.3. Cálculo de las dimensiones del reactor y sistema de agitación

#### *Dimensiones del reactor*

Según McCABE, 1991 la relación de la altura al diámetro (H/D) es un factor de gran importancia para lograr un óptimo diseño del equipo. La mayoría de los reactores discontinuos a escala industrial, se dimensionan a partir de valores comprendidos entre 1 y 2, con lo cual se opta por una relación de esbeltez de 1,5. En la figura 8-4 se esquematizan algunas de las dimensiones a calcular.

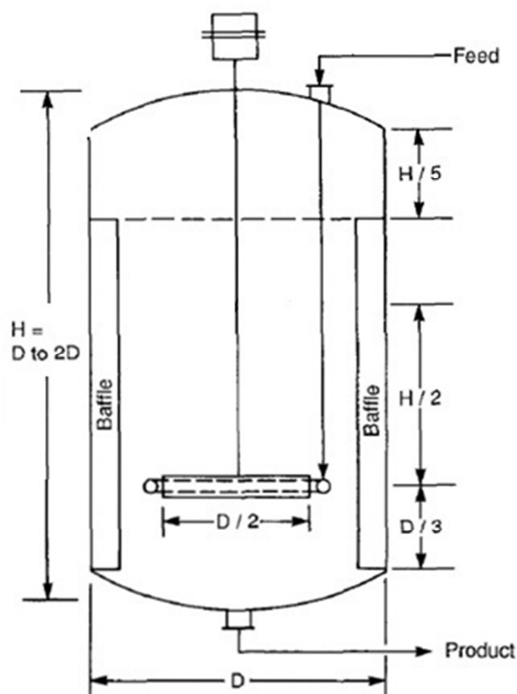


Figura 8-4. Esquema ilustrativo de un reactor batch con agitación

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

Para la determinación del tamaño de cada reactor, se emplea la ecuación 8-21, donde se considera el volumen a tratar por lote y se adiciona un 30% más como factor de seguridad.

$$V_T = V_L + 0,3V_L$$

Ecuación 8-21

Donde:

$V_L$ : Volumen del lote [ $m^3$ ]

$V_T$ : Volumen del tanque [ $m^3/h$ ]

La relación de esbeltez (altura/diámetro del tanque) adoptada es:

$$\frac{H}{T} = 1,5$$

Ecuación 8-22

Reemplazando este valor de H en la ecuación de diseño del volumen de un cilindro, teniendo en cuenta que el radio es la mitad del diámetro, se obtiene:

$$V_T = 0,375 \pi \cdot D_T^3$$

Ecuación 8-23

Realizando operaciones matemáticas se obtienen las dimensiones para el diseño que se detallan en la tabla 8-11.

Tabla 8-11. Resultados del cálculo de las dimensiones elementales del reactor

Dimensiones elementales del reactor	
$V_T$ [ $m^3$ ]	5
$H_T$ [m]	2,43
$D_T$ [m]	1,62



### *Selección del agitador*

El sistema de agitación seleccionado para el reactor tipo batch, consta de un agitador de turbina de seis aspas inclinadas, concéntrico al eje del reactor. La viscosidad del fluido es uno de los factores que influyen en la selección del tipo de agitador, por lo que la elección de este dispositivo, se justifica por el valor de la viscosidad (0,9632 cP) de la suspensión a tratar y por la presencia de partículas sólidas. (McCABE, 1991)

Si el agitador va montado verticalmente en el centro del tanque, casi siempre se desarrolla una trayectoria de flujo tipo remolino; esto suele ser indeseable debido a que se atrapa aire, se desarrolla un vórtice considerable y ocurren otros efectos perjudiciales. Para lograr una agitación vigorosa con agitadores verticales, se acostumbra el empleo de deflectores para reducir el tamaño del remolino y obtener así un buen mezclado. En este caso, basta con cuatro deflectores, que tengan una anchura cerca de 1/12 del diámetro del tanque.

La mayor parte de los agitadores de turbina se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales y el diámetro del rodete es del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque. Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. Con la turbina de hojas inclinadas con aspas a 45° que se muestra en la figura 8-5, se imparte cierto flujo axial, de modo que hay una combinación de flujos radial y axial; este tipo de agitador es útil para sólidos en suspensión, ya que las corrientes fluyen hacia abajo y luego levantan los sólidos depositados. (GEANKOPLIS, 1998)

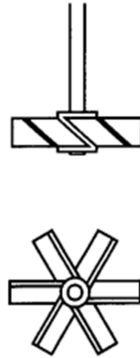


Figura 8-5. Esquema de un agitador turbina de seis aspas inclinadas (45°)

En la figura 8-6 se esquematizan con fines ilustrativos, las dimensiones del sistema de agitación y el tanque del reactor.

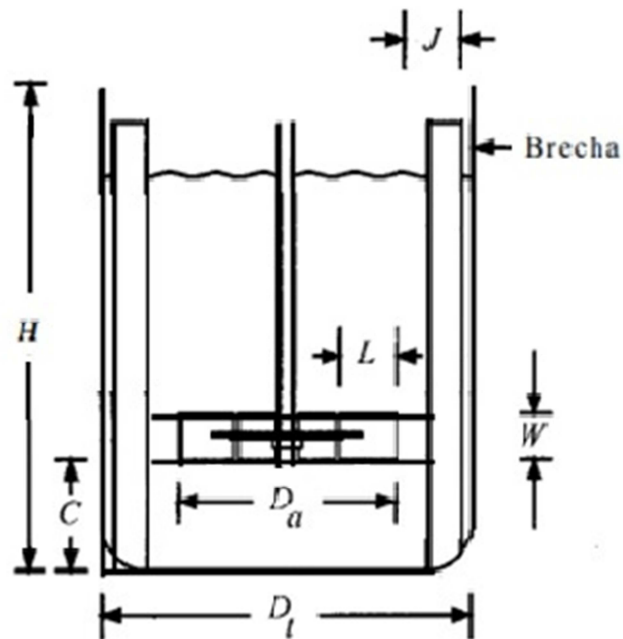


Figura 8-6. Dimensiones del sistema de agitación del reactor. FUENTE: GEANKOPLIS, 1998

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

### Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 8-12. Proporciones geométricas para el sistema de agitación seleccionado

Factores de forma	
$\frac{D_a}{D_T} = 0,3$ Ecuación 8-24	$\frac{V_{Op}}{V_T} = 0,65$ Ecuación 8-27
$\frac{W}{D_a} = 1/8$ Ecuación 8-25	$\frac{J}{D_T} = 1/12$ Ecuación 8-28
$\frac{L}{D_a} = 1/4$ Ecuación 8-26	$\frac{C}{D_T} = 1/3$ Ecuación 8-29

El claro o brecha entre los deflectores y la pared suele ser de 0,10 a 0,15 J para asegurar que el líquido no forme bolsas estancadas cerca de esa zona.

El agitador seleccionado es de acero inoxidable AISI 316.

Los valores obtenidos se detallan en la tabla 8-13.

Tabla 8-13. Dimensiones calculadas del recipiente del reactor y el agitador

Dimensiones calculadas del reactor y el agitador	
Volumen de operación por lote [m <sup>3</sup> ]	3,28
Volumen del tanque (V <sub>T</sub> ) [m <sup>3</sup> ]	5,0
Diámetro del tanque (D <sub>T</sub> ) [m]	1,62
Altura del tanque (H <sub>T</sub> ) [m]	2,43
Altura del líquido (H <sub>L</sub> ) [m]	1,59
Diámetro del rodete (D <sub>a</sub> ) [m]	0,49
Número de aspas del agitador	6,0
Inclinación de las aspas	45°
Ancho de aspas (W) [m]	0,06
Largo de aspas (L) [m]	0,12
Número de deflectores	4,0
Ancho de deflectores (J) [m]	0,14
Distancia de las aspas y al fondo (C) [m]	0,54

#### **8.5.4. Selección del material de construcción de los reactores**

El material empleado para la construcción de los reactores es el poliéster reforzado con fibra de vidrio, propuesto por la bibliografía.

El poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), es un material compuesto, formado por una matriz de plástico o resina reforzada con fibras de vidrio. Se utiliza por su alta resistencia mecánica, poco peso, propiedades de resistencia a la corrosión y a la temperatura, superficie interna lisa, facilidad para crear formas complejas, facilidad de reparación y rentabilidad.

Es un material ligero y resistente, rígido, con buen comportamiento frente a la corrosión y al desgaste, buen aislante térmico, acústico y eléctrico. La resistencia a tracción del material puede oscilar desde los 500 kg/cm<sup>2</sup> hasta 10.000 kg/cm<sup>2</sup>, y puede soportar temperaturas entre 125°C a 300°C. La combinación de elevada resistencia química junto con su excelente resistencia mecánica convierte al PRFV en una alternativa válida y muy utilizada en diversas industrias.

#### **8.5.5. Determinación del espesor y diámetro exterior**

El cálculo del espesor del reactor está basado en la norma ASTM D3299 “Standard Specification for Filament-Wound Glass-Fiber-Reinforced Thermoset Resin Corrosion-Resistant Tanks”, revisión 2010.

El espesor en este tipo de recipientes se logra intercalando capas de fibra de vidrio y resina hasta lograr el grosor calculado previamente. Cuando se requiere de una resistencia química especialmente alta, se utilizan resinas que presenten características antiácidas; en la construcción se coloca una primera capa (1 a 2 mm) con este tipo de resina y luego, se continúa la construcción con resina de menor precio, logrando así la resistencia mecánica que en definitiva es otorgada por el tipo y cantidad de fibra. Cuando se utiliza esta primera capa de resina antiácida, se dice que el tanque posee una “barrera química”, la cual es pobre en fibra y muy rica en resina, y es la que estará del lado interior del tanque.

La ecuación utilizada para el cálculo del espesor es la siguiente:

$$e = \frac{0,036 \cdot \rho \cdot D_T \cdot H}{2 \cdot E_f \cdot Z} + e_{bq}$$

Ecuación 8-30

Tabla 8-14. Cálculo del espesor mínimo del recipiente del reactor

Parámetros para el cálculo del espesor mínimo del reactor	
Densidad [kg/dm <sup>3</sup> ]	1,24098
Diámetro interno (D <sub>T</sub> ) [mm]	1620
Altura del contenido en el tanque (H) [mm]	1590
Esfuerzo permisible del material (E <sub>t</sub> ) [kPa]	882598,5
Deformación admisible (Z)	0,01
Espesor de la barrera química [mm]	2
<b>Espesor mínimo calculado (e) [mm]</b>	<b>8,5</b>

El diámetro exterior del equipo se calcula aplicando la ecuación 8-31:

$$D_{Ext} = D_{Int} + (2e) = 1,64 \text{ m}$$

Ecuación 8-31

### 8.5.6. Determinación de las dimensiones de la tapa y el fondo

El reactor consiste en un tanque cilíndrico vertical con tapa y fondo toriesféricos. Para recipientes a presión en un rango de 1,05 a 14,05 kg/cm<sup>2</sup> se utilizan por lo general tapas y fondos de este tipo, lo que facilita además la limpieza y descarga del producto. La presión de operación en este equipo es la atmosférica, es decir 10323 kg/m<sup>2</sup>, por lo que para determinar la presión de diseño del mismo se aplica la siguiente ecuación basada el código ASME.

$$P_D = P_{OP} + 20000 \frac{kg}{m^2}$$

Ecuación 8-32

En la figura 8-7 se observa el modelo empleado para el diseño.

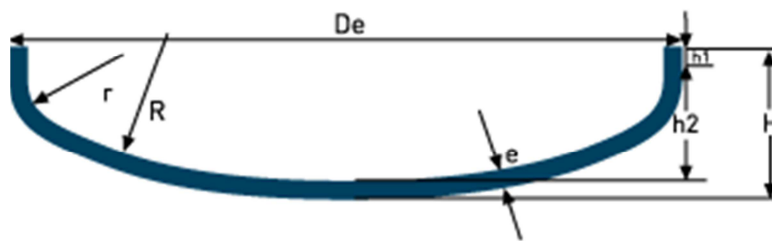


Figura 8-7. Modelo de tapa y fondo del reactor

En la tabla 8-15 se presentan las ecuaciones empeladas para el diseño, según las normas DIN-28013, y en tabla 8-16 se presentan los resultados de los cálculos.

Tabla 8-15. Ecuaciones para el diseño de tapas y fondos del reactor

<b>Ecuaciones de diseño de tapas y fondos</b>	
$R = D_{Ext}$ Ecuación 8-33	$r = R/10$ Ecuación 8-36
$h_1 = 3,5e$ Ecuación 8-34	$h_2 = 0,1935D_{Ext} - 0,455e$ Ecuación 8-37
$H = h_1 + h_2 + e$ Ecuación 8-35	$V_{tf} = 0,1(D_{Int})^3$ Ecuación 8-38

Tabla 8-16. Datos calculados para el diseño de tapas y fondos

<b>Datos calculados para tapas y fondos</b>	
Presión de diseño ( $P_D$ ) [kg/cm <sup>2</sup> ]	3,03
Radio esférico interior (R) [m]	1,64
Radio rebordeo interior (r) [m]	0,16
Altura ( $h_1$ ) [m]	0,03
Altura ( $h_2$ ) [m]	0,31
Altura total tapa/fondo (H) [m]	0,35
Espesor (e) [mm]	8,5
Volumen tapa/fondo ( $V_{tf}$ ) [m <sup>3</sup> ]	0,42

### 8.5.7. Cálculo de la potencia de agitación

Un factor trascendental en el diseño de un recipiente de agitación es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar este parámetro. La potencia del agitador depende de ciertas variables como:

- ✓ Dimensiones principales del tanque, rodete y dimensiones de las paletas
- ✓ Propiedades físicas del fluido
- ✓ RPM del agitador

En la bibliografía Chemical Engineering Links, se detalla el rango de valores de velocidad de agitadores típicos, teniendo en cuenta las propiedades del fluido. Dicho rango para una turbina de seis aspas inclinadas, es de 2-6 m/s y se selecciona el mínimo debido a los

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

### Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

valores reducidos de viscosidad. Teniendo en cuenta el radio del rodete del agitador se convierte la velocidad a revoluciones por minuto, mediante la ecuación 8-39.

$$N = \frac{v_a}{r_a} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

Ecuación 8-39

Donde:

$v_a$ : Velocidad de agitación [2 m/s]

$r_a$ : Radio del agitador [0,245 m]

La velocidad de giro calculada es de 78 rpm, con lo cual se determina que fue correcta la selección del agitador de turbina antes descrito.

La presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de Reynolds del impulsor define como:

$$N'_{Re} = \frac{D_a \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

Ecuación 8-40

Donde  $D_a$ , es el diámetro del impulsor (agitador) en m,  $N$  la velocidad de rotación en rev/s,  $\rho$  la densidad del fluido en  $\text{kg/m}^3$  y  $\mu$  la viscosidad en  $\text{kg/m.s}$ . El flujo es laminar en el recipiente cuando  $N'_{Re} < 10$  y turbulento cuando  $N'_{Re} > 10000$ .

Para el cálculo de potencia propiamente dicho se sigue el método propuesto por GEANKOPLIS (1998). El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido, su viscosidad, la velocidad de rotación y el diámetro del impulsor, por medio de gráficas de número de potencia  $N_p$  en función de  $N'_{Re}$ . El número de potencia se define como:

$$N_p = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5}$$

Ecuación 8-41

Mediante el uso de la figura 3.4-4 del libro antes citado, se obtienen los resultados detallados en la tabla 8-17.

Tabla 8-17. Cálculo de la potencia del agitador

<b>Parámetros para la potencia del agitador</b>	
Número de Reynolds (NRe)	418100
Número de Potencia (NP)	1,5
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1240,98
Diámetro del rodete [m]	0,49
Velocidad del agitador [rev/s]	1,3
<b>Potencia calculada [hp]</b>	<b>0,2</b>

### 8.5.8. Adopción del motor eléctrico y caja reductora

En la tabla 8-18 se resumen las características del motor y la caja reductora adoptados.

Tabla 8-18 Características del motorreductor adoptado

<b>Datos del motor</b>	
Fabricante	Transpower S.R.L.
Modelo	NMTR
Potencia del motor [hp]	0,5
Eficiencia	80%
Cuerpo	71
Brida – Eje	B5 160-14
<b>Datos de la caja reductora</b>	
Velocidad en el eje de salida [rev/min]	93
Tamaño	0,40
Potencia nominal [hp]	0,65
Momento torsor máximo de salida para el motor	3,16



### 8.5.9. Cálculo del aislante térmico

El aislamiento térmico es un método que consiste en recubrir una superficie con materiales aislantes con la finalidad de proporcionar resistencia al flujo de calor y reducir la transferencia del mismo al exterior.

En el capítulo 7, se obtiene del balance energético del reactor una pérdida de energía a través la superficie; con el fin de establecer las condiciones adiabáticas requeridas, es fundamental en el diseño aislar el equipo térmicamente mediante la selección de un material idóneo. Para ello y por cuestiones netamente económicas, se utiliza lana de fibra de vidrio.

Entre las funciones de un sistema de aislamiento, se encuentran las siguientes:

- ✓ Aumentar la eficiencia del sistema.
- ✓ Protección personal, de equipos y estructuras.
- ✓ Mantener y controlar la temperatura de procesos.
- ✓ Protección contra incendios.
- ✓ Reducción del ruido y la vibración.
- ✓ Disminuye las alteraciones al medio ambiente.
- ✓ Alta conveniencia económica.
- ✓ Durabilidad y confiabilidad.

Los materiales aislantes se caracterizan por presentar una baja conductividad térmica, debido a que son materiales que contienen cámaras llenas de gas, y por ende no favorecen la transferencia calor. El espesor del aislante dependerá del tipo de aislamiento requerido, las propiedades de los materiales que se estén empleando, la temperatura de proceso y las dimensiones del equipo a aislar.

Como se menciona anteriormente, se selecciona la lana de fibra de vidrio. Este aislante se forma a partir de vidrio fundido con materiales inorgánicos que se aglutinan con resinas orgánicas; es muy versátil debido a su gran eficiencia térmica, estabilidad dimensional, facilidad de montaje, elevada resistencia a ambientes corrosivos, gran absorción acústica y livianos (baja densidad). Su rango de servicio térmico es entre -40 y 540°C.

La lana de vidrio es 100% reciclable, no contamina y es un producto inerte tanto para la naturaleza, como para el ser humano. Es un producto atóxico, no cancerígeno y no es perjudicial para la salud. Una de sus ventajas más relevantes, que la diferencia de otros productos aislantes, es que es incombustible, no es inflamable, no genera humo ni gases nocivos y resiste altas temperaturas.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Además, presenta una muy baja conductividad térmica y es hidrorrepelente, por lo que no es afectado por el contacto con el agua y la humedad.

El espesor del aislante térmico se calcula mediante la ecuación propuesta por KERN, 1999.

$$Q = \frac{\pi \cdot (T_s - T_a)}{\frac{2,3}{2 k_c} \cdot \log \frac{D_1}{D_s} + \frac{1}{h_a \cdot D_1}}$$

Ecuación 8-42

En la tabla 8-19 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8-19. Cálculo del aislante y resultados

<b>Parámetros para el cálculo del espesor del aislante térmico</b>	
Pérdida de calor calculada en el balance [kcal/h]	908,08
Área lateral del reactor [m <sup>2</sup> ]	3,74
Altura del reactor [m]	2,43
Pérdida de calor por metro de superficie (Q) [kcal/h.m]	589,9
Temperatura en el interior (Ts) [K]	410
Temperatura ambiente (Ta) [K]	298
Coeficiente de conductividad térmica (k <sub>c</sub> ) [kcal/h.m.K]	0,033
Diámetro exterior (con aislante) (D1) [m]	1,67
Diámetro exterior (Ds) [m]	1,64
Coeficiente superficial de transferencia de calor (h <sub>a</sub> ) [kcal/h.m <sup>2</sup> .K]	2,1
<b>Espesor del aislante [m]</b>	<b>0,03</b>

### 8.6. Diseño del intercambiador de calor I-01

Los equipos de transferencia de calor se definen por las funciones que desempeñan en un proceso, puntualmente, los intercambiadores recuperan calor entre dos corrientes. Se los conoce como enfriadores cuando se emplean para enfriar fluidos, siendo el agua es el medio enfriador principal. El calor en estos casos se transmite por convección y conducción.

La corriente líquida de PAC que sale del reactor debe enfriarse para poder ingresar a la siguiente etapa del proceso. Esto se lleva a cabo mediante un intercambiador de calor de tubo y coraza.

En la figura 8-8 se esquematiza el cambio de temperatura de las corrientes involucradas en la transferencia, tanto en los tubos como en la coraza.

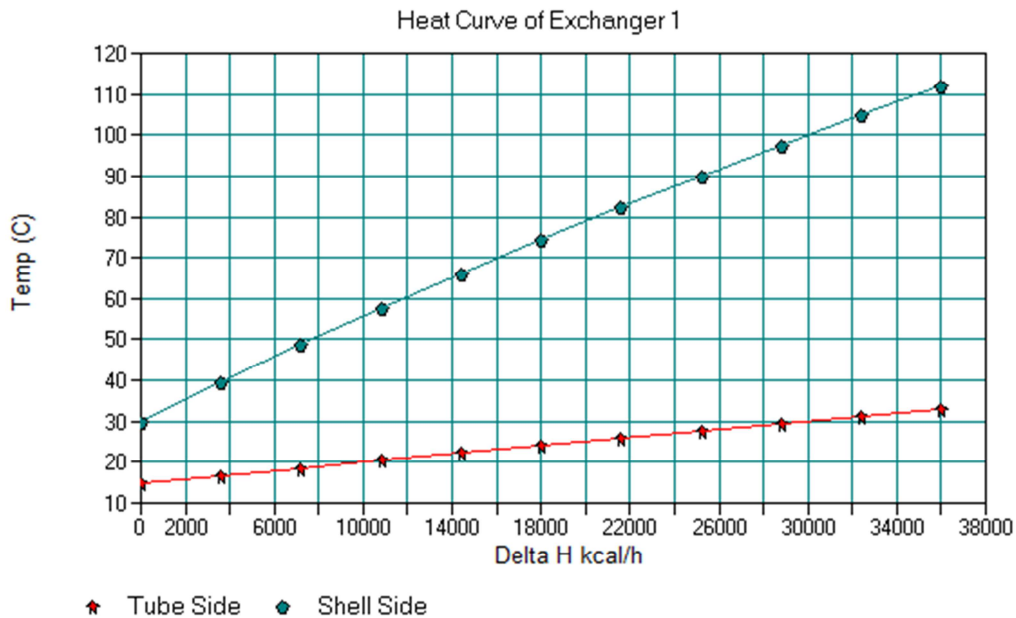


Figura 8-8. Variación de temperatura dentro de los tubos y de la coraza. FUENTE: CHEMCAD 6.1

Las características de las corrientes y dimensiones del equipo se detallan en la tabla 8-20; cabe destacar que el equipo tiene 1 paso por coraza y 4 pasos por los tubos, esto puede deberse a que la conductividad térmica de la corriente a enfriarse es muy pequeña en relación con la del agua.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 8-20. Cálculo de las dimensiones del intercambiador de calor

<b>I-01 Intercambiador de calor</b>		
Tipo de intercambiador		Tubo y coraza
Fabricante		Servinox Ingeniería S.A
Material de construcción		AISI 304
Objetivo		Enfriamiento
Flujo		Contracorriente
Disposición	Tubo	Agua de enfriamiento
	Coraza	Policloruro de aluminio
Régimen de trabajo		Continuo
Presión de trabajo [atm]		1
$\Delta T_{m, \text{corregido}}$ [°F]		69,84
<i>Propiedades fluido dinámicas de las corrientes</i>		
Velocidad de masa [lb/hpie <sup>2</sup> ]	Coraza	$7,313 \times 10^4$
	Tubo	$3,054 \times 10^5$
Numero de Reynolds	Coraza	$7,089 \times 10^3$
	Tubo	$9,44 \times 10^3$
Coeficiente de transferencia de calor (Uc)		65
Coeficiente de transferencia de calor (Ud)		48
Caída de presión [lb/in <sup>2</sup> ]	Coraza	0,1
	Tubo	0,5
<i>Detalles mecánicos para la construcción</i>		
Diámetro de la coraza [in]		8
Pasos de la coraza		1
Espaciado de los deflectores [in]		2
Diámetro externo de los tubos [in]		1
Numero de tubos		14
Largo de los tubos [pie]		12
Paso de los tubos		4
Arreglo		Cuadrado de 1¼ in
Factor de obstrucción (Rd)		$5,47 \times 10^{-3}$

### 8.7. Diseño de condensador-subenfriador del agua I-02

Los condensadores son equipos de transferencia de calor (enfriadores) cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible.

Cuando un vapor saturado entra en contacto con una superficie fría tal como un tubo, se condensa y puede formar gotas en la superficie del mismo, las cuales pueden no exhibir ninguna afinidad por la superficie y en lugar de cubrir el tubo se desprenden de él, dejando metal descubierto en el cual se puede formar sucesivas gotas de condensado. Si el fenómeno ocurre por este mecanismo se denomina condensación en forma de gota.

Estos equipos de transferencia pueden ser horizontales o verticales. Los condensadores verticales son excelentes para usarse como condensadores-subenfriadores, ya que es posible dividirlo en dos zonas distintas que operen en serie, la superior para condensación y la inferior para subenfriar (zonas bien definidas).

Cabe aclarar que este equipo debe ser de acero inoxidable tipo 316, un acero inoxidable de cromo níquel austenítico que contiene molibdeno. Esta adición aumenta la resistencia a la corrosión general, mejora la resistencia a picaduras de soluciones de iones de cloruro y proporciona mayor resistencia a temperaturas elevadas. Las propiedades son similares a las del tipo 304, excepto que esta aleación es un poco más sólida a temperaturas elevadas. La resistencia a la corrosión es mejor, particularmente contra ácidos sulfúrico, clorhídrico, acético, fórmico y tartárico, sulfatos ácidos y cloruros alcalinos.

Es un material que permite un fácil mantenimiento, versátil y asegura la calidad. Presenta buenas características mecánicas, no es magnético y tiene alta soldabilidad.

La corriente gaseosa que se desprende del reactor es tratada en un condensador-subenfriador vertical con el fin de recuperar ácido clorhídrico al 11%, recircularlo al reactor para completar la reacción y así optimizar el proceso global. Se especifica el tipo de material del equipo, acero inoxidable 316, debido a que es apto para resistir los efectos corrosivos de los ácidos.

En la tabla 8-21 se detallan los resultados obtenidos para el diseño del equipo.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 8-21. Cálculo de las dimensiones del condensador - subenfriador

<b>I-02 Condensador – subenfriador</b>		
Tipo de intercambiador		Tubo y coraza
Fabricante		Servinox Ingeniería S.A
Material de construcción		AISI 316
Objetivo		Condensación - Enfriamiento
Flujo		Contracorriente
Disposición	Tubo	Agua de enfriamiento
	Coraza	Gases de salida del reactor
Régimen de trabajo		Continuo
Presión de trabajo [atm]		1
$\Delta T_{mL}$ balanceada [°F]		151,89
<i>Propiedades fluido dinámicas de las corrientes</i>		
Tubos		
Velocidad de masa [lb/hpie <sup>2</sup> ]		2,34x10 <sup>5</sup>
Numero de Reynolds		6,41x10 <sup>3</sup>
Coraza		
<i>Condensación</i>		
Velocidad de masa [lb/hpie <sup>2</sup> ]		113
Coeficiente total limpio (U <sub>cc</sub> )		132,71
Área limpia para condensación [pie <sup>2</sup> ]		41,22
<i>Subenfriamiento</i>		
Velocidad de masa [lb/hpie <sup>2</sup> ]		3,38x10 <sup>4</sup>
Numero de Reynolds		2,72x10 <sup>3</sup>
Coeficiente total limpio (U <sub>cs</sub> )		84,38
Área limpia para subenfriamiento [pie <sup>2</sup> ]		12,51
<i>Datos finales</i>		
Área limpia [pie <sup>2</sup> ]		55,73
Coeficiente total limpio (UC)		121,86
Coeficiente total sucio (UD)		67,55
Factor de obstrucción (R <sub>d</sub> )		6,59x10 <sup>-3</sup>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<i>Datos mecánicos para la construcción</i>	
Diámetro de la coraza [in]	10
Paso de la coraza	1
Espaciado de los deflectores [in]	2
Longitud de los tubos [pie]	12
Diámetro externo de los tubos [in]	1
Arreglo	Cuadrado de 1 ¼ in
Paso de los tubos	2

### 8.8. Adopción del filtro prensa de placas y marcos F-01

Para tratar la corriente de policloruro de aluminio que sale del reactor, se requiere de un equipo de filtración adecuado, con el fin de eliminar los restos de metal que no reaccionaron con el ácido así como cualquier impureza presente en la mezcla. El filtro seleccionado para el proceso es un filtro prensa de placas y marcos, debido a que el mismo cumple con las condiciones requeridas y además cuenta con una elevada eficiencia en su accionar.

Este tipo de filtro contiene placas diseñadas para formar una serie de cámaras o compartimientos, en los cuales pueden recogerse los sólidos; las placas están recubiertas con un medio filtrante determinado. La suspensión ingresa a presión en cada compartimiento, el líquido pasa a través del medio y sale por un tubo de descarga, dejando atrás una torta de sólidos cristalinos. Se emplean por lo general, placas cuadradas de 15 a 140 cm con un espesor de 0,6 a 5 cm, alternadas con marcos abiertos de 0,6 a 12 cm. Las placas y marcos están colocados verticalmente en un canal metálico, estando cubiertas las caras de las placas con las telas filtrantes muy apretadas entre sí por medio de un tornillo o una prensa hidráulica. Una vez montado el filtro prensa, la suspensión se introduce mediante una bomba; se continúa la filtración hasta que no salga líquido por la descarga o hasta que la presión de filtración se eleve repentinamente (esto ocurre cuando los marcos están llenos de sólidos y no puede entrar más suspensión).

En algunos filtros prensa estas operaciones junto con las de lavado y mantenimiento, se realizan automáticamente. Actualmente, estos equipos tienen un uso preferencial en muchas industrias por los altos rendimientos obtenidos.

Consideraciones para la selección del equipo:

- ✓ Es pequeño el tamaño de las partículas sólidas en suspensión que van a formar la torta.
- ✓ El flujo de fluido a través de la torta es laminar.
- ✓ La torta de metales es incompresible, ya que los sólidos a retener presentan alta dureza y son granulares; por lo tanto, las tortas formadas son muy poco afectadas por la presión.
- ✓ Queda retenida el 3% del agua en la torta de escorias.
- ✓ Tipo de filtración a presión constante. La diferencia de presión aplicada al equipo se mantiene invariable durante todo el proceso.
- ✓ El medio filtrante debe ser resistente mecánicamente y a la acción corrosiva del fluido, mostrar poca resistencia al flujo del filtrado, así como permitir que la torta se desprenda fácilmente.
- ✓ La filtración es continua hasta que el flujo de filtrado es menor que cierto límite práctico. Entonces se procede al lavado del sistema en forma automática.
- ✓ Si los sólidos de la suspensión son muy finos, forman una torta densa e impermeable y obstruyen en seguida el medio filtrante. Por consiguiente, es necesario añadir ciertos aditivos llamados coadyuvantes que aumenten la porosidad de la torta. En este caso se emplean tierra de diatomeas. Estos materiales forman lechos de porosidades muy elevadas, provocan la reducción de la resistencia específica de la torta a la vez que aumentan su grosor. Los coadyuvantes se suelen emplear cuando el filtrado es valioso y el residuo puede desecharse. Otra posible utilización de éstos es como precapa, depositando una pequeña cantidad del coadyuvante sobre el medio filtrante antes de comenzar la filtración.

Se adopta un filtro prensa de placas verticales MCRO producidos por METPOR S.A. El equipo consta de un tanque horizontal construido en diversos materiales, según la necesidad y por placas filtrantes verticales. Las placas pueden proveerse en acero al carbono, acero inoxidable y polipropileno según la aplicación; están recubiertas con mallas filtrantes, telas sintéticas o naturales.

Su robustez, sencillez de operación, bajo costo operativo, y la posibilidad de automatización total hacen de estos equipos un arma indispensable en plantas de última generación.



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 8-22 se detallan los resultados obtenidos para el diseño del filtro.

Tabla 8-22. Cálculo de las dimensiones del filtro prensa de placas y marcos

<b>F-01 Filtro prensa de placas y marcos</b>	
Fabricante	MetPor S.A
Descripción del equipo	Filtro Sparkler de placas MCRO
Material de construcción	AISI 304
Material del medio filtrante	Polipropileno
<i>Datos</i>	
Caudal másico [kg/h]	5897,36
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	4,1952
Densidad [kg/ m <sup>3</sup> ]	1405,73
Viscosidad [kg/m.s]	0,015
Diámetro de las partículas [mm]	3
<i>Dimensiones</i>	
Longitud del equipo [m]	2,70
Ancho del equipo [m]	0,8
Altura del equipo [m]	0,9
Área de filtrado [m <sup>2</sup> ]	7
Tamaño de las placas [cm]	50 x 50
Espesor de la torta [cm]	3
Cantidad de placas	19
Cantidad de marcos	20
Presión de filtración [kg/cm <sup>2</sup> ]	5
Volumen de la cámara de filtración [m <sup>3</sup> ]	4,97

Características del equipo:

- ✓ Apertura hidráulica del tanque.
- ✓ Operación simple y totalmente automatizada.
- ✓ Las características de diseño de sus placas filtrantes aseguran una alta capacidad de flujo con una menor caída de presión.

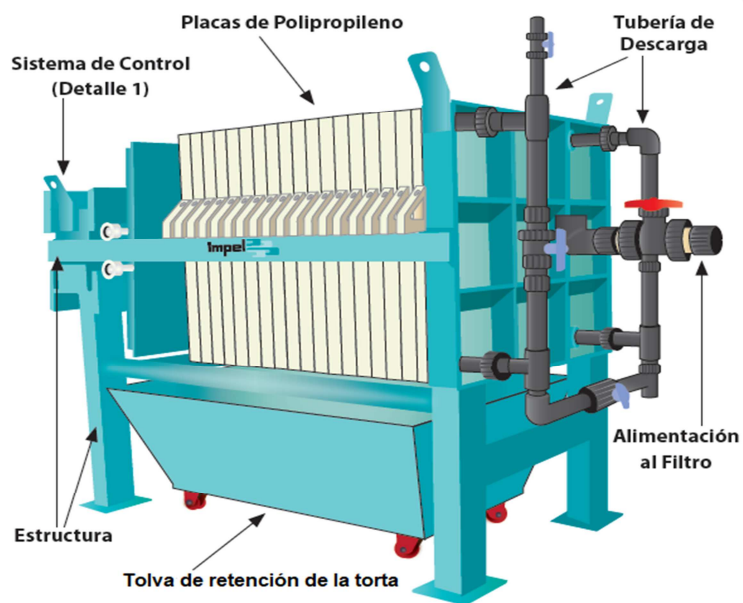


Figura 8-9. Representación esquemática de un filtro prensa



Figura 8-10. Equipo representativo de un filtro prensa automático

### 8.9. Diseño de tanque de almacenamiento del policloruro de aluminio A-06

Una vez finalizada la operación de filtrado, el producto terminado se almacena para su posterior transporte hacia el destino final. Se acumula la producción de 3 días y se transporta a granel a los diferentes puntos del país. En la tabla 8-23 se detallan los resultados obtenidos para el diseño del tanque.

Tabla 8-23. Cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento de PAC 18

<b>A-06 Tanque de almacenamiento del policloruro de aluminio</b>	
Fabricante	Mayper
Material de construcción	PRFV
<i>Datos</i>	
Masa [kg]	24110
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1336,4
Volumen [m <sup>3</sup> ]	18,04
Relación de esbeltez	1
<i>Dimensiones calculadas</i>	
Volumen del cilindro [m <sup>3</sup> ]	18,75
Diámetro del cilindro [m]	2,88
Altura del cilindro [m]	2,88
Radio del cilindro [m]	1,44
Volumen de cada extremo [m <sup>3</sup> ]	3,125
Altura de cada extremo [m]	0,72
Altura del tanque [m]	4,32
Volumen del tanque [m <sup>3</sup> ]	40

El cálculo del volumen del tanque de almacenamiento arroja un valor de 39,09 m<sup>3</sup> de manera tal que se adopta uno de 40 m<sup>3</sup>.

**8.10. Equipos adicionales**

En esta sección se describen equipos que, si bien no forman rigurosamente parte del diagrama de flujo, son requeridos para el desarrollo de algunas de las etapas anteriormente descritas. En la tabla 8-24 se detallan los equipos que se consideran en este apartado.

Tabla 8-24. Descripción de equipos adicionales

<b>Código del equipo</b>	<b>Especificación</b>
A-01	Tolva de almacenamiento de las medias esferas de aluminio
A-02	Tanque regulador para almacenamiento de agua
A-03	Tanque regulador para almacenamiento de ácido clorhídrico al 37%
A-04	Tanque regulador para almacenamiento de ácido clorhídrico al 11%
A-05	Tolva de almacenamiento de aluminio molido
A-06	Tanque de almacenamiento de policloruro de aluminio
A-07	Transportador de sólidos tipo tornillo helicoidal
A-08A/B	Transporte neumático
A-09	Ventilador centrífugo
A-10A/B/C	Compresor de aire
A-11A/B	Enfriadores de agua
A-12A/B/C	Tanques de limpieza CIP
A-13	Tanque de reposición de agua

*Consideraciones:*

- ✓ Las tolvas A-01 y A-05, y los tanques A-02, A-03 y A-04 se trataron en la sección 8-2 de recepción y almacenamiento de materias primas.
- ✓ El tanque A-06 se describió en la sección anterior.
- ✓ El compresor de aire, los enfriadores de agua, los tanques de limpieza CIP, el tanque de reposición de agua y las bombas para servicios auxiliares se detallan en el capítulo 9.
- ✓ Las bombas para el transporte de fluidos se consideran en una sección aparte.

### 8.10.1. Adopción del transportador de sólidos tipo tornillo helicoidal A-07

El transportador de tornillo helicoidal, sinfín o de gusano consiste en un sistema de aspas helicoidales o seccionales montadas en una tubería o un eje y que giran en una artesa. La potencia de transporte debe transmitirse a través del eje o la tubería y se ve limitada por el tamaño permisible de sus piezas.

Es un sistema de manipulación y transporte de material extremadamente versátil, que puede ser empleado, además de como equipo de trasiego de material, como dispositivo dosificador. Entre las ventajas del uso de transportadores de tornillo sin fin están, entre otras:

- ✓ Es un sistema de bajo costo.
- ✓ Posibilidad de hacer fácilmente hermético el sistema, lo que evita la generación de polvos y posibles exhalaciones molestas.
- ✓ Posibilidad de colocar bocas de carga y descarga en diferentes puntos.

Para el manejo de materiales y productos normales, la hélice de un transportador de tornillo está normalmente fabricada en chapa de acero al carbono de 3 a 4 mm de espesor. Su diámetro suele ser inferior en unos 2 cm al de la carcasa, ya que no deberá rozar las paredes de la misma cuando el eje del tornillo gire.

En la figura esquemática 8-11 adjunta se puede observar, además de la hélice y eje, los principales componentes que constituyen un transportador de tornillo sin fin.

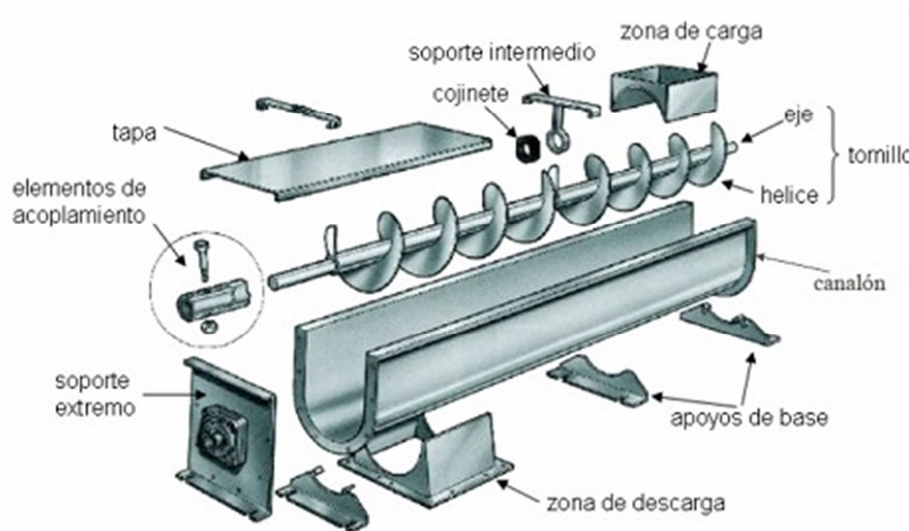


Figura 8-11. Esquema de los componentes de un tornillo sin fin

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Para el accionamiento de giro del eje del tornillo es necesaria la instalación de un grupo motriz, normalmente de accionamiento eléctrico.

Con el fin de obtener los datos que se precisan para hacer una selección y una solicitud de oferta, se emplea la norma UNE 58-244-88 “Aparatos de manutención continua para graneles. Transportadores de tornillo sinfín. Reglas para el diseño de los accionamientos”. Este equipo tiene el fin de transportar las medias esferas de aluminio desde donde están almacenadas hasta el molino de martillos. En la tabla 8-25 se detallan los resultados obtenidos para la adopción del equipo.

Tabla 8-25. Datos para la adopción del tornillo sinfín

<b>A-07 Transportador de sólidos tipo tornillo helicoidal</b>	
Fabricante	Hidrometálica
Material de construcción	Acero AISI 304
Modelo	TRSF-400
<i>Datos</i>	
Material a transportar	Medias esferas de aluminio
Densidad del material [kg/m <sup>3</sup> ]	2713
Caudal a transportar [t/h]	2,34
Área aproximada que ocupa el material [%]	45
Tamaño máximo de sólidos [cm]	4
Coefficiente de resistencia del desplazamiento	0,4
<i>Datos calculados</i>	
Longitud del transportador [m]	5
Elevación [m]	1,61
Ángulo de inclinación [°]	20
Diámetro del tornillo [m]	0,36
Paso de la hélice [m]	0,30
Potencia del tornillo [kW]	0,12
Potencia adoptada [kW]	0,5

### 8.10.2. Adopción de los sistemas de transporte neumático A-08

Una de las técnicas más importantes de manejo de materiales en la industria química es el desplazamiento de sólidos suspendidos en una corriente de aire, sobre distancias horizontales y verticales. La capacidad del sistema neumático depende de:

- ✓ La densidad de masa del producto.
- ✓ El contenido de energía del aire de transporte a lo largo de todo el sistema.
- ✓ El diámetro de la línea de transporte.
- ✓ La longitud equivalente de la línea de transporte.

Se logra una capacidad mínima cuando la energía del aire de transporte es apenas suficiente para hacer que el producto se desplace a lo largo de la línea sin detenerse. Para evitar retenciones es conveniente proporcionar un incremento adicional de energía al aire, con el fin de que exista un factor de seguridad que permita cambios mínimos en las características de los productos. El diseño se realiza a partir de los nomogramas que presenta PERRY, 1973. En primera instancia se determina la longitud equivalente del sistema, la cual es la suma de la distancia vertical y horizontal, más un margen para los accesorios de tuberías que se utilizan. Este mecanismo se emplea para transportar desde la salida del molino el aluminio molido hacia la tolva de almacenamiento correspondiente. En la figura 8-12 se observa un esquema representativo de la operación.

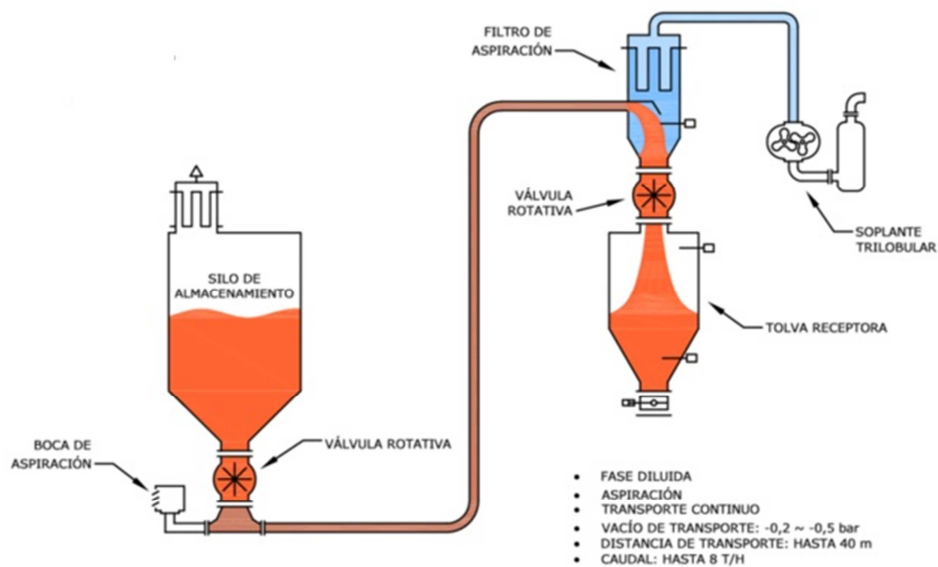


Figura 8-12. Esquema representativo del transporte neumático

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Dadas las características de los sistemas de transporte a considerar, se decide adoptar un transporte neumático en fase diluida.

En la tabla 8-26 se detallan los resultados obtenidos para la adopción del sistema de transporte neumático desde el molino (M-01) hacia la tolva de almacenamiento de aluminio molido (A-05).

Tabla 8-26. Datos para la adopción del transporte neumático (A)

<b>A-08A Transportador neumático</b>	
Fabricante	CLAFIL S.A
Objetivo	Transporte de corrientes de sólidos
<i>Datos</i>	
Material a transportar	Medias esferas de aluminio
Caudal de proceso [t/h]	2,34
Densidad del material [kg/m <sup>3</sup> ]	2713
Longitud horizontal [m]	3,5
Longitud vertical [m]	6
Longitud equivalente en accesorios [m]	44,5
<i>Resultados de los cálculos</i>	
Longitud total [m]	54
Diámetro de cañería adoptado [in]	3
Velocidad del aire requerida [m/s]	25
Volumen de aire [m <sup>3</sup> /min]	7,08
Relación de solidos	4,5
Factor de diseño	60
Pérdida de presión del sistema [lb/in <sup>2</sup> ]	4,2
Potencia requerida [hp]	6,5
Potencia adoptada [hp]	8

En la tabla 8-27 se observan los resultados obtenidos para la adopción del sistema de transporte neumático desde la tolva de almacenamiento de aluminio molido (A-05) hacia los reactores (R01A/B/C).



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 8-27. Datos para la adopción del transporte neumático (B)

<b>A-08B Transportador neumático</b>	
Fabricante	CLAFIL S.A
Objetivo	Transporte de corrientes de sólidos
<i>Datos</i>	
Material a transportar	Aluminio molido
Caudal de proceso [t/h]	6,24
Densidad del material [kg/m <sup>3</sup> ]	2713
Longitud horizontal [m]	23,48
Longitud vertical [m]	3,5
Longitud equivalente en accesorios [m]	189,5
<i>Resultados de los cálculos</i>	
Longitud total [m]	216,48
Diámetro de cañería adoptado [in]	3
Velocidad del aire requerida [m/s]	25
Volumen de aire [m <sup>3</sup> /min]	7,08
Relación de sólidos	10
Factor de diseño	60
Pérdida de presión del sistema [lb/in <sup>2</sup> ]	7
Potencia requerida [hp]	11
Potencia adoptada [hp]	12

### 8.10.3. Adopción del ventilador centrífugo A-09

Un ventilador centrífugo o extractor está compuesto por un rotor de álabes, que gira dentro de un envolvente accionado por un motor; tiene como finalidad permitir el movimiento de aire o de un fluido gaseoso. En un ventilador centrífugo la corriente gaseosa entra en la zona central del rotor y es empujada por la fuerza centrífuga a través de los álabes hacia la periferia del mismo, saliendo al envolvente que transforma parte de la presión dinámica en presión estática, y la canaliza hacia la boca de salida.

Este equipo se instala para impulsar los gases de salida del reactor hacia el condensador-subenfriador.



Figura 8-13. Ventilador centrífugo a modo ilustrativo

En la tabla 8-28 se detallan los parámetros calculados para la adopción del equipo.

Tabla 8-28. Datos para la adopción del ventilador centrífugo

<b>A-09 Ventilador centrífugo</b>	
Fabricante	Bimont
Modelo	Línea 700 ZDS
Material de construcción	Acero SAE1010. Están protegidos con pintura Epoxi poliéster (termocurado)
<i>Datos</i>	
Caudal másico [kg/h]	425,60
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	0,4216
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /min]	16
Presión de succión [atm]	1
<i>Datos calculados</i>	
Potencia requerida [hp]	0,5
Potencia adoptada [hp]	3
<i>Datos mecánicos</i>	
Rotores	Álabes inclinados hacia atrás
Potencia de motores [hp]	0,33 - 30
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /min]	11 - 460

**8.10.4. Cálculo y adopción de bombas**

El requisito básico de una bomba es que sea capaz de impulsar una cantidad determinada de un fluido específico bajo determinadas condiciones de trabajo; las magnitudes principales que intervienen al momento de la selección son su capacidad y altura de elevación. Para cada una de las conexiones entre quipos, se debe adoptar una bomba con características específicas, y diseñar el sistema de transporte de las corrientes principales del proceso. En todos los casos se trata con fluidos newtonianos y todo el sistema de bombas y tuberías de la planta está regulado mediante un controlador lógico programable (PLC). En la tabla 8-29 se detallan las bombas necesarias para el transporte de las corrientes correspondientes.

Tabla 8-29. Resumen y codificación de las bombas requeridas para el transporte

<b>Equipos B – Bombas</b>						
Código	Conexión entre equipos	Corriente	Denominación	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Temp. [°C]	Tipo de bomba
B-01	A-02 con R-01A/B/C	C	Agua	7,146	25	Centrífuga
B-02	A-03 con R-01A/B/C	D	HCl 37%	4,795	25	Centrífuga
B-03	A-04 con R-01A/B/C	L'	HCl 11%	6,000	35	Centrífuga
B-04	R-01A con I-01	MA	Policloruro de aluminio	3,6128	112	Lobular
B-05	R-01B con I-01	MB	Policloruro de aluminio	3,6128	112	Lobular
B-06	R-01C con I-01	Mc	Policloruro de aluminio	3,6128	112	Lobular
B-07	I-01 con F-01	P	Policloruro de aluminio	4,1952	30	Lobular
B-08	F-01 con A-06	R	Policloruro de aluminio	4,0248	25	Centrífuga
B-09	I-02 con A-04	L	HCl 11%	3,000	35	Centrífuga

A continuación, se presenta la secuencia de cálculo que se define para dimensionar la potencia de cada bomba; se utiliza la metodología detallada en WARRING, 1977 y OCON Y TOJO, 1986.

1. Definir la disposición y distribución de los equipos y tuberías. Considerar el diámetro y la altura de los tanques, el nivel del líquido, altura de los puntos de carga y descarga, ubicación de las bombas y accesorios como válvulas, uniones, codos, entre otros.
2. Estimar la longitud de los distintos tramos de tuberías.
3. Determinar la velocidad lineal de aspiración o succión del fluido y el diámetro óptimo de la tubería correspondiente, en función de las características hidrodinámicas y mecánicas del fluido. Las velocidades se adoptan de la tabla 8-1 de velocidad de fluidos en tuberías de MCCABE, 1991, para lo cual es necesario conocer la viscosidad del fluido o calcular de acuerdo a lo requerido para los equipos adoptados mediante un método iterativo.
4. Calcular el número de Reynolds.

$$N_{Re} = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu}$$

Ecuación 8-43

Donde  $v$  es la velocidad lineal del fluido (m/s),  $\rho$  la densidad en  $\text{kg/m}^3$ ,  $\mu$  la viscosidad en Pa.s y  $D$  el diámetro interno de la tubería (m).

5. Si el valor de  $N_{Re}$  obtenido indica un régimen turbulento, se procede a determinar mediante los diagramas de Moody de la figura 1-3 del libro "Problemas en ingeniería química Tomo I" de OCON Y TOJO, la rugosidad relativa  $e/D$ . Con este valor se obtiene  $f$ , el factor de fricción de Fanning utilizando la figura 1-4. Si el  $N_{Re}$  indica régimen laminar se emplea la siguiente ecuación.

$$f = \frac{64}{N_{Re}}$$

Ecuación 8-44

6. Determinar la pérdida de carga por fricción mediante la siguiente ecuación.

$$h_f = f \cdot \frac{(L_T)}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación 8-45

Donde  $L_T$  es la longitud total de la tubería (m) que incluye la longitud de la cañería horizontal y la longitud equivalente de los accesorios que la componen. Este valor se obtiene mediante el uso de la figura 1-2 de OCON Y TOJO.

7. Se efectúan los mismos cálculos para la descarga o impulsión de la bomba, teniendo en cuenta la nomenclatura correspondiente, para obtener la carga total por fricción.
8. La carga total que ha de vencer la bomba, es decir, el trabajo desarrollado se calcula empleando la ecuación de Bernoulli.

$$W_B = \frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g_c} + h_f$$

Ecuación 8-46

Donde  $W_B$  es el trabajo mecánico desarrollado por la bomba (kgf.m/kg),  $\Delta p$  la diferencia de presión entre los puntos de succión y descarga (kgf/m<sup>2</sup>),  $\Delta z$  la diferencia de niveles (m),  $\Delta v$  la diferencia de velocidades (m/s),  $g$  la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>) y  $g_c$  el factor de proporcionalidad de la Ley de Newton (9,8 kgf.m/kg.s<sup>2</sup>).

9. Por último, se estima la potencia mínima requerida por la bomba en CV, considerando el rendimiento mecánico del equipo.

$$P = \frac{W_B \cdot Q \cdot \rho}{\eta \cdot 75}$$

Ecuación 8-47

En las tablas 8-30 a 8-38 se detallan los datos específicos para el cálculo, los resultados obtenidos, los parámetros de selección y el correspondiente equipo adoptado.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### ✓ Bomba B-01

El fin de esta bomba es transportar el agua requerida desde el tanque A-02 hacia los tres reactores R-01A/B/C, en régimen discontinuo. En la tabla 8-30 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 8-30. Adopción de la bomba B-01

<b>Equipo B-01</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	7,146	Viscosidad [cp]	1
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	14,8	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	2,32		
Diámetro interior [mm]	35,05		
Velocidad de flujo [m/s]	2,1		
Número de Reynolds	73610	Factor de fricción (f)	0,025
Rugosidad relativa [e/d]	0,0017	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> ) [m]	2,43
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	90,95	Accesorios	7 codos 90° 1 T 4 válvulas de compuerta
Altura estática [m]	4,5		
Diámetro interior [mm]	35,05		
Velocidad de flujo [m/s]	2,1		
Número de Reynolds	73610	Factor de fricción (f)	0,025
Rugosidad relativa [e/d]	0,0017	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> )	14,59
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	19,21		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,75		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10		
Diámetro exterior [mm] y nominal	42,16 – 1 ¼ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3M 32 - 125/1.1
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	9
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90
Altura máxima de trabajo [m]	19,9
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	1,5

✓ *Bomba B-02*

El fin de esta bomba es transportar HCl 37% desde el tanque A-03 hacia los tres reactores R-01A/B/C, en régimen discontinuo. En la tabla 8-31 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 8-31. Adopción de la bomba B-02

<b>Equipo B-02</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	4,795	Viscosidad [cp]	1,806
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1182,79	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	15,12	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	2,84		
Diámetro interior [mm]	35,05		
Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	32140	Factor de fricción (f)	0,028
Rugosidad relativa [e/d]	0,0017	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	1,21
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	80,45	Accesorios	7 codos 90° 1 T 3 válvulas de compuerta
Altura estática [m]	5,5		
Diámetro interior [mm]	35,05		
Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	32140	Factor de fricción (f)	0,028
Rugosidad relativa [e/d]	0,0017	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	6,43
Parámetros obtenidos para la bomba			

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Trabajo desarrollado [m]	10,29
Eficiencia	0,7
Potencia [hp]	0,3
<b>Sistema de tuberías</b>	
Material de construcción	Acero inoxidable 316L
Diámetro exterior [mm] y nominal	42,16 – 1 ¼ in
<b>Bomba adoptada</b>	
Proveedor	Lowara
Tipo y código del equipo	Centrífuga - CEA(M) 70/5
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+85
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	5
Altura máxima de trabajo [m]	20,2
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	0,75

✓ *Bomba B-03*

El fin de esta bomba es transportar HCl 11% desde el tanque A-04 hacia los tres reactores R-01A/B/C, en régimen discontinuo. En la tabla 8-32 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 8-32. Adopción de la bomba B-03

<b>Equipo B-03</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	6,000	Viscosidad [cp]	0,8856
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1051,48	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	14,93	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	2,57		
Diámetro interior [mm]	40,89		
Velocidad de flujo [m/s]	1,2		
Número de Reynolds	58630	Factor de fricción (f)	0,024
Rugosidad relativa [e/d]	0,0014	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> ) [m]	0,64



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Lado de impulsión			
Longitud total [m]	92,95	Accesorios	7 codos 90° 2 T 4 válvulas de compuerta
Altura estática [m]	5		
Diámetro interior [mm]	40,89		
Velocidad de flujo [m/s]	1,2		
Número de Reynolds	58630	Factor de fricción (f)	0,024
Rugosidad relativa [e/d]	0,0014	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> )	4,01
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	7,08		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,24		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable 316L		
Diámetro exterior [mm] y nominal	48,26 – 1 ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Lowara		
Tipo y código del equipo	Centrífuga - CEA(M) 120/3		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316		
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+110		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	7,2		
Altura máxima de trabajo [m]	14		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [hp]	0,75		

✓ *Bomba B-04*

El fin de esta bomba es transportar el policloruro de aluminio desde R-01A hacia el intercambiador de calor I-01, en régimen continuo. En la tabla 8-33 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección. Esta bomba se sobredimensiona en un 250% para cubrir la potencia necesaria para la limpieza del sistema.

Tabla 8-33. Adopción de la bomba B-04

<b>Equipo B-04</b>
Datos del sistema para el cálculo

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	3,6128	Viscosidad [kg/m.s]	0,015
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1632,34	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	14,3	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,8		
Número de Reynolds	5218	Factor de fricción (f)	0,037
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> ) [m]	3,28
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	28,31	Accesorios	3 codos 90° 2 T 1 válvulas de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,8		
Número de Reynolds	5218	Factor de fricción (f)	0,037
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> )	6,5
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	9,78		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,31		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable 316L		
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,4 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Simes S.A		
Tipo y código del equipo	Lobular - SRL 1-40		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316		
Temperatura máxima de trabajo [°C]	140		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	5,5		
Altura máxima de trabajo [m]	10		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [hp]	2		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### ✓ Bomba B-05

El fin de esta bomba es transportar el policloruro de aluminio desde R-01B hacia el intercambiador de calor I-01, en régimen continuo. En la tabla 8-34 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección. Esta bomba se sobredimensiona en un 250% para cubrir la potencia necesaria para la limpieza del sistema.

Tabla 8-34. Adopción de la bomba B-05

<b>Equipo B-05</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	3,6128	Viscosidad [kg/m.s]	0,015
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1632,34	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	14,3	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,8		
Número de Reynolds	5218	Factor de fricción (f)	0,037
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	3,28
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	43,86	Accesorios	2 codos 90° 3 T 2 válvulas de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,8		
Número de Reynolds	5218	Factor de fricción (f)	0,037
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> )	10,07
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	13,35		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,42		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable 316L		
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,4 – 1 in		
Bomba adoptada			

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Proveedor	Simes S.A
Tipo y código del equipo	Lobular - SRL 1-40
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Temperatura máxima de trabajo [°C]	140
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	5,5
Altura máxima de trabajo [m]	10
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	2

✓ *Bomba B-06*

El fin de esta bomba es transportar el policloruro de aluminio desde R-01C hacia el intercambiador de calor I-01, en régimen continuo. En la tabla 8-35 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección. Esta bomba se sobredimensiona en un 250% para cubrir la potencia necesaria para la limpieza del sistema.

Tabla 8-35. Adopción de la bomba B-06

<b>Equipo B-06</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	3,6128	Viscosidad [kg/m.s]	0,015
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1632,34	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	14,3	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,8		
Número de Reynolds	5218	Factor de fricción (f)	0,037
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> ) [m]	3,28
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	60,41	Accesorios	4 codos 90° 2 T 3 válvulas de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,8		
Número de Reynolds	5218	Factor de fricción (f)	0,037

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga ( $h_f$ )	13,87
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	17,15		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,53		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable 316L		
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,4 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Simes S.A		
Tipo y código del equipo	Lobular - SRL 1-40		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316		
Temperatura máxima de trabajo [°C]	140		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	5,5		
Altura máxima de trabajo [m]	10		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [hp]	2		

✓ *Bomba B-07*

El fin de esta bomba es transportar el policloruro de aluminio desde el intercambiador de calor I-01 hacia el filtro prensa F-01, en régimen continuo. En la tabla 8-36 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección. Cabe aclarar, que en el cálculo del trabajo desarrollado por el equipo, se incluye la presión de trabajo correspondiente del filtro a la entrada del mismo.

Tabla 8-36. Adopción de la bomba B-07

<b>Equipo B-07</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	4,1952	Viscosidad [kg/m.s]	0,04
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1405,73	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	16,2	Accesorios	2 codos 90°
Altura estática [m]	0,7		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Diámetro interior [mm]	26,64		1 válvula de compuerta
Velocidad de flujo [m/s]	2,2		
Número de Reynolds	2354	Factor de fricción (f)	0,04
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga ( $h_f$ ) [m]	6,00
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	28,2	Accesorios	4 codos 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	0,6		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	2,2		
Número de Reynolds	2354	Factor de fricción (f)	0,04
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga ( $h_f$ )	10,45
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	23,26		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,73		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable 316L		
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,4 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Simes S.A		
Tipo y código del equipo	Lobular - SRL 1-40		
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316		
Temperatura máxima de trabajo [°C]	140		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	7,3		
Altura máxima de trabajo [m]	18,4		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [hp]	1,5		

✓ *Bomba B-08*

El fin de esta bomba es transportar el policloruro de aluminio desde el filtro F-01 hacia el tanque A-06 para su almacenamiento, en régimen continuo. En la tabla 8-37 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Cabe aclarar, que en el cálculo del trabajo desarrollado por el equipo, se incluye la presión de trabajo correspondiente del filtro a la salida del mismo.

Tabla 8-37. Adopción de la bomba B-08

<b>Equipo B-08</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	4,0248	Viscosidad [kg/m.s]	0,04
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1331,24	Presión de trabajo [atm]	5,3
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	14,6	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	0,6		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	2,2		
Número de Reynolds	2229	Factor de fricción (f)	0,04
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	5,41
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	26,38	Accesorios	3 codos 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	5		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	2,2		
Número de Reynolds	2229	Factor de fricción (f)	0,04
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> )	9,78
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	64,44		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	1,8		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero inoxidable 316L		
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,4 – 1 in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara		
Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3M 32 - 160 / 2.2		
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 316		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	6		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90
Altura máxima de trabajo [m]	35,5
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	3

✓ *Bomba B-09*

El fin de esta bomba es transportar HCl 11% desde el condensador-subenfriador I-02 hacia el tanque A-04, en régimen continuo. En la tabla 8-38 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 8-38. Adopción de la bomba B-09

<b>Equipo B-09</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	3	Viscosidad [cp]	0,8856
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1051,48	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	13,8	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,5		
Número de Reynolds	47750	Factor de fricción (f)	0,026
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	1,55
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	21,5	Accesorios	2 codos 90° 1 válvula de compuerta
Altura estática [m]	5		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,5		
Número de Reynolds	47750	Factor de fricción (f)	0,026
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> )	2,41
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	8,65		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,2		



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero inoxidable 316L
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,4 – 1 in
Bomba adoptada	
Proveedor	Lowara
Tipo y código del equipo	Centrífuga - CEA(M) 120/3
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+110
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	7,2
Altura máxima de trabajo [m]	14
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	0,75

### 8.11. Bibliografía

- **Aceros inoxidables 316.** [Citado el: 12 de Octubre de 2018.] <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/aceros-inoxidables-316/>.
- **ChemEng.** [Citado el: 12 de Octubre de 2018.] [https://www.processengr.com/links/chemeng\\_links.html](https://www.processengr.com/links/chemeng_links.html).
- **COSTA, Francisco. 2002.** *Diseño de un sistema de transporte neumático para material suelto.* Escuela superior politécnica del litoral: Guayaquil, 2002.
- **dzFilter.** [Citado el: 21 de Agosto de 2018.] [https://www.dzfilter.com/product/frame\\_filter\\_press\\_normal\\_pressure-es.html#S3](https://www.dzfilter.com/product/frame_filter_press_normal_pressure-es.html#S3).
- **Filtro prensa.** [Citado el: 17 de Agosto de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_prensa](https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_prensa).
- **Fondos Koppler.** [Citado el: 15 de octubre de 2018.] <http://www.fondoyur.com/fondos-klopper.aspx>.
- **GEANKOPLIS, Christie. 1998.** *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* s.l. : Cecsca, 1998.
- **Intercambiador de calor.** [Citado el: 30 de Septiembre de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador\\_de\\_calor](https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor).
- **Intercambiadores de calor.** [Citado el: 19 de Septiembre de 2018.] <https://ingenieromarinero.com/intercambiadores-de-calor/>.
- **KERN, Donald Q. 1999.** *Procesos de transferencia de calor.* s.l. : Trigésima primera reimpresión. Ed. McGraw, 1999.
- **LEVENSPIEL, Octave. 2004.** *Ingeniería de las reacciones químicas.* s.l. : Tercera edición. Ed. Limusa-Wiley, 2004.
- **LIMONES FLORES, Ciro. 2010.** *Diseño e instalación de aislante térmico en tuberías y equipos.* Universidad Simón Bolívar: s.n., 2010.
- **Lonas filtrantes para filtro prensa.** [Citado el: 25 de Agosto de 2018.] <http://cofasa.biz/filtracion-lonas-filtrantes-para-filtro-prensa>.
- **McCABE, Warren L. 1991.** *Operaciones unitarias en Ingeniería Química.* s.l. : Cuarta Edición. Ed. Mc Graw Hill, 1991.
- **MENDOZA MOYÓN, Jazmín del Rocío. 2012.** *Obtención de Policloruro de Aluminio a partir de chatarra para uso en potabilización de agua.* Guayaquil: s.n., 2012.
- **Merplast.** [Citado el: 24 de septiembre de 2018.] <http://www.merplast.com.ar/prfv.htm>.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- **Mezcladores y molinos.** [Citado el: 10 de Agosto de 2018.] <https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/molinos/de-martillos/>.
- **Molinos y mezcladoras.** [Citado el: 10 de Agosto de 2018.] <http://molinosymezcladoras.com/molinos-de-martillo.html>.
- **Motorreductores.** [Citado el: 18 de Octubre de 2018.] <http://www.transpowersrl.com/reductores-motorreductores.html>.
- **OCÓN, Joaquín y TOJO, Gabriel.** *Problemas de ingeniería química.* s.l.: Aguilar. Tercera edición.
- **PERRY, Robert H. 1973.** *Manual del Ingeniero Químico.* s.l.: Quinta edición. Ed. Mc Graw Hill, 1973.
- **Plastic.** [Citado el: 8 de Septiembre de 2018.] <https://www.plasticoncomposites.com/es/composites/full-grp>.
- **PRFV.** [Citado el: 3 de Septiembre de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico\\_reforzado\\_con\\_vidrio](https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico_reforzado_con_vidrio).
- **SALES. 1972.** *Cálculo de recipientes.* 1972.
- **Soluciones ambientales - PRFV.** [Citado el: 3 de Septiembre de 2018.] [http://solucionesambientalesdta.mex.tl/956302\\_Tanques-en-Fibra-de-vidrio.html](http://solucionesambientalesdta.mex.tl/956302_Tanques-en-Fibra-de-vidrio.html).
- **Telas filtro prensa.** [Citado el: 21 de Agosto de 218.] <http://www.simtech.cl/index.php/telas-filtros-prensa/>.
- **Tornillo helicoidal.** [Citado el: 18 de Octubre de 2018.] <https://www.begahelicoidales.com/helicoidalinclinado>.
- **Tornillo sinfin.** [Citado el: 27 de Octubre de 2018.] <http://hidrometalica.com/transportador-sinfin/>.
- **Transporte neumático.** [Citado el: 25 de Octubre de 2018.] <https://www.durafix.es/productos/transporte-neumatico/>.
- **Tuberías de acero.** [Citado el: 27 de Octubre de 2018.] <https://www.tubos-acero-aleacion.com/>.
- **Ventilador centrífugo.** [Citado el: 19 de Octubre de 2018.] [http://www.bimont.com.ar/vc\\_7000zds.php](http://www.bimont.com.ar/vc_7000zds.php).
- **WARRING, R H. 1977.** *Selección de bombas - Sistemas y aplicaciones.* s.l.: Labor S.A, 1977.

---

# SERVICIOS AUXILIARES

---

CAPÍTULO 9

## **9. SERVICIOS AUXILIARES**

### **9.1. Introducción**

En el presente capítulo se determinan los requerimientos diarios de los servicios auxiliares de aire, agua y electricidad. Además, se dimensionan y adoptan los equipos necesarios para generar estos servicios y se especifica el sistema de distribución de cada uno de ellos. Teniendo en cuenta que la planta de producción de policloruro de aluminio es un anexo a ATANOR S.A, los servicios tienen la misma bajada de línea que los de la industria principal, extendiéndolos hasta el sector en cuestión.

El servicio de agua dependerá de la función de la misma ya sea para el proceso, para limpieza o de enfriamiento. En cuanto al aire, la demanda del mismo será para el transporte neumático de partículas sólidas. Finalmente, los cálculos de electricidad, abarcan tanto la energía necesaria para el funcionamiento de la planta, como así también la adopción de la luminaria apropiada.

Otros servicios extendidos por el mismo predio son el de cloacas, efluentes e internet. El tratamiento de efluentes se trata en el capítulo 11.

### **9.2. Servicio de aire**

El servicio de aire requerido en el proceso de producción de policloruro de aluminio, abarca el transporte de aluminio sólido molido ( $D_p = 3 \text{ mm}$ ) desde el molino hasta el tanque del almacenamiento intermedio, y desde este último hasta cada uno de los reactores. También, se requiere de un tercer equipo para el descargue de la torta de escorias proveniente del filtro prensa.

Para el sistema de transporte de aire es necesario seleccionar entre un ventilador, un soplador o un compresor, de acuerdo a la relación de compresión requerida. Para el transporte neumático se quiere de un compresor. Con el objetivo de determinar la potencia requerida del mismo se emplea la ecuación extraída de MCCABE, 1991:

$$P = \frac{T_a \cdot Q}{3531,51 \cdot \eta} \cdot \log \frac{p_b}{p_a}$$

Ecuación 9-1

Dónde:

$P$ : Potencia [hp]

$T_a$ : Temperatura de admisión [R]

$Q$ : Caudal volumétrico [ $\text{pie}^3/\text{min}$ ]

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

$\eta$ : Rendimiento

$p_b$ : Presión de salida [atm]

$p_a$ : Presión de entrada [atm]

Para calcular la pérdida de carga por fricción en la tubería debido a las distancias y accesorios se emplean las siguientes ecuaciones:

$$h = \frac{f \cdot (L + Leq) \cdot V^2}{2D \cdot g}$$

Ecuación 9-2

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2$$

Ecuación 9-3

Donde:

$h$ : Altura equivalente [m]

$f$ : Coeficiente de fricción

$L$ : Longitud de tubería en tramo recto [m]

$Leq$ : Longitud equivalente de los accesorios [m]

$V$ : Velocidad del aire [m/s]

$D$ : Diámetro de la tubería [m]

$g$ : Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$P_1$  y  $P_2$ : Presión [Pa]

$\rho$ : Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante las ecuaciones 9-2 y 9-3 (Bernoulli) y considerando los cálculos del capítulo anterior, es posible determinar las caídas de presión. A continuación, se detallan estos valores en la tabla 9-1.

Tabla 9-1. Caídas de presión

Caída de presión en el transporte A-08A [atm]	0,286
Caída de presión en el transporte A-08B [atm]	0,476
Caída de presión hasta los transportes [atm]	0,30
Caída de presión del filtro F-01 [atm]	5
Caída de presión hasta el filtro [atm]	0,30

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

A partir estos datos, se calcula la potencia requerida para los compresores. En la tabla 9-2 y 9-3 se detallan los valores de los parámetros requeridos para determinar este valor.

Tabla 9-2. Cálculo de los compresores para transporte neumático

Parámetro	Valor
Temperatura de admisión [R]	536,67
Caudal volumétrico [ $\text{pie}^3/\text{min}$ ]	250
Rendimiento (supuesto)	0,75
Presión de salida [atm]	1,5
Presión de entrada [atm]	1
Potencia calculada [hp]	9
Potencia adoptada [hp]	15

Tabla 9-3. Cálculo del compresor para el filtro

Parámetro	Valor
Temperatura de admisión [R]	536,67
Caudal volumétrico [ $\text{pie}^3/\text{min}$ ]	250
Rendimiento	0,75
Presión de salida [atm]	7
Presión de entrada [atm]	2
Potencia calculada [hp]	28
Potencia adoptada [hp]	30

Los compresores necesarios para los transportes neumáticos del proceso y para el filtro, son de la empresa Sullair Argentina, la cual es una de las mejores proveedoras de este tipo de equipos a nivel nacional.

Los datos de los compresores seleccionados se detallan en las tablas 9-4 y 9-5, y se presentan modelos en las figuras 9-1 y 9-2 respectivamente.

# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 9-4. Características de los compresores de aire para el transporte

<b>A-10A/B Compresores de aire</b>	
Fabricante	Sullair Argentina
Modelo	1108
Tipo	A tornillo eléctrico
Cantidad de equipos	2
<i>Datos generales</i>	
Potencia del motor [hp]	15
Caudal mínimo de aire [m <sup>3</sup> /min]	1,8
Presión máxima de trabajo [atm]	8
<i>Datos mecánicos</i>	
Dimensiones [L x A x H mm]	1.035 x 618 x 998
Peso [kg]	350



Figura 9-1. Compresor Sullair línea Shoptek



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 9-5. Características del compresor de aire para el filtro

<b>A-10C Compresor de aire</b>	
Fabricante	Sullair Argentina
Modelo	2210
Tipo	A tornillo eléctrico
Cantidad de equipos	1
<i>Datos generales</i>	
Potencia del motor [hp]	30
Caudal mínimo de aire [m <sup>3</sup> /min]	3
Presión máxima de trabajo [atm]	10
<i>Datos mecánicos</i>	
Dimensiones [L x A x H mm]	1.351 x 1.351 x 800
Peso [kg]	658



Figura 9-2. Compresor Sullair línea 2200

Particularidades de los compresores adoptados:

- ✓ Equipos a tornillo eléctrico de 7,5 a 650 hp de potencia.
- ✓ Caudales desde 0,85 a 82 m<sup>3</sup>/min.
- ✓ Sin correas, poseen transmisión directa entre el motor y la unidad compresora.
- ✓ Vida útil de 50000 horas.
- ✓ Instrumental analógico o por microprocesador, sistemas de regulación on-off y modulantes.

### 9.3. Servicio de agua

El agua empleada en ATANOR S.A proviene de perforaciones subterráneas y para extraerla se cuenta con equipos de bombeo apropiados, además de que presenta una red de distribución interna. De esta manera, el predio de la industria cuenta con una red de agua potable y con una planta de tratamiento de aguas residuales; estos servicios se utilizan para proveer de agua corriente a las oficinas, el laboratorio, los baños, los vestidores y el comedor.

El agua de enfriamiento para cubrir los requerimientos operativos en la planta anexa de PAC, proviene de un sector propio de servicios auxiliares, que en sí es abastecido por la planta principal. El consumo de agua difiere según la funcionalidad, clasificándose en:

- ✓ Agua para proceso.
- ✓ Agua de enfriamiento.
- ✓ Agua para limpieza.

En la tabla 9-6 se detallan los requerimientos de agua para proceso y para enfriamiento. Los de la limpieza CIP se especifican con mayor precisión en una sección aparte.

Tabla 9-6. Consumo de agua en la planta

Equipo	Etapas	Agua	Consumo diario de agua [m <sup>3</sup> /día]
R-01A	Reacción	Para proceso	1,232
R-01B	Reacción	Para proceso	1,232
R-01C	Reacción	Para proceso	1,232
A-11A	Enfriamiento	De enfriamiento	168
A-11B	Enfriamiento	De enfriamiento	48

#### 9.3.1. Agua para proceso

Para la producción de policloruro de aluminio, se requiere de agua de proceso. Por tal motivo, se diseñó en el capítulo anterior un tanque de almacenamiento (A-02) de 25 m<sup>3</sup>, considerando un stock de cinco días de producción, para el caso de que ocurriera algún inconveniente. El mismo se encuentra en el sector I (depósito de materias primas líquidas).

### 9.3.2. Agua de enfriamiento

#### *Adopción del enfriador de agua (Chiller)*

El agua que ingresa al condensador para generar ácido clorhídrico al 11%, debe encontrarse a baja temperatura, por tal motivo se decide adoptar un enfriador de agua o chiller con la finalidad de que el agua proveniente de la torre de enfriamiento disminuya su temperatura desde 15°C a 5°C.

Un enfriador de agua o water chiller es un caso especial de máquina frigorífica cuyo cometido es enfriar un medio líquido, generalmente agua. La circulación del agua se hace desde el exterior mediante bombeo mecánico y se emplean tradicionalmente para:

- ✓ Refrigerar maquinaria industrial.
- ✓ Plantas de procesos químicos y de alimentos.
- ✓ Procesos de acondicionamiento de aire en grandes instalaciones.

Los chillers pueden ser enfriadores de aire o agua. Aquellos para enfriar agua, incorporan el uso de torres de enfriamiento las cuales mejoran la termodinámica de estos equipos en comparación con los que emplean aire.



Figura 9-3. Enfriador de agua (chiller)

En la tabla 9-7 se detalla el calor que debe ser absorbido por el refrigerante.

Tabla 9-7. Calor a extraer en el chiller

Nomenclatura	Especificación	Ecuación	Calor [kcal/h]
$Q_{A1}$	Calor que entrega la corriente de agua previo al ingreso del condensador	$m \times C_p \times \Delta T$	-70000

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Seguidamente, en la tabla 9-8 se especifican las características técnicas del enfriador de agua adoptado para la planta de PAC.

Tabla 9-8. Características del enfriador de agua (Chiller)

<b>A-11A Enfriador de agua (Chiller)</b>	
Fabricante	Gelletti
Modelo	LEW D – 042
Material de construcción	Chapa de acero galvanizado
<i>Datos generales</i>	
Fluido refrigerante (ecológicos)	R404 – R407
Caudal de alimentación [l/h]	7.000
Caudal máximo permitido [l/h]	8.219
Potencia frigorífica [kW]	47,6
Potencia absorbida [kW]	9,90
<i>Datos mecánicos</i>	
Dimensiones físicas [L x A x H mm]	1.136 x 781 x 1.594
Potencia sonora [dB]	72
Peso [kg]	362

### *Adopción de la torre de enfriamiento*

Estos equipos deben enfriar el agua para las etapas de enfriamiento de la corriente de policloruro de aluminio y de la condensación de gases; la temperatura del agua debe reducirse para poder ser reutilizada. En ambos casos, el agua debe enfriarse desde 39°C a 15 °C. Por lo tanto, el caudal de agua a enfriar por día está dado por:

$$\dot{m}A_{enf} = \dot{m}A_{int} + \dot{m}A_{con} - \dot{m}A_{per} + \dot{m}A_{adi}$$

Ecuación 9-4. Cálculo de caudal de agua de enfriamiento

En la tabla 9-9 se detallan los caudales involucrados en el cálculo de la corriente de agua a enfriar en la torre.

# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 9-9. Caudales de agua de enfriamiento

Nomenclatura	Especificación	Caudal [m <sup>3</sup> /día]
$\dot{m}A_{int}$	Caudal de agua de enfriamiento proveniente del intercambiador de calor	48
$\dot{m}A_{con}$	Caudal de agua de enfriamiento proveniente del condensador	168
$\dot{m}A_{per}$	Pérdida de agua por evaporación (valor supuesto del 3% del total)	6,48
$\dot{m}A_{adi}$	Caudal adicional para compensar las pérdidas	6,48
$\dot{m}A_{enf}$	Caudal de agua de enfriamiento	216

En la figura 9-4 se resume el esquema de alimentación de la torre de enfriamiento, junto con los equipos que refrigera.

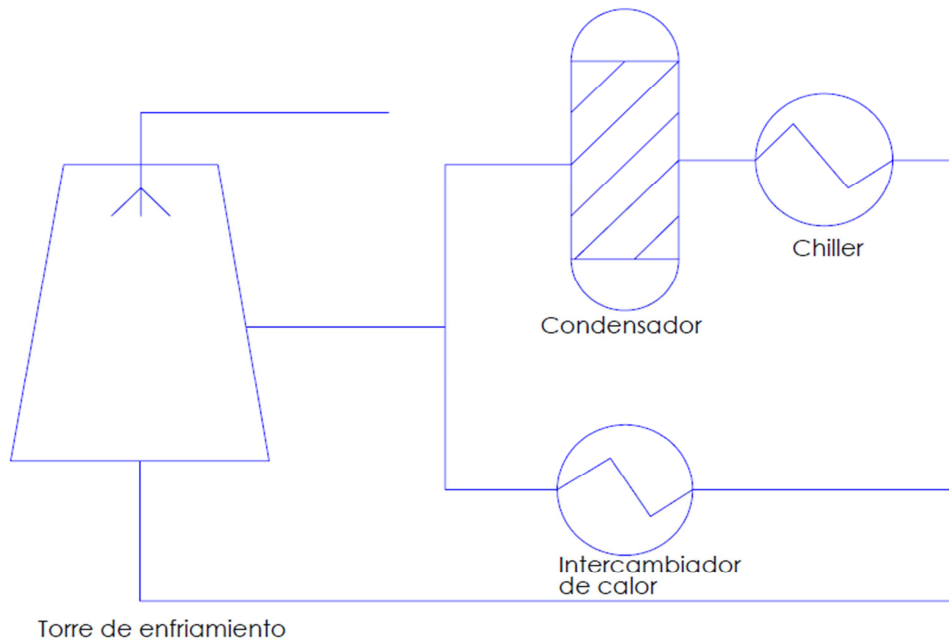


Figura 9-4. Diagrama de distribución y retorno de agua de enfriamiento

Para el cálculo del calor que debe absorber por día la torre se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{abs} = \dot{m}A_{enf} \times C_p A \times \Delta T t$$

Ecuación 9-5. Calor absorbido en la torre

En la tabla 9-10 se detallan los parámetros necesarios para el cálculo del calor absorbido por la torre de enfriamiento.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 9-10. Cálculo de energía absorbida por la torre

<b>Cálculo de energía absorbida por la torre</b>		
$\dot{m}Aenf$	Caudal de agua de enfriamiento [kg/día]	216.000
$CpA$	Calor específico del agua [kcal/kg°C]	1
$\Delta Tt$	Diferencia de temperatura en la torre [°C]	24
$Qabs$	Calor absorbido [kcal/día]	5,184x10 <sup>6</sup>

A partir los catálogos consultados, se adopta una única torre de enfriamiento compacta (auto portante) fabricada en PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio), liviana y resistente a la corrosión, de la empresa TECNO-TOWER. Son ideales para numerosos usos, en pequeñas y medianas empresas. Están equipadas con ventilador (tiro inducido de flujo axial), motor eléctrico (trifásico, blindado con protección IP55) y piletta recolectora, siendo ésta última de mampostería u hormigón armado. Las toberas son auto limpiantes y la bulonería es de acero inoxidable AISI 304. Debido a los materiales de fabricación, es un equipo que presenta gran resistencia a la corrosión.

En la tabla 9-11 se especifican las características de la torre de enfriamiento seleccionada.

Tabla 9-11. Características de la torre de enfriamiento

<b>A-11B Torre de enfriamiento</b>	
Fabricante	TECNO-TOWER
Modelo	T-606
<i>Datos</i>	
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /día]	216
Calor a absorber [kcal/día]	5,184x10 <sup>6</sup>
Temperatura de entrada a la torre [°C]	39
Temperatura de salida de la torre [°C]	15
Caudal másico de trabajo [t/h]	9
Cantidad de equipos	1
<i>Datos técnicos</i>	
Capacidad [t/h]	12,5
Peso en servicio [kg]	120
Peso neto [kg]	50
Potencia [hp]	0,5

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la figura 9-5 se observa un esquema de la torre de enfriamiento adoptada, donde además se señalan las partes que la componen.

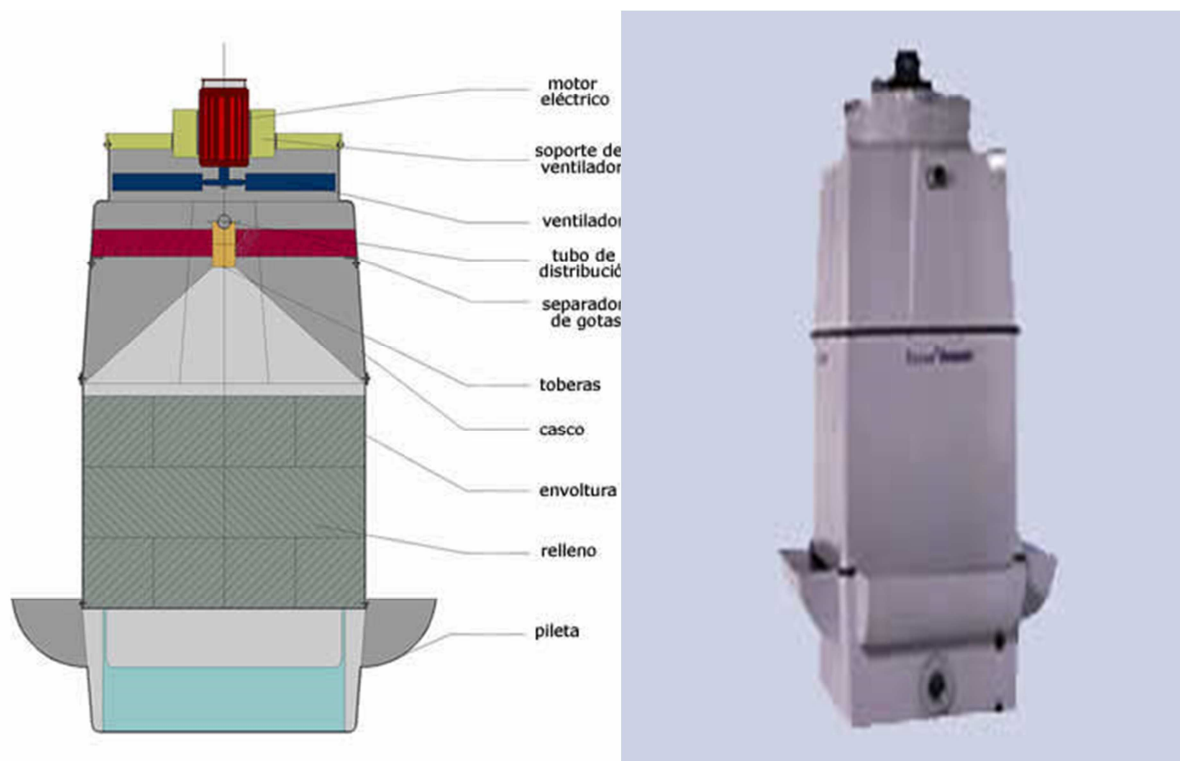


Figura 9-5. Torre de enfriamiento

### 9.3.3. Agua para limpieza

#### *Sistema de limpieza CIP*

Una vez que se descarga el policloruro de aluminio junto con los restos de escoria del reactor batch, se procede con la limpieza del equipo, para lo cual se utiliza un sistema de limpieza CIP (Cleaning in place). Estos sistemas, funcionan mediante una red de circulación de agua junto con diluciones de productos químicos a través del equipo o tubería en cuestión. Para que la limpieza sea efectiva, es necesaria la correcta combinación de los siguientes factores:

- ✓ Tiempo de duración del ciclo de limpieza.
- ✓ Agente de limpieza empleado y concentración.
- ✓ Temperatura, ya que a mayor temperatura la limpieza es más rápida.
- ✓ Caudal de paso de la disolución de limpieza a través de la tubería o equipo a limpiar.
- ✓ Frecuencia entre ciclos de limpieza.

La función de la unidad de limpieza CIP consiste en preparar de manera automática las soluciones correspondientes y programar los ciclos para el saneamiento de todos los elementos de la planta, controlando temperatura, caudal y/o presión. Los pasos a seguir para efectuar la limpieza son los siguientes:

- ✓ Aclarado inicial con agua recuperada
- ✓ Fase alcalina
- ✓ Aclarado intermedio
- ✓ Fase ácida
- ✓ Aclarado intermedio

Teniendo en cuenta los equipos involucrados en el proceso, en los reactores batch la suciedad consiste principalmente en residuos de ácido clorhídrico, y posibles restos del producto final. Por lo tanto, bastará con utilizar una solución álcali para efectuar la limpieza; se emplea una solución de hidróxido de sodio, que presenta alta eficacia y bajo costo, a una concentración del 1,5% a 60°C. Para la limpieza de los tanques se instalan en su interior bochas de limpieza (sprayballs); las esferas contienen una determinada cantidad de orificios de cierto diámetro, uniformemente distribuidos. Para los reactores se adoptan boquillas TankJet®, como se observa en la figura 9-6.



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO


Proyecto final de grado – Ingeniería química



Figura 9-6. Boquilla TankJet ® D41892. FUENTE: Catálogo de Spraying System

En la tabla 9-12 se especifican las características técnicas de la boquilla adoptada para la limpieza CIP en los reactores batch.

Tabla 9-12. Boquilla de aspersión para limpieza CIP

<b>Boquilla de aspersión</b>	
Fabricante	Tank Jet
Modelo	D41892
<i>Datos técnicos</i>	
Diámetro máximo del tanque [m]	2
Mínima apertura del tanque [mm]	37
Principio de operación	Fuerza de reacción impulsada por fluidos
Presión de operación [bar]	1,4 – 4,8
Máxima temperatura [°C]	70
Rango de flujo [l/min]	15,9 – 29
Cobertura del spray	<b>SPRAY COVERAGE</b> 360° 
Material	Poli acetal
Cantidad	3

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

El programa de lavado seleccionado se debe ajustar al tiempo disponible para la limpieza, es decir, media hora por equipo. El volumen de agua a utilizar es 120 litros para cada reactor. En la tabla 9-13 se detallan los tiempos y caudales de agua de lavado.

Tabla 9-13. Tiempos de ciclo y caudales

<b>Etapa</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Volumen [l]</b>
Aclarado inicial: con agua recuperada del lavado anterior	7,5	120
Fase alcalina: con NaOH 1,5%	15	260
Aclarado final: con agua fresca	7,5	120
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>500</b>

A partir de la información detallada en la tabla anterior, se concluye que son necesarios tres tanques de almacenamiento, uno para el agua recuperada, uno para la fase alcalina y otro para el agua fresca.

En la tabla 9-14 se detallan las dimensiones calculadas para cada tanque, teniendo capacidad para almacenar cinco ciclos de lavado de cada reactor.

Tabla 9-14. Parámetros dimensionales de los tanques

<b>A-12A/B/C Dimensionamiento de tanques para limpieza CIP</b>			
Fabricante	Metalúrgica Urbani		
Material	Acero inoxidable		
<i>Dimensiones</i>	<i>Agua fresca</i>	<i>Agua reciclada</i>	<i>NaOH 1,5%</i>
Volumen [m <sup>3</sup> ]	2,50	2,50	5,50
Diámetro [m]	1,34	1,34	1,74
Altura [m]	2	2	2,60

Se diseña un tanque de almacenamiento de agua para reponer las pérdidas provenientes de la torre de enfriamiento y en la limpieza CIP; se considera un 30% adicional como factor de seguridad.

En la tabla 9-15 se detallan las dimensiones correspondientes.

# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 9-15. Dimensiones de tanque de reposición de agua

<b>A-13 Tanque de reposición de agua</b>	
Fabricante	FormingPlast
Material	PEAD
Volumen [m <sup>3</sup> ]	45
Diámetro [m]	3,50
Altura [m]	5,25

En la figura 9-7 se esquematiza un diagrama de distribución del agua del tanque A-13.

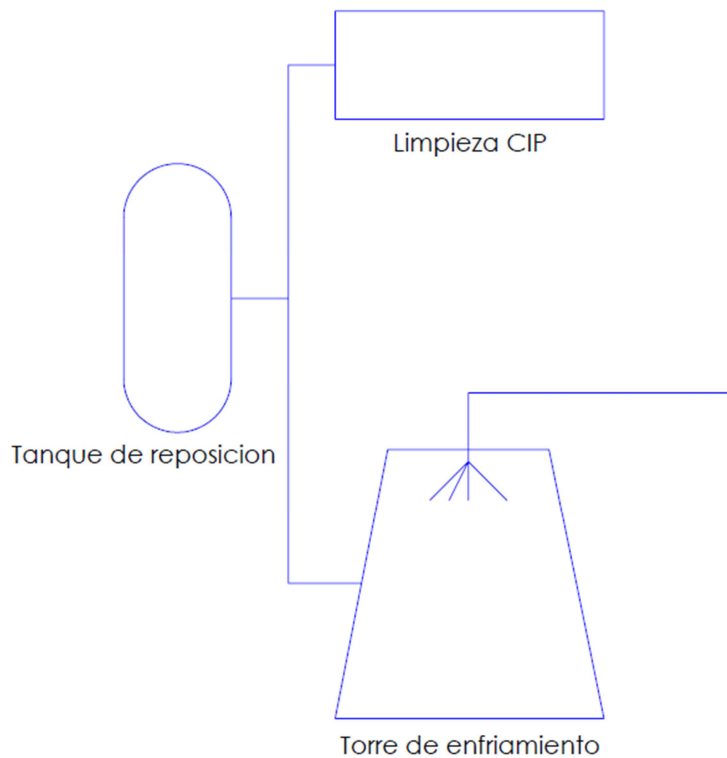


Figura 9-7. Diagrama de distribución de agua de reposición

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 9.4. Bombas

En la siguiente sección se tratan las bombas requeridas para el transporte de fluidos en servicios auxiliares. El procedimiento de cálculo de los parámetros para la adopción de las bombas fue detallado en el capítulo 8. En la tabla 9-16 se detallan los equipos y corrientes involucradas.

Tabla 9-16. Resumen y codificación de las bombas requeridas para el transporte en servicios auxiliares

<b>Equipos B – Bombas</b>						
Código	Conexión entre equipos	Corriente	Denominación	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Temp. [°C]	Tipo de bomba
B-10	A-11B con A-11A	H´	Agua de enfriamiento	7	15	Centrífuga
B-11	A-11A con I-02	H - I	Agua de enfriamiento	7	5	Centrífuga
B-12	A-11B con I-01	N - O	Agua de enfriamiento	2	15	Centrífuga
B-13	A-12A/B/C con las boquillas de aspersión en R-01A/B/C	S	Limpieza CIP	1	25	Centrífuga
B-14	A-13 con A-11B y A-12A	T - U	Agua de reposición	5	25	Centrífuga

✓ *Bomba B-10*

El objetivo de esta bomba es transportar el agua desde la torre de enfriamiento A-11B hasta el enfriador o chiller A-11A, con el fin de disminuir aún más la temperatura de la corriente en cuestión. En la tabla 9-17 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 9-17. Adopción de la bomba B-10

<b>Equipo B-10</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	7	Viscosidad [cp]	1
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	13,8		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Altura estática [m]	-	Accesorios	1 válvula 1 T
Diámetro interior [mm]	40,89		
Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	57120	Factor de fricción (f)	0,024
Rugosidad relativa [e/d]	0,0015	Pérdida de carga ( $h_f$ ) [m]	0,81
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	20,8	Accesorios	3 codos 90° 1 válvula
Altura estática [m]	-		
Diámetro interior [mm]	40,89		
Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	57120	Factor de fricción (f)	0,024
Rugosidad relativa [e/d]	0,0015	Pérdida de carga ( $h_f$ )	1,22
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	2,04		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,075		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10		
Diámetro exterior [mm] y nominal	48,26 – 1 ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara		
Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3LM4 32 - 125/0.25		
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	8		
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90		
Altura máxima de trabajo [m]	4,9		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [kW]	0,11		

✓ *Bomba B-11*

El objetivo de esta bomba es transportar el agua desde el equipo de enfriamiento (chiller) A-11A hasta el condensador-subenfriador vertical I-02. Se considera el transporte del agua de la corriente I que sale de este equipo a mayor temperatura y retorna a la torre de

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

enfriamiento. En la tabla 9-18 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 9-18. Adopción de bomba B-11

<b>Equipo B-11</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	7	Viscosidad [cp]	1
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	11,2	Accesorios	1 válvula
Altura estática [m]	-		
Diámetro interior [mm]	40,89		
Velocidad de flujo [m/s]	1,5		
Número de Reynolds	61330	Factor de fricción (f)	0,025
Rugosidad relativa [e/d]	0,0009	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	0,79
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	69,46	Accesorios	8 codos 90° 1 T 1 válvula
Altura estática [m]	-		
Diámetro interior [mm]	40,89		
Velocidad de flujo [m/s]	1,5		
Número de Reynolds	61330	Factor de fricción (f)	0,025
Rugosidad relativa [e/d]	0,0014	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> )	4,87
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	5,66		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,2		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10		
Diámetro exterior [mm] y nominal	48,26 – 1 ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara		
Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3M 32 - 125/0.37R		
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	9,6		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90
Altura máxima de trabajo [m]	4,5
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	0,5

✓ *Bomba B-12*

El objetivo de esta bomba es transportar el agua desde la torre de enfriamiento A-11B hasta el intercambiador de calor I-01. Se considera el transporte del agua de la corriente O que sale de este equipo a mayor temperatura y retorna a la torre de enfriamiento. En la tabla 9-19 se detallan los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 9-19 Adopción de bomba B-12

<b>Equipo B-12</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	2	Viscosidad [cp]	1
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	15,7	Accesorios	1 codo 90° 1 T 1 válvula
Altura estática [m]	-		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,1		
Número de Reynolds	29300	Factor de fricción (f)	0,028
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	1,02
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	171,26	Accesorios	17 codos 90° 1 T 1 válvula
Altura estática [m]	-		
Diámetro interior [mm]	26,64		
Velocidad de flujo [m/s]	1,1		
Número de Reynolds	29300	Factor de fricción (f)	0,028
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>f</sub> ) [m]	11,12
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	12,13		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,128		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Sistema de tuberías	
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10
Diámetro exterior [mm] y nominal	33,40 – 1 in
Bomba adoptada	
Proveedor	Ebara
Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3M 32 - 125/0.37R
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	9,6
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90
Altura máxima de trabajo [m]	4,5
Motor incluido	Trifásico
Potencia [hp]	0,5

✓ *Bomba B-13*

El objetivo de esta bomba es el transporte de los fluidos empleados en la limpieza CIP a cada una de las boquillas de aspersión de los reactores cuando corresponda. En la tabla 9-20 se exponen los parámetros que se utilizan para el cálculo de selección.

Tabla 9-20. Adopción de bomba B-13

<b>Equipo B-13</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	1	Viscosidad [cp]	1
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	75,91	Accesorios	4 codos 90° 2 T 5 válvulas
Altura estática [m]	1,5		
Diámetro interior [mm]	15,80		
Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	22120	Factor de fricción (f)	0,028
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga (h <sub>r</sub> ) [m]	13,45
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	131,91	Accesorios	9 codos 90° 2 T 5 válvulas
Altura estática [m]	4,5		
Diámetro interior [mm]	15,80		



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	22120	Factor de fricción (f)	0,028
Rugosidad relativa [e/d]	0,0018	Pérdida de carga ( $h_f$ )	23,38
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	39,83		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,51		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero Inoxidable ANSI 304		
Diámetro exterior [mm] y nominal	21,34 – ½ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara		
Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3M 32 - 200/0.55		
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	6		
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90		
Altura máxima de trabajo [m]	11		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [hp]	0,75		

✓ *Bomba B-14*

El objetivo de esta bomba es transportar el agua de reposición desde el tanque A-13 hasta la torre de enfriamiento A-11B y el tanque de agua de limpieza CIP A-12A. En la tabla 9-21 se detallan los parámetros empleados para su selección.

Tabla 9-21. Adopción de bomba B-14

<b>Equipo B-14</b>			
Datos del sistema para el cálculo			
Caudal volumétrico [m <sup>3</sup> /h]	5	Viscosidad [cp]	1
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	Presión de trabajo [atm]	1
Lado de aspiración			
Longitud total [m]	15,15	Accesorios	1 codo 90° 1 válvula
Altura estática [m]	0,3		
Diámetro interior [mm]	35,05		

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	49070	Factor de fricción (f)	0,024
Rugosidad relativa [e/d]	0,0015	Pérdida de carga ( $h_f$ ) [m]	1,04
Lado de impulsión			
Longitud total [m]	62,79	Accesorios	6 codos 90° 1 T 3 válvulas
Altura estática [m]	3		
Diámetro interior [mm]	35,05		
Velocidad de flujo [m/s]	1,4		
Número de Reynolds	49070	Factor de fricción (f)	0,024
Rugosidad relativa [e/d]	0,0015	Pérdida de carga ( $h_f$ )	4,30
Parámetros obtenidos para la bomba			
Trabajo desarrollado [m]	8,04		
Eficiencia	0,7		
Potencia [hp]	0,21		
Sistema de tuberías			
Material de construcción	Acero ANSI B 36.10		
Diámetro exterior [mm] y nominal	42,16 – 1 ¼ in		
Bomba adoptada			
Proveedor	Ebara		
Tipo y código del equipo	Centrífuga - 3M 32 - 125/0.37R		
Material de construcción	Acero Inoxidable AISI 304		
Capacidad volumétrica máxima [m <sup>3</sup> /h]	9,6		
Rango de temperatura de trabajo [°C]	-10/+90		
Altura máxima de trabajo [m]	4,5		
Motor incluido	Trifásico		
Potencia [hp]	0,5		

## **9.5. Servicio de electricidad**

La energía eléctrica del predio de ATANOR S.A se encuentra a cargo de RíoTel, contando con líneas de suministro de energía eléctrica de media y baja tensión, como así también red interna de distribución e instalaciones de iluminación.

La planta de policloruro de aluminio cuenta con la instalación de iluminación correspondiente en cada uno de los sectores, junto con la conexión trifásica requerida en aquellos equipos que estén provistos de motores.

### **9.5.1. Descripción de la instalación eléctrica**

Para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica son necesarios una serie de elementos detallados a continuación:

#### *Tableros*

Contienen dispositivos necesarios para la operación, rastreo, protección y control de toda la instalación eléctrica; al mismo tiempo que permiten la distribución de la corriente a los diferentes sectores. Los tableros se construyen de materiales metálicos o plásticos no inflamables, no higroscópicos y que poseen cierta resistencia mecánica para soportar cargas y una baja constante dieléctrica.

El orden de los circuitos se realiza de la manera más conveniente, además estos dispositivos están formados por aparatos de maniobras con llaves o conmutadores, aparatos de protección (fusibles, llaves automáticas), aparatos de medición, entre otros. Usualmente son paneles verticales colocados dentro de cajas, a una altura favorable para permitir las operaciones a una persona.

Los tableros, clasificados desde el punto de vista de su operación son:

- ✓ Tablero principal: opera toda la instalación.
- ✓ Tablero seccional: opera circuitos.
- ✓ Tablero subseccional: opera solo una parte del circuito.

En el caso de la planta de producción de policloruro de aluminio, se dispondrán de tableros seccionales para operar los circuitos de las diferentes áreas de producción, servicios auxiliares, almacenamiento, entre otras.

Las líneas conductoras que serán necesarias en este proyecto son las siguientes:

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- ✓ Línea principal: se caracteriza por conectar el medidor de energía con el tablero principal de ATANOR S.A. El tendido del mismo es subterráneo, y se ubica a 80 cm de la superficie, recubierto con caños de PVC.
- ✓ Línea de iluminación: del tablero principal se deben derivar líneas para la iluminación de la nave industrial y la parte administrativa; las mismas son monofásicas. Los cables se tienden dentro de tuberías livianas empotradas en el interior de los muros.
- ✓ Línea a los equipos: son líneas trifásicas responsables de alimentar los motores empleados en la planta, ya sean de bombas, transportes, agitadores, molinos entre otros. No se encuentran empotradas sino sobre las bandejas correspondientes.

### *Toma corriente*

Es todo lugar donde se consume energía eléctrica. Se calcula la potencia requerida para los tomacorrientes fijando los W (Watts) de salida; para oficinas y usos generales se usarán tomacorrientes para 150 y 300 W, mientras que en la zona de producción son de 1000 W.

### *Conductores eléctricos*

Son los responsables de realizar la conducción de la energía eléctrica desde donde se produce hacia los sectores de consumo. Los metales habitualmente usados para la fabricación de cables son cobre, aluminio o aleaciones de este último; poseen un alambre central de material conductor, cuya sección está determinada por la corriente a conducir y limitada por el calentamiento y la caída de tensión que provoca. Externamente poseen una cubierta de aislación térmica y eléctrica de material plástico, principalmente policloruro de vinilo (PVC). Este tipo de material tiene la desventaja de endurecerse y volverse frágil a bajas temperaturas y ablandarse a altas, pero tiene la ventaja de retomar sus propiedades físicas a temperaturas normales.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 9.5.2. Consumo de energía eléctrica de los equipos

En la tabla 9-22 se detalla el consumo de potencia mensual de cada equipo (industrial y adicional y de servicios auxiliares), considerando la potencia y las horas de funcionamiento.

Seguidamente, en la tabla 9-23 se detallan los mismos parámetros para las bombas de todos los sectores de la planta.

Tabla 9-22. Consumo de energía eléctrica de los equipos

Sector	Equipo	Potencia [kW]	Funcionamiento		Consumo [kWh/mes]
			[h/día]	[día/mes]	
I	A-09	2,24	10	30	672
II	M-01	4,48	8	15	537,6
	A-07	0,5	8	15	60
III	Agitador R-01 A	0,38	8	30	91,2
	Agitador R-01 B	0,38	8	30	91,2
	Agitador R-01 C	0,38	8	30	91,2
IX	A-10 A	11,19	1	30	335,7
	A-10 B	11,19	8	15	1.342,8
	A-10 C	22,36	1	30	670,8
	A-11 A	9,90	24	30	7.128
	A-11 B	0,38	24	30	273,6
<b>POTENCIA TOTAL [kW]</b>		<b>63,38</b>	<b>CONSUMO TOTAL [kWh/mes]</b>		<b>11.294,1</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 9-23. Consumo de energía eléctrica de las bombas

Sector	Equipo	Potencia [kW]	Funcionamiento		Consumo [kWh/mes]
			[h/día]	[día/mes]	
I	B-01	1,12	0,5	30	16,8
I	B-02	0,56	1,5	30	25,2
I	B-03	0,56	1,5	30	25,2
III	B-04	1,49	1,5	30	67,05
III	B-05	1,49	1,5	30	67,05
III	B-06	1,49	1,5	30	67,05
III	B-07	1,12	3	30	100,8
III	B-08	2,24	3	30	201,6
I	B-09	0,56	3	30	50,4
IX	B-10	0,11	3	30	9,9
IX	B-11	0,37	3	30	33,3
IX	B-12	0,37	3	30	33,3
IX	B-13	0,56	1,5	30	25,2
IX	B-14	0,37	2	4	2,96
<b>POTENCIA TOTAL [kW]</b>		<b>12,41</b>	<b>CONSUMO TOTAL [kWh/mes]</b>		<b>725,81</b>

### 9.5.3. Consumo de energía eléctrica en luminaria

El propósito del servicio de iluminación en la industria, es brindar una visibilidad eficiente y cómoda permitiendo de esta manera realizar el trabajo en forma adecuada y creando un ambiente seguro; una buena iluminación presenta ventajas tanto para el trabajador como para la empresa. En el trabajador, protege su capacidad visual, evita la fatiga ocular y disminuye los accidentes, mientras que en el caso de la empresa colabora con la disminución de errores, facilita la limpieza y el mantenimiento de las distintas áreas, mejorando a su vez la utilización de espacios.

La intensidad mínima de iluminación, medida sobre el plano de trabajo, ya sea éste horizontal, vertical u oblicuo, depende de la dificultad de la tarea visual y el destino del local (Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo).

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### *Determinación del nivel de iluminación requerido para cada ambiente*

Para determinar el nivel de iluminación requerido se deben tener en cuenta las dimensiones del sector y el flujo luminoso necesario, considerando el trabajo que se realiza en dicho ambiente. El nivel de iluminación se mide en lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) y surge del cociente del flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada. Los niveles mínimos de iluminación están dados por la ley 19.587 “Higiene y seguridad en el trabajo”, decreto 4160.

En la tabla 9-24 se detallan los niveles requeridos según las tareas a realizar.

Tabla 9-24. Nivel de iluminación según la tarea a realizar

Descripción de la tarea	Nivel de iluminación [lux]
<i>Visión ocasional solamente.</i> Movimientos seguros en lugares de poco tránsito, como depósito de materiales voluminosos y otros.	100
<i>Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes.</i> Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contada de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.	100-300
<i>Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos.</i> Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo.	300-750
<i>Tareas severas y prolongadas y de poco contraste.</i> Trabajos finos, mecánicos y manuales, montajes e inspección; pintura extrafina, sopleteado.	750-1.500
<i>Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste.</i> Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibrador, trabajo de molienda fina.	1.500-3.000

### *Selección del tipo de lámpara*

El tipo de lámpara a utilizar en los distintos sectores de la planta varía según los requerimientos.

Lámparas:

- ✓ Para zonas cubiertas (depósitos, almacenamiento) se emplean lámparas tipo vapor de mercurio cuya potencia sea de 250W y flujo luminoso de 13.000 lúmenes. Modelo HQL E40-Osram.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- ✓ Para zonas cubiertas (baños, vestuarios, oficinas, laboratorios) se emplean tubos fluorescentes cuya potencia es de 110W y el flujo luminoso de 8.800 lúmenes. Modelo Philips TPS-462.
- ✓ Para zonas cubiertas de producción y zonas a la intemperie se emplean lámparas de tipo vapor de mercurio de 400W y flujo luminoso de 22.000 lúmenes. Modelo HQL E40-Osram.

Lámparas LED:

- ✓ LX-5002 es nuevo modelo de LED cuyo consumo es de 72W y flujo luminoso de 9.600 lúmenes. Las mismas sustituyen las de vapor metálico de 250W y los fluorescentes compactos de 105W. Poseen una eficiencia de 117 lm/W.
- ✓ LX-5004 es semejante a la anterior pero con un consumo de 144W, 19.200 lúmenes de flujo y capaz de sustituir las de vapor metálico de 400/500W. Posee una eficiencia de 117 lm/W.

Actualmente, el uso de las LED está sustituyendo el de las demás lámparas, ya que cumplen el mismo objetivo y a un costo mucho menor.

*Número de lámparas y consumo eléctrico*

A partir del nivel de iluminación deseado en cada sector de la planta, se procede a calcular el número de lámparas requeridas para cada uno. Se aplica para el cálculo en cada área, la ecuación 9-6.

$$\text{Número de lámparas} = \frac{E \cdot S}{F_m \cdot F_u \cdot I_l}$$

Ecuación 9-6

Dónde:

$E$ : Nivel de iluminación requerido en el sector [lx], es la iluminación deseada en luz, depende del tipo de actividad.

$S$ : Superficie del sector [ $m^2$ ]

$F_m$ : Factor de mantenimiento

$F_u$ : Factor de uso (tablas)

$I_l$ : Flujo luminoso de la lámpara [lm]



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

El factor de mantenimiento está relacionado con el nivel de suciedad de la luminaria, lo que provoca una disminución del flujo luminoso. En los alumbrados interiores, la polución del ambiente es reducida, debido a esto se recomienda utilizar un factor del 90% para luminaria cerrada y 80% para la abierta. En los alumbrados exteriores el factor que se emplea es menor, siendo de 60% cuando la polución es importante, 70% cuando es moderada y 80% si es reducida. Por otro lado, el factor de uso brinda el rendimiento de las luminarias ubicadas en el sector analizado; para el cálculo se emplea la ecuación 9-7.

$$k = \frac{l \cdot a}{h \cdot m \cdot (l + a)}$$

Ecuación 9-7

Dónde:

$l$ : Largo del sector [m]

$a$ : Ancho del sector [m]

$h \cdot m$ : Altura del montaje de la luminaria sobre el plano de trabajo [m]

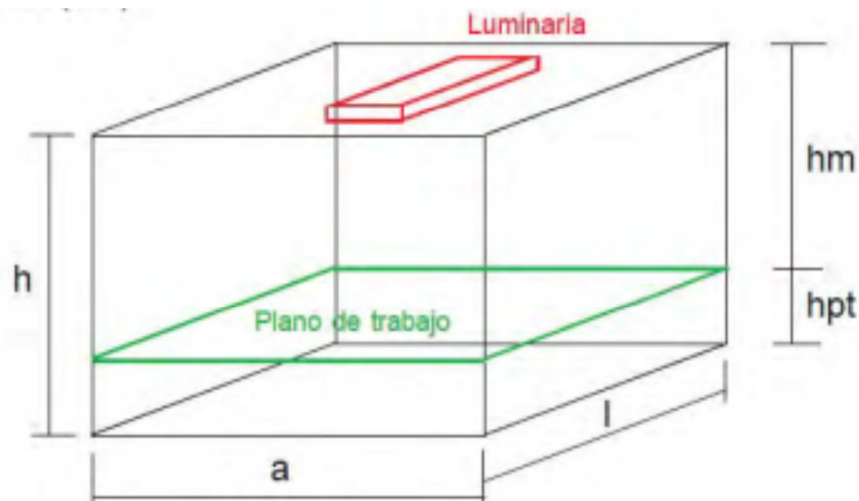


Figura 9-8. Representación de las dimensiones

Además, se debe conocer la reflectancia de las paredes y del techo del sector. De esta manera, se adopta un factor de reflexión de 0,3 para el techo (medio) y 0,5 para las paredes (claro) en los sectores que así lo requieran y de 0,5 y 0,5 en otros.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 9-25 se detallan las características de luminarias empleadas en cada sector y el correspondiente número de lámparas necesarias.

Tabla 9-25. Cantidad de lámparas

Sector	E [lx]	S [m <sup>2</sup> ]	Fm	Fu	II [lm]	Número de lámparas
I	300	133	0,7	0,38	19200	8
II	300	99	0,9	0,25	19200	7
III	400	157,5	0,9	0,32	19200	12
IV	200	59,5	0,7	0,38	19200	3
V	150	6	0,9	0,35	9600	1
		4				1
		4				1
VI	150	14	0,9	0,36	9600	2
		14				2
VII	400	16	0,9	0,33	9600	3
VIII	600	16	0,9	0,41	9600	3
IX	200	156	0,8	0,40	19200	5
Pasillos	150	26,25	0,9	0,25	9600	2
		18				2
		9				1
		28,5				2
		45				4
Terreno sin edificación <sup>(*)</sup>	100	823,75	0,7	0,40	19200	16

<sup>(\*)</sup> Se entiende por terreno sin edificación a las calles internas de la planta, el sector de rotonda, entrada de la planta y estacionamiento del camión de despacho de producto terminado. El mismo no incluye al terreno a adicionar para la posible extensión de la planta.

A partir de los resultados de la tabla 9-25 se concluye que son necesarias 51 lámparas LED LX-5004 de 144W y 24 de las LED LX-5002 de 72W; un total de 75 lámparas LED.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 9-26 se especifica el consumo eléctrico a la partir de la luminaria.

Tabla 9-26. Consumo de energía eléctrica de la luminaria

Sector	Funcionamiento [h/día]	Número de lámparas	Potencia [kW]	Consumo [kWh/día]
I	16	8	1,152	18,43
II	16	7	1,008	16,13
III	16	12	1,728	27,65
IV	16	3	0,432	6,91
V	8	1	0,072	0,58
	16	1	0,072	1,15
	16	1	0,072	1,15
VI	16	2	0,144	2,30
	16	2	0,144	2,30
VII	8	3	0,216	1,73
VIII	16	3	0,216	3,46
IX	16	5	0,720	11,52
Pasillos	16	2	0,144	2,30
	16	2	0,144	2,30
	16	1	0,072	1,15
	16	2	0,144	2,30
	16	4	0,288	4,61
Terreno sin edificación	16	16	2,304	36,86
<b>Consumo total</b>				<b>142,85</b>

En el caso de que se emplearan lámparas de vapor de mercurio y tubo fluorescentes se requerirían 29 lámparas de 250W, 29 de 400W y 21 tubos fluorescentes de 110W haciendo un total de 79 lámparas. En conclusión serían necesarias cuatro lámparas más y se tendría un consumo superior en casi un 230%. Por dichas razones es que en la actualidad se emplean lámparas LED, no solo por un ahorro cuanto a la cantidad de unidades, sino principalmente en lo referido al consumo, lo que implica un beneficio para el medio ambiente.

## 9.6. Bibliografía

- **Chiller.** [Citado el: 29 de Septiembre de 2018.] <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-chiller-17260.htm>.
- **Compresor de aire.** [Citado el: 5 de Octubre de 2018.] <https://sullairargentina.com/equipos/compresores-de-aire/el%C3%A9ctricos-estacionarios?list>.
- **Enfriador de agua.** [Citado el: 18 de Octubre de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Enfriador\\_de\\_agua](https://es.wikipedia.org/wiki/Enfriador_de_agua).
- **Enfriadores de agua.** [Citado el: 12 de Octubre de 2018.] [http://www.galletti.com/public/site\\_document/BC\\_LEW\\_398-C.pdf](http://www.galletti.com/public/site_document/BC_LEW_398-C.pdf).
- **HARUTIUNIAN, Miguel. 2009.** *Sistema de limpieza CIP (Clean In Place)*. s.l. : La Alimentación Latinoamericana N° 279, 2009.
- **Lámparas.** [Citado el: 25 de Octubre de 2018.] <https://www.lamparadirecta.es/osram-hql-250w-e40>.
- **Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo.** [Citado el: 27 de Octubre de 2018.] [http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/pepst/files/2017/02/Decreto\\_351-79.pdf](http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/pepst/files/2017/02/Decreto_351-79.pdf).
- **Limpieza CIP.** [Citado el: 21 de Octubre de 2018.] <https://www.tankjet.com/products/selection-guide.asp>.
- **Luminarias LED.** [Citado el: 27 de Octubre de 2018.] [http://vic-sa.com.ar/vic-led/tecnologialed/documentos/Espec\\_Tecn\\_5002\\_5004.pdf](http://vic-sa.com.ar/vic-led/tecnologialed/documentos/Espec_Tecn_5002_5004.pdf).
- **McCABE, Warren L. 1991.** *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. s.l. : Cuarta Edición. Ed. Mc Graw Hill, 1991.
- **OCÓN, Joaquín y TOJO, Gabriel.** *Problemas de ingeniería química*. s.l. : Aguilar. Tercera edición.
- **Torres de enfriamiento.** [Citado el: 12 de Octubre de 2018.] <http://www.tecnower.com.ar/compactas/>.
- **WARRING, R H. 1977.** *Selección de bombas - Sistemas y aplicaciones*. s.l. : Labor S.A, 1977.

---

# CONTROL DE CALIDAD

---

CAPÍTULO 10

## **10. CONTROL DE CALIDAD**

### **10.1. Introducción**

El control de calidad es un proceso que consiste en la implementación de programas, herramientas, mecanismos y técnicas, para la mejora de la calidad del producto y de la productividad de la planta. Asegura el cuidado y la mejora continua en la calidad ofrecida, en un mercado cada vez más competitivo, donde los clientes demandan un tipo específico de producto que cumpla siempre con los regímenes establecidos. Por lo tanto es imprescindible definir una política que involucre a todos los procesos, áreas y personal de la empresa. El proceso de control permite observar toda la operación del proceso, y en base a esto identificar y eliminar las causas que generen una variación en los resultados esperados.

En el presente capítulo se describen los controles de calidad a llevar a cabo sobre la materia prima, el producto terminado y distintas etapas del proceso, con el objetivo de responder de manera idónea a los estándares exigidos.

### **10.2. Plan de control de calidad**

La adopción de un sistema de gestión de calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible. (NORMA ISO 9001).

Los beneficios potenciales de implementar un sistema de gestión de la calidad para una organización son:

- ✓ La capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los reglamentarios aplicables.
- ✓ Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente.
- ✓ Abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos.

El control de calidad involucra al muestreo, especificaciones, procedimientos de organización, documentación y autorización que aseguren que los ensayos necesarios realmente se efectúen y que no se permita la circulación de los materiales, ni se autorice la venta o suministro de los productos, hasta que su calidad haya sido determinada como satisfactoria. El mismo no se limita a las operaciones de laboratorio, sino que debe estar presente en todas las decisiones concernientes a la calidad del producto.

A continuación, se expone un plan de control de calidad donde se detallan todos los controles que deben implementarse en las diferentes etapas del proceso, como así también a las materias primas y producto final. Se especifican los valores de cada parámetro, la técnica empleada para su análisis, frecuencia de control, personal encargado de la toma de muestras y aquel designado para efectuar los ensayos correspondientes. Si el valor medido no se corresponde con el deseado, se aplican las medidas correctivas que correspondan.

En el ANEXO B se detallan las técnicas empleadas para los ensayos de laboratorio.

### 10.2.1. Sistema de control de materias primas

Las materias primas se examinan en el laboratorio general con el fin de verificar su identidad y determinar si cumplen con ciertas normativas establecidas. En este caso, el ácido clorhídrico y el agua necesaria en el proceso y para los servicios auxiliares son suministradas por planta general de ATANOR S.A con lo cual, sólo se nombran las técnicas y procedimientos de control que se aplican, mientras que sí se especifican en detalle las técnicas de control para el policloruro de aluminio.

Por otro lado, se examinan ciertos parámetros del aluminio reciclado en medias esferas con el fin de comprobar que los proveedores suministren un producto conforme a las especificaciones acordadas con anterioridad. Cabe aclarar que:

- ✓ Todos los métodos de análisis para HCl son equivalentes a los de la norma ASTM E224.
- ✓ Los métodos de análisis del agua se basan en APHA, AWWA, WEF "Standard Methods for examination of water and wastewater".

En la tabla 10-1 se presentan los puntos relevantes del plan de calidad para cada materia prima.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 10-1. Controles de calidad de la materia prima

Etapa	Producto	Parámetro	Valor	Técnica	Frecuencia	Registro	Responsable	Acción C/P
Recepción de la materia prima	Ácido clorhídrico (37%)	Acidez total	32-37%	IRAM 41103 ASTM E224	Por lote	RMP-01	Analista de laboratorio	Acondicionar
		Aspecto	Incoloro a levemente amarillo					Rechazar el lote
		Cloro libre	<10 µg/g					Acondicionar
		Hierro	<5 µg/g					Informar al proveedor
		Densidad	1,161 g/cm <sup>3</sup>					
		Sulfato	<0,005%					
		Flúor	<5 µg/g					
	Agua	Ph	7±1	APHA, AWWA	Por lote	RMP-02	Analista de laboratorio	Informar al proveedor. Rechazar el lote
		Color	Incolora					
		Dureza total	10-75 mg/l					
		Alcalinidad	50-150 mg/l					
		Conductividad	50-200 µS/cm					
		Cloruros	10-50 ppm					
	Aluminio en medias esferas	Peso	Especificado	En báscula	Por camión	RMP-03	Operario	Informar al proveedor. Rechazar el lote
		Densidad	2610 kg/m <sup>3</sup>	T-01	Por lote			
Diámetro		3 cm	Inspección visual	Por camión	Operario			
Presencia de material extraño		Ausencia						



### 10.2.2. Sistema del control del proceso productivo

Es necesaria la implementación de un plan de control de calidad en todo el proceso, debido a que existen variables influyentes en el desarrollo de todas las operaciones; se establecen los controles en distintos puntos del mismo, junto con las especificaciones que deben cumplirse para asegurar la idoneidad del producto terminado.

El control se establece sobre los puntos que se detallan a continuación, teniendo en consideración que se cuenta con un sistema de control automático integrado que permite el monitoreo de las variables críticas y además, la interrupción o corrección según sea el caso. A continuación se detallan los instrumentos para la medición de los diversos parámetros y en la tabla 10-2 y 10-3, los controles que se aplican en las etapas del proceso productivo.

- ✓ *Temperatura:* Se emplea un termistor, un sensor basado en la variación de la resistencia eléctrica que experimenta un material semiconductor cuando es sometido a un cambio de temperatura.
- ✓ *Presión:* Se utiliza un sensor de presión tipo diafragma, estos instrumentos miden la diferencia de presión cuando ésta actúa sobre un elemento elástico.
- ✓ *pH:* pH metro. Se emplea un electrodo de referencia de vidrio combinado; se genera un potencial que es proporcional a la concentración de iones de hidrógeno. El electrodo de vidrio posee las mejores características técnicas de medición posibles de todos los sensores que existen.
- ✓ *Velocidad de agitación:* Se utiliza un tacómetro, es un dispositivo que mide la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro de un motor. Se mide en revoluciones por minuto (rpm). Actualmente se utilizan con mayor frecuencia los tacómetros digitales, por su mayor precisión.
- ✓ *Caudal gaseoso:* Se mide mediante el uso de rotámetros, sensores para medir caudales. El flujo de fluido eleva el flotador en un tubo; la altura del flotador es directamente proporcional al caudal. Con los gases, la flotabilidad es despreciable y el flotador responde solo a la altura equivalente de velocidad.
- ✓ *Caudal líquido:* Se utiliza un caudalímetro electromagnético. El paso de un líquido conductor eléctrico a través de un campo magnético perpendicular al sentido de circulación del líquido, induce una tensión eléctrica, que es proporcional a la velocidad del líquido.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 10-2. Controles de calidad del proceso productivo

Etapa/Equipo	Parámetro	Punto de control	Valor/Rango	Técnica	Frecuencia	Registro	Responsable	Acción C/P
Molino M01	Diámetro de partículas de aluminio	Corriente B	0,3 cm	T-02	Cada 1,5 días	RM-04	Operario de turno	Calibrar equipo
Reactores R01A/B/C	Temperatura	Corriente de salida gaseosa	112 – 115°C	Control automático	Cada 2 hs	RR-05 A/B/C	Operario de turno	Ajuste de variable. Revisar aislante térmico
		Corriente de salida líquida						
	Presión	Interior de c/ reactor	1 atm		Cada 2 hs			Ajuste de variable
	pH	Corriente de salida líquida	2-3		Por lote			Corregir pH
	Velocidad de agitación	Interior de c/ reactor	78 - 80 rpm		Cada 2 hs			Regular variador de velocidad
	Caudal	Corriente de salida gaseosa	1009,5 m <sup>3</sup> /h		Por lote			Analizar registros y tomar medidas
		Corriente de salida líquida	3,6128 m <sup>3</sup> /h					
Intercambiador de calor I01	Temperatura	Corriente de salida	30±1°C	Control automático	Continuo	RI-06	Operario de turno	Regular caudal de agua de enfriamiento

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 10-3. Continuación de los controles de calidad del proceso productivo

<b>Etapa/Equipo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Punto de control</b>	<b>Valor/Rango</b>	<b>Técnica</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Registro</b>	<b>Responsable</b>	<b>Acción C/P</b>
Condensador-subenfriador I02	Temperatura	Corriente de salida L	35±1°C	Control automático	Continuo	RC-07	Operario de turno	Regular caudal de agua de enfriamiento
	Composición		HCl 11%	IRAM 41103 ASTM E224			Analista de laboratorio	Acondicionar
Filtro F01	Presión de operación	Equipo	5 kg/cm <sup>2</sup>	Control automático	Continuo	RF-08	Operario de turno	Regular presiones de entrada y salida

### **10.2.3. Sistema del control del producto terminado**

Es indispensable aplicar un plan de control de calidad al producto terminado, con el fin de proveer al cliente de un producto conforme a los estándares de calidad exigidos. Con el objetivo de alcanzar un índice de calidad uniforme, se fijan criterios de calidad, para lo cual se establecen patrones de referencia para cada determinación analítica; de esta manera, por comparación es posible estipular si el lote en cuestión cumple con los estándares definidos.

Las características físico químicas del policloruro de aluminio se delimitan de acuerdo a los requerimientos que debe cumplir, como coagulante para el tratamiento de aguas.

Todas las técnicas analíticas para el PAC se detallan en el ANEXO B y son extraídas de la norma ANSI/AWWA B408-98 (American Water Works Association).

- ✓ De los tres lotes de producción diarios se toma una muestra de cada uno de 250 ml manteniendo iguales condiciones para garantizar la precisión requerida.
- ✓ Se toman cantidades representativas del producto directamente en planta. (PEREZ, 2018)

Las muestras para los controles se toman del tanque de almacenamiento de PAC con el fin de verificar la calidad del producto almacenado y así determinar si se acepta o no el despacho del coagulante.

En la tabla 10-4 se presentan las características, límites de aceptación y métodos analíticos que deben aplicarse por normativa.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 10-4. Controles de calidad del producto terminado

Etapa	Producto	Parámetro	Valor/Rango	Técnica	Frecuencia	Registro	Responsable	Acción C/P	
Previo al despacho	Policloruro de aluminio (PAC 18)	Aspecto	Líquido claro amarillento	Inspección visual	Por lote	RPT-09	Analista de laboratorio	Registrar. Informar al jefe de calidad	
		pH	2-3	T-03				Notificar al jefe de calidad. Controlar registros anteriores. Revisar y calibrar los equipos. Rechazar lote.	
		Densidad	1,34 - 1,36 g/ml	T-04					
		Viscosidad	40±0,5 cP	T-05					
		Turbidez	<50 NTU	T-06					
		Contenido de Al <sup>+3</sup>	8,7-12,6%	T-07					
		Materia activa (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	17,5±0,5%	T-08					
		Cloruros	21±1,5%	T-09					
		Basicidad	38-44%	T-10					
		Fe y Mn	0,018-0,035 g/g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Absorción atómica					Informar al jefe de calidad. Determinar la causa por la cual no se cumple la especificación. Aplicar una medida correctiva.
		As, Pb y Cd	0,0006-0,0025 g/g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Absorción atómica					
		Cr y Ni	0,01-0,02 g/g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Absorción atómica					

#### **10.2.4. Procedimiento de control de producto no conforme (ISO 9001)**

La organización debe asegurarse de que el producto que no sea conforme con los requisitos, se identifique y controle para prevenir su uso o entrega no intencional. En cada una de las etapas del proceso de producción se llevan a cabo actividades de verificación y control del trabajo realizado, que pueden dar como resultado la detección de estos productos. Un producto no conforme, es todo aquel que no cumple con alguno de los requisitos determinados por el sistema de gestión de calidad. Ante una no conformidad, la organización debe seguir las siguientes pautas:

- ✓ Determinar qué unidades de productos son clasificados como no conformes.
- ✓ Documentar la existencia de las no conformidades, especificando en qué unidades de producto, máquinas de producción o lotes se han producido las irregularidades; se deberá incluir responsable de la identificación y la fecha, área involucrada, descripción y análisis.
- ✓ Evaluar la naturaleza de la no conformidad.
- ✓ Notificarlo al responsable del proceso, la persona que identifica el producto en cuestión notifica de forma verbal o escrita al jefe de producción, que junto al jefe de calidad analizan los motivos de no conformidad.
- ✓ Decidir la acción a llevar a cabo, el jefe de producción deberá decidir el tratamiento a aplicar y derivar si fuese necesario su ejecución. Las posibles acciones son rechazar el producto no conforme o corregir el producto si fuese posible.

#### **10.3. Registros**

Los controles que se llevan a cabo, junto a los resultados de los análisis, se registran en las planillas de control que se muestran en el ANEXO B. Los registros se envían al Departamento de Calidad donde se desarrollan los análisis estadísticos que correspondan.

#### 10.4. Bibliografía

- **American Water Works Association (AWWA).** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <https://www.awwa.org/>.
- **Caudalímetros electromagnéticos.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <https://tecfluid.com/caudalimetros-electromagneticos-en-linea-o-insercion/>.
- **Control de Calidad.** [Citado el: 31 de Octubre de 2018.] <https://debitoor.es/glosario/definicion-control-calidad>.
- **Control de calidad en las empresas.** [Citado el: 1 de Noviembre de 2018.] <https://www.emprendepyme.net/control-de-calidad-en-las-empresas>.
- **Control de producto no conforme.** [Citado el: 9 de Noviembre de 2018.] <http://iso9001calidad.com/control-de-producto-no-conforme-177.html>.
- **Electrodos de pH.** [Citado el: 6 de Noviembre de 2018.] <http://www.academiatesto.com.ar/cms/los-electrodos-de-ph>.
- **PEREZ, Adelson. 2018.** *Evaluación de la influencia del grado de polimerización del PAC como coagulante primario en el tratamiento de aguas.* Valencia : Universidad de Carabobo, 2018.
- **Rotámetro.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <https://es.omega.com/prodinfo/rotametros.html>.
- **Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>.
- **Tacómetro.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Tacometro>.

---

# TRATAMIENTO DE EFLUENTES

---

CAPÍTULO 11



## **11. TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

### **11.1. Introducción**

Las aguas residuales industriales, son aquellas que no poseen un valor inmediato respecto al fin para el que se utilizaron inicialmente debido a su calidad degradada; deben ser tratadas adecuadamente de manera tal que no produzcan ningún tipo de contaminación al medio ambiente y en consecuencia, a los seres vivos.

Un tratamiento para aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos que tiene como fin eliminar los contaminantes presentes en el efluente. El objetivo del mismo es producir un efluente tratado o reutilizable y un residuo sólido conveniente para su disposición o reúso. Para determinar qué tipo de proceso utilizar es necesario caracterizar al efluente; entre los parámetros más importantes se encuentran el aspecto, el color, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el pH, el olor, la turbiedad, el contenido de sólidos, entre otros. (RAMALHO, 1996)

Además, se debe tener en cuenta el cumplimiento de los requisitos establecidos en la ley nacional 26.221 “Reglamentación de estándares y normas sobre vertidos para la preservación del recurso hídrico provincial” Anexo Único, Decreto 847 de Julio del 2016 (Provincia de Córdoba) y el correspondiente a nivel municipal de la ciudad de Río Tercero. En este capítulo, se detallan los tratamientos de los efluentes líquidos, sólidos y gaseosos derivados de la síntesis de policloruro de aluminio; dependiendo de las características de los mismos, se selecciona el proceso más apropiado con el fin de minimizar el impacto ambiental.

### 11.2. Perfil ambiental de la ciudad

Río Tercero es fruto del crecimiento y desarrollo de su polo químico conformado por sus tres fábricas más relevantes, Petroquímica Río Tercero S.A., Fábrica Militar Río Tercero y ATANOR S.A, con una superficie cubierta de 450 hectáreas aproximadamente, ubicadas a 2.000 metros del radio céntrico de la ciudad.

Por presentar este perfil industrial, es necesario que se desarrollen de manera permanente determinados procesos para controlar y asegurar a la población la calidad del agua, suelo y aire, tras el desarrollo de las actividades fabriles. Es por ello, que la ciudad cuenta con determinados controles planificados que se encuentran a cargo de la Secretaría de Protección Civil y Medio Ambiente Municipal. Las actividades más significativas que se desarrollan en materia ambiental son las siguientes:

- ✓ Monitoreo de emisiones líquidas y gaseosas.
- ✓ Control de la calidad de los cuerpos receptores (río, atmósfera).
- ✓ Medición y control de las emisiones sonoras (sólo por reclamo).
- ✓ Inspecciones a empresas para verificar el cumplimiento de la legislación vigente. Inspecciones al Polo Químico.
- ✓ Inspección de depósitos transitorios de residuos patógenos.
- ✓ Relevamiento de antenas ubicadas en el tejido urbano.
- ✓ Seguimiento de basurales clandestinos.
- ✓ Sistema de Gestión de Reducción del Uso de Bolsas de Polietileno.
- ✓ Atención a reclamos.

### 11.3. Tipos de tratamiento

El grado de tratamiento requerido para un efluente líquido depende fundamentalmente de los límites de vertido y la eficiencia de la remoción de los contaminantes. A partir de ello, existen tres niveles de tratamiento de los fluidos vertidos: tratamiento primario, secundario y terciario. El primero se utiliza para la eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes; el segundo comprende tratamientos biológicos convencionales, mientras que el último supone la eliminación de contaminantes que no se remueven con los tratamientos biológicos convencionales. (RAMALHO, 1996)

En la tabla 11-1 se diferencian los tipos de tratamientos y las operaciones correspondientes a cada uno.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 11-1. Tipos de tratamientos

<b>Tratamiento primario</b>	Cribado Sedimentación Flotación Separación de aceites Homogeneización Neutralización
<b>Tratamiento secundario</b>	Lodos activos Aireación prolongada Estabilización por contacto Lagunaje con aireación Estabilización por lagunaje Filtros biológicos Discos biológicos Tratamientos anaerobios
<b>Tratamiento terciario</b>	Micro tamizado Filtración Precipitación y coagulación Adsorción (carbón activado) Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodialisis Cloración y ozonización Proceso de reducción de nutrientes

Además las operaciones se pueden clasificar según sean tratamientos físicos, químicos o biológicos. Los físicos son aquellos en los que intervienen fenómenos de dicha índole, aunque muchos se aplican como pretratamientos. En los químicos, la eliminación de los contaminantes se efectúa mediante la adición de determinados reactivos químicos con propiedades específicas, que interactúan con los compuestos presentes en los efluentes. Por último, en los biológicos se emplean microorganismos que digieren la materia orgánica presente en los efluentes; generalmente se utilizan bacterias que consumen las sustancias presentes en los líquidos residuales como nutrientes, generando masa celular y excretando otros compuestos más livianos como gases. En la tabla 11-2 se caracterizan las operaciones según sea el tratamiento físico, químico o biológico.

Tabla 31-2. Caracterización de las operaciones según el tratamiento

<b>Tratamiento físico</b>	Adsorción Desorción Evaporación Extracción líquido-líquido Filtración Flotación natural o provocada por el aire Homogeneización y equalización de caudales Intercepción de aceites y grasas Remoción de sólidos mediante enrejado Sedimentación Tratamiento con membranas
<b>Tratamiento químico</b>	Coagulación-floculación Intercambio iónico Neutralización Oxidación-reducción Precipitación química Reducción electrolítica
<b>Tratamiento biológico</b>	Lagunas anaeróbicas Laguna aeróbicas Lagunas aireadas Lagunas facultativas Lodos activos Filtros bacterianos Biodiscos

#### 11.4. Normativa sobre el vertido de efluentes

La normativa correspondiente al tratamiento de efluentes se extiende a nivel nacional, provincial y en muchos casos, municipal; cada una establece los límites máximos según el parámetro controlado, en base a la ley nacional 26.221. Según esta ley, se entienden como desagües industriales a aquellos líquidos efluentes resultantes de procesos productivos de carácter industrial, que deben adecuarse a las normas de calidad establecidas en el correspondiente Marco Regulatorio para ser recibidos en el sistema cloacal.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

En la tabla 11-3 se detallan los límites de los parámetros establecidos por la ley nacional; la descarga a cuerpo receptor esta monitoreado por el ente regulador.

Tabla 11-3. Límites establecidos para el vertido de aguas a nivel nacional

Parámetro	Desagües a cuencas	Descarga a cuerpo receptor		
		Sin tratamiento	Con tratamiento primario	Con tratamiento secundario
pH	5,5 – 10	6,5 – 8	6,5 – 8	6,5 – 8
Sustancias solubles en éter [mg/l]	100	100	100	100
Sulfuros [mg/l]	1	-	-	1
Temperatura [°C]	45	45	45	45
DBO sobre muestra bruta [mg/l]	200	300	180	30
DQO	-	-	-	125
Oxígeno consumido en KMgO <sub>4</sub> sobre muestra bruta [mg/l]	80	120	70	-
MES [mg/l]	-	-	-	35
Cianuros totales [mg/l]	1	1	1	1
Cianuros destructibles por cloración [mg/l]	0,1	0,1	0,1	0,1
Hidrocarburos totales [mg/l]	50	100	100	50
Cromo III [mg/l]	2	2	2	2
Cromo VI [mg/l]	0,2	0,2	0,2	0,2
SRAO detergentes [mg/l]	5	5	5	3
Cadmio [mg/l]	0,1	0,1	0,1	0,1
Plomo [mg/l]	0,5	0,5	0,5	0,5
Mercurio [mg/l]	0,005	0,005	0,005	0,005
Arsénico [mg/l]	0,5	0,5	0,5	0,5
Sustancias fenólicas [mg/l]	0,5	0,5	0,5	0,005

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

El decreto 847 de la provincia de Córdoba establece en el anexo I los estándares de calidad para vertido de los efluentes líquidos, especificando cuando los mismos sean a cuerpos de aguas superficiales.

### 11.5. Caracterización de los efluentes de la planta de policloruro de aluminio

La planta de producción de policloruro de aluminio no genera grandes cantidades de efluentes como otras industrias químicas; por tales motivos se derivan los líquidos residuales generados a las instalaciones de ATANOR S.A para su correspondiente tratamiento. No se justifica el diseño de un sector particular para tratamiento de efluentes. En la tabla 11-4 se detallan los tipos de efluentes generados en la planta.

Tabla 11-4. Efluentes de la planta de PAC

Etapa	Tipo de efluente	Composición
Reacción	Gaseoso	Vapor de agua, cloruro de hidrógeno e hidrógeno
	Líquido	Agua de lavado
Filtración	Sólido	Escorias
	Líquido	Agua de lavado

### 11.6. Tratamiento de efluentes generados en la etapa de reacción

Durante la etapa de reacción química, el efluente gaseoso generado es una corriente compuesta por vapor de agua, hidrógeno y cloruro de hidrógeno. Debido a las características físico químicas de la misma, no debe ser liberada al medio ambiente; se decide entonces tratarla con el objetivo de que se generen dos corrientes de utilidad. El equipo empleado para tal fin es un condensador subenfriador vertical, donde se produce la condensación del agua junto con la solubilización del cloruro de hidrogeno, generando de esta manera una corriente líquida de ácido clorhídrico diluido al 11% y, una gaseosa compuesta por hidrógeno.

Se originan de esta manera dos corrientes beneficiosas, la compuesta por el ácido clorhídrico al 11% que se recircula al proceso como materia prima, lo que conlleva a la reducción del empleo de ácido clorhídrico al 37% y agua para la reacción; mientras que el hidrógeno se deriva a ATANOR S.A mediante un soplador, para aprovecharlo como combustible. En la tubería que lo transporta se instalan las válvulas de seguridad correspondientes, debido a que es un producto inflamable.

Esta alternativa reduce notablemente el impacto ambiental, al mismo tiempo que permite el ahorro de agua para uso en la etapa de reacción química. A continuación se detallan efectos adversos del cloruro de hidrógeno para la salud y el medio ambiente.

### ✓ Riesgos para el medio ambiente

El cloruro de hidrógeno, se utiliza sólo por la industria en sistemas cerrados en condiciones de estricto control y confinamiento, por lo que, normalmente no se prevé de emisiones al medio ambiente. Las aguas residuales industriales que contienen ácido clorhídrico se neutralizan mediante la adición de álcalis, para dar una solución neutra, que puede ser vertida de forma segura.

Cuando sea posible, se deben realizar procedimientos de reciclaje. Los desechos que contengan este material se deben tratar y neutralizar en una planta de tratamiento de residuos. Cuando no se pueda recuperar o reciclar se debe tratar como un desecho peligroso y se debe enviar a instalaciones aprobadas para su disposición.

### ✓ Riesgos para la salud humana

La sustancia, tanto en forma de gas como de solución acuosa, es un ácido fuerte y por tanto extremadamente corrosivo para los tejidos humanos. La exposición a ácido puede causar quemaduras graves a los ojos sin protección y a la piel. La inhalación del gas y vapores puede causar irritación y, en casos extremos, puede provocar un edema pulmonar y la muerte.

El segundo efluente generado en esta etapa es agua remanente de lavado. Los caudales de este residuo no son regulares debido a que se trata de agua proveniente de limpieza CIP; el líquido del lavado previo se emplea en el lavado posterior. Por lo tanto, la renovación de un cierto porcentaje de agua se realiza de manera tal, que la corriente residual se envíe a la planta de tratamiento de efluentes de ATANOR S.A provista por SPUR AMBIENTAL S.R.L.

### **11.7. Tratamiento de efluentes generados en la etapa de filtración**

En la etapa de filtración se generan efluentes sólidos y líquidos. La corriente de sólidos (1600 kg/día aproximadamente) está compuesta por restos de partículas de aluminio, un pequeño porcentaje líquido y el coadyuvante empleado en el filtro. Debido a que no es posible su reutilización en el proceso en cuestión se deben optar otras alternativas; el residuo sólido puede ser considerado como relleno de suelos (residuo sólido urbano) o para incineración (residuo peligroso). Una alternativa es depositar la escoria en bolsas

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

permeables (big bags) para permitir el drenaje de líquido restante; estas bolsas deben colocarse directamente sobre una superficie preparada para la eliminación del exceso de líquido. Debido al tejido de las mismas, el avenamiento inicial se puede dar en una cuantas horas pudiendo concentrar hasta 15% de sólidos, pasado ese tiempo, la deshidratación final podría tardar entre 8 a 10 días. (RAMALHO, 1996). El sólido es incinerado, mientras que el líquido drenado junto con el resto del líquido de lavado del filtro (efluente) es enviado a la planta de tratamiento de efluentes de ATANOR S.A. Otra opción es depositar en tanques de pequeños volúmenes los residuos para enviarlos directamente al incinerador, ya que el efluente no presenta un alto porcentaje de líquido residual.

### 11.8. Parámetros evaluados de los efluentes líquidos vertidos por la industria

La industria química ATANOR S.A genera efluentes líquidos industriales derivados de sus diferentes plantas de producción, que tras los correspondientes tratamientos son vertidos al río Ctalamochita (agua superficial) mediante una cámara de salida abierta, en donde se miden los siguientes parámetros de control:

- ✓ pH (entre 6 y 9 según el decreto 415/99).
- ✓ Oxígeno disuelto (<20 mg/l).
- ✓ Conductividad y turbiedad.
- ✓ Temperatura (<40°C).
- ✓ Sólidos disueltos totales.
- ✓ Aspecto (color y olor).

En la tabla 11-5 se detallan los valores correspondientes a una muestra de agua superficial.

Tabla 11-5. Parámetros de la cámara de salida de ATANOR S.A

ATANOR S.A	
Parámetro	Valor
pH	7,70
Oxígeno disuelto [mg/l]	7,74
Temperatura [°C]	26,34

Se puede observar que los valores especificados en la tabla 11-5 se encuentran dentro de los límites permitidos por la ley nacional (tabla 11-3).



### 11.9. Bibliografía

- **Cloruros.** [Citado el: 9 de Noviembre de 2018.] <http://www.prtr-es.es/Cloruros-CI-total,15666,11,2007.html>.
- **Decreto N°847 Córdoba.** [Citado el: 7 de Noviembre de 2018.] <https://docplayer.es/63441943-Decreto-n-847-cordoba-13-de-julio-de-2016.html>.
- **Ercros. 2015.** *Cloruro de hidrógeno. Ácido clorhídrico. Resumen Seguridad.* s.l. : Compromiso de la industria química con el desarrollo sustentable, 2015.
- **Normas mínimas de calidad del agua.** [[Citado el: 9 de Noviembre de 2018.] <http://mepriv.mecon.gov.ar/Normas/26221.htm>.
- **Perfil ambiental y ecológico. 2009.** *Plan estratégico de la ciudad de Río Tercero.* 2009.
- **RAMALHO, R S. 1996.** *Tratamiento de aguas residuales.* s.l. : Reverte, 1996.
- **SPUR Ambiental.** [Citado el: 3 de Noviembre de 2018.] <http://www.spurambiental.com.ar/>.
- **Tratamiento de aguas residuales.** [Citado el: 1 de Noviembre de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales).

---

# INSTALACIONES CIVILES

---

CAPÍTULO 12

## **12. INSTALACIONES CIVILES**

### **12.1. Introducción**

En el presente capítulo se describen las obras civiles a realizar en el terreno seleccionado, donde se instalará la planta de producción de policloruro de aluminio. Se detalla además, la distribución física de todas las áreas que la conforman y se confecciona el layout de los equipos involucrados en el proceso productivo.

La distribución física tiene muchas consecuencias prácticas y estratégicas, adicionalmente facilita el flujo de materiales, aumenta la eficiencia en la implementación de mano de obra y equipos, al mismo tiempo que reduce los riesgos y peligros para los trabajadores. La selección del tipo de distribución depende en gran parte de la logística de flujo que elija la empresa; para la producción de policloruro de aluminio se opta por una repartición híbrida, donde se combinan enfoques de productos y procesos. La elaboración de productos a partir de materias primas posee un flujo flexible, mientras que la purificación final de los mismos tiene flujo de línea. (KRAJEWSKI, y otros, 2013)

### **12.2. Requisitos de espacio**

En el capítulo 4 (Localización de la planta de producción) se determina que la planta de PAC se encontraría anexada a los terrenos de ATANOR S.A, lo cual significa que geográficamente se localiza en el predio de la ciudad de Río Tercero, Córdoba.

El área disponible para la construcción está limitada por la superficie cubierta de las demás plantas industriales. El predio cuenta con un espacio de más de 200.000 m<sup>2</sup>, de los cuales 33.863 m<sup>2</sup> los abarcan las respectivas plantas de elaboración de productos químicos, actualmente en funcionamiento.

En la figura 12-1 se observa una vista aérea del predio general de ATANOR S.A en Río Tercero, Córdoba.



Figura 12-1. Vista aérea de la industria ATANOR S.A (Fuente: Google Earth)

### 12.3. Descripción general del establecimiento

La empresa ATANOR S.A cuenta con una entrada principal al predio a partir de la cual se puede acceder a las diferentes plantas de producción. Además dispone de una balanza industrial para el pesaje de los camiones que ingresan al mismo.

El terreno seleccionado dentro del predio se encuentra delimitado en la figura 12-2. Sus dimensiones son de 71 m x 27,5 m. Dentro de las mismas se encuentra la planta de producción (tanto el área industrial como la administrativa), el área de servicios auxiliares, calles internas (junto con una rotonda) para facilitar el ingreso de los camiones y una sección de 16 m x 17 m para una posible expansión de la planta. La localización de la planta es geográficamente estratégica, debido a la cercanía con las rutas nacionales y al fácil acceso por las calles internas del predio industrial.

Las consideraciones a tener cuenta para la selección del terreno son las siguientes:

- ✓ Maximizar la funcionalidad de cada sector y de la planta en su totalidad.
- ✓ Minimizar el área cubierta y los desplazamientos de vehículos y personal.
- ✓ Tener en cuenta futuras ampliaciones e incorporaciones de equipos.
- ✓ Promover una eficiente comunicación entre las áreas y las personas que allí se encuentran.
- ✓ Facilitar el flujo de corrientes y de información.



Figura 12-2. Terreno seleccionado para construir la planta de policloruro de aluminio (Fuente: Google Earth)

Como puede observarse en la figura 12-2 la planta industrial está orientada hacia el sur.

### 12.4. Descripción de las áreas

El proceso de producción del polímero puede dividirse netamente en dos sectores el de producción y el de purificación. Los mismos no requieren de demasiadas restricciones por lo que se los puede ubicar de manera contigua. En particular, debe separarse el sector de depósito de materias primas líquidas de las sólidas, ya que para esta última es necesario un pretratamiento antes de su correspondiente empleo en la reacción química.

La instalación además debe contar con las salas mínimas requeridas por el personal, siendo éstas vestuarios, baños, oficina administrativa y un laboratorio equipado para realizar las determinaciones de control de calidad del producto (únicamente para pruebas específicas, ya que las demás determinaciones se realizan en el laboratorio general de ATANOR S.A).

Se prevé compartir sector con la industria general, ya que no se justifica la creación de nuevas instalaciones en lo que concierne la cocina, sala de descanso de personal, taller de mantenimiento, planta de tratamiento de efluentes, laboratorio general y estacionamiento. El predio cuenta con servicios de energía eléctrica, agua, red de efluentes cloacales e industriales, red de comunicaciones (teléfono, internet), control de

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

ingreso y seguridad; por lo que se realizarán las bajadas de líneas correspondientes según los requerimientos.

Al planificar la distribución, se busca optimizar el manejo de materiales, de manera tal que la línea principal de proceso recorra siempre distancias cortas. Además para facilitar el mantenimiento de equipos, se tienen en consideración los espacios adecuados y accesos a todas las unidades. (KRAJEWSKI, y otros, 2013)

En la tabla 12-1 se detallan los sectores necesarios para montar la planta de producción del polímero. Se toman en cuenta las dimensiones específicas de cada equipo y se dejó espacio suficiente para la circulación en forma de corredores y accesos. No se detallan en la tabla los pasillos, ni rotonda y calles internas establecidas para facilitar el paso de los camiones.

Mientras que en la figura 12-3 se esquematiza una representación de las áreas de la planta, incluyendo en sector de servicios auxiliares. Cabe destacar que la figura es descriptiva, no se encuentra a escala.

Tabla 12-1. Dimensiones de áreas requeridas

Sector	Características	Dimensiones [m x m]	Área [m <sup>2</sup> ]
I	Almacenamiento de materias primas	7 x 19	133
	Tratamiento de gases		
II	Pretratamiento y almacenamiento de materias primas sólidas	6 x 16,5	99
III	Sector de producción y purificación	9 x 17,5	157,5
IV	Almacenamiento de producto terminado	7 x 8,5	59,5
V	Baños	2 x 3	6
		2 x 2	4
		2 x 2	4
VI	Vestuarios	6 x 8	48
VII	Oficina administrativa	6 x 4	24
VIII	Laboratorio	6 x 4	24
IX	Servicios auxiliares	12 x 13	156

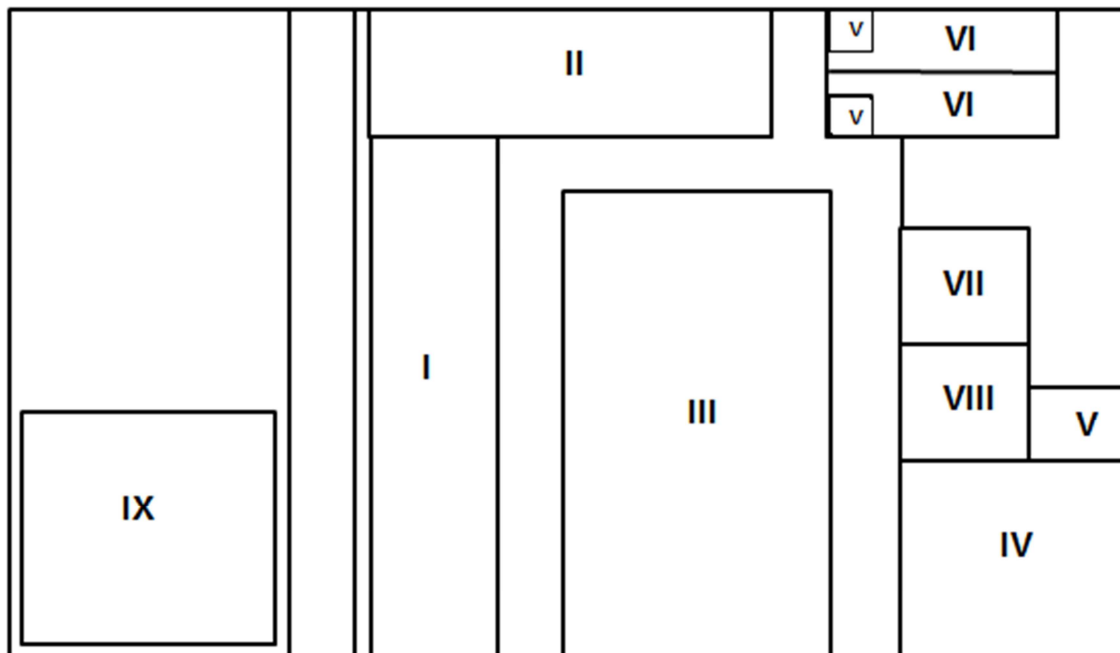


Figura 12-3. Esquema representativo de las áreas de la planta

#### 12.4.1. Sector I

##### *Almacenamiento de materias primas y tratamiento de gases*

Este sector está dedicado al almacenamiento de las materias primas en estado líquido requeridas para el proceso de producción, junto con el equipamiento necesario para tratar los gases de salida del reactor, lo cual conlleva a optimizar el proceso en términos económicos y ambientales, con la consecuente generación de ácido clorhídrico diluido al 11%, que es recirculado al reactor.

Las características constructivas de esta área son las siguientes:

- ✓ Los pisos son de hormigón con endurecimiento de superficie para obtener resistencia a la carga de los equipos y tanques.
- ✓ La distancia entre los tanques de almacenamiento es de 1,5 m con la finalidad de permitir el paso de hombre y facilitar de esta manera las tareas de mantenimiento.
- ✓ El equipo empleado en el tratamiento de gases (condensador-subenfriador) se encuentra a 2 m de distancia del tanque de almacenamiento más próximo.

En la figura 12-4 se visualiza un esquema representativo del sector; los tanques de almacenamiento se representan con un círculo, mientras que el condensador-subenfriador con un cuadrado. Cabe aclarar que no se encuentra a escala, es solamente con fines ilustrativos.

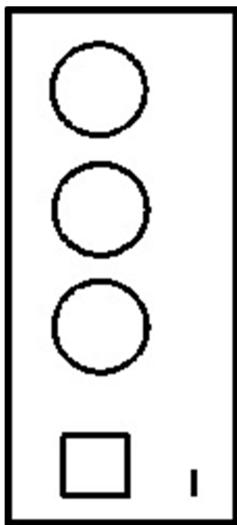


Figura 12-4. Esquema representativo del sector I

### 12.4.2. Sector II

#### *Pretratamiento y almacenamiento de materias primas sólidas*

Este sector se localiza en un área distinta al de la materia prima líquida, ya que las partículas sólidas necesitan de un pretratamiento antes de ser utilizadas en el proceso de producción. En este caso, el sector es cubierto debido a las posibles interferencias ambientales (polvos, insectos o cualquier otro contaminante) durante la etapa de molienda. El mismo incluye las tolvas de almacenamiento de las partículas sólidas, el molino de martillo y los transportes de sólidos (helicoidal y neumático).

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, las características constructivas son las siguientes:

- ✓ Los pisos son de hormigón con endurecimiento de superficie para obtener resistencia a la carga de los equipos, revestidos y pintados con pintura epóxica. Poseen declive, rejilla y desagües para facilitar la limpieza del sector.
- ✓ Las paredes externas son de bloques de hormigón (19 x 19 x 39 cm) revocadas y pintadas con pintura epóxica del lado interno. Por otro lado las paredes interiores son de ladrillo común macizo de 15 cm, al igual que las externas, revocadas y pintadas.



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

- ✓ La distancia de los equipos a las paredes es de 1,5 m, mientras que la distancia entre los equipos es la correspondiente a los transportes helicoidal y neumático (4 m y 3,5 m).
- ✓ Los techos son de chapa de zinc a dos aguas y poseen los desagües pluviales de PVC.
- ✓ La ventilación consiste en rejillas con mallas metálicas para prevenir el ingreso de insectos.
- ✓ Posee una puerta de acceso interna y un portón corredizo hacia el lado exterior para la carga de la tolva de almacenamiento primaria.

A continuación en la figura 12-5 se representa el sector en donde los círculos simbolizan las tolvas de almacenamiento, el cuadrado el molino y las conexiones entre los mismo los respectivos transportes.

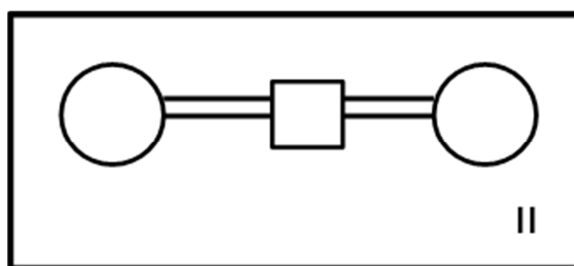


Figura 12-5. Esquema representativo del sector II

### 12.4.3. Sector III

#### *Sector de producción y purificación*

Este sector incluye las zonas de producción y de purificación. En la primera se encuentran los reactores batch en donde se lleva a cabo la síntesis del policloruro de aluminio; mientras que en la segunda zona se ubican los equipos empleados para su purificación (intercambiador de calor y filtro).

Las características constructivas de este sector se detallan a continuación:

- ✓ Los pisos son de hormigón con endurecimiento de superficie para obtener resistencia a la carga de los equipos, revestidos y pintados con pintura epóxica; además cuentan con declive, rejilla y desagües.
- ✓ Las paredes externas son de bloques de hormigón (19 x 19 x 39 cm) revocadas y pintadas con pintura epóxica del lado interno. Por otro lado, las paredes interiores de ladrillo común macizo de 15 cm, revocadas y pintadas.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- ✓ Los ángulos de unión entre piso y pared son redondeados para facilitar la limpieza y evitar la acumulación de suciedad.
- ✓ El techo del sector como en el caso anterior es de chapa de zinc a dos aguas y con desagües pluviales de PVC.
- ✓ La distancia entre los reactores (sector de producción) es una vez y medio el diámetro del cada equipo, siendo éste valor de 2,43 m. Mientras que entre los equipos de purificación es una vez y medio el largo del filtro prensa (4,43 m).
- ✓ La distancia de cada equipo a la pared es de 1,5 m para facilitar la limpieza y mantenimiento en el sector.
- ✓ La ventilación consiste en rejillas con mallas metálicas para prevenir el ingreso de insectos.
- ✓ Cuenta además con una puerta para ingreso al sector, un portón corredizo para despachar la escoria del filtro y ventanas internas.

Seguidamente en la figura 12-6 se representan los equipos involucrados en el sector, con círculos, los reactores mientras que con rectángulos los equipos de la zona de purificación.

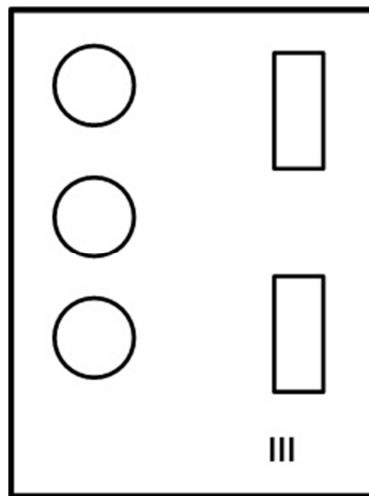


Figura 12-6. Esquema representativo del sector III

#### **12.4.4. Sector IV**

##### *Almacenamiento de producto terminado*

Este sector cuenta únicamente con el tanque de almacenamiento final del policloruro de aluminio, además presenta con un acceso sencillo y estacionamiento para el camión que despacha el producto en cuestión. Esta área se encuentra a la intemperie y sus características se describen a continuación:

- ✓ La distancia del tanque de almacenamiento a las paredes es de 1,5 m para facilitar la circulación y tareas de limpieza.
- ✓ El piso es de hormigón con endurecimiento de superficie para obtener resistencia a la carga.

#### **12.4.5. Sector V**

##### *Baños*

La planta cuenta con tres baños, dos anexados a cada vestuario (femenino y masculino) y un tercero que se encuentra en las proximidades del ingreso al edificio para que sea de utilidad al personal de oficina o para terceros.

Las características de los mismos son:

- ✓ Las paredes externas son de bloques de hormigón (19 x 19 x 39 cm) revestidas del lado interior y con los azulejos hasta 1,5 m, el resto con pintura epóxica. Por otro lado las paredes interiores son de ladrillo común macizo de 15 cm, revocadas, revestidas del lado interior con azulejos hasta 1,5 m y el resto es de pintura epoxi.
- ✓ Los pisos son de hormigón revestidos con baldosas cerámicas esmaltadas antideslizantes y cuentan además con rejilla para el desagüe.
- ✓ La ventilación consiste en rejillas con mallas metálicas para prevenir el ingreso de insectos.
- ✓ Las aberturas son de aluminio, de hoja simple (70 cm, abren hacia afuera).
- ✓ El baño masculino incluye mingitorio.

### 12.4.6. Sector VI

#### *Vestuarios*

El sector de vestuarios está destinado para el cambio de ropa civil por la de trabajo de los operarios y personal de laboratorio; presenta bancos y armarios dobles (lockers metálicos). Se encuentra en las proximidades del ingreso del edificio general de la planta.

Las condiciones de esta área son las enunciadas a continuación:

- ✓ Las paredes externas son de bloques de hormigón (19 x 19 x 39 cm) y revocadas del lado interno con pintura epóxica; mientras que las interiores son de ladrillo común macizo de 15 cm e igualmente revocadas y pintadas.
- ✓ Los pisos son de hormigón revestidos con baldosas cerámicas esmaltadas antideslizantes y cuentan con rejilla para el desagüe.
- ✓ La ventilación consiste en rejillas con mallas metálicas para prevenir el ingreso de insectos.
- ✓ Las aberturas son de aluminio, de hoja simple (70 cm, abren hacia afuera).
- ✓ Las dimensiones de los lockers son 1,85 m de alto, 27 cm de ancho y 50 cm de profundidad por cada dos puertas (las necesarias para cada operario), los mismos son de chapa de acero reforzada con patas sanitarias con tratamiento anticorrosivo.
- ✓ Los bancos son de chapa perforada de hierro con el acabado en pintura poliéster. Pueden ser de 1 a 4 cuerpos midiendo de 50 cm a 2 metros de largo.

### 12.4.7. Sector VII

#### *Oficina administrativa*

La planta cuenta con una oficina administrativa en las proximidades del ingreso para facilitar el acceso de personas ajenas a la industria. Las características constructivas de las mismas son las siguientes:

- ✓ Las paredes interiores son de ladrillo común macizo de 15 cm, revocadas y pintadas con látex blanco.
- ✓ Los pisos son de hormigón revestidos con baldosas cerámicas esmaltadas antideslizantes.
- ✓ La puerta de la oficina incluye vidrio esmerilado, también cuenta con ventanas internas.

### 12.4.8. Sector VIII

#### *Laboratorio*

La planta de producción del policloruro de aluminio cuenta con un pequeño laboratorio destinado a la realización de pruebas estándares de calidad; de ser necesario alguna otra determinación se emplea el laboratorio general de ATANOR S.A.

La misma cuenta con lo siguiente:

- ✓ Los pisos son de hormigón revestidos con baldosas cerámicas esmaltadas con antideslizantes y cuentan con rejilla para el desagüe; además de que deben ser resistentes a los productos químicos.
- ✓ Las paredes externas son de bloques de hormigón (19 x 19 x 39 cm) revestidas con azulejos hasta 1,5 m y pintura epóxica del lado interior. Mientras que las paredes interiores son de ladrillo común macizo de 15 cm, recovadas, revestidas con azulejos 1,5 m y luego con pintura epóxica.
- ✓ Los ángulos de uniones deben ser redondeados para facilitar la limpieza y evitar la acumulación de suciedad.
- ✓ Sistema de ventilación para la renovación de aire mediante rejillas con mallas metálicas que impiden el ingreso de insectos.
- ✓ Las puertas deben abrir hacia el exterior, su altura máxima debe ser desde el suelo al techo y su ancho recomendable es de 90 a 120 cm.
- ✓ Debe contar además de una zona equipada con ducha y lavajojos para casos de emergencias.

### 12.4.9. Sector IX

#### *Servicios auxiliares*

Esta sección contempla los tanques de reposición de agua y para limpieza CIP, compresor de aire y enfriadores para el agua de circuito. Dicho sector debe localizarse de manera estratégica en las cercanías de las áreas que necesitan abastecerse de tales servicios. El sector I requiere de agua de enfriamiento, el sector II de aire y el sector III de agua de enfriamiento, limpieza y además se tiene en cuenta que en dicho sector concluye transporte neumático del aluminio molino. Cabe destacar que los compresores se encuentran protegidos por un tinglado de chapa de zinc; mientras que el resto de los equipos se encuentran a la intemperie.

Las características constructivas son las siguientes:

- ✓ Los pisos son de hormigón con endurecimiento de superficie para obtener alta resistencia frente a la carga.
- ✓ El espaciado entre cada equipo es de 1,5 m, distancia mínima para permitir el paso de hombre y tareas de mantenimiento, cuando sean necesarias. Además presentan fácil acceso en caso de que sea necesario la reposición de algún equipo.

En la figura 12-7 se visualiza un esquema representativo de la distribución de los equipos que se encuentra en el área de servicios auxiliares. Se simbolizan los tanques de almacenamiento con círculos, los enfriadores de agua con rectángulos y los compresores con triángulos.

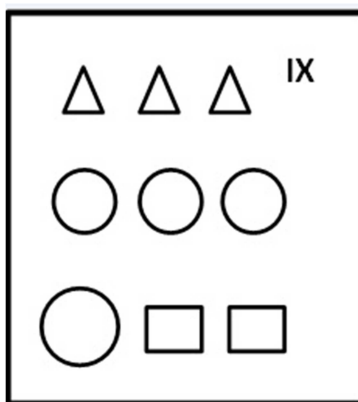


Figura 12-7. Esquema representativo del sector IX

### 12.4.10. Sectores adicionales

Los sectores no descriptos en las secciones anteriores son los pasillos, las calles internas del terreno, la rotonda y el terreno considerado para una posible expansión a futuro. Las características constructivas de los pasillos dependen de su ubicación; los pasillos industriales poseen los pisos de hormigón con endurecimiento de superficie y sus paredes varían según sean externas o internas. Los techos son de chapa de zinc a dos aguas y con los desagües pluviales de PVC. Las calles internas de la planta para la circulación de los camiones son de cemento, también se considera la calle previa al ingreso de la planta de PAC. La rotonda forma parte del sistema de circulación. El terreno seleccionado para una futura expansión no posee ningún tipo de construcción civil.

### 12.5. Bibliografía

- *Consideraciones para el diseño de laboratorios en la industria química.* **Rodríguez Méndez, Manuel y Cárcel Carrasco, Francisco Javier.** Revista de investigación 3 CIENCIAS: Área de investigación y desarrollo.
- **KRAJEWSKI, Lee y RITZMAN, Larry. 2013.** *Administración de las organizaciones.* s.l. : 8va Edición. Pearson, 2013.
- **Lockers.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <http://fabricadelockers.com/guardarropas/>.
- **Productos banco.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] <http://www.nomen.com.ar/productos/banco->.

---

# ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

CAPÍTULO 13



## **13. ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

### **13.1. Introducción**

Una empresa es una unidad económico-social, integrada por elementos humanos, materiales y técnicos, que tiene el objetivo de obtener utilidades a través de su participación en el mercado de bienes y servicios. Para esto, hace uso de los factores productivos (trabajo, tierra y capital). Para lograr dicho objetivo es necesaria una estructura funcional que permita un desarrollo eficaz de las tareas que deben realizarse.

En el presente capítulo se describen los aspectos legales y funcionales de la organización. Se detallan además, las áreas que componen la empresa, las funciones correspondientes a cada puesto laboral y se confecciona un organigrama donde se especifican los niveles de jerarquía que correspondan.

### **13.2. Naturaleza jurídica de la empresa**

En primera instancia, se determina la naturaleza jurídica de la empresa, en base a las formas establecidas por la Ley de Sociedades Comerciales 19550. Como la planta de producción de policloruro de aluminio es un anexo o ampliación de ATANOR, se incorpora al mismo marco jurídico, es decir, una sociedad anónima. Esta sociedad es una forma de organización de tipo capitalista muy utilizada entre las grandes compañías. Todo el capital se encuentra dividido en acciones, que representan la participación de cada socio en el capital de la compañía.

Una de las características de la sociedad anónima es que la responsabilidad de cada socio es proporcional al capital que haya aportado. Por eso, participar en una S.A. tiene un nivel de seguridad financiero bastante alto.

### **13.3. Estructura organizativa**

Las organizaciones deben contar con una estructura organizacional de acuerdo a todas las actividades o tareas que pretenden realizar, mediante una correcta configuración que le permita establecer sus funciones, y departamentos con la finalidad de producir sus servicios o productos, mediante un orden y un adecuado control para alcanzar sus metas.

La estructura organizacional es la división de todas las actividades de una empresa que se agrupan para formar áreas o departamentos, estableciendo autoridades, que a través de la organización y coordinación buscan alcanzar objetivos.

La representación de una organización se hace a través de un organigrama, el cual expone las áreas funcionales en las que se divide la empresa. Es un modelo abstracto y

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

sistemático que permite obtener una idea uniforme y sintética de la estructura formal de una organización. En el caso particular de ATANOR S.A se considera que posee una disposición del tipo vertical, donde se presentan los diversos niveles de jerarquía. Se establece una estructura conformada por departamentos que se diferencian entre sí por las tareas que realizan; además cada uno posee un jefe asignado que responde a la gerencia general. Debido a que la estructura de la planta principal ya está fijada, se lleva a cabo la asignación de personal para puestos operativos y administrativos de la planta anexada de PAC, considerando que el personal de mayor poder jerárquico queda ya establecido por ATANOR.

En la figura 13-1 se observa el organigrama sintetizado de la empresa. Se anexa la planta de producción de PAC al departamento de producción de productos químicos.

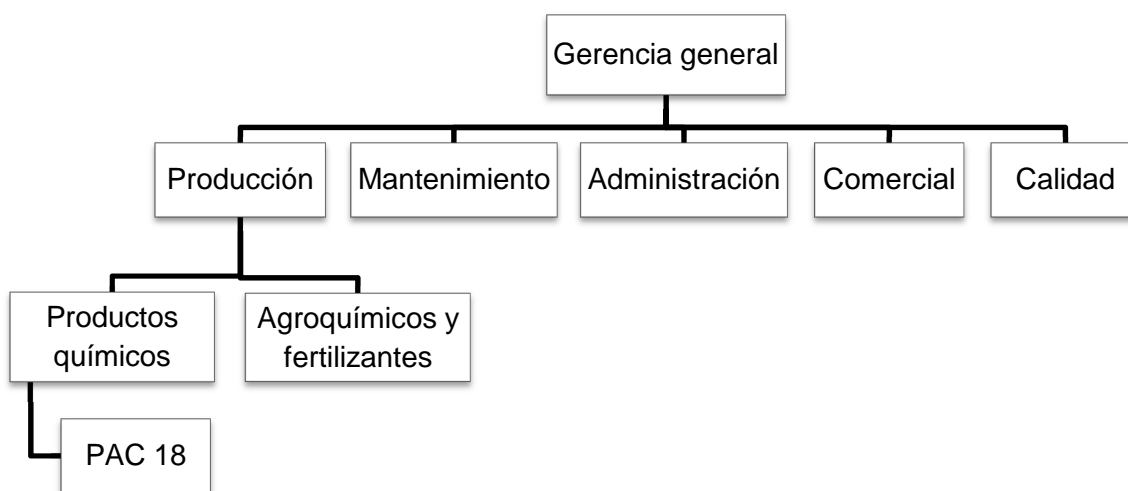


Figura 13-1. Organigrama sintetizado por departamento de ATANOR S.A

Las funciones de cada departamento y los miembros que los componen se detallan a continuación.

- ✓ *Gerencia general:* Realiza todas las acciones necesarias para implementar y llevar a cabo las políticas y directivas generales de la empresa. Tiene la función de organizar, decretar las actividades y coordinarlas dentro de una estructura organizada. Debe representar legalmente a la empresa, decide sobre la ejecución de proyectos, dispone de la capacidad operativa, controla los costos y la rentabilidad, determina la política de calidad y recursos humanos. Además, tiene el trabajo de designar y remover a los gerentes y responsables de los sectores críticos de la organización.
- ✓ *Departamento de producción:* Incluye todo lo relacionado con el desarrollo de los métodos y planes más económicos para la elaboración del producto, coordinación de la mano de obra, obtención de los materiales, instalaciones, herramientas y servicios, fabricación de productos y entrega al departamento de comercialización. Es el responsable de respetar los estándares de calidad y seguridad predeterminados, con el fin de obtener un producto que cumpla con los exigidos. Es el área que se encarga de regular además, las distintas líneas de producción. Dentro del sector referido a la producción de productos químicos se ubica la planta de policloruro de aluminio ya que se pretende utilizar el ácido clorhídrico que actualmente comercializa ATANOR S.A con el objetivo de obtener beneficios de índoles económicos y ambientales.
- ✓ *Departamento de mantenimiento:* Se encarga de proporcionar oportuna y eficientemente, los servicios que requiera la empresa en materia de mantenimiento preventivo y correctivo a las instalaciones, así como la contratación de la obra pública necesaria para el fortalecimiento y desarrollo de las instalaciones físicas de los inmuebles y sistemas eléctricos en general.
- ✓ *Departamento de administración:* Trata todo lo referido a la planificación, dirección y medición de los resultados de las operaciones monetarias de la empresa. Abarca todo lo relacionado a la contabilidad, costos, cobros, pagos, balances, créditos, presupuestos, entre otros. Es el encargado de evaluar continuamente el estado económico financiero de la empresa, manteniendo informada a la gerencia. Está compuesto por responsables del área de recursos humanos.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- ✓ *Departamento de comercialización:* Se ocupa de todo lo que constituye la dirección y estímulo del flujo de producto desde la industria hacia los clientes. Abarca la planificación respectiva para comercializar el mismo en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados, además determina las políticas de ventas, presupuesto y embalajes. Este órgano incluye el área de logística, el cual cubre la gestión y la planificación de actividades de compra y recepción de materias primas e insumos, así como el transporte, almacenaje, manutención y distribución de los productos hasta el punto de utilización o consumo. Realiza informes de costos y trabaja conjuntamente con las áreas legal y administrativa de la planta.
- ✓ *Departamento de calidad:* Es el área que se ocupa de asegurar el cumplimiento de la política de la empresa en este campo. Es decir, verifica que los objetivos que se han planteado en las etapas previas se cumplan dentro de los plazos previstos y con los recursos que han sido asignados. El objetivo principal del control es evitar que los productos defectuosos lleguen a los clientes, y que tanto los procesos como los productos cumplan con los requisitos internos y externos, asegurando resultados consistentes. El seguimiento y aprobación de los equipos y la calificación del personal así como la utilización de métodos analíticos y procedimientos específicos son tareas de dicha sección.
- ✓ *Responsable de higiene y seguridad:* Para prevención de riesgos laborales y aseguramiento de un sistema de calidad de gestión en seguridad, higiene y ambiente, se contrata un profesional externo para controlar el cumplimiento de las normas correspondientes, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección. Debe vigilar el cumplimiento de la normatividad en Seguridad e Higiene y promover la mejoría de las condiciones en las que se desarrollan las actividades laborales; además se encarga de localizar y evaluar los riesgos, y establecer las medidas para prevenir los accidentes de trabajo.

En la figura 13-2, se detalla el organigrama para la producción de PAC 18. Se inicia con cargos jerárquicos superiores que corresponden a la estructura empresarial de ATANOR.

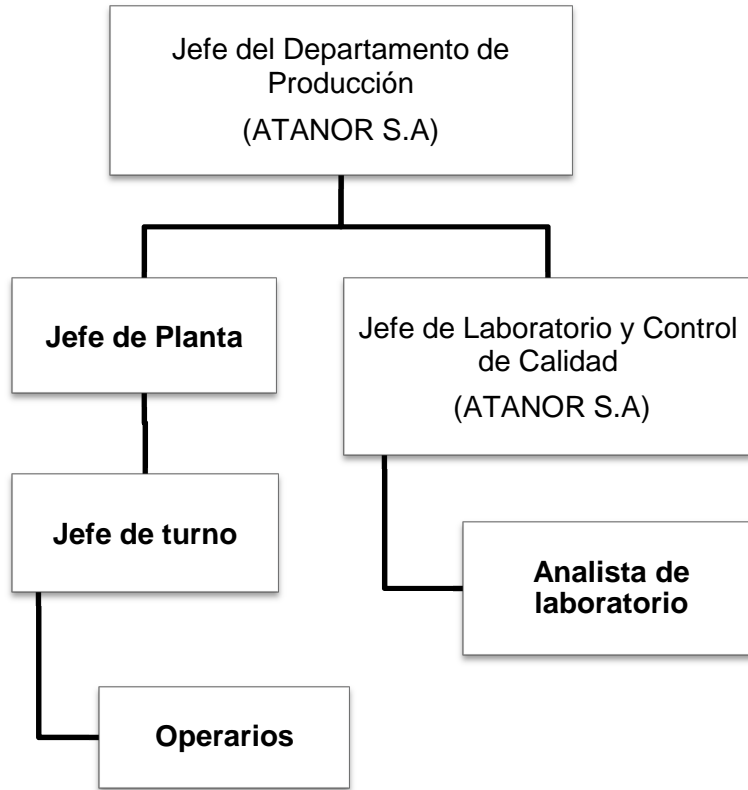


Figura 13-2. Organigrama de la planta de producción de PAC

### **13.4. Descripción de los puestos de trabajo**

Se detallan los puestos de trabajo involucrados en la producción de policloruro de aluminio.

#### **13.4.1. Jefe del departamento de producción (Pertenece a ATANOR S.A)**

Es la máxima autoridad en el sector en cuestión, se encarga de planificar la producción y asegura que se cumplan los objetivos, normas y planes establecidos. Tiene la tarea de controlar junto con los supervisores, que los operarios trabajen de forma eficiente, coordinar los equipos de trabajo; asegura que se respeten y cumplan las condiciones de las instalaciones y mantenimiento de los equipos, verifica la calidad, cantidad y características de los materiales de construcción a su cargo.

#### **13.4.2. Jefe de planta**

El jefe de planta es el encargado de la coordinación y ejecución de las actividades de producción; cumple funciones conjuntas con el jefe de producción. Administra el personal a su cargo, supervisa sus actividades, establece los métodos de trabajo y se asegura de

que respeten las normativas de trabajo, conducta y convivencia. Es la persona que se encarga de garantizar la correcta elaboración y almacenamiento del producto con el fin de alcanzar las exigencias respectivas en cuanto a calidad; se asegura que se lleve cabo la capacitación inicial y continua del personal de producción. Recopila toda la información posible para identificar qué cambios hay que introducir para mejorar el funcionamiento de la planta, respetando las etapas anteriores. Debe ser receptivo ante las ideas y sugerencias de sus colaboradores, además tiene que ser arriesgado, audaz, y alentar a los suyos para hacer su trabajo más emocionante.

#### **13.4.3. Jefe de turno o supervisor**

Se encarga de coordinar labores del personal de turno así como de proyectar, dirigir, desarrollar y controlar el trabajo diario. Debe planificar el trabajo del día, estableciendo prioridades y manejando de forma efectiva los recursos disponibles. Controla a los operarios, a los cuales debe impartir ordenes claras y precisas, favoreciendo de esta manera el buen clima laboral y motivándolos para que realicen su tarea correctamente. Es responsable de las existencias de materias primas y productos en todo proceso durante el desempeño de sus funciones. Ejecuta planes de mejora y emite informes, analiza resultados y genera reportes de producción que respalden la toma de decisiones. Ejecuta y supervisa planes de seguridad industrial; controla la higiene y limpieza de la industria. Establece controles de seguridad y determina parámetros de funcionamiento de equipos y procesos que garanticen la producción y mantengan la seguridad del empleado.

#### **13.4.4. Operarios**

Se encargan de manejar y controlar los equipos de acuerdo a lo indicado por el jefe de turno. Tienen la función de regular los parámetros del proceso en general, respondiendo de manera adecuada ante eventuales desajustes; mantienen la planta en orden y en condiciones de limpieza. Además, son los responsables de completar registros y de informar desperfectos a mantenimiento o desviaciones de calidad.

#### **13.4.5. Jefe de laboratorio y control de calidad (Pertenece a ATANOR S.A)**

Tiene la tarea de definir la metodología para el control de los parámetros de calidad en la materia prima, producto en proceso y producto final. Es el encargado de desarrollar e implementar procedimientos internos y de certificación de normas, para lo cual necesita de la colaboración de las áreas correspondientes. Debe tener registros de todos los

procedimientos realizados y análisis de las materias primas y productos; asimismo tiene que administrar la respectiva documentación técnica y actualizarla cuando sea debido.

Se encarga además de organizar las tareas del laboratorio, informar a la gerencia general, departamento comercial y departamento de producción, sobre los resultados de los análisis de calidad de los productos elaborados. Organiza y supervisa los ensayos y determinaciones desarrolladas por los analistas.

#### **13.4.6. Analista de laboratorio**

Es el responsable de realizar los análisis físico-químicos correspondientes de materias primas y productos terminados. Registra e informa a sus superiores los resultados obtenidos y las desviaciones de los parámetros normales. Es el encargado de mantener el orden y la limpieza del laboratorio.

#### **13.4.7. Auxiliares de otras áreas**

Incluyen a personas que se anexan a los departamentos ya existentes en ATANOR S.A; son requeridos para proceder con la organización y funcionamiento de la planta.

- ✓ Un auxiliar en el departamento de comercialización que tiene la tarea de realizar el seguimiento económico financiero de la planta de producción de PAC (cumple sus tareas en la oficina) y un encargado de la logística, que tiene la labor de comprar las materias primas requeridas para la síntesis de policloruro además de realizar el despacho y seguimiento del producto terminado.
- ✓ Un responsable técnico en el departamento de mantenimiento, encargado de la manutención del sistema eléctrico y mecánico de los equipos exclusivos de la planta de producción de PAC.

Cabe aclarar que el sueldo y los costos de la capacitación (en caso de ser requerida) quedan a cargo de la planta de ATANOR S.A.

**13.5. Organización de la producción**

La planta funciona 340 días al año, realizando una parada de 25 días para realizar un mantenimiento general. Como se menciona en los capítulos 5 y 7, la capacidad anual de la planta es de 5080 t/año. Se trabaja los 7 días de la semana con un régimen de 16 h diarias, con turnos rotativos de 8 h. Se debe tener en cuenta que el personal que opera bajo estas condiciones solo puede hacerlo 40 h a la semana, es decir cinco días seguidos y mínimo uno de franco, según la Convención Colectiva de Trabajo N° 152/91. Cabe aclarar que la planta opera en régimen semicontinuo, es decir, presenta etapas batch y continuas.

En la tabla 13-1 se observan los parámetros operativos del programa productivo, el cual es planteado luego de determinar la cantidad de lotes producidos diariamente, teniendo en consideración los tiempos operativos, volúmenes manejados y tamaños de los equipos.

Tabla 13-1. Parámetros del programa productivo

<b>Producción anual</b>	5080 t/año
<b>Producción diaria</b>	15 t/día
<b>Régimen de trabajo</b>	7 días a la semana
<b>Semanas productivas por año</b>	44
<b>Semanas de mantenimiento</b>	4
<b>Días hábiles por año</b>	340
<b>Número de lotes diarios</b>	3



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 13.6. Cantidad de personal y turnos de trabajo

En la tabla 13-2 se detalla la formación solicitada para cada puesto, el horario laboral y la cantidad de personas que se requieren para la planta de producción de PAC.

Tabla 13-2. Personal de la planta

Cargo a ocupar	Formación	Cantidad	Horas de trabajo por día
Jefe de planta	Ingeniero químico	1	8
Jefe de turno	Ingeniero / Técnico químico	2 (1 por turno)	8
Operarios	Secundario completo / Técnico	6 (rotativo)	8
Analista de laboratorio	Técnico químico	1	8
Auxiliares del departamento de comercialización	Licenciado en administración de empresas / Técnico en logística	2	8
Auxiliar técnico en el departamento de mantenimiento	Secundario completo / Técnico	1	8
<b>Total de empleados</b>			<b>13</b>

El jefe de planta trabaja 8 horas diarias de lunes a viernes en el horario de 8:00 a 12:00 hs y de 16:00 a 20:00 hs. Los jefes de turnos son 2, uno de ellos ocupa su cargo en el primer turno es decir, de 6:00 a 14:00 hs y el otro en el segundo, de 14:00 a 22:00 hs, ya que siempre debe haber en planta un supervisor. Los sábados y domingos trabajan de manera alternada cada semana, 8 hs corridas cada uno de 12:00 a 20:00 hs. En cuanto a los operarios, son 6 que conforman tres grupos de 2 personas para organizar el cronograma laboral; hacen horarios rotativos de ocho horas diarias. El analista de laboratorio, los auxiliares del departamento de comercialización y el auxiliar técnico del departamento de mantenimiento trabajan de lunes a viernes de en turnos fijo de 8 horas de 8:00 a 12:00 hs y de 16:00 a 20:00 hs, y los días sábados 4 horas de 8:00 a 12:00s hs, con excepción del analista que trabaja de 16:00 a 20:00 hs. En la tabla 13-3 se detalla la distribución laboral de los operarios del sector de producción. Para cada caso son 3 grupos denominados A, B Y C conformados por 2 operarios cada uno, que cumplen horarios rotativos de 8 horas; trabajan 5 días y tienen francos al mes de 2 días y 3 días corridos.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 13-3. Turnos rotativos para operarios de producción

Días del mes	Días de la semana	1º Turno (6:00 a 14:00 hs)	2º Turno (14:00 a 22:00 hs)	Franco
1	Lunes	A	B	C
2	Martes	A	B	C
3	Miércoles	A	C	B
4	Jueves	A	C	B
5	Viernes	A	C	B
6	Sábado	B	C	A
7	Domingo	B	C	A
8	Lunes	B	A	C
9	Martes	B	A	C
10	Miércoles	B	A	C
11	Jueves	C	A	B
12	Viernes	C	A	B
13	Sábado	C	B	A
14	Domingo	C	B	A
15	Lunes	C	B	A
16	Martes	A	B	C
17	Miércoles	A	B	C
18	Jueves	A	C	B
19	Viernes	A	C	B
20	Sábado	A	C	B
21	Domingo	B	C	A
22	Lunes	B	C	A
23	Martes	B	A	C
24	Miércoles	B	A	C
25	Jueves	B	A	C
26	Viernes	C	A	B
27	Sábado	C	A	B
28	Domingo	C	B	A
29	Lunes	C	B	A
30	Martes	C	B	A

### **13.7. Bibliografía**

- *Apuntes de Economía Empresarial.*
- **Definición de empresa.** [En línea] [Citado el: 9 de Noviembre de 2018.]  
<https://definicion.de/empresa/>.
- **Fucci, Tomás. 1999.** *La estructura de producción en la empresa.* 1999.
- **Mantenimiento.** [En línea] [Citado el: 9 de Noviembre de 2018.]  
<https://administracion.cinvestav.mx/DepartamentodeMantenimiento.aspx>.
- **Organigramas.** [En línea] [Citado el: 9 de Noviembre de 2018.]  
<https://www.gestiopolis.com/estructura-organizacional-tipos-organigramas/>.
- **Sociedad Anónima.** [En línea] [Citado el: 9 de Noviembre de 2018.]  
<https://debitoor.es/glosario/definicion-sociedad-anonima>.

---

# ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

---

CAPÍTULO 14

### 14. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

#### 14.1. Introducción

Al momento de llevar a cabo un proyecto empresarial es importante destacar la posible rentabilidad del mismo, y sobre todo su viabilidad. Al concretarlo se invierte un capital significativo que se espera recuperar junto con las ganancias propias de la actividad. El rendimiento del proyecto debe ser significativo, de lo contrario se optaría por proyectos menos riesgosos.

Habiendo concluido el estudio técnico y teniendo en cuenta que existe un mercado potencial a abastecer, además de que no existen impedimentos tecnológicos para llevar a cabo el proyecto, se efectúa un análisis económico-financiero con el fin de analizar y evaluar el proyecto antes de concluir con la concepción del mismo. Esta sección pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del mismo, como así también cual será el costo total de la operación de la planta.

En primera lugar, se determina la inversión a realizar a partir de los activos fijos, activos nominales y capital de trabajo. Luego se procede al cálculo y análisis de los costos de producción (costos fijos y variables), junto con las depreciaciones, gastos de financiación e ingresos anuales por ventas del producto, con el fin de especificar los flujos netos efectivos (FNE) de la empresa, ya que a partir de estos datos se conocerá si la misma tras cancelar los costos totales, obtiene utilidades netas positivas. Finalmente, se calculan los indicadores económicos que determinan la rentabilidad del proyecto (VAN, TIR y PRI) junto con los análisis de sensibilidad que correspondan.

#### 14.2. Inversión

En primera instancia se calcula el monto total de la inversión a realizar, entendiéndose a ésta como el capital necesario para hacer frente al proyecto en cuestión. La inversión está compuesta por activos fijos, activos nominales y capital de trabajo. En la figura 14-1 se detallan la inversión con sus componentes y las categorías más importantes (activos fijos).

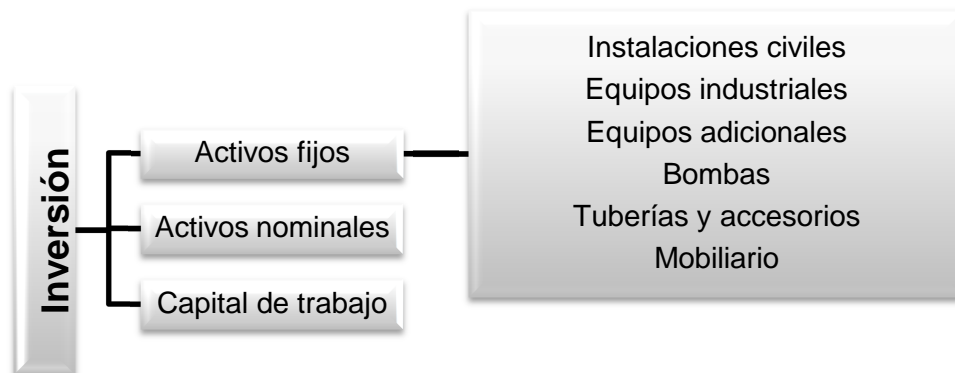


Figura 14-1. Componentes de la inversión

### 14.2.1. Activos fijos

Son los bienes tangibles de una empresa de naturaleza permanente en el período de actividad, que son indispensables para su funcionamiento. Esto supone que no estarán destinados a la venta, ni desechados a corto plazo. Los activos fijos del proyecto incluyen el terreno junto a instalaciones civiles, equipos industriales y adicionales, bombas, tuberías, accesorios y todos los elementos mobiliarios. Para efectos contables, los activos fijos, están sujetos a depreciación, debido a que pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso.

- ✓ Para aquellos equipos importados o que tengan cotización internacional se convierten a moneda local, tomando el dólar a \$35 y el euro a \$40,05.
- ✓ Según la ley del IVA (ley nacional 23.349) los artículos producidos en nuestro país, perciben el 21% del impuesto al valor agregado, mientras que los de producción extranjera junto con los bienes de capital avistan una reducción del 50%, esto es 10,5%.
- ✓ La estimación de los fletes supone un valor del 1,5% del costo total del equipo y/o artículo.
- ✓ El transporte y distribución del producto en cada una de las plantas de potabilización está a cargo de la empresa contratista en cuestión, por lo que no se consideran rodados.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.1. Instalaciones civiles

La planta se encuentra localizada en la provincia de Córdoba, razón por la cual se toman los costos establecidos en la página web del “Colegio de Arquitectos de la Pcia de Cba”. Los materiales requeridos son de producción nacional, por lo cual se considera el 21% de IVA. En la tabla 14-1 se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 44-1. Estimación de costos de instalaciones civiles

Sector	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Precio [\$/m <sup>2</sup> ]	Costo [\$]	IVA [\$]	Costo total [\$]
I	133	2.307,19	306.856,27	64.439,82	371.296,09
II	99	7.733,69	765.635,31	160.783,42	926.418,73
III	157,5	8.818,48	1.388.910,60	291.671,23	1.680.581,83
IV	59,5	2.307,19	137.277,81	28.828,34	166.106,14
V	6	9.621,56	57.729,36	12.123,17	69.852,53
	4	9.621,56	38.486,24	8.082,11	46.568,35
	4	9.621,56	38.486,24	8.082,11	46.568,35
VI	48	9.612,56	461.402,88	96.894,60	558.297,48
VII	24	8.624,69	206.992,56	43.468,44	250.461,00
VIII	24	10.379,36	249.104,64	52.311,97	301.416,61
IX	131	2.307,19	302.241,89	63.470,80	365.712,69
	25	5.998,94	149.973,50	31.494,44	181.467,94
Pasillos (Cubierto)	9	7.733,69	69.603,21	14.616,67	84.219,88
	72,75	8.818,48	641.544,42	134.724,33	776.268,75
	45	9.123,12	410.540,40	86.213,48	496.753,88
Terreno no edificado	818,31	1.325,65	1.084.792,65	227.806,46	1.312.599,11
Terreno para la planta de PAC			1.100.000,00	231.000,00	1.331.000,00
<b>Total</b>	<b>1.660,06</b>	<b>-</b>	<b>7.409.577,98</b>	<b>1.556.011,38</b>	<b>8.965.589,35</b>

Los valores del IVA desde el sector V al VIII incluyen en IVA de los zócalos no especificados en el costo por m<sup>2</sup> ya que éste se estima por metro lineal.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.2. Equipos industriales

Se analizan los costos de los equipos industriales necesarios para la producción del policloruro de aluminio, los cuales se detallan en la tabla 14-2. Teniendo en cuenta de que son bienes de capital, el IVA en este caso se considera del 10,5%. Cabe señalar, así mismo, que estos valores y los de fletes exhibidos en la tabla 14-2, aplican para la totalidad de los equipos considerados por rubro.

Tabla 14-2. Estimación de costos de equipos industriales

Equipo		Cantidad	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	IVA [\$]	Costo total [\$]
M-01	Molino de martillos	1	95.000	1.425	9.975	106.400
R-01 (A/B/C)	Reactor batch	3	1.159.660	52.185	365.293	3.896.458
I-01	Intercambiador de calor	1	87.000	1.305	9.135	97.440
I-02	Condensador subenfriador	1	95.200	1.428	9.996	106.624
F-01	Filtro de prensa y placa	1	135.000	2.025	14.175	151.200
<b>Total</b>		<b>7</b>	<b>-</b>	<b>58.368</b>	<b>408.574</b>	<b>4.358.122</b>



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.3. Equipos adicionales

En la tabla 14-3 se exhibe la inversión necesaria para equipos adicionales del proceso y para servicios auxiliares, descriptos en los capítulos 8 y 9 respectivamente. Teniendo en cuenta de que son bienes de capital, se considera un IVA del 10,5%.

Tabla 14-3. Estimación de costos de equipos adicionales

Equipo	Cantidad	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	IVA [\$]	Valor total [\$]
A-01	1	133.000	1.995	13.965	148.960
A-02	1	437.465	6.562	45.934	489.961
A-03	1	705.380	10.581	74.065	790.026
A-04	1	669.855	10.048	70.335	750.238
A-05	1	95.000	1.425	9.975	106.400
A-06	1	681.020	10.215	71.507	762.742
A-07	1	30.600	459	3.213	34.272
A-08 A	1	432.480	6.487	45.410	484.378
A-08 B	1	525.260	7.879	55.152	588.291
A-09	1	55.332	830	5.810	61.972
A-10 A	2	207.060	6.212	43.483	463.814
A-10 B					
A-10 C	1	218.640	3.279,60	22.957	244.877
A-11 A	1	150.000	2.250,00	15.750	168.000
A-11 B	1	69.000	1.035,00	7.245	77.280
A-12 A	2	72.600	2.178	15.246	162.624
A-12 B					
A-12 C	1	82.500	1.238	8.663	92.400
A-13	1	269.945	4.049	28.344	302.338
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>-</b>	<b>76.722</b>	<b>537.054</b>	<b>5.728.573</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.4. Bombas

En esta sección se analizan los costos de las bombas necesarias. El IVA percibido es de un 10,5%. Además debe considerarse el valor del flete en un 1,5%. La estimación de costo de las bombas empleadas en el proceso y en servicios auxiliares se detalla en la tabla 14-4.

Tabla 14-4. Estimación de costos de bombas

Equipo	Modelo	Cantidad	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	IVA [\$]	Valor total [\$]
B-01	3M 32 125/1,1	1	41.251,50	618,77	4.331,41	46.201,68
B-02	CEA (M) 70/5	1	17.775,39	266,63	1.866,42	19.908,44
B-03	CEA (M) 120/3	2	19.786,70	593,60	4.155,21	44.322,21
B-09						
B-04	SRL 1-40	4	42.076,53	2.524,59	17.672,14	188.502,85
B-05						
B-06						
B-07						
B-08	3M 32 160/2.2	1	53.066,25	795,99	5.571,96	59.434,20
B-10	3LM4 32 125/0.25	1	53.266,25	798,99	5.592,96	59.658,20
B-11	3M 32 125/0.37R	3	58.753,35	2.643,90	18.507,31	197.411,26
B-12						
B-14						
B-13	3M 32 200/0.55	1	65.842,20	987,63	6.913,43	73.743,26
<b>Total</b>		<b>14</b>	<b>-</b>	<b>9.230,12</b>	<b>64.610,82</b>	<b>689.182,10</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.5. Tuberías y accesorios

En esta sección se analizan los costos referidos a tuberías y accesorios. El IVA en este caso se percibe de un 21%. Adicionalmente se añaden los sensores requeridos y equipos de medición. Los gastos se especifican en la tabla 14-5.

Tabla 14-5. Estimación de costos de tuberías y accesorios

Equipo	Cantidad	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	IVA [\$]	Valor total [\$]
Tuberías (m)	1.446	354,1	7.680,4 3	107.526,01	627.235,04
Sensor de temperatura	8	2.915,41	349,85	4.897,89	28.571,02
Sensor de presión	4	4.073,32	244,40	3.421,59	19.959,27
Sensor de velocidad (rpm)	3	1650	74,25	1.039,50	6.063,75
Sensor de pH	3	3.266,33	146,98	2.057,79	12.003,76
Sensor de nivel	8	1.459,99	175,20	2.452,78	14.307,90
Rotámetro	3	4.394,85	197,77	2.768,76	16.151,07
Caudalímetro	3	1.189,97	53,55	749,68	4.373,14
Válvulas	47	6.128,30	4.320,4 5	60.486,32	352.836,87
Válvula rotativa	2	1.802,25	54,07	756,95	4.415,51
<b>Total</b>	<b>1527</b>	<b>-</b>	<b>13.297</b>	<b>186.157</b>	<b>1.085.917</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.6. Mobiliario

En la siguiente sección se analiza el mobiliario de oficina como así también el requerido para los vestidores, baños y laboratorio de calidad. Teniendo en cuenta que todos los artículos enunciados en la tabla 14-6 son producidos en el país, se emplea como porcentaje de IVA el 21%.

Tabla 14-6. Estimación de costos de mobiliario

Equipo	Cantidad	Precio unitario [\$]	Flete [\$]	IVA [\$]	Valor total [\$]
Computadora de mesa	4	8.000	480	6.720	39.200
Escritorio para oficina	4	1.550	93	1.302	7.595
Silla para oficina	4	1.750	105	1.470	8.575
Sillas anexas	2	1.350	41	567	3.308
Armario	2	2.500	75	1.050	6.125
Archivero	1	2.000	30	420	2.450
Aire acondicionado	2	8.100	243	3.402	19.845
Equipo sanitario	3	18.000	810	11.340	66.150
Duchas	4	1.200	72	1.008	5.880
Lockers	2	5.500	165	2.310	13.475
Banco para vestuario	2	2.540	76	1.067	6.223
Mesada para laboratorio	2	4.000	120	1.680	9.800
Banquetas	4	1.570	94	1.319	7.693
Equipo de vidrio	-	300.000	4.500	63.000	367.500
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>6.903,9</b>	<b>96.654,6</b>	<b>563.818,50</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.1.7. Resumen de activos fijos

En la tabla 14-7 se resumen los costos de los diferentes rubros de activos fijos anteriormente especificados y además se calcula la participación porcentual de cada uno sobre el total de la inversión en estos bienes. Con la finalidad de visualizar mejor los resultados se realiza el gráfico 14-1.

Tabla 14-7. Resumen de activos fijos

Rubro	Valor total	Porcentaje
Instalaciones civiles	8.965.589,35	41,91
Equipos industriales	4.358.122	20,37
Equipos adicionales	5.728.573	26,78
Bombas	689.182,10	3,22
Tuberías y accesorios	1.085.917	5,08
Mobiliario	563.818,50	2,64
<b>Total</b>	<b>20.060.201,53</b>	<b>100,00</b>

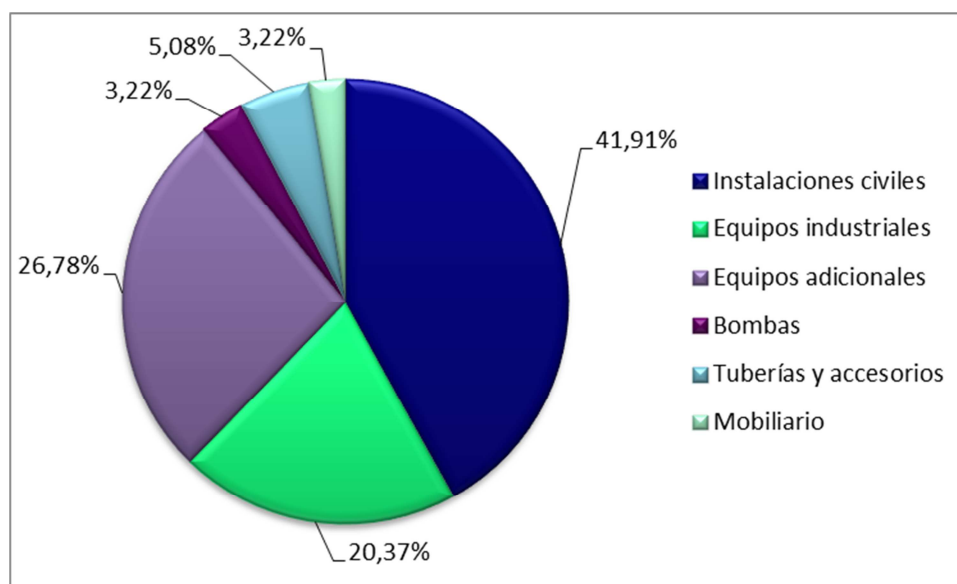


Gráfico 14-1. Activos fijos totales

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.2. Activos nominales

Los activos nominales o activos diferidos son inversiones que se realizan sobre activos constituidos por servicios o derechos adquiridos, necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Los mismos son gastos que no son susceptibles de ser recuperados por la empresa en ningún momento, pero que deben ser amortizados durante el período correspondiente.

En cuanto a los gastos de planeación se considera un 5% de los activos fijos y para los costos de supervisión un 2%. La puesta en marcha de la planta se estima como el 5% de la inversión en equipos y maquinarias. El costo de control automático se considera como el 1% respecto al valor total de equipos industriales, al igual que los gastos para la capacitación inicial. En el caso de Imprevistos, se estiman en un 1% sobre el total.

En la tabla 14-8 se detallan los costos de los activos nominales.

Tabla 14-8. Estimación de costos de activos nominales

Concepto	Proporción sobre los activos fijo	Suma de AF	Valor total
Costo de control automático	0,01	9.621.318	96.213
Gastos de planificación	0,05	18.542.139,89	927.107
Montaje e instalación de equipos	0,3	9.621.318	2.886.395
Gastos de supervisión del proyecto	0,02	18.542.139,89	370.843
Gastos en capacitación	0,01	18.542.139,89	185.421
Gastos de puesta en marcha	0,05	9.621.318	481.066
Imprevistos	0,01	9.621.318	96.213
<b>Total</b>			<b>5.043.259</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.2.3. Capital de trabajo

El capital de trabajo, también denominado fondo de maniobra, hace referencia al conjunto de recursos financieros necesarios para la operación normal del proyecto durante el ciclo productivo, desde el inicio de la actividad hasta la obtención de los primeros lotes.

Una vez instalada y puesta en marcha la planta, es necesario cubrir ciertos gastos antes de percibir ingresos. Se proponen costos para afrontar 5 días de producción, es decir 1/6 de los gastos mensuales de la planta. En la tabla 14-9 se especifican las categorías involucradas en el capital de trabajo.

Tabla 14-9. Estimación de costos de capital de trabajo

Categoría	Costo [\$]
Materia prima	898.203,66
Servicios de agua y electricidad	10.984,42
Mano de obra directa	44.312,00
Mano de obra indirecta	35.023,15
Otros costos	45.703,96
<b>Total</b>	<b>1.034.227,19</b>

### 14.2.4. Inversión necesaria

Los tres rubros para la inversión (activos fijos, activos nominales y capital de trabajo) se suman con el objetivo de obtener el capital necesario para concretar el proyecto y comenzar con la actividad fabril. En la tabla 14-10 se detalla la inversión total, y en el grafico 14-2 los porcentajes de cada uno de los componentes.

Tabla 14-10. Cálculo de inversión total

Activos fijos	21.391.201,53	77,87
Activos nominales	5.043.259	18,36
Capital de trabajo	1.034.227,19	3,77
<b>Total</b>	<b>27.468.687,62</b>	<b>100</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

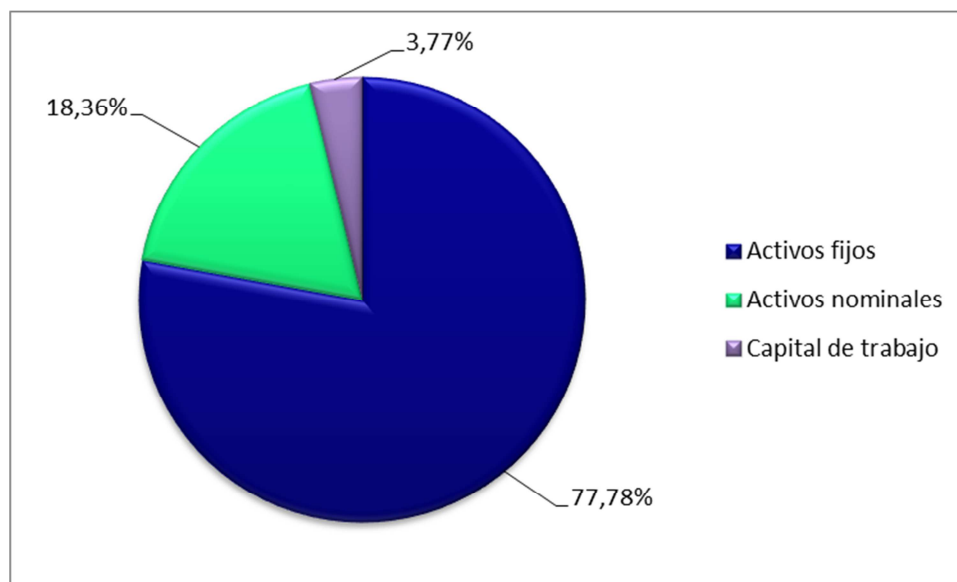


Gráfico 14-2. Composición de la inversión total

### 14.3. Análisis de costos

Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. Los mismos se clasifican en costos fijos y costos variables. Los primeros son aquellos que no dependen del volumen de producción de la planta; mientras que los segundos son proporcionales a éste.

En la tabla 14-11 se detallan los costos fijos y variables.

Tabla 14-11. Clasificación de costos

Costos fijos	Costos variables
Mano de obra indirecta	Materia prima
Depreciaciones y amortizaciones	Servicios
Gastos de mantenimiento y comercialización	Mano de obra directa
Limpieza de la planta	
Seguros e impuestos	
Costo financiero	



## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.3.1. Costos variables

Los costos variables más significativos de la empresa son los de materia primas directas, los servicios necesarios para llevar a cabo el proceso de producción y mano de obra directa.

#### 14.3.1.1. Materia prima directa

En muchos proyectos el porcentaje influyente de la materia prima sobre los costos que la empresa debe afrontar para realizar su actividad productiva alcanza el 40%. Por tales razones en esta sección se analizan los costos que suponen las mismas en el proceso de producción del polímero.

- ✓ El porcentaje de flete de la materia prima de aluminio se estima a partir del recorrido necesario desde la ciudad de Córdoba hasta la ciudad de Río Tercero abarcando 108,1 km por ruta nacional 36.
- ✓ El flete para el ácido clorhídrico no se considera ya que lo provee ATANOR S.A dentro de las mismas instalaciones.

La tabla 14-12 detalla los costos en lo que respecta a las materias primas directas del proceso, junto con los valores de IVA y flete en caso que corresponda. Los precios son obtenidos de diferentes proveedores, entre los que se encuentran Metal Veneta S.A (para las medias esferas de aluminio) y ATANOR S.A (para el ácido clorhídrico al 37%).

Tabla 14-12. Estimación de costos de materia prima

<b>Materia prima</b>	<b>Cantidad anual [t/año]</b>	<b>Precio s/ IVA [\$/t]</b>	<b>Costo MP [\$/año]</b>	<b>Flete</b>	<b>Costo anual [\$/año]</b>
Medias esferas de aluminio	2.121,60	25.280	53.634.048,00	379,20	54.438.558,72
Ácido clorhídrico al 37%	2.893	2.294,95	6.639.290,35	-	6.639.290,35
<b>Total</b>	<b>5.014,60</b>	-			<b>61.077.849,07</b>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### 14.3.1.2. Servicios

En cuanto a los servicios principales que requiere la empresa se encuentran: electricidad y agua (para proceso, para refrigeración y para limpieza). Se analizan los costos en las secciones subsiguientes.

#### *Costo de agua*

El servicio de agua se deriva de la distribución que se utiliza en el predio de ATANOR S.A, el cual es abastecido por la empresa RíoTel. El agua de proceso, para refrigeración y limpieza es abastecida por conexiones subterráneas hasta cada uno de los equipos y almacenamientos correspondientes. El costo del agua empleada no se considera, ya que la industria general del predio cuenta con los pozos de abastecimientos propios y tratamientos previos al uso de la misma. A pesar de esto, se debe contar con un suministro de agua potable para el sector de oficina, baños y laboratorio. Se estima un consumo de 50 m<sup>3</sup>/día. En la tabla 14-13 se detalla el consumo y costo del agua de red.

Tabla 14-13. Estimación de costos de agua de red

<b>Consumo de agua de red</b>				
<b>Consumo mensual [m<sup>3</sup>/mes]</b>	<b>Consumo anual [m<sup>3</sup>/mes]</b>	<b>Precio unitario [\$/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Costo mensual [\$/mes]</b>	<b>Costo anual [\$/año]</b>
1.500	18.000	9,63	14.445	<b>173.340</b>

#### *Costo de electricidad*

El predio industrial de ATANOR S.A cuenta con los servicios de electricidad de RíoTel. La planta de producción de PAC cuenta con consumos monofásicos vinculados a la luminaria y trifásicos en lo que respecta a los equipos industriales. En la tabla 14-14 se especifican los horarios en base a demandas de potencia y a demandas de energía.

Tabla 14-14. Demanda de potencia y energía según grandes consumos

<b>Demanda de potencia</b>		<b>Energía</b>	
Horario de punta [h]	18 a 23	Horario pico [h]	18 a 23
Horario fuera de punta [h]	23 a 18	Horario de valle [h]	23 a 05
		Horario de horas restantes [h]	05 a 18

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Según las necesidades requeridas se diferencia entre baja tensión (220/380 V), media tensión (13.200/33.000 V) y alta tensión (66.000/132.000 V). En este caso se emplea baja tensión, teniendo en cuenta las siguientes tarifas:

Si el consumo no supera los 299 kW:

- ✓ Por cada kW de “Demanda de potencia” por mes en horario de punta \$171,93.
- ✓ Cargo por cada kW de “Demanda de potencia” por mes en horario de punta \$54,45.
- ✓ Por cada kW de “Demanda de potencia” por mes en horario fuera de punta \$134,39.
- ✓ Por cada kWh consumido en horario de pico \$1,06, en horario de valle \$0,97 y en horario de horas restantes \$1,01.
- ✓ Los cargos fijos son de \$2.989,49 por mes.

Si el consumo es 300 kW o superior:

- ✓ Por cada kW de “Demanda de potencia” por mes en horario de punta \$171,93.
- ✓ Cargo por cada kW de “Demanda de potencia” por mes en horario de punta \$54,45.
- ✓ Por cada kW de “Demanda de potencia” por mes en horario fuera de punta \$134,39.
- ✓ Por cada kWh consumido en horario de pico \$1,64, en horario de valle \$1,49 y en horario de horas restantes \$1,57.

En la tabla 14-15 se detallan los costos mensuales y anuales de energía eléctrica.

Tabla 14-15. Estimación de costos de energía eléctrica

<b>Consumo de energía eléctrica</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Costo mensual [\$]</b>	<b>Costo anual [\$]</b>
Cargo fijo	2.989,49	35.873,88
Cargo por potencia contratada	19.211,06	230.532,72
Cargos variables	25.599,50	307.194
<b>Total</b>	<b>47.800,04</b>	<b>573.600,52</b>

**14.3.1.3. Mano de obra directa**

La mano de obra es el centro de la actividad industrial y a veces, el costo de la misma suele ser incluso más significativo que el de materia prima. Se considera mano de obra directa a aquella que se encuentra abocada a la elaboración del producto o prestación del servicio; en este caso son los operarios de producción, el auxiliar de mantenimiento y el analista de laboratorio.

Debido a que la planta evaluada es de carácter químico, sus empleados forman parte del gremio de industria química y petroquímica. Pertenecen al convenio colectivo de la Federación de Sindicatos de Trabajadores de Industrias Química y Petroquímicas de la República Argentina (FESTIQYPRRA). En el convenio colectivo CCT 564/09 se establecen las condiciones de trabajo, beneficios sociales y sueldos de cada uno de los empleados. Todos estos rubros comparten horario laboral y son identificados como personal que depende directamente del volumen de producción, dado que si este último aumenta se requerirá más mano de obra controlando la producción, los equipos y su funcionamiento, como así también analizando las materias primas, producto terminado y parámetros del proceso. Para determinar de manera analítica el costo de mano de obra directa se tiene la ecuación 14-1.

$$Sueldo [\$] = \frac{jornal}{h - hombre} \times \frac{40 h - hombre}{semana} \times \frac{52 semanas}{año} \times \frac{13}{12}$$

Ecuación 14-1. Determinación del sueldo de mano de obra directa

Se extrae que el valor del jornal hora para los operarios (producción y mantenimiento) es de \$95, mientras que para los analistas de laboratorio es de \$99. En la tabla 14-16 se detalla el sueldo mensual y anual, junto con la carga social (45%).

Tabla 14-16. Mano de obra directa

<b>Cargo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Jornal por hora</b>	<b>Gasto anual nominal [\$]</b>	<b>Carga social (45%)</b>	<b>Costo total anual [\$]</b>
Operarios de producción	6	95	1.550.400	697.680	2.248.080
Analista de laboratorio	1	99	269.280	121.176	390.456
Auxiliar de mantenimiento	1	95	258.400	116.280	374.680
<b>Total</b>					<b>3.013.216</b>

**14.3.1.4. Resumen de costos variables**

En la tabla 14-17 se observan los resultados del total de costos variables involucrados en el proyecto, además para su mayor comprensión se confecciona el gráfico 14-3.

Tabla 14-17. Resumen de costos variables

<b>Categoría</b>	<b>Costo anual [\$]</b>	<b>Distribución de costo (%)</b>
Materia prima directa	61.077.849,07	94,20
Servicio de agua	173.340	0,27
Servicio de energía eléctrica	573.600,52	0,88
Mano de obra directa	3.013.216	4,65
<b>Total</b>	<b>64.838.005,59</b>	<b>100</b>

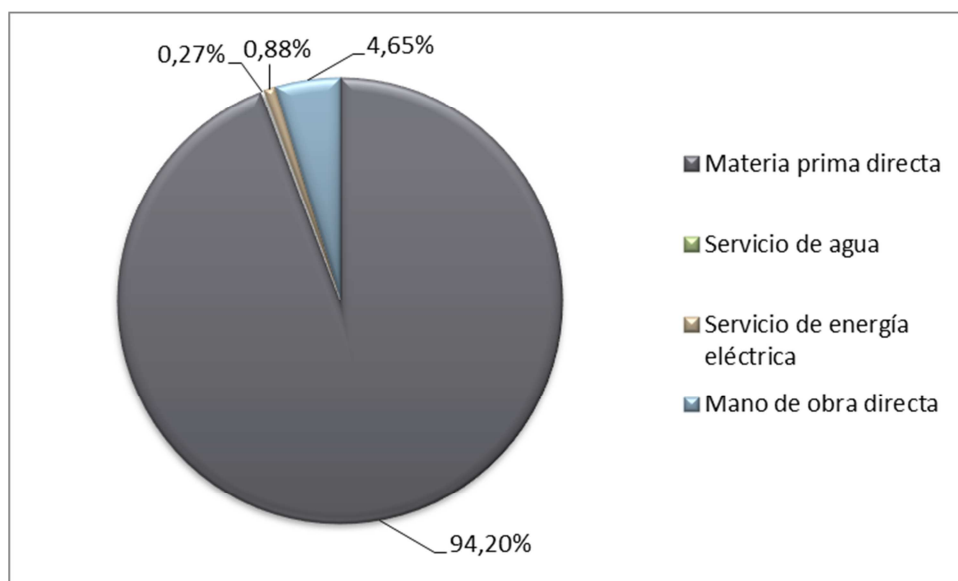


Gráfico 14-3. Resumen de costos variables

Se aprecia que más del 90% de los costos variables corresponden a las materias primas, mientras que el 5% a la mano de obra directa. Las categorías restantes no tienen peso significativo sobre el total, por lo que las labores de optimización se basarán en estos rubros de más relevancia. Cabe destacar que un incremento de éstos impactará sobre los costos de producción y en consecuencia, sobre los resultados o utilidades.

**14.3.2. Costos fijos**

Los costos fijos de la empresa incluyen la mano de obra indirecta, amortizaciones y depreciaciones, costo financiero y otros gastos.

**14.3.2.1. Mano de obra indirecta**

Es aquella que no se encuentra afectada a los volúmenes de producción generados, pero que sin embargo es imprescindible para la actividad económica de la empresa. Se emplea el mismo convenio colectivo descrito en la sección 14.7.1.3 para la determinación de los salarios y cargos sociales. En la tabla 14-18 se detallan las características de esta categoría.

Tabla 14-18. Mano de obra indirecta

<b>Cargo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Remuneración [\$/mes]</b>	<b>Gasto anual nominal [\$]</b>	<b>Carga social</b>	<b>Costo total anual [\$]</b>
Jefe de planta	1	36.438,25	473.697	132.635	606.332
Jefe de turno	2	32.427,25	843.109	379.399	1.222.507
Auxiliares de comercialización y logística	2	16.608,60	431.824	120.911	552.734
<b>Total</b>					<b>2.381.574</b>

**14.3.2.2. Depreciaciones y amortizaciones**

Se entiende por depreciación a la disminución periódica del valor de un bien tras la actividad productiva. La misma puede deberse a tres razones principales, el desgaste debido al uso (razón física), al paso del tiempo (razón funcional) o a la vejez. En términos generales, la depreciación y amortización tienen la misma connotación, sin embargo el primero se aplica a los activos fijos, en cambio el segundo aplica a activos diferidos.

Considerando el decreto N° 873/1997, donde se encuentra fijada la vida útil de los bienes, se estiman los costos de amortización.

- ✓ Edificios: 50 años
- ✓ Instalaciones: 10 años
- ✓ Muebles y útiles: 10 años
- ✓ Maquinaria y equipos: 10 años

Cabe destacar que los valores de amortización calculados son meramente teóricos ya que no representan un desembolso para la empresa, pero si aseguran que tras un período

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

considerado se cuente nuevamente con la capacidad de renovar el activo en cuestión. Existen muchos métodos para calcular la amortización, entre los cuales se encuentran el método de depreciación creciente, decreciente y el lineal. Cualquiera sea el empleado, la deuda debe ser igual a la suma del valor actual de todas las cuotas. Por cuestiones de simplicidad se escoge utilizar el método de depreciación lineal.

Una vez determinada la vida útil de cada uno de los rubros analizados, puede extraerse de este valor la tasa lineal de depreciación de un bien. De esto se desprende que al finalizar el proyecto (a los diez años), algunos de los bienes tendrán un valor nulo o residual. El terreno es una excepción, no está sujeto a depreciación, se diferencia de los demás activos por su vida ilimitada.

Tabla 14-19. Estimación de costos de depreciación/amortización

<b>Categoría</b>	<b>Inversión</b>	<b>Tasa</b>	<b>Depreciación anual</b>	<b>Valor tras el período de actividad</b>
Instalaciones civiles	6.309.577,98	0,05	315.479	3.154.789
Equipos industriales	3.891.180	0,10	389.118	0
Equipos adicionales	5.114.797	0,10	511.480	0
Bombas	615.341,16	0,10	61.534	0
Tuberías y accesorios	886.463	0,10	88.646	0
Mobiliario	460.260,00	0,10	46.026	0
<b>Total</b>			<b>1.412.283</b>	

### 14.3.2.3. Costo financiero

En secciones anteriores se estimó la inversión inicial que debe llevar a cabo la empresa para su actividad productiva. La misma es obtenida a partir de un financiamiento externo, es decir, a través de un crédito bancario, razón por la cual se deben evaluar la tasa de interés de diferentes entidades bancarias con el objetivo de determinar cuál de ellas es la mejor alternativa. Lógicamente todos los créditos tienen un costo financiero el cual es subvencionado como intereses y de acuerdo a lo consultado en diversas entidades, la tasa promedio ronda en el 26%, valor tomado para el cálculo de cuotas anuales.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

El crédito es otorgado por la entidad “Banco Nación”. La línea crediticia permite ofrecer sumas de dinero (en pesos) para grandes entidades y para iniciar la actividad productiva, ofreciendo una tasa de interés del 26% a cancelar en 120 meses. El sistema de amortización empleado es el sistema francés, debido a que es el más utilizado en los sistemas bancarios; se caracteriza por poseer una tasa de intereses más baja que el crédito con sistema de amortización alemán. Las cuotas del mismo son constantes por lo que cada mes el banco recibe intereses en función del capital pendiente a amortizar, razón por la cual en los primeros años del préstamo se paga una mayor cantidad de intereses que de capital, distinto es el caso en el período final (más capital, menos intereses), tal como se ilustra en la figura 14-2.

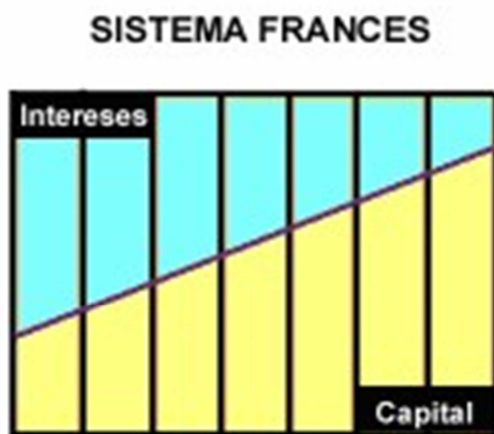


Figura 14-2. Representación del sistema francés

La ecuación 14-2 se emplea para el cálculo del valor de la cuota del préstamo.

$$\text{Valor de la cuota } (C) = D_n \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Ecuación 14-2. Valor de la cuota anual

Dónde:

$D_n$ : Valor del préstamo [\\$]

$i$ : Tasa de interés

$n$ : Plazo

Se emplean las siguientes ecuaciones para concluir con el cálculo de la amortización.

$$D_n(\text{Deuda}) = D_{n-1} - t_n$$



# PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

## Proyecto final de grado – Ingeniería química

Ecuación 14-3. Cálculo de la deuda

$$I_n(\text{Intereses}) = D_{n-1} \cdot i$$

Ecuación 14-3. Cálculo de los intereses

$$t_n(\text{Pago principal}) = C - I_n$$

Ecuación 14-4. Cálculo del pago principal

La tabla 14-20 detalla las características del préstamo solicitado.

Tabla 14-20. Características del préstamo solicitado

<b>Detalles del préstamo solicitado</b>				
Monto del crédito			<b>27.468.687,62</b>	
Tasa			<b>26%</b>	
Plazo			<b>10 años</b>	
Sistema de amortización			<b>Francés</b>	
<b>Detalle de las cuotas</b>				
<b>Cuota</b>	<b>Valor de la cuota [\$]</b>	<b>Intereses [\$]</b>	<b>Capital [\$]</b>	<b>Saldo [\$]</b>
0				27.468.688
1	7.927.915	7.141.859	786.056	26.682.632
2	7.927.915	6.937.484	990.431	25.692.201
3	7.927.915	6.679.972	1.247.943	24.444.258
4	7.927.915	6.355.507	1.572.408	22.871.851
5	7.927.915	5.946.681	1.981.234	20.890.617
6	7.927.915	5.431.560	2.496.354	18.394.262
7	7.927.915	4.782.508	3.145.407	15.248.856
8	7.927.915	3.964.703	3.963.212	11.285.643
9	7.927.915	2.934.267	4.993.648	6.291.996
10	7.927.915	1.635.919	6.291.996	0

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

### 14.3.2.4. Otros gastos

Se detallan a continuación aquellos gastos fijos menores que no se consideraron en las secciones anteriores. Para determinar el valor monetario se recurren a fracciones fijas de los activos y diversas estimaciones.

Se incluyen los gastos de mantenimiento, comercialización, de limpieza de la planta, seguros e impuestos. En la tabla 14-21, se detallan el costo mensual y el anual.

Tabla 14-21. Estimación de otros gastos

<b>Categoría</b>	<b>Costo anual [\$]</b>
Mantenimiento	481.066
Comercialización	772.589
Limpieza de la planta	927.107
Seguros e impuestos	927.107
<b>Total</b>	<b>3.107.869</b>

### 14.3.2.5. Resumen de costos fijos

En la tabla 14-22 se detallan los costos fijos del proyecto. Se representa la distribución de los mismos en el gráfico 14-4.

Tabla 14-22. Resumen de costos fijos

<b>Categoría</b>	<b>Valor total</b>	<b>Porcentaje</b>
Mano de obra indirecta	2.381.574,01	16,06
Depreciaciones y amortizaciones	1.412.283,03	9,52
Costo financiero	7.927.915	53,46
Otros gastos	3.107.869	20,96
<b>Total</b>	<b>14.829.640,95</b>	<b>100,00</b>

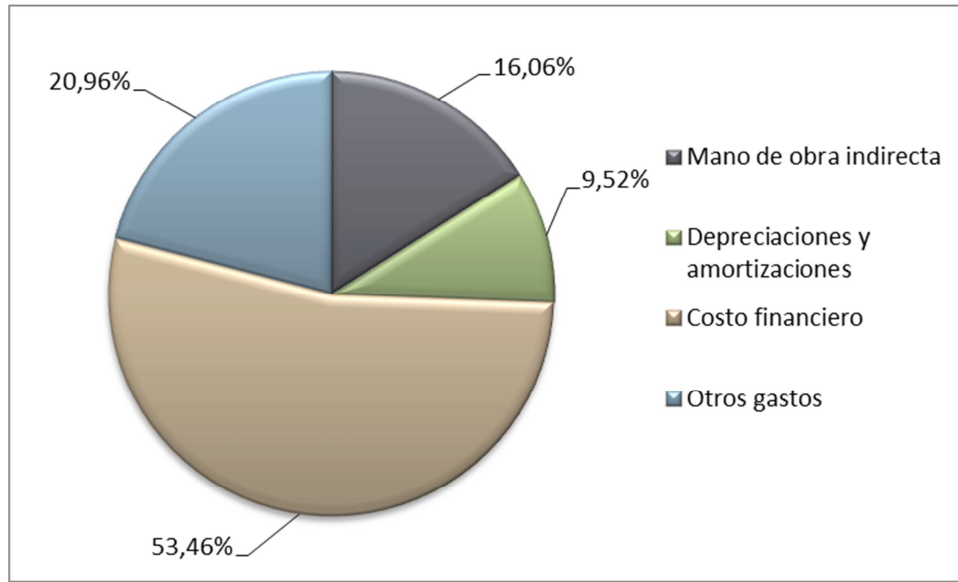


Gráfico 34-4. Resumen de costos fijos

#### 14.4. Ingresos por ventas

Los ingresos que percibe la planta corresponden a la venta a granel del coagulante en estado líquido. El precio de venta está definido en \$ por tonelada. En la tabla 14-23 se especifican las características de los ingresos por ventas tanto mensuales como anuales.

Tabla 14-23. Ingresos por ventas

Precio de venta [\$/t]	Volumen de ventas [t/año]	Ingresos mensuales [\$]	Ingresos anuales [\$]
18.819,13	5.080	8.691.015,99	95.601.175,85

#### 14.5. Costo total y unitario de producción

Los costos totales de producción surgen de la suma de costos variables y costos fijos; dan una visión general de la producción, permitiendo ser la base de la toma de decisiones de la empresa, ya que un incremento de estos produce una disminución en los beneficios percibidos. Es posible además estimar el costo de producción unitario, el cual representa el costo total necesario para producir una unidad mínima de producto terminado. Para el policloruro de aluminio se calcula por t de producto vendido. En la tabla 14-24 se detallan los costos antes mencionados.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 14-24. Costos totales

Costo variable [\$/año]	<b>64.838.005,59</b>
Costo fijo [\$/año]	<b>14.829.640,95</b>
Costo total [\$/año]	<b>79.667.646,54</b>
Costo de producción unitario [\$/t]	<b>15.682,61</b>

A partir de los datos de las tablas 14-23 y 14-24 es posible calcular el margen de beneficios que tiene la empresa, dado el precio de venta y el valor del costo de producción unitario. La diferencia entre éstos arroja un valor de \$3.136,52/t de PAC, lo cual representa un margen de beneficios de un **20%**. Este índice hace referencia a los ingresos brutos por tonelada de policloruro vendido.

### 14.6. Evaluación económica del proyecto

En todo proyecto es necesario evaluar la viabilidad y rentabilidad del mismo, ya que en el momento en que se forma una empresa se debe invertir un capital financiero elevado que se pretende recuperar luego de un tiempo determinado. Para evaluar dichos aspectos se emplean diferentes indicadores, dentro de los cuales los más destacados son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Se entiende por VAN al valor actual/presente de los flujos de efectivos netos de una propuesta particular, entendiendo por flujo de efectivo neto a la diferencia entre los ingresos y los gastos netos. La TIR es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión. En sí, ambos se basan en el mismo concepto, que es la estimación de los flujos de caja futuros de la empresa.

Para definir los indicadores, previamente debe analizarse el estado de resultados de la empresa.

#### 14.6.1. Estado de resultados

El objetivo del análisis del estado de resultados es determinar la utilidad neta y los flujos netos de efectivo del proyecto (FNE), los cuales representan el beneficio real de la operación de la planta, y que se obtienen restando a los ingresos todos los costos en los que incurra la planta y los impuestos que deba pagar. Mientras mayores sean los FNE, mejor será la rentabilidad económica de la empresa o del proyecto que se trate.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

A partir de estos datos es posible efectuar el análisis y la toma de decisiones correspondiente (BACA URBINA, 1995). A continuación, se detallan los componentes del estado de resultados:

- ✓ Ingresos: se definen los ingresos por ventas obtenidos tras un período de tiempo considerado (se obtienen multiplicando el precio de venta por el volumen de producción).
- ✓ Costos de producción: se consideran los costos fijos y variables.
- ✓ Depreciaciones: se detallaron en la sección anterior.
- ✓ Utilidad marginal (resultado operativo): se la define como la diferencia entre los ingresos por ventas y los costos de producción.
- ✓ Gastos generales: incluye los gastos administrativos, los cuales son aquellos reconocidos en la actividad administrativa de la empresa; los comerciales son los que se emplean para la venta del bien en cuestión y los de financiación hacen referencia a los que incurre la empresa al financiarse con terceros.
- ✓ Utilidad bruta (resultado antes de los impuestos): es la diferencia entre la utilidad marginal y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- ✓ Impuestos: se considera principalmente el impuesto a las ganancias, el cual es el 35 % de la utilidad bruta.
- ✓ Depreciaciones: en función de que no suponen desembolso de dinero, se reincorporan para determinar el flujo neto efectivo.
- ✓ Flujo neto efectivo (FNE): es la ganancia o pérdida final que la empresa obtiene tras la actividad.

En las tablas 14-25 y 14-26 se detalla el estado de resultados para el período de actividad considerado (10 años proyectados).

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tabla 14-25. Estado de resultados

<b>Categoría</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
Ventas netas	95.601.180,40	95.601.180,40	95.601.180,40	95.601.180,40	95.601.180,40
Costos de producción	71.448.208,34	69.112.928,45	70.967.142,44	70.967.142,44	70.967.142,44
Resultado operativo	24.152.972,06	26.488.251,95	24.634.037,96	24.634.037,96	24.634.037,96
Gastos de adm.	30.645,68	28.240,36	28.240,36	28.240,36	28.240,36
Gastos de com.	71.448,21	70.967,14	70.967,14	70.967,14	70.967,14
Gastos de finan.	9.951.553,50	9.896.958,71	9.826.349,42	9.735.028,02	9.616.918,96
Depreciación	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03
Utilidad bruta	12.687.041,64	16.492.085,74	14.708.481,05	14.799.802,44	14.917.911,51
Depreciación	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03
Impuesto a las ganancias	4.934.763,63	5.772.230,01	5.147.968,37	5.179.930,86	5.221.269,03
<b>FNE</b>	<b>9.164.561,03</b>	<b>10.719.855,73</b>	<b>9.560.512,68</b>	<b>9.619.871,59</b>	<b>9.696.642,48</b>

Tabla 14-26. Estado de resultados

<b>Categoría</b>	<b>AÑO 6</b>	<b>AÑO 7</b>	<b>AÑO 8</b>	<b>AÑO 9</b>	<b>AÑO 10</b>
Ventas netas	95.601.180,40	95.601.180,40	95.601.180,40	95.601.180,40	95.601.180,4
Costos de producción	70.967.142,44	70.967.142,44	70.967.142,44	70.967.142,44	70.967.142,4
Resultado operativo	24.634.037,96	24.634.037,96	24.634.037,96	24.634.037,96	24.634.037,9
Gastos de adm.	28.240,36	28.240,36	28.240,36	28.240,36	28.240,36
Gastos de com.	70.967,14	70.967,14	70.967,14	70.967,14	70.967,14
Gastos de finan.	9.464.164,49	9.266.601,94	9.011.087,59	8.680.622,19	8.253.220,06
Depreciación	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03
Utilidad bruta	13.658.382,95	15.268.228,52	15.523.742,88	15.854.208,28	16.281.610,4
Depreciación	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03	1.412.283,03
Impuesto a las ganancias	5.274.733,09	5.343.879,98	5.433.310,01	5.548.972,90	5.698.563,64
<b>FNE</b>	<b>9.795.932,89</b>	<b>9.924.348,54</b>	<b>10.090.432,87</b>	<b>10.305.235,38</b>	<b>10.583.046,8</b>

En el gráfico 14-5 se representan los flujos netos efectivos y su evolución para el período de actividad.

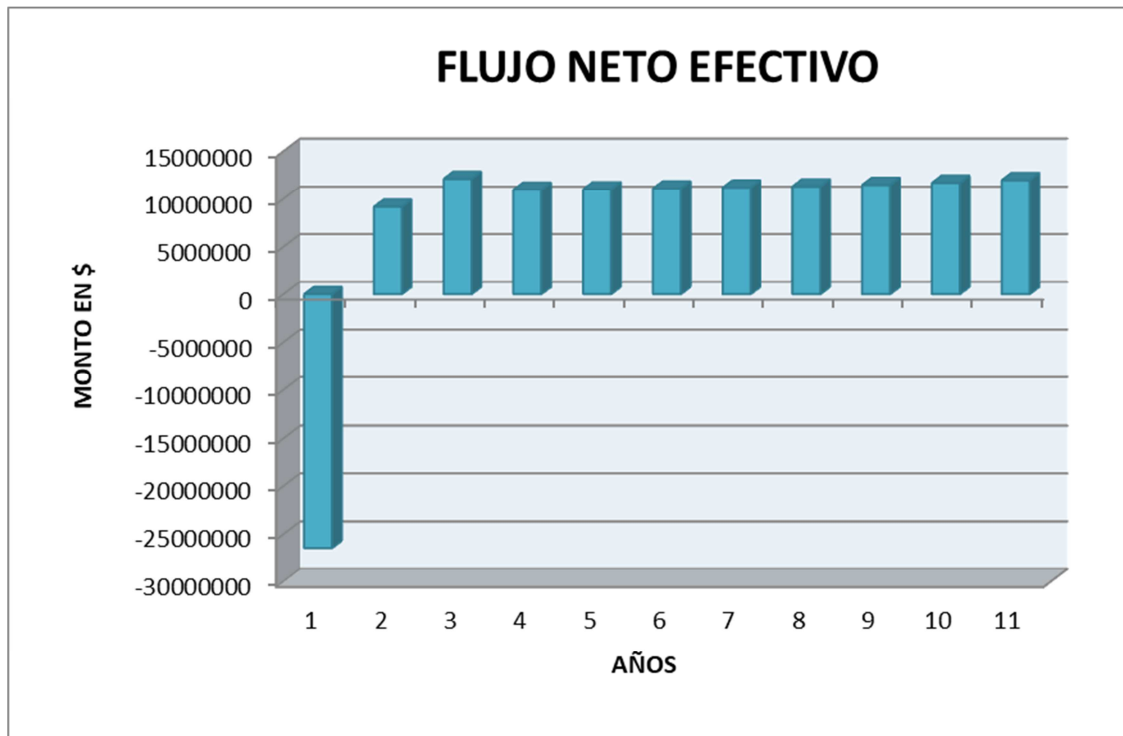


Gráfico 14-5. Flujo Neto Efectivo

#### 14.6.2. Valor Actual Neto (VAN)

Analíticamente se define al VAN como el valor monetario que resulta de la diferencia entre la suma de los flujos netos y la inversión inicial (ecuación 14-5).

$$VAN = -I_0 + \sum_{r=1}^n \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Ecuación 14-5

Dónde:

$I_0$ : Inversión inicial [\\$]

$FNE_n$ : Flujos netos efectivos correspondientes a los n años de duración de la actividad [\\$]

$i$ : Tasa de interés (TMAR)

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

A partir del valor obtenido en la ecuación anterior pueden darse los siguientes casos:

- ✓ Si el  $VAN > 0$ , la inversión produce ganancias por lo que el proyecto es aceptable.
- ✓ Si el  $VAN = 0$ , el proyecto no produce ni pérdidas ni ganancias, por lo que no aumenta el patrimonio de la empresa durante el período considerado.
- ✓ Si el  $VAN < 0$ , la inversión produce pérdidas razón por la cual el proyecto debe rechazarse.

Antes de invertir, una empresa siempre tiene que considerar una tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta, denominada TMAR. En el momento de realizar el análisis económico la TMAR correspondiente (TNA para el Banco Nación) es del 26%.

En la tabla 14-27 se expresa el valor actual neto del proyecto.

Tabla 14-27. Valor Actual Neto

<b>Valor Actual Neto (VAN) [\$]</b>	<b>11.354.539,68</b>
-------------------------------------	----------------------

A partir del resultado obtenido se determina que el proyecto evaluado es rentable económicamente debido a que las diferencias entre los futuros ingresos y la inversión es positiva, por lo que la empresa genera ganancias.

### 14.6.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

El segundo indicador empleado para definir la rentabilidad del proyecto es la Tasa Interna de Retorno (TIR), que se define como el interés máximo que podría pagarse por el préstamo solicitado para la inversión inicial sin que se aprecien pérdidas. Es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

- ✓ Si  $TIR > TMAR$  entonces el proyecto es viable y debe aceptarse.
- ✓ Si la TIR es demasiado elevada estamos frente a un proyecto rentable, que supone un retorno de la inversión equiparable a tipos de intereses altos que posiblemente ni se encuentren en el mercado.
- ✓ Si la TIR es baja debe rechazarse el proyecto debido a que es posible que existan mejores opciones en el mercado para invertir.

A partir del resultado la tabla 14-28 es posible evaluar la viabilidad económica del proyecto.



Tabla 14-28. Tasa Interna de Retorno

<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>39%</b>
--------------------------------------	------------

Se observa que el valor de la tasa interna es del 39%, valor superior al 26% de la TMAR, con lo cual se concluye que el proyecto es rentable.

#### **14.6.4. Período de Recuperación de la Inversión**

El período de recuperación de un proyecto es el número de años al cabo de los cuales el acumulado de los FNE previstos iguala a la inversión inicial. A partir de los valores obtenidos en el estado de resultados puede estimarse el período de recuperación de la inversión realizada en el proyecto (PRI), el cual mide en cuanto tiempo se recuperará el total de la inversión inicial, suponiendo que se utilizan los flujos efectivos netos para saldar la misma. Además debe tenerse en cuenta que este indicador no considera el valor del dinero en el tiempo. En la tabla 14-29 se exhibe el lapso de tiempo estimado.

Tabla 14-29. Período de Recuperación de la Inversión

<b>Período de Recuperación de la Inversión (PRI)</b>	<b>2 años y 10 meses</b>
--	--------------------------

Como se observa, la inversión inicial se recupera en un breve período de tiempo que resulta aceptable, ya que no excede los diez años tomados como proyección del análisis financiero. Se adhiere este indicador a los resultados positivos obtenidos tras calcular los valores de VAN y TIR.

#### **14.7. Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad es un término financiero empleado por las empresas para la toma de decisiones de inversión. El mismo se caracteriza por determinar los márgenes de rentabilidad del proyecto desde otra perspectiva, considerando el aumento o disminución de un indicador económico como la TIR a partir de fluctuaciones de las principales variables consideradas en el estudio económico, comparándolas con la función constante TMAR; dentro de los principales componentes se consideran el precio de ventas del producto en cuestión, los costos de las materias primas empleadas y los gastos de la mano de obra requeridos.

Cabe destacar que si la TIR se mantiene por encima de la TMAR el proyecto sigue siendo rentable, de lo contrario deja de serlo.

La principal utilidad de este análisis consiste en que permite conocer que variable afecta en mayor medida el resultado de operación del proyecto.

#### 14.7.1. Variación de la TIR con el precio de venta

A partir del gráfico 14-6 se analiza la relación entre la TIR y el precio de venta del policloruro de aluminio.

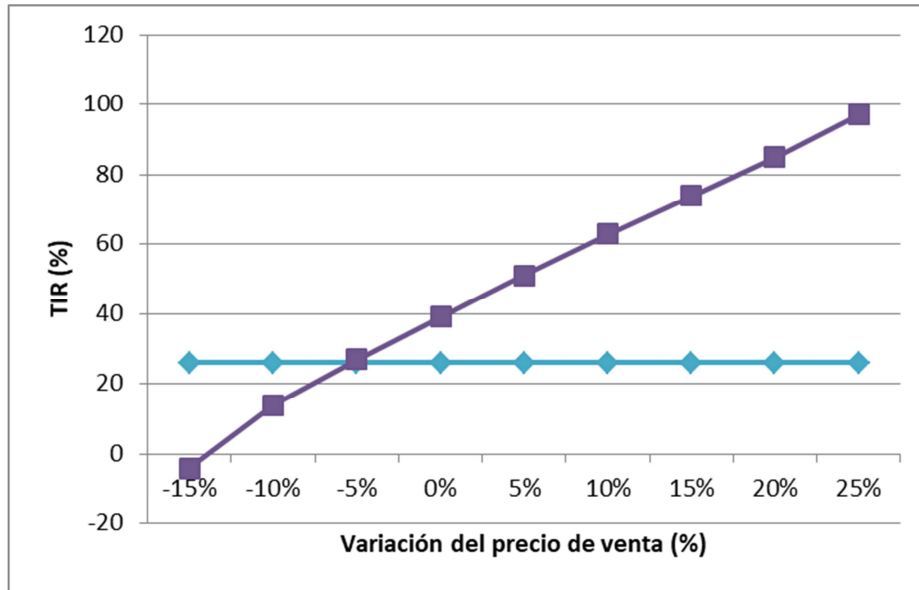


Gráfico 14-6. Variación de la TIR con el precio de venta

Se observa lógicamente que el valor de la TIR aumenta con el incremento del precio de venta, pero se ve condicionado con la caída del mismo; se acepta una disminución de hasta el 5% antes de que el proyecto comience a no ser rentable. Se concluye entonces, que el precio de venta es uno de los factores más importantes a controlar y regular para que el proyecto no deje de ser viable económicamente.

14.7.2. Variación de la TIR con el precio de las materias primas

A partir del gráfico 14-7 se analiza la relación entre la TIR y el precio de las materias primas.

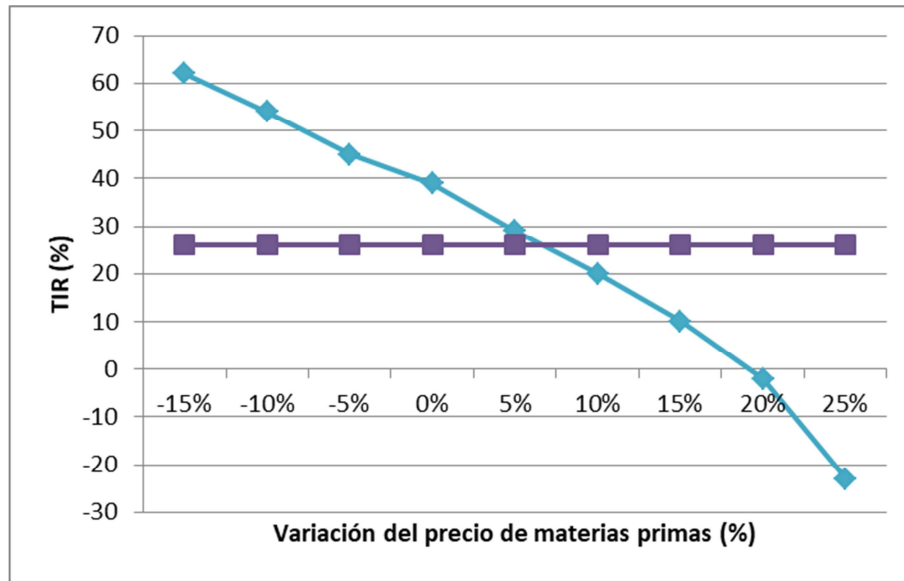


Gráfico 14-7. Variación del TIR con el precio de materias primas

Para el análisis de los costos de materias primas, se observa que el proyecto permite un aumento de hasta el 7%, ya que a partir de ese punto el valor de la TIR comienza a ser menor que el de la TMAR.

### 14.7.3. Variación de la TIR con los costos de mano de obra

A partir del gráfico 14-8 se analiza la relación entre la TIR y los costos de mano de obra.

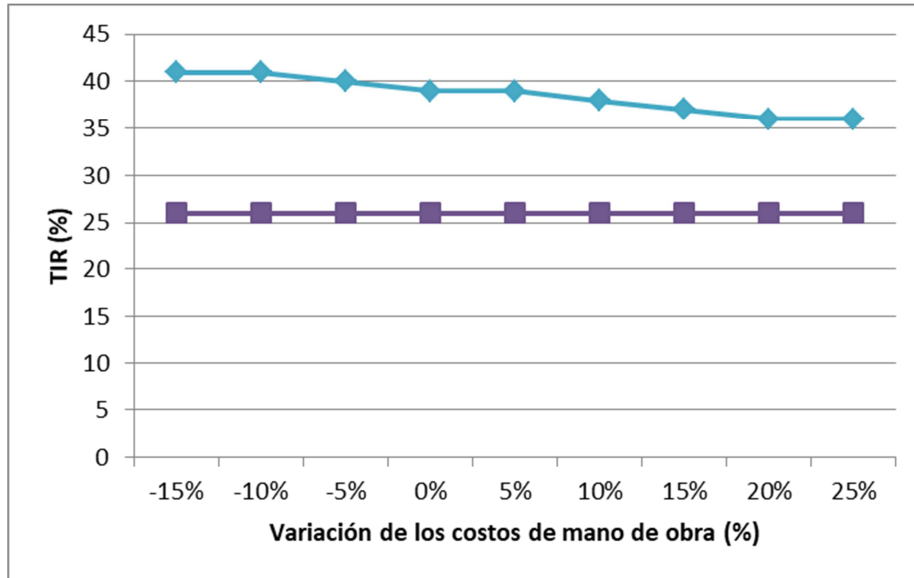


Gráfico 14-8. Variación de la TIR con los costos de mano de obra

En cuanto a la variación de la sensibilidad de la TIR con respecto a los costos de mano de obra (directa e indirecta) se observa que no se produce una modificación considerable de este indicador.

#### 14.8. Bibliografía

- **Activos fijos.** 2018. 5 de Noviembre de 2018. <https://debitoor.es/glosario/activo-fijo>.
- **Aguas Cordobesas.** [Citado el: 15 de Noviembre de 2018.] <https://www.aguascordobesas.com.ar/InfoUtil/ver/34/valores-vigentes>.
- **ANDÍA VALENCIA, Walter.** 2010. *Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN)*. s.l. : Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, 2010.
- **BACA URBINA, Gabriel.** 1995. *Evaluación de proyectos*. México: McGraw Hill, 1995.
- **Colegio de arquitectos.** [Citado el: 7 de Noviembre de 2018.] <http://www.colegio-arquitectos.com.ar/publicaciones-despliegue.php?idnoticia=1454>.
- **Coste Total.** [Citado el: 8 de Noviembre de 2018.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Coste\\_total](https://es.wikipedia.org/wiki/Coste_total).
- **Créditos Banco Nación.** [Citado el: 8 de Noviembre de 2018.] <http://www.bna.com.ar/Empresas/Pymes/Creditos>.
- **Decreto 873.** [Citado el: 8 de Noviembre de 2018.] <https://docs.argentina.justia.com/federales/decretos/decreto-n-873-1997-sep-3-1997.pdf>.
- **Depreciaciones.** [En línea] [Citado el: 8 de Noviembre de 2018.] <https://es.wikipedia.org/wiki/Depreciacion>.
- **EBARA.** 2018. *Electrobombas*. s.l. : Catálogo, 2018.
- **FAO.** [Citado el: 15 de Noviembre de 2018.] <http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s06.htm>.
- **Gestión de Cálculo Financiero.** [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] [http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/gestion-calculo-financiero/sistema\\_francs.html](http://contenidosdigitales.ulp.edu.ar/exe/gestion-calculo-financiero/sistema_francs.html).
- **Inversiones.** <http://www.spw.cl/proyectos/inversiones.htm>.
- **LOWARA.** 2018. *Electrobombas*. s.l. : Catálogo, 2018.
- **Productos muebles.** [Citado el: 7 de Noviembre de 2018.] <https://www.garbarino.com/productos/muebles-para-oficina/4211>.
- **Simulador Préstamos Banco Nación.** [Citado el: 8 de Noviembre de 2018.] <https://www.bna.com.ar/Simulador/SubInterna/NacionDestinoLibre?subInterna=SimuladorPrestamosNacionDestinoLibre>.
- **SpHidráulica.** [Citado el: 12 de Noviembre de 2018.] <http://sphidraulica.com/wp-content/uploads/2017/09/TARIFA-AVK-MARZO-2017.pdf>.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

- **Tasa Interna de Retorno (TIR).** [Citado el: 15 de Noviembre de 2018.]  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa\\_interna\\_de\\_retorno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno).
- **Válvulas.** [Citado el: 15 de Noviembre de 2018.]  
[http://www.helbertycia.com/sites/default/files/lista\\_de\\_precios\\_valvulas\\_duocheck\\_-\\_compuerta.pdf](http://www.helbertycia.com/sites/default/files/lista_de_precios_valvulas_duocheck_-_compuerta.pdf).
- **Valor Actual Neto (VAN).** [Citado el: 15 de Noviembre de 2018.]  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Valor\\_actual\\_net](https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_net).

---

# CONCLUSIONES

---

CAPÍTULO 15

### 15. CONCLUSIONES

Como conclusión final, se establece que al evaluar las diferentes etapas del proyecto, se cumple con los objetivos y expectativas que se plantearon al inicio del mismo.

El policloruro de aluminio es un producto que presenta una excelente prestación en el tratamiento de las aguas y efluentes líquidos, sin producir ningún tipo de contaminación ni interferencias. A través de un exhaustivo estudio referido a la comercialización y aplicaciones de este coagulante y teniendo en cuenta las materias primas requeridas, así como la localización de los mercados, se decide anexar a Atanor S.A (Río Tercero), la planta de producción de PAC, con el objetivo de aprovechar el ácido clorhídrico que se desprende como producto secundario, siendo éste una materia prima indispensable para la obtención de esta sustancia, lo que trae aparejado beneficios económicos y medioambientales. Esta opción resulta ser un lugar estratégico, debido a la cercanía a los mercados consumidores, rutas de transporte y accesibilidad a las materias primas necesarias.

Considerando el análisis llevado a cabo en el estudio de mercado, se obtiene la capacidad de producción óptima para cubrir las demandas del mercado nacional, la cual resulta satisfactoria.

El método de producción elegido emplea como materias primas aluminio metálico de origen secundario o reciclado (chatarras) y ácido clorhídrico al 37%. Además, se reutiliza el ácido clorhídrico de menor concentración generado en la misma instalación, con el objetivo de optimizar el proceso, logrando que sea sustentable y no genere un volumen considerable de efluentes que deban ser tratados.

Al igual que muchos tipos de materiales, el aluminio se puede reciclar un número ilimitado de veces sin pérdida de sus propiedades. Desde un punto de vista medioambiental, la industria secundaria presenta grandes ventajas respecto a la primaria en lo que se refiere a un menor consumo energético (tan sólo el 5% de la energía necesaria), ahorro de agua y de recursos naturales y menor generación de gases y de residuos, siendo así considerado el aluminio reciclado, un material cotizado y rentable. Además, se producen ahorros a nivel nacional debido a la reducción del capital necesario para subvencionar y transportar la materia prima.

Tras el análisis de los diversos rubros y de los indicadores calculados, se puede afirmar que el proyecto de producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario es viable y rentable desde el punto de vista económico financiero. La tasa interna de



## **PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

retorno TIR (39%) es significativamente mayor a la tasa nominal anual de interés financiada por el banco, a esta consideración se le suma que el resultado del VAN es positivo con un valor de \$11.354.539,68, junto a un período de recuperación de la inversión de 2 años y 10 meses. Cabe aclarar que los factores que pueden hacer que el proyecto deje de ser rentable son el precio de venta del PAC y el precio de costo de las materias primas.

Además del reporte de estado de resultados, se obtienen flujos netos efectivos (FNE) positivos para todo el período considerado del proyecto.

---

# ANEXO A

---

FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>FICHA DE SEGURIDAD 001</b>	
<b>Nombre común</b>	ALUMINIO
<b>Numero de CAS</b>	7429-90-5
<b>Numero UN</b>	UN 1309 (polvo, revestido) UN 1396 (polvo, no revestido)
<b>Categoría de riesgo UN</b>	4,1 (sólido inflamable) (UN 1309) 4,3 (reactivos con el agua/peligroso cuanto esta húmedo) (UN 1396)
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
El aluminio es un metal blanco maleable o una lámina metalizada de color gris brillante. El polvo de aluminio es de color blanco a gris. Se extrae de la bauxita y se usa en construcción, cableado eléctrico y conductores, componentes electrónicos, pinturas y medicinas.	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>LIMITES DE EXPOSICIÓN</b>
Peso molecular (g/mol): 26,98 Estado físico: sólido Punto de ebullición (°C): 2519 Punto de fusión (°C): 660	OSHA: el límite legal de exposición admisible en el aire es de 15 mg/m <sup>3</sup> para el total de polvo y de 5 mg/m <sup>3</sup> para el polvo respirable como promedio durante un turno laboral de 8 horas. NIOSH: el límite de exposición recomendado es el aire es de 10 mg/m <sup>3</sup> para el total de polvo y de 5 mg/m <sup>3</sup> para el polvo respirable como promedio durante un turno laboral de 10 horas. ACGIH: el límite de exposición recomendado en el aire es de 10 mg/m <sup>3</sup> para el total de polvo y de 5 mg/m <sup>3</sup> para los polvos de piro como promedio durante un turno laboral de 8 horas.
<b>MANERA DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Donde sea posible, encierre las operaciones y use ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. Si no se usa ninguna de las opciones anteriores deben usarse respiradores.</li><li>• Use ropa de trabajo protectora.</li><li>• Lavase bien inmediatamente después de la exposición al aluminio.</li><li>• Obtenga información sobre los peligros y advertencias en el área de trabajo, además, establezca una campaña continua de educación y capacitación, comunique a los trabajadores que pudieran estar expuestos toda la información sobre los riesgos de salud y seguridad del aluminio.</li></ul>	
<b>RIESGOS PARA LA SALUD</b>	
<b><i>Efectos agudos sobre la salud (a corto plazo)</i></b>	

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Los efectos pueden ocurrir inmediatamente o poco tiempo después de la exposición al aluminio.

- Al contacto puede irritar la piel y los ojos.
- La exposición al aluminio puede causar fiebre de los humos metálicos. Los síntomas de esta enfermedad incluyen sabor metálico, dolos de cabeza, fiebre, escalofríos, dolores, opresión en el pecho y tos. Los síntomas pueden no presentarse hasta varias horas después de la exposición y suelen durar de uno a dos días.

### **Efectos crónicos sobre la salud (a largo plazo)**

Los efectos pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al aluminio, y pueden durar meses o años.

- Riesgo de cáncer: a pesar de que el aluminio y los compuestos de aluminio no han sido identificados como carcinógenos, se ha determinado que la producción de aluminio es un carcinógeno.
- El polvo de aluminio es un sólido inflamable y presenta un grave peligro de incendio. La exposición al polvo fino de aluminio puede causar cicatrices pulmonares (fibrosis pulmonar) con síntomas de tos y falta de aire.

### **CONTROLES**

A menos que se pueda reemplazar una sustancia peligrosa por una sustancia menos tóxica, los controles de ingeniería son la manera más eficaz de reducir la exposición. La mejor protección es encerrar las operaciones o proveer la ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. También puede reducirse las exposiciones aislando las operaciones. El uso de respiradores o equipo de protección es menos eficaz que los controles ya mencionados, pero a veces es necesario.

Se debe considerar cuan peligrosa es la sustancia, la cantidad de sustancia emitida en el lugar de trabajo y la posibilidad de que haya contacto perjudicial para la piel o los ojos.

#### **Se recomienda:**

- Donde sea posible, transfiera el polvo de aluminio automáticamente desde los tambores u otros recipientes de almacenamiento a los recipientes de procesamiento.
- Antes de entrar en un espacio confinado donde podría haber polvo de aluminio, verifique que no haya una concentración explosiva.

### **PRÁCTICAS LABORALES**

Las buenas prácticas laborales pueden facilitar la reducción de exposiciones peligrosas.

#### **Se recomiendan las siguientes:**

- Los trabajadores cuya ropa no ha sido contaminada por aluminio deben cambiarse sin demora y ponerse ropa limpia.
- No lleve a casa ropa de trabajo contaminada. Podría exponer a sus familiares.
- La ropa de trabajo contaminada debe ser lavada por individuos que estén informados acerca de los peligros de la exposición al aluminio.
- El área de trabajo inmediata debe estar provista de lavaojos para uso de emergencia.
- Si existe posibilidad de exposición de la piel, deben suministrarse instalaciones de duchas de emergencia.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

- Si el aluminio entra en contacto con la piel, lávese o dúchese inmediatamente para eliminar la sustancia química.
- No coma, fume o beba donde se manipula, procesa o almacena aluminio ya que puede tragarse la sustancia química. Lávese las manos cuidadosamente antes de comer, beber, maquillarse, fumar o usar el baño.
- Use una aspiradora para reducir el polvo durante la limpieza. No barra en seco.

### EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Es mejor tener controles en el lugar de trabajo que usar equipo de protección individual. Sin embargo, para algunos trabajos puede ser apropiado usar un equipo de este tipo.

#### Recomendaciones:

- Evite el contacto de la piel con aluminio. Use guantes y ropa de protección. Los proveedores o fabricantes de equipos de seguridad pueden ofrecer recomendaciones acerca del material para guantes o ropa que provea la mayor protección para su función laboral.
- Toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, protección para la cabeza) debe estar limpia, disponible todos los días y debe ponerse antes de trabajar.
- Use protección ocular con coberturas laterales o gafas de protección.
- Cuando trabaje con sustancias corrosivas, sumamente irritantes o tóxicas, use una pantalla facial junto con gafas de protección.
- El respirador debe usarse si el empleador tiene un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones laborales, los requisitos de capacitación de los trabajadores, las pruebas de ajuste de los respiradores y los exámenes médicos.
- Abandone el área inmediatamente si usted puede oler el aluminio, percibir su sabor o detectarlo de cualquier manera mientras use un respirador de filtro o cartucho; experimente una resistencia respiratoria anormal mientras usa un filtro de partículas; o siente irritación ocular mientras usa un respirador de pieza facial completa. Revise el respirador para asegurarse que no haya fuga de aire entre la cara y los extremos de la máscara. Si no hay fuga, cambie el filtro o cartucho. Si entra aire, puede necesitar otro respirador.

### MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Antes de trabajar con aluminio debe estar capacitado en el almacenamiento y manipulación apropiada de esta sustancia química.
- Almacene en recipientes bien cerrados, en un área fresca y bien ventilada.
- Proteja los recipientes de daños físicos.
- Las fuentes de ignición, tales como el fumar y las llamas abiertas, están prohibidas donde se usa, manipula o almacena el polvo de aluminio.
- Dondequiera que se use, manipule, fabrique o almacene polvo de aluminio, use equipos y accesorios eléctricos a prueba de explosión.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>FICHA DE SEGURIDAD 002</b>	
<b>Nombre común</b>	ACIDO CLORHÍDRICO
<b>Numero de CAS</b>	7647-01-0
<b>Numero UN</b>	UN 1789 (Solución) UN 1050 (Anhidro) UN 2186 (Gas licuado refrigerado)
<b>Categoría de riesgo UN</b>	2,3 (Gas licuado y anhidro) – Riesgo principal 8 (En solución acuosa) – Riesgo secundario
<b>SINÓNIMOS</b>	
Ácido clorhídrico (solución acuosa), ácido hidroclicórico (solución acuosa), ácido muriático (solución acuosa), cloruro de hidrógeno (gas, anhidro), hidroclicloruro.	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
<p>Este compuesto se puede encontrar como gas licuado, donde se conoce como cloruro de hidrógeno, o como soluciones acuosas de diferentes concentraciones, que corresponden al ácido propiamente dicho. A temperatura ambiente, el cloruro de hidrógeno es un gas incoloro o ligeramente amarillo con olor fuerte. En contacto con el aire, el gas forma vapores densos de color blanco debido a la condensación con la humedad atmosférica. El vapor es corrosivo y, a concentraciones superiores a 5ppm, puede causar irritación. La forma acuosa, comúnmente conocida como ácido muriático o clorhídrico es un líquido sin olor a bajar concentraciones y humeante y de olor fuerte para concentraciones altas.</p> <p>Está disponible comercialmente como un gas anhidro o en forma de soluciones acuosas. El ácido clorhídrico comercial contiene entre 33% y 37% de cloruro de hidrógeno en agua. Las soluciones acuosas son generalmente incoloras pero pueden generar ligero color azul o amarillo a causa de trazas de Hierro, Cloro e impurezas orgánicas. Esta no es una sustancia combustible.</p>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>
Peso molecular (g/mol): 36,46 Estado físico: líquido Punto de ebullición (°C – 760 mm Hg): -84,9 (anhidro); 53 (solución acuosa 37%) Punto de fusión (°C): -114,8 (anhidro); -74 (solución acuosa 37%) pH: 0,1 (1N); 2,01 (0,01N) Solubilidad en agua: 67 (20 °C)	El gas anhidro no es generalmente activo, pero en solución acuosa es uno de los ácidos más fuertes y activos. Al entrar en contacto con óxidos metálicos y con hidróxidos forma cloruros. Descompone las zeolitas, escorias y muchos otros materiales silíceos para formar ácido silícico. Reacciona con los carbonatos básicos liberando dióxido de carbono y agua. Se oxida en presencia de oxígeno y catalizador o por electrólisis o por medio de agentes oxidantes fuertes para producir cloro. Es incompatible con varias sustancias como acetatos, alcoholes, entre otros.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

LÍMITES DE EXPOSICION OCUPACIONAL
<ul style="list-style-type: none"><li>• ACGIH: 5 ppm, 7 mg/m<sup>3</sup></li><li>• OSHA: 5 ppm, 7mg/m<sup>3</sup></li><li>• NIOSH: 50 ppm, 70 mg/m<sup>3</sup></li></ul>
APLICACIONES Y USOS
<p>La mayoría del cloruro de hidrógeno producido se consume en la industria química pero tiene aplicaciones difundidas en limpieza, desinfección y tratamiento de aguas.</p> <p>La producción de cloruro de vinilo y otros hidrocarburos clorados consume grandes cantidades de cloruro de hidrógeno anhidro. También se consume para la producción de caucho y polímeros clorados.</p> <p>En la extracción de petróleo, en forma acuosa, se usa para acidificar los pozos petroleros con el fin de aumentar el flujo del crudo a través de estructuras de roca calcárea.</p> <p>Se encuentra como aditivo o componente principal de muchos productos de limpieza, desinfección y para evitar la formación de depósitos carbonatados en baños y piscinas.</p> <p>En la industria de los metales se usa en la refinación de minerales metálicos en limpieza y desincrustación ácida y en electroplateado.</p> <p>Se usa en la refinación de grasas, jabones y aceites comestibles, en la curtición del cuero, producción de fertilizantes, colorantes, pigmentos y en el ajuste de pH del agua.</p>
EFFECTOS SOBRE LA SALUD
<p><b>Ácido clorhídrico, concentración mayor a 25%</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• R34: provoca quemaduras.</li><li>• R37: irrita las vías respiratorias.</li></ul> <p><b>Ácido clorhídrico, concentración entre 10 y 25%</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• R36/38: irrita los ojos y la piel.</li></ul> <p>Los efectos principales sobre la salud corresponden casi exclusivamente a la irritación del área de contacto. La exposición no implica en general efectos sobre órganos diferentes de aquellos en la superficie de contacto o portal de entrada. Esta sustancia es altamente soluble en agua. A niveles bajos, sus efectos agudos se resumen a la percepción por el olfato e irritación del tracto respiratorio superior. A mayores concentraciones puede causar irritación conjuntiva, daño en la superficie de la córnea e inflamación de la epidermis. En exposiciones cortas, induce obstrucción transitoria del tracto respiratorio, que disminuye con la exposición repetida.</p> <p>Las mayores fuentes de exposición al ácido clorhídrico en cualquiera de sus formas y que representan alguna significancia para la salud humana se encuentran en la industria. La exposición se puede dar como resultado de malos procedimientos de manejo y fallas técnicas de planta o a través de derrames accidentales. También se generan riesgos potenciales de exposición durante muestreos del proceso, válvulas dañadas, uniones mal selladas y acoples deficientes en bombas, reactores o compresores.</p> <p>Cuando esta sustancia entra en contacto con algunos metales, se genera hidrógeno gaseoso inflamable, que puede estallar violentamente y con alta liberación de calor si entra en contacto con fuentes de ignición. En la dilución del ácido concentrado en agua se debe tener presente que su adición al agua puede generar ebullición y salpicaduras violentas que pueden ser fuente de exposición a este material. Por tal motivo se</p>

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

recomienda agregar el ácido al agua.	
<b>Inhalación</b>	<p>Es una vía importante de exposición al HCl en forma gaseosa o a los vapor del HCl (l) concentrado.</p> <p>Los vapores pueden causar peligro de asfixia en lugares poco ventilados.</p> <p>La inhalación puede causar neumonitis y edema pulmonar, dando lugar al síndrome de disfunción reactiva de vías respiratorias. Los efectos pueden ser retardados.</p> <p>Es extremadamente irritante para las membranas mucosas de la nariz, garganta y tracto respiratorio. Niveles de 35 ppm causa irritación de garganta y niveles de 50-100 ppm son apenas tolerables por una hora. Las exposiciones a mayores concentraciones pueden llevar rápidamente a hinchazón y espasmo de la garganta hasta sofocación.</p> <p>Las personas más seriamente expuestas tienen inmediatos ataques de respiración, tonalidad azul en la piel y estrechamiento bronquial. Los niños pueden ser más vulnerables que los adultos.</p>
<b>Contacto piel/ojos</b>	<p>Quemaduras profundas en la piel y en membranas mucosas, generando cicatrices deformantes.</p> <p>El contacto puede causar enrojecimiento e irritación leve de la piel afectada.</p> <p>La exposición de los ojos a los vapores y soluciones concentradas pueden causar muerte de las células corneas, cataratas y glaucoma. La exposición a soluciones diluidas puede producir dolor punzante y úlceras.</p>
<b>Ingestión</b>	<p>La ingestión puede causar dolor, dificultad al tragar, náusea y vómito.</p> <p>En forma concentrada, heridas corrosivas severas en la boca, garganta, esófago y estómago con sangrado, perforación y secuelas potenciales.</p>
<b>Efectos crónicos</b>	<p>La exposición prolongada a la forma gaseosa ha sido asociada a cambios en el funcionamiento pulmonar, inflamación crónica de los bronquios, ulceración nasal, inflamación de la piel, decoloración y erosión dental e inflamación de la membrana ocular.</p> <p>La ingestión puede provocar formación de costras o peladuras en el esófago o estómago causando estrechez y dificultad de tragar.</p>
<b>Efectos sistémicos</b>	<p><b>Cardiovasculares:</b> la ingestión o exposición cutánea masiva puede causar baja en la presión arterial. Luego de una exposición aguda, el funcionamiento pulmonar retorna a la normalidad en un lapso de 7 a 14 días.</p> <p><b>Hematológicos:</b> puede provocar un incremento en la concentración de iones cloruro en la sangre causando acidosis.</p> <p><b>Musculares, Hepáticos:</b> no hay evidencia que cause efectos adversos tanto en forma crónica como aguda por ingestión o inhalación.</p> <p><b>Renales, Endocrinos, Inmunológicos, Neurológicos:</b> no se encontraron estudios referidos a efectos causados por ingestión o contacto.</p>



**RESPUESTA A ACCIDENTES**

**Exposición en ojos:** si soluciones de HCl en cualquier concentración entran en contacto con los ojos, se deben lavar inmediatamente con grandes cantidades de agua, levantando el párpado superior e inferior ocasionalmente para retirar el material que se haya podido haber acumulado en estas regiones. Los lentes de contacto no se deben usar cuando se esté trabajando con esta sustancia. Si existen objetos extraños en los ojos, como lentes de contacto, éstos se deben retirar primero antes de efectuar cualquier procedimiento. La víctima siempre debe recibir atención médica.

**Exposición en la piel:** si soluciones de HCl en cualquier concentración entran en contacto con la piel, se debe irrigar el área afectada con abundante agua. Si entran a través de la ropa, ésta se debe remover inmediatamente y se debe lavar la piel afectada con agua. Se debe recibir atención médica lo más pronto posible.

**Inhalación:** Si una persona aspira en grandes cantidades ácido clorhídrico anhidro o en forma de vapores procedentes de una solución acuosa, se debe ubicar la persona expuesta en un área de aire fresco en el menor tiempo posible. Si la respiración se ha detenido, se deben administrar técnicas de respiración artificial. En el caso de respiración dificultosa y si en las instalaciones existe equipo de respiración auxiliar con oxígeno, este procedimiento se debe administrar hasta la llegada de personal de atención de emergencias calificado. La persona afectada se debe mantener caliente y en reposo y debe recibir atención médica inmediata.

**Ingestión:** Si una persona ha ingerido soluciones concentradas de ácido clorhídrico y ella está aún consciente, suministrar grandes cantidades de agua para diluir los contenidos estomacales. Si se dispone de leche, se le debe hacer ingerir dos vasos de ella. No se debe intentar provocar el vómito en la persona, ya que se pueden producir quemaduras adicionales en el tracto digestivo superior. La víctima debe recibir atención médica inmediata.

**Rescate:** La persona afectada se debe retirar del lugar de exposición. Para mejor desempeño en momentos de emergencia, se deben aprender los procedimientos de emergencia de la instalación y conocer la ubicación del equipo de rescate antes que se presente la necesidad. En caso de emergencias con cloruro de hidrógeno gaseoso o como ácido clorhídrico concentrado, se debe usar equipos de respiración de presión positiva y ropa impermeable protectora contra químicos. Las víctimas que se pueden administrar a sí mismas procedimientos de emergencia relacionados con descontaminación se deben remover la ropa contaminada mientras se mantienen en un chorro de agua durante unos 5 minutos para remover el ácido clorhídrico de las zonas expuestas.

**INCENDIOS**

Esta sustancia no es combustible. En caso de la existencia de un incendio en los alrededores del área de almacenamiento, todos los agentes extintores están permitidos. Si el contenedor de la sustancia, como gas o en solución concentrada, se encuentra en medio del fuego, se debe mantener el contenedor fresco por medio de la aplicación de chorros de agua.

**Procedimiento en caso de fugas:**

- Ventilar del área de fuga para dispersar el gas.
- Detener el flujo del gas. Si la fuente es un cilindro y la fuga no se puede detener en el lugar, remover el cilindro de la fuga a un lugar seguro en el aire abierto.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

### Procedimiento en caso de derrames:

- Recolectar o confinar del material derramado en la manera más conveniente y segura, por ejemplo mediante el empleo de cordones de aislamiento absorbentes.
- Si es posible, recuperar del material derramado.
- Dilución y/o neutralización y disposición en un relleno sanitario de seguridad.

Personas que no tengan puesto equipo y ropa protectores se deben retirar de las áreas de fugas hasta que la limpieza se haya completado.

### EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Los empleados deben estar provistos y obligados a usar ropas impermeables, guantes, caretas (mínimo de ocho pulgadas) y otros tipos de ropas protectoras necesarias para prevenir cualquier contacto con la piel de nieblas o soluciones de cloruro de hidrógeno que posean un pH menor de 3. Se debe proceder de manera similar para el caso de exposiciones repetidas o prolongadas a nieblas o soluciones de cloruro de hidrógeno que posean un pH igual o mayor que 3.
- Donde exista alguna posibilidad de exposición del cuerpo de un empleado a soluciones de ácido clorhídrico que posean pH menor de 3 se deben proveer instalaciones para el rápido lavado del cuerpo en el área inmediata de trabajo para uso en emergencias.
- La ropa no impermeable que se contamine con soluciones de ácido clorhídrico con un pH menor de 3 se deben remover inmediatamente y no se deben usar hasta que el cloruro de hidrógeno sea removido por completo.
- La ropa no impermeable que se contamine con soluciones de ácido clorhídrico con un pH igual o mayor a 3 se deben ser remover prontamente y no se deben usar hasta que el ácido clorhídrico sea removido por completo.
- Los empleados deben estar provistos y obligados a usar gafas de seguridad a prueba de salpicaduras donde exista alguna posibilidad que nieblas o soluciones de ácido clorhídrico entren en contacto con los ojos.
- Donde exista alguna posibilidad de nieblas o soluciones de ácido clorhídrico con un pH menor que 3 entren en contacto con los ojos de los trabajadores, se debe proveer una ducha lava ojos en las cercanías inmediatas al área de trabajo.
- Se debe usar equipo de protección respiratoria (máscaras de respiración) cuando las prácticas de control de ingeniería y de operación no son técnicamente alcanzables, cuando tales controles están en proceso de instalación o cuando fallan y necesitan ser reemplazados.

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Antes de trabajar con ácido clorhídrico, el personal se debe entrenar en su manejo y almacenamiento. Además deben estar entrenados en el uso del equipo de protección personal. Debido a la posibilidad de generación de hidrógeno inflamable y combustible por el contacto del ácido clorhídrico con algunos metales, se debe prohibir fumar en zonas de almacenamiento, manejo o procesamiento de esta sustancia. En las mismas zonas, se deben revisar las líneas de conducción eléctrica para garantizar ausencia de cortos que puedan ocasionar chispas y posteriores explosiones e incendios.

Cuando se destapen contenedores con este material no se deben usar herramientas que produzcan chispas debido a la posibilidad de existencia de hidrógeno gaseoso. Los contenedores de este material pueden ser peligrosos debido a que retienen residuos de

producto (vapores, líquido).

Se debe almacenar separadamente de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y metales. Mantener en un lugar bien ventilado, fresco y seco. Los contenedores deben permanecer siempre bien cerrados, ajustados y protegidos de cambios extremos de temperatura y de daños físicos. El ácido clorhídrico es considerado un agente oxidante fuerte y se deben tener en cuenta disposiciones que eviten su contacto con materiales como cobre, bronce, hierro galvanizado, zinc, estaño, agentes oxidantes, materiales combustibles.

#### **COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE**

- La radiación ultravioleta del sol puede reaccionar con aerosoles de cloruro de sodio en el aire encontrados sobre los océanos para formar cloro libre en aerosol.
- Los volcanes son fuente del ácido clorhídrico atmosférico y se ha reportado ampliamente su contribución a los niveles atmosféricos.
- Reacciones químicas en la atmósfera también pueden contribuir en los niveles del ácido clorhídrico en el aire, pero, gracias a que los otros componentes reactivos son producto de transformaciones hechas por el hombre, el ácido clorhídrico formado no debe ser considerado como de origen de fuentes naturales.
- El ácido clorhídrico en agua se disocia casi completamente, con el ion de hidrógeno capturado por las moléculas agua para generar el ion hidronio.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>FICHA DE SEGURIDAD 003</b>	
<b>Nombre común</b>	POLICLORURO DE ALUMINIO 18
<b>Numero de CAS</b>	1327-41-9
<b>SINÓNIMOS</b>	
Hidroxiclорuro de aluminio, policloruro de aluminio, polihidroxiclорuro de aluminio.	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
El policloruro de aluminio PAC 18 se presenta en forma líquida y su coloración es ámbar o a marrón claro. Se caracteriza por ser soluble en agua y débilmente corrosivo. Puede utilizárselo para tratar cualquier tipo de agua, ya se para consumo humano como para mejorar la calidad de efluentes industriales o cloacales.	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>LIMITES DE EXPOSICIÓN</b>
Peso molecular (g/mol): 174,41 Estado físico: líquido Punto de ebullición (°C): 120-130 Punto de fusión (°C): -20 Solubilidad: en agua completa Basicidad (%): 38-44	OSHA: 2 mg/m <sup>3</sup> . ACGIH 2 mg/m <sup>3</sup> . NIOSH recomienda 2 mg/m <sup>3</sup> .
<b>ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>	<b>TOXICOLOGÍA</b>
Dado el bajo pH del producto se evitará el contacto con aquellos productos que son incompatibles con productos ácidos. El producto es estable en las condiciones de almacenamiento recomendadas. No se conocen reacciones peligrosas No dan lugar a la descomposición de productos peligrosos.	<b>Toxicidad aguda:</b> - Vía oral: 2000 mg/kg peso corporal. - Vía dérmica: 2000 mg/kg peso corporal. - Inhalación: 5000 mg/m <sup>3</sup> de aire. <b>Toxicidad crónica:</b> - Vía oral: 90 mg/kg peso corporal. - Vía dérmica: 90 mg/kg peso corporal. - Inhalación: 20,2 mg/m <sup>3</sup> de aire. <b>Generalidades:</b> - No es producto corrosivo ni irritante para la piel. - Produce lesiones oculares graves. - No tiene actividad muta génica. - No es carcinógeno.
<b>SINTOMAS Y PRIMEROS AUXILIOS</b>	
<b>Inhalación:</b> es poco probable, pero en caso de su inhalación se debe respirar aire fresco y enjuagar la con agua boca y nariz. En caso de que lo síntomas persistan, llamar al médico.	
<b>Contacto ocular:</b> en caso del contacto con los ojos provocando enrojecimiento e irritación, se deben lavar inmediatamente con abundante agua templada durante varios minutos. Lavar también debajo de los parpados. En caso de que lo síntomas persistan,	

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

consultar con un médico.

**Contacto epitelial:** al contacto con la piel, provoca enrojecimiento. Lo primero que debe realizarse es lavar con abundante agua y jabón. Quitar la ropa contaminada antes de usarla nuevamente. En caso de que los síntomas persistan, consultar con un médico.

**Ingestión:** tras la ingestión de la sustancia, puede causar trastornos digestivos, en muchos casos gastroenteritis. A pesar de ello no induce al vomito. Sin embargo se debe enjuagar la boca con agua, beber 1 o 2 vasos de leche. No suministrarle la bebida en caso que la persona se encuentre inconsciente. En caso de que los síntomas persistan, consultar con un médico.

### INCENDIOS

El policloruro de aluminio es una sustancia no inflamable y no es combustible.

En caso de incendio en el entorno, se puede generar cloruro de hidrógeno. Al entrar en contacto con ciertos metales puede dar lugar a la formación de hidrógeno gaseoso, que sí es inflamable. Una alta concentración del mismo puede generar una mezcla explosiva con el aire atmosférico.

Una forma de combatir el incendio adyacente es enfriando los contenedores con agua, además de permanecer en un lugar donde haya circulación de viento.

Se debe tener además precaución de emplear los equipos de protección personal.

### MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

#### Precauciones personales:

Evacuar el área, manteniendo al personal que no sea necesario fuera de la misma.

Proteger la zona de riesgo y prohibir la entrada al personal ajeno.

En caso que sea posible, detener el derrame de la sustancia sin arriesgar la vida del personal.

No aspirar las emanaciones gaseosas generadas.

#### Método de limpieza:

Absorber con los productos específicos (inertes) la zona afectada.

Contenga la zona de manera tal que no afecte indirectamente a los desagües cloacales y pluviales. En caso de que sea imposible su retención, avisar a las autoridades de la contaminación.

Transfiera el mayor porcentaje posible del líquido derramado a un contenedor de retención para su posterior manejo.

Limpia la zona luego de la extracción del líquido derramado con abundante agua y luego neutralizar el agua de lavado.

### CONTROLES DE EXPOSICIÓN

#### Controles técnicos apropiados

Dotar a las instalaciones de lavaojos y duchas de emergencias.

Proveer de ventilación suficiente en las áreas de trabajo.

#### Medidas de protección individual

Utilizar gafas de protección.

Utilizar guantes de resistencia química (PVC, neopreno, goma natural). Úsese indumentaria protectora adecuada. Protección respiratoria necesaria.

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>Controles de exposición medioambiental</b>	Medias organizativas: procedimientos operativos y de control para minimizar emisiones, especialmente durante operaciones de limpieza.
<b>MANEJO Y ALMACENAMIENTO</b>	
<p><b>Manipulación:</b> El lugar y métodos de trabajo deberán estar organizados de forma tal que se evite o minimice el contacto directo con el producto. El personal que este en contacto directo con el producto debe poseer guantes de protección de un material apropiado tal como PVC, neopreno o goma natural. Se debe tener en cuenta la permeabilidad y resistencia de los guantes además de la protección general de la persona (incluir gafas cerradas).</p> <p><b>Almacenamiento:</b> El policloruro de aluminio debe mantenerse alejado de los productos incompatibles a él, como los productos alcalinos. Se debe evitar las temperaturas extremas en el almacenamiento, tanto las altas temperaturas como las de congelación. Se recomienda inspeccionar una vez al año los depósitos de almacenamiento y limpiar los mismos.</p> <p>Los materiales recomendados son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Plásticos (PE, PP, PVC)</li><li>• Poliéster reforzado con fibra de vidrio</li><li>• Cemento revestido de resina epoxi</li><li>• Titanio</li><li>• Acero resistente a los ácidos</li></ul>	

---

# ANEXO B

---

TÉCNICAS DE CONTROL DE CALIDAD Y REGISTROS

## TÉCNICAS PARA CONTROL DE CALIDAD

### T-01 Densidad de sólidos

La determinación de la densidad de sólidos por el principio de Arquímedes consiste en determinar el empuje (E), el cual se halla realizando la diferencia entre el peso del sólido en el aire ( $w_s$ ) y el peso aparente del sólido sumergido en el líquido ( $w_a$ ). El volumen del líquido desalojado corresponde al volumen del sólido sumergido.

Se pesa un vaso de precipitados parcialmente lleno de agua ( $w_b$ ). Luego se ata el sólido con un hilo delgado y se suspende en el beaker con agua. Debe asegurarse de que el sólido no toque las paredes del vaso. Se obtiene el peso del sistema y se anota su peso como  $w_T$ .

La cuerda sostiene el peso del sólido pero no anula el empuje, de tal manera que  $w_T$  es igual al peso del recipiente con agua más el empuje (peso del agua desalojada por el sólido,  $w_{des}$ ).

$$E = W_{des} = W_T - W_b = V d_L$$

Donde  $w_{des}$  es el peso de líquido desalojado, V el volumen del sólido y  $d_L$  la densidad del líquido.

Teniendo en cuenta la ecuación anterior, la densidad se puede calcular a partir de la siguiente expresión.

$$d_s = \frac{w_s}{V} = \frac{w_s}{(w_T - w_b)} \cdot d_L$$

### T-02 Distribución de tamaños de partículas en sólidos

El tamizado es el método empleado para determinar la granulometría de sólidos particulados. Es especialmente útil cuando la mayoría de las partículas son mayores de 100  $\mu\text{m}$ . La granulometría se caracteriza en términos descriptivos, según la abertura nominal del tamiz. El método está destinado a estimar la distribución del tamaño de partícula total de un material sin mezclar. Se debe tamizar en condiciones tales que no se generen ni pérdida ni aumento del contenido de humedad de la muestra. Controlar la humedad relativa del ambiente del lugar donde se efectúa el tamizado es imprescindible para impedir que la muestra absorba o pierda humedad.



Como equipos se utilizan tamices analíticos que cumplan con la norma, de acero inoxidable con aberturas nominales. Se emplean métodos de agitación mecánica o electromagnética.

El procedimiento consiste en tarar cada tamiz con una aproximación de 0,1 g. Colocar una cantidad de la muestra de prueba pesada con exactitud en el tamiz superior y tapar. Agitar el conjunto de tamices durante 5 minutos, luego se desmonta cuidadosamente cada dispositivo del conjunto evitando pérdidas de material. Reiterar el pesaje de cada tamiz y determinar el peso de las partículas en cada uno de ellos. Repetir los pasos hasta obtener los resultados del punto final. Una vez completado el análisis, conciliar los pesos del material. El tamizado se da por concluido cuando el peso de cualquiera de los tamices no presenta variaciones de más de 5%.

Los datos procesados deben incluir el peso de la muestra de análisis, el tiempo total de tamizado y la descripción de la metodología empleada, así como los pesos del material retenido en cada tamiz individual. En algunos casos, se recomienda convertir estos datos en una distribución acumulativa del peso.

### **T-03 Determinación de pH**

El PAC se presenta en forma líquida; es una solución clara ligeramente ámbar, libre de sedimentos o materia extraña visible, de pH menores de 4. El procedimiento según la ANSI/AWWA B408-98, 2010 para evaluar este parámetro consiste en tomar 100 ml del producto en un vaso de precipitado, introducir el electrodo del medidor de pH en la muestra y realizar la lectura.

### **T-04 Determinación de la densidad**

La densidad debe encontrarse entre 1,36 g/ml a 1,38 g/ml. Para determinar este parámetro se realizan los siguientes pasos: se ajusta la muestra a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , se mide 250 ml de muestra en un cilindro graduado, y se introduce el densímetro y se toma la lectura, (ANSI/AWWA B408-98, 2010).

### **T-05 Determinación de la viscosidad**

El funcionamiento del viscosímetro Brookfield se basa en el principio de la viscosimetría rotacional; mide la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un husillo inmerso en la muestra de fluido a estudiar. Se emplea un tipo RVT, que tiene un límite inferior de 20 cP. Se monta el viscosímetro con su dispositivo de protección sobre su soporte. Se llena un vaso con el producto a ensayar, teniendo

## PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO

Proyecto final de grado – Ingeniería química

---

cuidado de no producir burbujas de aire. Introducirlo en el baño de agua a la temperatura del ensayo. Esperar que se equilibren las temperaturas. Sumergir el vástago en el líquido a medir hasta la marca que figura sobre el eje. Bajar el viscosímetro sobre su soporte y fijar el vástago al eje. Comprobar verticalidad y temperatura. Poner el motor en marcha. Ajustar a la velocidad deseada. Desbloquear la aguja y dejar que gire hasta que se estabilice sobre el dial. Generalmente tarda entre 5 y 10 segundos. Bloquear la aguja y anotar la lectura. Después, volver a poner en marcha el motor y tomar otra lectura. Se continúa tomando lecturas hasta que 2 valores consecutivos no difieran en  $\pm 3\%$ , salvo otra indicación. Tomar el valor medio de las dos últimas lecturas. La viscosidad Brookfield RV, en cP, de la muestra a ensayar, se obtiene según la siguiente expresión:

$$v = K.L$$

Siendo K un coeficiente que depende de la relación velocidad / vástago utilizado y L el valor medio de las dos lecturas dadas como válidas.

### T-06 Determinación de la turbidez

La turbidez está asociada a la medida de la pérdida de transparencia de una solución causada por la presencia de partículas insolubles en suspensión, coloidal o muy finas, difíciles de decantar y filtrar. En el procedimiento de este parámetro se toma un volumen de 50 ml de muestra, se introduce en la celda del turbidímetro y se realiza la lectura, (ANSI/AWWA B408-98, 2010).

### T-07 Contenido de aluminio como porcentaje de $Al^{+3}$

Se calcula la cantidad de muestra a utilizar según el total esperado de aluminio. Se pesa la muestra con una apreciación de 0,01 g, luego se transfiere a un matraz aforado de 500 ml y se diluye hasta 200 ml, se adiciona 25 gotas de ácido sulfúrico concentrado al 98%, 50 ml de ácido etilendiaminotetracético (EDTA) 0,05 M, previamente estandarizada y se mezcla. Se adicionan 25 ml de buffer acetato de amonio, se calienta el contenido a ebullición por 2 a 3 minutos, luego se enfría la solución a temperatura ambiente y posteriormente se le agregan gotas de indicador anaranjado de xileno; se titula el exceso de EDTA con sulfato de zinc previamente estandarizado, el cambio de color que se observa es de amarillo a rojo púrpura, posteriormente se calcula el porcentaje de aluminio, (ANSI/AWWA B408-98, 2010):

$$Al^{+3} = \frac{(1 - M.V). 67,45}{PM}$$

Donde:

$Al^{+3}$ : Contenido de aluminio en peso (%)

$M$ : Molaridad del sulfato de zinc (M)

$V$ : Volumen gastado de sulfato de zinc (ml)

$PM$ : Peso molecular de la muestra (g)

67,45: Relación de peso molecular (Adimensional)

### T-08 Determinación del porcentaje de materia activa ( $Al_2O_3$ )

El porcentaje de materia activa y %  $Al_2O_3$  se determina según el procedimiento de la norma (ANSI/AWWA B408-98, 2010), donde se pesan 4,0 g dentro de un vaso e precipitado de 100 ml adicionando 15 ml de ácido clorhídrico (HCl) y se lleva a ebullición, la misma se trasvasa a un balón aforado de 250 ml y se completa el aforo; se toman 150 ml con una pipeta volumétrica y se coloca en un erlenmeyer de 250 ml para adicionar 10 ml de EDTA y 30 ml de solución buffer, se lleva a ebullición y se le adicionan 25 ml de alcohol etílico y 2 ml de ditizona, titulando con sulfato de zinc hasta obtener un cambio de color de verde azul a violeta claro.

$$\%Al_2O_3 = \frac{(1 - M \cdot V) \cdot 127,5}{PM}$$

Donde:

$\%Al_2O_3$ : Óxido de aluminio en peso (%)

127,5: Relación de peso molecular (Adimensional)

$$\%IAL = \frac{(Al_2O_3) \cdot 174,41}{102}$$

Donde:

$\%IAL$ : Ingrediente activo (%)

174,41: Peso molecular del PAC

102: Peso molecular del  $\%Al_2O_3$

### T-09 Determinación del porcentaje de cloruros (Cl)

El porcentaje de cloruro se determina pesando aproximadamente 0,2 g de la muestra en un vaso de precipitado de 100 ml con 40 ml de agua destilada, se agregan 8 gotas de indicador 2.7 diclorofluoresceína 0,1% en etanol; se ajusta el pH de la muestra, agregando gota a gota hidróxido de sodio 0,1 N, hasta que la solución tome un color verde fluorescente, se valora la muestra con  $AgNO_3$  0,1 N, donde el final de la titulación, está

representado por un cambio de color verde fluorescente a rosado fuerte, (ANSI/AWWA B408-98, 2010).

$$\%Cl^{-} = \frac{V \cdot N \cdot 3,5453}{PM}$$

Donde:

$\%Cl^{-}$ : Porcentaje de cloruros (%)

$V$ : Volumen gastado de del nitrato de plata (ml)

$N$ : Normalidad del nitrato de plata (N)

### T-10 Determinación del porcentaje de basicidad

Para el porcentaje de basicidad, se toman 2,5 g de muestra en un erlenmeyer de 250 ml previamente tarado (pesado vacío), luego se pesa con la muestra, para conocer la cantidad de muestra en gramos. Se le agregan 100 ml de agua destilada, 10 ml de HCl 1 N y se coloca sobre una plancha de calentamiento hasta ebullición. Después de ebullición por 5 minutos se deja enfriar a temperatura ambiente, con agitación constante; se adicionan 25 ml de KF al 50%, 4 gotas de indicador fenolftaleína y se titula con NaOH 0,5 N. El punto final está dado por un color rosado y persiste por 1 minuto. Se calcula el porcentaje de OH dado y se determina posteriormente el grado de polimerización (para la determinación de la basicidad se debe realizar un blanco).

$$\%OH = \frac{V_b \cdot V_m \cdot 1,7}{PM}$$

Donde:

$\%OH$ : Iones hidróxido (%)

$V_b$ : Volumen de NaOH gastado por el blanco en la titulación (ml)

$V_m$ : Volumen de NaOH gastado por la muestra en la titulación (ml)

$$\%Basicidad = \frac{\%OH \cdot 82,91}{Al^{+3}}$$

La basicidad es una propiedad que relaciona la cantidad promedio de iones de OH por átomos de aluminio y está íntimamente relacionada con el grado de polimerización del PAC, esto debido a los diferentes monómeros y dímeros que se forman al momento de reaccionar las materias primas ya mencionadas para la fabricación del policloruro de aluminio, influyendo en las mismas, las condiciones de acidez, temperatura del sistema, concentración y el grado de dilución.

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

**PLANILLAS DE REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD**

Tipo de registro	MATERIA PRIMA				RMP-01		
Producto	Ácido clorhídrico (ATANOR S.A)						
Parámetro	Acidez total	Aspecto	Cloro libre	Hierro	Densidad	Sulfato	Flúor
Técnica	IRAM 41103 - ASTM E224						
Límite de aceptación	32 37%	Levemente amarillo	<10 µg/g	<5 µg/g	1,161 g/cm <sup>3</sup>	<0,005%	<5 µg/g
Resultado							
Analista							
Fecha							
Lote							
Firma							

Tipo de registro	MATERIA PRIMA				RMP-02		
Producto	Agua (ATANOR S.A)						
Parámetro	pH	Color	Dureza total	Alcalinidad	Conductividad	Cloruros	
Técnica	APHA, AWWA						
Límite de aceptación	7±1	Incolora	10-75 mg/l	50-150 mg/l	50-200 µS/cm	10-50 ppm	
Resultado							
Analista							
Fecha							
Lote							
Firma							

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>Tipo de registro</b>	<b>MATERIA PRIMA</b>			<b>RMP-03</b>
<b>Producto</b>	Aluminio en medias esferas			
<b>Parámetro</b>	Peso	Densidad	Diámetro	Presencia de material extraño
<b>Técnica</b>	Es bascula	T-01	Inspección visual	
<b>Límite de aceptación</b>	Especificado	2610 kg/m <sup>3</sup>	3 cm	Ausencia
<b>Resultado</b>				
<b>Analista</b>				
<b>Fecha</b>				
<b>Lote</b>				
<b>Firma</b>				

<b>Tipo de registro</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO</b>	<b>RM-04</b>
<b>Equipo</b>		Molino M-01	
<b>Parámetro</b>		Diámetro de partículas de aluminio	
<b>Técnica</b>		T-02	
<b>Día /Hora</b>	<b>Límite de aceptación</b>	0,3 cm	
25/10/18	12:00		
<b>Operario a cargo</b>			
<b>Fecha</b>			
<b>Lote</b>			
<b>Firma</b>			

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>Tipo de registro</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO</b>				<b>RR-05</b>	
<b>Equipo</b>		Reactores R-01 A/B/C					
<b>Parámetro</b>		Temperatura	Presión	pH	Velocidad de agitación	Caudal	
<b>Técnica</b>		Control automático					
<b>Día Hora</b>	<b>Límite de aceptación</b>	112 – 115°C	1 atm	2-3	78 - 80 rpm	1009,5 m <sup>3</sup> /h	3,6128 m <sup>3</sup> /h
25/10/18	12:00						
<b>Lote</b>							
<b>Operario a cargo</b>							
<b>Firma</b>							

<b>Tipo de registro</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO</b>				<b>RI-06</b>	
<b>Equipo</b>		Intercambiador de calor I-01					
<b>Parámetro</b>		Temperatura					
<b>Técnica</b>		Control automático					
<b>Día /Hora</b>	<b>Límite de aceptación</b>	30±1°C					
25/10/19	12:00						
<b>Operario a cargo</b>							
<b>Fecha</b>							
<b>Lote</b>							
<b>Firma</b>							

**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

<b>Tipo de registro</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO</b>		<b>RC-07</b>
<b>Equipo</b>		Condensador-subenfriador I02		
<b>Parámetro</b>		Temperatura	Composición	
<b>Técnica</b>		Control automático	IRAM 41103 - ASTM E224	
<b>Día /Hora</b>	<b>Límite de aceptación</b>	35±1°C	HCl 11%	
25/10/18	12:00			
<b>Operario a cargo/ Analista</b>				
<b>Fecha</b>				
<b>Lote</b>				
<b>Firma</b>				

<b>Tipo de registro</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO</b>		<b>RF-08</b>
<b>Equipo</b>		Filtro F-01		
<b>Parámetro</b>		Presión de operación		
<b>Técnica</b>		Control automático		
<b>Día /Hora</b>	<b>Límite de aceptación</b>	5 kg/cm <sup>2</sup>		
25/10/18	12:00			
<b>Operario a cargo</b>				
<b>Fecha</b>				
<b>Lote</b>				
<b>Firma</b>				



**PRODUCCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINIO SECUNDARIO**

Proyecto final de grado – Ingeniería química

Tipo de registro	PRODUCTO TERMINADO			RPT-09	
Producto	Policloruro de aluminio – PAC 18				
Parámetro	Aspecto	pH	Densidad	Viscosidad	Turbidez
Técnica	Inspección visual	T-03	T-04	T-05	T-06
Límite de aceptación	Líquido claro amarillento	2-3	1,34 - 1,36 g/ml	40±0,5 cP	<50 NTU
Resultado					
Analista					
Fecha					
Lote					
Firma					

Tipo de registro	PRODUCTO TERMINADO				RPT-09		
Producto	Policloruro de aluminio – PAC 18						
Parámetro	Contenido de Al <sup>3+</sup>	Materia activa	Cl <sup>-</sup>	Basicidad	Fe y Mn	As, Pb y Cd	Cr y Ni
Técnica	T-07	T-18	T-19	T-10	Absorción atómica		
Límite de aceptación	8,7-12,6%	17,5±0,5%	21±1,5%	38-44%	0,018-0,035 g/g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0006-0,0025 g/g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01-0,02 g/g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Resultado							
Analista							
Fecha							
Lote							
Firma							

---

# ANEXO C

---

PLANOS