



# **PRODUCCIÓN DE SULFATO DE POTASIO A PARTIR DE VINAZA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL DELTA**

**CÁTEDRA: INTEGRACIÓN V**

**PROFESORES:**

BAUER, GUSTAVO

MUSSO, JUAN CARLOS

TAMBURINI, MARIANO

**CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA**

**AÑO: 2021**

**ALUMNOS:**

BONDESANI, SEBASTIÁN IVÁN PEDRO

CASTIGLIONI, MATÍAS EZEQUIEL

DE LA CRUZ, LEONARDO FABIÁN

GONZÁLEZ D'ALESSANDRO, NICOLÁS SANTIAGO

PELAYO, FEDERICO MATÍAS

## RESUMEN

---

Tucumán es el mayor productor de bioetanol de caña de azúcar de Argentina. El principal efluente del proceso es la vinaza, un líquido con una DQO y DBO enormemente superior al límite establecido por la autoridad de aplicación. Debido a su enorme volumen de producción, el manejo adecuado implica un costo importante para las destilerías. Actualmente, la vinaza se riega al suelo o se utiliza para compostaje.

El objetivo de este trabajo es diseñar una planta productora de energía y un fertilizante potásico aprovechando la vinaza que genera la industria azucarera-alcohólica en la provincia de Tucumán. Se analizaron varias alternativas: generar biogás y concentrar vinaza, en ambos casos como combustible para la generación de electricidad, y la producción de sulfato de potasio logrando reducir el nivel de potasio en vinazas de melaza mediante el uso de resina de intercambio ácido-catiónico fuerte (ZGC 108).

## ABSTRACT

---

Tucumán is the largest sugarcane bioethanol producer in Argentina. The main effluent from the process is stillage, a liquid with COD and BOD highly superior to the limit established by the enforcement authority. Due to its enormous production volume, proper handling implies a significant cost for distilleries. Currently, the stillage is irrigated to the ground or used for composting.

The objective of this work is to design a plant that produces energy and a potassium fertilizer taking advantage of the vinasse generated by the sugar-alcohol industry in the province of Tucumán. Several alternatives were analyzed: generating Biogas and concentrating stillage, in both cases as fuel for electricity generation, and the production of "Potassium Sulfate", reducing the potassium level in molasses stillage using acid exchange resin strong cationic (ZGC 108).

**PALABRAS CLAVE: SULFATO, POTASIO, VINAZA, FERTILIZANTE, ENERGÍA, RESINA, CALDERA.**

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Nombre del producto.....	1
1.1.1	Fórmula química.....	1
1.2	Propiedades físicas y químicas .....	1
1.2.1	Calidades .....	1
1.3	Aplicaciones.....	3
1.3.1	Fertilizante.....	3
1.3.2	Uso industrial y como materia prima.....	4
1.3.3	Medicina.....	4
1.3.4	Veterinaria.....	4
1.3.5	Saborizante de alimentos .....	4
1.3.6	Otros usos.....	4
1.4	Precio de venta .....	5
1.5	Sustitutivos.....	5
1.6	Origen del proyecto.....	6
1.7	Método de producción elegido .....	6
1.8	Materias primas.....	6
1.8.1	Vinaza .....	6
1.8.2	Bagazo.....	8
1.8.3	Ácido sulfúrico.....	9
2	ESTUDIO DE MERCADO .....	10
2.1	Cuestiones generales .....	10
2.2	Mercado de los fertilizantes potásicos.....	11
2.3	Disponibilidad de vinaza.....	11
3	SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA .....	14
3.1	Transformación de vinaza en sulfato de potasio y energía.....	14

3.2	Aplicación de vinaza como fertilizante natural .....	14
3.3	Comparación.....	15
3.3.1	Flexibilidad para cambios .....	15
3.3.2	Condiciones favorables .....	15
3.3.3	Complejidad de equipamiento .....	16
3.3.4	Complejidad operativa.....	16
3.3.5	Rendimiento de materias primas .....	16
3.3.6	Efluentes .....	16
3.3.7	Complejidad de mantenimiento .....	17
4	LOCALIZACIÓN DE PLANTA .....	17
4.1	Cribado: .....	17
4.1.1	Vinaza .....	18
4.1.2	Ácido sulfúrico.....	18
4.1.3	Sulfato de potasio.....	19
4.1.4	Energía eléctrica .....	19
4.1.5	Conclusión .....	20
4.2	Puntuaciones ponderadas.....	20
4.2.1	Materias primas.....	20
4.2.2	Servicios.....	20
4.2.3	Transportes .....	21
4.2.4	Mercado .....	21
4.2.5	Mano de obra .....	21
4.3	Microlocalización.....	21
5	INGENIERÍA DE PROCESOS .....	23
5.1	Descripción del proceso .....	23
5.1.1	Generación de energía.....	23
5.1.2	Producción de sulfato de potasio.....	28
5.2	Diagrama de bloques .....	38

5.3	Diagrama de flujo (Flow sheet).....	39
5.4	Diseño de equipos .....	40
5.4.1	Tanques de almacenamiento .....	40
5.4.2	Mezclador estático .....	50
5.4.3	Intercambiador iónico .....	55
5.4.4	Intercambiadores de calor .....	62
5.4.5	Caldera de lecho fluidizado .....	74
5.4.6	Turbina de vapor .....	78
5.4.7	Cristalizador .....	81
5.4.8	Centrifuga.....	88
5.4.9	Secador rotatorio.....	93
5.4.10	Cooler.....	95
5.4.11	Coating machine .....	96
5.5	Diseño completo de dos equipos .....	98
5.5.1	Diseño de intercambiador de calor FE-201.....	98
5.5.2	Diseño de intercambiador de calor FE-301.....	115
5.6	Cañerías e instrumentación, diagrama PID .....	135
5.6.1	Introducción.....	135
5.6.2	Controladores y alarmas .....	138
5.7	Instrumentación.....	156
5.8	Layout.....	157
5.8.1	Objetivos y principios de la distribución de planta.....	157
5.8.2	Tipos básicos de distribución.....	158
5.8.3	Métodos para determinar la distribución óptima .....	158
5.8.4	Distribución de equipos .....	160
5.8.5	Selección del tipo de distribución.....	161
5.8.6	Determinación de la distribución óptima de planta.....	162
5.8.7	Requerimiento de superficie por departamento .....	163

5.9	Diagrama isométrico .....	168
5.9.1	Generalidades del diagrama isométrico.....	169
5.9.2	Diagrama isométrico.....	170
5.9.3	Proceso de cálculo .....	170
5.10	Instalaciones de servicios auxiliares.....	190
5.10.1	Tren de producción de agua desmineralizada .....	191
5.10.2	Sistema de refrigeración del vapor condensado .....	193
5.10.3	Calderas auxiliares .....	193
5.10.4	Tratamiento de condensado vegetal y combustión de biogás.....	193
5.10.5	Compresores para HPA .....	195
5.10.6	Sistema de refrigeración en cristizador .....	197
5.10.7	Red de agua contra incendios .....	199
6	PUESTA EN MARCHA .....	199
6.1	Check lists previos .....	199
6.2	Arranque de planta.....	201
6.2.1	Servicios auxiliares (electricidad, aire y agua) y materia prima .....	203
6.2.2	Zona A (caldera, turbina y generador) .....	203
6.2.3	Zona B (circuito de vinaza con potasio y solución regenerante) .....	204
6.2.4	Zona C (concentración de vinaza y preparación de mezcla combustible).....	205
6.2.5	Zona D (producción de sulfato de potasio) .....	205
6.2.6	Zona E (tratamiento del condensado vegetal) .....	207
7	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA) .....	207
7.1.1	Normativa relacionada al EIA .....	208
7.1.2	Categorización de planta.....	208
7.1.3	Contexto del EIA .....	211
7.1.4	Matriz de Leopold .....	216
7.1.5	Residuos y tratamiento.....	219
7.1.6	Propuesta de mitigación de impactos .....	221

	7.1.7 Durante la operación .....	223
8	SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL .....	224
	8.1 Marco Legal. ....	224
	8.1.1 Normativa legal vigente relacionada a seguridad e higiene .....	224
	8.2 Seguridad durante la construcción de la planta .....	226
	8.2.1 Riesgos identificados.....	226
	8.2.2 Plan de prevención.....	227
	8.2.3 Personal de higiene y seguridad durante la construcción .....	228
	8.3 Seguridad durante la operación de la planta .....	228
	8.3.1 Gestión de seguridad y salud .....	228
	8.3.2 Elementos de protección personal.....	237
	8.3.3 Uso de EPP en todas las áreas de la planta.....	241
	8.3.4 Fichas de seguridad de materias primas y productos .....	244
	8.3.5 Medición de ambientes laborales .....	245
	8.4 Seguridad contra incendios .....	250
	8.4.1 Prevención de incendios .....	252
	8.4.2 Plan contra incendios .....	252
9	EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	257
	9.1 Costos de inversión.....	257
	9.1.1 Activos tangibles .....	257
	9.1.2 Activos intangibles.....	260
	9.2 Capital de trabajo.....	260
	9.3 Organización de la planta (estructura de personal). Organigrama.....	261
	9.3.1 Tipo de sociedad .....	261
	9.3.2 Elección del tipo de sociedad .....	261
	9.3.3 Organigrama de personal y departamentos.....	263
	9.3.4 Diseño de cargos y tareas .....	270
	9.3.5 Diagrama de turnos.....	273

9.4	Costos de producción. Costos fijos, variables y Punto de equilibrio .....	276
9.4.1	Punto de equilibrio.....	276
9.4.2	Costos fijos.....	276
9.4.3	Costos variables .....	278
9.4.4	Ingresos por ventas .....	281
9.4.5	Cálculo del punto de equilibrio.....	281
9.4.6	Financiamiento del proyecto.....	283
9.5	Flujo de caja.....	284
9.6	Rentabilidad: VAN, TIR y Retorno de Inversión.....	286
9.6.1	Tasa libre de riesgo.....	287
9.6.2	Diversificación de negocio .....	287
9.6.3	Cálculo del riesgo país y retorno esperado del mercado .....	287
9.6.4	Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).....	288
10	ANEXOS .....	290
11	BIBLIOGRFÍA .....	350
11.1	LIBROS Y MANUALES CONSULTADOS .....	350
11.2	PÁGINAS WEB.....	350

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Nombre del producto

Sulfato de potasio

#### 1.1.1 Fórmula química

$K_2SO_4$ .

### 1.2 Propiedades físicas y químicas

- **Punto de fusión:** 1066.7°C
- **Punto de ebullición:** 1689°C
- **Presión de vapor:** N/A
- **Densidad relativa:** 2.66
- **Densidad relativa de vapor:** N/A
- **Solubilidad en agua:** 43 g/100 ml a 20°C
- **pH:** 7 – 9 (solución al 5%)
- **Estado físico, color y olor:** Sólido, gránulos o polvo blanco a cristalino sin olor.
- **Velocidad de evaporación:** N/D
- **Punto de inflamación:** N/A
- **Temperatura de autoignición:** N/A
- **Porcentaje de volatilidad:** Insignificante
- **Límites de inflamabilidad (% v/v):** N/A
- **Viscosidad:** N/A

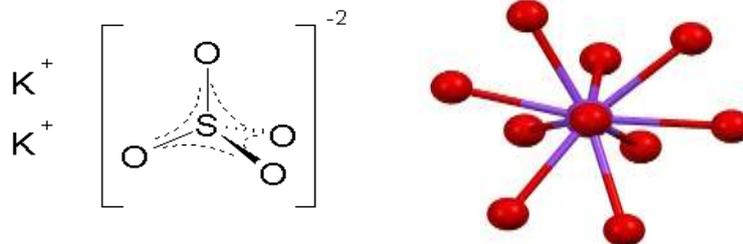


Figura 3.2.A. Fórmula estructural del sulfato de potasio. Fuente: Kemikungen [Public domain]

#### 1.2.1 Calidades

Debido a que el sulfato de potasio se emplea en su mayoría como fertilizante, hablaremos de la calidad desde este punto de vista. De este modo, podemos afirmar que la calidad está determinada

fundamentalmente por sus propiedades químicas y físicas. Las propiedades químicas indican el contenido de nutrientes, forma y disponibilidad para los cultivos.

Estas propiedades se vinculan muy directamente con la respuesta agronómica de los fertilizantes. Las propiedades físicas también son importantes para garantizar la respuesta del cultivo, pero inciden principalmente en el procesamiento, manipuleo, almacenamiento y aplicación (Fertilizer Manual, 1998).

Desde la perspectiva del usuario final (quien tiene que decidir la compra del fertilizante) y en un sentido amplio de calidad, la elección del producto debe basarse en el conocimiento de los diferentes atributos. Algunos de estos son:

- Precio por tonelada y por unidad de nutriente
- Disponibilidad del producto
- Condiciones comerciales
- Presentación física y facilidad de aplicación
- Servicios adicionales ofrecidos por proveedor

La importancia relativa asignada a cada uno de estos atributos dependerá del perfil del comprador. Evidentemente en fertilizantes destinados a cultivos extensivos, el precio, las condiciones comerciales y los servicios ofrecidos por el proveedor tienen un peso relevante en la decisión final de la compra de un determinado producto.

La calidad del producto adquirido por el usuario final está influenciada tanto por la calidad original del mismo (luego de su elaboración) como por el manejo efectuado durante las diferentes etapas del abastecimiento (Torres Duggan, 2007). La calidad de las operaciones y procesos efectuados en cada una de las etapas del sistema de distribución resultan fundamentales y pueden incidir marcadamente en la calidad del fertilizante. Así, una adecuada calidad original del fertilizante (elaboración) es una condición necesaria pero no suficiente para garantizar la calidad final del producto y su adecuado funcionamiento agronómico. Un correcto manejo logístico (transporte, almacenaje, carga, descarga, etc.) en los diferentes eslabones de la cadena de abastecimiento también es imprescindible para garantizar un producto de buena calidad (Torres Duggan, 2007).

La calidad de fertilizantes en la Argentina está regulada y controlada por el SENASA. La falta de cumplimiento de los requisitos de calidad implica sanciones económicas para el proveedor del fertilizante (ya sea importador, distribuidor y/o elaborador). Para realizar este trámite, las empresas proveedoras presentan muestras representativas de los fertilizantes comercializados y/o los

utilizados como materias primas para la elaboración de productos. Además, las empresas elaboradoras de fertilizantes, sobre todo las más profesionalizadas, realizan controles de calidad internos utilizando laboratorios propios o enviando las muestras a laboratorios reconocidos. En los últimos años se observa un creciente interés por parte de los productores en analizar el grado y calidad de los fertilizantes. Esto se relaciona con el elevado costo de los fertilizantes dentro de los costos directos totales de producción de cultivos.

En la Tabla 3.2.1.A se resumen las principales propiedades y valores de referencia a tener en cuenta para evaluar la calidad de fertilizantes granulados.

<b>Propiedad</b>	<b>Valor de referencia</b>
Granulometría	2-4 mm o 1-5 mm
Polvo (gránulos $\leq 0,84$ mm)	$\leq 2\%$ (1)
Gránulos $\geq 4$ mm	$\leq 1,5\%$ (1)
Humedad	$\leq 0,5\%$ (fertilizantes nitrogenados) $\leq 0,5-1\%$ (mezclas)
Dureza (resistencia mecánica)	$\geq 2,5$ kg/gránulo

(1) valores de referencia para mezclas físicas.

**Tabla 3.2.1.A Propiedades y valores de referencia utilizados en la evaluación de la calidad de los fertilizantes granulados. Elaborado en base a Fertilizer Manual (1998), Torres Duggan (2007) y Gowariker et al. (2009)**

## 1.3 Aplicaciones

### 1.3.1 Fertilizante

El uso del sulfato de potasio como fertilizante es su principal aplicación. El 90% de su producción total se usa para este propósito. Su empleo se prefiere al del cloruro de potasio en aquellos cultivos que son sensibles a la presencia del cloruro en el suelo; por ejemplo, el de tabaco.

El sulfato de potasio tiene un contenido de potasio del 40-44%, mientras su concentración de azufre representa el 17-18% del compuesto. El potasio es necesario para realizar muchas funciones esenciales para las plantas, ya que activa reacciones enzimáticas, síntesis de proteínas, formación del almidón, etc.

Además, el potasio interviene en la regulación del flujo del agua en las hojas. El azufre es necesario para la síntesis de proteínas, ya que está presente en aminoácidos que lo poseen; tal es el caso de la metionina, la cisteína y la cistina, y también interviene en reacciones enzimáticas.

Inclusive, el sulfato de potasio se usa por aspersion sobre las hojas en partículas de sulfato de potasio más pequeñas que 0,015 mm.

---

### 1.3.2 Uso industrial y como materia prima

El sulfato de potasio crudo se utiliza en la fabricación del vidrio y en la manufacturación del alumbre y carbonato de potasio. Se usa como reactivo en la fabricación de cosméticos. Se utiliza en la fabricación de la cerveza como agente correctivo del agua.

---

### 1.3.3 Medicina

Se emplea para corregir una disminución severa en la concentración plasmática de potasio (hipokalemia), producto de un uso excesivo de diuréticos que aumenten la excreción urinaria de potasio.

El potasio es el principal ion intracelular de las células excitables, entre ellas las cardíacas. Por lo que una disminución severa del potasio en el plasma compromete el funcionalismo cardíaco, debiéndose corregir de inmediato.

El sulfato de potasio tiene una acción catártica, es decir, favorece la expulsión de las heces del colon. Por esta razón se usa una mezcla de los sulfatos de potasio, magnesio y sodio para despejar el colon de heces antes de realizar una colonoscopia, lo cual permite una mejor visualización del colon por el médico.

---

### 1.3.4 Veterinaria

Se ha empleado el sulfato de potasio para disminuir el requerimiento de la metionina en la alimentación de las aves de corral. La presencia de un 0,1 % de sulfato de potasio en los alimentos de las gallinas ponedoras, está asociada con un incremento del 5 % en la producción de huevos.

---

### 1.3.5 Saborizante de alimentos

Es un agente saborizante que le confiere a los alimentos un sabor amargo y salino que es deseable en algunos de ellos. Además, se señala que el sulfato de potasio está dotado de los cuatro sabores básicos: dulzura, amargor, acidez y salinidad.

La salinidad, la acidez y el amargor aumentan con la concentración del sulfato de potasio, mientras la dulzura disminuye.

---

### 1.3.6 Otros usos

El sulfato de potasio se usa como un pirotécnico, en combinación con nitrato de potasio, para generar una llama de color púrpura. Se utiliza como reductor de destello en las cargas de los propulsores de artillería.

#### 1.4 Precio de venta

Nos basamos en los precios internacionales y, a través de [veritrade.com](http://veritrade.com). Veritrade Business es una base de datos que ofrece información oportuna sobre comercio exterior por medio de una interfaz sencilla de utilizar.

Se enfoca en brindar la más detallada y confiable información de las aduanas de múltiples países dentro de un producto, permitiendo realizar comparaciones entre países además de consultar costos, transacciones, participación de mercados, etc.

Encontramos que el precio de venta para el sulfato de potasio es de 0,618 U\$S/kg o 618 U\$S/ton.

#### 1.5 Sustitutivos

El Sulfato de Potasio, así como también el Cloruro de Potasio y el Nitrato de Potasio, son los fertilizantes inorgánicos más utilizados por ser buenas fuentes de Potasio, elemento fundamental en el crecimiento de las plantas.

Comparando el Sulfato con el Cloruro, éste último es levemente más barato, pero tiene una alta concentración de Cloro que influye negativamente en las plantas, ya que, al haber una gran cantidad de este compuesto en el suelo, los cultivos lo absorben en vez de los nutrientes fundamentales, como el Nitrato y el Potasio.

Por eso, cuando se aumenta la cantidad de Cloruros en el suelo, se producen efectos tóxicos, que llevan a la pérdida de rendimientos o inclusive la muerte de la planta.

En la comparación con el Nitrato, éste es superior al Sulfato, ya que cuenta con componentes Nitrogenados, que también son nutrientes fundamentales para el crecimiento de los cultivos. El rendimiento de los Nitratos en el suelo oscila entre el 70 y 75%, mientras que el rendimiento de los Sulfatos está entre el 50 y 60%. El alto rendimiento de los Nitratos se debe a que sus componentes absorbidos por el suelo en mayor medida que el de los Sulfatos. Una ventaja que tienen los Sulfatos respecto de los Nitratos es que son más efectivos en suelos alcalinos, con pH alto, ya que éstos ayudan a reducir ese pH hasta niveles neutros.

Por lo tanto, se puede decir que, a nivel fisicoquímico, el Nitrato le saca ventajas al Sulfato. Pero a nivel económico, y hablando específicamente de nuestro país, el Sulfato de Potasio sería producido de manera nacional, mientras que el Nitrato de Potasio no se produce en Argentina, por

lo que debe ser sí o sí importado desde el exterior, en efecto, se verá encarecido tanto por el precio internacional que tiene, y por las cargas arancelarias que tiene el país históricamente.

## 1.6 Origen del proyecto

La iniciativa de este proyecto surgió del aprovechamiento de un desecho industrial (vinaza) que se genera al producir alcohol utilizando la melaza de caña de azúcar. Si bien no provoca daños para la salud, los desechos consumen el oxígeno del agua y provoca la mortandad de los peces, además de emanar olores nauseabundos por la descomposición de la materia orgánica con la que está formada.

## 1.7 Método de producción elegido

Nuestra propuesta consiste en la producción de un fertilizante como lo es el sulfato de potasio, y además el aprovechamiento de la vinaza para la generación de energía.

Primero, a la vinaza se la precalienta hasta una temperatura de 40°C la cual es la óptima para el proceso intercambio iónico, el cual a la vinaza se le extrae el potasio en un 99%.

Luego, esa vinaza sin potasio es concentrada hasta un 60% de sólidos totales para facilitar su manipulación y evitar trabajar con cantidades tan grandes, posteriormente ingresa a la caldera donde se mezcla con otro combustible llamado bagazo y combustionan, liberando calor que será absorbido por una determinada cantidad de agua, generando vapor que accionará una turbina conectada a un generador dando como resultado la producción de energía eléctrica.

Respecto a la producción de sulfato de potasio, ese potasio retenido en la resina de intercambio es liberado a través del uso de una solución regenerante de ácido sulfúrico. Dicha corriente de salida, llamada solución madre, es concentrada a través de evaporación, para luego ingresar al cristizador, donde se produce la precipitación de los cristales de sulfato de potasio. Finalizado el período de cristalización, se produce la separación de los cristales y lo que quedaba de solución madre a partir de la centrífuga. La solución madre se recircula al cristizador mientras que los cristales siguen su proceso de secado, enfriado y agregado de anti aglomerante para su empaque.

## 1.8 Materias primas

### 1.8.1 Vinaza

La vinaza es un residuo líquido rico en materia orgánica, potasio, calcio, magnesio, azufre y nitrógeno que se obtiene durante la producción de etanol a partir de la caña de azúcar. Posee un color marrón oscuro y su pH varía entre 3,5 y 5 (España-Gamboa et al., 2011).

En la producción de bioetanol se fermenta el mosto, a través de levaduras específicas y por centrifugación se obtiene un líquido llamado vino que se destila para obtener por un lado alcohol hidratado (alcohol 96°, con 4 o 5 % de agua) y por otro lado vinaza y CO2.

Por cada litro de alcohol °96 se generan entre 10 y 15 litros de vinaza (Ferreira y Monteiro, 1987)., la cual abandona la columna de destilación, con una temperatura próxima a la de ebullición y con una concentración de sólidos disueltos de aproximadamente 11 - 13 ° Brix (Perera, 2009).

La composición de la vinaza varía de acuerdo con la tecnología utilizada en la destilación y principalmente si la misma se produjo a partir de jugo de caña de azúcar y/o de melaza.

Composición / parámetros físicos-químicos	Promedio	Rango
pH (25°C)	5,10	4,8-5,4
Conductividad (25°C) (mS/cm)	26,54	24,1-28,7
DQO (mg O/l)	98.753	90.000-110.000
DBO (mg O/l)	42.940	32.000-54.000
Relación DBO/DQO	0,43	0,29-0,60
Humedad (%)	90,20	89-92
Calcio (%)	0,22	0,16-0,25
Magnesio (ppm)	636,00	532-880
Sodio (ppm)	1.048,00	554-1800
Potasio (%)	1,49	1,21-1,82
Zinc (ppm)	2,90	1,00-3,00
Cobre (ppm)	4,10	3,5-6,7
Manganeso (ppm)	10,20	7,8-12,7

**Tabla 3.8.1.A. Parámetros Físicos-Químicos y contenidos minerales de las vinazas en Tucumán. Comisión Provincial de Vinazas, 2009.**

En la provincia de Tucumán existen 15 ingenios de azúcar de los cuales 11 produjeron alcohol en 2016: Bella Vista, Concepción, Famaillá, La Corona, La Florida, La Trinidad, Leales, Marapa, San Juan, Santa Bárbara y Santa Rosa. La producción total de la provincia fue de 273.963 m3. Lo que implica que en dicho año se generó entre 2.800.000 y 4.200.000 m3 de vinaza.

	Caña Bruta Molida Total [Tn]	Azúcar Físico Total [Tn]	Azúcar Equivalente [Tn] según DDII	Rendimiento Azúcar Equivalente [%]	Alcohol Total Elaborado [L]
Aguilares	415.262,000	30.931,000	30.934,319	7,449	0,000
Bella vista	671.748,000	40.858,000	59.471,751	8,853	16.747.951,000
Concepción	2.522.560,000	237.914,000	245.344,988	9,726	28.981.800,000
Cruz Alta	684.374,000	46.677,000	46.674,107	6,820	0,000
Famaillá	872.344,000	84.714,000	84.715,247	9,711	6.462.974,835
La Corona	774.940,000	36.859,000	63.293,760	8,168	26.413.135,000
La Florida	1.931.803,000	65.104,000	156.300,597	8,091	93.923.680,000
La Providencia	1.264.607,000	124.312,000	124.310,835	9,830	0,000
La Trinidad	1.822.010,000	113.092,000	148.672,111	8,160	38.118.742,000
Leales	1.034.464,000	87.185,000	88.319,441	8,538	12.754.257,000
Marapa	558.290,000	41.381,000	48.591,541	8,704	25.475.190,000
Nuñorco	586.782,000	54.748,000	59.398,233	10,123	0,000
San Juan	292.453,000	16.031,000	25.558,856	8,739	4.386.232,000
Santa Bárbara	676.245,000	53.253,000	65.225,247	9,645	17.979.119,000
Santa Rosa	1.078.667,000	66.821,000	91.392,857	8,473	27.843.126,000
<b>Total</b>	<b>15.186.549,000</b>	<b>1.099.880,000</b>	<b>1.338.203,890</b>	<b>8,812</b>	<b>299.086.206,835</b>

Tabla 3.8.1.B. Zafra 2017/2018. Totales hasta la 1ra quincena abril 2018. (Centro Azucarero Argentino, 2018).

## 1.8.2 Bagazo

El bagazo es el residuo del proceso extractivo de la caña de azúcar y está compuesto por los siguientes elementos:

- Contenido de agua: 48-53%
- Contenido de fibra: 39-53%
- Sólidos disueltos: 1.5 – 6%

La fibra está formada por los componentes insolubles en agua y se distinguen dos tipos: a) la fibra verdadera y b) la falsa fibra o médula que se ubica en la zona central de los tallos. Al proceso de molienda o difusión ingresa la caña de azúcar y se extrae de la misma jugo mixto y bagazo.

Al comienzo de cada campaña, la mayoría de los ingenios arrancan su maquinaria utilizando fuel-oil o gas natural, pero a medida que avanza la molienda se utiliza en proporciones variables el bagazo como principal combustible para generar el vapor necesario en las operaciones de producción.

Si bien no se cuenta con datos de consumo de bagazo, se sabe que su uso ha ido creciendo en los últimos años a raíz de las restricciones en el abastecimiento de gas natural a las industrias durante el período de zafra, que coincide con el invierno. En efecto, el consumo de gas por parte de los ingenios -por ejemplo- de Tucumán (incluyendo molienda y destilerías) bajó desde los 180 millones de m<sup>3</sup>/año en el 2000, a 173 millones en 2006, 160 millones en 2007, y 120 millones en 2009, llegando a los 100 millones en el año 2010. Es decir que el consumo de gas natural en esta industria se habría reducido un 45.5% en los últimos diez años producto de inversiones en nuevas calderas y mejor tecnología a raíz de la escasez de fluido (Fogliata 2011).

La cantidad de bagazo que se obtiene por cada unidad de caña de azúcar depende del contenido de fibra de la materia prima, que es función a su vez de la variedad de que se trate, del estado fisiológico de las plantas y del sistema de cosecha empleado. En general se considera que alrededor de 30% de cada tonelada de caña molida se transforma en bagazo.

Cuando el bagazo no se usa como combustible, se lo destina a la fabricación de papel. En Tucumán existe una planta papelera independiente de los ingenios, que utiliza como materia prima la fibra del bagazo y desde su instalación se generó un acuerdo entre esa empresa y algunos ingenios para la provisión de fibra.

---

### 1.8.3 Ácido sulfúrico

- **Solubilidad:** Totalmente miscible en agua
- **Densidad:** 1.84 g/ml (98%)
- **pH:** 0.3 (1 N de solución acuosa)
- **Punto de ebullición:** 274°C (525,2°F)
- **Punto de fusión:** 3°C (37.4°F)
- **Densidad de vapor (Aire = 1):** 3.4
- **Presión de Vapor:** 0.3 mmHg @20°C
- **Aspecto:** Líquido aceitoso incoloro o café. Concentrado es sofocante e higroscópico.

Es el compuesto de la química más producido a nivel mundial, pues tiene infinidad de usos, al igual que tanta participación en diferentes síntesis y producción de tantos productos u otros compuestos químicos, de hecho, es un medidor utilizado para saber la capacidad a nivel industrial que presenta cada país.

Existen dos procesos principales para la producción de ácido sulfúrico, el método de cámaras de plomo y el proceso de contacto. El proceso de cámaras de plomo es el más antiguo de los dos

procesos y es utilizado actualmente para producir gran parte del ácido consumido en la fabricación de fertilizantes. Este método produce un ácido relativamente diluido (62 %-78 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). El proceso de contacto produce un ácido más puro y concentrado, pero requiere de materias primas más puras y el uso de catalizadores costosos. En ambos procesos el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es oxidado y disuelto en agua. El óxido de azufre (IV) es obtenido mediante la incineración de azufre, tostando piritas (FeS<sub>2</sub>), tostando otros sulfuros no ferrosos, o mediante la combustión de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) gaseoso.

Cuando se encuentra en presencia de agua, el ácido sulfúrico tiene un comportamiento de ácido fuerte, produciendo el hidrogeno sulfato (anión), en la primera disociación, y un anión sulfato en la segunda disociación. Cabe destacar que este ácido en presencia contacto con el agua sufre violentas reacciones, con desprendimiento de calor.

Sin duda la rama de la industria que usa mayor cantidad de ácido sulfúrico, es la industria de los fertilizantes. Otros usos importantes son la participación del ácido en la refinación en la industria petrolera, en la fabricación de pigmentos, en la obtención de diferentes metales, en la industria de explosivos, detergentes, plásticos, etc. Otro uso importante, es como medio de reacción en la producción de otros compuestos químicos de tipo orgánico y en la industria petroquímica.

Es un líquido altamente corrosivo, particularmente en concentraciones abajo de 77.67%; corroe los metales, con excepción del oro, iridio y rodio, dando lugar al desprendimiento de hidrógeno.

El ácido sulfúrico presenta problemas de manipulación y almacenamiento únicos. En los intervalos de concentración más altos (96 % a 97 %), ácido sulfúrico se puede almacenar en hierro fundido o de acero al carbono. El ácido sulfúrico diluido, por otra parte, es muy agresivo hacia los tanques de hierro fundido o acero, pero puede ser almacenado y manejado muy bien en el equipo compuesto de fibras de refuerzo con polímeros.

## 2 ESTUDIO DE MERCADO

### 2.1 Cuestiones generales

Si bien nuestro proyecto consiste en encontrar una solución a la disposición final de la vinaza, es necesario saber que lo que se producirá a partir de la misma será un producto rentable y cuya demanda no se encuentre en caída. Para ello, a continuación, analizaremos el mercado del sulfato de potasio y de sus competidores directos, el cloruro de potasio y el nitrato de potasio. No se tendrá en cuenta el mercado de la energía eléctrica, ya que aportar a la red siempre es bienvenido y más si el origen es a partir de biomasa.

## 2.2 Mercado de los fertilizantes potásicos

Hoy en día Argentina prácticamente no produce fertilizantes potásicos: según la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos, en el año 2020 se importaron 52 mil toneladas de dichos fertilizantes. Por lo tanto, nuestro objetivo será satisfacer esa demanda local de modo de disminuir las exportaciones.

Debido a lo anteriormente mencionado, se analizarán los datos históricos del sulfato de potasio y sus 2 competidores directos: el nitrato y el cloruro de potasio.

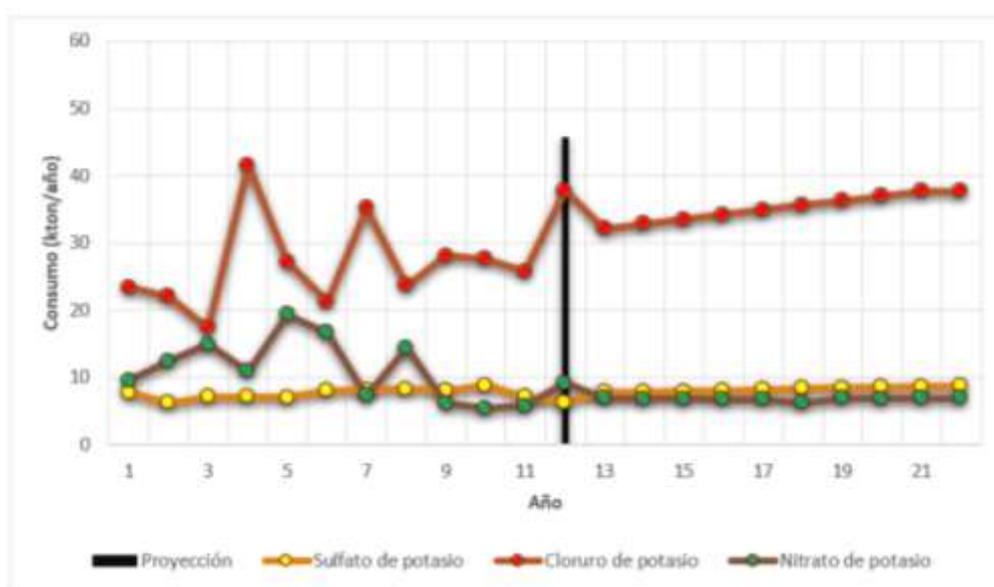


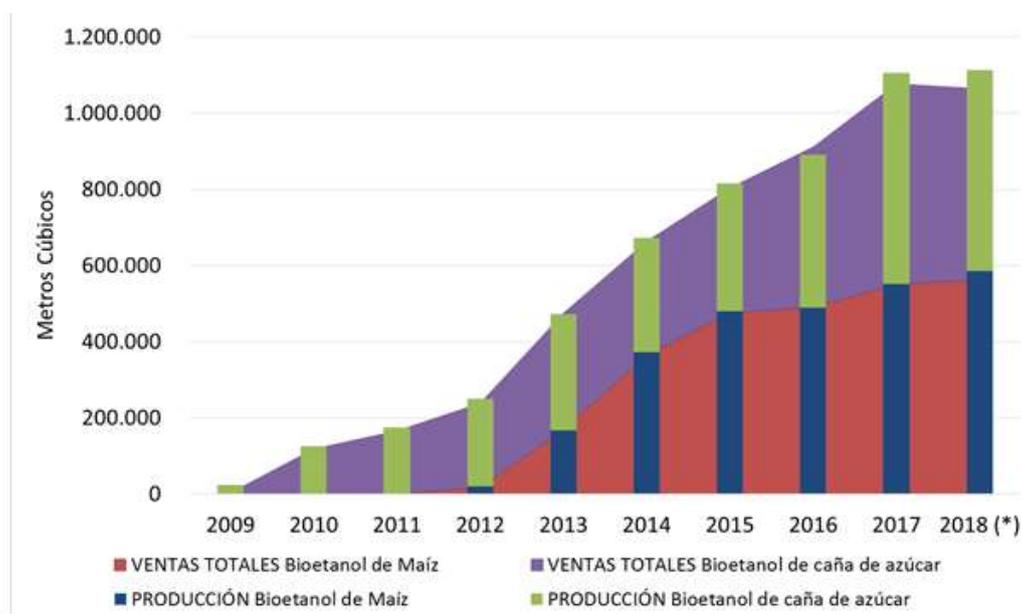
Gráfico 4.2.A. Datos históricos y tendencias de fertilizantes potásicos.

Como se puede ver en el gráfico 4.2.A, el de mejor tendencia creciente es el cloruro de potasio, luego lo sigue el sulfato, con un leve incremento en el período proyectado y, por último, el nitrato de potasio es el de consumo más estable entre los fertilizantes. Esto quiere decir que el mejor candidato es el cloruro de potasio. Sin embargo, nuestra preocupación es saber si el sulfato de potasio es una buena opción debido a que es el único fertilizante capaz de producirse a partir de vinaza con la tecnología y la información de hoy en día y, en este sentido, sí resulta serlo. De este modo, queda definida la capacidad de planta estimada en 8700 toneladas anuales.

## 2.3 Disponibilidad de vinaza

Si bien la cantidad de vinaza generada año a año es enorme, es importante asegurarnos que los ingenios próximos a nuestra planta en Tucumán (Ingenio San Juan, Ingenio Concepción, Ingenio Leales del grupo Budeguer, entre otros) produzcan la cantidad demandada por nuestro proceso, de modo de que el vinazoducto no sea tan extenso generando costos excesivos. Para

determinar su cantidad actual y sus proyecciones, nos basamos en la producción histórica y proyecciones del bioetanol a partir de caña de azúcar y lo multiplicamos por la producción promedio de vinaza.

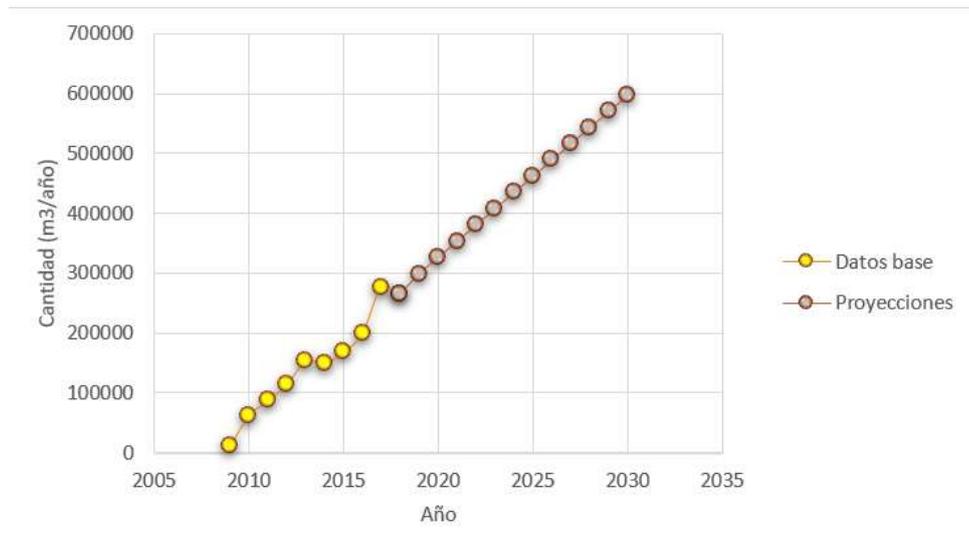


**Gráfico 4.3.A Producción y ventas anuales de bioetanol en base a maíz y a caña de azúcar (Fuente: Secretaría de Energía)**

PERÍODO	Bioetanol Total		Bioetanol de Maíz		Bioetanol de Caña de Azúcar	
	PRODUCCIÓN	VENTAS TOTALES	PRODUCCIÓN	VENTAS TOTALES	PRODUCCIÓN	VENTAS TOTALES
2009	23.297	2.664	0	0	23.297	2.664
2010	124.930	117.806	0	0	124.930	117.806
2011	173.623	165.392	0	0	173.623	165.392
2012	250.489	237.843	20.500	17.395	229.989	220.448
2013	472.380	474.752	167.594	169.143	304.786	305.609
2014	671.121	663.102	371.257	384.900	299.864	298.202
2015	815.408	803.639	479.265	475.570	336.144	328.069
2016	889.945	910.891	489.837	490.525	400.109	420.366
2017	1.105.107	1.076.875	551.964	550.744	553.143	526.131
2018 (*)	1.113.781	1.063.868	585.619	562.957	528.162	500.910

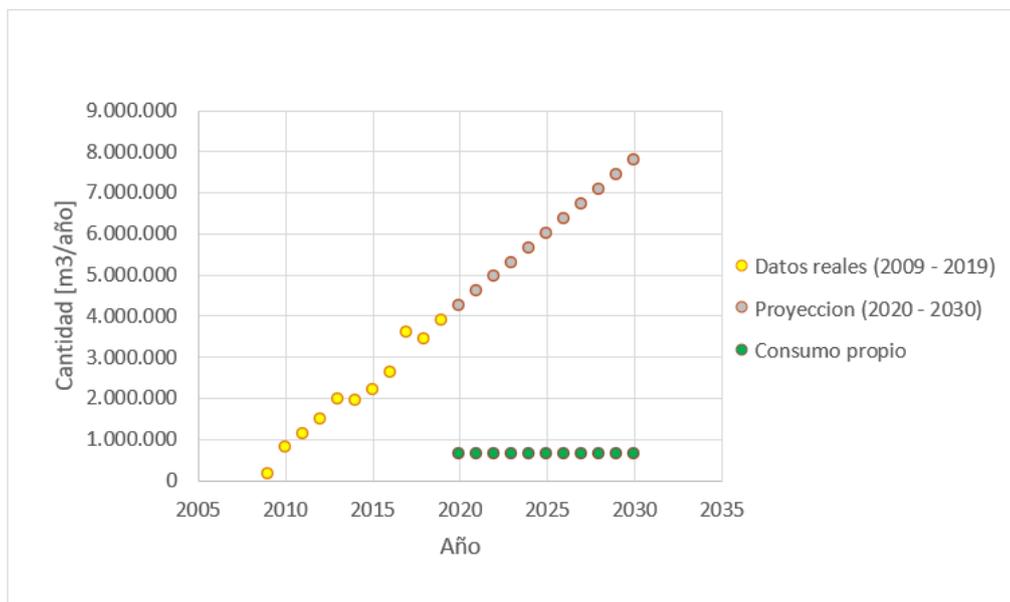
**Tabla 4.3.B Producción y ventas de bioetanol de maíz, de caña de azúcar y total (datos en metros cúbicos)**

Como se observa en el gráfico 4.3.A y en la tabla 4.3.B, la mitad del bioetanol producido a partir de caña de azúcar se lleva a cabo en Tucumán concentrando la mayor cantidad de ingenios en el parque industrial de San Miguel de Tucumán, de modo que serán nuestros proveedores directos todos ellos.



**Gráfico 4.3.C Producción de bioetanol en Tucumán.**

Multiplicando los datos obtenidos por el promedio de 13 litros de vinaza por litro de bioetanol, obtenemos:



**Gráfico 4.3.D Producción de vinaza en Tucumán.**

En el gráfico 4.3.D podemos observar los siguientes puntos:

- Cantidad mínima de vinaza: 4 millones de m³ para el año 2020.
- Cantidad máxima de vinaza: 8 millones de m³ para el año 2030 en caso de que las tendencias de producción de bioetanol sigan su curso.

- Consumo estimado en planta: 630 mil m<sup>3</sup>/año.

Como consecuencia, podemos afirmar que no sólo no tendremos problemas de abastecimiento, sino que contaremos con una cantidad incluso mayor de vinaza en caso de que a futuro se desee abrir otra planta o incrementar la producción por encima de lo estimado.

### 3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Para la selección de tecnología comparamos los beneficios de transformar la vinaza en sulfato de potasio y energía (T1) y aquellos obtenidos debido a su aplicación como fertilizante natural (T2).

#### 3.1 Transformación de vinaza en sulfato de potasio y energía

El proceso consiste en recuperar el potasio mediante resinas de intercambio catiónico ZGC108, que opera a 40°C tanto en la producción como en la regeneración, por lo que será necesario precalentar la vinaza cruda que se encuentra a temperatura ambiente.

La vinaza sin potasio sigue su curso hacia el evaporador, donde parte se concentra hasta alcanzar un 60% de sólidos totales (materia orgánica e inorgánica) para, luego, formar la mezcla combustible con el bagazo que alimentará la caldera, generando un vapor de alta calidad que permitirá la producción de energía eléctrica. A su vez, el vapor generado por la concentración de la vinaza será utilizado como medio calefactor en los equipos destinados a la producción de sulfato de potasio.

Por otro lado, una vez que las resinas se saturen de potasio serán regeneradas a partir de una solución de ácido sulfúrico 0,4 M, también precalentado a 40°C. Como consecuencia, la solución madre que contiene el sulfato de potasio será sometida a un proceso de concentración, muy similar al de la vinaza sin potasio. A continuación, la solución concentrada es sometida a un proceso de cristalización por enfriamiento, donde el sulfato cristaliza como consecuencia de la pérdida de solubilidad. Finalmente, se lleva a cabo la separación de los cristales mediante una centrífuga y todo el proceso de secado y acondicionado de los mismos a través de diferentes equipos rotatorios. El vapor generado en la concentración de la solución madre será utilizado como medio calefactor en los diferentes precalentadores de vinaza.

#### 3.2 Aplicación de vinaza como fertilizante natural

Debido a la alta carga orgánica y de minerales que presenta la vinaza (especialmente potasio), es considerada como una fuente genuina de nutrientes que puede aplicarse directamente en los

suelos, en reemplazo de diferentes fertilizantes potásicos, ocasionando una reducción de los gastos para las empresas.

Esta práctica es llevada a cabo en la mayoría de los ingenios azucareros, lugar donde la vinaza surge como un subproducto indeseado de la producción de bioetanol.

Sin embargo, existen ciertos factores adversos que están comenzando a aparecer debido a este uso de la vinaza, por ejemplo: desequilibrio de pH en suelos, consumo excesivo de agua, ya que la vinaza debe diluirse en una relación 1 parte de vinaza/16 partes de agua o limitaciones en la cantidad de vinaza aplicable, lo que ocasiona un stock de la misma que no se puede utilizar y hay que almacenar en grandes piletas, provocando altos costos a los ingenios si buscan cumplir con la normativa ambiental.

### 3.3 Comparación

Nos centramos en comparar las características, ya que es el ítem donde mayor cantidad de información tenemos. En el resto de los rubros, o los procesos son prácticamente iguales o no poseemos información suficiente para realizar dicha comparación.

Primero que nada, consideramos que cada apartado tiene la misma importancia a la hora de tomar una decisión, por lo cual, todos valen lo mismo.

---

#### 3.3.1 Flexibilidad para cambios

En este ítem, la transformación de vinaza en sulfato de potasio le saca una enorme ventaja a la utilización de vinaza como fertilizante, ya que el proceso productivo de la primera tecnología puede modificarse tanto como se requiera para obtener el producto principal o bien, como es nuestro caso, obtener otros productos como energía eléctrica, haciendo las respectivas adaptaciones. En cambio, la segunda tecnología no tiene mucho margen para flexibilizaciones, ya que la vinaza no tendría otro uso que ser usada como fertilizante.

---

#### 3.3.2 Condiciones favorables

Decreto presidencial 574/2018: establece a toda persona humana o jurídica generadora de vinaza sucro-alcoholera deberán presentar ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable el correspondiente proyecto de “Gestión Integral y Sustentable de la Vinaza”, es decir, un proyecto que contemple la aplicación de técnicas o tecnologías en todas las etapas de producción destinadas a garantizar la sustentabilidad, tanto del manejo de la vinaza para riego como la de su transformación en subproducto mediante su empleo en usos agrícolas, su aprovechamiento

energético como combustible o su utilización como materia prima en otros procesos industriales, todo ello bajo normas de higiene y seguridad.

Además, durante la producción de sulfato de potasio se generan residuos de bajo impacto ambiental (cenizas para la industria cementera, gases de combustión); en cambio, todavía se desconocen los impactos de la vinaza “in natura”, aunque ya se estiman algunos, como por ejemplo la salinización de los suelos. Es por lo mencionado anteriormente, que aplicar la vinaza “cruda” todavía no está bien visto por todos los agricultores, que prefieren la utilización de fertilizantes sintéticos.

---

### 3.3.3 Complejidad de equipamiento

En este caso, la ventaja es para la segunda tecnología, cuya única cuestión es el medio en que la vinaza es dispersada en el suelo. En cambio, la primera tecnología requiere equipos más complejos y sofisticados, como es el caso de los evaporadores, intercambiadores y centrífuga, entre otros.

---

### 3.3.4 Complejidad operativa

Siguiendo con la línea del punto anterior, el proceso productivo de la primera tecnología es mucho más complicado que el de la segunda.

---

### 3.3.5 Rendimiento de materias primas

En la utilización de vinaza como fertilizante, se ha demostrado que el rendimiento es bajo ya que aporta una baja cantidad de nutrientes al suelo. En cambio, en la transformación de vinaza en sulfato de potasio, se aprovecha mejor esta vinaza, ya que se utiliza en más cantidad para obtener un fertilizante mucho mejor, además de obtenerse otro producto, como es la energía eléctrica.

---

### 3.3.6 Efluentes

Debido a que la primera tecnología permite un mejor aprovechamiento de la vinaza, en el apartado de efluentes tiene una ventaja, ya que la cantidad es menor y la toxicidad de los mismos también se ve reducida. En cambio, en la segunda, al ser menos efectiva, deja mayor contaminación en el suelo, y al tener que dosificarse en poca cantidad, deja una gran masa de vinaza sin utilizar, que de por sí ya es un efluente contaminante.

### 3.3.7 Complejidad de mantenimiento

En el caso de la vinaza utilizada como fertilizante, el mantenimiento es mucho más sencillo, debido a que solo se tendría en cuenta el mantenimiento del medio utilizado para su dispersión. En cambio, en el caso de la primera tecnología, los equipos utilizados son más cantidad y más complejos, por lo cual deberían tener un mantenimiento más planificado.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Características	Ponderación	T1	T2	Producto T1	Producto T2
Flexibilidad para cambios	14,3	10	1	143	14,3
Condiciones favorables	14,3	10	3	143	42,9
Complejidad de equipamiento	14,3	1	10	14,3	143
Complejidad operativa	14,3	3	8	42,9	114,4
Rendimiento de materias primas	14,3	9	4	128,7	57,2
Efluentes	14,3	8	3	114,4	42,9
Complejidad de mantenimiento	14,3	2	8	28,6	114,4
			<b>Total</b>	<b>814,9</b>	<b>529,1</b>

Tabla 5.3.A Comparación de ponderaciones de ambas tecnologías.

De este modo, queda demostrado que el proceso de transformación de la vinaza en sulfato de potasio es el más adecuado.

## 4 LOCALIZACIÓN DE PLANTA

Para la ubicación de la planta, primero evaluamos los factores primarios y luego nos basamos en el método de puntuación ponderada para obtener la mejor ubicación resultante. Este método que aquí se presenta realiza un análisis cuantitativo en el que se compararán las diferentes alternativas entre sí para determinar una o más ubicaciones válidas. El objetivo del estudio no es encontrar una ubicación óptima, sino una o más ubicaciones aceptables. En cualquier caso, otros factores más subjetivos, como las preferencias de la empresa a instalar, determinarán la ubicación final.

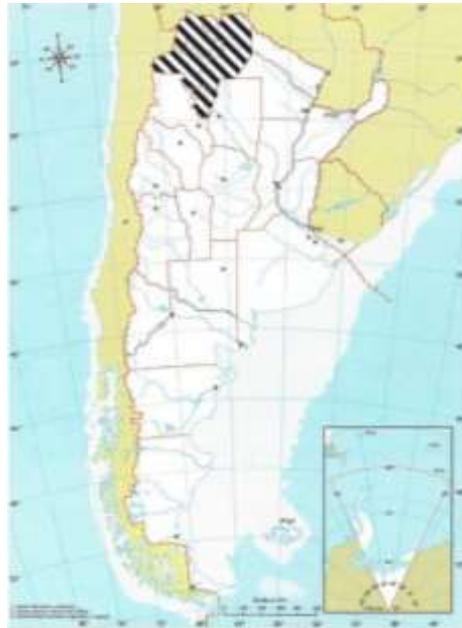
### 4.1 Cribado:

Luego de realizar el cribado, obtuvimos 3 zonas tentativas: Tucumán (el parque industrial de San Miguel), Jujuy (cercano a la localidad de San Pedro de Jujuy), Córdoba y Salta. Sin embargo, como el de Salta está muy próximo al de Jujuy, consideramos 1 solo.

---

#### 4.1.1 Vinaza

Se pintaron las provincias que concentran la mayor producción de vinaza en el país.



Mapa 6.1.1

---

#### 4.1.2 Ácido sulfúrico

Se tuvo en cuenta la provincia productora de ácido sulfúrico más cercana a los ingenios azucareros.



Mapa 6.1.2

---

#### 4.1.3 Sulfato de potasio

Si bien las hortalizas se producen en todo el país, hicimos foco en las provincias del norte ya que allí se cultivan tabaco, tomate y algodón, que son los cultivos que presentan mayor consumo de sulfato de potasio.



Mapa 6.1.3

---

#### 4.1.4 Energía eléctrica

Ya que es un producto necesario en todo el país, se pintó la totalidad del mapa. Sin embargo, no se tiene en cuenta para la decisión final de la localización.



Mapa 6.1.4

---

#### 4.1.5 Conclusión

Se unen los 3 dibujos previos y las zonas que resulten superpuestas serán las potenciales ubicaciones de nuestra planta.



Mapa 6.1.5

### 4.2 Puntuaciones ponderadas

---

#### 4.2.1 Materias primas

Para decidir la localización de la planta, decidimos que, en este caso, el apartado más preponderante es la localización de las materias primas, sobre todo de la vinaza, ya que se necesita una cantidad muy grande de ésta, y cuanto más próximo se esté, más se abaratarían los costos de la logística de llevar la vinaza hasta nuestra planta. Por eso, al ser la provincia de Tucumán la que mayor cantidad de ingenios azucareros tiene, le saca ventaja a sus competidores, Jujuy y San Luis.

---

#### 4.2.2 Servicios

En este apartado, podemos decir que no hay preferencia sobre una u otra localización, ya que los parques industriales instalados en las tres provincias cumplirían con nuestros servicios requeridos.

---

### 4.2.3 Transportes

En cuanto a transporte, San Luis es la provincia más centralizada en el país, por lo cual las distancias a los potenciales clientes se verían reducida.

---

### 4.2.4 Mercado

Siguiendo con el punto anterior, si bien San Luis es la provincia más centralizada, el mayor número de potenciales clientes estaría en la zona del Noroeste argentino, que es donde se localizan los cultivos que pueden ser tratados con Sulfato de Potasio.

---

### 4.2.5 Mano de obra

Las tres localizaciones nos ofrecen mano de obra calificada.

Basándonos en los factores primarios, el resultado del análisis es el siguiente:

Características	Ponderación	Tucumán	Jujuy	San Luis	Producto Tucumán	Producto Jujuy	Producto San Luis
Materias primas	50	10	8	5	500	400	250
Servicios	10	8	8	8	80	80	80
Transportes	10	7	7	8	80	80	70
Mercado	20	8	8	7	160	160	140
Mano de obra	10	8	8	8	80	80	80
				<b>Total</b>	<b>900</b>	<b>800</b>	<b>620</b>

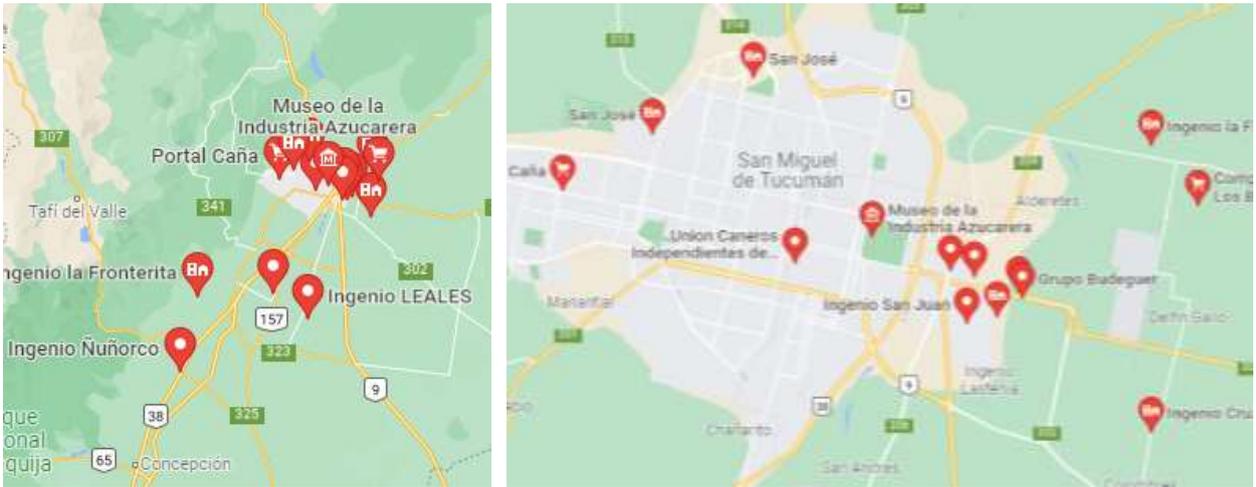
**Tabla 6.2.A. Comparación de ponderaciones de localizaciones.**

De este modo, queda demostrado que la ubicación en la provincia de Tucumán es la más adecuada.

## 4.3 Microlocalización

Por último, se realiza un análisis de las distintas localidades tucumanas para determinar la más óptima.

El análisis comienza identificando las ubicaciones de las distintas localizaciones de los ingenios azucareros.



**Figura 6.3.A Ubicación de ingenios azucareros en San Miguel de Tucumán y alrededores.**

Allí podremos observar que existe una aglomeración de los mismos alrededor de la capital de Tucumán.

A su vez, concentrándonos en la zona de mayor cantidad de ingenios cercanos obtenemos:



**Figura 6.3.B Ubicación de ingenios azucareros en el área de interés.**

Finalmente, el lote seleccionado se ubicaría dentro del área remarcada en la foto que se presenta a continuación:

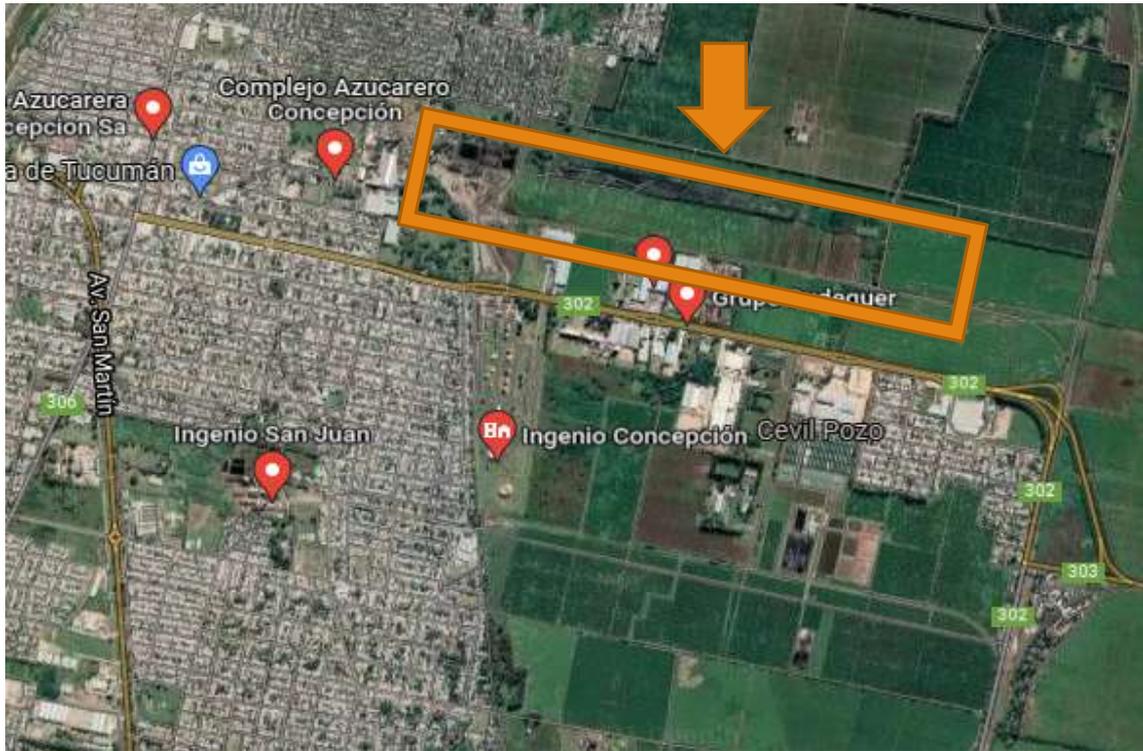


Figura 6.3.C Ubicación de la zona preferida para ubicación de planta.

## 5 INGENIERÍA DE PROCESOS

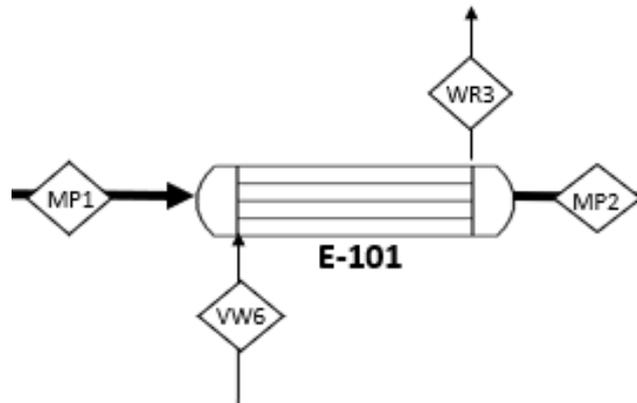
### 5.1 Descripción del proceso

Para una explicación más clara y didáctica, dividiremos al proceso en dos zonas:

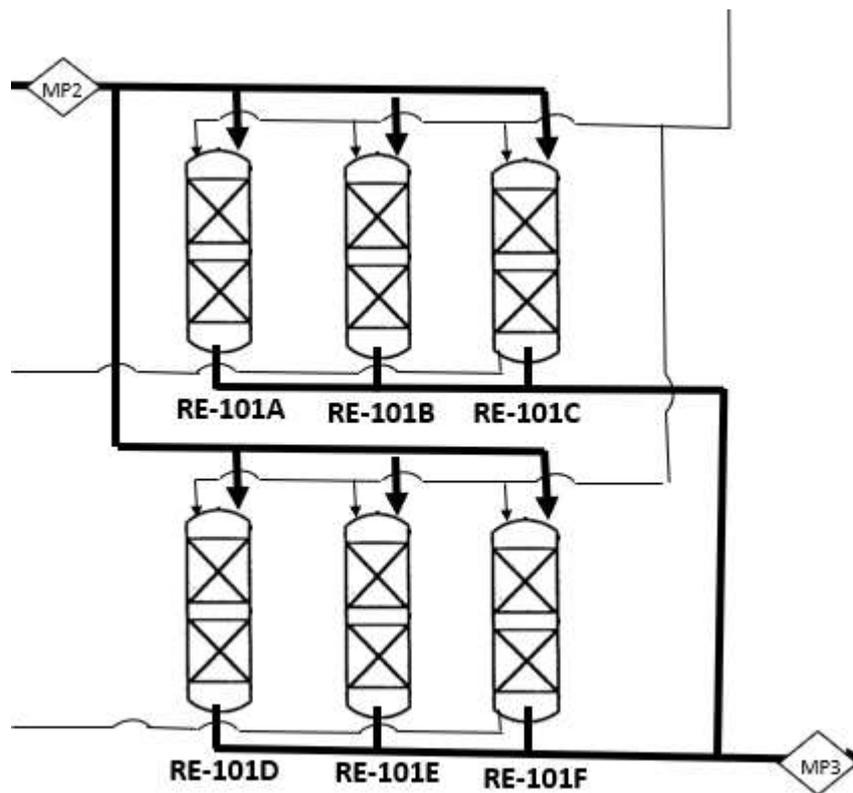
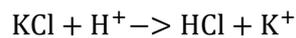
- Generación de energía eléctrica.
- Producción de sulfato de potasio.

#### 5.1.1 Generación de energía

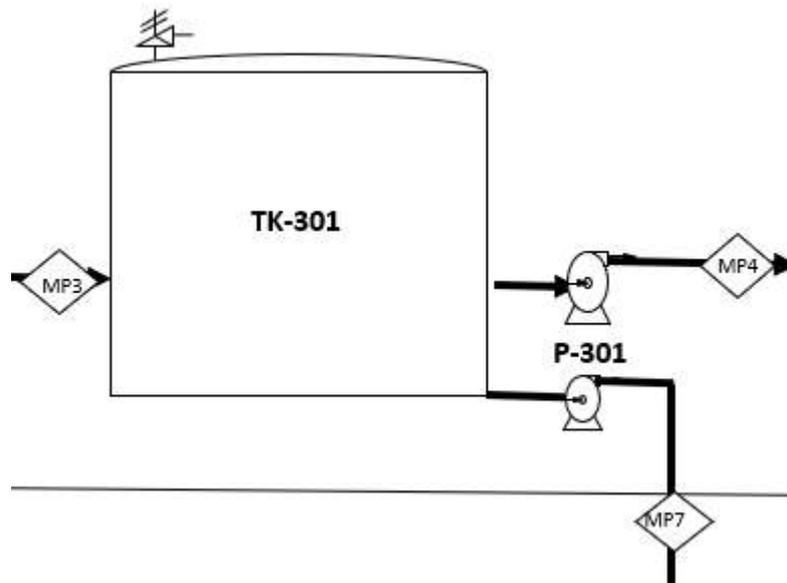
Todo comienza con el precalentamiento de la vinaza, que se encuentra a temperatura ambiente, hasta los 40°C (temperatura a la que operan las resinas). Dicho precalentamiento se hace con vapor de agua proveniente de la zona de producción de sulfato de potasio, como se verá más adelante.



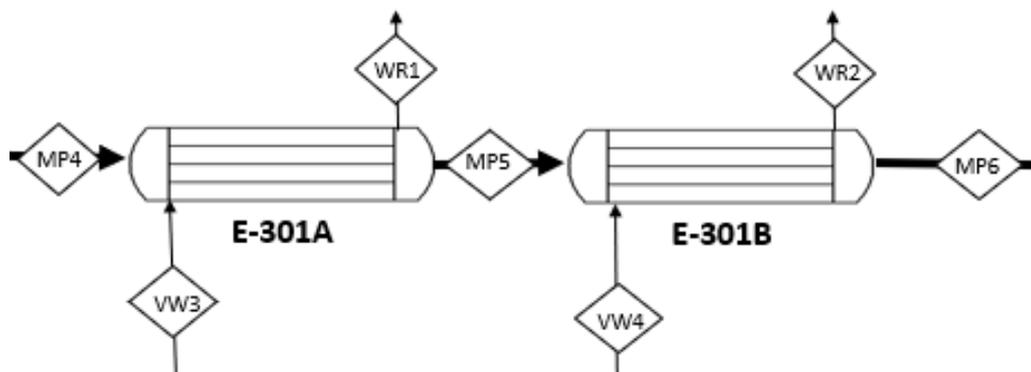
La vinaza precalentada ingresa al tren de resinas de intercambio, donde el potasio es retenido y se libera un ion hidrógeno, generando HCl en lugar de KCl. La reacción que tiene lugar es:



La vinaza que sale de la resina será almacenada en un tanque pulmón. De este total, el 55% se destinará al proceso de concentración mientras que el resto se desviará a otro tanque de almacenamiento, en donde se mezclará con la vinaza concentrada y el bagazo para generar la mezcla combustible.

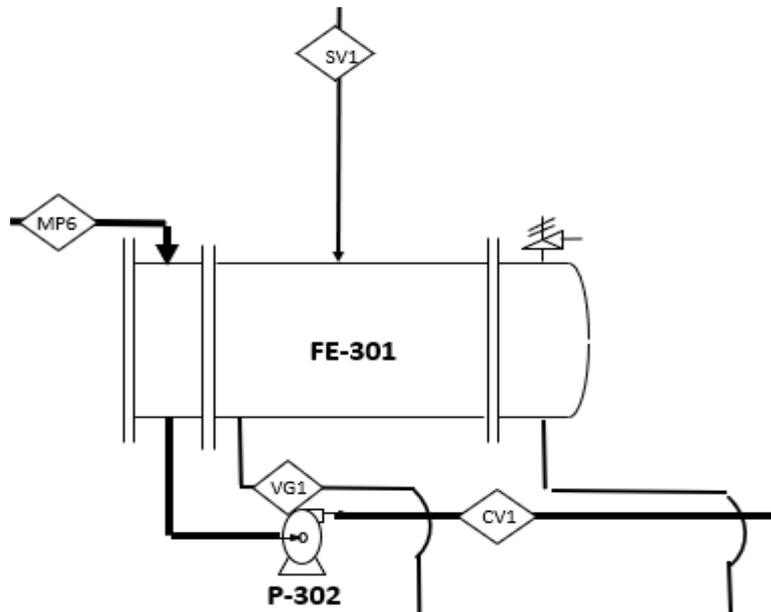


El 55% almacenado es precalentado nuevamente, esta vez hasta alcanzar los 90°C, a través de dos intercambiadores de casco y tubo. El medio calefactor en ambos equipos será vapor de agua proveniente de la zona de producción de sulfato de potasio.

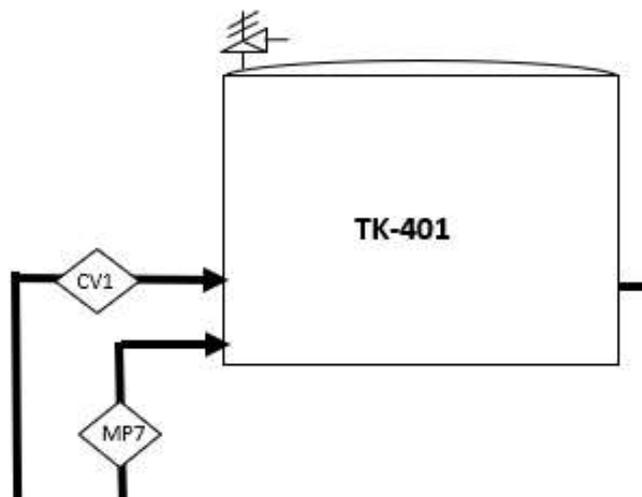


La siguiente etapa consiste en la concentración de esa vinaza precalentada, a través de un intercambiador tipo marmita, hasta alcanzar un 60% de sólidos totales. Esto se logra gracias a la evaporación del 96% de la vinaza total que ingresa, dentro del cual el 94% corresponde a agua y el otro 6% a los componentes volátiles. En este caso, el medio calefactor es el vapor sobrecalentado proveniente de la turbina que se encuentra a 1 bar y 123°C. A su vez, ese vapor que se retira del equipo como agua saturada se alimentará a la caldera, completando el ciclo cerrado.

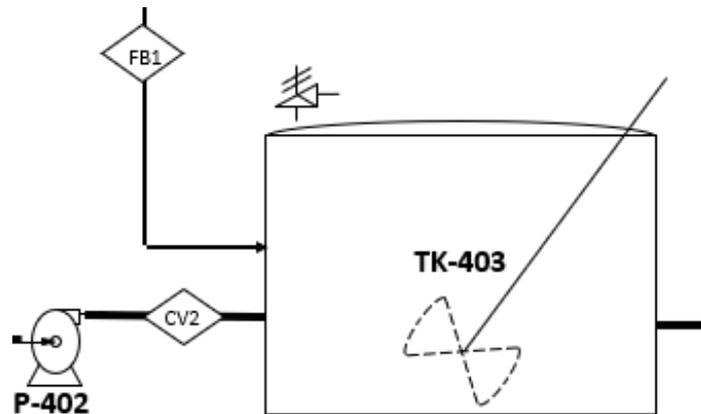
Por último, el vapor obtenido (vapor vegetal) será empleado como medio calefactor en la zona de producción de sulfato de potasio.



La vinaza concentrada se dirige al tanque de almacenamiento, donde se mezclará con la vinaza cruda sin potasio para formar lo que denominaremos vinaza mezcla.



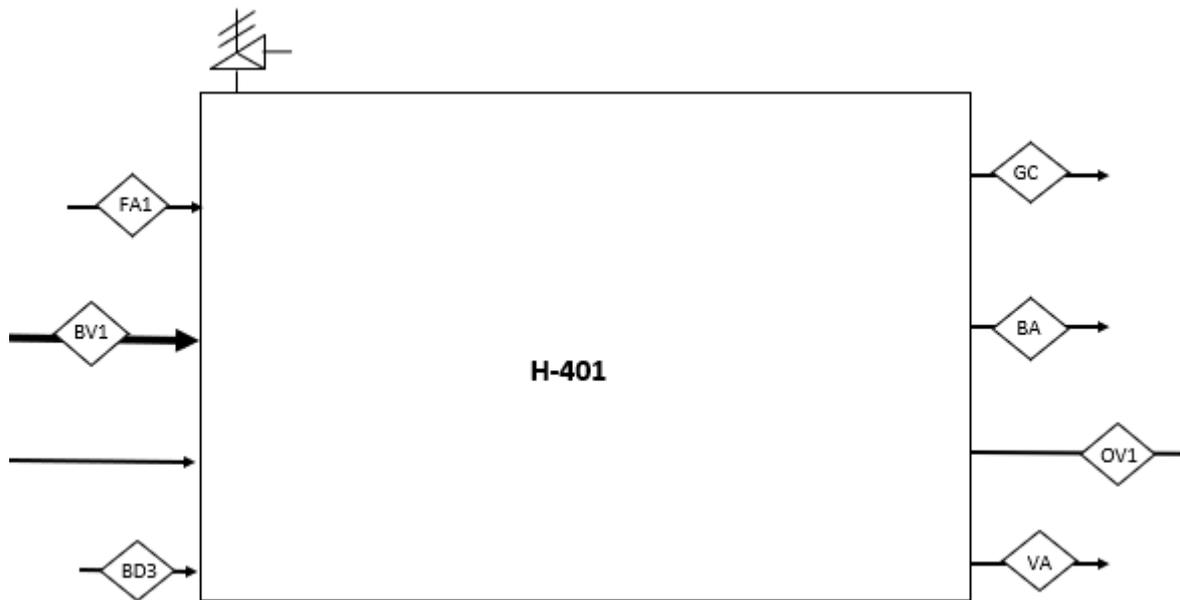
Esa vinaza mezcla continuará su curso hacia otro tanque, donde se mezclará con el bagazo en una relación 65/35 vinaza mezcla/bagazo para formar la mezcla combustible.



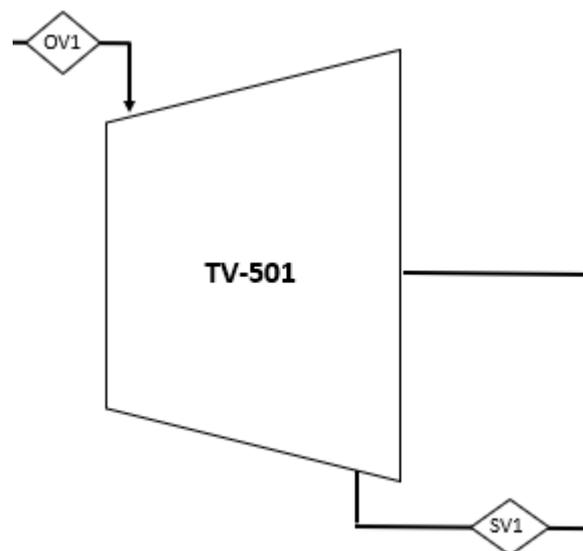
La mezcla combustible ingresa a la caldera de lecho fluidizado, donde combustiona a 800°C en el hogar. Se inyecta un aire con un 20% de exceso y el agua de alimentación se encuentra a 42 bar y 99,6°C.

Por otra parte, con respecto a las cenizas podemos diferenciar dos tipos y, en función del tipo, la disposición final de las mismas:

- Cenizas volantes: representan el 80% de las cenizas totales, son las que se escapan junto con los gases de combustión. Serán captadas a través de un precipitador electrostático para luego ser entregadas a la industria cementera debido a que son útiles como aditivo del cemento debido a su alto contenido de silicio.
- Cenizas de fondo de caldera: componen el otro 20% de las cenizas totales, la principal diferencia con las cenizas volantes radica en la presencia de ciertos inquemados que pueden quedar producto de la combustión.

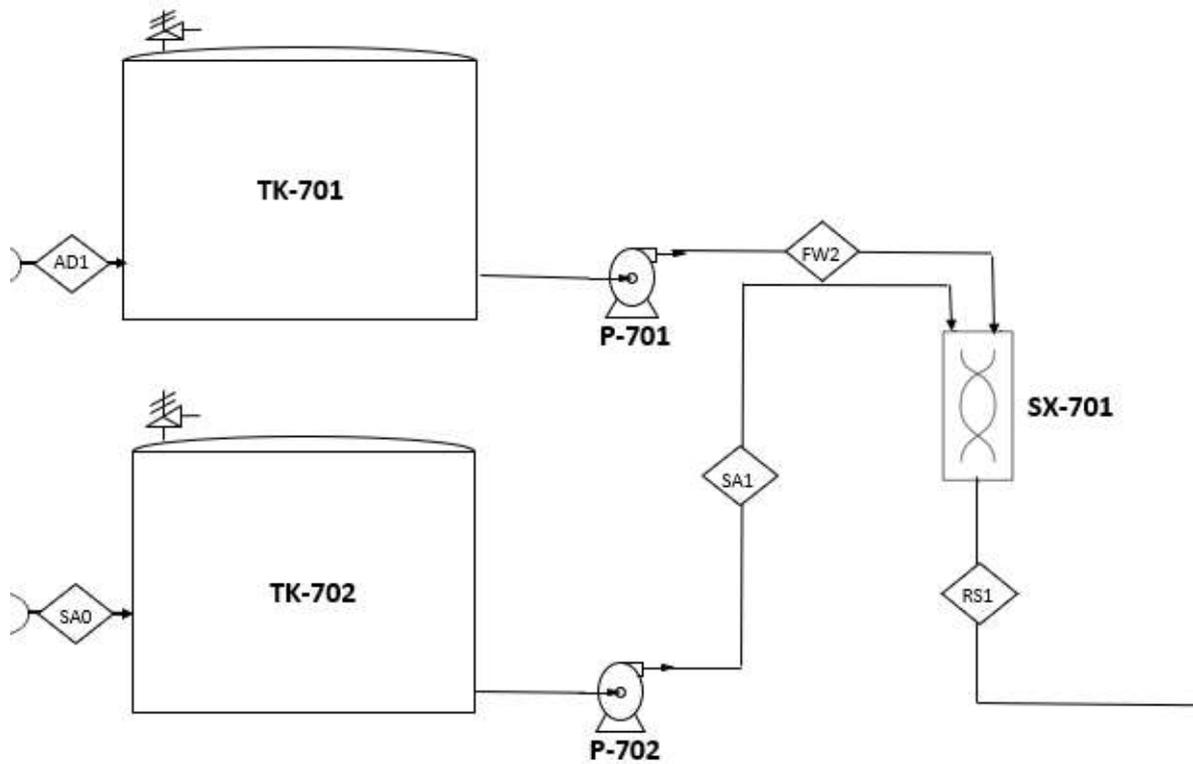


El vapor de salida de la caldera, que se encuentra a 42 bar y 450°C, ingresa a la turbina, donde generará 7,4 mW de energía eléctrica. Las condiciones de salida del vapor serán 1 bar y 123°C, es decir que saldrá en estado de sobrecalentamiento.

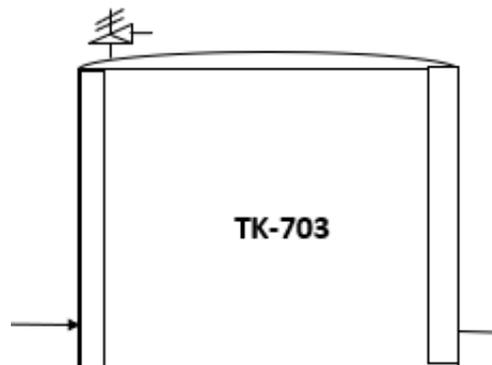


### 5.1.2 Producción de sulfato de potasio

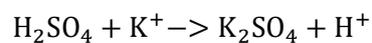
El proceso comienza con la preparación de la solución regenerante mediante la mezcla de ácido sulfúrico concentrado al 98% con agua desmineralizada hasta lograr una mezcla 0,4 M del ácido. Como consecuencia de esa mezcla se produce un leve aumento de temperatura (aproximadamente 7 grados).

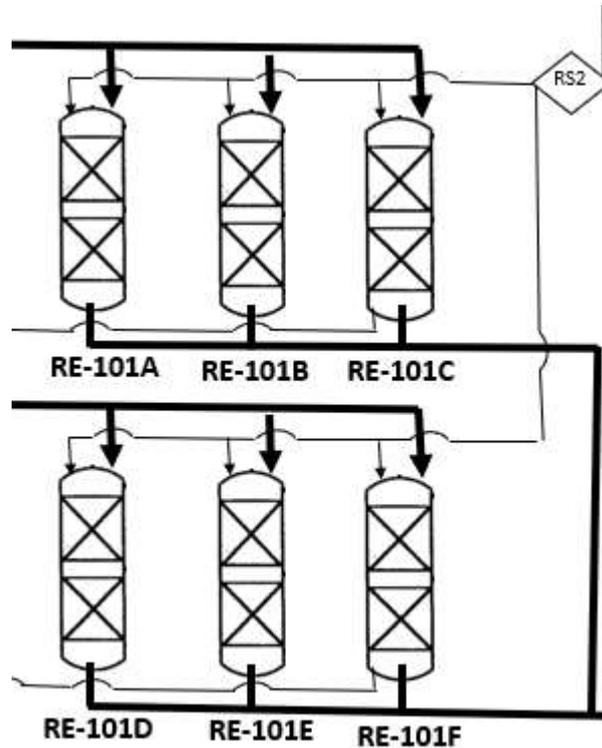


Como la temperatura de la solución debe ser 40°C (temperatura de operación de la resina), la solución se almacena en un tanque enchaquetado con vapor como medio calefactor.

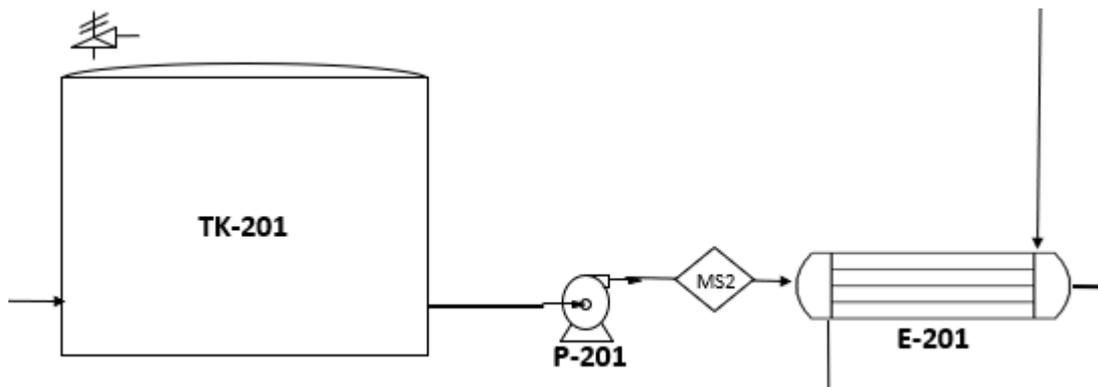


Cuando las resinas se vayan saturando, se alimentará esa solución almacenada. El ácido sulfúrico cederá su hidrógeno y aceptará el potasio retenido, provocando así la regeneración de las columnas. La reacción que tiene lugar en este caso es:

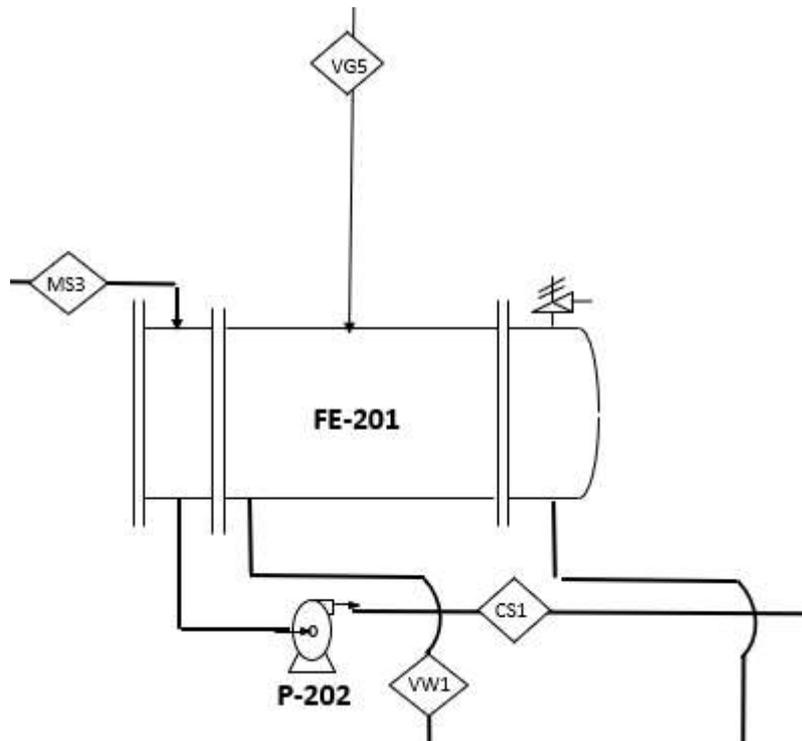




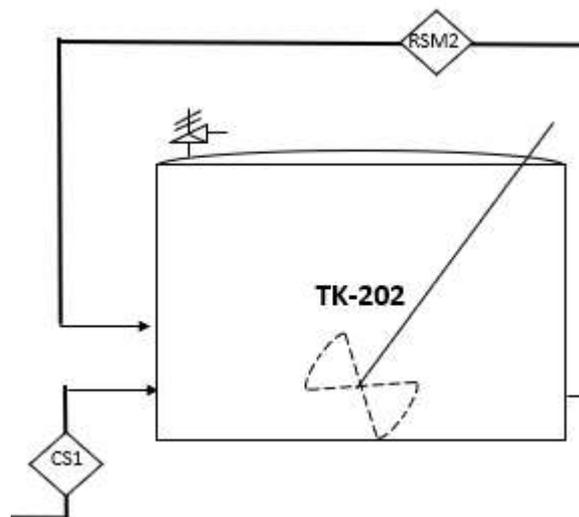
La solución obtenida luego de la regeneración de las resinas (solución madre) se almacena en un tanque pulmón para, luego, ser precalentada a través de un intercambiador de calor de casco y tubo desde la temperatura actual (40°C) hasta los 95°C. En este caso, el medio calefactor es el vapor vegetal obtenido como producto de la concentración de la vinaza.



El siguiente paso consiste en concentrar la solución madre mediante la evaporación del 50%, aproximadamente, del agua total presente en la misma. Nuevamente el medio calefactor resulta ser el vapor vegetal obtenido de la concentración de la vinaza. Además, el vapor de agua obtenido en esta etapa es el que se utiliza como medio calefactor en ciertos equipos de la zona de generación de energía, como se mencionó previamente.

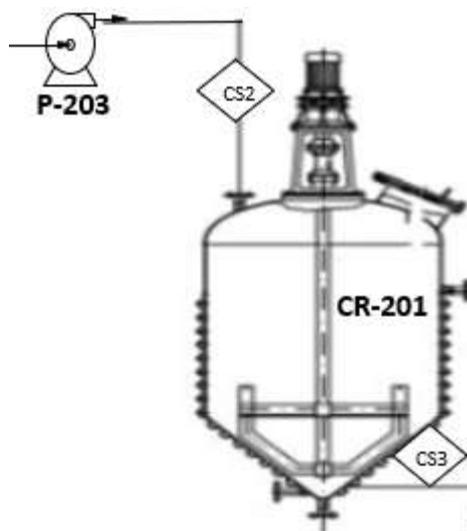


La solución madre concentrada se dirige a un tanque pulmón donde se mezcla con un reciclo de solución madre proveniente de la centrífuga. Las dos corrientes se encuentran a diferente temperatura,  $110,3^{\circ}\text{C}$  y  $31,2^{\circ}\text{C}$  respectivamente, por lo que la solución final se encontrará a  $71,8^{\circ}\text{C}$ .

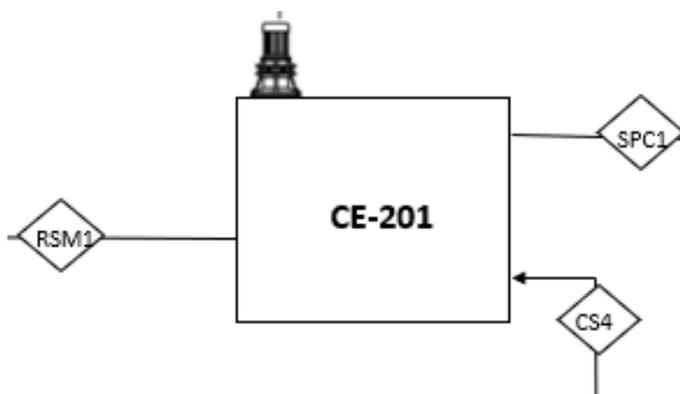


La próxima etapa consta de someter esa solución al proceso de cristalización por enfriamiento, a través de un equipo batch, donde se enfriará hasta los  $31^{\circ}\text{C}$  aprox. El medio refrigerante en este

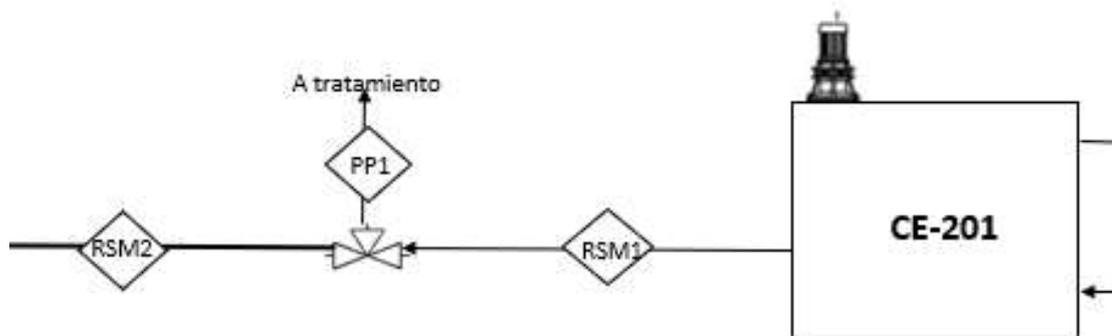
caso es una solución de etilenglicol al 5% v/v y el enfriamiento se lleva a cabo en un lapso de 8 horas.



La solución madre con los cristales de sulfato de potasio disueltos se almacenará en otro tanque pulmón para, luego, ingresar a la centrífuga. Allí, se producirá la separación de los cristales que posean un tamaño mayor a 1 mm del resto de los cristales y de la solución líquida.



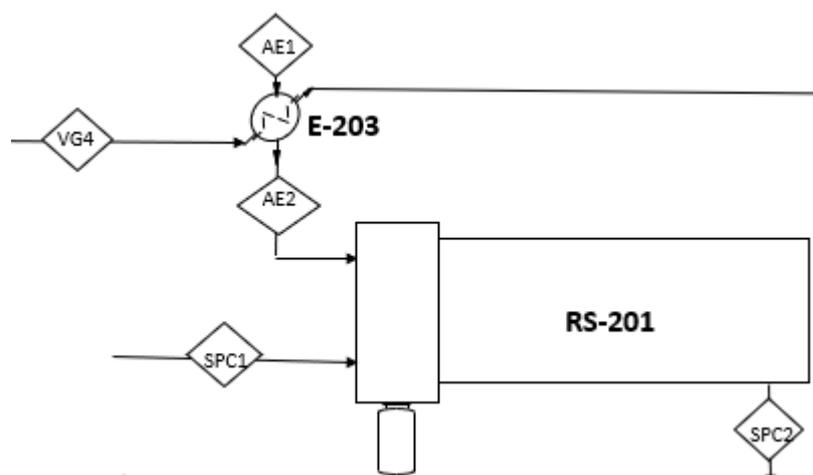
Como consecuencia, se obtendrán dichos cristales con un porcentaje de humedad cercano al 4% y el resto de la solución madre con los cristales más pequeños y aquel remanente de sulfato de potasio que no llegó a cristalizar. De esa solución, el 50% se enviará a tratamiento para disposición final a través de una pileta de neutralización y el resto se alimentará al mismo tanque pulmón que la solución madre post evaporador, para generar la mezcla que ingresa al cristalizador.



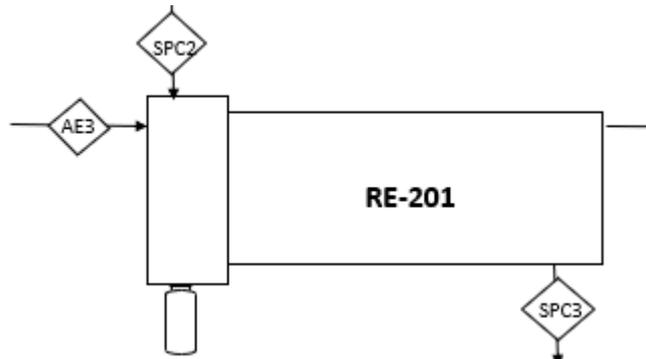
Continuando con los cristales, para eliminar la humedad son sometidos a un proceso de secado a través de un secador rotatorio, donde el aire que se encuentra a 115°C actuará como medio calefactor en contacto directo con los cristales.

Antes de ingresar al secador, el aire será filtrado y precalentado con el vapor vegetal resultado de la concentración de vinaza.

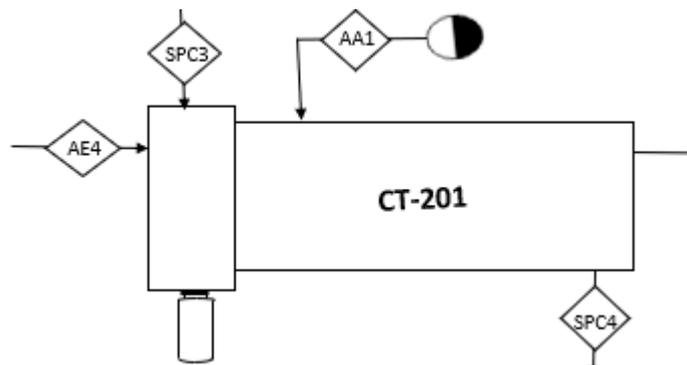
Como consecuencia, se obtienen cristales prácticamente secos (humedad del 0,05%) a 60°C.



El siguiente paso es enfriar los cristales calientes. Nuevamente este proceso se realizará en un equipo rotatorio y con aire, pero esta vez a temperatura ambiente, por lo cual sólo se someterá a un proceso de filtración previo.



Por último, los cristales ingresarán a un último equipo rotatorio, en donde se adicionará el silicato de magnesio, componente que actuará como antiaglomerante. Cabe destacar que la cantidad agregada es muy pequeña (cercana al 1%), por lo que se mantiene la pureza del sulfato de potasio requerida para su comercialización. Cabe destacar que, previo a este proceso, se evita el aglomeramiento de los cristales debido a la presencia de aspas dentro de los equipos rotatorios que rompen esos posibles bloques de cristales pegados.



Finalizado el proceso de adición del antiaglomerante, los cristales de sulfato son almacenados en una tolva para continuar con el proceso de empaque.

Cabe destacar que los condensados vegetales obtenidos de los procesos de transferencia de energía son tratados a través de un biorreactor, generando biogás y energía eléctrica para auto sustentarnos.

A continuación, listamos las corrientes que intervienen en el proceso y sus valores más importantes:

## PRODUCCIÓN DE SULFATO DE POTASIO:

	MP1	MP2	MP3	MP7	MP4	MP5	MP6	VG1	CV1
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura (°C)	20	40	40	40	40	72	90	120,8	120,8
Caudal másico (kg/h)	75750	75750	77960	35222	42738	42738	42738	40584	2154
Densidad (kg/m3)	1056,2	1039,1	1039,1	1039,1	1039,1	1011,9	996,6	0,6	1736,2
Caudal volumétrico (m3/h)	74,6	75,8	75,0	41,1	41,1	42,9	42,9	67633,3	1,2
Cp (kJ/kg°C)	4,07	4,08	4,08	4,08	4,08	4,1	4,1	-	4,2
Entalpía (kJ/kg)	81,4	163,1	163,1	163,1	163,1	369	369	2185	508,2
Fracción másica									
H2O	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,94	0,32
Sólidos no volátiles	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,68
Sólidos volátiles	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,00
H2SO4	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silicato de magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 7.1.1.A Corrientes destacables del proceso de producción de sulfato de potasio.

	CV2	FB1	BV1	BD3	FA1	FW2	OV1	SV1
Presión (bar)	1	1	1	1	1	42	42	1
Temperatura (°C)	43,7	20	36,9	800	20	99,6	450	123,6
Caudal másico (kg/h)	37376	15216	52591	5341	142557	43845	43845	43845
Densidad (kg/m3)	1079,3	1176,0	1101,7	0,26	1,21	957,9	12,6	0,55
Caudal volumétrico (m3/h)	34,6	12,9	28,4	20225	118247	45,8	3484,2	80294,3
Cp (kJ/kg°C)	4,04	4,05	4,04	1,31	1,01	4,19	-	-
Entalpía (kJ/kg)	176,5	81,0	148,9	1046,9	20,1	417,9	3328,2	2723,9
Fracción másica								
H2O	0,88	0,55	0,75	0,09	0,005	1,00	1,00	1,00
Sólidos no volátiles	0,05	0,45	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sólidos volátiles	0,07	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silicato de magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O2	0,00	0,00	0,00	0,11	0,272	0,00	0,00	0,00
N2	0,00	0,00	0,00	0,69	0,717	0,00	0,00	0,00
CO2	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Ar	0,00	0,00	0,00	0,01	0,006	0,00	0,00	0,00

Tabla 7.1.1.B Corrientes destacables del proceso de producción de sulfato de potasio.

## GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA:

	RS2	MS1	MS2	MS3	VW1	CS1	CS2
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura (°C)	40	40	40	95	110,3	110,3	71,8
Caudal másico (kg/h)	83006	85356	42678	42678	22000	20678	322423
Densidad (kg/m3)	1018,5	1040,1	1040,1	997,6	1,15	1004,7	1016,4
Caudal volumétrico (m3/h)	81,5	82,0	82,0	42,8	19080,7	20,6	317,2
Cp (kJ/kg°C)	4,08	3,91	3,91	3,94	-	3,87	4,05
Entalpía (kJ/kg)	163	156,6	156,6	373,9	2257,1	427	290,5
Fracción másica							
H2O	0,96	0,94	0,94	0,94	1,00	0,87	0,89
Sólidos no volátiles	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sólidos volátiles	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2SO4	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2SO4	0,00	0,06	0,06	0,06	0,00	0,13	0,11
Silicato de magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

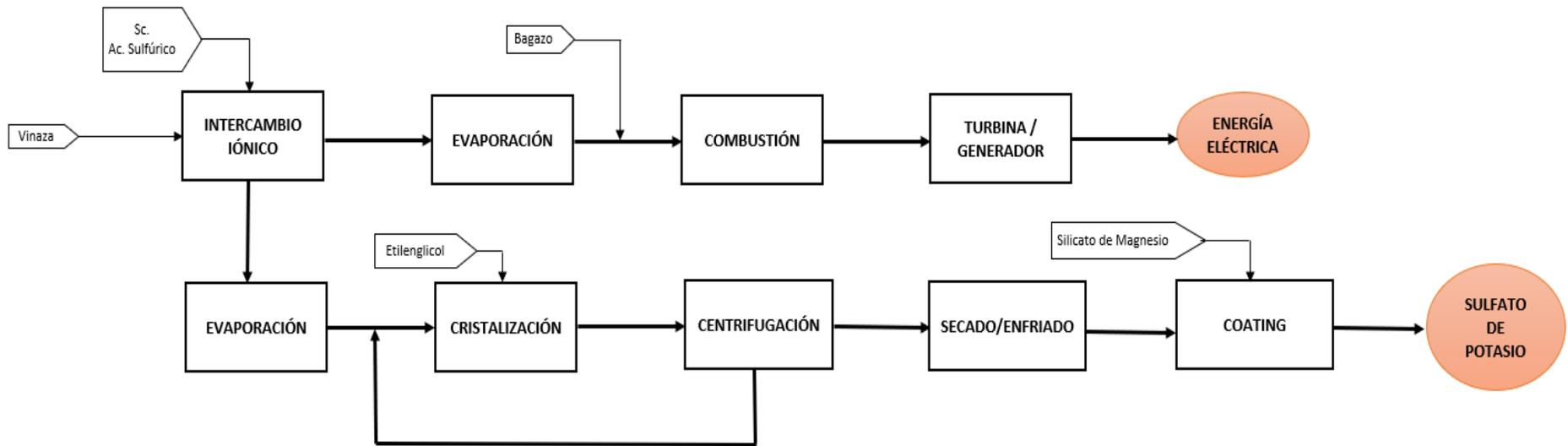
Tabla 7.1.2.A Corrientes destacables del proceso de generación de energía.

	CS3	CS4	RSM2	SPC1	SPC2	SPC3	SPC4
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura (°C)	31,2	31,2	31,2	31,2	60	30	30
Caudal másico (kg/h)	322423	40302,9	19625	1053	1013	1013	1013
Densidad (kg/m3)	1099,8	1099,8	1099,8	2503,8	2657,4	2657,6	2657,6
Caudal volumétrico (m3/h)	293,2	36,6	36,6	0,4	0,4	0,4	0,4
Cp (kJ/kg°C)	3,69	3,69	3,69	5,73	5,92	5,78	5,78
Entalpía (kJ/kg)	115	115	115	178,7	354,9	173,5	173,5
Fracción másica							
H2O	0,89	0,89	0,91	0,04	0,00	0,00	0,00
Sólidos no volátiles	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sólidos volátiles	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2SO4	0,11	0,11	0,09	0,96	1,00	1,00	0,99
Silicato de magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
O2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

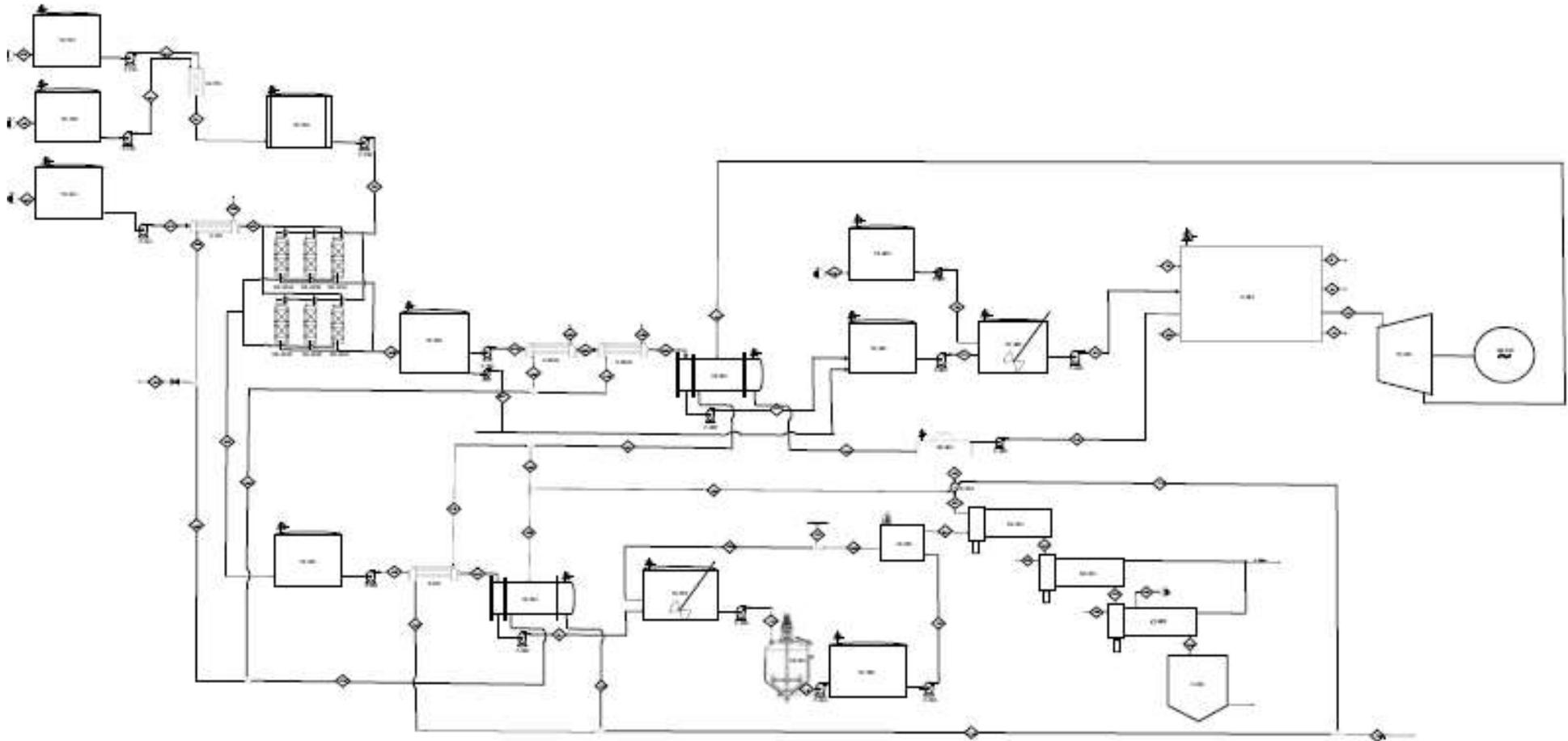
Tabla 7.1.2.A Corrientes destacables del proceso de generación de energía.

Cabe destacar que la corriente de vapor vegetal producto de la concentración de la vinaza “VG1” se divide en 4 corrientes más de diferente caudal. Lo mismo ocurre con la corriente de vapor a la salida del evaporador de solución madre “VW1”, que se divide en 4 corrientes también, de diferente caudal.

## 5.2 Diagrama de bloques



### 5.3 Diagrama de flujo (Flow sheet)



## 5.4 Diseño de equipos

### 5.4.1 Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, que son usadas para guardar y/o preservar líquidos o gases a una presión determinada. Los tanques de almacenamiento suelen ser usados para almacenar líquidos, y son ampliamente utilizados en las industrias de gases, del petróleo, y química, y principalmente su uso más notable es en las refinerías por sus requerimientos para el almacenamiento, sea temporal o prolongado; de los productos y subproductos que se obtienen de sus actividades.

Debido a su tamaño, usualmente son diseñados para contener el líquido a una presión ligeramente mayor que la atmosférica. Las normas empleadas por la industria petrolera son originadas en el estándar de la API, utilizándose principalmente el código API 650 para aquellos tanques nuevos y en el que se cubren aspectos tales como materiales, diseño, proceso y pasos de fabricación, y pruebas, mientras que el código API 653 se usa para la reconstrucción o modificación de tanques anteriormente usados.

Los tanques están hechos de diferentes materiales. Los más comunes son los de acero, hormigón combinado con plástico, plástico reforzado con fibra de vidrio, nailon o polietileno. El tipo de construcción y los materiales adecuados para almacenar estos productos están definidos en las normas DIN. Además de esto, los respectivos reglamentos federales sobre construcción basados en la Ley de productos de construcción y todos los reglamentos relativos a la protección contra incendios aplicables tienen que cumplirse al construir un terminal de tanques.

Los tamaños de los tanques están especificados según la autonómica del estado plurinacional y de acuerdo con las normas y/o códigos establecidos por la API.

A continuación, se tabulan los volúmenes, diámetros y alturas usadas comúnmente en los tanques de almacenamiento atmosférico.

MEDIDAS TANQUES API			
Capacidad (m3)	Diámetro (m)	Altura (m)	Relación D/H
80	5,5	5,5	1
160	6,1	5,5	1,1
320	7,5	7,3	1
480	9,1	7,3	1,3
800	9,7	11	0,9
1.600	13	12,2	1,1
2.400	17,7	9,8	1,8
3.200	18,3	12,2	1,5
4.800	22,4	12,2	1,8
8.800	30,5	12,2	2,5
12.800	36,6	12,2	3
16.000	40,8	12,2	3,4
24.000	45,7	14,6	3,1
32.000	54,9	14,6	3,8
80.000	85,3	14,6	5,8

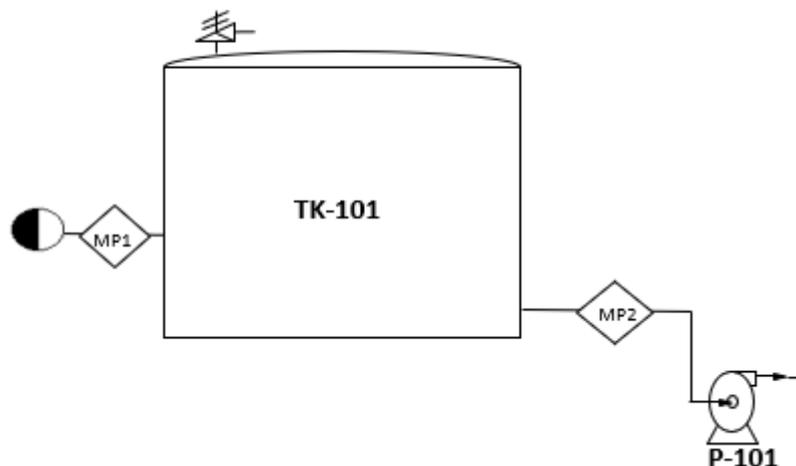
Actualmente, el volumen máximo de llenado, que es máximo de volumen de líquido que se puede almacenar en el tanque, es el 80 % del volumen líquido o volumen total.

Para la realización del diseño preliminar se ha optado por un tanque cilíndrico vertical de fondo plano, debido a que son los más utilizados en la industria, a un bajo costo, para almacenar grandes volúmenes de productos para su posterior procesamiento y comercialización.

#### 5.4.1.1 TANQUE RECEPTOR DE VINAZA FRESCA (TK-101)

Se trata del recipiente que almacena la vinaza fresca que proviene del vinazoducto, desde los distintos ingenios.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es contener la vinaza para la producción.



En función de la cantidad de vinaza fresca y del tiempo de operación de trabajo, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

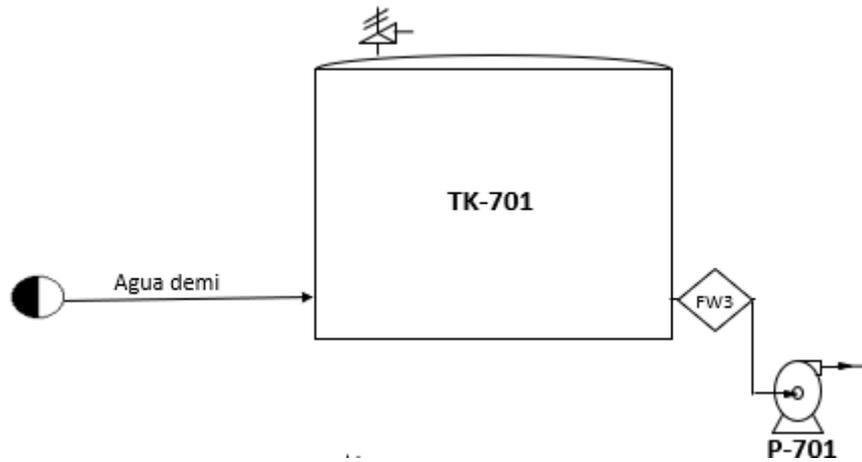
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante por hora	74,6	m <sup>3</sup> /h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	1789,4	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	3200	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	18,3	m
H	Altura del recipiente	12,2	m

El material de construcción es de acero inoxidable por el bajo pH que posee la vinaza.

#### 5.4.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA DEMI (TK-701)

Se trata del recipiente que almacena el agua desmineralizada que proviene post tratamiento de agua de tratamiento.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es contener almacenar el agua para la producción de la solución regenerante en el intercambiador iónico.



En función de la cantidad de agua desmineralizada necesaria para lograr la concentración deseada del regenerante, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

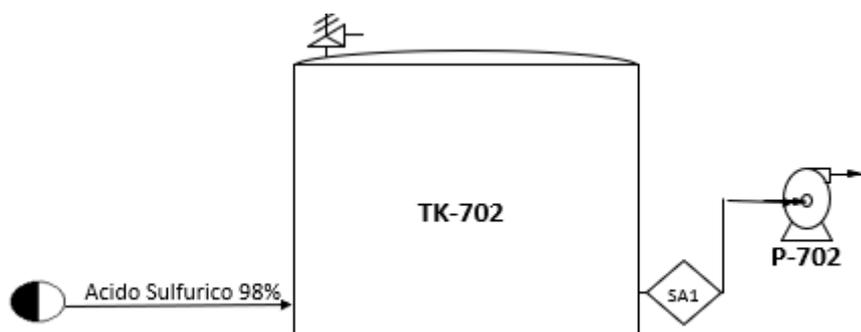
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante por 8 hs	6,6	m <sup>3</sup> /8h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	79,2	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	160	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	6,1	m
H	Altura del recipiente	5,5	m

El material de construcción es de acero al carbono, ya que solamente es agua.

#### 5.4.1.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO ÁCIDO SULFÚRICO 98% (TK-702)

Se trata del recipiente que almacena el ácido sulfúrico para la producción del regenerante.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar el ácido sulfúrico.



En función de la cantidad de ácido sulfúrico 98% necesario para lograr la concentración deseada del regenerante, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

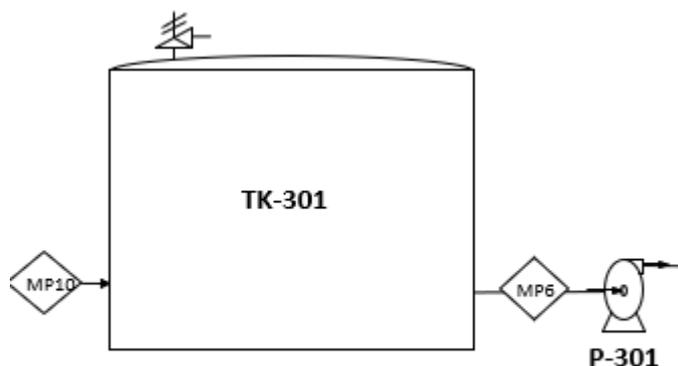
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante por 8 hs	0,15	m <sup>3</sup> /8h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	1,8	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	80	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	5,5	m
H	Altura del recipiente	5,5	m

El material de construcción es de acero al carbono, debido a lo mencionado en el punto 3.8.3 en el que se expresa que el ácido sulfúrico a altas concentraciones no es corrosivo con los metales.

#### 5.4.1.4 TANQUE DE ALMACENAMIENTO VINAZA SIN POTASIO (TK-301)

Se trata del recipiente que almacena la vinaza sin potasio post proceso de intercambio iónico.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar la vinaza mencionada, para luego ser enviada al proceso de generación de energía.



En función de la cantidad de vinaza necesaria para la lograr la evaporación deseada, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

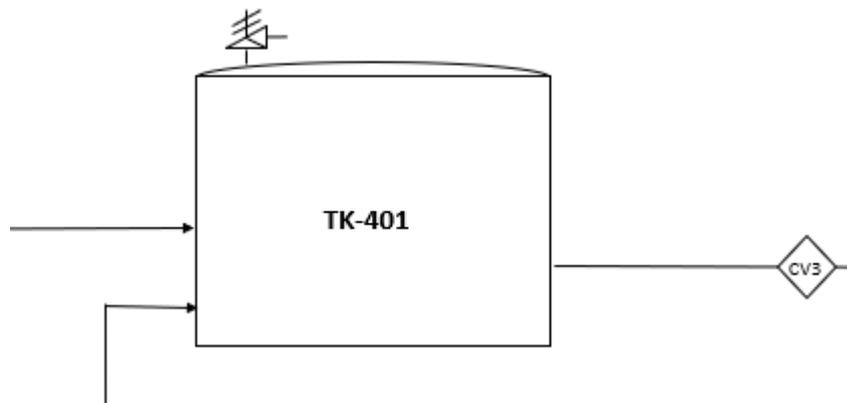
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante por hora	74,3	m <sup>3</sup> /h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	1783,2	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	3200	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	18,3	m
H	Altura del recipiente	12,2	m

El material de construcción es de acero inoxidable por el bajo pH que posee la vinaza.

#### 5.4.1.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO VINAZA POST EVAPORACIÓN Y VINAZA POST RESINA (TK-401)

Se trata del recipiente que almacena la vinaza concentrada en el proceso de evaporación y la vinaza proveniente del proceso post intercambio iónico.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar las vinazas mencionadas, para la aprovecharlas en la caldera como combustible alternativo.



En función de la cantidad de vinaza necesaria para la quema en el proceso de la caldera, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

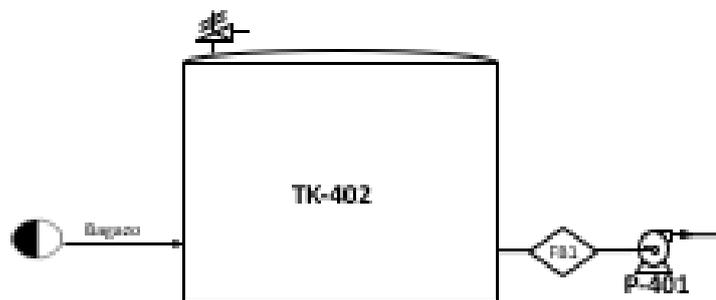
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante por hora	20,9	m <sup>3</sup> /h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	501,6	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	800	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	9,7	m
H	Altura del recipiente	11	m

El material de construcción es de acero inoxidable por el bajo pH que posee la vinaza.

#### 5.4.1.6 TANQUE DE ALMACENAMIENTO BAGAZO (TK-402)

Se trata del recipiente que almacena el bagazo proveniente del bagazoducto para ser enviado a la caldera como combustible alternativo y luego ser mezclado con vinaza.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar el bagazo con el fin de enviar una parte hacia la caldera para el arranque del equipo y generar vapor y, además, mezclarlo con vinaza en una proporción determinada.



En función de la cantidad de bagazo necesario para generar una cantidad de vapor y de la proporción de la mezcla con vinaza, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

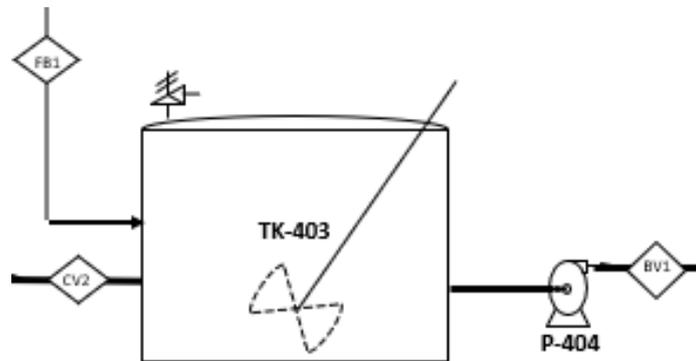
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante cada 6hs	13	m <sup>3</sup> /6h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	311,7	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	480	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	9,1	m
H	Altura del recipiente	7,3	m

El material de construcción es de acero inoxidable por el bajo pH que posee el bagazo.

#### 5.4.1.7 TANQUE DE ALMACANAMIENTO MEZCLA VINAZA Y BAGAZO (TK-403)

Se trata del recipiente que almacena la vinaza mezcla y el bagazo para luego ser enviados al proceso de combustión.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar la mezcla de ambos fluidos.



En función de la cantidad de bagazo y vinaza necesarios para la combustión, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

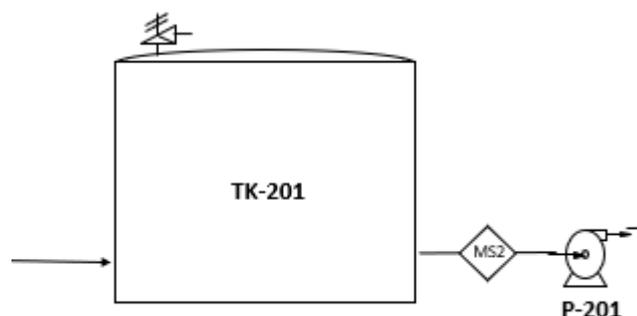
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante cada 6hs	33,9	m <sup>3</sup> /6h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	813,3	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	1600	m <sup>3</sup>
n	Número de paletas del agitador	4	-
v	Velocidad de agitación	100	rpm
D	Diámetro del recipiente	13	m
H	Altura del recipiente	12,2	m

El material de construcción es de acero inoxidable por el bajo pH que poseen los fluidos.

#### 5.4.1.8 TANQUE DE ALMACANAMIENTO SOLUCIÓN MADRE (TK-201)

Se trata del recipiente que almacena la solución regenerante proveniente del proceso de intercambio iónico.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar la solución mencionada, para destinarla a la producción de sulfato de potasio.



En función de la cantidad de solución necesaria para obtener la producción requerida para el proceso de la generación de sulfato, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

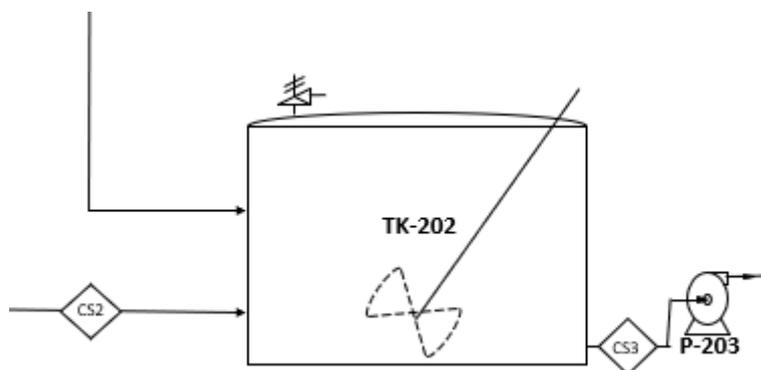
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante cada 6hs	41,1	m <sup>3</sup> /6h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	986,4	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	1600	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	13	m
H	Altura del recipiente	12,2	m

El material de construcción es de acero al carbono, si bien la solución madre cuenta con trazas de ácido sulfúrico que no generan un peligro relacionado con corrosión. (0,04%)

#### 5.4.1.9 TANQUE DE ALMACENAMIENTO SOLUCIÓN REGENERANTE CONCENTRADA (TK-202)

Se trata del recipiente que almacena la solución regenerante concentrada post proceso de evaporación y parte del licor madre que sale de la centrifuga.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar la solución concentrada, para luego ser enviada al proceso de la cristalización.



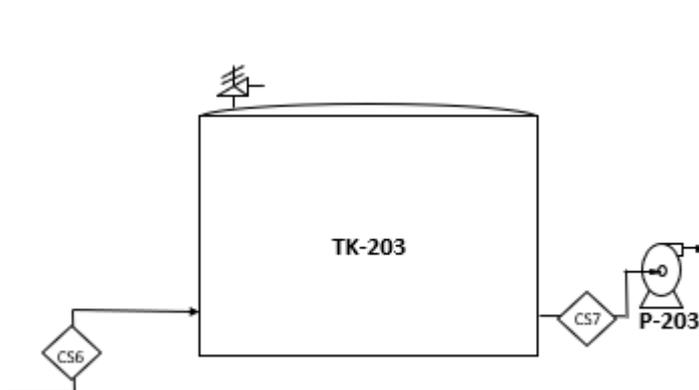
Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante cada 8hs	313,9	m <sup>3</sup> /8h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	941,7	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	1600	m <sup>3</sup>
n	Número de paletas del agitador	4	-
v	Velocidad de agitación	100	rpm
D	Diámetro del recipiente	13	m
H	Altura del recipiente	12,2	m

El material de construcción es de acero al carbono, si bien la solución madre cuenta con trazas de ácido sulfúrico que no generan un peligro relacionado con corrosión. (0,08%)

#### 5.4.1.10 TANQUE DE ALMACENAMIENTO PULMON (TK-203)

Se trata del recipiente que almacena la solución líquida (licor madre) y una cantidad de cristales formados en el proceso de la cristalización por enfriamiento.

En dicho tanque no hay intercambio de materia y energía, solamente su función es almacenar la solución con cristales, para luego enviar al proceso de separación de los cristales con el licor madre en una centrifuga.



En función de la cantidad de solución con cristales obtenidas del proceso de cristalización, se determinaron los siguientes parámetros del tanque:

Variable	Descripción	Valor	Unidad
q	Caudal volumétrico circulante cada 8hs	293,5	m <sup>3</sup> /8h
Q	Caudal volumétrico en 1 día de op normal	880,5	m <sup>3</sup> /día
V	Volumen del recipiente	1600	m <sup>3</sup>
D	Diámetro del recipiente	13	m
H	Altura del recipiente	12,2	m

El material de construcción es de acero al carbono, si bien la solución madre cuenta con trazas de ácido sulfúrico que no generan un peligro relacionado con corrosión. (0,08%)

---

#### 5.4.2 Mezclador estático

Los mezcladores estáticos son dispositivos que son utilizados para operaciones continuas. Estos logran un rendimiento predecible a través una serie de caídas de presión definidas. Pueden lograr un alto grado de homogeneidad en una corta longitud de tubería.

Estos son una solución práctica, económica y eficiente para la mezcla conveniente de fluidos mientras son bombeados. El fluido se mueve a través del mezclador estático en línea, creando un flujo continuo y homogéneo con baja caída de presión.

Los mezcladores estáticos tienen las siguientes características:

- Diseñados para soportar grandes cambios de presión
- Tienen pequeños diámetros
- Fáciles de instalar
- Posibilidad de acoplamiento bridado o roscado
- Con elemento mezclador fijo o removible de acuerdo con la necesidad
- Virtualmente libres de mantenimiento
- Previenen el sobremezclado, el submezclado y el ensuciamiento de tuberías.
- Aseguran un producto final homogéneo

Su funcionamiento es el siguiente:

- La bomba empuja el líquido dentro del mezclador
- El flujo es cortado y forzado a dirigirse contra las paredes opuestas de la tubería.
- Un vórtice es creado axialmente en la línea central de la tubería
- El vórtice es cortado de nuevo y el proceso ocurre, pero en rotación contraria.
- Los cambios de rotación aseguran un producto final homogéneo.



Figura 7.4.2.A. Funcionamiento mezcladores estáticos

---

#### 5.4.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las dos propiedades clave en el flujo de una sola fase son la densidad y la viscosidad. En flujo turbulento, la caída de presión es directamente proporcional a la densidad, por lo que la exactitud de la densidad es la exactitud de la predicción de la caída de presión. Los sistemas de baja viscosidad usualmente se encuentran en flujo turbulento, donde la viscosidad tiene poco o ningún efecto sobre la caída de presión. En este caso la viscosidad es usada básicamente para calcular el número de Reynolds y así determinar si el flujo es laminar o turbulento.

Con el flujo turbulento existe un intercambio de masa en direcciones radial y axial, debido a los eddies turbulentos. Si se fija un punto en el que las velocidades de inyección son iguales, se puede determinar el coeficiente radial de difusividad, así como el factor de fracción a una velocidad promedio. En este caso, si se da una inyección central, esta se extiende hacia las paredes a lo largo de la tubería.

Debido de las relaciones lineales entre el tiempo y la difusividad, un incremento en la velocidad incrementa la turbulencia de la difusividad, pero reduce el tiempo de contacto; así que los parámetros críticos serían la relación largo/diámetro ( $L/D$ ), el factor de fricción y el coeficiente de variación ( $CoV$ ).

---

#### 5.4.2.2 ORIENTACIÓN DEL MEZCLADOR

Si el mezclador está colocado verticalmente, existe muy poco o ningún efecto de la densidad entre la corriente principal y la secundaria. Si el mezclador está colocado horizontalmente, la relación de densidades puede causar separación antes del mezclado. Esto es muy importante para tuberías simples, donde un 10% de la diferencia de densidad es reportada para incrementar el largo de mezclado.

### 5.4.2.3 DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES MEZCLADOR ESTÁTICO

Para la determinación de las dimensiones del mezclador deben de realizarse diferentes cálculos los cuales se enuncian a continuación:

Para determinar el tipo de mezclador estático a utilizar es necesario calcular el número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Donde:

- $\rho$  = número de Reynolds
- $v$  = velocidad del fluido (m/s)
- $D$  = diámetro de la tubería
- $\mu$  = viscosidad

Reemplazando datos:

$$Re = \frac{1538,6 \frac{kg}{m^3} * 1,2 \frac{m}{s} * 0,05 m}{0,002 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 51.159$$

Ya que el número de Reynolds es mayor a 2 000 se determina que el flujo es turbulento y como la operación a realizar es mezclado de líquidos miscibles y de baja viscosidad, se opta x utilizar el mezclador SMV, el cual es un mezclador; este posee un elemento de mezcla helicoidal que dirige el flujo de material radialmente hacia las paredes de la tubería y de vuelta al centro.

Para calcular el largo del mezclador es necesario determinar, primeramente, el coeficiente de variación reducido para la mezcla (CoVr), este coeficiente se determina por medio de una serie de fórmulas:

#### 5.4.2.3.1 COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$Cv = \frac{\text{flujo volumétrico (98\%)}}{\text{flujo volumétrico (H2SO4 98\%)} + \text{flujo volumétrico H2O}}$$

Reemplazando datos:

$$Cv = \frac{0,15}{0,15 + 6,6}$$

$$Cv = 0,022$$

#### 5.4.2.3.2 COEFICIENTE DE VARIACIÓN INICIAL PARA UNA MUESTRA NO MEZCLADA:

---

$$CoVo = \left( \frac{1 - Cv}{Cv} \right) 0,5$$

Donde:

- Cv = coeficiente de variación
- CoVo = coeficiente de variación inicial para una muestra no mezclada.

Reemplazando datos:

$$CoVo = \left( \frac{1 - 0,022}{0,022} \right) 0,5$$

$$CoVo = 6,633$$

#### 5.4.2.3.3 COEFICIENTE DE VARIACIÓN REDUCIDO

---

$$CoVr = \left( \frac{CoV}{CoVo} \right)$$

Donde:

- CoV = coeficiente de variación estándar
- CoVo = coeficiente de variación inicial para una muestra no mezclada
- CoVr = coeficiente de variación reducido

Reemplazando datos:

$$CoVr = \left( \frac{0,022}{6,633} \right)$$

$$CoVr = 0,008$$

#### 5.4.2.3.4 LARGO DEL MEZCLADOR ESTÁTICO

Ya habiendo determinado el coeficiente de variación reducido, con la siguiente correlación se determina el largo del mezclador estático:

$$CoVo = (Ki) L/D$$

$$\text{Log } CoVo = \frac{L}{D} * \text{Log } Ki$$

$$L = D * \frac{\text{Log } CoVr}{\text{Log } Ki}$$

Donde:

- CoVr = coeficiente de variación reducido
- L = largo del mezclador
- D = diámetro del mezclador
- Ki = constante la cual depende del mezclador a utilizar

Reemplazando datos:

$$L = 0,05 * \frac{\text{Log } 0,08}{\text{Log } 0,5}$$

$$L = 0,353 \text{ m}$$

Luego:

$$\frac{L}{D_{\text{unequal}}} = \frac{L}{D_{\text{equal}}} + k \cdot \log \frac{\mu_c}{\mu_d}$$

Donde:

- (L/D) unequal = relación largo/diámetro del mezclador para flujos de diferentes viscosidades
- (L/D) equal = relación largo/diámetro del mezclador para flujos de diferentes viscosidades
- K = constante que depende del tipo de mezclador
- $\mu_c$  = viscosidad de la fase continua (ácido sulfúrico)
- $\mu_d$  = viscosidad de la fase dispersa (agua)

Reemplazando datos:

$$\frac{L}{D_{\text{unequal}}} = 10,67 + 2 * \log \frac{2,2}{1}$$

$$\frac{L}{D_{\text{unequal}}} = 11,355$$

$$L = 11,355 * 0,05$$

$$L = 0,6m$$

Por lo tanto, las dimensiones básicas para este equipo resultan:

- **Largo = 0,6 metros.**
- **Diámetro = 1 pulgada (diámetro de la cañería de agua demi).**

---

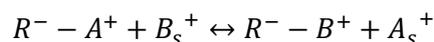
#### 5.4.3 Intercambiador iónico

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. En el proceso de intercambio iónico ocurre una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados por iones de igual carga de un fluido.

Este proceso consiste en pasar el fluido sobre un intercambiador catiónico y/o aniónico sólido, reemplazando los cationes y/o aniones por el ion hidrógeno (H+) y/o el ion hidroxilo (OH-) respectivamente.

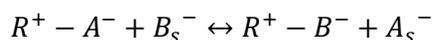
La eficiencia de este proceso depende de factores como la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH del fluido, la concentración de iones, la temperatura y la difusión; éste último factor está en función de la dimensión del ion, carga electrostática, temperatura, estructura y tamaño del poro de la resina.

Cuando el intercambiador iónico generalmente sólido posee en su estructura cargas negativas será capaz de retener e intercambiar iones cargados positivamente, llevándose a cabo la reacción de intercambio catiónico (1).



Donde R<sup>-</sup> representa al intercambiador catiónico, A<sup>+</sup> al catión intercambiable del sólido y B<sub>s</sub><sup>+</sup> al catión intercambiable de la disolución que pasa por el sólido; por simplicidad se ha representado al catión como monovalente, pero puede tener cualquier carga.

Cuando el intercambiador iónico generalmente sólido posee en su estructura cargas positivas será capaz de retener e intercambiar iones cargados negativamente, llevándose a cabo la reacción de intercambio aniónico (2).



Donde  $R^+$  representa al intercambiador aniónico,  $A^-$  al anión intercambiable del sólido y  $B^-$  al anión intercambiable de la disolución que pasa por el sólido; por simplicidad se ha representado al anión como monovalente, pero puede tener cualquier carga.

---

#### 5.4.3.1 TIPOS SEGÚN SU GRUPO FUNCIONAL

##### 5.4.3.1.1 RESINAS CATIONICAS DE ÁCIDO FUERTE

---

Se producen por sulfonación del polímero con ácido sulfúrico, el grupo funcional es el ácido sulfónico ( $-SO_3H$ ) que es altamente ionizable, intercambian iones positivos (cationes). Estas resinas operan a cualquier pH, requiere de excesivas cantidades de regenerante y es la resina más utilizada.

##### 5.4.3.1.2 RESINAS CATIONICAS DE ÁCIDO DÉBIL

---

El grupo funcional es un ácido carboxílico ( $COOH$ ) presente en uno de los componentes del copolímero principalmente el ácido acrílico o metacrílico. Son resinas altamente eficientes, tienen menor capacidad de intercambio, no son funcionales a pH bajos, elevado hinchamiento y contracción lo que hace aumentar las pérdidas de carga o provocar roturas en la columna cuando no cuentan con suficiente espacio en su interior. Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos ácido para su regeneración, aunque trabajan a flujos menores que las de ácido fuerte. Las resinas cationicas débiles están sujetas a una menor capacidad por un aumento en la velocidad de flujo.

Estas resinas fijan los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio de los bicarbonatos y liberan ácido carbónico. Los cationes unidos a los aniones sulfatos, cloruros y nitratos no son intercambiados.

##### 5.4.3.1.3 RESINAS ANIÓNICAS DE BASE FUERTE

---

Se obtienen a partir de la reacción de copolímeros de estireno-divinilbenceno clorometilados con aminas terciarias. El grupo funcional es una sal de amonio cuaternario, ( $R_4N^+$ ). Intercambian iones negativos y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente sosa.

#### 5.4.3.1.4 RESINAS ANIÓNICAS DE BASE DÉBIL

---

Resinas funcionalizadas con grupos de amina primaria (-NH<sub>2</sub>), secundaria (-NHR) y terciaria (-NR<sub>2</sub>). Suelen aplicarse a la adsorción de ácidos fuertes con buena capacidad, pero su cinética es lenta. Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos sosa para su regeneración, no se puede utilizar a pH altos, pueden sufrir problemas de oxidación o ensuciamiento, deben ser usadas en aguas con niveles elevados de sulfatos o cloruros, o donde no se requiera la eliminación de la alcalinidad y del silicio, fijan los aniones de los ácidos fuertes como sulfatos, cloruros y nitratos, pero no los aniones débiles del ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), ni del ácido silícico (H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

#### 5.4.3.2 INTERCAMBIO IÓNICO EN COLUMNA Y ETAPAS DEL PROCESO

---

Este sistema se emplea a menudo en los procesos de intercambio iónico. El intercambiador se coloca en el interior de una columna vertical a través de la cual fluye la disolución a tratar. El proceso global consta de varias etapas las cuales se describen a continuación.

##### 5.4.3.2.1 EMPAQUETAMIENTO DE LA COLUMNA

---

Se introduce la resina de intercambio iónico en el interior de la columna evitando la formación de bolsas de aire entre sus partículas para obtener un lecho uniforme. Esta operación se realiza habitualmente lavando el intercambiador con agua destilada que además resulta útil para eliminar posibles impurezas y para provocar el fenómeno de hinchamiento.

##### 5.4.3.2.2 ACONDICIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

---

Muchas resinas comerciales se venden en una forma iónica que puede no ser la adecuada para el tratamiento que se desea realizar. Por ejemplo, una resina básica fuerte que tenga como contraión un grupo OH<sup>-</sup> y que por necesidades del proceso sea deseable tener un ion Cl<sup>-</sup>. En la etapa de acondicionamiento se procede a cambiar el contraión de la resina poniéndola en contacto con una disolución concentrada del ion que se desea tener.

Una vez que se ha conseguido este objetivo y la resina está en la forma iónica deseada debe eliminarse el exceso de esta disolución lavando la resina con agua destilada.

##### 5.4.3.2.3 ETAPA DE CARGA

---

En esta etapa tiene lugar el intercambio de iones entre la disolución a tratar y la resina. La disolución a tratar se introduce en la columna y fluye gradualmente a través de la resina. Las condiciones de operación (velocidad de flujo, pH de la disolución, otros) dependerán del tipo de

resina utilizada y es importante optimizarlas para obtener un buen rendimiento en cuanto a capacidad y selectividad.

Cuando la resina comienza a estar saturada con los iones de la disolución que entra, se observa un aumento de la concentración de dichos iones en la disolución que sale de la columna. Esta descarga de iones se conoce como punto de ruptura (breakthrough) e indica que el tratamiento de la disolución por la resina ya no es efectivo. Una vez que la concentración de estos iones en la disolución de salida iguala a la de la concentración de entrada, la resina ha agotado toda su capacidad de intercambio en las condiciones de operación.

#### 5.4.3.2.4 ETAPA DE REGENERACIÓN

---

La etapa de regeneración consiste en devolver la resina saturada a su forma iónica inicial empleando una disolución concentrada en el ion originariamente asociado a la resina. Esta etapa es importante en el proceso de intercambio iónico ya que el buen funcionamiento de la resina en sucesivos procesos de carga depende de una regeneración eficiente. Para obtener el máximo rendimiento de esta etapa es importante optimizar parámetros como la concentración y volumen de disolución regenerante, así como la velocidad de flujo.

La regeneración tiene dos inconvenientes importantes:

- El gasto económico en regenerante. Puede reducirse reutilizándolo hasta que pierda su eficiencia, aunque esta opción tampoco es del todo económica ya que implica establecer unas condiciones para su almacenaje.
- La generación de residuos, ya que después de regenerar el intercambiador se obtienen disoluciones altamente ácidas o básicas generalmente muy concentradas en metales que deben ser tratadas o eliminadas.

---

#### 5.4.3.3 RESINA UTILIZADA

Basándonos en un estudio realizado en Colombia en el año 2018, la resina catiónica ZGC108 será la utilizada, provista por la empresa china NINGBO ZHENGGUANG RESIN CO., LTD. Esta cuenta con un grupo sulfónico (-SO<sub>3</sub>H) en el copolímero de estireno-divinilbenceno y se encuentra en forma sódica ( [Na]<sup>+</sup>). Debido a esto último, la resina debe ser cambiada a forma ácida según recomendación del fabricante, para que esta pueda retener los iones de potasio disueltos en la vinaza.

A continuación, se detallan algunas de sus propiedades:

ITMES	DATA
Appearance	Palm yellow to burnt brown spherical Particle
Ionic form	Na
Moisture content %	42.00-50.00
Total exchange capacity mmol/g	$\geq 4.40$
Total exchange capacity mmol/ml	$\geq 2.00$
Shipping weight g/ml	0.78-0.88
True density g/ml	1.250-1.30
Particle size range %	(0.315mm-1.250mm) $\geq 95.0$
Lower limit size %	(<0.315mm) $\leq 1.0$
The effective size mm	0.400-0.700
Uniformity coefficient	$\leq 1.60$
Sphericity after attrition %	$\geq 90.00$

#### 7.4.3.3.A Especificaciones de resina catiónica ZGC108 según fabricante.

Como se mencionó en el capítulo de balances de materia y energía, la resina opera a 40°C. Esta temperatura es resultado de ensayos llevados a cabo a diferentes temperaturas (28 y 40°C) siendo esta última la mejor opción.

Temperatura del ensayo	Porcentaje de remoción del potasio (%)
<b>28°C</b>	97,77
<b>40°C</b>	98,03

Con respecto al ácido sulfúrico como medio regenerante ocurre algo similar. En primer lugar, se seleccionó este ácido debido a que es un ácido fuerte y tiene mayor capacidad para eliminar el potasio retenido en la resina en comparación a un ácido débil. A su vez, se probaron diferentes concentraciones de regeneración, siendo 0,4 M la óptima.

Concentración de ácido sulfúrico (M)	Porcentaje de remoción del potasio (%)
<b>0,2</b>	31,04
<b>0,3</b>	52,97
<b>0,4</b>	99,01
<b>0,5</b>	47,40
<b>0,6</b>	82,65

Si bien para los tiempos de operación no existe nada definido, debido a que dependerá del caudal operativo y el tamaño de las resinas empleadas, sí se sugiere que el tiempo de regeneración sea de, aproximadamente, 2 horas, ya que se logran los resultados deseados en este intervalo.

#### 5.4.3.4 ESTIMACIÓN DE DIÁMETRO Y ALTURA DE LA RESINA

Para comenzar debemos determinar qué cantidad de potasio se intercambia mediante:

$$K_{int} = \dot{m}_{KCl} \left( \frac{M_{KCl}}{M_K} \right) \eta$$

Luego, se calcula la cantidad de equivalentes a través de:

$$Eq_{int} = \frac{K_{int}}{M_K} \frac{1 \text{ eq } K}{1 \text{ mol } K}$$

Donde:

- $K_{int}$ : cantidad de potasio intercambiada.
- $\dot{m}_{KCl}$ : caudal másico de cloruro de potasio en la corriente de vinaza.
- $M_{KCl}$ : masa molar del cloruro de potasio.
- $M_K$ : masa molar del potasio.
- $\eta$ : rendimiento de intercambio.
- $Eq_{int}$ : equivalentes intercambiados.

De este modo, se obtiene:

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
$\eta$	0,9803	-
$\dot{m}_{KCl}$	1564	kg/h
$M_{KCl}$	74,55	kg/kmol
$M_K$	39,09	kg/kmol
$K_{int}$	803,8	kg/h
$Eq_{int}$	20,6	keq/h

Luego, procedemos a estimar el volumen de resina necesario para poder cumplir con los requisitos operativos, mediante:

$$V_r = Eq_{int} \frac{t}{c}$$

Donde:

- $V_r$ : volumen de resina.
- $t$ : tiempo de operación.
- $c$ : capacidad de la resina.

El resultado obtenido se detalla a continuación:

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
$Eq_{int}$	20,6	keq/h
$t$	6	h
$c$	2	keq/m <sup>3</sup>
$V_r$	61,8	m <sup>3</sup>

Sin embargo, la resina seleccionada posee un limitante y este es el caudal operativo, que oscila entre 15 y 30  $\frac{m^3}{h}$ . Debido a que el caudal de vinaza es de 76  $\frac{m^3}{h}$ , excede la capacidad de 1 sólo equipo, por lo que se resolvió utilizar 3 resinas con operación en paralelo. Este conjunto conformará el tren 1, que se encontrará en operación mientras el tren 2 (formado por otras 3 resinas) se esté regenerando, y viceversa, de modo de lograr un proceso continuo.

Teniendo en cuenta el caudal de vinaza y la cantidad de resinas utilizadas, se puede estimar qué cantidad de relleno deberá poseer cada una de ellas, considerando un factor de seguridad del 20%, mediante:

$$V_{relleno} = \frac{V_r}{\text{Cantidad de resinas}} F_s$$

Donde:

- $V_{relleno}$  : volumen de relleno de cada resina.
- $F_s$ : factor de seguridad.

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
$V_r$	61,8	$m^3$
Cantidad de resinas	3	-
$F_s$	1,2	-
$V_{relleno}$	24,7	$m^3$

Para finalizar, procedemos a calcular el diámetro y la altura de la torre de la siguiente manera:

- Se selecciona un diámetro.
- Con el volumen de relleno y el diámetro se determina la altura (h):

$$V_{relleno} = \pi \frac{D^2}{4} h$$

$$h = \frac{4V_{relleno}}{\pi D^2}$$

El criterio empleado para definir el diámetro y la altura óptimos fue que la relación h/D no fuera mayor a 3, ya que esto provocaría alturas de resina muy elevadas (> 8 m).

De este modo, las dimensiones seleccionadas fueron las siguientes:

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
D	2,5	m
h	5	m

En conclusión, contaremos con 2 trenes de producción, compuestos por 3 resinas ZGC 108 (en forma ácida) cada uno, de 2,5 m de diámetro y 5 m de altura.

---

## 5.4.4 Intercambiadores de calor

### 5.4.4.1 INTRODUCCIÓN

Un intercambiador de calor es un equipo que transfiere continuamente calor de un medio a otro. Existen diversas formas de clasificar a estos equipos, por ejemplo:

#### 5.4.4.1.1 SEGÚN LA DIRECCIÓN DEL FLUJO:

---

## PARALELO

Los dos fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo del intercambiador y fluyen en la misma dirección intercambiando calor hasta alcanzar una temperatura próxima la una de la otra, es decir, los fluidos tratan de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos.

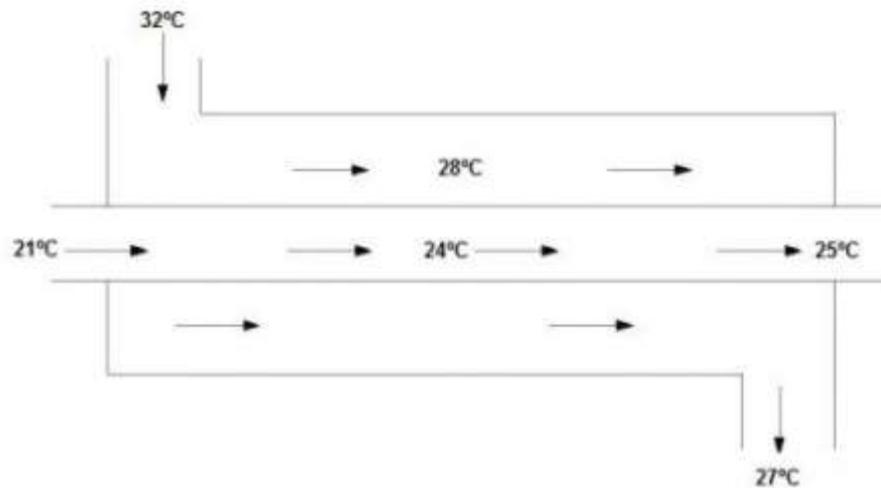


Figura 7.4.4.1.1.A Intercambio con flujo paralelo.

## CONTRACORRIENTE:

Cada uno de los fluidos entran al intercambiador por diferentes extremos y se presenta el contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección, pero en sentido opuesto. Este tipo de intercambiador puede presentar una temperatura más alta en el fluido frío y más baja en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor, por lo que es más eficiente térmicamente si se compara con el flujo paralelo.

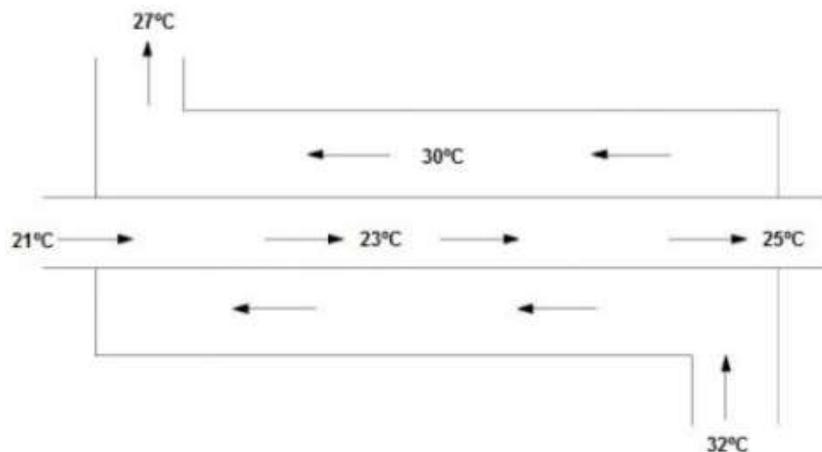


Figura 7.4.4.1.1.B Intercambio con flujo contracorriente.

### CRUZADO:

En el intercambiador que presenta un flujo cruzado, uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido. Uno de los fluidos pasa a través de los tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos perpendicularmente.

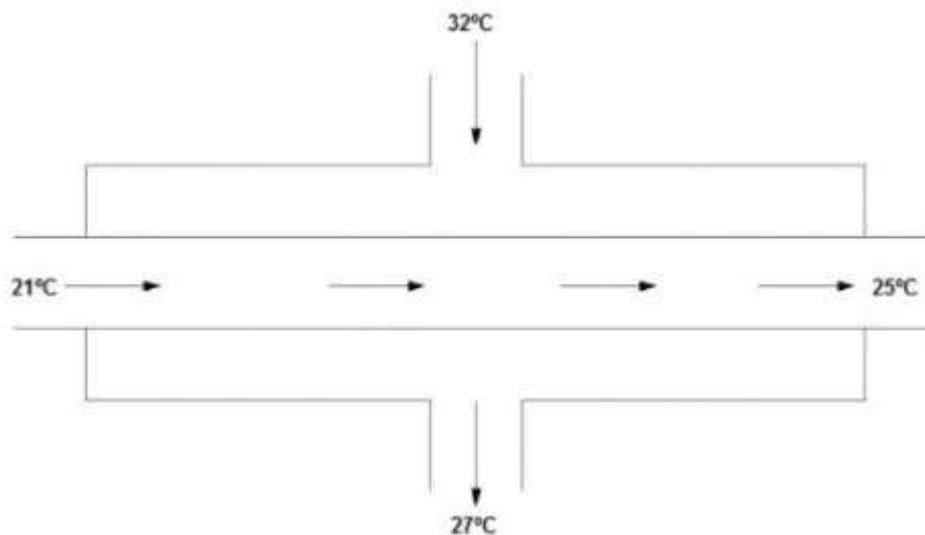


Figura 7.4.4.1.1.C Intercambio con flujo cruzado.

### 5.4.4.1.2 SEGÚN EL CONTACTO DE LOS FLUIDOS INVOLUCRADOS:

---

#### DIRECTO

Donde ambos medios están en contacto directo entre sí. Se da por sentado que los medios no se mezclan. Un ejemplo de este tipo de intercambiador de calor es una torre de enfriamiento, donde el agua se enfría a través del contacto directo con el aire.

#### INDIRECTO

Donde ambos medios están separados por una pared a través de la cual se transfiere el calor.

### 5.4.4.1.3 SEGÚN EL PASO:

---

#### DE UN SOLO PASO

Sí el fluido sólo intercambia calor en una sola vez, se denomina intercambiador de calor de paso simple o de un solo paso, en ocasiones la transferencia de calor no es lo suficientemente para alcanzar la temperatura deseada por lo que se emplea un método que combina dos o más

intercambiadores en serie, esto permite mejorar la eficiencia del proceso de intercambiador de calor ya que los fluidos se hacen pasar varias veces dentro de un intercambiador de paso simple.

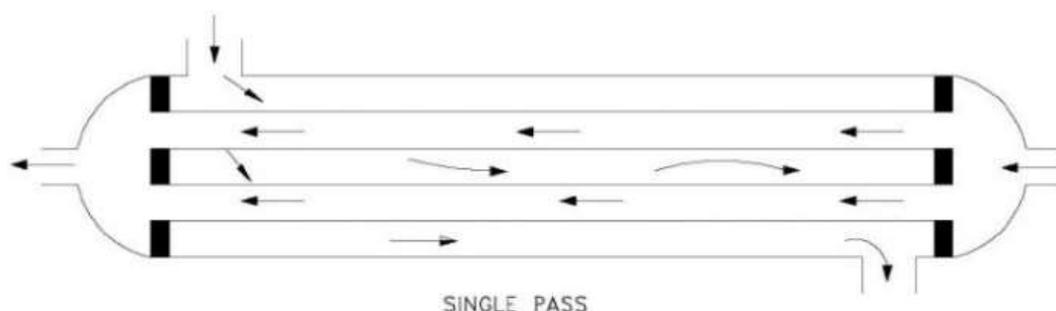


Figura 7.4.4.1.3.A Intercambio con un paso.

#### DE MÚLTIPLES PASOS

Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiples pasos. Comúnmente el intercambiador de múltiples pasos invierte el sentido del flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de «U» en los extremos, esta configuración de «U», permite al fluido volver a recorrer el interior del intercambiador incrementando el área de transferencia.

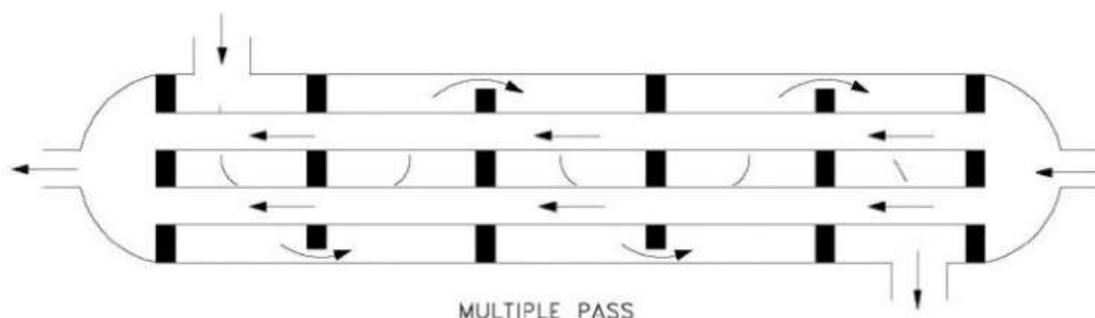


Figura 7.4.4.1.3.B Intercambio con múltiples pasos.

#### 5.4.4.1.4 SEGÚN SU ESTRUCTURA:

---

##### DE TUBOS CONCÉNTRICOS:

Este tipo de intercambiadores consta de dos tubos concéntricos de diámetros diferentes ensamblados uno dentro del otro, llamado intercambiador de calor de tubo doble o tubos concéntricos. En este dispositivo, el fluido caliente circula por el conducto interno cediendo calor al fluido de menor temperatura que circula por su sección anular (camisa o encamisado). El

intercambiador de calor de tubos concéntricos es extremadamente útil, ya que se puede ensamblar en cualquier taller a partir de partes estándar.

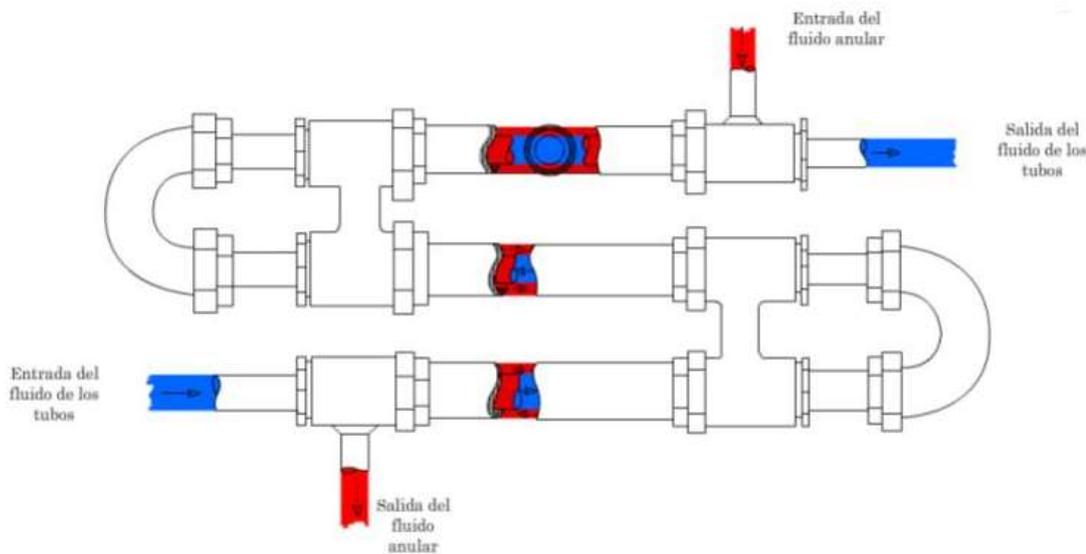


Figura 7.4.4.1.4.A Intercambio por tubos concéntricos.

#### DE CORAZA Y TUBOS:

La configuración de tubos y carcasa es la construcción más básica y común de los intercambiadores de calor. El fluido que circula por el interior de los tubos se denomina «Flujo interno» y el fluido que circula por la carcasa «Flujo externo». En los extremos de los tubos, el fluido que circula por el interior de los tubos es separado del fluido que circula por la carcasa por las denominadas «Placas del tubo». En las partes intermedias se pueden apreciar unos separadores en forma de medialuna llamados «Deflectores» cuya función es forzar la dirección del flujo y mejorar el intercambio de calor.

En sistemas donde los fluidos presentan grandes diferencias de presiones, el fluido de mayor presión circula a través de los tubos y el de menor presión por el exterior, es decir por la carcasa. Esto viene a razón de los costes de materiales, los tubos pueden fabricarse para soportar mayores presiones que la carcasa dado que si fuese a la inversa, el costo sería mucho mayor.

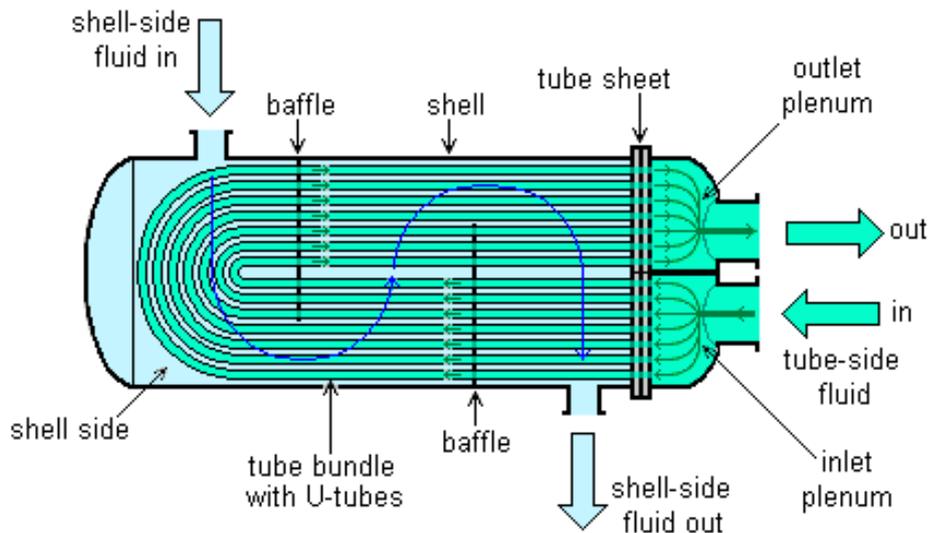


Figura 7.4.4.1.3.B Intercambio por coraxa y tubos.

#### DE PLACAS:

La configuración del intercambiador de placas consta de un empaquetamiento de finas placas o láminas de metal corrugadas de alto coeficiente de transferencia que favorece la transferencia de calor. La conformación corruga permite que se produzcan flujos turbulentos a velocidades relativamente pequeñas (0.25 a 1 m/s). El funcionamiento es simple, si tomamos como ejemplo la imagen, podemos observar que mientras en una cara de la lámina desciende el fluido caliente, por lámina inmediatamente contigua circula a contra flujo (para favorecer el intercambio y no producir esfuerzos térmicos en zonas concretas), los fluidos nunca se mezclan y la presión de apriete de la empaquetadura más las juntas de goma perimetral (color negro) evitan que los líquidos escapen.

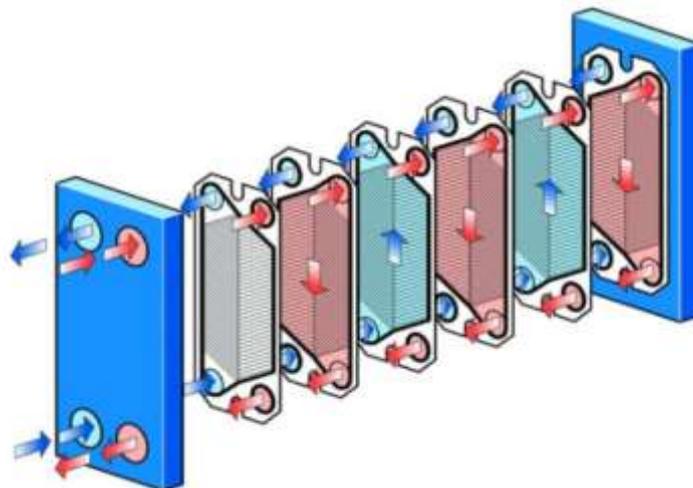


Figura 7.4.4.1.3.C Intercambio por placas.

## REFRIGERADOS POR AIRE

Este tipo de intercambiadores refrigerados por aire consiste en la disposición de una serie de tubos situados en una corriente de aire, esta corriente puede ser natural o forzada con ayuda de un ventilador. Para mejorar la eficiencia, los tubos suelen tener aletas para aumentar la superficie de intercambio de calor y su coeficiente de transferencia. El ventilador fuerza o induce el paso de aire (en esta imagen en dos etapas) a lo largo de los tubos con aletas y el fluido que se enfría fluye por los tubos que se unen en ambos extremos a colectores o cabezales. Estos ventiladores pueden ser de velocidad ajustable para modificar el caudal de aire a fin de compensar las variaciones de la temperatura del aire.

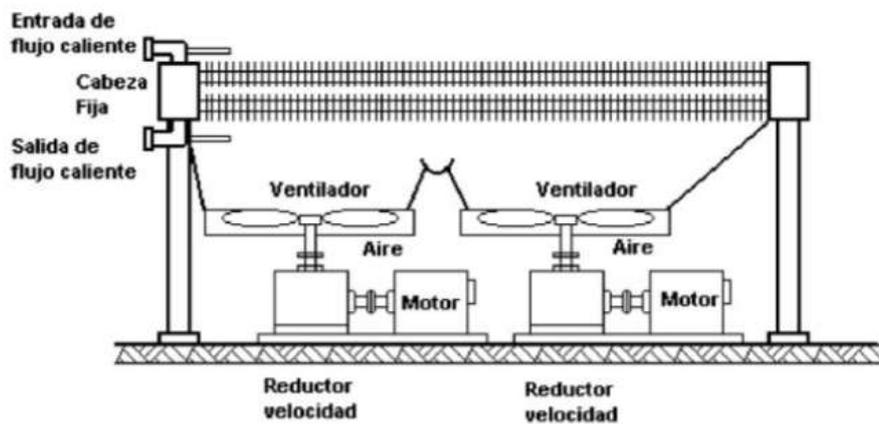


Figura 7.4.4.1.3.D Intercambio con aire.

---

### 5.4.4.2 TEORÍA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Las leyes naturales de la física siempre permiten que la energía de conducción en un sistema fluya hasta que se alcance el equilibrio. El calor abandona el cuerpo más caliente o el fluido más caliente, siempre que haya una diferencia de temperatura y se transfiera al medio frío.

#### 5.4.4.2.1 USOS

---

Los intercambiadores de calor se emplean para los siguientes usos:

- Elevar la temperatura de un fluido gracias a otro más caliente.
- Refrescar un fluido empleando otro con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido por la acción de un segundo con mayor temperatura.
- Condensar gases utilizando fluidos fríos.

- Llevar a ebullición un determinado fluido mientras se condensa otro gaseoso más caliente.

#### 5.4.4.2.2 EQUIPOS EMPLEADOS

---

En nuestra planta disponemos de 7 intercambiadores de calor:

- Precalentador de vinaza cruda.
- Precalentador de vinaza sin potasio (x2).
- Evaporador de vinaza sin potasio.
- Precalentador de solución madre.
- Evaporador de solución madre.
- Precalentador de aire para secador rotatorio.

Debido a que se hará el diseño completo de los 2 precalentadores de vinaza sin potasio y del evaporador de la solución madre, en este capítulo nos dedicaremos a hablar del resto de los intercambiadores.

Estos equipos serán todos del tipo coraza y tubos a excepción del evaporador de vinaza que será una marmita.

Para determinar sus dimensiones básicas, se recurrió a la fórmula:

$$Q = U * A * \Delta T_{ml}$$

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T_{ml}}$$

Donde:

- Q: calor intercambiado.
- U: coeficiente global de transferencia de calor.
- A: área de transferencia.
- $\Delta T_{ml}$ : media logarítmica de temperatura.

El coeficiente global de transferencia de calor se obtuvo de tablas termodinámicas con ayuda del simulador HTRI.

1. Una vez que se conoce el valor del área de transferencia, se recurre a un proceso de iteración:

2. Se selecciona un diámetro de coraza.
3. Mediante HTRI se determina la cantidad de tubos que corresponden a esa coraza.

Se verifica que el área de intercambio total producto de la sumatoria de las áreas de intercambio individuales de cada tubo sea mayor (así consideramos un porcentaje de sobrediseño) al calculado mediante la ecuación de diseño. Recordamos que la ecuación para el cálculo del área de transferencia de un tubo es:

$$A_{1T} = \pi * D * L$$

Donde:

- D: diámetro del tubo.
- L: longitud del tubo.

#### PRECALENTADOR DE VINAZA CON POTASIO E-101

Variable	Valor	Unidad
Caudal másico de vinaza	78750	kg/h
Temperatura entrada vinaza	20	°C
Temperatura salida vinaza	40	°C
Caudal másico vapor	2945	kg/h
Temperatura entrada vapor	105,1	°C
Temperatura salida vapor	99,75	°C
Calor intercambiado	1,79E+06	W
MLDT	71,7	°C
Coeficiente global de transferencia	4200	W/m2K
Área de transferencia 1	<b>5,9</b>	m2

Se selecciona una coraza de 10 pulgadas para la cual, según tablas y HTRI, le corresponden 40 tubos de 34 pulgadas con un pitch de 1,25 in y arreglo triangular.

Variable	Valor	Unidad
Cantidad de tubos	40	-
Diámetro	0,75	in
Longitud	3	m
Área de transferencia 2	<b>6,5</b>	m2
Sobrediseño	<b>9</b>	%

De este modo, las dimensiones básicas del este intercambiador resultan:

Variable	Valor	Unidad
Diámetro de coraza	10	in
Diámetro	0,75	in
Longitud	3	m
Cantidad de tubos	40	-
Arreglo	Triangular	-
Paso	1,25	in

#### EVAPORADOR DE VINAZA FE-301

Variable	Valor	Unidad
Caudal másico de vinaza	42738	kg/h
Temperatura entrada vinaza	90	°C
Temperatura salida vinaza	120,84	°C
Caudal másico vapor	43845	kg/h
Temperatura entrada vapor	123,6	°C
Temperatura salida vapor	99,6	°C
Calor intercambiado	2,81E+07	W
MLDT	5,6	°C
Coeficiente global de transferencia	5000	W/m <sup>2</sup> K
Área de transferencia 1	<b>1011</b>	m <sup>2</sup>

Se selecciona una coraza de 66 pulgadas para la cual, según tablas y HTRI, le corresponden 2198 tubos de 34 pulgadas con un pitch de 1,25 in y arreglo triangular.

Variable	Valor	Unidad
Cantidad de tubos	2198	-
Diámetro	0,75	in
Longitud	8,5	m
Área de transferencia 2	<b>1118</b>	m <sup>2</sup>
Sobrediseño	<b>11</b>	%

De este modo, las dimensiones básicas del este intercambiador resultan:

Variable	Valor	Unidad
Diámetro de coraza	66	in
Diámetro	0,75	in
Longitud	8,5	m
Cantidad de tubos	2198	-
Arreglo	Triangular	-
Paso	1,25	in

### PRECALENTADOR DE SOLUCIÓN MADRE E-201

Variable	Valor	Unidad
Caudal másico de SM	42678	kg/h
Temperatura entrada SM	40	°C
Temperatura salida SM	95	°C
Caudal másico vapor vegetal	4245	kg/h
Temperatura entrada vapor vegetal	120,84	°C
Temperatura salida vapor vegetal	116,15	°C
Calor intercambiado	2,58E+06	W
MLDT	44,5	°C
Coefficiente global de transferencia	2200	W/m <sup>2</sup> K
Área de transferencia 1	<b>26,3</b>	m <sup>2</sup>

Se selecciona una coraza de 20 pulgadas para la cual, según tablas y HTRI, le corresponden 170 tubos de 34 pulgadas con un pitch de 1,25 in y arreglo triangular.

Variable	Valor	Unidad
Cantidad de tubos	170	-
Diámetro	0,75	in
Longitud	3	m
Área de transferencia 2	<b>30,5</b>	m <sup>2</sup>
Sobrediseño	<b>15</b>	%

De este modo, las dimensiones básicas del este intercambiador resultan:

Variable	Valor	Unidad
Diámetro de coraza	20	in
Diámetro	0,75	in
Longitud	3	m
Cantidad de tubos	170	-
Arreglo	Triangular	-
Paso	1,25	in

### PRECALENTADOR DE AIRE E-203

Variable	Valor	Unidad
Caudal másico de aire	3181	kg/h
Temperatura entrada aire	20	°C
Temperatura salida aire	115	°C
Caudal másico vapor vegetal	159	kg/h
Temperatura entrada vapor vegetal	120,84	°C
Temperatura salida vapor vegetal	116,15	°C
Calor intercambiado	8,51E+04	W
MLDT	22,3	°C
Coefficiente global de transferencia	70	W/m <sup>2</sup> K
Área de transferencia 1	<b>54,6</b>	m <sup>2</sup>

Se selecciona una coraza de 20 pulgadas para la cual, según tablas y HTRI, le corresponden 170 tubos de 3/4 pulgadas con un pitch de 1,25 in y arreglo triangular.

Variable	Valor	Unidad
Cantidad de tubos	20	-
Diámetro	0,75	in
Longitud	6	m
Área de transferencia 2	<b>61</b>	m <sup>2</sup>
Sobrediseño	<b>12</b>	%

De este modo, las dimensiones básicas del este intercambiador resultan:

Variable	Valor	Unidad
Diámetro de coraza	20	in
Diámetro	0,75	in
Longitud	6	m
Cantidad de tubos	170	-
Arreglo	Triangular	-
Paso	1,25	in

---

#### 5.4.5 Caldera de lecho fluidizado

En la industria una caldera o generador de vapor es un recipiente metálico, cerrado, dotado de una fuente de calor donde se calienta o se hace hervir el agua. En términos generales, una caldera es un intercambiador de calor que aprovecha el calor que se produce al quemar un combustible, ya sea sólido, líquido e incluso gaseoso, donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor de un fluido (principalmente agua), esto se logra mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica.

---

##### 5.4.5.1 CLASIFICACIÓN

Existen diversas clasificaciones de las calderas teniendo en cuenta diferentes parámetros, sin embargo, aquí destacaremos las que consideramos más importantes.

En función a la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión:

- **Pirotubulares:** Son generadores de vapor pequeños, también conocidas como calderas de tubos de fuego. En este tipo de calderas los gases calientes circulan por dentro de los tubos y el agua circula por el exterior de estos, en ellas se genera agua caliente o vapor saturado.
- **Acuotubulares:** Son generadores de vapor de pequeño volumen de agua. En este tipo de calderas el agua circula por dentro de los tubos, mientras que los gases circulan por el exterior de estos, de manera contraria a cómo trabajan las calderas pirotubulares. Una caldera acuotubular consta básicamente de tambores y de tubos. Los tubos a través de los cuales circula el agua y en los que circula el vapor generado están fuera de los tambores, estos son utilizados solo para almacenar agua y vapor, por lo que pueden ser mucho más pequeños en diámetro que el tambor de una caldera pirotubular y

pueden soportar mayores presiones. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y altos índices de rendimiento o eficiencia.

En función de las necesidades energéticas del proceso:

- Calderas de agua caliente: Son aquellas en las que el fluido caloportador es el agua y la temperatura de calentamiento no supera los 100°C.
- Calderas de agua sobrecalentada: Son aquellas en las que el calentamiento del agua se realiza por encima de los 100°C. Estas pueden ser acuotubulares o pirotubulares, en función de si es el agua o los humos lo que circula por los tubos. El desarrollo tecnológico de las de tipo acuotubular hace que sean las más comunes. Lógicamente se trata de calderas con una presión de operación por encima de la atmosférica para evitar que el agua entre en ebullición al alcanzar los 100 °C. Temperaturas de servicio de hasta 150 °C y presiones de 5 bar son habituales en estos equipos.
- Calderas de vapor: Son aquellas en las que el líquido portador es vapor de agua. Tanto pueden ser de tipo acuotubular como pirotubular. Las más habituales son las de vapor saturado. La presión de servicio debe aumentar para conseguir una mayor temperatura de operación, existiendo una relación entre ambas según la curva de saturación del vapor. Mediante sobrecalentadores de vapor se pueden conseguir calderas de vapor sobrecalentado, es decir, con temperaturas superiores a la presión de saturación.
- Calderas de fluido térmico: Son aquellas en las que el fluido que conduce el calor es distinto al agua. Se trata de calderas únicamente acuotubulares. Actualmente el aceite térmico es la alternativa tecnológica más apropiada para la mayor parte de industrias en las que se necesite un calentamiento indirecto, pues no exige un nivel de mantenimiento continuado, como requieren las de agua o las de vapor. Al trabajar sin presión y sin agua, se evitan todas las problemáticas relacionadas con esta: fugas, oxidación, tratamientos, mantenimiento, etc.

En función de la tecnología de combustión:

- Calderas convencionales con combustión suspendida o semi suspendida sobre grillas horizontales o inclinadas, fijas o móviles.
- Calderas de lecho fluidizado tipo BFBC o CFBC.

En función de la separación agua-vapor.

- Un solo domo (monodrum).
- Dos domos (bidrum).

---

#### 5.4.5.2 CALDERA UTILIZADA

Las calderas más utilizadas en la industria azucarera para la quema de los restos de biomasa son las monodrum de lecho fluidizado.

Con respecto al domo, las ventajas de estas calderas respecto de las bidrum han sido analizadas en varios artículos técnicos. Algunas de ellas son:

- El domo resulta de menores dimensiones y por ende de menor espesor. Al contener menor volumen de agua y menor espesor, resulta más liviano.
- Los tubos van soldados al domo lo cual reduce los problemas de fallas durante los ciclos de start-stop. Esto permite reducir los tiempos de puesta en marcha y lograr arranques más rápidos (1/3 del tiempo para calderas bidrum).
- Montaje modular más rápido ya que se puede armar el hogar y colocar el domo después, al revés de las calderas bidrum que requieren tener montado el domo y el banco de convección primero.
- Dan hogares de mayor altura y volumen que mejora el tiempo de retención.

En cuanto al lecho fluidizado, se elige este tipo de calderas debido a que son ampliamente populares en los ingenios. La combustión en lecho fluidizado (FBC – fluidized bed combustion) se refiere al proceso mediante el cual una capa de combustible descansando sobre una placa ranurada a través de la cual atraviesa un flujo de aire ascendente, es levantada progresivamente y mantenida en suspensión mientras se quema, comportándose esa mezcla sólido-aire como si fuera un fluido.

Según a qué presión se lleve a cabo la combustión, existen dos tipos de lechos fluidizados:

- Presión atmosférica:
  - Lecho fluido burbujeante (BFB)
  - Lecho fluido circulante (CFB)
- Presión superior a la atmosférica:
  - Lecho fluido presurizado (PFB)

Las calderas a bagazo con esta tecnología pertenecen al primer grupo, siendo la de lecho fluido burbujeante la más difundida (BFB), aunque las del tipo PFB es también muy usada con otras biomásas.

Las calderas de lecho fluidizado se caracterizan por desarrollar la combustión a bajas temperaturas (760 – 870°C), lo que impide la formación de escorias y pueden operar de manera satisfactoria con biomasa de hasta 65% de humedad. Se caracterizan por una baja emisión de particulado y bajos niveles de NOx.

Las calderas BFB llevan en su interior las toberas de distribución del aire primario y una capa de material inerte (arena) la que en operación adquiere y mantiene una elevada temperatura que contribuye al secado del combustible (vinaza y bagazo).

Según proveedor, las dimensiones básicas de este equipo serán 3 metros de alto x 3 metros de ancho x 9 metros de largo.

Es importante destacar que, a la hora de realizar los balances, se tuvieron en cuenta dos verificaciones, una de masa y otra de energía, de modo de corroborar que no haya desvíos ni incongruencias en ningún lado.

---

#### 5.4.5.3 VERIFICACIÓN DE BALANCE DE MATERIA:

$$MC + A + GC_B = GC_T + CFC + CV$$

Donde:

- MC: mezcla combustible, compuesta por vinaza cruda, vinaza concentrada y bagazo.
- A: aire de combustión.
- $GC_B$ : gases de combustión provenientes de la turbina de vapor.
- $GC_T$ : gases de combustión totales.
- CFC: cenizas de fondo de caldera.
- CV: cenizas volantes.

Reemplazando por los valores determinados en el balance, se obtiene:

$$52.592 + 142.557 + 5.341 = 196.191 + 2.122 + 2.177$$

$$200.490 = 200.490$$

Todas las unidades se encuentran expresadas en kg/h.

---

#### 5.4.5.4 VERIFICACIÓN DE BALANCE DE ENERGÍA:

$$Q_D = Q_A$$

Donde:

- $Q_D$ : calor demandado por el sistema.
- $Q_A$ : calor aportado por el sistema.

$$Q_D = H_w + H_A + H_C$$

Donde:

- $H_w$ : energía requerida por el agua para la generación de vapor.
- $H_A$ : energía requerida para el precalentamiento del aire.
- $H_C$ : energía con la que salen las cenizas tanto volantes como de fondo de caldera.

Reemplazando por los datos de proceso, obtenemos:

$$Q_D = 1,3 * 10^8 + 4,2 * 10^7 + 3,6 * 10^6$$

$$Q_D = 1,76 * 10^8 \text{ kJ/h}$$

Por otra parte, el calor aportado por el sistema será aquel generado a partir de la combustión de la mezcla de vinaza y bagazo ( $H_{MC}$ ) y el proveniente de los gases de combustión de la turbina de vapor ( $H_{GC}$ ).

$$Q_A = H_{MC} + H_{GC}$$

Reemplazando por los datos de proceso:

$$Q_A = 1,71 * 10^8 + 4,6 * 10^6$$

$$Q_A = 1,76 * 10^8 \text{ kJ/h}$$

---

### 5.4.6 Turbina de vapor

---

#### 5.4.6.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La turbina de vapor es un motor térmico cíclico rotativo, de combustión externa, que movido por vapor produce energía mecánica. El vapor entra a alta presión y temperatura, y se expande en

la turbina, transformando una parte de su entalpía en energía mecánica. A la salida de la turbina, el vapor ha perdido presión y temperatura.

Al igual que en el caso de las turbinas de gas, el eje suele estar acoplado a un generador directamente o a través de un reductor, donde se transforma la energía mecánica en eléctrica.

---

#### 5.4.6.2 CLASIFICACIÓN

La clasificación de las turbinas de vapor puede hacerse según la forma de aprovechamiento de la energía contenida en el flujo de vapor (reacción o acción), según el número de etapas (multietapa o monoetapa), según la dirección del flujo de vapor (axiales o radiales), si existe o no extracción de vapor antes de llegar al escape y por último por la presión de salida del vapor (contrapresión, escape libre o condensación). Algunas formas de clasificar las turbinas son:

- **Monoetapa.**
- **Multietapa:** El objetivo de los escalonamientos en la turbina de vapor es disminuir la velocidad del rodete conservando una velocidad de los alabes próxima al valor óptimo con relación a la velocidad del chorro de vapor. Si tenemos una presión de vapor muy elevada sin las etapas necesarias, sería necesario que la turbina girase a una velocidad muy alta, que no sería viable mecánicamente por las dimensiones que debería tener el reductor (caja de engranajes que ajustaría la velocidad final del eje a la deseada). Consiguen mejores rendimientos que las monoetapa, además pueden absorber flujos de vapor de mucha mayor presión, por lo que se utilizan para turbinas de alta potencia. Suelen utilizarse turbinas mixtas, con las primeras etapas de acción y las finales de reacción.
- **De flujo axial:** Es el método más utilizado, el paso de vapor se realiza siguiendo un cono que tiene el mismo eje que la turbina.
- **De flujo radial:** El paso de vapor se realiza siguiendo todas las direcciones perpendiculares al eje de la turbina.
- **Con extracción de vapor:** Se realiza en etapas de alta presión, enviando parte del vapor de vuelta a la caldera para sobrecalentarlo y reenviarlo a etapas intermedias. En algunas ocasiones el vapor también puede ser extraído de alguna etapa para derivarlo a otros procesos industriales.
- **De contrapresión:** La presión del vapor a la salida de la turbina es superior a la atmosférica, suele estar conectado a un condensador inicial que condensa al vapor,

obteniéndose agua caliente o sobrecalentada, que permite su aprovechamiento térmico posterior.

- **De condensación:** El vapor sale a una presión inferior a la atmosférica, en este diseño existe un mayor aprovechamiento energético que a contrapresión, se obtiene agua de refrigeración de su condensación. Este diseño se utiliza en turbinas de gran potencia que buscan un alto rendimiento.

---

#### 5.4.6.3 TURBINA SELECCIONADA

El equipo óptimo para nuestras condiciones de proceso resulta ser la turbina de vapor SST-700/900 fabricada por SIEMENS, España. Consiste en una turbina de contrapresión, con flujo axial, con una única etapa de generación de energía, ideal para centrales de ciclo combinado, termosolares concentradas o alimentadas por biomasa. Sus parámetros son:

- Presión de entrada: hasta 180 bar.
- Temperatura de entrada: hasta 585 °C.
- Presión del vapor de escape: hasta 0,3 bar.



Como se puede observar, este tipo de turbina cumple con los requisitos de nuestro proceso:

- Vapor de entrada a 42 bar y 450 °C.
- Vapor de salida a 1 bar y 124 °C.

Las dimensiones básicas de este equipo son 2,5 metros de alto por 2,5 metros de ancho por 6 metros de largo.

### 5.4.7 Cristalizador

Es la técnica más simple y eficaz para purificar compuestos sólidos. Consiste en la disolución de un sólido impuro en la menor cantidad posible del solvente adecuado y en caliente. En estas condiciones se genera una disolución saturada que al enfriar se sobresatura y se produce la cristalización. El proceso de cristalización es un proceso dinámico, de forma que las moléculas que están en la disolución están en equilibrio con las que forman parte de la red cristalina. El elevado grado de ordenación de una red cristalina excluye la participación de impurezas en la misma. Por esto, es conveniente que el proceso de enfriamiento tenga lugar lentamente de forma que los cristales se formen lentamente y el lento crecimiento de la red cristalina excluya las impurezas. Si el enfriamiento de la disolución es muy rápido las impurezas pueden quedar atrapadas en la red cristalina.

Para que la cristalización se produzca, se debe trabajar entre la zona de saturación y sobresaturación de la solución, la cual es denominada **zona metaestable** y **zona de nucleación**. Ésta estará determinada para cada solución de acuerdo a curvas conformadas por la concentración y la temperatura de la misma.

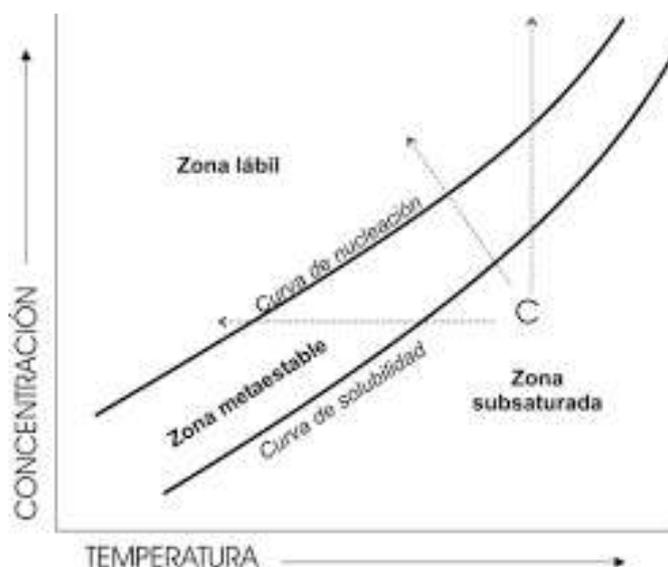
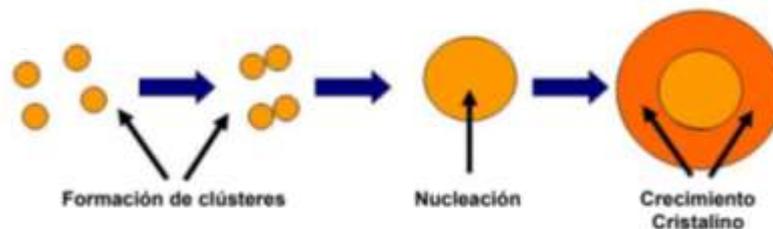


Figura 4.7.4.A Gráfico de zonas involucradas en la cristalización

El proceso de formación de cristales puede darse de dos maneras:

- Nucleación primaria, en la cual se da la formación de cristales al trabajar en la curva de nucleación.
- Nucleación secundaria: En la cual el cristal se produce mediante el crecimiento de una **semilla** (seed o clústeres), la cual se forma en la zona metaestable, que luego crece hasta convertirse en un núcleo y posteriormente, en un cristal.



No se debe trabajar en la zona subsaturada ya que en esta zona no hay formación de cristales; ni tampoco en la zona lábil, ya que, en ésta, la nucleación se produce más rápido que el crecimiento, por lo cual los cristales nunca se llegan a formar.

Entre los métodos más comunes para reducir la solubilidad del soluto en solución se encuentran:

- Enfriamiento.
- Adición de antisolvente.
- Evaporación.
- Reacción (precipitación).

Debido a la información disponible relacionada a la cristalización batch del sulfato de potasio, en nuestro proceso el método seleccionado será el enfriamiento de la solución saturada utilizando una solución de etilenglicol al 5% v/v.

Existen tres formas en las que se puede enfriar un cristalizador batch, las cuales son:

- Enfriamiento Controlado, en el que el enfriamiento es reducido en la primera parte del proceso, mientras que al final se vuelve abrupto.
- Enfriamiento Lineal, en el que el enfriamiento es gradual y constante, siguiendo una función lineal.
- Enfriamiento natural, en el que el enfriamiento es abrupto en la primera parte del proceso, mientras que al final se atenúa.

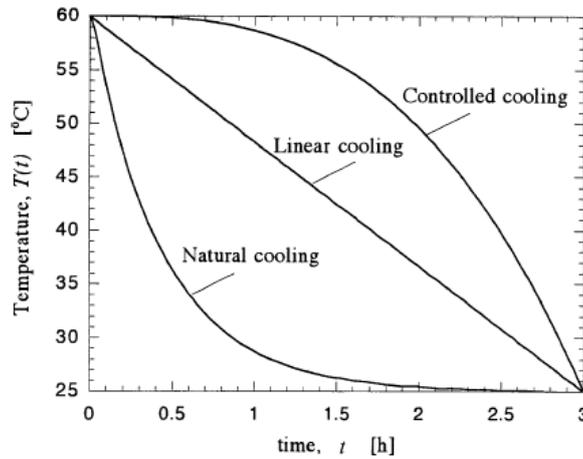


Figura 4.7.4.B Gráfico de tipos de enfriamientos de cristalización

En nuestro caso, se ha decidido trabajar con **enfriamiento natural**, un método con el cual, combinándose con la implantación de semillas para favorecer la nucleación secundaria, buscando como objetivo tener la mayor cantidad de cristales de tamaño mayor a **1 mm**. que se pueda producir, ya que, según la normativa expresada en la tabla **3.2.1.A**, los cristales de sulfato de potasio que se puede comercializar deben tener un tamaño de entre 1 y 4 mm. Según la teoría (Jagadesh 1999), esto se puede lograr fácilmente utilizando el método del enfriamiento natural.

Como se puede ver en el siguiente cuadro de tamaño de cristal comparado con el total acumulado de cristales, se ha demostrado que tanto la forma en la que se enfría la solución de sulfato de potasio como el tipo de nucleación que se prioriza, tiene un impacto en el tamaño final de los cristales producidos:

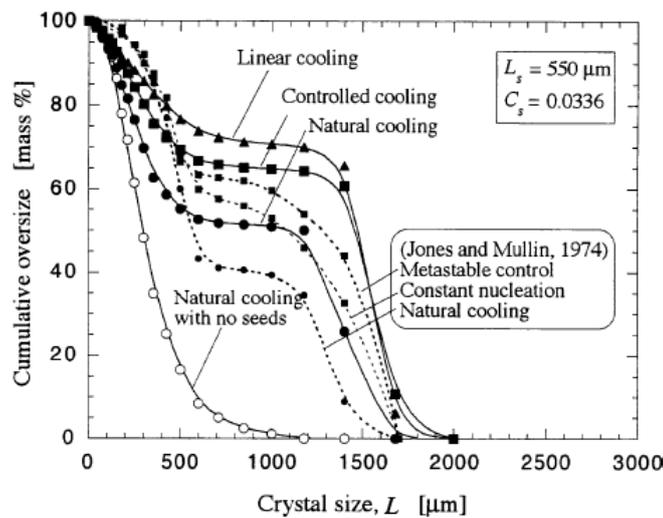


Figura 4.7.4.C Gráfico de porcentaje acumulado vs. tamaño de cristal en diferentes tipos de enfriamiento

Se puede notar que el enfriamiento natural es el que ofrece el mayor acumulado de cristales por sobre 1000  $\mu\text{m}$  o 1 mm.

Al interiorizarse en el caso particular de la cristalización mediante enfriamiento natural, se puede ver que también existe una relación entre la masa (concentración) de semillas que se inyectan a la cristalización y el tamaño que tendrán los posteriores cristales.

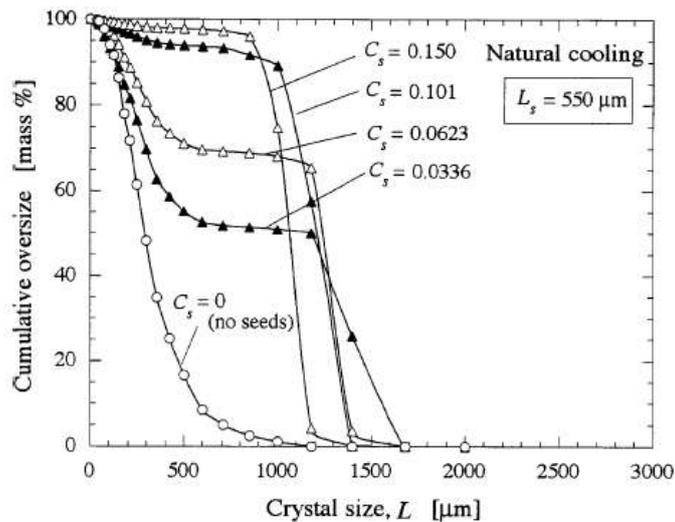


Figura 4.7.4.D Gráfico de porcentaje acumulado vs. tamaño de cristal en diferentes concentraciones con enfriamiento natural.

Los resultados son bastante variables entre las concentraciones de semilla con las cuales se trabaja. Por eso, dado que la cristalización y el tamaño de los cristales finales es un proceso azaroso e impredecible, se toma un promedio de todas estas curvas para definir cuál será la distribución de tamaños de los cristales resultantes del proceso de cristalización:

Tamaño (μm)	%Acumulado	Rango de tamaños	Media	%Individual	
0	100	0-200	100	2	%Menor a 1mm: <b>27%</b>
200	98	200-400	300	1	
400	97	400-600	500	1	
600	96	600-800	700	2	
800	94	800-1000	900	21	
1000	73	1000-1200	1100	68	%Mayor a 1mm: <b>73%</b>
1200	5	1200-1400	1300	5	
1400	0	1400-1600	1500	0	
1600	0	1600-1800	1700	0	
1800	0	1800-2000	1900	0	
2000	0				

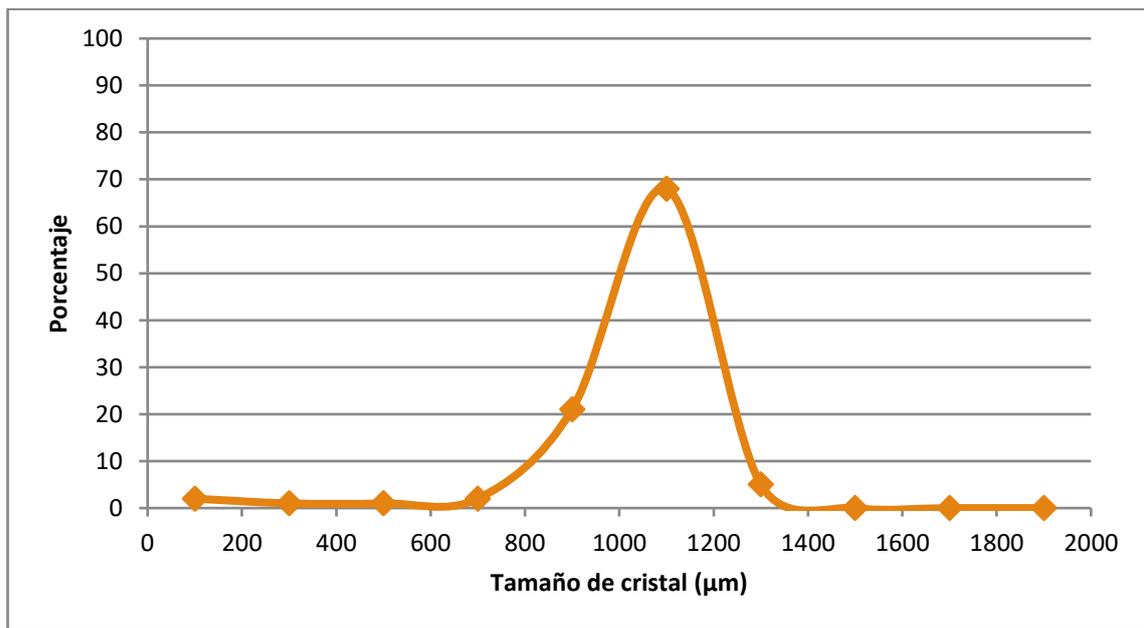


Gráfico 4.7.4.E Distribución de tamaño de cristal de acuerdo a porcentajes totales.

Por lo tanto, se puede estimar que:

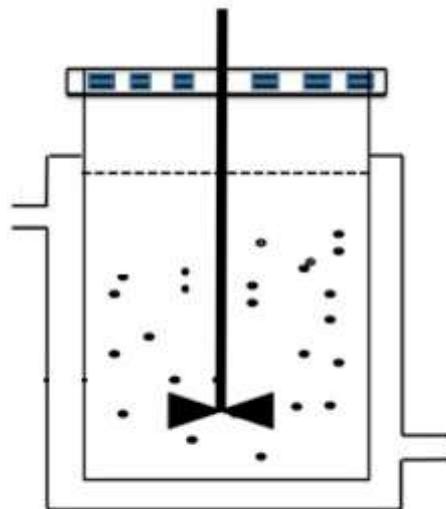
- Un 73% de los cristales serían de más de 1 mm, por lo cual serían los que cumplen con la especificación requerida.

- Un 27% de los cristales serían menores a 1mm, por lo cual no cumplen con la especificación. Estos cristales luego serán reintroducidos al proceso para que sean las semillas de la próxima cristalización.

---

#### 5.4.7.1 SELECCIÓN

La selección del cristalizador fue sencilla debido a que la bibliografía consultada no brindaba varias opciones para comparar. De este modo, optaremos por un cristalizador batch enchaquetado.



##### 5.4.7.1.1 DISEÑO DE PARÁMETROS PRINCIPALES

---

Para poder calcular el diámetro y la altura del cristalizador son necesarios dos factores:

- Volumen de solución a cristalizar: cuyo valor se encuentra en  $315\text{m}^3$ .
- Relación H/D: según bibliografía, para que el diseño sea el más económico, este valor debe ser igual a 1.

Contando con la información anterior, se procede a calcular el diámetro y la altura teóricos del cristalizador teniendo en cuenta la fórmula de volumen del mismo:

$$V = \pi H_T \frac{D_T^2}{4}$$

Donde:

- $H_T$  = altura teórica.
- $D_T$  = diámetro teórico.

- $H_T = D_T$ .
- $V = 317,2\text{m}^3$ .

Reemplazando, se obtiene:

$$317,2\text{m}^3 = \pi D_T \frac{D_T^2}{4}$$

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4 * 317,2\text{m}^3}{\pi}}$$

$$\mathbf{D_T = 7,39m = H_T}$$

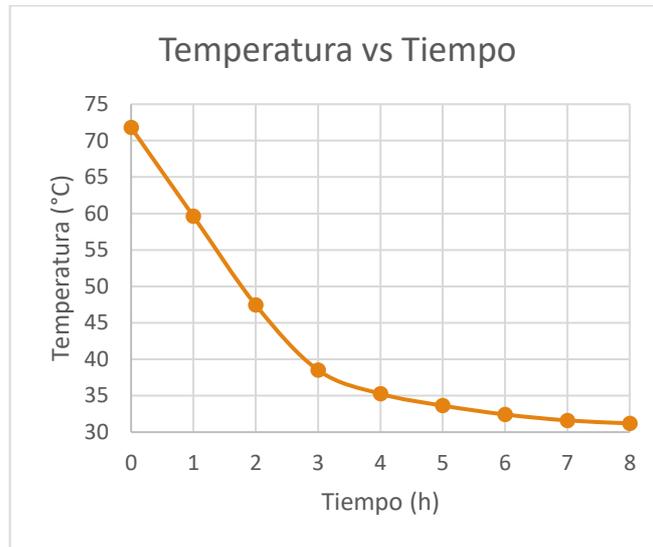
A su vez, se considerará un factor de seguridad del 20%, dando como resultado los siguientes valores de altura y diámetro reales del cristalizador:

$$D_R = 1,2 * D_T$$

$$D_R = 1,2 * 7,39 \text{ m}$$

$$\mathbf{D_R = 7,845m = H_R}$$

Con respecto a la chaqueta, sabemos que la altura de la misma será igual a la del cristalizador, de modo que lo que resta calcular es el espesor que deberá tener para poder cumplir con el enfriamiento deseado. Para ello, y al igual que en el caso del cristalizador, es necesario saber qué cantidad de fluido refrigerante se demandará por hora. Al existir un método de enfriamiento en el cual el perfil de temperatura no es lineal, se deberá contar con caudales que serán variables en el tiempo. La forma en la que se calculó el perfil de temperaturas es arbitraria, decidida por el grupo. El principio sería lograr el 82% del enfriamiento total en las primeras 3 horas del batch, y el 18% restante en las últimas 5 horas. De esta manera, se llegó al siguiente perfil de temperaturas:



Para lograr el abrupto descenso de temperatura en la primer parte de la operación, se necesitará un caudal máximo de **108 m<sup>3</sup>/h** de refrigerante. Por lo tanto, la chaqueta se calculará en base a este caudal.

De este modo, procedemos a calcular el espesor a partir de la siguiente fórmula:

$$V = \pi H_R \left( \frac{D_C^2}{4} - \frac{D_R^2}{4} \right)$$

Donde:

- $D_C$  = diámetro de la chaqueta.

$$108\text{m}^3 = \pi * 7,85 \text{ m} * \left( \frac{D_C^2}{4} - \frac{(7,85 \text{ m})^2}{4} \right)$$

$$D_C = 12 \text{ m}$$

Dando como resultado un espesor de chaqueta de **2,09 metros de espesor**.

---

## 5.4.8 Centrifuga

### 5.4.8.1 INTRODUCCIÓN

La centrifugación es un método mecánico de separación de líquidos no miscibles, o de sólidos y líquidos por la aplicación de una fuerza centrífuga. Esta fuerza puede ser muy grande. Las separaciones que se llevan a cabo lentamente por gravedad pueden acelerarse en gran medida con el empleo de equipo centrífugo.

La fuerza centrífuga se genera dentro del equipo estacionario mediante la introducción de un fluido con alta velocidad tangencial a una cámara cilindro cónica, formando un vórtice de considerable intensidad. Los ciclones que se basan en este principio extraen gotas líquidas o partículas sólidas de los gases con diámetros hasta de 1 a 2  $\mu\text{m}$ . Unidades más pequeñas, llamadas ciclones líquidos, separan las partículas sólidas de los líquidos. La alta velocidad que requiere un líquido a la entrada de estos se obtiene con bombas estándar. En los equipos giratorios se genera una fuerza centrífuga mucho mayor que en los equipos estacionarios (tazones o canastas operados en forma mecánica, normalmente de metal, giran en el interior de una carcasa estacionaria). Al rotar un cilindro a alta velocidad, se induce un esfuerzo de tensión considerable en la pared del mismo. Esto limita la fuerza centrífuga, que puede generarse en una unidad de tamaño y material de construcción dados. Por lo tanto, solamente pueden desarrollarse fuerzas muy intensas en centrífugas pequeñas.

---

#### 5.4.8.2 DEFINICIÓN CENTRÍFUGA

La centrífuga es una máquina diseñada para separar partículas de una disolución sea cual sea la naturaleza de estas. Básicamente consiste en un motor eléctrico que lleva unido un vástago, que a su vez soporta un cabezal o rotor donde se colocan los recipientes con las muestras. Existen dos tipos fundamentales de cabezales o rotores, basculantes o de ángulo fijo.

---

##### 5.4.8.2.1 COMPONENTES IMPRESCINDIBLES DE UNA CENTRÍFUGA:

---

- **Alimentación**

El lodo homogeneizado en tanque previo es impulsado mediante bomba de carga hasta zona de alimentación del tornillo o espiral a través del tubo de alimentación central, siendo repartido a través de orificios de distribución sobre el tambor o bowl.

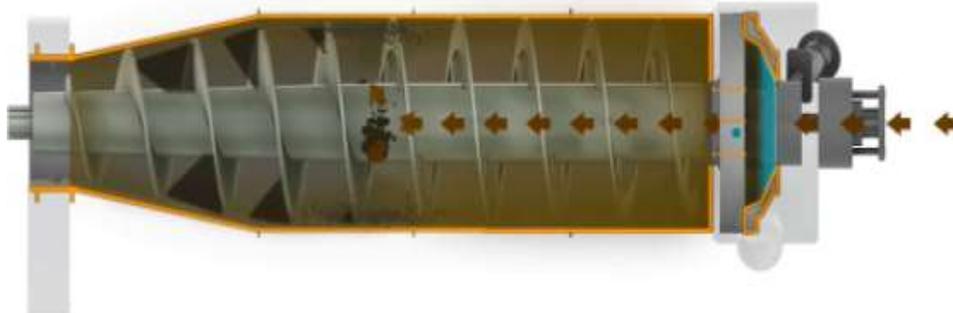


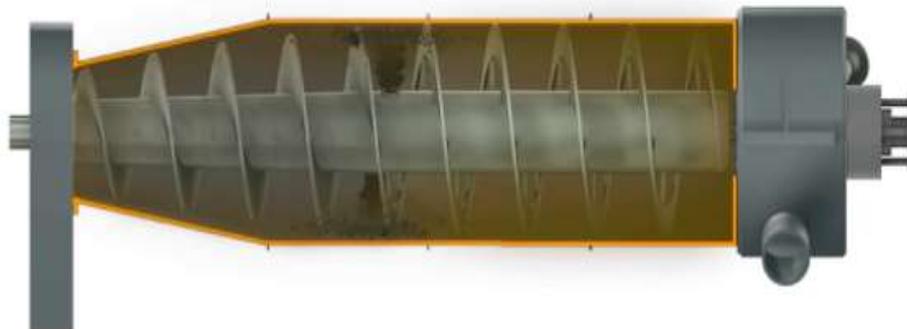
Figura 7.4.8.2.1.A Alimentación de una centrífuga.

- **Tambor o bowl de la centrífuga**

De forma cilíndrica-cónica, siendo la longitud del bowl y ángulo de la parte cónica características importantes en función del producto a tratar, la velocidad del bowl es regulable para poder obtener unas características adecuadas de las corrientes de salida (sólido/líquidos) en cada proceso. La mayor velocidad tangencial del lodo se alcanza en el bowl, formando un anillo cilíndrico en el revestimiento del bowl, depositándose los sólidos contenidos en el lodo en la pared interior del bowl por efecto de la fuerza centrífuga.

- **Tornillo o espiral de la centrífuga**

La velocidad del tornillo o espiral es inferior a la del bowl, obteniéndose una velocidad relativa que se regula en función del lodo a tratar para favorecer la sequedad y transporta los sólidos depositados hacia el extremo cónico y estrecho del bowl. La velocidad relativa entre bowl y espiral determina el tiempo de permanencia de los sólidos en el interior de la centrífuga, siendo determinante para obtener el contenido de materia seca y humedad deseada.



**Figura 7.4.8.2.1.B Espiral de una centrífuga.**

- **Descarga de sólidos**

Los orificios de salida del extremo cónico del bowl, recubiertos con material cerámico para evitar desgastes prematuros, son los encargados de evacuar los sólidos hasta colector.

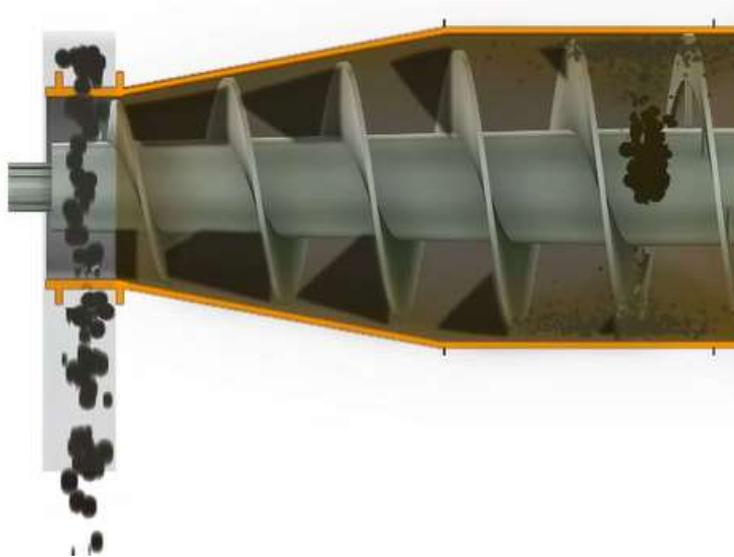


Figura 7.4.8.2.1.C Descarga de una centrifuga.

- **Rebosadero**

El líquido clarificado se desplaza hacia extremo opuesto a la parte cónica del bowl y a través de orificios en plato del bowl se descarga fuera de la máquina. Estos orificios son regulables en altura a través de anillos de regulación de forma que se ajusta la altura de líquido dentro de la máquina. El líquido se expulsa por gravedad.

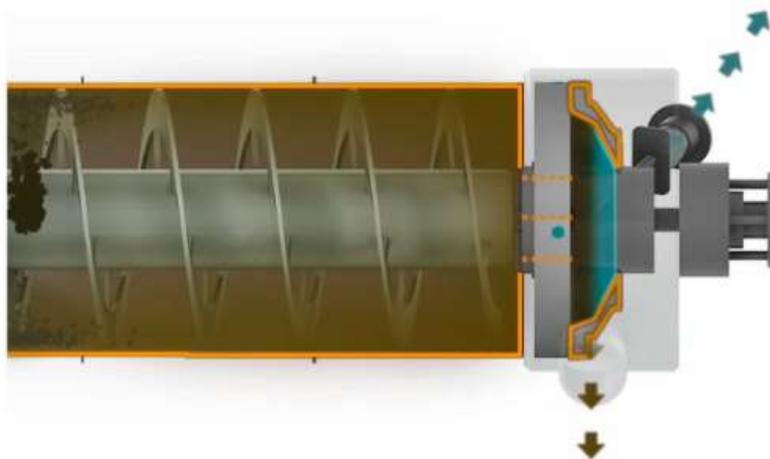


Figura 7.4.8.2.1.D Rebosadero de una centrifuga.

### 5.4.8.3 CENTRÍFUGA SELECCIONADA

Para separar el sulfato de potasio de la solución madre se utilizará una centrífuga de cesta cónica.

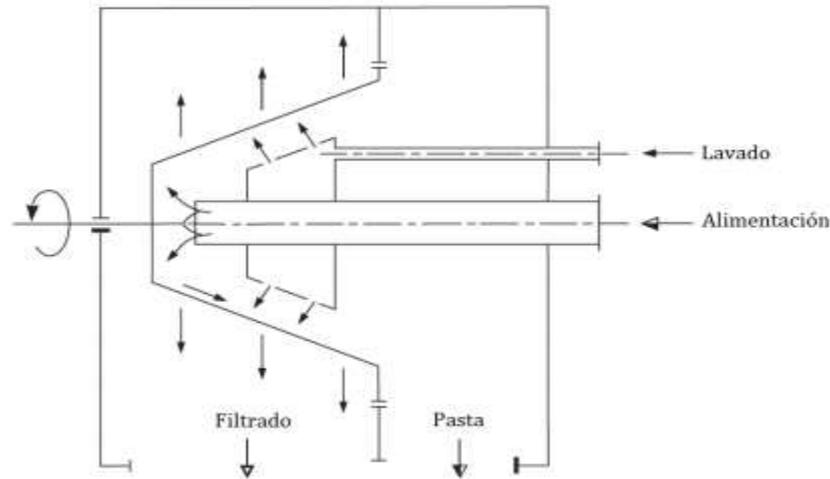


Figura 7.4.8.3.A Centrífuga de canasta cónica

Este tipo de centrífuga cuenta con una canasta en forma de cono perforada con un determinado tamaño (dado por el diámetro mínimo de partícula a filtrar), la cual según su orientación puede rotar horizontal o verticalmente. El alimento de la suspensión (en este caso la solución sobresaturada) se lleva a cabo desde el lado ancho hacia el lado angosto del cono. Usualmente el ángulo del cono es lo suficientemente grande para que la pasta supere la fricción con el material del cono y finalmente se deposite.

En nuestro caso, optamos por las centrífugas CONTURBEX, comercializadas por la empresa SIEBTECHNIK TEMA en Holanda, ya que son las más versátiles, en las cuales los sólidos son retenidos en el cestillo y a continuación transportados desde el diámetro inferior hasta el diámetro superior por medio de una ligera diferencia de rotación entre el sinfín rascador y el cestillo filtrante.

Existen diferentes tamaños de centrífugas en función de la capacidad a procesar, todas utilizadas para una separación de sólidos con granulometría mayor a 80  $\mu\text{m}$  (en nuestro caso, el límite de separación se establece en 1 mm o 1000  $\mu\text{m}$ , por lo que cumple con el tamaño aconsejado por el proveedor).

### Ejecuciones estándar CONTURBEX

Tipo		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		200	250	320	350	400	450	520	600	700	900	1000
Motor	apr. kW	3,0	5,5	7,5	11	15	22	30	37	55	75	90
Longitud	mm	700	910	940	1150	1150	1150	1480	1560	2150	2400	2600
Anchura	mm	880	1050	1165	1500	1500	1500	1920	2,000	2100	2600	2700
Altura	mm	570	800	950	970	1150	1150	1470	1470	1650	2600	2600
Peso	kg	230	560	700	900	1000	1100	1800	2000	4000	7000	8000

**Tabla 7.4.8.3.A Especificaciones de fabricante.**

La seleccionada, teniendo en cuenta nuestra capacidad de, aproximadamente, 40 ton/h será la CONTURBEX H 900:

Tipo y modelo	H900	H900C	H1000	H1000C
Capacidad de alimentación * t / h	35-60	50-110	50-80	75-150
Motor de accionamiento kW	75	75	90	90
Longitud en cm	234	234	234	234
Ancho en cm	239	239	239	239
Altura en cm	201	201	201	201

**Tabla 7.4.8.3.B Especificaciones de fabricante.**

#### 5.4.9 Secador rotatorio

Un secador rotatorio consiste en un cilindro que gira sobre cojinetes apropiados teniendo, por lo común, una leve inclinación en relación con la horizontal. La longitud del cilindro varía de 4 a más de 10 veces su diámetro, que oscila entre menos de 0.3 hasta más de 3 m. Los sólidos que se introducen por un extremo del cilindro se desplazan a lo largo de él, debido a la rotación, el efecto de la carga y la pendiente del cilindro, y se descargan por el otro extremo como producto acabado. Los gases que circulan por el cilindro pueden reducir o aumentar la velocidad de movimiento de los sólidos, según que la circulación del gas sea a contracorriente o siga una corriente paralela con la circulación de los sólidos. Puesto que la carga calorífica total se debe introducir o eliminar en la corriente de gas, casi siempre se necesitan grandes volúmenes de gas y altas velocidades del

mismo. Por tanto, es probable que el empleo de equipos rotatorios directos con sólidos que contienen partículas extremadamente finas genere pérdidas excesivas por arrastre en la corriente de gas de salida.

El secadero rotatorio de calor directo está equipado normalmente con aspas en el interior, para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de gas a su paso por el cilindro. En el caso de materiales de flujo o movimiento libre, se utiliza un aspa radial con un reborde de 90°.

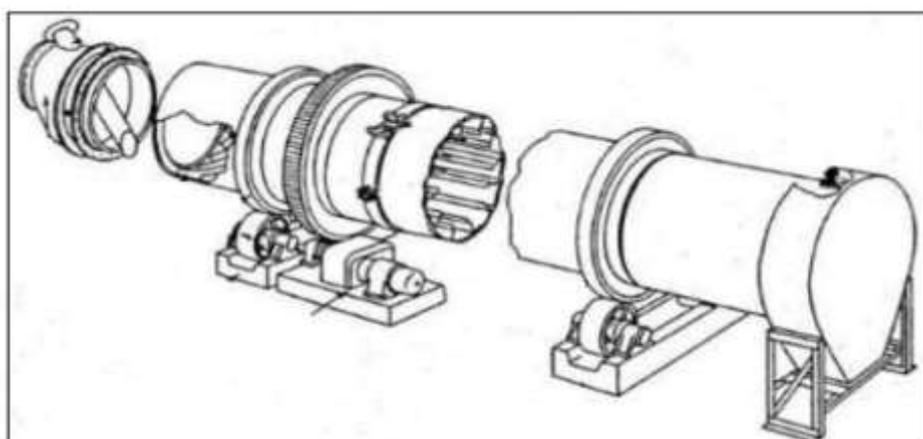


Figura 7.4.9.A Esquema básico de un secadero rotatorio.

Para este equipo, donde se produce el secado de gránulos y reducción de humedad hasta su valor final, se tomaron dimensiones estándares recomendadas por proveedores de equipos para la producción de fertilizantes.

Variable	Descripción	Valor	Unidad
mc	Caudal másico cristales	1055,5	kg/h
Mg	Caudal másico aire	3188,2	kg/h
T1	Temperatura entrada cristales	31,2	°C
T2	Temperatura salida cristales	60	°C
t1	Temperatura entrada aire	115	°C
t2	Temperatura salida aire	60	°C
D	Diámetro	1,2	m
L	Longitud	12	m
n	Velocidad rotación	17	rpm
$\theta$	Inclinación	3	°
P	Potencia motor	10,06	HP

Las estructuras metálicas son de Acero al Carbono.

#### 5.4.10 Cooler

El enfriador de tambor rotativo puede distribuir fertilizante orgánico en partículas de 65-85°C de forma uniforme a través de barras elevadoras hasta la sección transversal del tambor. Los materiales entran en contacto completamente con el aire frío lo que hace que su temperatura descienda a una temperatura casi normal para su envasado a tiempo, y así evitar que se formen bloques durante el almacenamiento y el transporte.

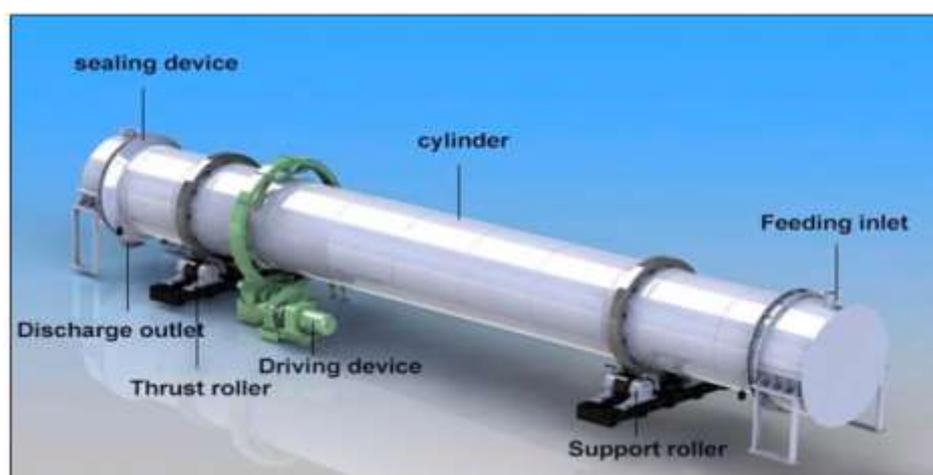


Figura 7.4.10.A Esquema básico de un cooler.

Para este equipo, donde se enfría el producto final hasta la temperatura necesaria para las siguientes etapas, se tomaron dimensiones estándares recomendadas por proveedores de equipos para la producción de fertilizantes.

Variable	Descripción	Valor	Unidad
mc	Caudal másico cristales	1023,5	kg/h
Mg	Caudal másico aire	17847	kg/h
T1	Temperatura entrada cristales	60	°C
T2	Temperatura salida cristales	30	°C
t1	Temperatura entrada aire	20	°C
t2	Temperatura salida aire	30	°C
D	Diámetro	1	m
L	Longitud	10	m
n	Velocidad rotación	4,6	rpm
$\theta$	Inclinación	3	°
P	Potencia motor	10,06	HP

Las estructuras metálicas son de Acero de alta calidad.

#### 5.4.11 Coating machine

Los proveedores de máquinas de recubrimiento de fertilizantes realizan un proceso de recubrimiento con stock de carga especial de líquidos y material sólido polvoriento, que puede formar una capa de película protectora alrededor de gránulos de fertilizante para aislarlos del aire exterior, de esta forma, evita la aglomeración y mejora el brillo de la superficie de los gránulos. Si se añade con algunos oligoelementos, el efecto de fertilizante puede mejorarse.

La correa y la polea son impulsadas por el motor principal, y son impulsadas al eje de transmisión a través del reductor, Y los engranajes divididos montados en el eje de transmisión se enganchan con el engranaje de anillo grande fijado en el cuerpo para trabajar en direcciones opuestas. El material se añade desde el extremo de alimentación a través del interior del cilindro. La succión del ventilador de aire inducido (utilizado con la máquina) acelera el flujo de aire dentro del cilindro.



Figura 7.4.11.A Coating machine.

Para este equipo, donde se agrega el agente protector de los gránulos, se tomaron dimensiones estándares recomendadas por proveedores de equipos para la producción de fertilizantes.

Variable	Descripción	Valor	Unidad
mc	Caudal másico cristales	1023,5	kg/h
Mag	Caudal másico aglutinante	9,8	kg/h
D	Diámetro	1,2	m
L	Longitud	4	m
n	Velocidad rotación	14	rpm
$\theta$	Inclinación	3	°
P	Potencia motor	7,4	HP

Las estructuras metálicas son de acero al carbono.

El equipo que transportará el agente antiaglomerante hacia el Coating Machine es el siguiente sistema tornillo-tolva, para el cual se tomaron dimensiones estándares recomendadas por proveedores de estos equipos:

Descripción	Comentarios
Material	Acero Inoxidable
Dimensión (L*W*H)	1000*600*2000mm
Ángulo	Estándar 45° (30-60° tambien disponibles)
Altura de carga	1,85 m (1-5m podria ser diseñado y fabricado)
Tolva	Cuadrado estándar forma redonda hopper y otro volumen podría ser diseñado y fabricado



**Figura 7.4.11.B Sistema tornillo-tolva.**

Las especificaciones para el modelo elegido son las siguientes:

Modelo	JB-10
Capacidad	12 m <sup>3</sup> /h
Velocidad	20-140 rpm
Inverted	Select
Diámetro de tubo	219 mm
Motor	4,06 kW
Power	5,57 kW
Peso	270 kg
Volumen de tolva	200 L

## 5.5 Diseño completo de dos equipos

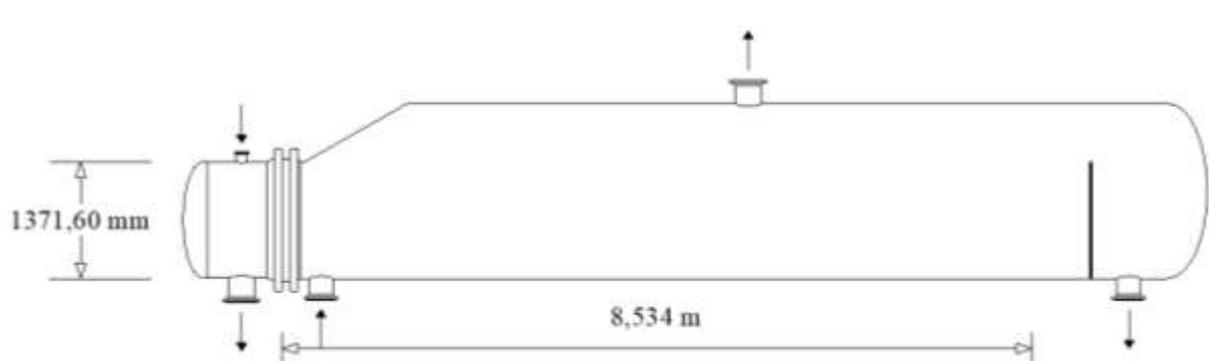
### 5.5.1 Diseño de intercambiador de calor FE-201

#### 5.5.1.1 INTRODUCCIÓN

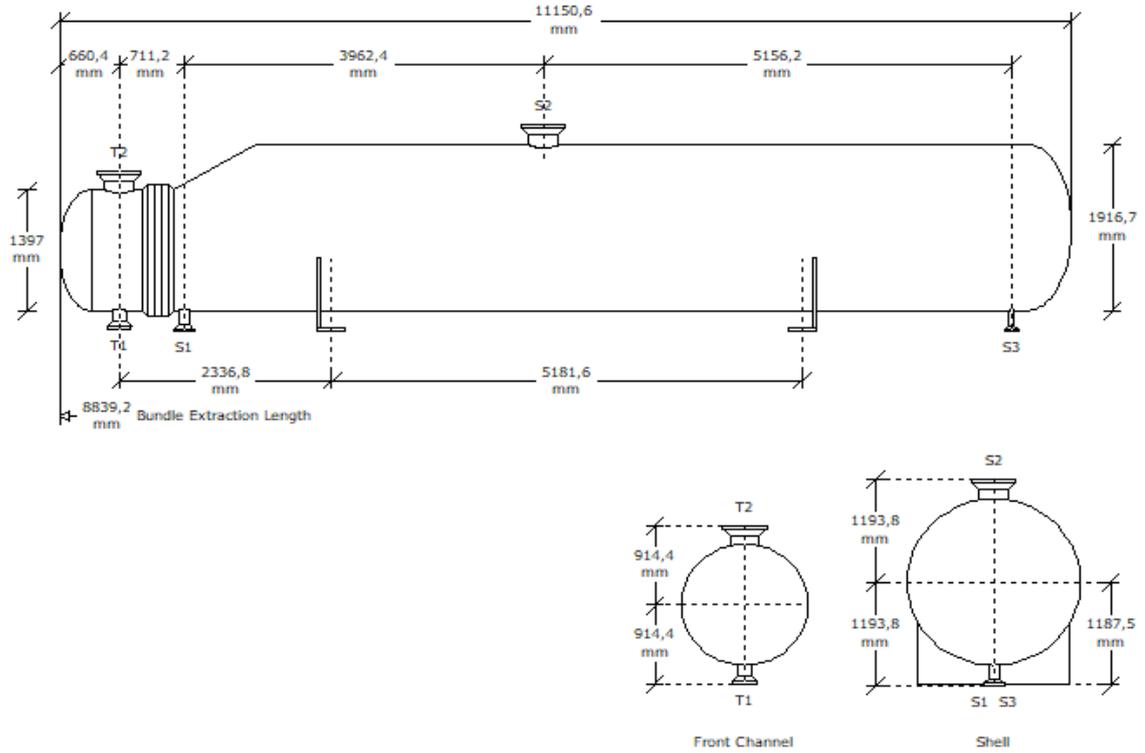
Se trata del equipo necesario para concentrar la solución madre de agua, sulfato de potasio y pequeños restos de ácido sulfúrico resultante del proceso de regeneración de la resina con ácido sulfúrico mediante la evaporación del 55% del agua total de entrada. Como fluido calefactor se utilizará vapor vegetal saliente del proceso de evaporación de vinaza sin potasio. El diseño final, realizado con el software HTRI® a partir de los datos obtenidos en el diseño preliminar, es el siguiente:

#### 5.5.1.2 DISEÑO TÉRMICO:

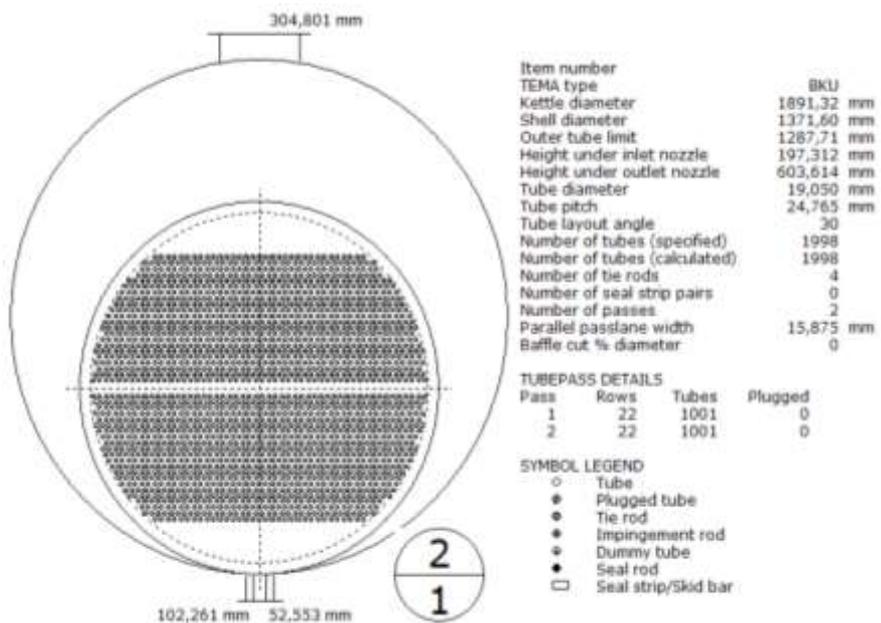
##### 5.5.1.2.1 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA:



### 5.5.1.2.2 PRINCIPALES DIMENSIONES CONSTRUCTIVAS:



### 5.5.1.2.3 ESPEJO DE TUBOS:



#### 5.5.1.2.4 DATOS DE PARTIDA:

---

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Q	Calor intercambiado	3227108	kJ/h
Wh	Caudal fluido caliente	26049	kg/h
T1h	Temperatura entrada fluido caliente	120,84	°C
T2h	Temperatura salida fluido caliente	116,15	°C
ρh	Densidad fluido caliente	1,1532	kg/m <sup>3</sup>
μh	Viscosidad fluido caliente	9,84E-03	mPas
cph	Capacidad calorífica fluido caliente	2,2346	kJ/kg°C
kh	Conductividad térmica fluido caliente	2,58E-02	W/m°C
Wc	Caudal fluido frío	42677,9	kg/h
T1c	Temperatura entrada fluido frío	95	°C
T2c	Temperatura salida fluido frío	109,4	°C
ρc	Densidad fluido frío	996,9	kg/m <sup>3</sup>
μc	Viscosidad fluido frío	0,36956	mPas
cpc	Capacidad calorífica fluido frío	3,9329	kJ/kg°C
kc	Conductividad térmica fluido frío	0,67444	W/m°C

#### 5.5.1.2.5 RESULTADO:

---

Como resultado de la corrida obtuvimos los siguientes parámetros generales:

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro interno de coraza	54	in
Arreglo	Triangular	
Paso	0,975	in
Diámetro externo de tubos	0,75	in
Diámetro interno de tubos	0,61	in
Cantidad de tubos	1998	
Longitud de tubos	8,5	m

5.5.1.2.6 HOJA FINAL INTERCAMBIADOR:

HTRI		HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET				Page 1
						SI Units
Customer		Job No.		Reference No.		
Address		Date		Rev		
Plant Location		20/10/2021				
Service of Unit		Item No.				
Size		1371,60 - 1891,32 x 8534,30 n Type BKU		Horz. Connected In 1 Parallel 1 Series		
Surf/Unit (Gross/Eff)		1071,61 / 1062,03 m <sup>2</sup>		Shell/Unit 1 Surf/Shell (Gross/Eff) 1071,61 / 1062,03 m <sup>2</sup>		
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side		
Fluid Name						
Fluid Quantity, Total		kg/hr		26049,1		
Vapor (In/Out)				26049,1		
Liquid		42877,9		20698,8		
Steam				21979,1		
Water		42877,9		20698,8		
Noncondensables						
Temperature (In/Out)		C		120,84 116,15		
Specific Gravity		0,9623		0,9509		
Viscosity		mN-s/m <sup>2</sup>		0,0126 V/L 0,253 0,0098 0,2329		
Molecular Weight, Vapor						
Molecular Weight, Noncondensables						
Specific Heat		kJ/kg-C		4,2105 2,1245 V/L 4,232 2,2347 4,1282		
Thermal Conductivity		W/m-C		0,6757 0,0259 V/L 0,682 0,0258 0,6754		
Latent Heat		kJ/kg		2226,03 2227,84 1319,51 127,883		
Inlet Pressure		kPa		150,002 200,003		
Velocity		m/s		1,52 13,28		
Pressure Drop, Allow/Calc		kPa		50,001 3,289 50,001 158,366		
Fouling Resistance (min)		m <sup>2</sup> -K/W		0,000088 0,000172		
Heat Exchanged W		14334632		MTD (Corrected)		9,5 C
Transfer Rate, Service		1426,34 W/m <sup>2</sup> -K		Clean		3255,03 W/m <sup>2</sup> -K Actual 1644,48 W/m <sup>2</sup> -K
CONSTRUCTION OF ONE SHELL						
		Shell Side		Tube Side		
Design/Test Pressure		kPaG		1034,21 / 1034,21 /		
Design Temperature		C				
No Passes per Shell		1		2		
Corrosion Allowance		mm				
Connections		In mm		1 @ 102,261 1 @ 128,194		
Size & Rating		Out mm		1 @ 304,801 1 @ 304,801		
		Intermediate		@		
Tube No.		999U		OD 19,050 mm Thk(Avg) 1,629 mm Length 8,534 m Pitch 24,765 mm Layout 30		
Tube Type		Plain		Material CARBON STEEL		
Shell		ID 1371,60 mm		OO mm Shell Cover		
Channel or Bonnet				Channel Cover		
Tubesheet-Stationary				Tubesheet-Floating		
Floating Head Cover				Impingement Plate None		
Baffles-Cross		Type SUPPORT		%Cut (Diam)		Spacing(c/c) 1056,78 Inlet mm
Baffles-Long				Seal Type		
Supports-Tube				U-Bend Type		
Bypass Seal Arrangement				Tube-Tubesheet Joint		
Expansion Joint				Type		
Rho-V2-Inlet Nozzle		2165,93 kg/m-s <sup>2</sup>		Bundle Entrance		Bundle Exit kg/m-s <sup>2</sup>
Gaskets-Shell Side				Tube Side		
-Floating Head						
Code Requirements				TEMA Class		
Weight/Shell		22798,6		Filled with Water 44443,5		Bundle 14539,8 kg
Remarks: Supports/baffle space = 7.						



### 5.5.1.3 DISEÑO MECÁNICO:

El diseño mecánico de recipientes a presión, como el de la gran mayoría de los equipos para procesos industriales, se encuentran regidos por diferentes normas y códigos.

Para el caso de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, el código más empleado es el ASME Boiler and Pressure Vessels Code (Código para Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

La aplicación de dicho código requiere de un amplio criterio para la interpretación correcta del mismo en el diseño. También existen las normas "TEMA" (Standard of Tubular Exchangers Manufactures Association) cuya finalidad es regular los criterios de diseño y fabricación de los intercambiadores de calor.

DATOS DE PARTIDA			
VARIABLES	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
TUBOS			
Pt	Presión	29,01	psi
do	Diámetro exterior	0,75	in
di	Diámetro interior	0,62	in
Stb	Máximo valor de esfuerzo admisible	18274,8	psi (lb/in <sup>2</sup> )
L	Largo	336	in
CORAZA/MARMITA			
Pc	Presión	21,76	psi
Dom	Diámetro interior marmita	74,46	in
Rm	Radio interior marmita	37,23	in
DOc	Diámetro interior coraza	54	in
Rc	Radio interior coraza	27	in
Sc	Máximo valor de esfuerzo admisible	20015,2	psi (lb/in <sup>2</sup> )
TAPAS			
Sta	Máximo valor de esfuerzo admisible	17100	psi (lb/in <sup>2</sup> )
CORONA			
Lcr	Radio	74,46	in
DEFLECTORES			
Ed	Espacio entre deflectores	10	in
INFORMACIÓN ADICIONAL			
E	Eficiencia de junta	1	-
Xe	Constante de diseño	0,085	-

#### 5.5.1.3.1 CORAZA.

Es un cuerpo cilíndrico construido de una sola pieza que puede ser un tubo sin costura o una placa rolada que contendrá en su interior el haz de tubos y a través de los cuales circula el fluido

que baña el exterior de los tubos de dicho haz. El valor del espesor de la coraza cilíndrica (t) sin contar con el requerimiento de espesor por efecto de la corrosión, es el mayor valor entre los calculados debido a esfuerzos longitudinales y esfuerzos circunferenciales obtenidos con las fórmulas establecidas en ASME sección VIII UG-27, en términos de las dimensiones internas del recipiente.

- **Esfuerzo circunferencial** (junta longitudinal). Cuando P no excede de 0.385 S.E.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

donde:

- P: Presión interna de diseño.
- R: Radio interno de la coraza.
- S: Esfuerzo disponible máximo del material de la coraza.
- E: Eficiencia de la junta, para tubo sin costura E = 1.

$$t = \frac{21,76 \text{ psi} * 37,23 \text{ plg}}{20015,2 \text{ psi} * 1 - 0,6 * 21,76 \text{ psi}}$$

$$t = 0,0405 \text{ in} = 1,0288 \text{ mm}$$

- **Esfuerzos longitudinales** (junta circunferencial). Cuando P no excede de 1.25 S.E.

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,4P}$$

donde:

- P: Presión interna de diseño.
- R: Radio interno de la coraza.
- S: Esfuerzo disponible máximo del material de la coraza.
- E: Eficiencia de la junta, para tubo sin costura E = 1.

$$t = \frac{21,76 \text{ psi} * 37,23 \text{ plg}}{2 * 20015,2 \text{ psi} * 1 - 0,4 * 21,71 \text{ psi}}$$

$$t = 0,0202 = 0,5141 \text{ mm}$$

Al mayor valor de los espesores calculados, le sumamos 3 mm, por efecto de la corrosión.

$$tc = e + t$$

$$tc = 3\text{mm} + 1,0288\text{ mm}$$

$$t = 4,0288\text{ mm}$$

**Conclusión:** Comercialmente el mínimo espesor recomendado por TEMA para intercambiadores B o C deberá ser de **9,525 mm ó 3/8 plg.**

El canal también es una coraza cilíndrica por lo tanto deberá calcularse su espesor, si es menor que el espesor de la coraza, admitir el espesor de la coraza.

Para el canal de entrada del vapor se utiliza para los cálculos, la presión de diseño en los tubos, procediendo de la misma manera que para el cálculo del espesor de la coraza.

- **Esfuerzo circunferencial** (junta longitudinal). Cuando P no excede de 0.385 S.E.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{29,01\text{ psi} * 37,23\text{ plg}}{20015,2\text{ psi} * 1 - 0,6 * 29,01\text{ psi}}$$

$$t = 0,0540\text{ in} = 1,3714\text{ mm}$$

- **Esfuerzos longitudinales** (junta circunferencial). Cuando P no excede de 1.25 S.E.

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,4P}$$

$$t = \frac{29,01\text{ psi} * 37,23\text{ plg}}{2 * 20015,2\text{ psi} * 1 - 0,4 * 29,01\text{ psi}}$$

$$t = 0,0270\text{ plg} = 0,6854\text{ mm}$$

**Conclusión:** Al igual que para la coraza, sumamos 3 mm por efectos de corrosión, y tenemos que **t = 3,6854mm**, pero del mismo modo utilizamos el espesor del tubo de **9,525 mm (3/8 in)** que es el estandarizado.

- **Placa divisora de pasos.**

El espesor de la placa divisora de pasos en el canal no debe ser menor que el que se muestra en la Tabla VII.

Tamaño Nominal	Acero al Carbono	Material de aleación
< 24	3/8"	1/4"
24 - 60	1/2"	3/8"

**Tabla 7.5.1.3.1.A Espesor nominal de la placa divisora de pasos.**

**Conclusión:** El espesor de la placa divisora de pasos en el canal no debe ser menor a **1/2"**, ya que, el tamaño nominal de nuestra coraza es mayor a 24 in.

#### 5.5.1.3.2 TUBOS.

El espesor del tubo fue necesario determinar en el diseño térmico, sin embargo, es preciso comprobar su valor para las condiciones de presión interna al que está sometido. El mínimo espesor requerido está determinado en ASME sección VIII, UG-31

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,6P}$$

donde:

- P: Presión interna de diseño.
- R: Radio interno de los tubos.
- S: Esfuerzo disponible máximo del material de los tubos.
- E: Eficiencia de la junta. E = 1, para tubo sin costura.

$$t = \frac{29,01 \text{ psi} * (\frac{0,62}{2}) \text{ plg}}{2 * 18274,8 \text{ psi} * 1 - 0,6 * 29,01 \text{ psi}}$$

$$t = 0,0005 \text{ plg} = 0,0125 \text{ mm}$$

**Conclusión:** Como el espesor calculado es mucho menor al del tubo seleccionado, optamos por el mayor de los dos, siendo un espesor de tubos de **0,065mm**.

- **Requerimientos.** Cuando se producen los dobles U es normal que la pared del tubo en el radio externo se adelgace. De modo que es preciso tener un espesor adicional al requerido en los tubos rectos, tal que:

$$t_o = t_{min} * \left( 1 + \frac{d_o}{4 * R} \right)$$

donde:

- $t_o$ : Espesor de la pared del tubo antes del curvado.
- $t_{min}$ : Espesor mínimo de la pared del tubo calculado por un tubo recto a condiciones de operación.
- $d_o$ : Diámetro exterior del tubo.
- $R$ : Radio promedio de la curvatura.

$$t_o = 0,065 plg + (1 * 0,085)$$

$$\mathbf{t_o = 0,0705 plg}$$

**Conclusión:** Optamos por un espesor de tubos de **0,0705 plg** ya que es el mayor espesor calculado.

Cuando se trabaja con materiales que no sean propensos a endurecer por deformación y hayan sido templados adecuadamente el adelgazamiento de la pared del tubo no debe superar el 17% del espesor original.

Materiales de baja ductilidad requerirán especial consideración de acuerdo con el código.

#### 5.5.1.3.3 VARILLAS TENSORAS.

---

La función de estas varillas es lograr un armazón rígido entre mamparas, placa soporte y uno de los espejos, haciendo posible el manejo del haz de tubos como un solo elemento.

El número de varillas requeridas así como su diámetro están en función del diámetro de la coraza (Tabla N°2) y deberán ser distribuidas en toda la periferia de la plantilla de barrenado, teniendo cuidado en localizarlas también próximas al corte de las mamparas para evitar problemas de vibración.

Uno de los extremos de estas varillas irá empotrado al espejo fijo empacado, cuando se trata de un haz de tubos removible y este empotramiento se hará en el espejo próximo a la boquilla alimentadora de la coraza cuando se trata de un equipo de espejos fijos.

DIÁMETRO DE LA CORAZA	DIÁMETRO DE VARILLAS	NÚMERO MÍNIMO DE VARILLAS
8" – 15"	3/8" (9.5 mm)	4
16" – 27"	3/8" (9.5 mm)	6
28" – 33"	1/2" (13 mm)	6
34" – 48"	1/2" (13 mm)	8
49" – 60"	1/2" (13 mm)	10
61" – 100"	5/8" (16 mm)	12

Tabla 7.5.1.3.3.A – Diámetros de varillas.

**Conclusión:** Por tabla, el diámetro de las varillas es de **5/8"** y el número mínimo de las mismas es de **12**.

#### 5.5.1.3.4 TAPAS.

Los elementos utilizados en los cabezales tanto de entrada como de retorno (o salida), a fin de proporcionar el cierre en los extremos del cambiador de calor, pueden ser de dos tipos; Tapas Abombadas y Tapas Planas, las cuales se han de seleccionar en función de las características propias de cada una de ellas o bien de acuerdo con el tipo de tapa requerida por el cambiador que se esté diseñando, tomando en consideración las condiciones de servicio.

Dentro de la clasificación de Tapas Abombadas se presentan las llamadas Toriesferica y Semielípticas, ambas soldables al cuerpo cilíndrico de los cabezales en el extremo de la ceja recta con que cuentan y siendo por consecuencia, elementos no desmontables.

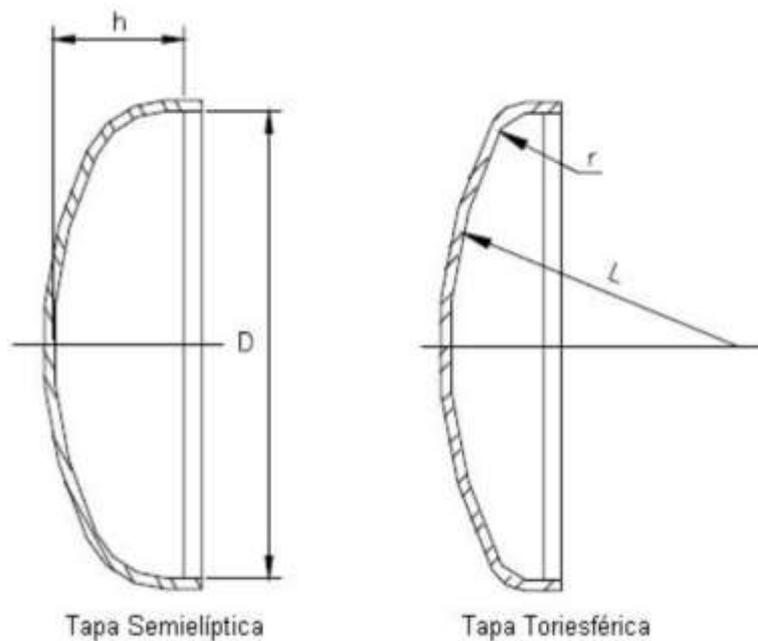


Figura 7.5.1.3.4.A -Tapas abombadas.

- **Tapa tori esférica ASME.**

Este tipo de tapas son las que tienen más aceptación en la industria debido a que su costo es bajo, soportando altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de corona es igual al diámetro interior del cabezal, mientras que el radio interior de la rodilla es el 6% del diámetro interior del cabezal. El espesor requerido para este tipo de tapas, debé determinarse por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{0,885 P L}{SE - 0,1P}$$

donde:

- P: Presión interna de Diseño
- L: Radio de la corona
- D: Diámetro interior del borde de la tapa
- S: Esfuerzo máximo permisible del material de la tapa
- E: Eficiencia de la junta. E=1, para cabezas sin costura.

$$t = \frac{0,885 * 29,01 \text{ psi} * 74,46 \text{ in}}{17100 \text{ psi} * 1 - 0,1 * 29,01 \text{ psi}}$$

$$t = 0,1118 \text{ in} = 2,8398 \text{ mm}$$

**Conclusión:** Se toma como base el espesor de 0,1118 in (2,8389mm) y se le suma 3mm por efectos de corrosión, 5,8398 mm, pero comercialmente el mínimo espesor recomendado por T.E.M.A para intercambiadores C o B deberá ser de **3/8 plg** (o **9,525 mm**).

### 5.5.1.3.5 ACOPLERES.

Las bridas son elementos de unión. Todos los tubos del intercambiador tienen bridas junto con la carcasa y los cabezales. Existen varios tipos de bridas en función de la forma, tamaño, uso y la presión nominal.

Las bridas se han seleccionado por catálogo, de acero al carbono, bajo la norma NACE MR 0175 Rating **150 LBS** que es la mínima que se encontró en el mercado. Puesto que la presión de diseño es mucho menor, se ha omitido el diseño de los acoples. Las medidas de la brida seleccionada se muestran a continuación:

BRIDA ASME B16.47 A WN		Rating: 150LBS
Especificaciones		
Material	Acero carbono ASTM A105	
Normativa	NACE MR 0175	
Notas		
Consultar acabados RTJ u otras especialidades.		
Bridas 600 a 2500LBS, consultar.		

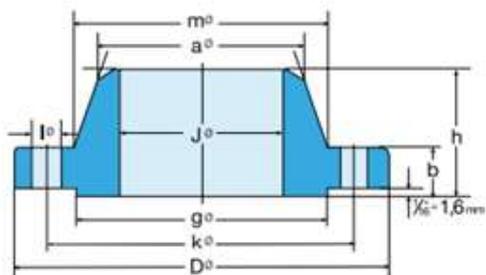


Figura 7.5.1.3.5.A Bridas ASME B16.47 a 150LBS WN Acero Carbono.

**BRIDA ASME B16.47 A WN 150LBS**

Código	DN	Díam. exterior	Brida				Cuello		RF	Tornillos			Peso (kg.)		
			D	J	b	h	a	m	g	n	l	k			
-	26"	680,4	692,9	-	-	68,3	120,6	-	676,3	749,3	-	24	34,9	806,4	ND
-	28"	711,2	927,1	-	-	71,4	125,4	-	727,1	800,1	-	-	34,9	863,6	
-	30"	762,0	984,2	-	-	74,6	136,5	-	781,0	867,2	28	-	34,9	914,4	
-	32"	812,8	1060,4	-	-	81,0	144,5	-	831,8	914,4	-	-	-	977,9	
-	34"	863,6	1.111,2	-	-	82,5	149,3	-	882,6	965,2	-	-	-	1.028,7	
-	36"	914,4	1.168,4	-	-	90,5	157,3	-	933,4	1.022,3	32	-	-	1.085,8	
-	38"	965,2	1.238,2	-	-	87,3	157,1	-	990,6	1.073,1	-	-	-	1.149,3	
-	40"	1.016,0	1.289,0	-	-	90,5	163,5	-	1.041,4	1.123,9	36	41,3	-	1.200,1	
-	42"	1.066,8	1.346,2	-	-	96,8	171,4	-	1.092,2	1.193,8	-	-	-	1.257,3	
-	44"	1.117,6	1.403,3	-	-	101,6	177,8	-	1.143,0	1.244,6	40	-	-	1.314,4	
-	46"	1.168,4	1.454,1	-	-	103,1	185,7	-	1.196,9	1.295,4	-	-	-	1.365,2	
-	48"	1.219,2	1.511,3	-	-	107,9	192,0	-	1.247,6	1.358,9	-	-	-	1.422,4	
-	50"	1.270,0	1.568,4	-	-	111,1	203,2	-	1.301,7	1.409,7	44	-	-	1.479,5	
-	52"	1.320,8	1.625,6	-	-	115,8	209,5	-	1.352,5	1.460,5	-	-	-	1.536,7	
-	54"	1.371,6	1.682,7	-	-	120,6	215,9	-	1.403,3	1.511,3	-	-	-	1.593,8	
-	56"	1.422,4	1.746,2	-	-	123,8	228,6	-	1.457,4	1.574,8	48	-	-	1.651,0	
-	58"	1.473,2	1.803,4	-	-	128,5	234,9	-	1.508,2	1.625,6	-	-	-	1.706,1	
-	60"	1.524,0	1.854,2	-	-	131,7	239,7	-	1.559,0	1.676,4	52	-	-	1.758,9	

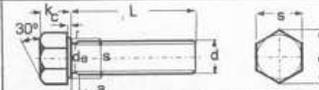
**Figura 7.5.1.3.5.B Bridas ASME B16.47 a 150LBS WN Acero Carbono.**

**5.5.1.3.6 TORNILLOS Y TUERCAS.**

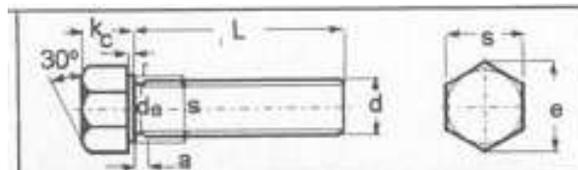
**Tornillo métrico.** El tornillo es una pieza que va encajada en los agujeros de las bridas. En su parte cilíndrica se desarrolla una hendidura en forma helicoidal, con un determinado paso de hélice, hasta una distancia menor a la longitud total del cilindro macizo.

Para este caso, vamos a necesitar **44 tornillos** de acero al carbono norma **DIN 933**, dureza **5,5** que tengan un diámetro menor a **47,7 mm** o **1,87 in** para que entre en los agujeros de las bridas. Comercialmente, la medida que más se adapta a esta especificación es la **M42**, que es la que adoptaremos. Además, necesitamos que tengan una longitud mayor al espesor de dos bridas y al ancho de la tuerca con la que se va a ajustar.

A continuación, presentamos una tabla de medidas normalizadas para conocer las dimensiones que tendrán nuestros tornillos.

Tornillos hexagonales. Rosca aproximadamente hasta la cabeza. Rosca métrica. Ejecución m y mg Designación de tornillo hexagonal de rosca métrica d = M8, longitud l = 20 mm y clase de resistencia 8.8 : Tornillo hexagonal M8x20 DIN 933 - 8.8				DIN 933																										
d	M1,6	M1,7	M2	M2,3	M2,5	M2,8	M3	M3,5	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48	M52
e	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	-
d2	2	2,1	2,6	2,9	3,1	3,2	3,8	4,1	4,7	5,7	6,6	7,8	9,2	11,2	14,2	18,2	20,2	22,4	24,4	26,4	30,4	33,4	36,4	39,4	42	45,6	48,6	52,6	58,8	
e m	3,48	3,82	4,38	4,95	5,51	5,91	6,08	6,64	7,74	8,87	11,05	12,12	14,38	18,90	21,10	24,49	26,75	30,14	33,53	35,72	38,98	45,63	51,28	56,80	61,51	65	72,61	78,28	83,21	89,58
e mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,66	23,91	26,17	29,56	32,95	35,03	38,95	45,20	50,85	55,37	60,79	66	72,09	77,74	83,39	89,04	
k	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	2	2,4	2,8	3,5	4	5	5,5	7	8	10	12	13	14	15	17	19	21	23	25	26	28	30	33	
r	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,25	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1	1	1	1	1,2	1,2	1,6	1,8	
a	3,2	3,5	4	4,5	5	5	5,5	6	7	8	10	11	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55	60	65	70	75	80

<b>MEDIDA</b>	<b>M42</b>
<b>k</b>	26 mm
<b>s</b>	65 mm
<b>e</b>	72,91 mm



Lo que resta calcular es la longitud, que se calcula de la siguiente manera:

<b>Espesor de brida (b)</b>	120,6 mm
<b>Espesor de dos bridas</b>	241,2 mm
<b>Espesor de tuerca</b>	34 mm
<b>Longitud mínima</b>	275,2 mm
<b>Longitud tomada</b>	<b>300 mm</b>

**Tuerca.** Las tuercas son elementos que fijan los tornillos métricos por medio de apriete desplazándose por la guía generada por las hendiduras propias y las generadas en estos tornillos específicos.

En función del tornillo adoptado anteriormente, correspondería una tuerca de rosca **M42**, cuyas medidas serían las señaladas en la siguiente imagen:

<b>A</b>	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M39	<b>M42</b>	M45	M48	M52	M56	M60	M64	M68
<b>Paso</b>	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4	4	4,5	4,5	5	5	5,5	5,5	6	6
<b>B</b>	1,6	2,4	3,2	4	5	5,5	6,5	8	10	11	13	15	16	18	19	22	24	26	29	31	34	36	38	42	45	48	51	54
<b>C</b>	4	5,5	7	8	10	11	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

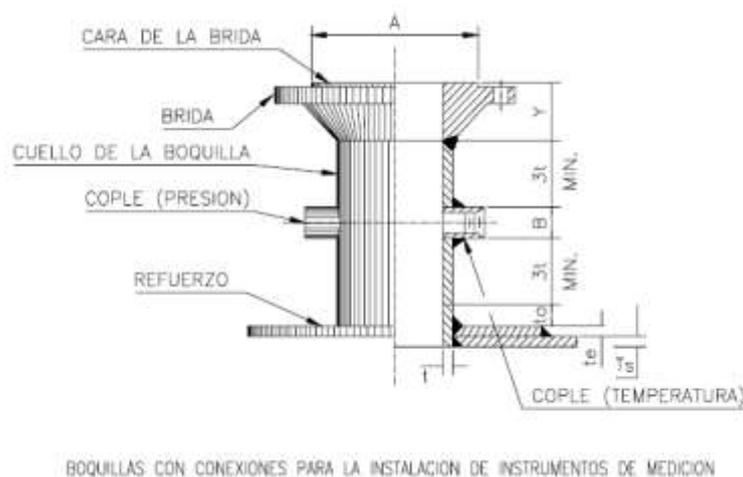
(Todas las medidas están expresadas en mm.)

### 5.5.1.3.7 BOQUILLAS.

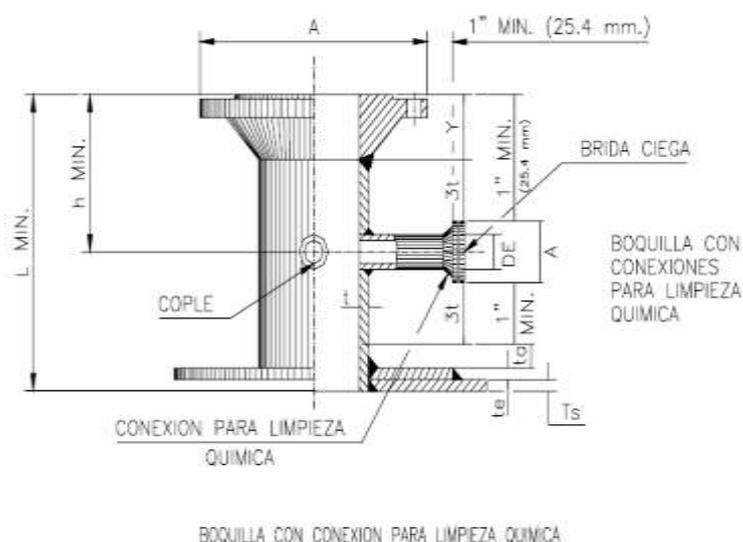
En un intercambiador de calor de coraza y tubos se presenta la circulación de dos fluidos dentro del mismo, para lo cual será indispensable conectar al equipo tuberías de alimentación y descarga

para tales fluidos, por medio de las llamadas boquillas, constituidas por un tubo soldado en un extremo al intercambiador y bridado en el otro a fin de poder efectuar la conexión.

El control del proceso que se lleva a cabo en los equipos de transmisión térmica es tan indispensable que hace necesaria la instalación de termómetros y manómetros para la medición de las temperaturas y presiones respectivamente. La instalación de estos instrumentos de medición se hace en las boquillas de entrada y salida del equipo por ser estos los puntos en que más interesa conocer las condiciones del proceso.



**Figura 7.5.1.3.7.A Boquilla con conexión para instalación de instrumentos de medición.**



**Figura 7.5.1.3.7.B Boquilla con conexión para limpieza química.**

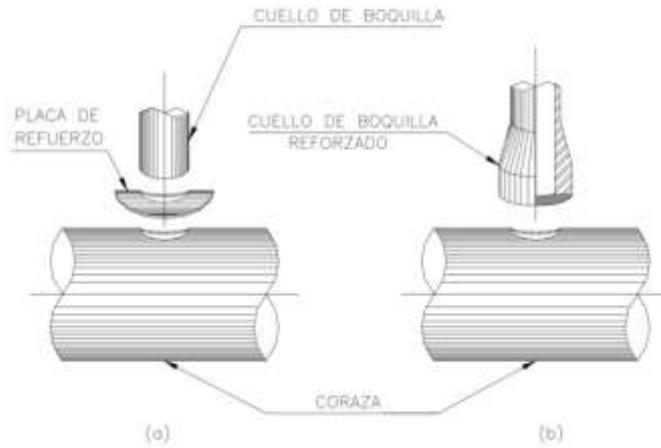


Figura 7.5.1.3.7.C Refuerzos en boquillas.

- **Diámetro de boquilla-entrada de vapor.**

DATOS DE PARTIDA			
Variable	Descripción	Valor	Unidad
<b>Vvp</b>	Velocidad de vapor	30	m/s
<b>Mvp</b>	Caudal de vapor	5,86	m <sup>3</sup> /s
<b>Af</b>	Área de flujo	0,195	m <sup>2</sup>

$$D = \left( \frac{4 \cdot Af}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = \left( \frac{4 \cdot 0,195 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = 19,6 \text{ in}$$

- **Diámetro de boquilla-salida de vapor.**

DATOS DE PARTIDA			
Variable	Descripción	Valor	Unidad
<b>Vvp</b>	Velocidad de líquido	1	m/s
<b>Mvp</b>	Caudal de líquido	0,0071	m <sup>3</sup> /s
<b>Af</b>	Área de flujo	0,0071	m <sup>2</sup>

$$D = \left( \frac{4 \cdot Af}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = \left( \frac{4 \cdot 0,0071 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = 3,74 \text{ in}$$

Para las boquillas del lado coraza, se usarán las que calculó el programa.

- **Dimensiones de las boquillas.**

DIÁMETRO DE BOQUILLAS			
Corrientes	Nombre	Entrada	Salida
Vapor vegetal	S1	19,6 in	-
	S2	-	3,74 in
SC Madre	T1	4 in	-
	T2	-	12 in
	T3	-	2 in

- **Refuerzos de boquillas**

Las boquillas de un intercambiador de calor requieren un refuerzo si son mayores a **3 pulgadas**. Por lo tanto, las boquillas de nuestro intercambiador S1, S2, T1 y T2 deberán ser reforzadas.

El refuerzo se calculará mediante la fórmula:

$$A = d \times t$$

Donde A es área de refuerzo, d es diámetro interior de boquilla, y t es espesor de coraza. Para todas las boquillas se usará el mismo espesor que el de la coraza, el cual es **3/8 in** (0,375 in).

Por lo tanto, a continuación, se presenta la tabla en la que se presenta el área a reforzar para cada boquilla.

Boquilla	Diámetro externo (in)	Área de refuerzo (in <sup>2</sup> )	Área de refuerzo (cm <sup>2</sup> )
S1	19,6	7,35	47,42
S2	3,74	1,40	9,03
T1	4	1,50	9,68
T2	12	4,50	29,03

### 5.5.1.3.8 PLACA SOPORTE Y DEFLECTORES.

El espesor mínimo que se debe colocar en función del diámetro de la coraza y de la separación máxima entre deflectores está determinado por la siguiente tabla:

Diámetro Nominal del Casco	Espesor de la Placa					
	Longitud sin Soporte entre baffles centrales.					
	< 305	305-610	610-914	914-1219	1219-1524	> 1524
152-356	1/16"	1/8" (3.2)	3/16" (4.8)	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	3/8" (9.5)
381-711	1/8" (3.2)	3/16" (4.8)	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)
737-965	3/16" (4.8)	1/4" (6.4)	5/16" (7.5)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)	5/8" (15.9)
991-1524	1/4" (6.4)	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)	5/8" (15.9)	5/8" (15.9)
1549-2540	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)	5/8" (15.9)	3/4" (19.1)	3/4" (19.1)

Tabla 7.5.1.3.8.A Espesor del deflector y la placa soporte para intercambiadores clase C o B.

**Conclusión:** El espesor mínimo para la placa soporte y los deflectores es de  $\frac{1}{4}$  *plg*, ya que el espesor de la coraza se encuentra entre 1549-2540 mm.

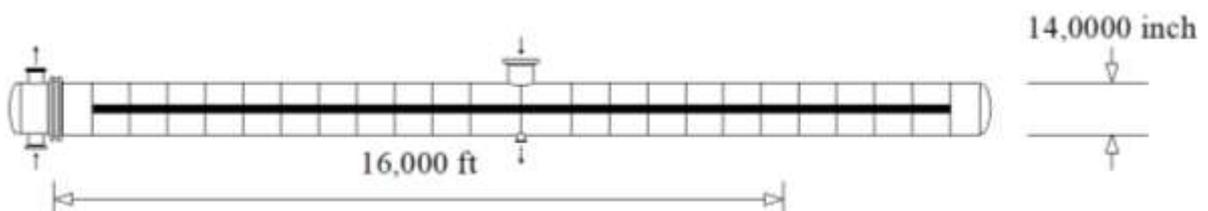
## 5.5.2 Diseño de intercambiador de calor E-301

### 5.5.2.1 INTRODUCCIÓN

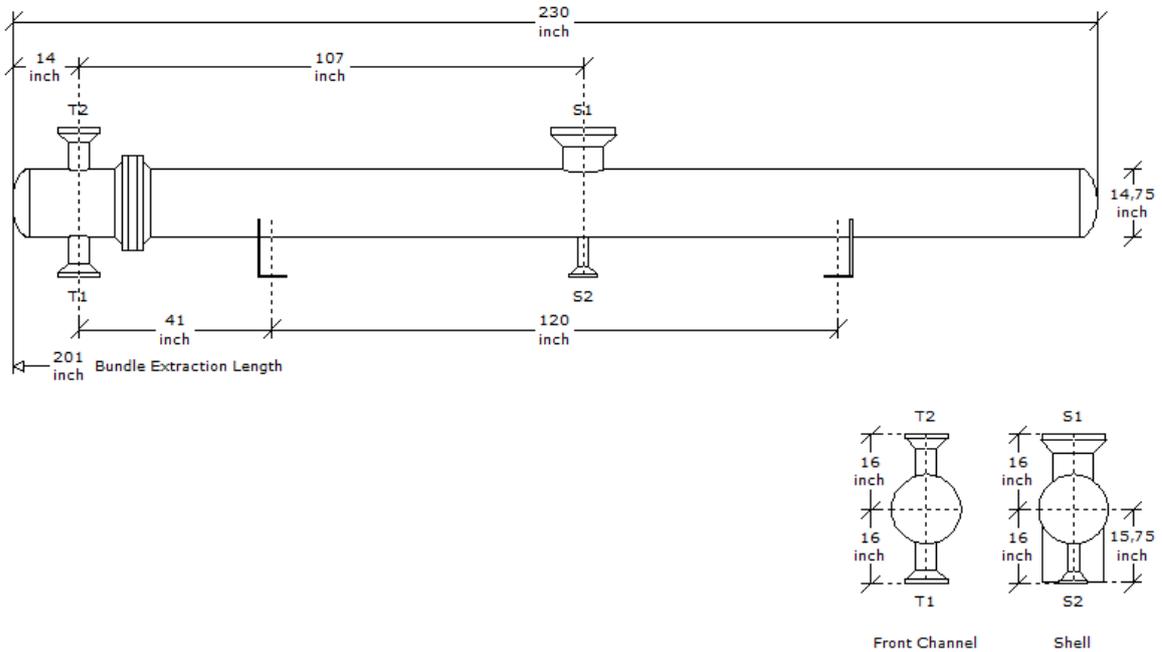
Se trata del equipo necesario para elevar la temperatura de la vinaza desde 40°C hasta 90°C previo a su evaporación. Como fluido calefactor se utilizará vapor vegetal saliente del proceso de evaporación de vinaza sin potasio. Cabe destacar que, al tratar de seleccionar un único equipo, la velocidad de la vinaza dentro de tubos no cumplía con los parámetros requeridos, por lo que se optó por diseñar dos equipos iguales que trabajen en serie. El diseño final, realizado con el software HTRI® a partir de los datos obtenidos en el diseño preliminar, es el siguiente:

### 5.5.2.2 DISEÑO TÉRMICO:

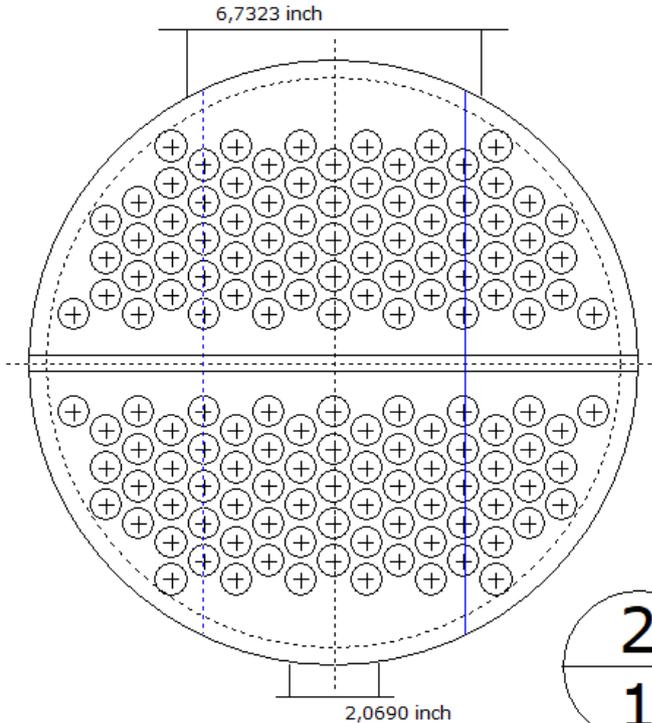
#### 5.5.2.2.1 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA:



### 5.5.2.2.2 PRINCIPALES DIMENSIONES CONSTRUCTIVAS:



### 5.5.2.2.3 ESPEJO DE TUBOS:



Item number	BGU
TEMA type	
Shell diameter	14,0000 inch
Outer tube limit	13,1954 inch
Height under inlet nozzle	1,6356 inch
Height under outlet nozzle	1,6356 inch
Tube diameter	0,7500 inch
Tube pitch	0,8588 inch
Tube layout angle	30
Number of tubes (specified)	138
Number of tubes (calculated)	138
Number of tie rods	4
Number of seal strip pairs	1
Number of passes	2
Parallel passlane width	1,5000 inch
Baffle cut % diameter	28,5129

TUBEPASS DETAILS			
Pass	Rows	Tubes	Plugged
1	10	71	0
2	10	71	0

SYMBOL LEGEND	
○	Tube
⊗	Plugged tube
●	Tie rod
⊙	Impingement rod
⊕	Dummy tube
•	Seal rod
□	Seal strip/Skid bar

#### 5.5.2.2.4 DATOS DE PARTIDA:

##### INTERCAMBIADOR 1:

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Q	Calor intercambiado	5722128	kJ/h
Wh	Caudal fluido caliente	2386,1	kg/h
T1h	Temperatura entrada fluido caliente	105,1	°C
T2h	Temperatura salida fluido caliente	99,75	°C
ph	Densidad fluido caliente	0,7013	kg/m <sup>3</sup>
μh	Viscosidad fluido caliente	0,0123	mPas
cph	Capacidad calorífica fluido caliente	2,0425	kJ/kg°C
kh	Conductividad térmica fluido caliente	0,0249	W/m°C
Wc	Caudal fluido frío	42738	kg/h
T1c	Temperatura entrada fluido frío	40	°C
T2c	Temperatura salida fluido frío	72	°C
pc	Densidad fluido frío	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
μc	Viscosidad fluido frío	0,74	mPas
cpc	Capacidad calorífica fluido frío	4,0785	kJ/kg°C
kc	Conductividad térmica fluido frío	0,6192	W/m°C

##### INTERCAMBIADOR 2:

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Q	Calor intercambiado	3227108	kJ/h
Wh	Caudal fluido caliente	1380,8	kg/h
T1h	Temperatura entrada fluido caliente	105,1	°C
T2h	Temperatura salida fluido caliente	99,75	°C
ph	Densidad fluido caliente	0,7013	kg/m <sup>3</sup>
μh	Viscosidad fluido caliente	0,0123	mPas
cph	Capacidad calorífica fluido caliente	2,0425	kJ/kg°C
kh	Conductividad térmica fluido caliente	0,0249	W/m°C
Wc	Caudal fluido frío	42738	kg/h
T1c	Temperatura entrada fluido frío	72	°C
T2c	Temperatura salida fluido frío	90	°C
pc	Densidad fluido frío	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
μc	Viscosidad fluido frío	0,4478	mPas
cpc	Capacidad calorífica fluido frío	4,092	kJ/kg°C
kc	Conductividad térmica fluido frío	0,6508	W/m°C

#### 5.5.2.2.5 RESULTADO:

---

Como se mencionó anteriormente, se diseñan dos equipos exactamente iguales, de modo que a continuación se detallan los resultados generales:

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro interno de coraza	14	in
Separación de baffles	10	in
Arreglo	Triangular	
Paso	0,8588	in
Diámetro externo de tubos	0,75	in
Diámetro interno de tubos	0,61	in
Cantidad de tubos	138	
Longitud de tubos	16	ft

5.5.2.2.6 HOJA FINAL INTERCAMBIADOR 1:

HTRI		HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET				Page 1						
						SI Units						
Customer		Job No.		Reference No.								
Address		Date		Proposal No.								
Plant Location		24/11/2020		Rev								
Service of Unit		Item No.										
Size	355.601 x 4876.74 mm	Type	BGU Horiz.	Connected In	1 Parallel	1 Series						
Surf/Unit (Gross/Eff)	41.20 / 40.92 m <sup>2</sup>	Shell/Unit	1	Surf/Shell (Gross/Eff)	41.20 / 40.92 m <sup>2</sup>							
PERFORMANCE OF ONE UNIT												
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side								
Fluid Name		Vapor		Vinaza								
Fluid Quantity, Total		2479.95		43771.9								
Vapor (In/Out)		2479.95										
Liquid		2479.95		43771.9								
Steam		2479.95										
Water		2479.95										
Noncondensables												
Temperature (In/Out)		105.10		94.96								
Specific Gravity				0.9626								
Viscosity		0.0123		0.2982								
Molecular Weight, Vapor				0.7400								
Molecular Weight, Noncondensables				0.4478								
Specific Heat		2.0425		4.1882								
Thermal Conductivity		0.0249		0.6192								
Latent Heat		2259.03		2288.48								
Inlet Pressure		120.002		140.002								
Velocity		39.96		0.92								
Pressure Drop, Allow/Calc		20.000		36.483								
Fouling Resistance (min)		0.00088		60.001								
Heat Exchanged W		1589480		11.467								
Transfer Rate, Service		969.92 W/m <sup>2</sup> -K		Clean								
		2836.89 W/m <sup>2</sup> -K		Actual								
				1141.34 W/m <sup>2</sup> -K								
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)								
Design/Test Pressure		1034.22 /		1034.22 /								
Design Temperature		C		C								
No Passes per Shell		2		2								
Corrosion Allowance		mm		mm								
Connections		1 @ 171.000		1 @ 102.261								
Size & Rating		1 @ 52.553		1 @ 102.261								
		@		@								
Tube No.	69U	OD	19.050 mm	Thk(Avg)	1.829 mm	Length	4.877 m	Pitch	21.812 mm	Layout	30	
Tube Type	Plain		Material				CARBON STEEL					
Shell	ID	355.601 mm		OD	mm		Shell Cover					
Channel or Bonnet							Channel Cover					
Tubesheet-Stationary							Tubesheet-Floating					
Floating Head Cover							Impingement Plate					None
Baffles-Cross	Type	SINGLE-SEG.		%Out (Diam)	28.5		Spacing(c/c)	254.001		Inlet	406.929 mm	
Baffles-Long	Seal Type											
Supports-Tube	U-Bend		Type									
Bypass Seal Arrangement							Tube-Tubesheet Joint					
Expansion Joint							Type					
Rho-V2-Inlet Nozzle	1282.87		kg/m-s <sup>2</sup>	Bundle Entrance	416.29		Bundle Exit	0.30		kg/m-s <sup>2</sup>		
Gaskets-Shell Side							Tube Side					
-Floating Head												
Code Requirements							TEMA Class					
Weight/Shell	1342.43		Filled with Water	1855.14		Bundle	562.65		kg			
Remarks:												

Reprinted with Permission (v5 )

5.5.2.2.7 HOJA FINAL INTERCAMBIADOR 2:

HTRI		HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET			Page 1 SI Units	
		Customer		Job No.		Reference No.
Address		Proposal No.		Date		
Plant Location		12/11/2020		Rev		
Service of Unit		Item No.		Connected in		
Size 355.601 x 4876.74 mm		Type BGU	Horz.	1 Parallel	1 Series	
Surf/Unit (Gross/Eff) 41.20 / 40.92 m <sup>2</sup>		Shell/Unit	1	Surf/Shell (Gross/Eff) 41.20 / 40.92 m <sup>2</sup>		
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation		Shell Side			Tube Side	
Fluid Name		Vapor			Vinaza	
Fluid Quantity, Total kg/hr		1419.15			43771.9	
Vapor (In/Out)		1419.15				
Liquid					43771.9	
Steam		1419.15				
Water		1419.15				
Noncondensables						
Temperature (In/Out) C		105.10			72.00	
Specific Gravity		0.9583			1.0123	
Viscosity mN-s/m <sup>2</sup>		0.0123			0.4478	
Molecular Weight, Vapor						
Molecular Weight, Noncondensables						
Specific Heat kJ/kg-C		2.0425			4.0920	
Thermal Conductivity W/m-C		0.0249			0.6508	
Latent Heat kJ/kg		2259.03			2288.10	
Inlet Pressure kPa		120.002			140.002	
Velocity m/s		18.97			0.94	
Pressure Drop, Allow/Calc kPa		20.000			11.805	
Fouling Resistance (min) m <sup>2</sup> -K/W		0.000088			0.000352	
Heat Exchanged W		896419			MTD (Corrected) 20.0 C	
Transfer Rate, Service		1094.35 W/m <sup>2</sup> -K Clean		3250.24 W/m <sup>2</sup> -K Actual		
		1202.89 W/m <sup>2</sup> -K				
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)		
		Shell Side		Tube Side		
Design/Test Pressure kPaG		1034.22 /		1034.22 /		
Design Temperature C						
No Passes per Shell		2		2		
Corrosion Allowance mm						
Connections		1 @ 171.000		1 @ 102.261		
Size & Rating		1 @ 52.553		1 @ 102.261		
		@		@		
Tube No. 69U		OD 19.050 mm		Thk(Avg) 1.829 mm		Length 4.877 m
Tube Type Plain				Material CARBON STEEL		Pitch 21.812 mm
Shell ID 355.601 mm		OD		mm		Layout 30
Channel or Bonnet				Shell Cover		
Tubesheet-Stationary				Channel Cover		
Floating Head Cover				Tubesheet-Floating		
				Impingement Plate None		
Baffles-Cross		Type SINGLE-SEG.	%Cut (Diam) 28.5	Spacing(c/c) 254.001		Inlet 406.929 mm
Baffles-Long		Seal Type				
Supports-Tube		U-Bend				Type
Bypass Seal Arrangement		Tube-Tubesheet Joint				
Expansion Joint		Type				
Rho-V2-Inlet Nozzle		420.10 kg/m-s <sup>2</sup>	Bundle Entrance	136.32	Bundle Exit	9.982e-2 kg/m-s <sup>2</sup>
Gaskets-Shell Side		Tube Side				
-Floating Head						
Code Requirements		TEMA Class				
Weight/Shell 1342.43		Filled with Water 1855.14		Bundle 562.65		kg
Remarks:						
Reprinted with Permission (v5 )						

### 5.5.2.3 DISEÑO MECÁNICO:

El diseño mecánico de recipientes a presión, como el de la gran mayoría de los equipos para procesos industriales, se encuentran regidos por diferentes normas y códigos.

Para el caso de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, el código más empleado es el ASME Boiler and Pressure Vessels Code (Código para Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). La aplicación de dicho código requiere de un amplio criterio para la interpretación correcta del mismo en el diseño. También existen las normas "TEMA" (Standard of Tubular Exchangers Manufactures Association) cuya finalidad es regular los criterios de diseño y fabricación de los intercambiadores de calor.

DATOS DE PARTIDA			
VARIABLES	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>TUBOS</b>			
Pt	Presión	20,30	psi
do	Diámetro exterior	0,75	plg
di	Diámetro interior	0,62	plg
Stb	Máximo valor de esfuerzo admisible	18274,8	psi (lb/plg <sup>2</sup> )
L	Largo	192	plg
<b>CORAZA</b>			
Pc	Presión	17,4	psi
DO	Diámetro interior	14	plg
R	Radio interior	7	plg
Sc	Máximo valor de esfuerzo admisible	20015,2	psi (lb/plg <sup>2</sup> )
<b>TAPAS</b>			
Sta	Máximo valor de esfuerzo admisible	17100	psi (lb/plg <sup>2</sup> )
<b>CORONA</b>			
Lcr	Radio	14	plg
<b>DEFLECTORES</b>			
Ed	Espacio entre deflectores	10	plg
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>			
E	Eficiencia de junta	1	-
Xe	Constante de diseño	0,085	-

### 5.5.2.3.1 CORAZA.

---

Es un cuerpo cilíndrico construido de una sola pieza que puede ser un tubo sin costura o una placa rolada que contendrá en su interior el haz de tubos y a través de los cuales circula el fluido que baña el exterior de los tubos de dicho haz. El valor del espesor de la coraza cilíndrica ( $t$ ) sin contar con el requerimiento de espesor por efecto de la corrosión, es el mayor valor entre los calculados debido a esfuerzos longitudinales y esfuerzos circunferenciales obtenidos con las fórmulas establecidas en ASME sección VIII UG-27, en términos de las dimensiones internas del recipiente.

- **Esfuerzo circunferencial** (junta longitudinal). Cuando  $P$  no excede de 0.385 S.E.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

donde:

- $P$ : Presión interna de diseño.
- $R$ : Radio interno de la coraza.
- $S$ : Esfuerzo disponible máximo del material de la coraza.
- $E$ : Eficiencia de la junta, para tubo sin costura  $E = 1$ .

$$t = \frac{17,40psi * 7plg}{20015,2psi * 1 - 0,6 * 17,40psi}$$

$$t = 0,1546 \text{ mm}$$

- **Esfuerzos longitudinales** (junta circunferencial). Cuando  $P$  no excede de 1.25 S.E.

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,4P}$$

donde:

- $P$ : Presión interna de diseño.
- $R$ : Radio interno de la coraza.
- $S$ : Esfuerzo disponible máximo del material de la coraza.
- $E$ : Eficiencia de la junta, para tubo sin costura  $E = 1$ .

$$t = \frac{20,30\text{psi} * 7\text{plg}}{2 * 20015,2\text{psi} * 1 - 0,4 * 20,30\text{psi}}$$

$$t = 0,0733 \text{ mm}$$

Al mayor valor de los espesores calculados, le sumamos 3 mm, por efecto de la corrosión.

$$tc = e + t$$

$$tc = 3\text{mm} + 0,1546\text{mm}$$

$$t = 3,1546 \text{ mm}$$

**Conclusión:** Comercialmente el mínimo espesor recomendado por TEMA para intercambiadores B o C deberá ser de **3,175mm ó 1/8 plg**.

El canal también es una coraza cilíndrica por lo tanto deberá calcularse su espesor, si es menor que el espesor de la coraza, admitir el espesor de la coraza.

Para el canal de entrada del vapor se utiliza para los cálculos, la presión de diseño en los tubos, procediendo de la misma manera que para el cálculo del espesor de la coraza.

- **Esfuerzo circunferencial** (junta longitudinal). Cuando P no excede de 0.385 S.E.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{20,30\text{psi} * 7\text{plg}}{20015,2\text{psi} * 1 - 0,6 * 20,30\text{psi}}$$

$$t = 0,1804 \text{ mm}$$

- **Esfuerzos longitudinales** (junta circunferencial). Cuando P no excede de 1.25 S.E.

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,4P}$$

$$t = \frac{20,30\text{psi} * 7\text{plg}}{2 * 20015,2\text{psi} * 1 - 0,4 * 20,30\text{psi}}$$

$$t = 0,0902 \text{ mm}$$

**Conclusión:** Al igual que para la coraza, sumamos 3mm por efectos de corrosión, y tenemos que  $t = 3,1804\text{mm}$ , pero del mismo modo utilizamos el espesor del tubo de  $4,7625 \text{ mm (3/16 in)}$ .

- **Placa divisora de pasos.**

El espesor de la placa divisora de pasos en el canal no debe ser menor que el que se muestra en la Tabla VII.

Tamaño Nominal	Acero al Carbono	Material de aleación
< 24	3/8"	1/4"
24 - 60	1/2"	3/8"

**Tabla 7.5.2.3.1.A Espesor nominal de la placa divisora de pasos.**

**Conclusión:** El espesor de la placa divisora de pasos en el canal no debe ser menor a  $3/8 \text{ plg}$ , ya que, el tamaño nominal de nuestra coraza es menor a 24 plg y construida con un material de acero al carbono.

#### 5.5.2.3.2 TUBOS.

El espesor del tubo fue necesario determinar en el diseño térmico, sin embargo, es preciso comprobar su valor para las condiciones de presión interna al que está sometido. El mínimo espesor requerido está determinado en ASME sección VIII, UG-31

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,6P}$$

donde:

- P: Presión interna de diseño.
- R: Radio interno de los tubos.
- S: Esfuerzo disponible máximo del material de los tubos.
- E: Eficiencia de la junta. E = 1, para tubo sin costura.

$$t = \frac{20,30\text{psi} * (\frac{0,62}{2})\text{plg}}{2 * 20015,2\text{psi} * 1 - 0,6 * 20,30\text{psi}}$$

$$t = 0,0088\text{mm}$$

**Conclusión:** Como el espesor calculado es mucho menor al del tubo seleccionado, optamos por el mayor de los dos, siendo un espesor de tubos de **0,065mm**.

- **Requerimientos.** Cuando se producen los dobles U es normal que la pared del tubo en el radio externo se adelgace. De modo que es preciso tener un espesor adicional al requerido en los tubos rectos, tal que:

$$t_o = t_{min} * \left( 1 + \frac{d_o}{4 * R} \right)$$

donde:

- $t_o$ : Espesor de la pared del tubo antes del curvado.
- $t_{min}$ : Espesor mínimo de la pared del tubo calculado por un tubo recto a condiciones de operación.
- $d_o$ : Diámetro exterior del tubo.
- $R$ : Radio promedio de la curvatura.

$$t_o = 0,065 \text{ plg} + (1 * 0,085)$$

$$t_o = 0,0705 \text{ plg}$$

**Conclusión:** Optamos por un espesor de tubos de **0,0705 plg** ya que es el mayor espesor calculado.

Cuando se trabaja con materiales que no sean propensos a endurecer por deformación y hayan sido templados adecuadamente el adelgazamiento de la pared del tubo no debe superar el 17% del espesor original.

Materiales de baja ductilidad requerirán especial consideración de acuerdo con el código.

#### 5.5.2.3.3 VARILLAS TENSORAS.

La función de estas varillas es lograr un armazón rígido entre mamparas, placa soporte y uno de los espejos, haciendo posible el manejo del haz de tubos como un solo elemento.

El número de varillas requeridas así como su diámetro están en función del diámetro de la coraza (Tabla N°2) y deberán ser distribuidas en toda la periferia de la plantilla de barrenado,

teniendo cuidado en localizarlas también próximas al corte de las mamparas para evitar problemas de vibración.

Uno de los extremos de estas varillas irá empotrado al espejo fijo empacado, cuando se trata de un haz de tubos removible y este empotramiento se hará en el espejo próximo a la boquilla alimentadora de la coraza cuando se trata de un equipo de espejos fijos.

DIÁMETRO DE LA CORAZA	DIÁMETRO DE VARILLAS	NÚMERO MÍNIMO DE VARILLAS
8" – 15"	3/8" (9.5 mm)	4
16" – 27"	3/8" (9.5 mm)	6
28" – 33"	1/2" (13 mm)	6
34" – 48"	1/2" (13 mm)	8
49" – 60"	1/2" (13 mm)	10
61" – 100"	5/8" (16 mm)	12

Tabla 7.5.2.3.3.A – Diámetros de varillas.

**Conclusión:** Por tabla, el diámetro de las varillas es de **3/8 plg** y el número mínimo de las mismas es de **4**.

#### 5.5.2.3.4 TAPAS.

Los elementos utilizados en los cabezales tanto de entrada como de retorno (o salida), a fin de proporcionar el cierre en los extremos del cambiador de calor, pueden ser de dos tipos; Tapas Abombadas y Tapas Planas, las cuales se han de seleccionar en función de las características propias de cada una de ellas o bien de acuerdo con el tipo de tapa requerida por el cambiador que se esté diseñando, tomando en consideración las condiciones de servicio.

Dentro de la clasificación de Tapas Abombadas se presentan las llamadas Toriesferica y Semielípticas, ambas soldables al cuerpo cilíndrico de los cabezales en el extremo de la ceja recta con que cuentan y siendo por consecuencia, elementos no desmontables.

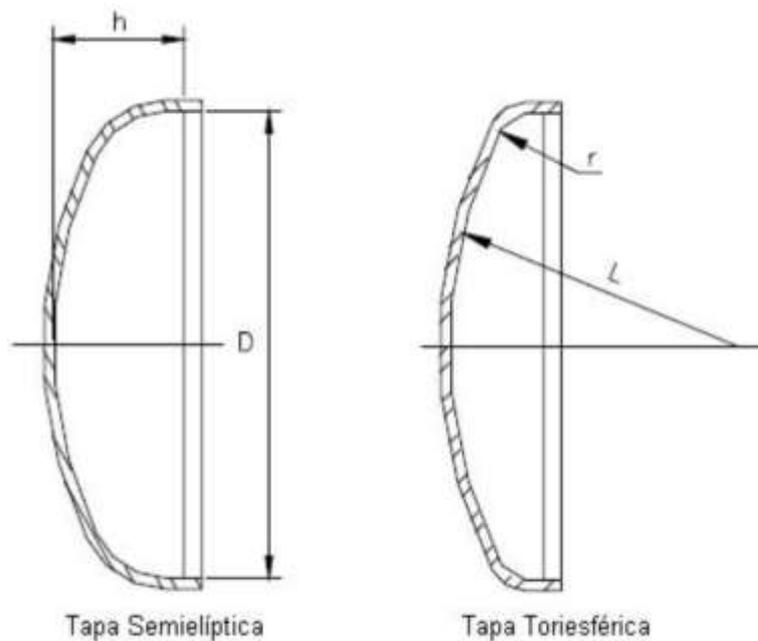


Tabla 7.5.2.3.4.A -Tapas abombadas.

- **Tapa tori esférica ASME.**

Este tipo de tapas son las que tienen más aceptación en la industria debido a que su costo es bajo, soportando altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de corona es igual al diámetro interior del cabezal, mientras que el radio interior de la rodilla es el 6% del diámetro interior del cabezal. El espesor requerido para este tipo de tapas, debé determinarse por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{0,885 P L}{SE - 0,1P}$$

donde:

- P: Presión interna de Diseño
- L: Radio de la corona
- D: Diámetro interior del borde de la tapa
- S: Esfuerzo máximo permisible del material de la tapa
- E: Eficiencia de la junta. E=1, para cabezas sin costura.

$$t = \frac{0,885 * 20,30\text{psi} * 14\text{plg}}{17100\text{psi} * 1 - 0,1 * 20,30 \text{ psi}}$$

$$t = 0,3736\text{mm}$$

**Conclusión:** Se toma como base el espesor de 0,3736 mm y se le suma 3mm por efectos de corrosión, 3,3736 mm, pero comercialmente el mínimo espesor recomendado por T.E.M.A para intercambiadores C o B deberá ser de **4,7625 mm (3/16 in)**.

#### 5.5.2.3.5 ACOPLERES.

Las bridas son elementos de unión. Todos los tubos del intercambiador tienen bridas junto con la carcasa y los cabezales. Existen varios tipos de bridas en función de la forma, tamaño, uso y la presión nominal.

Las bridas se han seleccionado por catálogo, de acero al carbono, bajo la norma NACE MR 175 de 150 Lbs que es la mínima que se encontró en el mercado. Puesto que la presión de diseño es mucho menor, se ha omitido el diseño de los acoples. Las medidas de la brida seleccionada se muestran a continuación:

#### BRIDAS LAP JOINT 150LBS ACERO CARBONO

BRIDA LJ		Rating: 150LBS
Especificaciones		
Material	Acero carbono ASTM A105	
Normativa	NACE MR 0175	
Notas:		
Consultar acabados RTJ u otras especialidades.		
Bridas 600 a 2500 LBS, consultar Normas API 605, BS 3290 o MS SP-44, consultar		

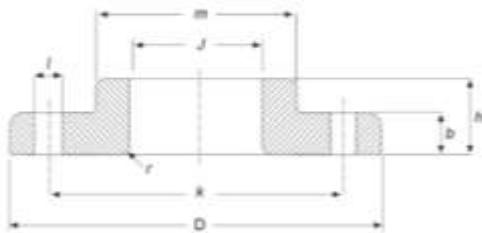


Figura 7.5.2.3.5.A Bridas Lap Joint 150 LBS Acero Carbono

**BRIDA LJ 150LBS**

Código	DN	D	b	r	m	J	h	k	N° tal.	l	Peso (kg)
-	1/2"	86,9	11,1	3,2	30,2	22,9	15,9	60,3	4	15,9	0,5
-	3/4"	98,4	12,7	3,2	38,1	26,2	15,9	69,6	4	15,9	0,9
-	1"	107,9	14,3	3,2	49,2	35,05	17,5	79,4	4	15,9	0,9
-	1.1/4"	117,5	15,9	4,8	56,8	43,7	20,6	88,9	4	15,9	1,4
-	1.1/2"	127,0	17,5	6,35	65,1	50,0	22,2	98,4	4	15,9	1,4
-	2"	152,4	19,0	7,9	77,8	62,5	25,4	120,6	4	19,0	2,3
-	2.1/2"	177,8	22,2	7,9	90,5	75,4	28,6	139,7	4	19,0	3,2
-	3"	190,5	23,8	9,5	107,9	91,4	30,2	152,4	4	19,0	3,6
-	3.1/2"	215,9	23,8	9,5	122,2	104,1	31,7	177,8	8	19,0	5
-	4"	228,6	23,8	11,1	134,9	116,8	33,3	190,5	8	19,0	5,9
-	5"	254,0	23,8	11,1	163,5	144,5	36,5	215,9	8	22,2	6,8
-	6"	279,4	25,4	12,7	192,1	171,45	39,7	241,3	8	22,2	8,8
-	8"	342,9	28,6	12,7	246,1	222,25	44,4	298,4	8	22,2	13,6
-	10"	406,4	30,2	12,7	304,8	277,4	49,2	361,9	12	25,4	18,5
-	12"	482,6	31,7	12,7	365,1	328,2	55,8	431,8	12	25,5	29,0
-	14"	533,4	34,9	12,7	400,0	360,2	79,4	476,2	12	28,6	47,8
-	16"	596,9	36,5	12,7	457,2	411,2	87,3	539,7	16	28,6	63,5
-	18"	635,0	39,7	12,7	504,8	462,3	96,8	577,8	16	31,7	72,6
-	20"	698,5	42,9	12,7	558,8	514,35	103,2	635,0	20	31,7	88,5
-	22"	749,3	46,0	12,7	609,6	565,2	108,0	692,1	20	34,9	111,2
-	24"	812,8	47,6	12,7	663,8	615,95	111,1	749,3	20	34,9	125,0

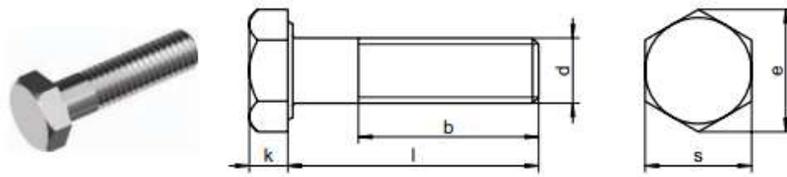
**Figura 7.5.2.3.5.B Bidas LAP Joint 150 LBS Acero Carbono**

**5.5.2.3.6 TORNILLOS MÉTRICOS Y TUERCAS.**

- **Tornillo métrico.** El tornillo métrico es una pieza que va encajada, frecuentemente, en los agujeros de las bridas. En su parte cilíndrica se desarrolla una hendidura en forma helicoidal, con un determinado paso de hélice, hasta una distancia menor a la longitud total del cilindro macizo.

Como puede observarse en la tabla siguiente proporcionada por un catálogo:

**DIN 931 - Página 1** - sim. ISO 4014  
**Tornillo de cabeza hexagonal**  
 rosca parcial



	b≤125	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	72	78
b>125	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	78	84	
s	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55	
k min.	3,35	3,85	5,15	6,22	7,32	8,62	9,82	11,28	12,28	13,78	14,78	16,65	18,28	20,58	22,08	
e	8,79	11,05	14,38	18,90	21,10	24,49	26,75	30,14	33,53	35,72	39,98	45,2	50,85	55,37	60,79	
●	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55	
Long. / Ø	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	
25	▲	▲														
30	▲	▲	▲													
35	▲	▲	▲	▲												
40	▲	▲	▲	▲	▲											
45	▲	▲	▲	▲	▲	▲										
50	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲									
55	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲								
60	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲							
65	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲						
70	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲					
75	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
80	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
85	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		
90	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
95	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
100	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
110		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
120		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
130		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
140		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
150		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
160		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
170		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

Figura 7.5.2.3.6.A Catálogo tornillos.

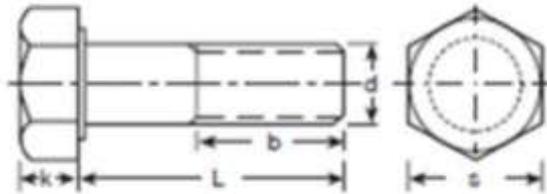
Debido a que los agujeros de las bridas son de 28,6 mm, el diámetro más aproximado de tornillo que tendríamos sería M27

Para el cálculo de longitud, consideramos:

<b>Espesor de brida (b)</b>	34,9	mm
<b>L para unir dos bridas</b>	69,8	mm
<b>Espesor de tuerca (H)</b>	22	mm
<b>Longitud necesaria</b>	91,8	mm
<b>Longitud establecida</b>	95	mm

Resumiendo, las medidas serían:

MEDIDA	M27
L	95
b	60
k	13
s	30

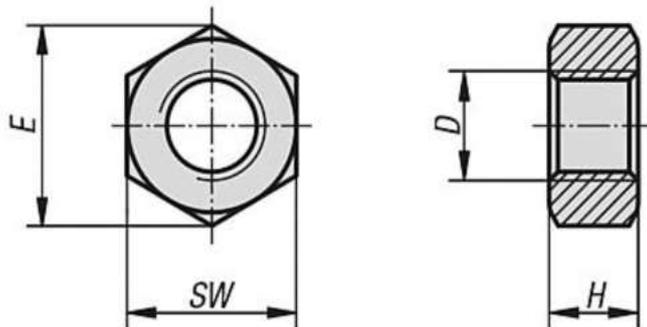


- **Tuerca.** Las tuercas son elementos que fijan los tornillos métricos por medio de apriete desplazándose por la guía generada por las hendiduras propias y las generadas en estos tornillos específicos.

▼ Selección/filtro de artículos										
Referencia	Material del cuerpo de base	Clase de resistencia	D	E	H	SW	CAD	Acc.	Precio	Pedir
07210-103	acero inoxidable	70	M3	6,01	2,4	5,5			0,12 €	<input type="text" value="0"/>
07210-104	acero inoxidable	70	M4	7,66	3,2	7			0,12 €	<input type="text" value="0"/>
07210-105	acero inoxidable	70	M5	8,79	4	8			0,12 €	<input type="text" value="0"/>
07210-106	acero inoxidable	70	M6	11,05	5	10			0,12 €	<input type="text" value="0"/>
07210-108	acero inoxidable	70	M8	14,38	6,5	13			0,18 €	<input type="text" value="0"/>
07210-110	acero inoxidable	70	M10	18,9	8	17			0,32 €	<input type="text" value="0"/>
07210-112	acero inoxidable	70	M12	21,1	10	19			0,45 €	<input type="text" value="0"/>
07210-114	acero inoxidable	70	M14	23,9	11	22			0,69 €	<input type="text" value="0"/>
07210-116	acero inoxidable	70	M16	26,76	13	24			0,74 €	<input type="text" value="0"/>
07210-120	acero inoxidable	70	M20	32,95	16	30			1,30 €	<input type="text" value="0"/>
07210-122	acero inoxidable	70	M22	35	18	32			2,36 €	<input type="text" value="0"/>
07210-124	acero inoxidable	70	M24	39,6	19	36			2,63 €	<input type="text" value="0"/>
07210-127	acero inoxidable	70	M27	45,2	22	41			3,73 €	<input type="text" value="0"/>
07210-130	acero inoxidable	70	M30	50,9	24	46			6,15 €	<input type="text" value="0"/>
07210-133	acero inoxidable	70	M33	55,4	26	50			7,62 €	<input type="text" value="0"/>
07210-136	acero inoxidable	70	M36	60,8	29	55			9,75 €	<input type="text" value="0"/>

Figura 7.5.2.3.6.B Catálogo tuercas.

A modo de resumen, las medidas de la tuerca serían:



REFERENCIA	MATERIAL	CLASE DE RESISTENCIA	D	E	H	SW
<b>07210-120</b>	Acero inoxidable	70	M27	45,2	22	41

#### 5.5.2.3.7 BOQUILLAS.

En un intercambiador de calor de coraza y tubos se presenta la circulación de dos fluidos dentro del mismo, para lo cual será indispensable conectar al equipo tuberías de alimentación y descarga para tales fluidos, por medio de las llamadas boquillas, constituidas por un tubo soldado en un extremo al intercambiador y bridado en el otro a fin de poder efectuar la conexión.

El control del proceso que se lleva a cabo en los equipos de transmisión térmica es tan indispensable que hace necesaria la instalación de termómetros y manómetros para la medición de las temperaturas y presiones respectivamente. La instalación de estos instrumentos de medición se hace en las boquillas de entrada y salida del equipo por ser estos los puntos en que más interesa conocer las condiciones del proceso.

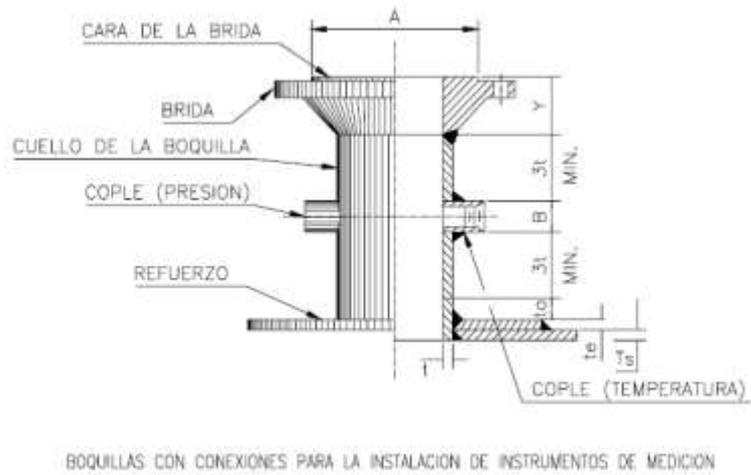


Figura 7.5.2.3.7.A – Boquilla con conexión para instalación de instrumentos de medición.

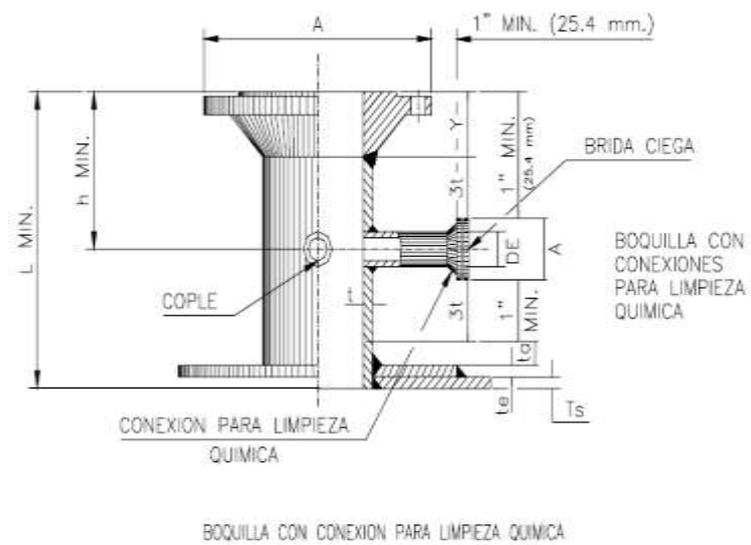


Figura 7.5.2.3.7.B – Boquilla con conexión para limpieza química.

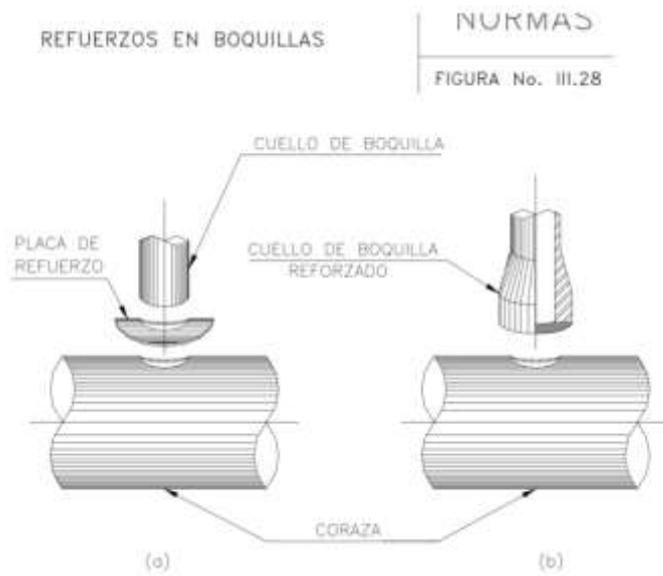


Figura 7.5.2.3.7.C – Refuerzos en boquillas.

- **Espesor de boquilla-entrada de vapor.**

DATOS DE PARTIDA			
Variable	Descripción	Valor	Unidad
<b>Vvp</b>	Velocidad de vapor	30	m/s
<b>Mvp</b>	Caudal de vapor	0,689	m <sup>3</sup> /s
<b>Af</b>	Área de flujo	0,023	m <sup>2</sup>

$$D = \left( \frac{4 \cdot Af}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = \left( \frac{4 \cdot 0,023 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = 6,73 \text{ plg}$$

- **Dimensiones de las boquillas.**

DIÁMETRO DE BOQUILLAS			
Corrientes	Nombre	Entrada	Salida
Vapor	<b>S1</b>	6,73 plg	-
	<b>S2</b>	-	2 plg
Líquido	<b>T1</b>	4 plg	-
	<b>T2</b>	-	4 plg

### 5.5.2.3.8 PLACA SOPORTE Y DEFLECTORES.

El espesor mínimo que se debe colocar en función del diámetro de la coraza y de la separación máxima entre deflectores está determinado por la siguiente tabla:

Diámetro Nominal del Casco	Espesor de la Placa					
	Longitud sin Soporte entre baffles centrales.					
	< 305	305-610	610-914	914-1219	1219-1524	> 1524
152-356	1/16"	1/8" (3.2)	3/16" (4.8)	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	3/8" (9.5)
381-711	1/8" (3.2)	3/16" (4.8)	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)
737-965	3/16" (4.8)	1/4" (6.4)	5/16" (7.5)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)	5/8" (15.9)
991-1524	1/4" (6.4)	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)	5/8" (15.9)	5/8" (15.9)
1549-2540	1/4" (6.4)	3/8" (9.5)	1/2" (12.7)	5/8" (15.9)	3/4" (19.1)	3/4" (19.1)

Tabla 7.5.2.3.8.A – Espesor del deflector y la placa soporte para intercambiadores clase C o B.

**Conclusión:** El espesor mínimo para la placa soporte y los deflectores es de **1/16 plg**, ya que el espesor de la coraza se encuentra entre 152-356mm y la longitud de los deflectores es < 305 mm.

## 5.6 Cañerías e instrumentación, diagrama PID

### 5.6.1 Introducción

El control automático y la instrumentación son piezas fundamentales de la eficiencia del proceso ya que permiten garantizar principalmente las especificaciones del producto de interés y adicionalmente mantener los parámetros óptimos de proceso para no comprometer la seguridad del mismo ni de las personas. Los sistemas controlados automáticamente nos brindan la posibilidad de obtener un correcto balance entre la viabilidad económica del proyecto y los objetivos técnicos del proceso; especialmente en una planta química de gran complejidad como esta. Para poder lograr esto, se debe realizar el correcto diseño de control teniendo en cuenta las teorías necesarias para la selección y sintonización de los controladores, y a su vez tener un buen conocimiento sobre el proceso, para saber minimizar las variables a controlar sin subdimensionar el sistema.

El propósito es mantener un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con un set point definido y en función de la diferencia utilizar la misma para reducirla. Este accionar tiene como resultado un estricto control de las variables del proceso, eliminando o reduciendo errores, con el consecuente aumento en la calidad, cantidad y uniformidad en la producción.

---

### 5.6.1.1 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

La implantación de sistemas de control en un proceso persigue diversos objetivos (algunos ya mencionados), no siempre relacionados entre sí, si bien su finalidad es la máxima optimización del proceso controlado.

Los principales objetivos suelen ser:

**Reducción de accidentes y deterioro en los equipos:** monitoreando ciertas variables se puede evitar el deterioro excesivo de equipos, previniendo posibles accidentes con los mismos que pongan en riesgo la seguridad general de la planta, tanto de los operarios como del proceso en sí.

**Control de la producción:** nos permite un ajuste de la producción según la demanda actual del mercado de manera sencilla.

**Pureza del producto:** es posible regular la composición final del producto manipulando parámetros de operación de planta.

**Reducción del impacto ambiental:** en función de la concentración de las emisiones liberadas se pueden ajustar diversos parámetros para conseguir que las mismas se encuentren dentro de los límites requeridos legalmente.

**Disminuir costos:** al eliminar la mano de obra pasiva y optimizar el proceso variando las condiciones de operación se puede reducir el costo de este.

**Monitorización general del proceso:** al poder conocer en tiempo real el estado de cada etapa del proceso, disponemos de una herramienta muy útil ya que nos permite, por ejemplo, hacer una comparativa entre valores actuales e históricos para evaluar el rendimiento de determinado proceso o equipo.

---

### 5.6.1.2 TIPOS DE CONTROL

Sistema de control de lazo abierto: es cuando el sistema de control utiliza la información de la entrada para realizar una acción de control, sin tomar en cuenta el valor de la variable controlada. Se puede esquematizar en el siguiente diagrama de bloques:



Diagrama de bloques típico de un sistema de control de lazo abierto

Sistema de control de lazo cerrado (retroalimentado): es cuando la variable controlada se compara continuamente con la señal de referencia y cualquier diferencia produce una acción que tiende a reducir la desviación existente. En otras palabras, la acción de control realizada por el sistema de control depende del valor de la variable controlada en todo instante, por lo tanto, también toma el nombre de control dinámico. Esto se puede representar en forma de un diagrama de bloques que muestra la interacción lógica de los elementos que conforman un sistema de control retroalimentado.

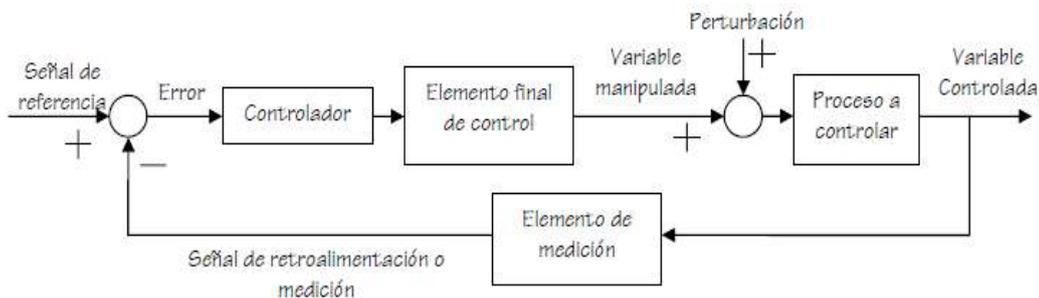


Diagrama de bloques típico de un sistema de control retroalimentado

La tarea del sistema de control es la de determinar y actualizar continuamente la posición de la válvula o el elemento final a medida que cambian las perturbaciones.

### 5.6.1.3 ELEMENTOS DE CONTROL

**Elemento primario:** Su función es la de detectar inicialmente el valor de una variable durante el proceso operativo, por ende, deben mantener un continuo contacto con las diversas propiedades que puedan estar sujetas a cambio en el sistema (presión, fuerza, posición, medida eléctrica, entre otras), todo ello por medio de la utilización o absorción de la energía del medio controlado, para dar al medio de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada.

**Transmisor:** Capta la variable del proceso a través del elemento primario y, como su nombre lo indica, la transmite a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos. Existen varios tipos de señales de transmisión, de las cuales las señales neumáticas, electrónicas y digitales son las más empleadas en la industria.

**Controlador:** tiene como función asegurar que el valor de la señal tenga un valor cercano al set point. Para ello, se compara el valor de la señal con el de la consigna y actúa en función del error, para neutralizarlo, emitiendo una señal de control denominada “acción de control”. Los diferentes tipos de acciones de control son las siguientes:

**Proporcional (P):** el controlador produce una señal de salida proporcional al error. Como ventaja se destaca la simplicidad, buena estabilidad y respuesta rápida; sin embargo, la acción proporcional tiene 2 desventajas. El offset (debido a que la acción es proporcional al error) y el overshoot (causado por el tiempo significativo de oscilación).

**Integral (I):** da una respuesta proporcional a la integral del error eliminando el offset, pero se obtiene una mayor desviación del set point. La respuesta es más lenta y el periodo de oscilación es mayor que en el caso de la acción proporcional.

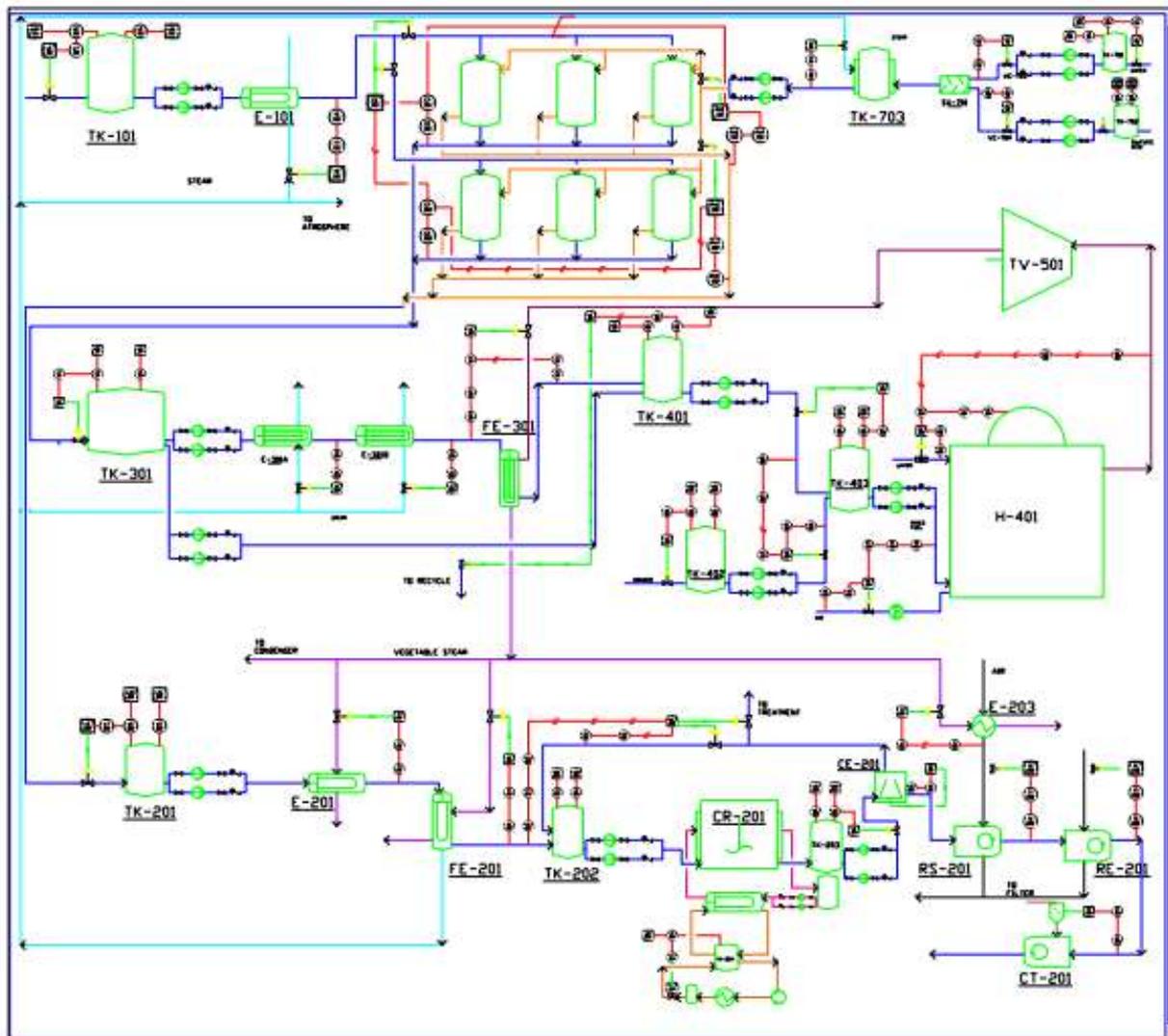
**Derivativo (D):** en esta caso la acción da una respuesta proporcional a la derivada del error (velocidad de cambio del error). Añadiendo esta acción de control a las anteriores se elimina el exceso de oscilaciones, reduciendo además el offset.

**Elemento final de control:** es el encargado de realizar la acción de control modificando la variable manipulada, pueden ser válvulas de accionamiento neumático o eléctrico, entre muchos otros.

---

### 5.6.2 Controladores y alarmas

Como resultado de lo anteriormente mencionado el plano resultante de la planta de producción de sulfato de potasio y energía resulta:



## 5.6.2.1 ZONA 100: ALMACENAMIENTO Y PRECALENTADO DE VINAZA

### 5.6.2.1.1 CONTROLADORES

#### LC-101

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de vinaza cruda del tanque TK-101.

**Variable manipulada:** Caudal de vinaza cruda de entrada al TK-101.

**Set point:** 5,4 m (56% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

## TC-101

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de salida de la vinaza cruda del intercambiador E-101.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor de entrada al intercambiador E-101.

**Set point:** 40°C.

**Precisión:** +/- 5°C.

### 5.6.2.1.2 ALARMAS

## LAH-101

**Descripción:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de la vinaza cruda.

**Set point:** 2,4 m (80% del tanque lleno).

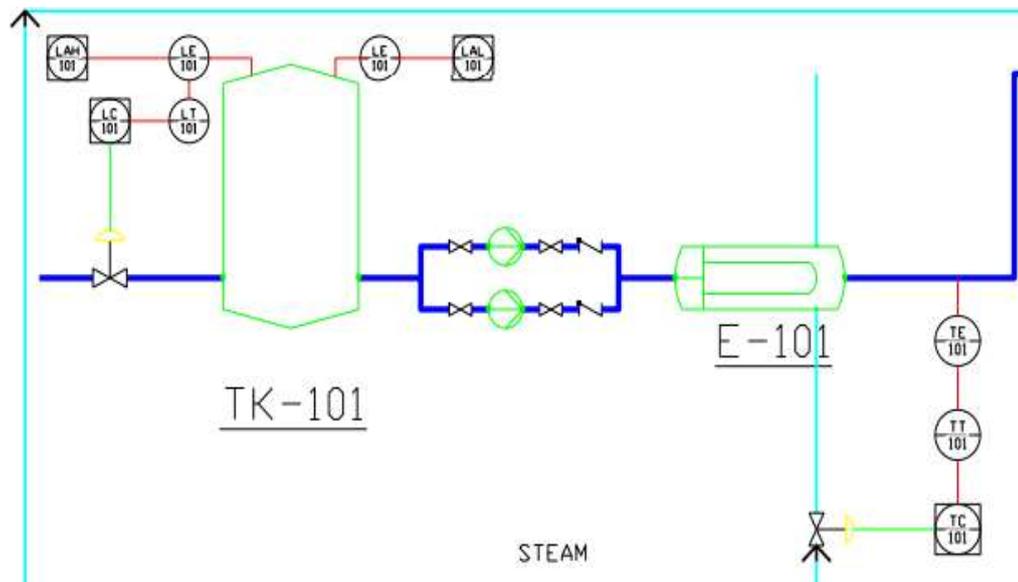
**Precisión:** +/- 1 m.

## LAZO LAL-101

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de vinaza cruda.

**Set point:** 9,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
LC-101	Control de nivel	Flotador	Inversa
TC-101	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
LAH-101	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-101	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-

## 5.6.2.2 ZONA 700: ALMACENAMIENTO Y PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN REGENERANTE

### 5.6.2.2.1 CONTROLADORES

#### LC-701

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de agua desmineralizada en el tanque TK-701.

**Variable manipulada:** Caudal de agua desmineralizada de entrada al TK-701.

**Set point:** 2,8 m (50% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

#### FC-701

**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Caudal de agua desmineralizada a la entrada del mezclador estático SX-701.

**Variable manipulada:** Apertura de la válvula de control VC-703.

**Set point:** 6650 kg/h.

**Precisión:** +/- 650 kg/h.

#### FC-702

**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Caudal de ácido sulfúrico a la entrada del mezclador estático SX-701.

**Variable manipulada:** Apertura de la válvula de control VC-704.

**Set point:** 270 kg/h.

**Precisión:** +/- 30 kg/h.

## TC-701

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de la solución regenerante a la salida del tanque de pulmón TK-703.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor de agua a la entrada de la chaqueta del tanque TK-703.

**Set point:** 40 °C.

**Precisión:** +/- 5 °C.

### 5.6.2.2.2 ALARMAS

---

## LAH-701

---

**Descripción:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de agua desmineralizada.

**Set point:** 1,1 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 0,5 m.

## LAL-701

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de agua desmineralizada.

**Set point:** 4,4 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 0,5 m.

## LAH-702

---

**Descripción:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico.

**Set point:** 1,1 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 0,5 m.

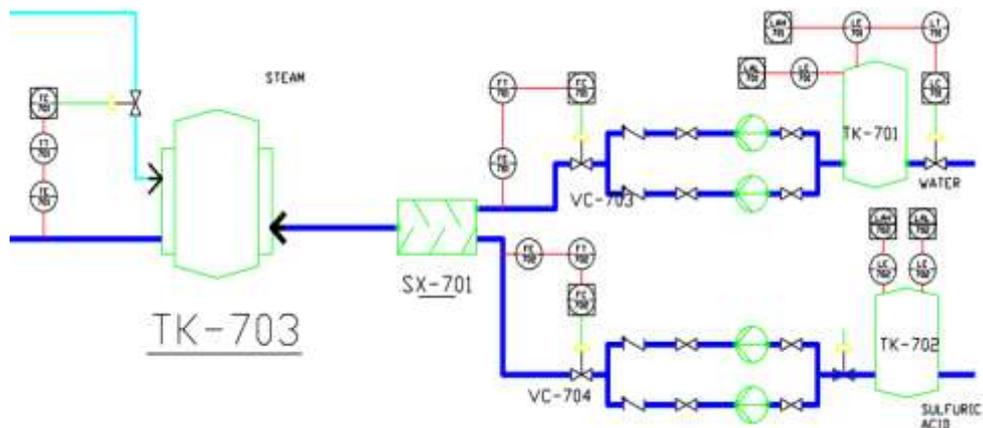
## LAL-702

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico.

**Set point:** 4,4 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 0,5 m.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
LC-701	Control de nivel	Flotador	Inversa
FC-701	Control de flujo	Sensor magnético	Inversa
FC-702	Control de flujo	Sensor magnético	Inversa
TC-701	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
LAH-701	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-701	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-
LAH-702	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-702	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-

### 5.6.2.3 ZONA DE REGENERACIÓN

#### 5.6.2.3.1 CONTROLADORES

##### CC-101

**Descripción:** Control de conductividad.

**Variable controlada:** Conductividad de la vinaza sin potasio a la salida de las resinas.

**Variable manipulada:** Caudal de vinaza de entrada a las resinas.

**Set point:** 17 mS/cm.

**Precisión:** +/- 3 mS/cm.

##### PHC-101

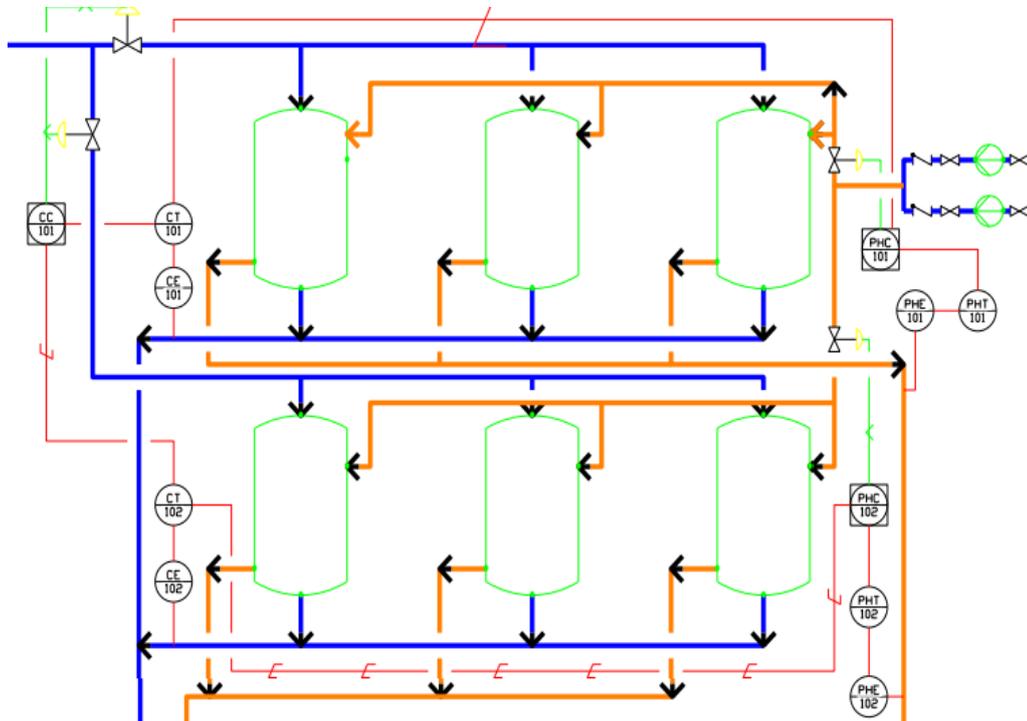
**Descripción:** Control de pH.

**Variable controlada:** pH de la solución madre a la salida de las resinas.

**Variable manipulada:** Caudal de solución regenerante de entrada a las resinas.

**Set point:** 0,4.

Precisión: +/- 0,05.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
CC-101	Control de conductividad	Flotador	Inversa
PHC-101	Control de pH	Termocupla	Inversa

#### 5.6.2.4 ZONA 300: PRECALENTAMIENTO Y EVAPORACIÓN DE LA VINAZA SIN POTASIO

##### 5.6.2.4.1 CONTROLADORES

###### LC-301

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de vinaza sin potasio en TK 301.

**Variable manipulada:** Caudal de vinaza sin potasio de entrada al TK 301.

**Set point:** 5,4 m (56% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

###### TC-301A

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de la vinaza sin potasio a la salida del primer precalentador E-301A.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor de agua de entrada al precalentador E-301A.

**Set point:** 72°C.

**Precisión:** +/- 5°C.

#### TC-301B

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de la vinaza sin potasio a la salida del segundo precalentador E-301B.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor de agua de entrada al precalentador E-301B.

**Set point:** 90°C.

**Precisión:** +/- 2°C.

#### TC-302

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de la vinaza concentrada a la salida del evaporador FE-301

**Variable manipulada:** Caudal de vapor de agua de entrada al evaporador FE-301.

**Set point:** 121°C.

**Precisión:** +/- 5°C.

### 5.6.2.4.2 ALARMAS

---

#### LAH-301

---

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de vinaza sin potasio.

**Set point:** 4,4 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 0,5 m.

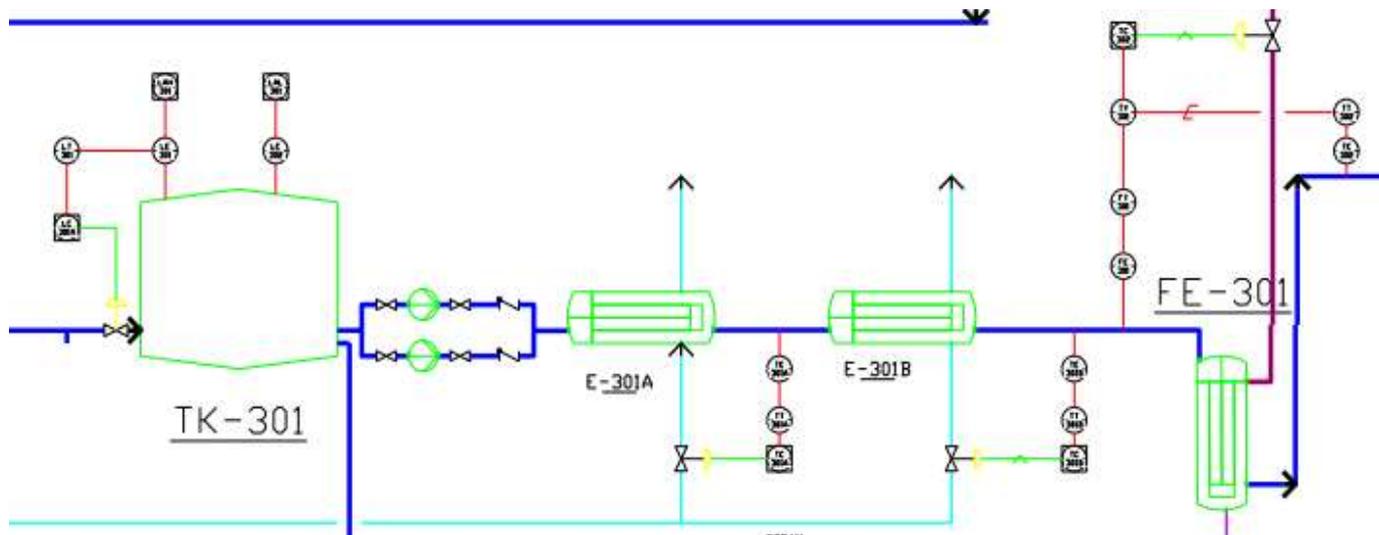
#### LAL-301

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de vinaza sin potasio.

**Set point:** 1,1 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 0,5 m.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
LC-301	Control de nivel	Flotador	Inversa
TC-301A	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
TC-301B	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
TC-302	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
LAH-701	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-701	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-

## 5.6.2.5 ZONA 400: COMBUSTIÓN DE LA VINAZA Y BAGAZO

### 5.6.2.5.1 CONTROLADORES

#### LC-401

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de vinaza en TK 401.

**Variable manipulada:** Caudal de vinaza sin potasio (pero no concentrada) de entrada al TK 401.

**Set point:** 4,5 m (63% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

#### LC-402

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de bagazo en TK 402.

**Variable manipulada:** Caudal de bagazo de entrada al TK 402.

**Set point:** 2,6 m (65% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

#### LC-403

---

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de mezcla combustible en TK 403.

**Variable manipulada:** Caudal de vinaza de entrada al TK 403.

**Set point:** 6 m (51% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

#### FC-402

---

**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Nivel de mezcla combustible en TK 403.

**Variable manipulada:** Caudal de bagazo de entrada al TK 403.

**Set point:** 15300 kg/h.

**Precisión:** +/- 3000 kg/h.

#### FC-404

---

**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Exceso de aire de alimentación a la caldera.

**Variable manipulada:** Caudal de aire de entrada a la caldera.

**Set point:** 20%.

**Precisión:** +/- 5%.

#### FC-405

---

**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Caudal de vapor producido en la caldera.

**Variable manipulada:** Caudal de agua de alimentación a la caldera.

**Set point:** 43000 kg/h.

**Precisión:** +/- 2000 kg/h.

#### 5.6.2.5.2 ALARMAS

---

##### LAH-401

---

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de vinaza pre-caldera.

**Set point:** 2,3 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

##### LAL-401

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de vinaza pre-caldera.

**Set point:** 8,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

##### LAH-402

---

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de bagazo.

**Set point:** 1,5 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

##### LAL-402

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de bagazo.

**Set point:** 5,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

##### LAH-403

---

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de mezcla combustible.

**Set point:** 2,5 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

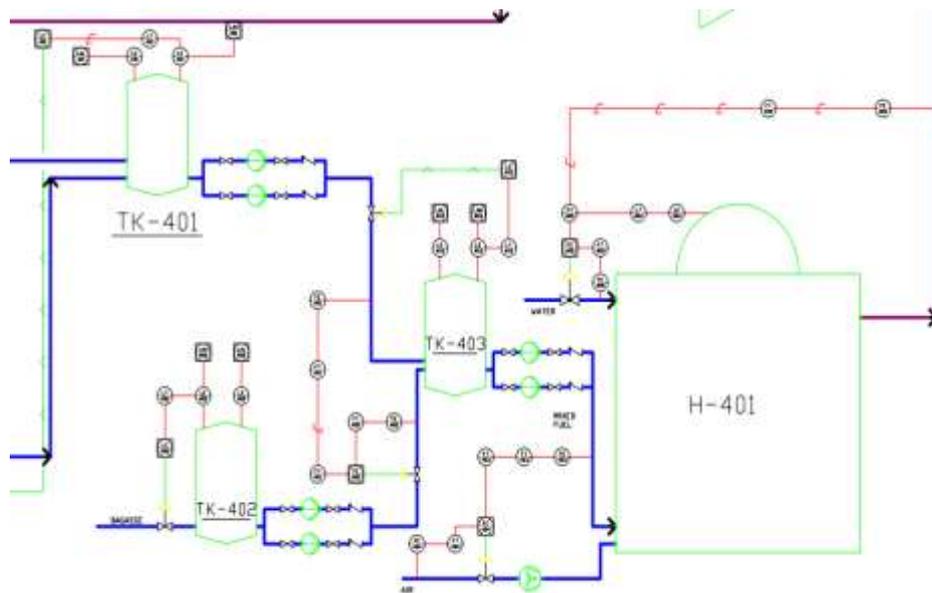
##### LAL-403

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de mezcla combustible.

**Set point:** 9,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
LC-401	Control de nivel	Flotador	Inversa
LC-402	Control de nivel	Flotador	Inversa
LC-403	Control de nivel	Flotador	Inversa
FC-402	Control de flujo	Sensor magnético	Directa
FC-404	Control de flujo	Sensor magnético	Inversa
FC-405	Control de flujo	Sensor magnético	Directa
LAH-401	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-401	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-
LAH-402	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-402	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-
LAH-403	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-403	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-

## 5.6.2.6 ZONA 200: PRECALENTAMIENTO DE LA SOLUCIÓN MADRE

### 5.6.2.6.1 CONTROLADORES

#### LC-201

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de solución madre en TK 201.

**Variable manipulada:** Caudal de solución madre de entrada al TK 201.

**Set point:** 4,7 m (62% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

## TC-201

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de salida de la solución madre del precalentador E-201.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor vegetal de entrada al precalentador E-201.

**Set point:** 95°C.

**Precisión:** +/- 5 °C.

### 5.6.2.6.2 ALARMAS

## LAH-201

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de solución madre.

**Set point:** 2,5 m (80% del tanque lleno).

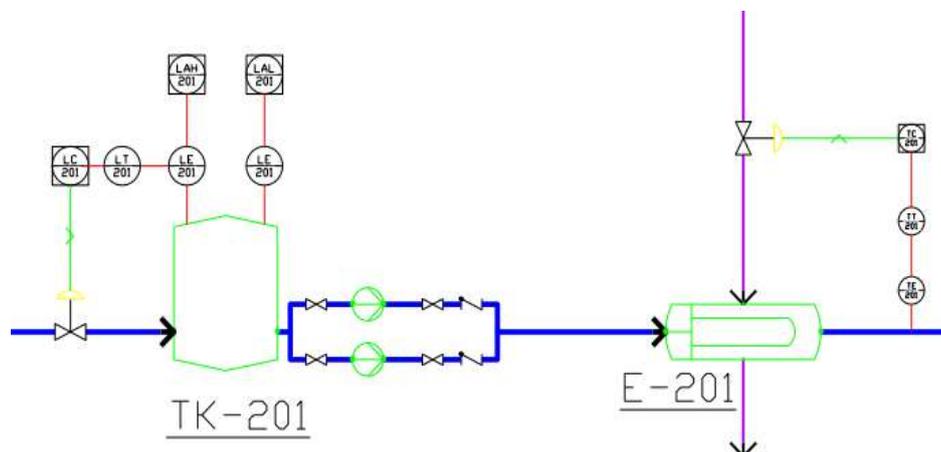
**Precisión:** +/- 1 m.

## LAL-201

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de solución madre.

**Set point:** 9,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
LC-201	Control de nivel	Flotador	Inversa
TC-201	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
LAH-201	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-201	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-

---

## 5.6.2.7 ZONA 200: EVAPORACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE Y CRISTALIZACIÓN DE SULFATO DE POTASIO

### 5.6.2.7.1 CONTROLADORES

---

#### TC-202

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de salida de la solución madre concentrada del evaporador FE-201.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor vegetal de entrada al evaporador FE-201.

**Set point:** 110,3°C.

**Precisión:** +/- 2°C.

#### FC-202

---

**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Caudal de solución madre de entrada al TK-202.

**Variable manipulada:** Caudal de solución madre que se recircula al TK-202.

**Set point:** 43000 kg/h.

**Precisión:** +/- 2000 kg/h.

#### LC-203

---

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de solución madre y sulfato de potasio cristalizado a la entrada del TK-203.

**Variable manipulada:** Caudal de solución madre y sulfato de potasio de entrada al TK-203.

**Set point:** 5 m (59% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

#### LC-204

---

**Descripción:** Control de nivel.

**Variable controlada:** Nivel de refrigerante en TK-204.

**Variable manipulada:** Caudal de refrigerante de entrada al TK-204.

**Set point:** 5,5 m (65% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

#### 5.6.2.7.2 ALARMAS

---

##### LAH-203

---

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de solución madre y sulfato de potasio cristalizado.

**Set point:** 2,4 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

##### LAL-203

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de solución madre y sulfato de potasio cristalizado.

**Set point:** 9,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

##### LAH-204

---

**Nombre:** Alarma de alto nivel en el tanque de almacenamiento de refrigerante.

**Set point:** 2,4 m (80% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.

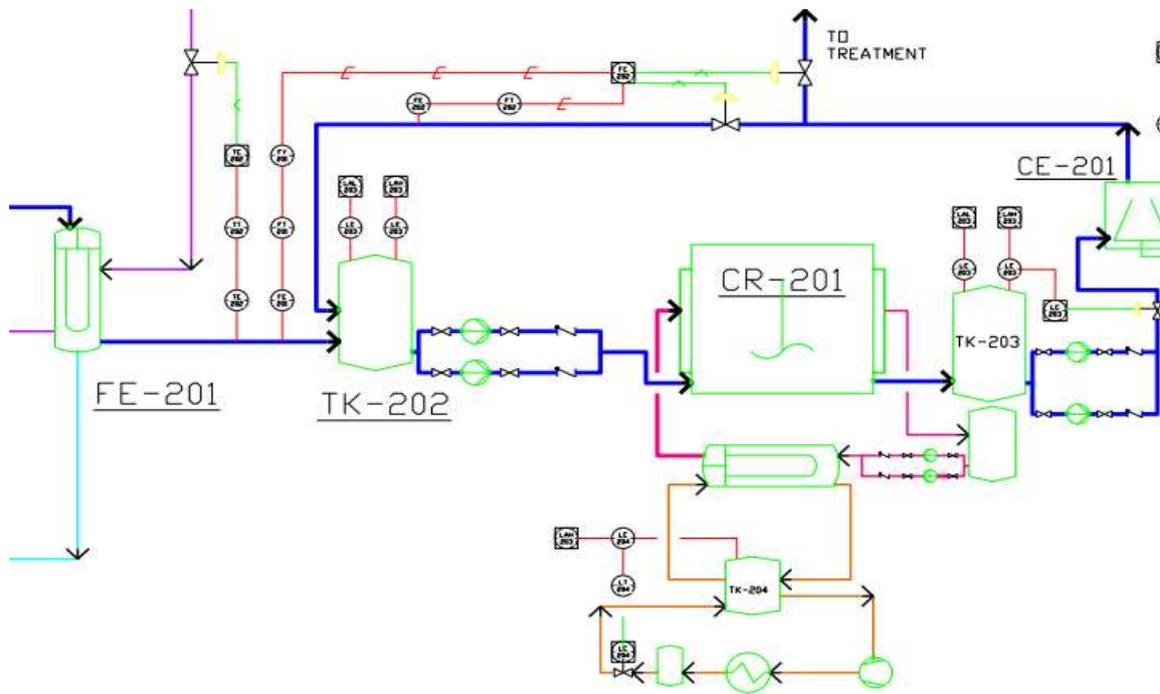
##### LAL-204

---

**Nombre:** Alarma de bajo nivel en el tanque de almacenamiento de refrigerante.

**Set point:** 9,8 m (20% del tanque lleno).

**Precisión:** +/- 1 m.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
TC-202	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
FC-202	Control de flujo	Sensor magnético	Directa
LC-203	Control de nivel	Flotador	Directa
LC-204	Control de nivel	Flotador	Inversa
LAH-203	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-203	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-
LAH-204	Alarma de alto nivel	Antena parabólica	-
LAL-204	Alarma de bajo nivel	Antena parabólica	-

## 5.6.2.8 ZONA 200: SEPARACIÓN Y ADECUACIÓN DE SÓLIDOS

### 5.6.2.8.1 CONTROLADORES

#### SC-201

**Descripción:** Control de velocidad.

**Variable controlada:** Velocidad de rotación de la centrífuga.

**Variable manipulada:** Potencia del motor.

**Set point:** 2000 rpm.

**Precisión:** +/- 500 rpm.

### TC-203

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura del aire de entrada al secador.

**Variable manipulada:** Caudal de vapor vegetal de entrada al precalentador E-203.

**Set point:** 115°C.

**Precisión:** +/- 5°C.

### TC-204

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de los cristales de sulfato de potasio a la salida del secador.

**Variable manipulada:** Caudal de aire caliente de entrada al secador RS-201.

**Set point:** 60°C.

**Precisión:** +/- 5°C.

### TC-205

---

**Descripción:** Control de temperatura.

**Variable controlada:** Temperatura de los cristales de sulfato de potasio a la salida del enfriador.

**Variable manipulada:** Caudal de aire frío de entrada al precalentador RE-201.

**Set point:** 25°C (temperatura ambiente).

**Precisión:** +/- 5°C.

### FC-203

---

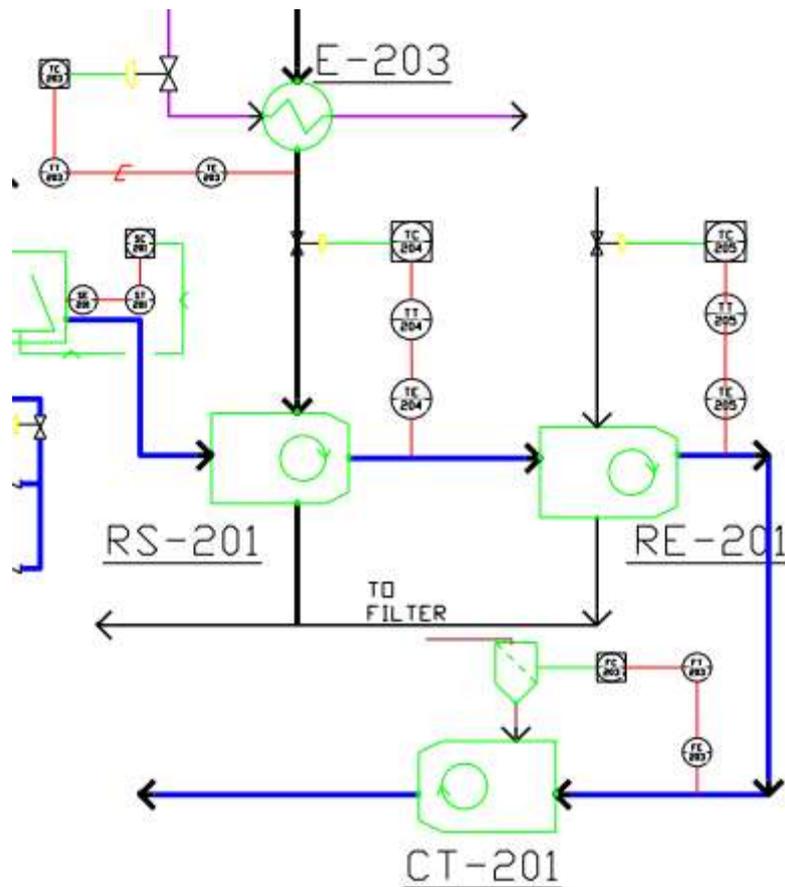
**Descripción:** Control de flujo.

**Variable controlada:** Pureza de los cristales de sulfato de potasio a la salida del tambor rotatorio.

**Variable manipulada:** Caudal de antiaglutinante inyectado desde la tolva dosificadora al tambor rotatorio CT-201.

**Set point:** 99,5%.

**Precisión:** +/- 0,5%.



TAG	Descripción	Detalle del elemento	Tipo de acción
SC-201	Control de velocidad	Tacómetro	Inversa
TC-203	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
TC-204	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
TC-205	Control de temperatura	Termocupla	Inversa
FC-203	Control de flujo	Sensor magnético	Inversa

## 5.7 Instrumentación

TAG	Descripción	Desde actual	Variable manipulada	Detalle del instrumento			Detalle del elemento	Alarma	Tipo de control
				Set Point	Precisión	Acción			
<b>Almacenado y precalentado de vinaza</b>									
LAI-101	Alarma de alto nivel	-	-	2,6 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-101	Alarma de bajo nivel	-	-	9,8 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-101	Control de nivel	VC-101	Apertura o cierre de la válvula	5,6 m	+/- 1 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
TC-101	Control de temperatura	VC-102	Caudal de vapor	80 °C	+/- 5°C	Abri/Cerrar	Termocupla	Fuera de rango	Inverso
<b>Regenerante</b>									
LAI-701	Alarma de alto nivel	-	-	4,6 m	+/- 0,5 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-701	Alarma de bajo nivel	-	-	1,1 m	+/- 0,5 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LAI-702	Alarma de alto nivel	-	-	1,1 m	+/- 0,5 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-702	Alarma de bajo nivel	-	-	4,6 m	+/- 0,5 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-701	Control de nivel	VC-701	Apertura o cierre de la válvula	2,8 m	+/- 0,5 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
LC-702	Control de nivel	VC-702	Apertura o cierre de la válvula	5 m	+/- 0,5 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Directo
FC-701	Control de flujo	VC-703	Apertura o cierre de la válvula	6850 kg/h	+/- 650kg/h	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Fuera de rango	Inverso
FC-702	Control de flujo	VC-704	Apertura o cierre de la válvula	270 kg/h	+/- 30 kg/h	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Fuera de rango	Inverso
<b>Intercambio térmico</b>									
CE-101	Control de conductividad	VC-103/VC-104	Apertura o cierre de la válvula	17 m S/cm	+/- 3 mS/cm	Abri/Cerrar	Electodo	Fuera de rango	Inverso
PHC-101	Control de pH	VC-105/VC-106	Apertura o cierre de la válvula	0,38	+/- 0,05	Abri/Cerrar	Electodo	Fuera de rango	Inverso
<b>Precalentamiento y evaporación de vinaza sin potasio</b>									
LAI-301	Alarma de alto nivel	-	-	2,6 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-301	Alarma de bajo nivel	-	-	9,8 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-301	Control de nivel	VC-300A/VC-300B	Apertura o cierre de la válvula	5,6 m	+/- 1 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
TC-301A	Control de temperatura	VC-301A	Caudal de vapor	72°C	+/- 5°C	Abri/Cerrar	Termocupla	Fuera de rango	Inverso
TC-301B	Control de temperatura	VC-301B	Caudal de vapor	80°C	+/- 5°C	Abri/Cerrar	Termocupla	Fuera de rango	Inverso
TC-302	Control de temperatura	VC-302	Caudal de vapor	123°C	+/- 5°C	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Fuera de rango	Inverso
<b>Combustión de la vinaza y bagazo</b>									
LAI-401	Alarma de alto nivel	-	-	2,3 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-401	Alarma de bajo nivel	-	-	8,8 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-401	Control de nivel	VC-401	Apertura o cierre de la válvula	4,2 m	+/- 1 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
LAI-402	Alarma de alto nivel	-	-	1,5 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-402	Alarma de bajo nivel	-	-	5,8 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-402	Control de nivel	VC-402A	Apertura o cierre de la válvula	2,6 m	+/- 1 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
LAI-403	Alarma de alto nivel	-	-	2,5 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-403	Alarma de bajo nivel	-	-	9,8 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-403	Control de nivel	VC-403	Apertura o cierre de la válvula	5 m	+/- 1 m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
FC-402	Control de flujo	VC-402B	Apertura o cierre de la válvula	15300 kg/h	+/- 3000 kg/h	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Fuera de rango	Directo
FC-404	Control de flujo	VC-404	Caudal de aire	142000 kg/h	+/- 15000kg/h	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Fuera de rango	Inverso
FC-405	Control de flujo	VC-405	Apertura o cierre de la válvula	44000 kg/h	+/- 2000 kg/h	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Fuera de rango	Directo
<b>Precalentamiento y evaporación de solución madre</b>									
LAI-201	Alarma de alto nivel	-	-	2,5 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-201	Alarma de bajo nivel	-	-	9,8 m	+/- 1 m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-201	Control de nivel	VC-201	Apertura o cierre de la válvula	4,7 m	+/- 1 m	Abri/Cerrar	Flotador	Fuera de rango	Inverso
TC-201	Control de temperatura	VC-202A	Caudal de vapor	95°C	+/- 5°C	Abri/Cerrar	Termocupla	Fuera de rango	Inverso
<b>Distilación de sulfato de potasio</b>									
TC-202	Control de temperatura	VC-202B	Caudal de vapor	110,3	+/- 2°C	Abri/Cerrar	Termocupla	Fuera de rango	Inverso
FC-202	Control de flujo	VC-202A/VC-202B	Apertura o cierre de la válvula	0,95	+/- 0,1	Abri/Cerrar	Flotador	Fuera de parámetro	Directo
LAI-202	Alarma de alto nivel	-	-	2,6 m	+/- 1m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-202	Alarma de bajo nivel	-	-	9,8 m	+/- 1m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-202	Control de nivel	VC-204	Apertura o cierre de la válvula	5 m	+/- 1m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Directo
LAI-203	Alarma de alto nivel	-	-	2,6 m	+/- 1m	-	Antena parabólica	Alto nivel	-
LAI-203	Alarma de bajo nivel	-	-	9,8 m	+/- 1m	-	Antena parabólica	Bajo nivel	-
LC-203	Control de nivel	LC-204B	Apertura o cierre de la válvula	5,5 m	+/- 1m	Abri/Cerrar	Flotador	Alto nivel	Inverso
<b>Separación de xaridos con licor madre</b>									
SC-201	Velocidad de rotación	CE-201	Revoluciones por minuto	2000 rpm	+/- 500 rpm	Aumentar/Disminuir	Tachímetro	Fuera de rango	Inverso
<b>Sector de sólidos</b>									
TC-203	Control de temperatura	VC-205	Caudal de vapor	67°C	+/- 5°C	Abri/Cerrar	Termocupla	Fuera de rango	Inverso
FC-201	Control de flujo	TV-201	Caudal de antigelmante	8,8 kg/h	+/- 0,5 kg/h	Abri/Cerrar	Sensor magnético	Bajo nivel	Inverso

## 5.8 Layout

El principal motivo del arreglo de la planta es optimizar la distribución de equipos, recursos humanos, materiales y servicios auxiliares, de manera que el valor creado por el sistema de producción sea el máximo posible.

La distribución en planta es un proceso complejo, con numerosos factores implicados, cuyo resultado afecta directamente a los costos y a la productividad de la empresa, comprometiendo a esta a largo plazo en la mayoría de las ocasiones, de ahí su carácter estratégico.

Fijados los objetivos, se busca aquella distribución que los alcance más eficientemente, la cual queda determinada principalmente por la configuración productiva. La operación continua se corresponde con la distribución por producto, la operación por lote con la distribución por proceso y los proyectos con distribuciones por componente fijo.

Existen varias técnicas para determinar la distribución de planta. Se entiende a la planta como un sistema compuesto de departamentos individuales en interacción, que determinan la eficiencia en el cumplimiento de objetivos de la empresa. Se debe considerar primero el modo de combinar los departamentos productivos, y luego se agregan los departamentos de servicios y las oficinas correspondientes.

---

### 5.8.1 Objetivos y principios de la distribución de planta

Una buena distribución de planta es la que proporciona condiciones de trabajo aceptables y permite la operación más económica, a la vez que mantiene las condiciones óptimas de seguridad y bienestar de los trabajadores.

Se busca entonces:

- Integración total: de todos los factores implicados.
- Utilización del espacio cubico: Tener presente el espacio vertical.
- Seguridad y bienestar de los trabajadores.
- Flexibilidad: la distribución debe poder reajustarse fácilmente a cambios en el medio o en el proceso.

---

### 5.8.2 Tipos básicos de distribución

La distribución de planta afecta al manejo de los materiales, la utilización de los equipos, los niveles de inventario, la productividad de los trabajadores, e incluso la comunicación de grupo y la moral de los empleados.

Existen tres tipos básicos de distribución:

- **Disposición por componente principal fijo**

La materia prima no se desplaza en la fábrica, sino que permanece en un solo lugar, y por lo tanto los equipos necesarios se llevan hasta ella. Se emplea con productos voluminosos y pesados, con pocas unidades producidas por unidad de tiempo. Por ejemplo, buques y motores.

- **Disposición por proceso o función**

Todas las operaciones de la misma naturaleza están agrupadas. Este sistema se utiliza generalmente cuando se fabrica una amplia gama de productos con una misma maquinaria, en volúmenes relativamente pequeños. Por ejemplo, hilados, talleres de mantenimiento.

- **Disposición por producto o en línea**

También conocida como producción en Cadena, conlleva a ubicar todos los equipos necesarios para un determinado producto en la misma zona, ordenados de acuerdo con el proceso de fabricación. Se emplea en los casos de elevado volumen de producción, de poca variedad de productos estandarizados. Por ejemplo, embotellado de gaseosas, montaje de automóviles.

---

### 5.8.3 Métodos para determinar la distribución óptima

Los principales métodos son el de Diagrama por Recorrido, y el SLP.

- **MÉTODO DEL DIAGRAMA POR RECORRIDO**

Es un procedimiento iterativo que busca reducir al mínimo posible los flujos no adyacentes colocando en la posición central a los departamentos más activos. Se desarrolla una carta de recorridos para mostrar el número de movimientos efectuados entre departamentos, y así identificar a los más activos. La solución se logra por medio de una serie de pruebas usando círculos para denotar los departamentos y las líneas conectoras para representar las cargas transportadas. Se llaman departamentos adyacentes a los que en la distribución se encuentren juntos, arriba, abajo, a los lados o en diagonal.

- **SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING**

Este método propone distribuciones basándose en la conveniencia de cercanía entre departamentos. Emplea una matriz en la que se enfrentan los distintos sectores y se asigna una letra dependiendo la necesidad de proximidad entre los sectores.

---

### 5.8.3.1 Cálculo de áreas de planta

#### a. Recepción de materia prima y embarque de producto terminado

El área asignada depende de:

- Volumen de maniobra y frecuencia de recepción o embarque.
- Tipo de materia (líquido, sólido, material voluminoso).
- Forma de recepción y despacho. Se debe precisar el tipo de control que se hará.

#### b. Almacenes

- De Materia Prima: Se calcula en primer lugar el tamaño de lote económico, para luego determinar el área necesaria de almacenamiento.
- De Producto Final: Dependé de la magnitud del stock que se desea tener, así como de la frecuencia de despacho vs la tasa de producción.

#### c. Departamento de Producción

Su tamaño dependerá de:

- Número y dimensiones de equipos empleados.
- Número de operarios.
- Intensidad del tráfico de materiales.
- Espacios para realizar maniobras, sobre todo de mantenimiento.
- Leyes de seguridad e higiene.

#### d. Control de calidad

El área destinada a este departamento dependerá del tipo de control que se requieran y de la cantidad de ensayos que se realicen.

#### e. Mantenimiento

Dependerá del tipo y frecuencia de mantenimiento que el proceso requiera.

#### f. Servicios auxiliares

Se incluyen tanques de agua de pozo, aire comprimido para instrumentos, agua de refrigeración, servicios eléctricos, sistemas de incendio, etc. La superficie requerida dependerá de:

- Número y dimensiones de quipos.
- Espacios para realizar maniobras, sobre todo de mantenimiento.

#### g. Oficinas

Depende principalmente de la estructura organizacional. Se puede contar con oficinas privadas para los altos mandos, oficinas de ingeniería, oficinas de atención al público, etc.

#### h. Sanitarios

El espacio ocupado por estos dependerá del juicio de la empresa, así como las duchas, guardarropas y fumaderos. En general se sugiere un espacio de sanitario completo cada 7 trabajadores del mismo sexo.

#### i. Otros

Como comedores, enfermería, vigilancia, espacios verdes, etc.

---

#### 5.8.4 Distribución de equipos

1. **Tanques de almacenamiento:** se distribuyeron en función de las conexiones con los demás sectores de la planta. Así, aquellos que más interactúan con otras zonas irán en la parte frontal y el resto en la parte trasera. Además, se tuvo en cuenta también las relaciones entre tanques (por ejemplo: alimentación de dos materias primas distintas a un mismo tanque) y un espacio entre ellos de, mínimo, 4 metros de modo de poder garantizar la buena circulación por el sector.
2. **Intercambiadores de calor:** para la localización de los intercambiadores, además de tener en cuenta los equipos con los que se relacionan, se tuvo en cuenta el espacio necesario para poder realizar el mantenimiento de los mismos. Esto significa que se consideró la extracción del haz de tubos para su limpieza y/o reparación, dando como resultado el doble de distancia de cada intercambiador. Por último, se tuvo en cuenta una distancia de, mínimo, 2 metros entre cada intercambiador y/o equipo más próximo de modo de asegurar espacio suficiente para las cañerías y la correcta circulación por la zona.

3. **Intercambiadores iónicos:** en este caso, al igual que en los anteriores, se tuvo en cuenta la relación de estos equipos con el resto. Al ser un bloque de equipos (a diferencia de los tanques e intercambiadores que se encuentran distribuidos por diferentes zonas) se decidió que la ubicación más adecuada era cercana a la preparación de las dos materias primas: vinaza y solución regenerante, ambas precalentadas. El espacio designado entre intercambiadores iónicos es de 2 metros y, como mínimo, 4 metros entre este bloque y el resto de los equipos, para poder garantizar la correcta ubicación de las cañerías y libre circulación por el sector.
4. **Mezclador estático:** al tratarse de un único equipo, definimos su ubicación lo más cercana al área de almacenamiento de ácido sulfúrico y agua. Para este caso también se consideró una distancia entre equipos de 4 metros como mínimo por los motivos ya expuestos.
5. **Caldera:** debido a la necesidad de agua desmineralizada para el arranque y la reposición de las purgas, la mejor ubicación de este equipo era próxima a los servicios auxiliares. Además, debido a su gran dimensión y operación más compleja, se decidió que la distancia entre ésta y el resto de los equipos sea mayor.
6. **Turbina:** este equipo se alimenta del vapor generado por la caldera, por lo que no queda otra opción que ubicarla próxima a la misma teniendo en cuenta las distancias entre equipos anteriormente mencionadas.
7. **Cristalizador:** se optó por ubicar al cristalizador lo más cerca del tanque de almacenamiento de la solución madre posible, de modo de ahorrar la mayor cantidad de cañería posible.
8. **Centrífuga:** al alimentarse de la corriente de salida del cristalizador, estará ubicada muy próxima a él.
9. **Tambores rotatorios:** estos equipos se encuentran ubicados a diferentes alturas en forma de cascada de modo de asegurar el flujo correcto de sólidos entre ellos. A su vez, el primer tambor (secador) se encuentra próximo a la centrífuga, siendo el cangilón el nexo entre ambos. Para finalizar, el último tambor, en donde se adiciona el antiaglomerante, alimenta la tolva que descarga sobre la empaquetadora quien, como su nombre lo indica, va empacando el producto en su versión final: bolsas de 25 kg.

---

#### 5.8.5 Selección del tipo de distribución

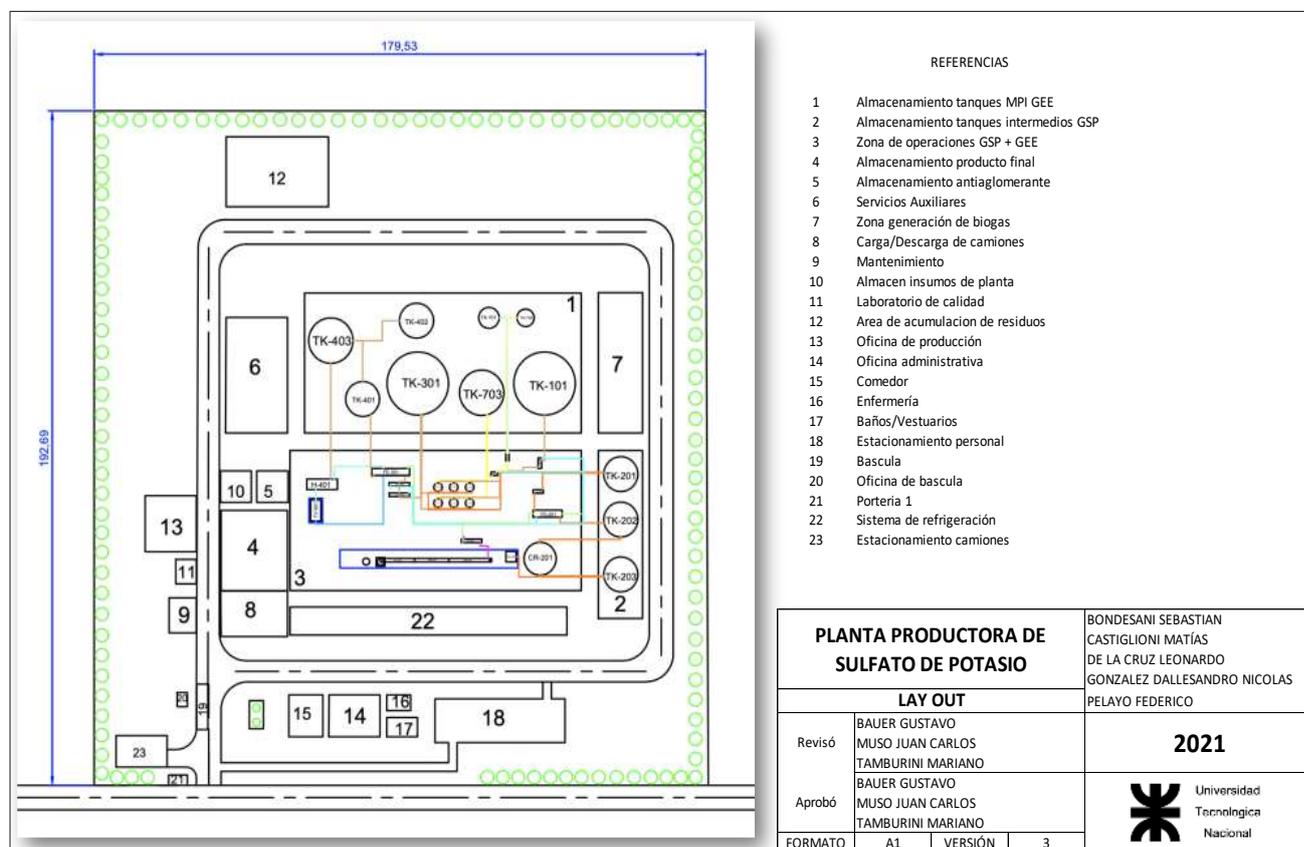
En el caso de la producción continua, estandarizada y de gran volumen de sulfato de potasio y la generación de energía, la distribución seleccionada es la “Disposición en Línea”.

### 5.8.6 Determinación de la distribución óptima de planta

En base al Método SLP, se realizó la siguiente matriz:

Código	Relación de proximidad	Sector ATK	Sector operaciones	Sector ATK1	Sector BDG	Sector REF	Servicios Auxiliares	Deposito producto final	Deposito agente recubridor	Estacionamiento camiones	Sala de Control	Mantenimiento	Almacen	Calidad	Oficina Producción	Oficina Administrativa	Residuos	Baños/Vestuarios	Comedor	Enfermería	Portería 1	Báscula	
A	Absolutamente necesaria	A																					
E	Especialmente importante	I	A																				
I	Importante	O	A	O																			
O	Importancia ordinaria	O	E	O	O																		
U	No importante	E	I	O	O	O																	
X	Indeseable	O	A	O	U	U	U																
		O	E	O	U	U	U	I															
		U	U	U	U	U	U	I	I														
		O	E	O	I	I	I	U	U	U													
		I	I	I	I	I	I	U	U	U	U												
		U	O	U	U	U	U	O	O	I	U	O											
		O	E	O	U	U	O	U	U	U	O	U	U										
		I	I	I	I	I	I	O	O	U	O	O	O	O									
		U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	O	O	O	I								
		U	I	U	U	U	U	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
		X	X	X	X	X	X	U	U	U	O	O	O	O	I	I	X						
		X	X	X	X	X	X	U	U	U	O	U	U	U	O	O	X	O					
		X	X	X	X	X	X	X	X	U	O	O	U	O	O	O	X	U	O				
		O	X	X	X	X	O	I	I	I	X	X	X	X	X	X	I	X	X	O			
		X	X	X	X	X	U	U	O	X	X	O	X	X	X	X	I	X	X	X	O		
		U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	I	I	X	U	O	O	O	U	

El producto de la matriz nos da la siguiente distribución tentativa:



### 5.8.7 Requerimiento de superficie por departamento

#### - Sector 1 – ATK

Contará con un suficiente espacio para la distribución de tanques con almacenamiento de materia prima (vinaza, ácido sulfúrico y bagazo), y, además, tanques intermediarios del proceso de producción de generación de energía. Se determina un espacio total de 81m x 40m.

#### - Sector 2 – ATKI

Este sector es muy similar al anterior, pero con la diferencia que solo contiene tanques intermediarios del proceso de la producción de sulfato de potasio. Se determina un espacio total de 13m x 48m.

- **Sector 3 – Operaciones**

Sector que incluye todos los equipos involucrados con ambos procesos, que se han mencionado anteriormente, además de las salas de control. Se determina un espacio de 86m x 40m.

- **Sector 4 – Almacenamiento sulfato de potasio y para packaging**

Un galpón destinado a almacenar el producto terminado y se almacenarán pallets, cajas, cinta y film para estrechado de producto terminado. Dicho sector tendrá dos pasillos con racks que permitirán ubicar hasta 4 pallet en forma vertical y 2 pallet en forma horizontal. La cantidad de pallets a almacenar con un tiempo de residencia de 5 días es un total de 96, y con esto se determina un espacio total de 19,5m x 23m.

- **Sector 5 – Almacenamiento Agente Recubridor**

Un galpón destinado a almacenar un agente recubridor, en forma de talco mineral formado por silicatos de magnesio ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ).

El mismo, se almacenará en pallets con un tiempo de residencia de 1 mes y el espacio determinado tiene un total de 9,2m x 9m.

- **Sector 6 – Servicios Auxiliares**

Contará con un área de proceso de desmineralización de agua por intercambio iónico con un espacio de 20m x 8m, una sala de incendios que cuenta con bombas y filtros desde donde saldrán los parrales de cañerías distribuidos a toda la planta, para utilizar en caso de incendio o emergencia con un espacio de 8m x 6m, y, por último,

- **Sector 7 – Generación de biogás**

Aquí es donde se almacenan todos los condensados de sus respectivos procesos y son enviados a distintos equipos para la generación de biogás. Se determina un espacio total de 13m x 40m.

- **Sector 8 – Estacionamiento de camiones**

Será un sector con la capacidad hasta para 7 camiones. El espacio se determinó en función de la cantidad máxima de camiones que podrían llegar a juntarse, en el peor de los casos, y que deban esperar dentro de planta porque no pueden ser atendidos por el personal correspondiente;

que serían: 1 para producto terminado, 5 para materia prima (agente recubridor, film, pallets, cajas), 1 para recolección de residuos, 1 para repuestos o insumos generales. Los camiones que estacionarán aquí son los que estén próximos a cargar o descargar mientras aguarden autorización del personal de planta para acercarse a las dársenas correspondientes en los depósitos. Se determina un espacio de 20m x 15m. Por último, contará con una oficina en el que trabajarán dos personas y estarán encargadas de llevar el control de los materiales ingresados y egresados a planta, indicando a los choferes de camiones cuando pueden ingresar a las correspondientes dársenas para cargar o descargar, verificando los lotes que se manipulen. Se determina un espacio total de 4m x 6m.

- **Sector 9 – Mantenimiento**

Será un espacio dividido en un pañol exclusivo para mantenimiento, una oficina pequeña, y un lugar amplio para tareas generales de mantenimiento. Se determina un espacio total de 8m x 10m.

- **Sector 10 – Depósito de insumos de la planta**

Un galpón donde se almacenarán insumos de la planta (comedor, librería, repuestos, entre otros). Se determina un espacio total de 9m x 9m.

- **Sector 11 – Laboratorio de calidad**

Se harán los ensayos correspondientes al producto terminado antes de liberar los lotes y otros ensayos para determinar la calidad del agua de caldera saliente del proceso de desmineralización. Además de los equipos para los ensayos habrá una oficina para el jefe de calidad y otra para reuniones. Trabajarán dos técnicos en horarios rotativos y un jefe de calidad en horario central. Se determina un espacio total de 6m x 8m.

- **Sector 12 – Área de acumulación de residuos**

Espacio general para el almacenamiento de residuos industriales (identificados correspondientemente para ser entregados a cada empresa correspondiente según su tratamiento) y no industriales (contenedores de residuos generales de toda la planta, separados según su tipo). Se determina un espacio total de 30m x 20m.

- **Sector 13 – Oficina de producción**

Sector para tratar específicamente problemas referidos a producción (incluyendo mantenimiento). Contará con una oficina para el jefe de producción, una para el jefe de

mantenimiento, una para reuniones, una para sala de control y un cuarto depósito para maestranza. Se determina un espacio total de 15m x 16m.1

- **Sector 14 – Oficina Administrativa**

Contará con un gran espacio repartido a través de escritorios, para el uso de personal de logística, finanzas, compras y ventas, recursos humanos y marketing. También se encontrarán los servidores y personal de IT, sumado a una sala de almacenamiento de registros generales e insumos para oficina, una cocina pequeña y una sala para depósito de maestranza. Además, habrá una oficina de gerencia, dos salas de reuniones/conferencias, y una de capacitación. Por último, habrá baños para el personal de las oficinas y visitas. Se determina un espacio total de 15m x 12m.

- **Sector 15 – Comedor**

Contará con cocina propia y servicio buffet. Será un espacio para que puedan comer hasta 50 personas, por lo que se determina un espacio total de 17m x 14m.

- **Sector 16 – Enfermería**

Espacio para brindar primeros auxilios en caso de un accidente o lesión, así como chequeos generales ante malestares u otras ocasiones. Contará con una oficina pequeña, un consultorio y una sala de almacenamiento de residuos patogénicos. Se determina un espacio total de 8m x 4,5m.

- **Sector 17 – Baños/Vestuarios**

Contará con baños y duchas para el personal de producción y mantenimiento, además de vestuarios con casilleros personales para guardar mochilas y otros objetos. También un lavadero para la ropa. Se determina un espacio total de 9m x 5,5m.

- **Sector 18 – Estacionamiento personal**

Será un espacio abierto al aire libre con media sombra para proteger de lluvia leve y sol, capaz de albergar hasta 70 automóviles. Se determina un espacio total de 38m x 20m.

- **Sector 19 – Báscula**

Se encontrará ubicada sobre la calle de entrada del lado izquierdo próxima a la portería principal. No ocupa un lugar adicional que implique un edificio, sino que va en el suelo de la calle, pero es importante mencionar su presencia ya que será de suma importancia para controlar la

mercadería ingresada y egresada de la planta. En el plano se marcará como los edificios/espacios, pero en realidad será un espacio de circulación. Se determina un espacio total de 3,5m x 13m.

- **Sector 20 – Oficina de la Báscula**

Sector en el que habrá un teléfono para comunicarse con el personal encargado de los despachos y una impresora en donde se les imprimirá a los choferes un documento con sus pesadas, tanto de ingreso como de egreso. Se determina un espacio total de 3m x 4m.

- **Sector 21- Portería 1**

Edificio de entrada a la planta para trabajadores, visitas y contratistas; el cual contará con un espacio de recepción, baño y cocina pequeños, y sala de espera. Trabajarán dos personas a la vez en el lugar. Se determina un espacio total de 6m x 4m.

- **Sector 22 – Sistema de refrigeración**

Contará con todos los equipos involucrados para disminuir la temperatura del líquido refrigerante en el proceso de la cristalización. Se determina un espacio total de 81m x 8m.

- **Sector 23 – Segundo estacionamiento camiones**

Será un sector con la capacidad de 2/3 camiones por si al momento de ingresar a la planta, la báscula se encuentre ocupada por otro transportista. Se determina un espacio total de 10m x 15m.

---

5.8.7.1 ADICIONALES

- **Cortina forestal**

Se colocará alrededor de todo el predio. Esta servirá de freno al viento que puede entrar desde el noreste; la misma no debe tener los árboles ni muy separados (ya que no cumpliría su función, el viento pasaría como si nada hubiera), ni muy juntos (generaría que el viento se eleve muy de golpe provocando turbulencias que pueden afectar gravemente). Los árboles más recomendados en esta zona son los autóctonos como álamos o sauces, y deberán tener una altura de 20m siguiendo el heurístico de que la cortina brindará una protección de 20 veces su altura, para aproximadamente cubrir los 179,53m de largo del predio y 192,69m de alto.

- **Calles**

Fueron diseñadas dos tipos de calles según los vehículos que circularán en cada una. Por un lado, se cuenta con un ancho de 6m y de circulación en ambas direcciones, las calles del sector de

edificios y portería principal, por donde circularán automóviles y rara vez autoelevadores. Por otro lado, en los sectores donde deben circular los camiones para cargar o descargar material (alrededor del sector de producción y servicios, y de la portería secundaria) tendrán un ancho de 8m y un único sentido de circulación, que será antihorario. Se colocarán lomos de burro en ciertos lugares estratégicos para asegurar una circulación segura.

Además, se contará con un sistema pluvial: en cada esquina y cada 30m en los sectores rectos habrá bocacalles para evitar inundaciones; los cuales desembocarán en el curso de agua más cercano. Las calles estarán alumbradas con torres de iluminación (en los sectores de espacios abiertos) y con iluminarias individuales (en los sectores de edificios).

#### - **Sendas**

Si bien no son demarcadas en el layout, existen varios tipos de senda según los riesgos de cada sector: verdes (ubicadas principalmente en todos los sectores alrededor de los edificios y entrada al predio, sin necesidad de usar EPP), amarillas (ubicadas en el perímetro e ingreso a sectores de producción y servicios y en tramos lejanos a edificios, requiere el uso de zapatos de seguridad y chalecos reflectantes) y azules (ubicadas en los sectores de producción y servicios, requiere el uso de todos los EPP mencionados en el capítulo de seguridad).

Para todos los tipos de senda, los vehículos siempre tendrán paso ante un peatón en un cruce.

#### - **Cerco perimetral**

Alrededor de todo el predio del lote, de tipo olímpico de 2,40 m. de alto, de alambre tejido tipo romboidal, sujeto a postes de hormigón soterrados en cuerpos del mismo material) y portón de acceso.

### 5.9 Diagrama isométrico

El diagrama isométrico es un método de representación gráfica que se constituye como una representación visual de un objeto tridimensional que se reduce en dos dimensiones, en la que los tres ejes ortogonales principales, al proyectarse, forman ángulos de  $120^\circ$ , y las dimensiones paralelas a dichos ejes se miden en una misma escala.

La isometría es una de las formas de proyección utilizadas en dibujo técnico que tiene la ventaja de permitir la representación a escala, y la desventaja de no reflejar la disminución aparente de tamaño -proporcional a la distancia- que percibe el ojo humano.

En ingeniería se utiliza para el dibujo de las líneas de proceso que pueden encontrarse en campo, con especificaciones de diámetros, espesores, equipos y accesorios asociados. Para este punto se emprende el cálculo a partir del diagrama isométrico de una sección del proceso que abarca la salida de vinaza sin potasio que sale del tanque TK-301 y que pasa los dos intercambiadores de calor hasta llegar al evaporador FE-301.

---

### 5.9.1 Generalidades del diagrama isométrico

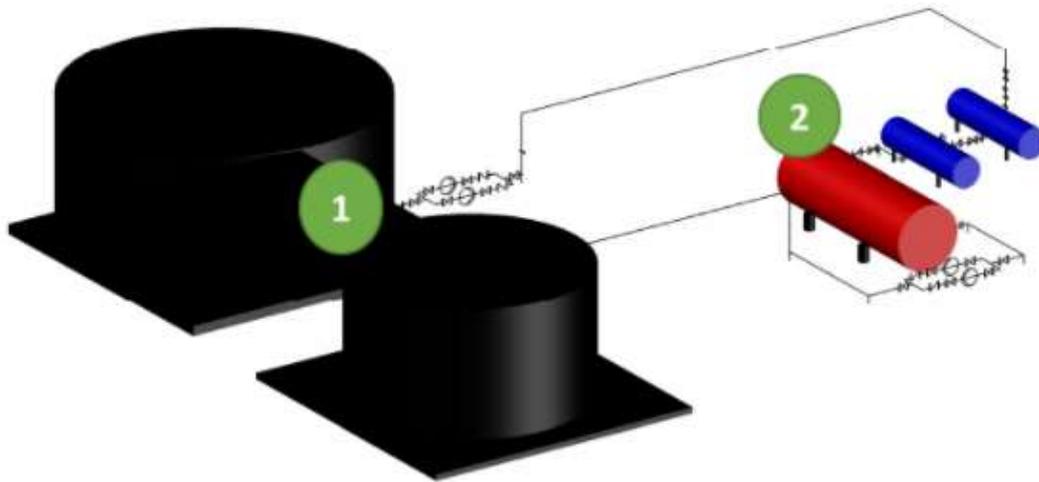
Para la constitución del diagrama isométrico comentado anteriormente se tomar algunas definiciones y criterios para la operación de plantas, como así también datos y distancias obtenidas a partir del layout de planta del capítulo 7.8.

Algunas de las definiciones en las cuales se basó el diagrama son:

- Los caudales máxicos de las corrientes se obtienen a partir del balance de materia y las diferentes propiedades de los fluidos como densidad, viscosidad, etc., a partir del software HYSYS 2006 que también es la base del balance de materia.
- Las cañerías presentes son de acero inoxidable. Los tramos que van desde el tanque TK-301 hasta el evaporador FE-301 son de 3 pulgadas de diámetro, mientras que la cañería correspondiente a la salida del evaporador y hasta el tanque TK-401 posee un diámetro de ½ pulgada.
- El diagrama tiene 2 puntos que se utilizan para el cálculo. Según se establece en el diagrama: P1 (punto 1) es la salida del tanque que contiene la vinaza sin potasio y P2 (punto 2) es la entrada al evaporador FE-301.
- Las cañerías están ubicadas a 0,5m respecto del piso (tomando cero como referencia este último). Además, los tanques poseen una base con una altura de 0,25m.

---

## 5.9.2 Diagrama isométrico



---

## 5.9.3 Proceso de cálculo

---

### 5.9.3.1 SELECCIÓN DE CAÑERÍA

Para comenzar con el proceso de cálculo, se tuvieron en cuenta las siguientes premisas a considerar en el tramo seleccionado:

- La velocidad de la vinaza deberá ser de 1 a 3 m/s.
- Al tratarse de un líquido y al no estar sometido a una elevada presión se utilizarán cañerías cuyo Schedule sea 40.
- Se divide el cálculo en 3 tramos de cañerías debido a los cambios de temperatura que sufre la vinaza durante su trayecto.

Una vez hechas estas aclaraciones, se prosigue con el cálculo del diámetro preliminar de las cañerías. Para ello, se selecciona una velocidad de 2 m/s, se determina el área de flujo mediante:

$$A_f = \frac{\dot{V}}{c_e}$$

Donde:

- Af: área de flujo.
- V: caudal volumétrico de la vinaza.
- ce: velocidad de la vinaza estimada.

Y con ello se despeja el diámetro preliminar:

$$d = \sqrt{\frac{4Af}{\pi}}$$

Donde:

- d: diámetro nominal de la cañería.

Como resultado, se obtienen los siguientes diámetros para los diferentes tramos:

#### 5.9.3.1.1 TRAMO 1: DESDE TK-301 HASTA PRIMER INTERCAMBIADOR E-301A

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Caudal másico</b>	42738	kg/h
<b>Temperatura</b>	40	°C
<b>Densidad</b>	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal volumétrico</b>	41,1	m <sup>3</sup> /h
<b>Velocidad (definida)</b>	2	m/s
<b>Área de flujo</b>	0,0057	m <sup>2</sup>
<b>Diámetro nominal</b>	3,36	in

#### 5.9.3.1.2 TRAMO 2: DESDE PRIMER INTERCAMBIADOR E-301A HASTA SEGUNDO INTERCAMBIADOR E-301B

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Caudal másico</b>	42738	kg/h
<b>Temperatura</b>	72	°C
<b>Densidad</b>	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal volumétrico</b>	42,2	m <sup>3</sup> /h
<b>Velocidad (definida)</b>	2	m/s
<b>Área de flujo</b>	0,0059	m <sup>2</sup>
<b>Diámetro nominal</b>	3,40	in

5.9.3.1.3 TRAMO 3: DESDE SEGUNDO INTERCAMBIADOR E-301B  
HASTA EVAPORADOR FE-301

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Caudal másico	42738	kg/h
Temperatura	90	°C
Densidad	996,6	kg/m <sup>3</sup>
Caudal volumétrico	42,9	m <sup>3</sup> /h
Velocidad (definida)	2	m/s
Área de flujo	0,0060	m <sup>2</sup>
Diámetro nominal	3,43	in

Determinados los diámetros nominales, se toma en cuenta el espesor de tabla para ajustar el diámetro interno y se corrige la velocidad, de modo de verificar que se encuentre entre 1 y 3 m/s a partir del recálculo del área de flujo, a través de las siguientes dos ecuaciones:

$$Af_r = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$c = \frac{\dot{V}}{Af_r}$$

Donde:

- $Af_r$ : área de flujo real.
- $D$ : diámetro interno.
- $c$ : velocidad real de la vinaza dentro de cañería.

DIA.	SCHEDULE 40			SCHEDULE 80			SCHEDULE 120			
	O.D.	I.D.	WALL	O.D.	I.D.	WALL	DIA.	O.D.	I.D.	WALL
1/8	0.405	0.269	0.068	0.405	0.215	0.095	4	4.500	3.624	0.438
1/4	0.540	0.364	0.088	0.540	0.302	0.119	5	5.563	4.563	0.500
3/8	0.675	0.493	0.091	0.675	0.423	0.126	6	6.625	5.501	0.562
1/2	0.840	0.622	0.109	0.840	0.546	0.147	8	8.625	7.189	0.718
3/4	1.050	0.824	0.113	1.050	0.742	0.154				
1	1.315	1.049	0.133	1.315	0.957	0.179	<b>SCHEDULE 160</b>			
1-1/4	1.660	1.380	0.140	1.660	1.278	0.191	1/2	0.840	0.466	0.187
1-1/2	1.900	1.610	0.145	1.900	1.500	0.200	3/4	1.050	0.614	0.218
2	2.375	2.067	0.154	2.375	1.939	0.218	1	1.315	0.815	0.250
2-1/2	2.875	2.469	0.203	2.875	2.323	0.276	1-1/4	1.660	1.160	0.250
3	3.500	3.068	0.216	3.500	2.900	0.300	1-1/2	1.900	1.338	0.281
3-1/2	4.000	3.548	0.226	4.000	3.364	0.318	2	2.375	1.689	0.343
4	4.500	4.026	0.237	4.500	3.826	0.337	2-1/2	2.875	2.125	0.375
4-1/2	5.000	4.506	0.247	5.000	4.290	0.355	3	3.500	2.624	0.438
5	5.563	5.047	0.258	5.563	4.813	0.375	4	4.500	3.438	0.531
6	6.625	6.065	0.280	6.625	5.761	0.432	5	5.563	4.313	0.625
8	8.625	7.981	0.322	8.625	7.625	0.500	6	6.625	5.189	0.718
							8	8.625	6.813	0.906

Figura 7.9.3.1.3.A. Tamaños nominales de cañerías.

Como resultado, se obtienen las siguientes velocidades de vinaza dentro de cañería:

#### 5.9.3.1.4 TRAMO 1: DESDE TK-301 HASTA PRIMER INTERCAMBIADOR E-301A

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Diámetro nominal</b>	3	mm
<b>Espesor</b>	0,216	mm
<b>Diámetro interno</b>	3,068	in
	0,078	mm
<b>Área</b>	0,0048	m <sup>2</sup>
<b>Velocidad (corregida)</b>	2,4	m/s

#### 5.9.3.1.5 TRAMO 2: DESDE PRIMER INTERCAMBIADOR E-301A HASTA SEGUNDO INTERCAMBIADOR E-301B

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Diámetro nominal</b>	3	mm
<b>Espesor</b>	0,216	mm
<b>Diámetro interno</b>	3,068	in
	0,078	mm
<b>Área</b>	0,0048	m <sup>2</sup>
<b>Velocidad (corregida)</b>	2,46	m/s

#### 5.9.3.1.6 TRAMO 3: DESDE SEGUNDO INTERCAMBIADOR E-301B HASTA EVAPORADOR FE-301

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Diámetro nominal</b>	3	mm
<b>Espesor</b>	0,216	mm
<b>Diámetro interno</b>	3,068	in
	0,078	mm
<b>Área</b>	0,0048	m <sup>2</sup>
<b>Velocidad (corregida)</b>	2,5	m/s

---

#### 5.9.3.2 CÁLCULO DE VARIACIÓN DE CARGA EN EL SISTEMA

Para estimar la variación total de carga en el sistema se aplica la siguiente ecuación de Bernoulli, considerando como punto "1" a la salida de vinaza del tanque y punto "2" a la entrada del evaporador FE-301.

$$\Delta H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_{L_S} + h_{L_D}$$

Donde:

- $P_2$ : presión en el punto 2.
- $P_1$ : presión en el punto 1.

- $c_2$ : velocidad en el punto 2.
- $c_1$ : velocidad en el punto 1.
- $z_2$ : altura del punto 2.
- $z_1$ : altura en el punto 1.
- $h_{LS}$ : pérdida de carga del lado succión.
- $h_{LD}$ : pérdida de carga del lado descarga.

Consideraciones:

- P1 es el resultado de la suma entre la presión interna del tanque y la presión que ejerce el líquido dentro del mismo que supone un esfuerzo adicional para la bomba a la hora de succionar.
- Debido a los cambios de temperatura a lo largo de los diferentes tramos, se consideró una densidad media entre los puntos 1 y 2 para realizar los cálculos.
- Las pérdidas de carga del lado de descarga se dividen en diferentes tramos debido a las variaciones de temperatura anteriormente mencionadas.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>P1</b>	126000	bar
<b>P2</b>	150000	bar
<b>T1</b>	40	°C
<b>T2</b>	90	°C
<b>Densidad1</b>	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad2</b>	996,6	kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad media</b>	1017,9	kg/m <sup>3</sup>
<b>C1</b>	2,4	m/s
<b>C2</b>	2,5	m/s
<b>G</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>
<b>Z1</b>	0,5	m
<b>Z2</b>	0,2	m
<b>ΔP</b>	<b>2,4</b>	<b>m</b>
<b>ΔC</b>	<b>0,02</b>	<b>m</b>
<b>ΔZ</b>	<b>-0,3</b>	<b>m</b>

Para estimar las pérdidas de carga por fricción se utilizará la ecuación:

$$h_L = f \frac{c^2}{2g} \sum \frac{L_{eqtotal}}{D}$$

Donde:

- $f$ : factor de fricción.
- $c$ : velocidad del líquido.
- $L_{eqtotal}$ : longitud equivalente total.
- $D$ : diámetro interno de cañería.

Habiendo calculado previamente el factor de fricción en cada tramo mediante:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1,8 \log \left[ \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right]$$

Donde:

- $Re$ : número de Reynolds.
- $\varepsilon$ : rugosidad relativa.

Como resultado, se obtienen las siguientes pérdidas de carga por fricción:

### 5.9.3.2.1 ZONA DE SUCCIÓN

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Longitud de succión	2	m
Diámetro de succión	0,779	m
$\varepsilon$	2,00E-6	m
Viscosidad	7,4E-4	Pa.s
$Re$	2,63E5	-
$f$	0,0149	-
Leq de 1 válvula esférica	7,5	m
Cantidad de válvulas esféricas	3	-
Leq total de las válvulas esféricas	22,5	m
Leq de 1 bifurcación en T	5,5	m
Cantidad de bifurcaciones en T	1	-
Leq total de la bifurcación en T	5,5	m
Leq total	30	m
$Leq_{total}/D$	385,1	-
$h_{LS}$	1,7	m

5.9.3.2.2 ZONA DE DESCARGA TRAMO 1: DESDE BOMBA HASTA  
PRIMER PRECALENTADOR E-301<sup>a</sup>

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Longitud de descarga	35,5	m
Diámetro de descarga	0,0779	m
$\varepsilon$	2,00E-6	m
Viscosidad	7,4E-4	Pa.s
$Re$	2,65E5	-
$f$	0,0149	-
Leq de 1 válvula de retención	6	m
Cantidad de válvulas de retención	3	-
Leq total de las válvulas de retención	18	m
Leq 1 válvula esférica	7,5	m
Cantidad de válvulas esféricas	4	-
Leq total de las válvulas esféricas	30	m
Leq 1 válvula de globo	7,5	m
Cantidad de válvulas de globo	1	-
Leq total de las válvulas de globo	7,5	m
Leq de 1 bifurcación en T	5,5	m
Cantidad de bifurcaciones en T	1	-
Leq total de la bifurcación en T	5,5	m
Leq de 1 codo 90°	5	m
Cantidad de codos 90°	5	-
Leq total de los codos 90°	25	m
Leq total	121,5	m
$Leq_{total}/D$	1559,7	-
$h_{LD1}$	6,83	m

5.9.3.2.3 ZONA DE DESCARGA TRAMO 2: DESDE PRIMER PRECALENTADOR E-301A HASTA SEGUNDO PRECALENTADOR E-301B

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Longitud de descarga	2,3	m
Diámetro de descarga	0,0779	m
Velocidad	2,46	m/s
Densidad	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	2,00E-6	m
Viscosidad	4,48E-4	Pa.s
$Re$	4,33E5	-
$f$	0,0137	-
Leq de 1 válvula de retención	6	m
Cantidad de válvulas de retención	1	-
Leq total de las válvulas de retención	6	m
Leq 1 válvula esférica	7,5	m
Cantidad de válvulas esféricas	1	-
Leq total de las válvulas esféricas	7,5	m
Leq de 1 codo 90°	5	m
Cantidad de codos 90°	2	-
Leq total de los codos 90°	10	m
Leq total	25,8	m
$Leq_{total}/D$	331,2	-
$h_{LD2}$	1,4	m

5.9.3.2.4 ZONA DE DESCARGA TRAMO 3: DESDE SEGUNDO PRECALENTADOR E-301B HASTA EVAPORADOR FE-301

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Longitud de descarga	3,7	m
Diámetro de descarga	0,0779	m
Velocidad	2,5	m/s
Densidad	996,6	kg/m <sup>3</sup>
$\varepsilon$	2,00E-6	m
Viscosidad	3,4E-4	Pa.s
$Re$	5,71E5	-
$f$	0,0131	-
Leq de 1 válvula de retención	6	m
Cantidad de válvulas de retención	1	-
Leq total de las válvulas de retención	6	m
Leq 1 válvula esférica	7,5	m
Cantidad de válvulas esféricas	1	-
Leq total de las válvulas esféricas	7,5	m
Leq de 1 codo 90°	5	m
Cantidad de codos 90°	2	-
Leq total de los codos 90°	10	m
Leq total	27,2	m
$Leq_{total}/D$	348,5	-
$h_{LD3}$	1,5	m

A su vez, se tendrán en cuenta las caídas de presión dentro de los intercambiadores involucrados (precalentadores E-301A y E-301B) ya que forman parte del circuito de la bomba. Para esto, se tuvieron en cuenta los valores arrojados por el simulador HTRI y se realizó la conversión a metros a través de:

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Donde:

- $\Delta P$ : caída de presión dentro del precalentador.
- $\rho$ : densidad media.
- $g$ : gravedad.

#### 5.9.3.2.5 PRECALENTADOR E-301A

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
$\Delta P$	11500	Pa
Temperatura 1	40	°C
Temperatura 2	72	°C
Densidad 1	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
Densidad 2	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
Densidad media	1025,5	kg/m <sup>3</sup>
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>
$h_{LE-301A}$	<b>1,14</b>	<b>m</b>

#### 5.9.3.2.6 PRECALENTADOR E-301B

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
$\Delta P$	11500	Pa
Temperatura 1	72	°C
Temperatura 2	90	°C
Densidad 1	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
Densidad 2	996,6	kg/m <sup>3</sup>
Densidad media	1004,3	kg/m <sup>3</sup>
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>
$h_{LE-301B}$	<b>1,16</b>	<b>m</b>

Recordando que la ecuación de Bernoulli era:

$$\Delta H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_{LS} + h_{LD}$$

Siendo  $h_{LD}$ :

$$h_{LD} = h_{LD1} + h_{LD2} + h_{LD3} + h_{LE-301A} + h_{LE-301B}$$

Reemplazando todos los valores anteriormente calculados, se obtiene el siguiente valor de pérdida de carga en el sistema:

$$\Delta H = 15,82 \text{ m}$$

Sin embargo, algo que no se tiene en cuenta es que el sistema presenta una elevación que no se ve reflejada en la diferencia de altura debido a los puntos tomados. Esta elevación de 5 metros presenta un esfuerzo adicional que deberá efectuar la bomba al momento de arranque que no se está considerando con el cálculo anterior. De este modo, se resuelve que la pérdida de carga total en el sistema será el resultado de la suma entre la pérdida de carga estimada anteriormente y la elevación:

$$\Delta H_{total} = \Delta H + \text{Elevación}$$

$$\Delta H_{total} = 15,82 \text{ m} + 5 \text{ m}$$

$$\Delta H_{total} = 20,82 \text{ m}$$

### 5.9.3.3 CÁLCULO DE POTENCIA DE LA BOMBA Y ALTURA NETA DISPONIBLE DEL SISTEMA

Antes de seleccionar la bomba adecuada es importante conocer la altura neta que ofrece el sistema en el punto de succión. Esto se requiere para poder conocer, a partir del valor de altura neta requerida por la bomba, si la misma va a cavitarse o no durante operación. Esto se determina a través de la ecuación de Bernoulli aplicada a la succión de la bomba, para la cual la ecuación contempla la diferencia de presión que existe entre la de succión  $P_s$ , y la presión de vapor del fluido a la temperatura de operación y que se traduce en factibilidad de cavitación de la bomba. Esta altura en metros se conoce como ANPA disponible y debe ser mayor que la requerida por la bomba para ese caudal de manera de evitar la cavitación. La ecuación que rige el cálculo es la siguiente.

$$ANPA_D = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho g} + z_1 - z_s - h_{LS}$$

Para calcular la presión de vapor del fluido a la temperatura de operación, y simplificar el cálculo, se utilizarán los datos considerando sólo el compuesto agua, cuya fracción másica en la corriente es de  $X_{H_2O} = 0,918$ .

T/°C	P/mmHg	P/kPa	T/°C	P/mmHg	P/kPa	T/°C	P/mmHg	P/kPa
0	4.5540	6.1115	47	79.709	106.27	95	634.61	846.08
0.01	4.58780	6.11657	48	83.834	111.77	96	656.34	877.71
1	4.9286	6.5709	49	88.147	117.52	97	682.78	910.30
2	5.2954	7.0599	50	92.648	123.52	98	707.98	943.90
3	5.6861	7.5808	51	97.343	129.78	99	733.95	978.52
4	6.1021	8.1355	52	102.24	136.31	100	760.00	1013.3
5	6.5449	8.7258	53	107.35	143.12	101	787.57	1050.0
6	7.0158	9.3536	54	112.67	150.22	102	815.86	1087.7
7	7.5164	10.021	55	118.23	157.62	103	845.12	1126.7
8	8.0482	10.730	56	124.01	165.33	104	875.66	1166.7
9	8.6130	11.483	57	130.03	173.36	105	906.07	1208.0
10	9.2123	12.282	58	136.29	181.71	106	937.92	1250.5
11	9.8463	13.130	59	142.82	190.41	107	970.60	1294.0
12	10.522	14.028	60	149.61	199.46	108	1004.42	1338.12
13	11.237	14.981	61	156.67	208.88	109	1038.92	1383.11
14	11.993	15.990	62	164.02	218.67	110	1074.56	1432.63
15	12.795	17.058	63	171.66	228.85	111	1111.20	1481.48
16	13.642	18.188	64	179.59	239.43	112	1148.74	1531.53
17	14.539	19.384	65	187.83	250.42	113	1187.42	1583.10
18	15.487	20.647	66	196.39	261.83	114	1227.25	1636.20
19	16.489	21.983	67	205.28	273.68	115	1267.98	1690.50
20	17.546	23.393	68	214.51	285.99	120	1489.14	1985.36
21	18.663	24.882	69	224.09	298.76	125	1740.93	2321.05
22	19.841	26.453	70	234.03	312.01	130	2026.10	2701.24
23	21.085	28.111	71	244.33	325.75	135	2347.26	3129.42
24	22.395	29.858	72	255.02	340.00	140	2710.92	3614.26
25	23.776	31.699	73	266.11	354.78	145	3116.76	4155.34
26	25.231	33.639	74	277.59	370.09	150	3570.48	4760.25
27	26.763	35.681	75	289.49	385.95	175	6694.08	8924.71
28	28.376	37.831	76	301.82	402.39	200	11659.16	15544.27
29	30.071	40.092	77	314.58	419.41	225	19323.12	25495.40
30	31.855	42.470	78	327.80	437.03	250	29817.84	39753.85
31	33.730	44.969	79	341.48	455.27	275	44580.84	59436.23
32	35.700	47.596	80	355.63	474.14	300	64432.8	85903.3
33	37.769	50.354	81	370.28	493.67	325	90447.6	120587.
34	39.942	53.251	82	385.43	513.87	350	124001.6	165321.9
35	42.221	56.290	83	401.10	534.76	360	139893.2	186508.9
36	44.613	59.479	84	417.30	556.35	365	148519.2	198008.3
37	47.121	62.823	85	434.04	578.67	366	150320.4	200410.7
38	49.750	66.328	86	451.33	601.73	367	152129.2	202822.3
39	52.506	70.002	87	469.21	625.56	368	153960.8	205264.2
40	55.391	73.849	88	487.67	650.17	369	155815.2	207736.5
41	58.413	77.878	89	506.73	675.58	370	157692.4	210239.2
42	61.577	82.096	90	526.41	701.82	371	159584.8	212762.2
43	64.886	86.508	91	546.72	728.90	372	161507.6	215325.8
44	68.349	91.124	92	567.68	756.84	373	163468.4	217909.9
45	71.968	95.950	93	589.31	785.68	373.948	165452.0	220584.5
46	75.749	100.99	94	611.61	815.41			

Figura 7.9.3.3.A Presión de vapor en función de la temperatura.

De este modo, se obtiene:

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Ps	126000	Pa
Pvap	7385	Pa
Densidad	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
Gravedad	9,81	m/s <sup>2</sup>
z <sub>1</sub>	0,5	m
z <sub>S</sub>	0,5	m
h <sub>LS</sub>	1,7	m
ANPA <sub>D</sub>	9,9	m

La potencia que el impulsor transferirá al fluido se conoce como **potencia hidráulica, N**. Debido a que la bomba posee un determinado rendimiento, la potencia desarrollada en el eje de la bomba será mayor. Ésta se conoce como **potencia al freno, Nb**.

El rendimiento de la bomba se compone por tres factores:

- **Rendimiento Volumétrico:** debido a las pérdidas de fluido por las holguras entre la carcasa y el rotor.
- **Rendimiento Hidráulico:** debido a las pérdidas por desprendimiento a la entrada, por fricción en los canales entre los alabes y por recirculación del fluido.
- **Rendimiento Mecánico:** debido a la fricción mecánica en los cojinetes, prensaestopas y otros puntos de contacto de la bomba.

En general, se selecciona aquella bomba con rendimiento cercano al 70%.

Para el cálculo de la potencia hidráulica y potencia al freno se procederá bajo el mismo método de división de las zonas en diferentes tramos desarrollada anteriormente, utilizando las ecuaciones:

$$N = Q\Delta H\rho g$$

$$Nb = \frac{N}{\eta}$$

Donde:

- Q: caudal volumétrico de la vinaza.
- $\eta$ : rendimiento de la bomba.

#### 5.9.3.3.1 ZONA DE SUCCIÓN

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Q	0,0114	m <sup>3</sup> /s
T	40	°C
Densidad	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta H$	6,7	m
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
N1	778,6	W

Aclaración: el  $\Delta H$  considerado es el resultado de la suma entre el  $h_{L_s}$  y la elevación.

#### 5.9.3.3.2 ZONA DE DESCARGA TRAMO 1: DESDE BOMBA HASTA PRIMER PRECALENTADOR E-301A

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Q</b>	0,0114	$m^3/s$
<b>T</b>	40	$^{\circ}C$
<b>Densidad</b>	1039,1	$kg/m^3$
<b><math>\Delta H</math></b>	6,8	m
<b>g</b>	9,81	$m/s^2$
<b>N1</b>	<b>794,9</b>	<b>W</b>

#### 5.9.3.3.3 ZONA DE DESCARGA TRAMO 2: DESDE PRIMER PRECALENTADOR E-301A HASTA SEGUNDO PRECALENTADOR E-301B

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Q</b>	0,0117	$m^3/s$
<b>T</b>	72	$^{\circ}C$
<b>Densidad</b>	1011,9	$kg/m^3$
<b><math>\Delta H</math></b>	1,4	m
<b>g</b>	9,81	$m/s^2$
<b>N2</b>	162,8	W

5.9.3.3.4 ZONA DE DESCARGA TRAMO 3: DESDE SEGUNDO PRECALENTADOR E-301B HASTA EVAPORADOR FE-301

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Q</b>	0,0119	m <sup>3</sup> /s
<b>T</b>	90	°C
<b>Densidad</b>	996,6	kg/m <sup>3</sup>
<b>ΔH</b>	1,5	m
<b>g</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>
<b>N3</b>	169,3	W

Al igual que para el cálculo de la carga total del sistema, se tendrán en cuenta los intercambiadores, mediante la ecuación presentada a continuación para considerar las variaciones de caudal y densidad producto de los cambios de temperatura de la vinaza a lo largo de estos equipos.

$$N = \left( \frac{Q_1 \rho_1 + Q_2 \rho_2}{2} \right) \Delta H g$$

Donde los subíndices 1 y 2 corresponden a la entrada y salida de vinaza respectivamente.

5.9.3.3.5 PRECALENTADOR E-301A

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Q1</b>	0,0114	m <sup>3</sup> /s
<b>Q2</b>	0,0117	m <sup>3</sup> /s
<b>T1</b>	40	°C
<b>T2</b>	72	°C
<b>Densidad1</b>	1039,1	kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad2</b>	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
<b>ΔH</b>	1,14	m
<b>g</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>
<b>N4</b>	132,7	W

#### 5.9.3.3.6 PRECALENTADOR E-301B

---

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
<b>Q1</b>	0,0117	m <sup>3</sup> /s
<b>Q2</b>	0,0119	m <sup>3</sup> /s
<b>T1</b>	72	°C
<b>T2</b>	90	°C
<b>Densidad1</b>	1011,9	kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad2</b>	996,6	kg/m <sup>3</sup>
<b>ΔH</b>	1,16	m
<b>g</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>
<b>N5</b>	135,5	W

De este modo, la potencia hidráulica total queda definida como:

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5$$

Reemplazando los valores calculados, se obtiene:

$$N_T = 2173,8 W$$

Finalmente, la potencia al freno resulta:

$$N_b = 3105 W$$

$$N_b = 3,1 kW$$

---

#### 5.9.3.4 SELECCIÓN DE BOMBA

Una vez obtenido este valor se procede a buscar una bomba que cumpla con todas las condiciones requeridas por el proceso que se listan en la tabla siguiente. Se busca en catálogos de diferentes fabricantes y vendedores de bombas centrífugas, aquella que cumpla con lo requerido y a partir de su selección se listan o se calculan las propiedades de operación de la misma como potencia, consumo, altura requerida, etc.

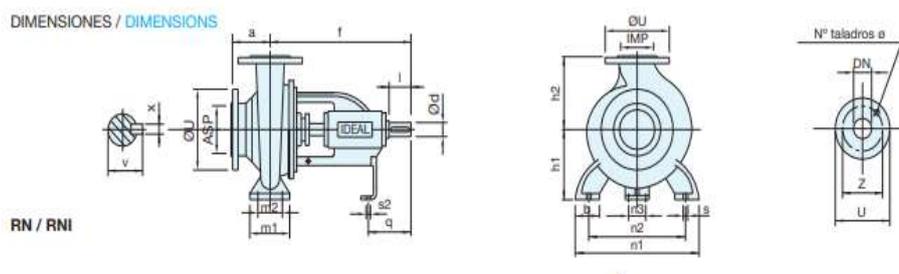
La bomba elegida es del tipo centrífuga, modelo GNI, obtenida a partir de un catálogo de bombas industriales de una empresa española – Bombas IDEAL<sup>6</sup> – que comercializa sus productos en varios países de Sudamérica, que tiene las siguientes propiedades de funcionamiento. La gama GNI son grupos monobloc, formados por la bomba normalizada EN 733/DIN 24255 acoplada a un motor estándar. Esta gama cubre el campo hidráulico de aplicación dado en la norma con las ventajas propias de su construcción compacta, fácil instalación, perfecta alineación bomba-motor, reducidas dimensiones, etc.

Forma Constructiva	Configuración																	
	Referencia	B3R(E)	B3L(D)	B3T	B5R(E)	B5L(D)	B5T	B35R(E)	B35L(D)	B35T	B14R(E)							
Detalles	Carcasa	Con patas			Sin patas			Con patas			Sin patas							
	Punta del eje	A la izquierda			A la derecha			A la izquierda			A la derecha							
	Montaje	Base o rieles			Brida FF			Base o brida FF			Brida FC							
Forma Constructiva	Configuración																	
	Referencia	B14L(D)	B14T	B34R(E)	B34L(D)	B34T	V5L(D)	V5R(E)	V5T	V6L(D)	V6R(E)	V6T						
Detalles	Carcasa	Sin patas		Con patas		Con patas		Con patas		Sin patas		Sin patas						
	Punta del eje	A la derecha		A la izquierda		A la derecha		Abajo		Arriba		Abajo						
	Fijación	Brida FC		Base o brida FC		Base o brida FC		Pared		Pared		Brida FF						
Forma Constructiva	Configuración																	
	Referencia	V15L(D)	V15R(E)	V15T	V36L(D)	V36R(E)	V36T	V18	V19	B6L(D)	B6R(E)	B6T	B7L(D)	B7R(E)	B7T	B8L(D)	B8R(E)	B8T
Detalles	Carcasa	Con patas			Con patas			Sin patas	Sin patas	Con patas			Con patas			Con patas		
	Eje de salida	Abajo			Arriba			Abajo	Arriba	De frente			De frente			De frente		
	Fijación	Pared o brida FF			Pared o brida FF			Brida C	Brida C	Pared			Pared			Techo		

Figura 7.9.3.4.A. Tipos de formas constructivas para bombas centrífugas.

#### 5.9.3.4.1 BOMBA ELEGIDA

A continuación, se muestra la curva de desempeño de la bomba, sus medidas constructivas y la verificación de parámetros de operación para asegurar que la misma cumple con el servicio.



TIPO TYPE	DIMENSIONES / DIMENSIONS - m.m.																	ASP. / SUC.					IMP. / DEL.					
	a	f	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	b	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	s	s <sub>2</sub>	d	l	q	p	v	x	DN	Z	U	N°	Ø	DN	Z	U	N°	Ø
RNI 32-13	80	360	112	140	50	100	70	190	140	100	14	14	24	50	93	•	27	8	50	125	165	4	18	32	100	140	4	18
RNI 32-16	80	360	132	160	50	100	70	240	190	100	14	14	24	50	93	•	27	8	50	125	165	4	18	32	100	140	4	18
RNI 32-20	80	360	160	180	50	100	70	240	190	110	14	14	24	50	93	•	27	8	50	125	165	4	18	32	100	140	4	18
RNI 32-26	100	360	180	225	65	125	95	320	250	110	14	14	24	50	93	•	27	8	50	125	165	4	18	32	100	140	4	18
RNI 40-13	80	360	112	140	50	100	70	210	160	100	14	14	24	50	93	•	27	8	65	145	185	4	18	40	110	150	4	18
RNI 40-16	80	360	132	160	50	100	70	240	190	110	14	14	24	50	93	•	27	8	65	145	185	4	18	40	110	150	4	18
RNI 40-20	100	360	160	180	50	100	70	265	212	110	14	14	24	50	93	•	27	8	65	145	185	4	18	40	110	150	4	18
RNI 40-26 h	100	360	180	225	65	125	95	320	250	110	14	14	24	50	93	•	27	8	65	145	185	4	18	40	110	150	4	18
RNI 40-32 h	100	470	200	225	65	125	95	345	280	110	14	14	32	80	128	•	35	10	65	145	185	4	18	40	110	150	4	18
RNI 50-13	100	360	132	160	50	100	70	240	190	100	14	14	24	50	93	•	27	8	65	145	185	4	18	50	125	165	4	18
RNI 50-16	100	360	160	180	50	100	70	265	212	110	14	14	24	50	93	•	27	8	65	145	185	4	18	50	125	165	4	18

Figura 7.9.3.4.B. Representación esquemática y parámetros dimensionales de las bombas Ideal Modelo GNI.

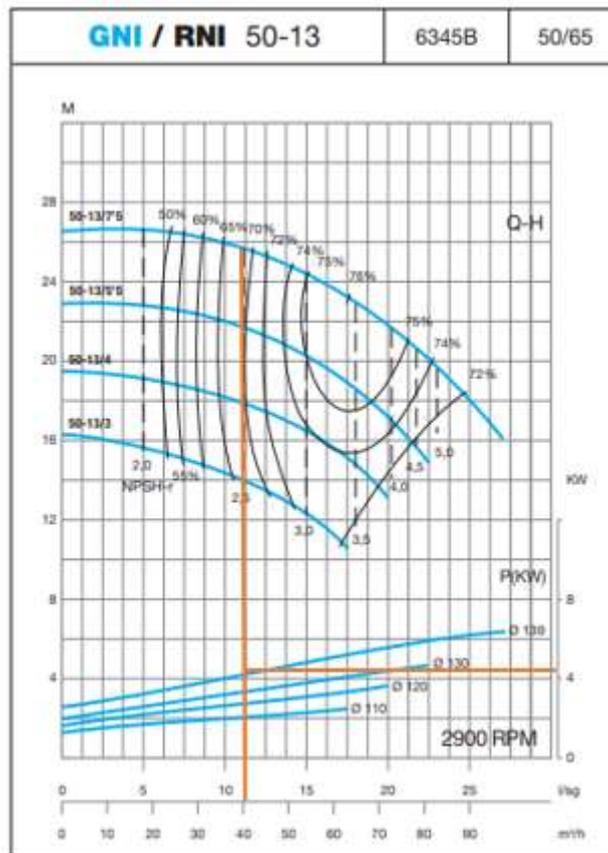


Figura 7.9.3.4.C. Curva de desempeño: Altura desarrollada, rendimiento, ANPA requerido y potencia consumida de la bomba elegida.

Se ingresó al gráfico con los siguientes datos:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Q	Caudal de la corriente de proceso	41,1	m <sup>3</sup> /h
ΔHr	Altura requerida por el sistema	20,82	m

Se obtuvieron los siguientes parámetros de la bomba:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>N</b>	Régimen de rotación de la bomba	2900	rpm
<b>Nb</b>	Potencia al freno de la bomba	4,1	kW
$\eta$	Rendimiento de la bomba en el punto	69	%
$\Delta H_d$	Altura desarrollada por la bomba en el punto	25,5	m
<b>ANPA<sub>r</sub></b>	Altura requerida por la bomba para el caudal operativo en el punto	2,5	m

De este modo, se prosigue a realizar las siguientes verificaciones:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
$\Delta H_d - \Delta H_r$	Diferencia entre altura desarrollada por la bomba y altura requerida por el sistema	4,68	m
$\frac{ANPA_d - ANPA_r}{ANPA_d}$	Cociente entre ANPA disponible y requerido	75	%

Por último, se obtienen los siguientes parámetros dimensionales de la bomba:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>D<sub>s</sub></b>	Diámetro de succión de la bomba	65	mm
		2,6	in
<b>D<sub>i</sub></b>	Diámetro de impulsión de la bomba	50	mm
		2	in

Como puede verse, la bomba cumple con los requisitos dimensionales – bocas de succión y descarga coherentes con los diámetros de cañería – y de altura entregada y requerida apropiada para el servicio. Entrega casi 5 metros respecto a lo requerido y también está diseñada en un 75% del ANPA requerido, cuando lo habitual es diseñarla para un exceso del 25% respecto a lo solicitado por la bomba.

#### 5.10 Instalaciones de servicios auxiliares

Los servicios auxiliares constituyen un área clave para mantener la operación óptima y continua de la planta, son imprescindibles para lograr los objetivos de la empresa y el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles.

Servicios auxiliares nuestros:

En GEPSA S.A. contamos con los siguientes servicios auxiliares:

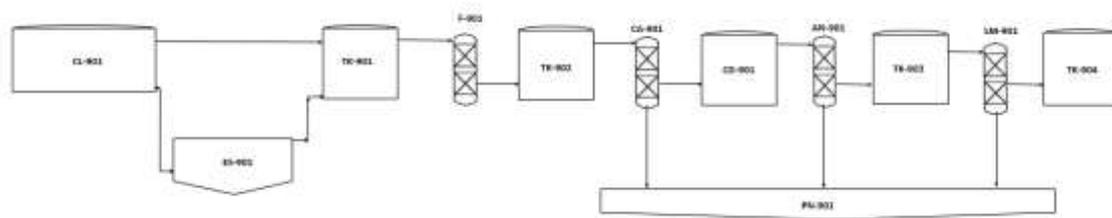
- Tren de producción de agua desmineralizada para caldera y solución regenerante.
- Sistema de refrigeración del vapor condensado.
- Caldera auxiliar.
- Tratamiento de condensado vegetal y combustión de biogás.
- Compresores para HPA.
- Sistema de refrigeración en cristizador.
- Red de agua contra incendios.

---

### 5.10.1 Tren de producción de agua desmineralizada

El proceso comienza con la toma del agua de río mediante un acueducto. En planta, el agua se someterá a diferentes operaciones de purificación de modo de lograr la calidad demandada por las calderas de gas y bagazo y, así, producir un vapor de agua óptimo para los diferentes intercambiadores y la turbina de vapor.

En este caso, el sistema de tratamiento de agua propuesto es el siguiente:



A continuación, se detalla el propósito de cada uno de los equipos involucrados:

- **Clarificador CL-901:** la primera operación a la que se verá sometida el agua de río es a una clarificación, en donde se eliminarán las partículas en suspensión mediante el agregado de un aglutinante en este equipo. Como consecuencia, se obtendrán dos corrientes: una de barros y otra de agua clarificada.
- **Espesador ES-901:** en este equipo se recuperará el agua que pueda perderse en la corriente de barros para enviarla al tanque de agua clarificada.
- **Tanque TK-901:** funcionará como tanque pulmón, almacenando el agua clarificada proveniente del clarificador y del espesador.

- **Filtro multimedia F-901:** el agua clarificada es sometida a otro proceso de eliminación de partículas en suspensión, esta vez, mediante la utilización de un filtro multimedia formado por varias capas de material filtrante, unas sobre otras.
- **Tanque de almacenamiento TK-902:** se utilizará este equipo para almacenar el agua filtrada proveniente del filtro multimedia.
- **Resina de intercambio catiónico CA-901:** luego de asegurarnos la eliminación de todas las partículas en suspensión presentes en el agua, se somete esta última a un proceso de eliminación de cationes mediante el uso de una resina de intercambio catiónico. Aquí, se eliminarán el sodio, calcio, magnesio y potasio (entre otros elementos en menor proporción) y se reemplazarán por el ion hidrógeno.
- **Cisterna descarbonadora CD-901:** este equipo no sólo servirá como medio de almacenamiento provisorio del agua proveniente de la resina de intercambio catiónico, sino que también aquí eliminaremos el dióxido de carbono disuelto en esa agua.
- **Resina de intercambio aniónico AN-901:** equipo utilizado para eliminar los aniones presentes en el agua, como por ejemplo los sulfatos y cloruros, reemplazándolos por un hidroxilo, dando como resultado la producción de agua.
- **Tanque de almacenamiento TK-903:** tanque de almacenamiento del agua desionizada.
- **Lecho mixto LM-901:** este equipo se utilizará para realizar un último intercambio iónico, de modo de asegurarnos la eliminación de cualquier residual de cationes o aniones que hayan quedado vigentes a pesar de las resinas de intercambio. Finalmente, aquí se logra obtener el agua desmineralizada que cumplirá con los requisitos de calidad demandado por las calderas para la generación de vapor.
- **Tanque de almacenamiento TK-904:** tanque de almacenamiento de agua desmineralizada que alimentará a la caldera de bagazo y la caldera auxiliar.
- **Pileta PN-901:** por último, contaremos con una pileta de neutralización para compensar los excesos de ácido o soda que lleguemos a utilizar en los procesos de regeneración de las resinas.

Debido a las diferencias de turbidez que puede presentar el río Salí, es necesaria la incorporación de un sistema de medición de la misma, de tal manera de poder dosificar la cantidad necesaria de floculante de modo de no caer en excesos o déficits de inyección, que pueden alterar la calidad de agua deseada.

---

### 5.10.2 Sistema de refrigeración del vapor condensado

El vapor que se utilizará en los precalentadores de vinaza y solución madre eventualmente condensará, dando como resultado agua saturada a una elevada temperatura (100°C aproximadamente). Evidentemente existen limitaciones legales que impiden el vuelco de esa corriente a los cursos de agua a esa temperatura, de modo que tendremos que enfriarla para poder eliminarla dentro de los parámetros que rige la ley. Para ello, contaremos con un primer enfriador y luego una pileta de almacenamiento, donde se enfriará el agua una última vez previo a su vuelco. Con el primer equipo, nos aseguraremos disminuir la temperatura del agua a tal punto que cumpla con las normativas ambientales de temperatura máxima (40°C). Dicho intercambiador será de coraza y tubo como los que se ha visto en capítulos anteriores, en donde el fluido refrigerante será agua de río previamente filtrada a temperatura ambiente.

Posteriormente, se almacenará el agua enfriada en una pileta en donde se podrá enfriar unos grados más y luego ser volcadas al río Salí.

---

### 5.10.3 Calderas auxiliares

Debido a las diferencias de cantidades y períodos de funcionamiento, contaremos con dos calderas diferentes:

- Caldera acuotubular: encargada de generar las distintas corrientes de vapor empleadas que, en estado estacionario en nuestro proceso, provienen de la concentración de vinaza o solución madre. Será utilizada en los arranques de planta y poseerá una capacidad de 100 ton/h aproximadamente.
- Caldera humotubular: producirá el vapor demandado por la torre de desorción, donde se separará el dióxido de carbono del agua, y el tanque de almacenamiento de solución regenerante, de modo de mantener la temperatura a 40°C. Será de funcionamiento continuo con una capacidad de 1 ton/h aproximadamente.

A diferencia de la caldera a bagazo, estas calderas se alimentarán de gas natural. Con respecto al agua necesaria para alimentar a la caldera, se utilizará la misma que se produce para la caldera de bagazo, ya que cumple con todos los parámetros fisicoquímicos requeridos en ambos casos.

---

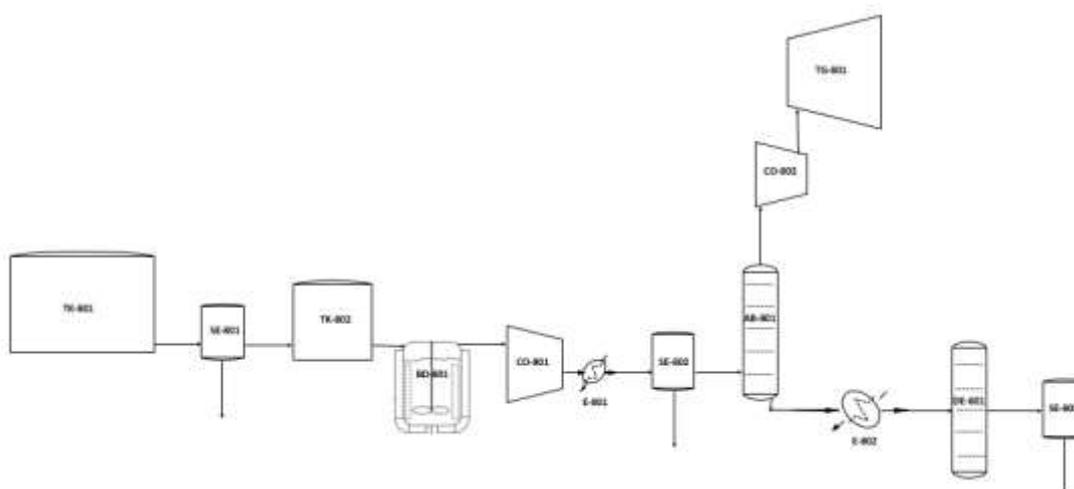
### 5.10.4 Tratamiento de condensado vegetal y combustión de biogás

El vapor vegetal resultante del proceso de concentración de vinaza se utiliza como medio calefactor en diferentes etapas del proceso y el resto se condensa en otro intercambiador. Ese condensado vegetal no puede verterse al agua como tal debido a la alta demanda de DBO y DQO

que posee. De este modo, lo que se propone es un sistema de tratamiento mediante un biodigestor para transformar esa materia orgánica en biogás y poder utilizarlo como combustible para una caldera que permita generar energía extra.

Es importante mencionar que previo al biodigestor se realiza una evaporación flash con el objetivo de disminuir la cantidad de agua presente en la corriente a procesar (que será rica en materia orgánica) y, además, el biogás que se obtiene debe ser sometido a un proceso de purificación de modo de lograr una calidad óptima para consumo.

Como consecuencia, los equipos involucrados en este sistema de tratamiento serán:



A continuación, se detalla el propósito de cada uno de los equipos involucrados:

- **Tanques de almacenamiento TK-801 y TK-802:** en el primero se almacenará el condensado vegetal proveniente de proceso y en el segundo el vapor vegetal rico en materia orgánica.
- **Separadores flash SE-801, SE-802 y SE-803:** el primero se utilizará para concentrar separar la corriente concentrada en materia orgánica (vapor) de la corriente de agua (líquida). Esta última, debido a su pureza, podrá ser vertida a los cursos de agua cumpliendo los parámetros medioambientales. El separador SE-802 cumplirá la función de enriquecer la concentración del gas metano presente en el biogás hasta un 60% aproximadamente (valor recomendado). Por último, el separador SE-803 se empleará para eliminar el residual de dióxido de carbono presente en la corriente de agua que se recirculará a la solución de DEA y, así, evitar su concentración con el transcurso de los ciclos.

- **Biodigestor:** reactor biológico en donde se produce la transformación de la materia orgánica del condensado vegetal (etanol, butanol, alcohol isoamílico y furfural) en biogás (metano, dióxido de carbono y agua). Además, se obtendrá una corriente de sólidos que podrá ser utilizada como fertilizante natural.
- **Compresores CO-801 y CO-802:** utilizados para comprimir el biogás debido a requerimientos de proceso para lograr la separación en el primero y, en el segundo caso, la función es la de lograr la presión de operación de la cámara de combustión de la turbina de gas.
- **Intercambiadores de calor E-801 y E-802:** el primero es un enfriador cuyo objetivo es reducir la temperatura para que, junto con la presión de salida del compresor, poder lograr una separación flash en el equipo siguiente que enriquezca el biogás. En el caso del E-802, la función es la de precalentar la corriente de salida de la torre de absorción debido a los requerimientos de proceso de la torre de desorción.
- **Torre de absorción AB-801:** torre utilizada para eliminar la mayor cantidad posible de dióxido de carbono presente en el biogás, dando como resultado una corriente enriquecida en un 95% en metano. Para ello, utilizaremos una solución de agua y DEA (dietanolamina) en una proporción 70/30 m/m.
- **Torre de desorción DE-801:** equipo utilizado para eliminar el dióxido de carbono absorbido por la solución de DEA en la torre de absorción, de modo de poder reutilizarla. Para ello se utilizará vapor y es importante destacar que un remanente de agua se perderá con la corriente de dióxido de carbono, por lo que serán necesarias luego las operaciones de separación y recuperación de esa agua perdida de modo de evitar la concentración de la solución de DEA con el tiempo. A su vez, se plantea la posibilidad de comercializar ese dióxido de carbono recuperado (aproximadamente 840 ton/año), generando un ingreso extra.

---

#### 5.10.5 Compresores para HPA

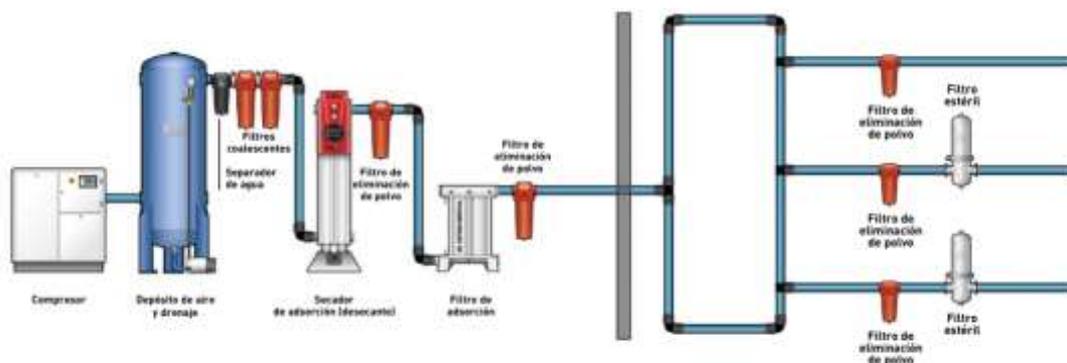
Estos equipos son necesarios debido a la necesidad de contar con aire comprimido a alta presión para el correcto funcionamiento de las válvulas, bombas y demás instrumentos o equipos. Entre las distintas opciones que ofrece el mercado, optaremos por el compresor de tipo tornillo, debido a que es el más utilizado a nivel industrial y el que mejor responde a nuestros requisitos de operación que se detallan a continuación:

- Funcionamiento ininterrumpido 24 horas.
- Aire con muy poco contenido de aceite y consecuentemente más fácil de tratar.

- Mayor estabilidad en la presión.
- Menor temperatura de compresión.
- Mejor eficiencia, con el consiguiente ahorro energético que eso conlleva.

Los compresores de tornillo son del tipo mono estadio de tornillos asimétricos accionadas por un motor eléctrico. El aire es comprimido mediante la rotación de los rotores macho y hembra paralelos entre ellos y perfectamente unidos en el interior de un cárter de hierro fundido.

Sin embargo, el proceso no termina allí, dado que es necesaria la eliminación de los contaminantes que pueda llegar a tener el aire previo a su utilización. Para ello, se propone el siguiente sistema:



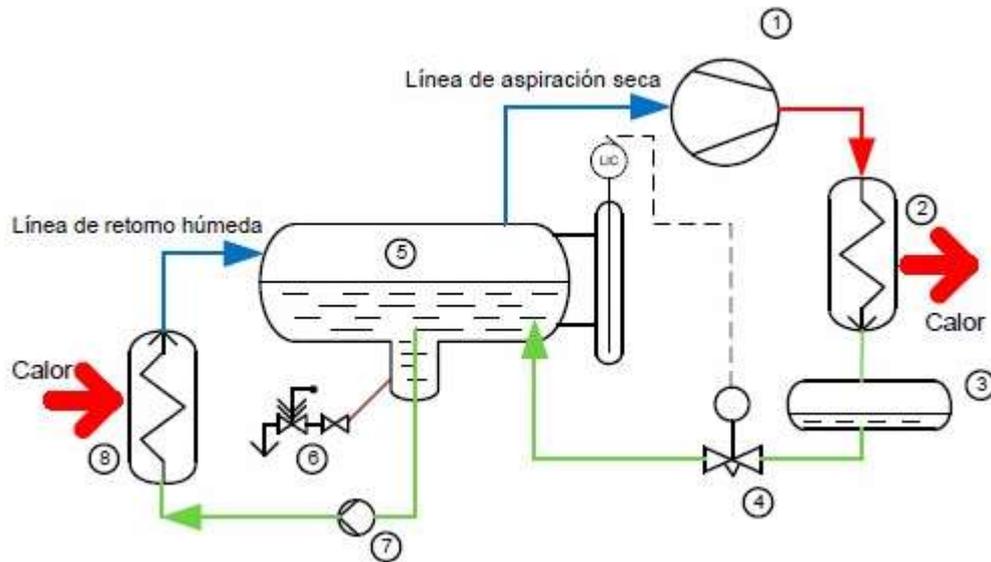
- **Separador de agua:** Los separadores de agua eliminan el grueso del agua condensada y del aceite líquido, y se utilizan para proteger los filtros coalescentes de la contaminación líquida masiva (por ejemplo, si se produce una refrigeración excesiva en los depósitos de aire y las tuberías de distribución instaladas antes del equipo de purificación). Los separadores de agua solo eliminan líquidos, no eliminan ni agua ni aceite en forma de aerosol o vapor.
- **Filtros coalescentes:** instalados en serie para eliminar aerosoles de agua y de aceite, suciedad atmosférica, microorganismos, óxido e incrustaciones. Los dos filtros eliminan exactamente los mismos contaminantes. El primer filtro es un filtro de uso general que protege al segundo, el filtro de alta eficacia, frente a una contaminación por líquidos.
- **Secador de adsorción:** El vapor de agua se elimina del aire comprimido por medio de un secador de adsorción. Los secadores de adsorción eliminan la humedad al pasar el aire por un material desecante regenerativo que adsorbe la humedad del aire. Este tipo de secador es extremadamente eficiente. El punto de rocío a presión que se especifica habitualmente en un secador de adsorción es de  $-40^{\circ}\text{C}$ , ya que así no solo se evita la corrosión, sino que también se impide la proliferación de microorganismos.

- **Filtros de eliminación de polvo:** se utilizan para la eliminación de partículas secas. Ofrecen un rendimiento de eliminación de partículas idéntico a un filtro coalescente equivalente, con las mismas técnicas de filtrado mecánico para proporcionar una eficiencia de eliminación de partículas de hasta el 99,9999 %.
- **Filtros de adsorción:** El vapor de aceite es aceite en estado gaseoso, capaz de pasar a través de un filtro coalescente con tanta facilidad como el aire comprimido. Por lo tanto, se deben utilizar filtros de eliminación de vapores de aceite con un lecho grande de adsorbente de carbón activo, para eliminar con eficacia los vapores de aceite y proporcionar la máxima protección frente a la contaminación por aceite.
- **Filtros estériles:** son filtros de malla o membrana en donde se produce la eliminación absoluta de partículas sólidas y microorganismos. Estos dispositivos se conocen frecuentemente como filtros de aire estéril, puesto que también proporcionan aire comprimido aséptico. Las carcasas de estos filtros están fabricadas con acero inoxidable para permitir la esterilización mediante vapor in situ, tanto de la carcasa del filtro como del elemento filtrante. Es importante tener en cuenta que la tubería situada entre el filtro aséptico y la aplicación también se debe limpiar y esterilizar periódicamente.

---

#### 5.10.6 Sistema de refrigeración en cristizador

Para lograr el enfriamiento de la solución madre y, con ello, provocar la cristalización del sulfato de potasio por disminución de la solubilidad, utilizaremos una solución de etilenglicol al 5% v/v, ya que resulta un refrigerante eficaz para ser utilizado dentro del rango de temperaturas de trabajo. Sin embargo, el calor absorbido por este último tendrá que ser disipado de alguna forma para poder trabajar en un ciclo cerrado y no demandar cada vez más una determinada cantidad de etilenglicol. Como consecuencia, se propone un ciclo frigorífico del siguiente estilo:



Donde:

1. **Compresor:** aspira el gas seco del separador a la temperatura de evaporación, lo comprime hasta la temperatura de condensación y lleva el gas de descarga recalentado hasta el condensador.
2. **Condensador:** licúa el refrigerante a la vez que disipa el calor del amoníaco mediante el sistema de enfriamiento.
3. Recipiente de almacenamiento: se utilizará como equipo pulmón.
4. **Válvula de expansión:** aquí el amoníaco se expandirá hasta la temperatura de condensación para, luego, ser enviado al separador.
5. **Separador:** se produce la separación flash del amoníaco, arrojando dos corrientes, una de gas y la otra de líquido.
6. **Drenaje de aceite del separador:** dispositivo utilizado debido a que el aceite del compresor no suele ser soluble en amoníaco, por lo que permanece en el sistema y es recogido en el evaporador. Esto puede limitar la capacidad y generar fallas, de modo que con el drenaje de ese aceite evitamos estos futuros inconvenientes.
7. **Bomba de amoníaco.**
8. **Evaporador:** se produce la evaporación del amoníaco como resultado de la absorción del calor que contiene la solución de etilenglicol.

---

### 5.10.7 Red de agua contra incendios

Se contará con una red de incendio que se alimente de agua de red y que bordee el perímetro de la planta de modo de poder combatir cualquier emergencia de esta naturaleza. Además, se dispondrán de detectores de incendio y matafuegos en puntos clave de la planta (especialmente dentro de los distintos departamentos). Por último, también se dispondrá de una bomba de combustión en caso de necesidad de corte eléctrico.

## 6 PUESTA EN MARCHA

Las pruebas de inicio son unas operaciones de riesgo ya que todos los equipos son nuevos y es posible que haya errores en los materiales, pérdidas de presión en equipos por malos ajustes o procedimientos inadecuados por los operarios, por no estar familiarizados con las operaciones de la planta. Dicha puesta en marcha se debe llevar a cabo poco a poco y con unas pautas bien estructuradas. Cada equipo debe ser probado independientemente empleando sustancias no peligrosas, para el correcto funcionamiento del equipo. Una vez que todos los equipos hayan sido comprobados con fluidos no peligrosos y la planta esté en una situación segura, se introducirán lentamente y de manera secuencial las sustancias de producción. La forma más indicada de planificar la puesta en marcha es de seguir una secuencia lógica de arrancada; primero los servicios necesarios en la planta y posteriormente los procesos.

### 6.1 Check lists previos

Los check lists son herramientas que contemplan todos los requisitos para comenzar con la operación normal de la planta. En este caso, serán utilizados antes de dar comienzo a la fase operativa del proceso, para poder llevar a cabo las tareas de verificación de las instalaciones y todo lo que eso conlleva, de modo de poder prevenir eventos de seguridad y/u operativos que no hayan sido contemplados previamente.

## MANTENIMIENTO DE LAS OPERACIONES

---

- Personal calificado y capacitado.
- Materiales, insumos y equipos de repuesto en el almacén.
- Procedimientos operativos (rutinarios, no rutinarios, críticos y de emergencia).
- Procedimientos de inspección de equipos establecidos.
- Manuales de equipos catalogados.
- Materiales necesarios para el mantenimiento.

## INSPECCIONES

---

- Inspecciones del interior de los recipientes y de los elementos allí presentes (platos, mallas, difusores, elementos de relleno, etc.).
- Inspecciones de la red de tuberías según el diagrama P&ID.
- Disposición adecuada de los equipos para garantizar su acceso y operabilidad.
- Pruebas hidráulicas.
- Líquidos penetrantes en cañerías y equipos.

## ACONDICIONAMIENTO DE LÍNEAS Y EQUIPOS

---

- Limpieza y vaciado de tuberías y equipos.
- Soplado de las líneas de instrumentación.
- Inertización de líneas y equipos que lo requieran.
- Verificación de expansión de tuberías y equipos: chequeo de pórticos, uniones soldadas, voladizos, patines, ménsulas, liras, etc.

## SERVICIOS GENERALES

---

- Verificación de la instalación eléctrica (incluyendo subestación) y de iluminación.
- Sistema de tratamiento de agua para sus diferentes usos.
- Verificación del proceso de refrigeración (solución de etilenglicol y amoníaco).
- Verificación del proceso de generación de vapor y de condensado.
- Control del sistema de protección contra incendios: contar con todos los equipos en óptimas condiciones, procedimientos y brigada capacitada y preparada para actuar.

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

---

- Personal calificado y capacitado.
- Equipos y procedimientos adecuados.
- Criterios de toma y análisis de muestras.
- Especificaciones de productos y materias primas.

## EQUIPAMIENTO

---

- Verificación de motores eléctricos: rotaciones y chequeos sin carga.
- Verificación de compresores: lubricación, instrumentación y control.
- Calibración y cebado de bombas.
- Chequeo del correcto funcionamiento de las válvulas del sistema.

## SEGURIDAD

---

- Disponibilidad de elementos de protección personal (EPP).
- Disponibilidad de servicios médicos: primeros auxilios y asistencia básica.
- Disponibilidad de materiales de primeros auxilios: equipos, antídotos, etc.

Debido a que las verificaciones de los equipos determinan la aptitud de los mismos para operar y, por consecuencia, de la planta, son realmente relevantes y es necesario que se lleven a cabo de forma correcta. De este modo, resulta indispensable mencionar qué pruebas se llevarán a cabo en los diferentes equipos presentes en nuestro proceso:

- **Prueba hidráulica:** la prueba hidráulica tiene como finalidad verificar el correcto diseño y funcionamiento de todas las líneas y los equipos instalados. El procedimiento se lleva a cabo llenando todos los equipos con agua desionizada para comprobar que no existen fugas en los distintos sistemas y que las válvulas y bridas de conexión entre tramos de cañería funcionan correctamente. También se comprueba que los equipos toleran de manera adecuada su llenado. En cuanto a las fugas, se utiliza colorante en el fluido de prueba para visualizar más fácilmente el efecto de pérdida.
- **Prueba de presión:** este proceso consiste en comprobar que los equipos que se han diseñado para ser operados a una presión mayor a la atmosférica realmente pueden trabajar adecuadamente a esa presión. Se lleva a cabo inyectando aire comprimido por las entradas auxiliares de los diferentes equipos hasta alcanzar la presión de diseño. Después se cierra la válvula de entrada, aislando totalmente la unidad y se comprueba si la presión interna se mantiene constante durante un tiempo apropiado.
- **Líquidos penetrantes:** La prueba de líquidos penetrantes se define como un ensayo no destructivo que ayuda a determinar daños superficiales en las piezas de inspección. Los materiales que se someten a la inspección por líquidos penetrantes son en su gran mayoría: metales, pero también pueden inspeccionarse algunos cerámicos y plásticos.

### 6.2 Arranque de planta

A continuación, se explicará la secuencia de arranque de la planta, diferenciada por zonas, desde la primera a la última en función de las necesidades y los tiempos de arranque que conllevan cada una. Para ello, hemos dividido el proceso en 6 zonas (A, B, C, D, E y servicios auxiliares y materia prima).

A su vez, consideramos esencial explicar el arranque de los precalentadores dispuestos en planta, debido a la gran cantidad existente:

Se comenzará alimentando un caudal menor del fluido a calentar y vapor y se medirá la temperatura a la salida de cada intercambiador. Si se encuentra a la temperatura deseada, se irán aumentando gradualmente los caudales de fluido a calentar y vapor, de modo de mantener los parámetros operativos alcanzados. En caso de que lo anteriormente mencionado no suceda, se recirculará el caudal de fluido precalentado hasta alcanzar la temperatura de salida buscada.



Figura 8.2.A. Esquema de arranque de un intercambiador.

De este modo, cuando hablemos de arranques de precalentadores estaremos refiriéndonos a este método.

Para el caso de los evaporadores, el proceso de arranque será similar al de las calderas, con la única salvedad que el vapor que se vaya generando se desviará directamente al sistema de tratamiento y la solución de salida se recirculará a la marmita para poder alcanzar el grado de concentración deseado.

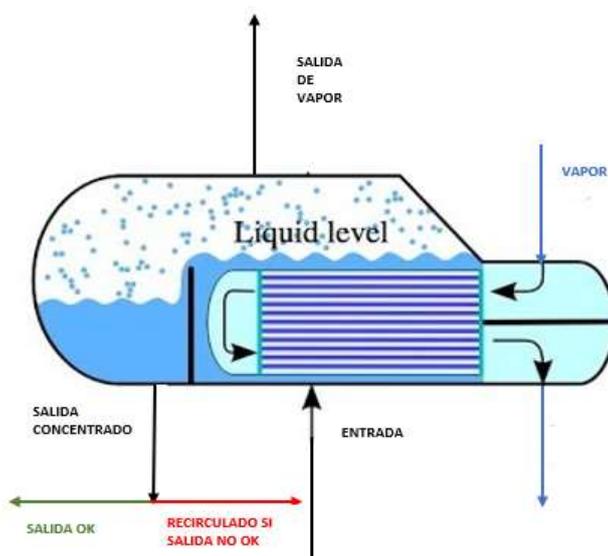


Figura 8.2.A. Esquema de arranque de una marmita.

---

### 6.2.1 Servicios auxiliares (electricidad, aire y agua) y materia prima

Lo primero que haremos será asegurarnos de estar conectados a la red de energía eléctrica debido a que, en un principio, no seremos capaces de autoabastecernos eléctricamente.

Luego, continuaremos con el encendido de los compresores de aire comprimido y su tren de purificación, de modo de asegurarnos el abastecimiento del mismo hacia los diferentes instrumentos de la planta que serán empleados para arrancar los mismos.

Se proseguirá con el arranque de los diferentes sistemas de agua:

- Tren de producción de agua desmineralizada, en la secuencia descrita en el capítulo de servicios auxiliares.
- Sistema de agua contra incendios, llenando los tanques de almacenamiento.
- Preparación del agua de enfriamiento utilizada para refrigerar el agua saturada previo a su vuelco al río.

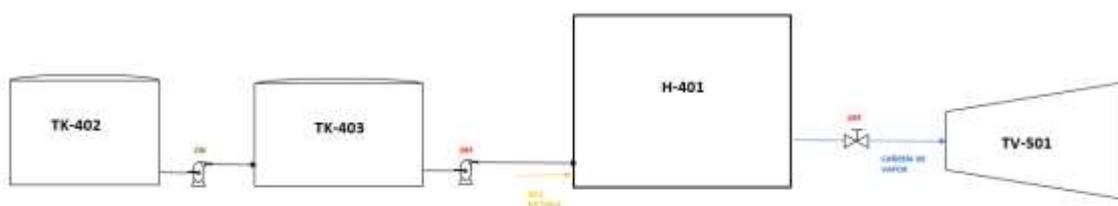
Una vez que contemos con agua desmineralizada, encenderemos las dos calderas auxiliares: la acuotubular, de mayor capacidad, y la humotubular, más pequeña.

Por último, se llenarán los distintos tanques de las materias primas empleadas en el proceso: vinaza, bagazo, ácido sulfúrico, solución de dietanolamina, solución de etilenglicol, amoníaco, agua desmineralizada una vez producida y el antiaglomerante en la tolva.

---

### 6.2.2 Zona A (caldera, turbina y generador)

Lo primero que se hará será arrancar la caldera. Para ello, se la llenará de agua desmineralizada y se prenderán los calentadores (con gas natural), dando inicio a la etapa del calentamiento, cuya rampa será de 50°C/hora. Mientras tanto, se irá generando una determinada cantidad de vapor que no se encuentra en las condiciones de proceso, de modo que se cerrará la válvula que une caldera con turbina y se irá acumulando ese vapor hasta llegar a los parámetros deseados, momento en el cual se comenzará a alimentar la turbina para la generación de vapor.

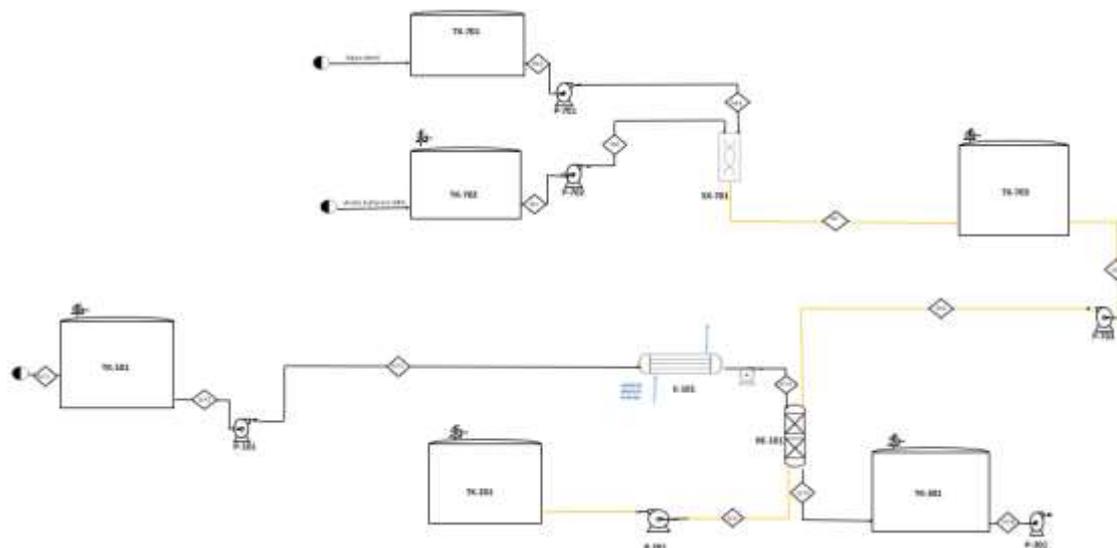


No está de más aclarar que, cuando la caldera llegue a su temperatura de trabajo (800°C), se reemplazará en forma gradual el gas natural por bagazo únicamente, debido a que no contamos con la vinaza tratada en esta etapa del arranque. Para ello, mientras se calienta la caldera, se llenará de a poco el tanque de mezcla combustible con bagazo de modo de estar preparados para ese cambio.

### 6.2.3 Zona B (circuito de vinaza con potasio y solución regenerante)

Comenzaremos poniendo en marcha el precalentador de vinaza, utilizando como medio calefactor el vapor de servicio generado por la caldera acuotubular hasta contar con el vapor producto de la concentración de la solución madre. A su vez, también comenzaremos con la producción de solución regenerante, mediante el encendido de los equipos en la siguiente secuencia: mezclador, intercambiador, tanque enchaquetado (el intercambiador utilizará vapor de caldera auxiliar acuotubular hasta que se disponga con el obtenido por la concentración de la solución madre y la chaqueta del tanque se alimentará del vapor proveniente de la caldera auxiliar humotubular). Esto ocurre debido a que los balances están calculados de modo tal de contar con una producción continua de solución de ácido sulfúrico, aunque se utilice en forma discontinua durante los períodos de regeneración de las resinas.

Una vez que contemos con la vinaza precalentada, el siguiente paso será iniciar las resinas de intercambio que componen el primer tren. La vinaza sin potasio que se irá obteniendo, se almacenará en el tanque ubicado a la salida. A su vez, la solución madre que se vaya produciendo como consecuencia de los períodos de regeneración, se almacenará en el tanque dispuesto para tal fin.



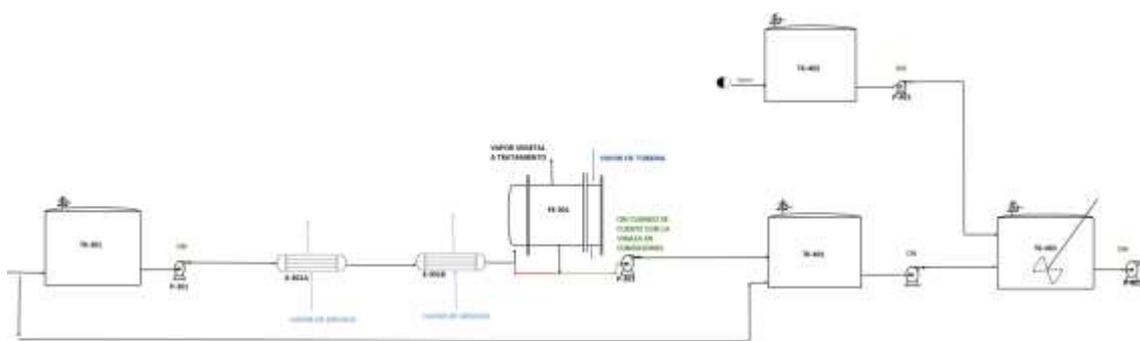
---

#### 6.2.4 Zona C (concentración de vinaza y preparación de mezcla combustible)

Debido a que en las resinas se procesa una cantidad mayor de vinaza de la que se puede concentrar, ese excedente se desviará al tanque de almacenamiento de la vinaza concentrada. Se evidenció durante esta etapa del proyecto la necesidad de procesar de alguna forma ese excedente de vinaza sin potasio, de modo de contar únicamente con la vinaza concentrada. Sin embargo, las opciones propuestas involucraban nuevos equipos o cambios en las instalaciones, por lo que no se avanzó con ninguna alternativa.

Se proseguirá con la puesta en marcha del precalentador y evaporador de la vinaza sin potasio, de la misma forma que se actuó en la zona B. A diferencia del precalentador, que tomará el vapor proveniente de la concentración de la solución madre una vez que se cuente con el mismo, el evaporador se alimentará del vapor proveniente de la turbina, debido a que en este punto del arranque de planta ya habremos llegado en la caldera de bagazo a los parámetros de proceso deseados. La vinaza concentrada se almacenará en el tanque que ya contiene la vinaza sin potasio y el vapor vegetal se utilizará como medio calefactor en los intercambiadores avocados a la producción de sulfato de potasio.

Una vez que el tanque de almacenamiento de vinaza (concentrada y cruda, pero sin potasio) llegue a nivel, se comenzará con el llenado del tanque de preparación de mezcla combustible, mediante la disminución gradual de la cantidad de bagazo y el aumento gradual de la vinaza en el mismo. Finalizado el llenado, la mezcla será alimentada a la caldera bagacera.



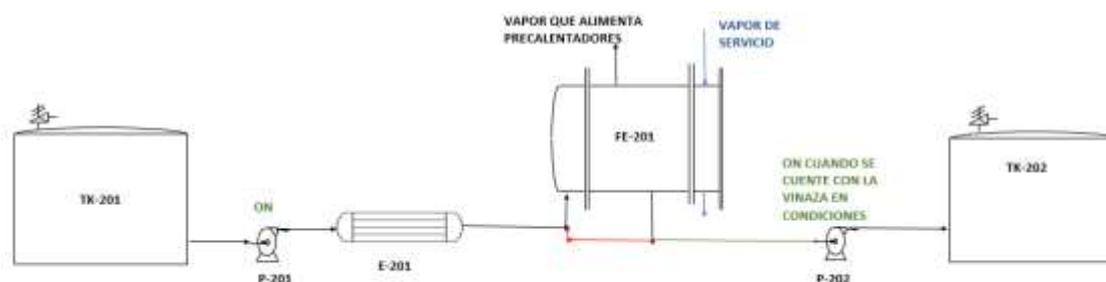
---

#### 6.2.5 Zona D (producción de sulfato de potasio)

El proceso comienza con la regeneración de los trenes de resina una vez saturados. La solución madre resultante se irá almacenando en el tanque dispuesto para tal fin. Una vez que este tanque alcance su nivel operativo, se iniciará el proceso de concentración de la solución madre, mediante la puesta en marcha del sistema precalentador y evaporador. Al igual que en todos los

intercambiadores anteriormente mencionados, éstos se alimentarán de vapor proveniente de servicio auxiliar que será luego reemplazado por vapor vegetal.

La solución concentrada se depositará en el tanque de almacenamiento de la misma y el vapor obtenido se dirigirá a los intercambiadores de la zona B y C para reemplazar el vapor de servicio.



Debido a que el siguiente paso es la puesta en marcha del cristalizador, previamente se iniciará el ciclo de refrigeración de la solución de etilenglicol para que se encuentre a la temperatura de operación deseada (5°C). Luego, se arrancará el cristalizador y, finalizado el ciclo, se vacía el mismo y se realizan las tareas de limpieza necesarias de modo de que el equipo quede listo para el siguiente ciclo de concentración.

La solución madre con los cristales en suspensión se almacenarán en un tanque pulmón mientras se inicia la centrífuga. Aquí se obtendrán dos corrientes: la solución madre “pobre” en sulfato de potasio, cuya mitad se recirculará al proceso y la otra mitad se desviará a una pileta de neutralización para eliminar el residual de ácido sulfúrico y disponer su vuelco a los cursos de agua; la otra corriente obtenida serán los cristales de sulfato de potasio con un bajo contenido de humedad.

Finalizado el arranque de la centrífuga, se pondrá en funcionamiento el precalentador de aire atmosférico, e inmediatamente después el secador rotatorio, donde se eliminará el exceso de humedad de los cristales. Posteriormente, se iniciará el enfriador y, luego, el último equipo rotatorio donde se dosificará el antiaglomerante y, de este modo, obtendremos un fertilizante que cumple con los estándares internacionales de calidad.

Por último, se continuará con el llenado de la tolva para luego continuar con el embolsado del sulfato de potasio.

---

### 6.2.6 Zona E (tratamiento del condensado vegetal)

En esta zona, se comenzará con el llenado del tanque de almacenamiento del condensado vegetal, a medida que se vaya obteniendo de las diferentes corrientes de proceso.

Posteriormente, se iniciará el encendido del sistema de tratamiento de biogás de a un equipo a la vez.

El biogás obtenido será utilizado para la generación de energía eléctrica demandada por la planta, de modo de reemplazar el consumo eléctrico de la red.

Finalmente, los gases de combustión obtenidos serán enviados a la caldera de proceso, disminuyendo la alimentación de la mezcla combustible de modo de no alterar los parámetros operativos. De este modo, alcanzamos finalmente las condiciones de proceso buscadas en ese equipo.

## 7 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el proceso que permite identificar, predecir, evaluar y mitigar los potenciales impactos que un proyecto de obra o actividad puede causar al ambiente, en el corto, mediano y largo plazo; previo a la toma de decisión sobre la ejecución de un proyecto.

Es un procedimiento técnico-administrativo previsto en la Ley N° 25.675 General del Ambiente con carácter preventivo, que permite una toma de decisión informada por parte de la autoridad ambiental competente respecto de la viabilidad ambiental de un proyecto y su gestión ambiental. La autoridad se expide a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Certificado de Aptitud Ambiental (CAA) según la norma particular de cada jurisdicción, también conocido como Licencia Ambiental en la mayoría de los países.

El documento técnico central de la EIA es el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) que realiza el proponente del proyecto (sea público o privado) y contiene: descripción de proyecto, la línea de base ambiental y social, el marco legal de cumplimiento, el análisis de alternativas, la identificación y valoración de los potenciales impactos ambientales y sociales que el proyecto (en todas sus etapas) puede causar en el corto, mediano y largo plazo, así como la previsión de la gestión ambiental para abordarlos (prevención, mitigación y/o compensación), que se concreta a través del Plan de Gestión Ambiental dentro del EsIA.

---

### 7.1.1 Normativa relacionada al EIA

En nuestro caso, el proyecto es alcanzado por la Ley Provincial N° 6253 “Normas generales y metodología de aplicación para la defensa, conservación y mejoramiento del Ambiente”, siendo el más importante el Decreto N° 2204 referido a “Reglamentación de la evaluación de impacto ambiental”. En este decreto, se destaca el artículo 2, referido a lo que debe contener una EIA:

**“Art. 2.** - *La Evaluación del Impacto Ambiental debe comprender lo siguiente:*

- a. *Descripción del Proyecto.*
- b. *Descripción de los componentes relevantes del medioambiente donde actúan o actuarán sus efectos.*
- c. *Predicción de los cambios ambientales que produce o producirá en el corto, mediano y largo plazo (positivos o negativos, naturales o inducidos),*
- d. *identificación de los intereses de la comunidad donde se desarrolla la actividad – ponderaciones, prioridades, grupos sociales que representan intereses concretos directos (paisaje, cultura).*
- e. *Listado de Impactos múltiples.*
- f. *Método usado para identificar su significación en el corto, mediano y largo plazo (desarrollo del método de Análisis costo beneficio – costo ambiental y social),*
- g. *Recomendaciones para procedimientos de seguimiento y control.*
- h. *Descripción de la integración del Proyecto en el proceso socio- económico de la Provincia.*
- i. *Investigación de todos los aspectos físicos, biológicos, económicos y sociales desde el estado de referencia inicial y comparativo con un estado futuro “sin acción” (proyección del estado del medio ambiente al futuro corto, mediano y largo plazo tomando en cuenta los niveles de incertidumbre y un estado futuro “con acción” (Proyecto realizado y en funcionamiento).*
- j. *Toda información que a criterio técnico resulte relevante para la valoración más ajustada del Impacto que produce o puede producir una acción o proyecto.”*

---

### 7.1.2 Categorización de planta

Debido a que la normativa tucumana vigente no tiene ninguna metodología para determinar la categorización de nuestra planta, se toma la Ley de Radicación Industrial N° 11459, Decreto 1741/96 de la Provincia de Buenos Aires, para calcular el Nivel de Complejidad Ambiental (NCA) y de esta manera conocer la categoría de la planta.

Para determinar la categoría de nuestra planta, nos basamos en la siguiente fórmula:

$$Nc=ER+Ru+Ri+Di+Lo$$

Donde:

- Nc: Nivel de complejidad
- ER: Efluentes y residuos
- Ru: Rubro
- Ri: Riesgo
- Di: Dimensionamiento
- Lo: Localización

El nivel de complejidad se clasifica en 3 categorías dependiendo del valor total de la suma:

- Hasta 11: Primera categoría
- De 12 a 25: Segunda categoría
- Mayor de 25: Tercera categoría

---

#### 7.1.2.1 EFLUENTES Y RESIDUOS

Al contar con ácido sulfúrico y vinaza como materias primas, sí o sí obtenemos la clasificación de tipo 2 en este ítem ya que tendremos residuos líquidos especiales que deban, probablemente, poseer más de un tratamiento.

**Valor de la clasificación tipo 2: 6.**

---

#### 7.1.2.2 RUBRO

De acuerdo con la clasificación internacional de actividades la producción de productos potásicos estaba dentro del grupo 3.

**Valor de clasificación tipo 3: 10.**

---

#### 7.1.2.3 RIESGO

Se tendrán en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante, asignando 1 punto por cada uno, a saber:

- Riesgo por aparatos sometidos a presión: es probable, debido a la necesidad de precalentar distintas corrientes de proceso a través de intercambiadores de calor.

- Riesgo por sustancias químicas: al contar con ácido sulfúrico se hace evidente el riesgo en este sentido.
- Riesgo por explosión: al tener una caldera ese riesgo estará siempre presente.
- Riesgo de incendio: similar al punto anterior

Considerando estos 4 riesgos, **la puntuación final para este ítem es 4.**

---

#### 7.1.2.4 DIMENSIONAMIENTO

Aquí se tienen en cuenta 3 factores:

- Cantidad de personal: entre 15 y 60 personas (valor: 1)
- Potencia instalada (HP): entre 151 y 500 (valor: 2)
- Relación entre superficie cubierta y superficie total: debido a la posibilidad de futuras expansiones, consideramos la compra de un predio más grande dando una relación de 0,4 (valor 1)

En conclusión, **el valor que adopta este ítem es 2** debido a que, si hay diferentes valores en cada una de las categorías, se toma el mayor.

---

#### 7.1.2.5 LOCALIZACIÓN

Para este caso se tienen en cuenta los siguientes factores:

Zona: al ser un parque industrial, adopta el valor 0

Infraestructura de servicios: como cuenta con todos los servicios necesarios, también adopta un valor de 0

**De este modo el valor que adopta este ítem es 0.**

Una vez obtenidos realizado el análisis de los distintos ítems, realizamos la sumatoria final:

$$Nc=6+10+4+2+0=22$$

Lo que nos daría un establecimiento de segunda categoría. Sin embargo, al estar tan próximo al valor de la tercera categoría y al contar con una materia prima muy peligrosa y con residuos especiales, **debemos considerar este último tipo de categorización.**

---

### 7.1.3 Contexto del EIA

Para la elaboración del EIA, se deberá tener en cuenta las características del medio ambiente actual, tanto físico como social-económico, referido a la provincia de Tucumán y, más específicamente, la ciudad de San Miguel de Tucumán.

- Físico: Geología, clima, recursos hídricos, atmósfera.
- Biológico: Fauna, flora.
- Socioeconómico: Población y características, uso y ocupación de suelo, servicios.

---

#### 7.1.3.1 MEDIO AMBIENTE FÍSICO

- **Geología**

La ciudad se asienta casi en las laderas de las montañas del Aconquija- una extensión de la precordillera frontal a los Andes que corresponde al sector más septentrional de las Sierras Pampeanas- y a orillas del muy importante río Salí. Cuenta con una superficie total de aproximadamente 91 km<sup>2</sup>.

El centro de la urbe se encuentra a una altitud de 450 msnm. Aunque el Gran San Miguel de Tucumán se extiende por diversos niveles de terreno: desde los llanos y bajos de La Banda del Río Salí al este, hasta los elevados y frágosos del elegante departamento de Yerba Buena en donde prosperan fácilmente coníferas europeas en el oeste.

- **Clima**

Su clima es subtropical subhúmedo (Cwa) según la clasificación climática de Köppen. Se caracteriza por veranos calurosos y húmedos, aunque moderados por la altitud, e inviernos secos y frescos. La primavera y el otoño son cálidos, generalmente con vientos frescos desde el sur. Las temperaturas en estas estaciones rondan los 25 °C aproximadamente, en verano pueden superar los 40 °C y en invierno pueden bajar a 0 °C o menos.

Nuestro proceso productivo se vería afectado especialmente en días de elevadas temperaturas y/o humedad, ya que afectarían el rendimiento de secadores, enfriadores, compresores, entre otros.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	41.5	41.0	39.0	35.4	32.9	29.5	29.3	39.2	41.8	45.0	44.8	43.7	45.0
Temp. máx. media (°C)	31.3	30.2	27.7	24.4	21.2	18.2	19.1	22.5	24.5	29.0	29.8	30.9	26.7
Temp. media (°C)	25.3	24.2	22.2	19.1	15.5	12.2	12.1	14.7	17.1	21.6	23.2	24.9	19.3
Temp. mín. media (°C)	20.2	19.2	18.0	15.1	11.0	7.5	6.8	8.6	10.6	15.1	17.5	19.4	14.1
Temp. mín. abs. (°C)	11.3	10.1	9.2	3.9	0.2	-1.4	-2.5	-2.5	-0.4	2.5	6.0	10.0	-2.5
Precipitación total (mm)	196.2	158.1	161.0	67.2	14.7	14.0	11.4	12.4	13.3	47.0	89.0	200.4	868.3
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	15	12	14	10	6	5	4	3	4	6	12	12	103
Horas de sol	229.4	183.6	186.0	162.0	167.4	156.0	195.3	235.8	192.0	201.5	216.0	232.5	2367.3
Humedad relativa (%)	75	77	83	84	81	80	74	66	65	62	70	73	74

Figura 9.1.3.1.A. Parámetros climáticos promedio de San Miguel de Tucumán, Tucumán (1981 – 2014).

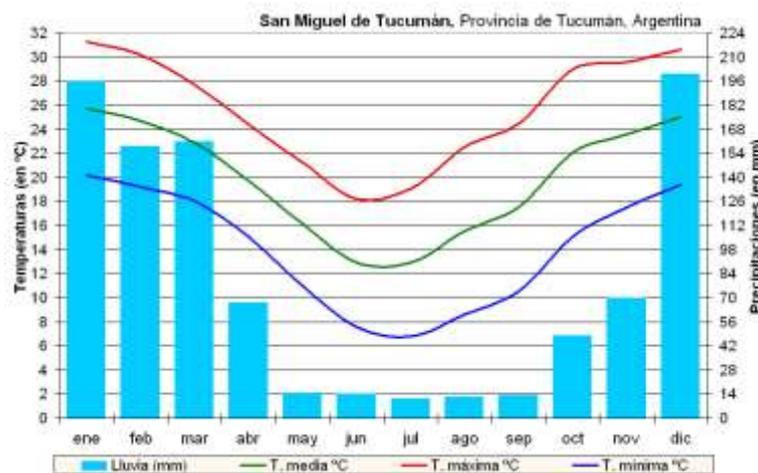


Figura 9.1.3.1.B. Gráfica temperatura y precipitación media en San Miguel de Tucumán.

- Recursos hídricos

### Río Salí

El Dulce o Salí es un importante río del centro-norte de Argentina, principal integrante de la cuenca endorreica de la gran laguna de Mar Chiquita en la provincia de Córdoba (Argentina).

Dentro de la provincia de Tucumán, pasa por la ciudad de San Miguel de Tucumán; al norte, sus aguas forman el lago del embalse El Cadillal, mientras que, al sureste, en la zona limítrofe con la Provincia de Santiago del Estero forma el gran embalse de Río Hondo. Antes de la creación del embalse, los ríos Gastona y Marapa confluían en un breve curso de agua llamado "río Hondo" que era el principal afluente del Dulce; el mismo ha desaparecido bajo la superficie del embalse, y los dos ríos desembocan en las márgenes del mismo.

La región superior, comprende la porción de la cuenca de aporte en las provincias de Tucumán, Salta y Catamarca. El módulo del río Dulce en el período septiembre de 1977 a marzo de 1978 fue de 90,7 m<sup>3</sup>/s, con un valor máximo de 226 m<sup>3</sup>/s y un mínimo de 2,7 m<sup>3</sup>/s.

### Región Hidrológica del Valle del Río Salí

El valle del Río Salí es una cuenca ovalada que se ubica en la porción central de la provincia de Tucumán, con una superficie del orden de los 10.000 km<sup>2</sup>. Está limitada por las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaquíes por el Oeste; la Sierra de La Ramada, las Lomadas de Cañete-Tacanas y la Sierra de Guasayán por el Este; las Sierras de Medina y San Javier por el Norte; y las Cumbres de Los Llanos y la Sierra de Ancasti por el Sur. La ciudad de San Miguel de Tucumán se encuentra en el Área 2 de esta cuenca.



Figura 9.1.3.1.C. Región hidrológica del valle del Río Salí.

Esta zona de una superficie de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup>, y constituye un área de recarga septentrional del valle del río Salí. Allí se ubica San Miguel de Tucumán donde se hace una explotación intensiva del recurso subterráneo para usos múltiples, humano, agrícola e industrial. Abarca desde Tafí Viejo por el norte hasta Lules por el sur y desde el piedemonte de la Sierra de San Javier por el oeste, hasta el río Salí por el este. Los pozos son de profundidades variables de

150 a 180 m, con caudales promedios de 150 m<sup>3</sup>/h y buenos rendimientos de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h/m. Los niveles piezométricos varían entre 40 m en áreas elevadas hasta niveles muy someros, de 4 a 8 m en la llanura distal. Las aguas son de buena calidad, de tipo bicarbonatadas-sulfatadas cálcica-sódicas y con salinidades de 400 a 800 mg/L. En la zona del Gran San Miguel de Tucumán existen en el orden de 200 pozos, que se usan en mayor medida para abastecer de agua potable a la población. En algunos sectores de la ciudad la elevada densidad de perforaciones y la geología del subsuelo desfavorable hacen que existan problemas hidrogeológicos por interferencias entre pozos, mermas de rendimientos y descensos de niveles entre otros procesos.

- **Atmósfera**

A escala local la contaminación atmósfera depende del tipo y concentración de gases emitidos y de las condiciones meteorológicas. La existencia de vientos y el grado de humedad son factores que distribuyen, dispersan o concentran los contaminantes.

La calidad del aire se ve afectada principalmente por los gases de combustión derivados de fuentes móviles (vehículos y transporte público) y por efluentes gaseosos generados por fuentes fijas o estacionarias de emisión como lo son industrias y plantas generadoras de energía. En el caso de San Miguel de Tucumán, las industrias que más contribuyen a esta contaminación son los ingenios azucareros, que están regulados por leyes locales.

- **Flora**

Hablando de la flora, nos concentramos en lo que sería la provincia de Tucumán en su conjunto. En este ámbito se destacan:

**Lapacho rosado (*Handroanthus impetiginosus*)**

Este árbol caducifolio, nativo de América, crece en suelos húmedos y arenosos localizados desde México hasta Argentina. Es una especie majestuosa, que se distingue por sus llamativas flores rosadas, que aparecen inclusive a finales de invierno, cuando no tienen follaje.

La madera del lapacho rosado se utiliza en la construcción y a la corteza le son atribuidas algunas propiedades medicinales.

**Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*)**

Esta especie subtropical forma parte de la familia Bignoniaceae. Es originario de Suramérica, siendo ampliamente cultivado por sus duraderas y hermosas flores de color violeta.

### **Pasionaria (*Passiflora caerulea*)**

La pasionaria es una planta trepadora que crece de manera espontánea en diferentes países suramericanos, tales como Bolivia, Argentina Brasil, Colombia, Chile y Ecuador. También se localizan en Colombia, Paraguay, Uruguay, Perú y Venezuela.

- **Fauna**

De la misma forma que la flora, hablamos de la fauna de la provincia de Tucumán en su conjunto. Aquí se pueden destacar especies como:

### **Tatú negro (*Dasyopus novemcinctus*)**

Este armadillo, perteneciente a la familia Dasypodidae, se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina. Es un mamífero que tiene el cuerpo acorazado, con un total de 9 bandas o anillos.

El cuerpo de la mulita grande, como también se le conoce a esta especie, es pequeño. Puede medir entre 50 y 60 centímetros, pasando aproximadamente de 4 a 8 kilogramos. Con relación a la coloración, esta es negra, con algunas áreas de color beige o blanco.

### **Vizcacha de la sierra (*Lagidium viscacia sarae*)**

Este roedor herbívoro, pertenece al mismo grupo de las chinchillas. Se encuentra distribuido al sur de Sudamérica, siendo endémico de la Patagonia argentina.

Es una especie grande, con una cabeza redonda y corta, donde destacan unos ojos grandes. Además, tiene unas pequeñas orejas, que siempre están erectas. En las áreas laterales del hocico, se encuentran unas vibrisas largas y rígidas.

### **Corzuela parda (*Mazama gouazoubira*)**

La corzuela parda es un cérvido originario de América, habitando desde México hasta la región noreste de Argentina. Su tamaño alcanza 110 centímetros de longitud, llegando a pesar alrededor de 30 kilogramos.

En esta especie, la coloración pudiera variar dependiendo de la región que habite. Sin embargo, generalmente son de un tono pardo rojizo o pardo grisáceo. Contrariamente, el vientre, las verijas y la cola son blancas.

### 7.1.3.2 MEDIO AMBIENTE SOCIOECONÓMICO

- **Población y características**

La ciudad cuenta con 605.707 habitantes, según estimaciones realizadas en el año 2020, lo que nos daría una densidad poblacional de 6656,78 habitantes/km<sup>2</sup>. El aglomerado urbano al que pertenece esta ciudad, denominado Gran San Miguel de Tucumán, posee 794.327 habitantes según el censo realizado en 2010, y este incluye los departamentos de San Miguel de Tucumán Capital, Cruz Alta, Yerba Buena, Tafí Viejo, Alderetes y Lules, entre otros.

A continuación, se presentan otros datos relevantes de la provincia de Tucumán, comparada con otras provincias del Noroeste argentino y con el resto del país.

	Periodo	Tucumán	Región NOA	País	Fuente
<b>Mercado laboral</b>					
Tasa de actividad (%)	2° tri 2017	43.1	43.7	45.4	EPH (INDEC)
Tasa de desocupación (%)	2° tri 2017	7.0	6.9	8.7	EPH (INDEC)
Asalariados sector privado formal (miles)	2° tri 2017	171	456	6.184	SIPA
Empleo en la Administración Pública Provincial (miles)	2015	81	352	2.201	DNAP
Remuneración bruta del sector privado formal (\$) *	2° tri 2017	18.455	19.640	26.855	SIPA
Asalariados sin descuento jubilatorio (%)	2° tri 2017	44.5	40.8	33.7	EPH (INDEC)
<b>Pobreza y distribución del ingreso</b>					
Personas bajo la línea de pobreza (%)	1° sem 2017	24.3	28.2	28.6	EPH (INDEC)
Personas bajo la línea de indigencia (%)	1° sem 2017	2.9	4.7	6.2	EPH (INDEC)
Ingreso per cápita (\$) *	2° tri 2017	5.548	5.611	7.522	DNAP-EPH(INDEC)
Gini	2° tri 2017	0.348	0.387	0.428	DNAP-EPH(INDEC)
Brecha de ingresos (decil 10 / decil 1)	2° tri 2017	9.8	12.9	19.6	EPH (INDEC)
<b>Salud</b>					
Tasa de mortalidad infantil (‰)	2016	11.0	11.2	9.7	MBN
Cobertura de Salud (%)	2° tri 2017	73.2	66.6	68.9	DNAP en base a INDEC
<b>Educación</b>					
Tasa de Analfabetismo (%)	2010	2.5	2.9	1.9	CNPHV/2010 - INDEC
Ocupados con secundario completo (%) **	2° tri 2017	58.8	63.4	63.6	DNAP-EPH(INDEC)
Ocupados con instrucción superior completa (%)	2° tri 2017	17.6	20.4	21.7	DNAP-EPH(INDEC)
Índice de Desarrollo Humano	2016	0.838	0.830	0.848	PNUD

Figura 9.1.3.2.A. Datos socioeconómicos de la provincia de Tucumán.

### 7.1.4 Matriz de Leopold

Para realizar la evaluación de impacto ambiental y de esta manera brindar la información requerida por el artículo 2 del Decreto 2204, se realizó una llamada Matriz de Leopold, la cual es una herramienta que nos permite establecer un sistema para el análisis de diversos impactos. El método de la matriz de Leopold consiste en una matriz interactiva simple donde se muestra las acciones del proyecto o actividades relacionadas al proyecto en un eje, y los factores o componentes ambientales posiblemente afectados, en el otro eje de la matriz. Cuando se presume que una acción determinada va a provocar un cambio en un factor ambiental, éste se apunta en el punto de la intersección de la matriz y se describe además su magnitud e importancia.

En nuestro caso, se decide disponer de las actividades realizadas en el eje horizontal, y los componentes ambientales en el eje vertical. En las intersecciones se indicará el grado de importancia que tiene la acción y la magnitud de lo que provoca en el componente ambiental, sea positivo o negativo.

En ambos casos, para la magnitud se tendrán en cuenta los factores de intensidad y afectación de la situación, y para la importancia, se tendrán en cuenta la duración y la influencia del problema.

IMPACTOS POSITIVOS					
MAGNITUD			IMPORTANCIA		
INTENSIDAD	AFECTACIÓN	CALIFICACIÓN	DURACIÓN	INFLUENCIA	CALIFICACIÓN
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

IMPACTOS NEGATIVOS					
MAGNITUD			IMPORTANCIA		
INTENSIDAD	AFECTACIÓN	CALIFICACIÓN	DURACIÓN	INFLUENCIA	CALIFICACIÓN
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	+4
Media	Media	-5	Media	Local	+5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	-8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	+10

Para tener una noción del impacto de las acciones sobre cada factor ambiental, en la parte derecha de la matriz se diferencia la cantidad de acciones positivas y negativas. Además, se calcula cual es la magnitud que afecta a cada ítem ambiental, y al final de todo, se calcula el balance global del proyecto sobre el medio ambiente, si éste da negativo, claramente lo perjudicará, y si da positivo, lo beneficiará.

Las acciones del proyecto se dividirán en acciones de:

- Extracción: Las que se llevan a cabo a la hora de instalar la planta.
- Operación y mantenimiento: Las que se llevan a cabo cuando la planta está en marcha.
- Abandono: Las que se llevan a cabo cuando cierra la planta.

Mientras tanto, los factores ambientales a tener en cuenta son:

- Medio ambiente físico: Suelo, Atmósfera, Agua, Paisaje
- Medio ambiente biológico: Flora, Fauna
- Medio ambiente socioeconómico: Población, Territorio, Economía, Cultura.

Por lo tanto, a continuación, se presenta nuestra Matriz de Leopold, que relaciona las acciones del proyecto mencionadas anteriormente con los factores medioambientales:

FACTORES AMBIENTALES			EXTRACCIÓN				OPERACIÓN							ABANDONO		PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	IMPACTO POR SUBCOMPONENTES	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO
			Limpieza y acondicionamiento	Alteración de la cobertura del suelo	Excavación manual	Quema controlada	Construcción de vías secundarias	Investigación	Paisajismo	Conservación y gestión	Fallos operativos	Filtraciones subterráneas	Acumulación de riegos	Residuos sólidos	Manejo de residuos					
FÍSICO	SUELO	Tasa de erosión	-2	2	-2	-2	-2	10	10	10	-2	10	10	-2	-2	6	8	566		
		Estructuras	-2	-2	-2	-2	-2	10	10	10	-2	-2	-2	-2	-2	6	6	-21		
	ATMÓSFERA	Calidad de aire	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	10	10	-52		
		Turbidez	-2	-2	-2	-2	-2	10	10	10	-2	10	10	-2	-2	6	6	580		
	AGUA	Toxicidad	-2	-2	-2	-2	-2	10	10	10	-2	10	10	-2	-2	6	6	588		
		Calidad	-2	-2	-2	-2	-2	10	10	10	-2	10	10	-2	-2	4	7	-8		
BIOLÓGICO	FLORA	Estructura y composición	-2	-2	-2	-2	4	4	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	7	-12			
		Hábitat	-2	-2	-2	-2	4	4	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	6	-8			
	FAUNA	Hábitat	-2	-2	-2	-2	4	4	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	6	-8			
SOCIO ECONÓMICO	POBLACIÓN	Migración	3	3	4	3	3	-2	-2	3	3	-2	-2	3	5	4	22			
	TERRITORIO	Uso de tierra	3	3	3	3	3	3	-2	-2	3	3	-2	-2	3	2	36			
	ECONOMÍA	Generación de empleo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	12	1	171			
	CULTURA	Sitio arqueológico	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	1	92			
PROMEDIOS POSITIVOS			2	2	3	3	3	10	6	5	1	4	4	5	3	1	52			
PROMEDIOS NEGATIVOS			2	3	8	7	8	1	2	3	6	2	6	4	7	7	64			
PROMEDIOS ARITMÉTICOS			17	11	15	-4	2	390	328	311	-25	311	292	312	6	-32		1942		

Como se puede apreciar, el proyecto ofrece un enorme beneficio al medio ambiente físico de la región, sobre todo a los suelos y recursos hídricos, al usar como materia prima un contaminante propio de la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar, como es la vinaza. Además, generaría un importante progreso económico en la región, debido a los empleos que se generarían. Con todo esto, se puede decir que el proyecto tiene un alto impacto ambiental positivo en la zona.

---

## 7.1.5 Residuos y tratamiento

De acuerdo con nuestro proceso productivo, a continuación, se detallan tanto los efluentes y subproductos generados como sus respectivos tratamientos.

---

### 7.1.5.1 EFLUENTES GASEOSOS

La normativa referencia en este punto será el Decreto Provincial 1610/3, referido a Emisiones Gaseosas generadas por Ingenios azucareros. Se tomó esta normativa debido a que no existen reglamentaciones en cuanto a efluentes gaseosos para industrias en general. El mismo decreto establece en su artículo 3 los límites máximos de emisiones gaseosas, que son:

- PM10: 300 µg/Nm<sup>3</sup> (Material particulado con diámetro menor a 10µm).
- Partículas totales para instalaciones nuevas: 400 mg/Nm<sup>3</sup>. (Emisiones por chimenea en condiciones normales).
- Partículas totales para instalaciones existentes: 700 mg/ Nm<sup>3</sup>. (Emisiones por chimenea en condiciones normales).

En nuestro caso, vamos a tener emisión de material particulado proveniente de la chimenea de la caldera de bagazo. Éste estará en forma de gases de combustión, y las partículas más grandes quedarán retenidas en filtros de mangas para evitar su liberación a la atmósfera.

---

### 7.1.5.2 EFLUENTES LÍQUIDOS

En este caso, el sistema provincial de salud de Tucumán establece las resoluciones:

- 231/07 de Efluentes industriales líquidos, en la que se establecen sanciones a contaminantes que excedan los 1000 kg de DBO<sub>5</sub>/día
- 1265/03 de líquidos residuales, que establece que *“líquidos residuales podrían ser descargados a cursos de agua, canales (pluviales, de riego), acequias, lagos, lagunas o terrenos de dominio público o privado, cuando alcancen los niveles de calidad fijados en el Anexo I. Además, Las empresas que administran y/o generan líquidos residuales, sometidos o no a sistemas de tratamiento, deberían solicitar a la Dirección General de Saneamiento Ambiental la inscripción o reinscripción en el Registro de Efluentes.”*

Uno de nuestros efluentes principales será una solución acuosa con trazas de ácido sulfúrico, resultante de la concentración de sulfato de potasio, la cual se tratará neutralizándola con alguna solución conformada por una sal básica, como pueden ser la sosa cáustica, hidróxido de sodio o hidróxido de calcio, entre otros, para luego ser descargada en el río.

El otro efluente líquido principal será la corriente de vapor resultante de la concentración de vinaza desde el 10% hasta el 60% denominada “condensado vegetal”, la cual será usada para intercambiar calor con distintas fases del proceso y, una vez que se enfríe, se tratará internamente en la planta en un biodigestor, el cual, a partir del condensado vegetal, nos servirá para producir biogás.

---

#### 7.1.5.3 EFLUENTES SÓLIDOS

El único efluente sólido del que se dispondrá en el proyecto serán las cenizas resultantes de la combustión de vinaza y bagazo en la caldera. De aquí se desprenden dos tipos de cenizas, las cuales tendrán tratamientos diferentes.

Las denominadas “cenizas volantes” son cenizas livianas que saldrán junto con los gases de combustión por la chimenea de la caldera. Éstas serán retenidas con un precipitador electrostático, para luego ser almacenadas y comercializadas a industrias cementeras como aditivo para sus productos, debido a su gran contenido de sílices.

Por otro lado, también se dispondrá de “cenizas de fondo”, las cuales quedan como residuo en el hogar de la caldera, éstas serán retiradas a través de un transporte neumático y posteriormente incineradas para ser utilizadas como relleno en nuestro predio o usarse en el medio de la construcción.

Por último, tanto el secador como el enfriador de cristales de sulfato de potasio tendrán filtros de polvo, para evitar la salida a la atmósfera de material particulado proveniente de estos equipos.

---

#### 7.1.5.4 EFLUENTES CLOCALES

Estos residuos líquidos se darían íntegramente en baños y comedor, no representan ningún tipo de peligrosidad por lo que el vertido sería directamente en la red cloacal de San Miguel de Tucumán.

---

#### 7.1.5.5 RESIDUOS ESPECIALES

Los residuos especiales de la planta provendrán de procesos no relacionados directamente con lo operativo. Éstos serían, en general, aceites usados de equipos, neumáticos y baterías de autoelevadores y vehículos, pintura, aerosoles, espray, lámparas y tubos fluorescentes, residuos de laboratorio. Todos los residuos especiales serán llevados dentro de la planta al depósito de residuos especiales. Para darles disposición final, se contratará una empresa tercerizada que brinde este servicio.

---

#### 7.1.5.6 RESIDUOS PATOGENICOS

Este tipo de residuos se generarán íntegramente en la enfermería, proveniente de jeringas, gazas usadas, termómetros, guantes, etc. Respecto a los barbijos, se les solicitará a los empleados que desechen barbijos descartables dentro de la planta, que lo hagan en un contenedor especial.

---

#### 7.1.5.7 RESIDUOS ASIMILABLES A SÓLIDOS URBANOS

En esta clasificación se encuentran los residuos generados en las actividades de limpieza de vías públicas, zonas verdes, restos de comidas, cartones y papeles de oficina, cintas de embalaje, plásticos, entre otros. Se fomentarán programas de reciclaje, así como también la separación selectiva de residuos en tres categorías: papel y cartón, orgánicos y otros.

---

### 7.1.6 Propuesta de mitigación de impactos

---

#### 7.1.6.1 DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

##### **MATERIAL PARTICULADO**

- Material Particulado y/o Polvo: Se deberán organizar las excavaciones y movimiento de suelo de modo de minimizar la voladura de polvo. Una premisa será disminuir a lo estrictamente necesario las tareas de excavación y movimiento de tierra.
- Se deberá regar periódicamente, solo con AGUA, los caminos de acceso y las playas de maniobras de las máquinas pesadas en el obrador, depósito de excavaciones y campamento, reduciendo de esta manera el polvo en la zona de obra.

##### **RESIDUOS SOLIDOS EN CONSTRUCCION**

- El contratista deberá disponer los medios necesarios para lograr una correcta gestión de residuos durante todo el desarrollo de la obra, aplicando el Programa de Manejo de Residuos, Emisiones y Efluentes.
- En caso de verificar desvíos a los procedimientos estipulados, el Supervisor Ambiental deberá documentar la situación dando un tiempo acotado para la solución de las no conformidades.
- Recoger los sobrantes diarios, hormigón, maderas y plásticos de manera de hacer un desarrollo y finalización de obra prolijo.
- Se deberá contar con recipientes adecuados y en cantidad suficiente para el almacenamiento seguro de los residuos producidos.

- El contratista dispondrá de personal o terceros contratados a tal fin para retirar y disponer los residuos generados de acuerdo a las normas vigentes.
- El contratista será responsable de capacitar adecuadamente al personal para la correcta gestión de los residuos de la obra.

### **EMISIONES GASEOSAS**

- Emisiones Gaseosas: Se deberá verificar el correcto funcionamiento de los motores a explosión para evitar desajustes en la combustión que pudieran producir emisiones de gases fuera de norma.

### **GESTIÓN DE AFLUENTES LÍQUIDOS**

- El contratista deberá disponer los medios necesarios para lograr una correcta gestión de los efluentes líquidos generados durante todo el desarrollo de la obra, aplicando el Programa de Residuos, Emisiones y Efluentes.
- El contratista deberá evitar la degradación del paisaje por la generación de efluentes líquidos durante la etapa de Montaje y Funcionamiento del Obrador y Campamento.
- Los efluentes que se pudieran generar durante las distintas etapas de la obra como ser montaje y funcionamiento de obrador y campamento, deberán ser controlados de acuerdo con lo estipulado en el Programa de Manejo de Residuos, Emisiones y Efluentes.
- Se deberá contar con recipientes adecuados y en cantidad suficiente para el almacenamiento seguro de los efluentes líquidos generados
- El contratista dispondrá de personal o terceros contratados a tal fin para retirar y disponer los efluentes líquidos de acuerdo a las normas vigentes.
- El contratista será responsable de capacitar adecuadamente al personal para la correcta gestión de los efluentes líquidos de la obra.

### **RUIDOS Y VIBRACIONES**

- No todos los trabajos de excavación se realizarán al mismo tiempo, aunque esto dependerá del cronograma de tareas que diseñe la empresa constructora, en la práctica no se podrán realizar todas las excavaciones y movimientos de suelos a la vez.

### **SALUD, SEGURIDAD E HIGIENE**

- Asegurar las condiciones de higiene y seguridad de los trabajadores

- Cumplir con las normas vigentes en materia de seguridad e higiene laboral.
- Uso de vallado, cercos perimetrales, etc. para impedir el acceso a personas ajenas a la obra, como así también, animales de los campos aledaños, a fin de evitar accidentes. Señalización para seguridad de vehículos y peatones

---

### 7.1.7 Durante la operación

---

#### 7.1.7.1 EFLUENTES GASEOSOS

##### **Caldera**

- Contar con un orificio toma muestras (OTM) para realizar mediciones periódicas de los productos de combustión, de modo de asegurar el cumplimiento de la normativa vigente.
- Control sobre la combustión y color del humo de salida.

---

#### 7.1.7.2 EFLUENTES LÍQUIDOS

##### **Zona de preparación**

- Contar con dique de contención para tanque de ácido sulfúrico 98%.

##### **Planta de agua**

- Contar con una pileta que neutralice los efluentes generados en el proceso de preparación de agua de proceso y solución regenerante que se purga.
- Contar con diques de contención en los tanques de hidróxido de sodio y ácidos utilizados en la preparación de agua de proceso.

---

#### 7.1.7.3 EFLUENTES SÓLIDOS

##### **Planta de agua**

- Los barros generados durante el proceso de preparación de agua serán dispuestos para donación para productores ladrilleros o para nivelación del predio.

##### **Caldera**

- Contención de cenizas en el equipo hasta que se derive al tratamiento.

##### **Secadores y tambores rotatorios**

- Contar con filtros y mantenerlos limpios a fin de evitar escape de material particulado.

---

#### 7.1.7.4 EN GENERAL DURANTE LA OPERACIÓN

- Establecer un sistema de mejora continua en temas ambientales.
- Programas de reciclaje internos en la planta.
- Separación y clasificación de residuos asimilables a sólidos urbanos.
- Optimización del uso de agua de pozo a fin de utilizar la menor cantidad posible.
- Programa de reforestación interna en el predio.
- Verificar periódicamente estado de pozos freáticos y contaminación acústica.

## 8 SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

### 8.1 Marco Legal.

La seguridad y salud ocupacional es un área multidisciplinar relacionada con la seguridad, salud y la calidad de vida de las personas en la ocupación. La seguridad y salud ocupacionales también protege toda persona que pueda verse afectada por el ambiente ocupacional.

Se construye en un medio ambiente ocupacional adecuado, con condiciones justas, donde los trabajadores puedan desarrollar una actividad con dignidad y donde sea posible su participación para la mejora de las condiciones de seguridad y salud.

---

#### 8.1.1 Normativa legal vigente relacionada a seguridad e higiene

La normativa que se relaciona con la seguridad y salud ocupacional en nuestro proyecto sería:

---

##### 8.1.1.1 LEY 19587: HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

La Ley 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo, y sus decretos Reglamentarios 351/79 y 1338/96 determinan las condiciones de seguridad que debe cumplir cualquier actividad industrial en todo el territorio de la República Argentina.

El Decreto 911/96 reglamenta la ley 19587 específicamente en las actividades de la industria de la construcción. Comprende las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, de tutela o de cualquier otra índole que tengan por objeto:

- proteger la vida, preservar y mantener la integridad psicofísica de los trabajadores;
- prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo;
- estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

---

### 8.1.1.1 LEY 24557: RIESGOS DE TRABAJO

La Ley de Riesgos del Trabajo, Ley 24557, propone en su marco teórico, la prevención de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, además de asegurar al trabajador adecuada atención médica en forma oportuna, procurando su restablecimiento.

Los objetivos de la Ley de Riesgos del Trabajo son:

- Resarcir los daños causados por enfermedades profesionales o accidentes de trabajo, incluyendo la rehabilitación del trabajador perjudicado.
- Disminuir las enfermedades y accidentes de trabajo a través de la prevención.
- Impulsar la recalificación y reubicación profesional del trabajador damnificado.
- Promover la negociación colectiva laboral para las mejoras de las medidas de prevención y de las prestaciones reparadoras.

Los sujetos que quedan comprendidos dentro de esta ley son los trabajadores en relación de dependencia correspondientes al sector privado, los funcionarios y empleados del sector público nacional, provincial y municipal, y en general toda persona obligada a prestar un servicio de carga pública.

---

### 8.1.1.2 NORMA ISO 45001: GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

La ISO 45001 es la norma internacional para sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, destinada a proteger a los trabajadores y visitantes de accidentes y enfermedades laborales. La certificación ISO 45001 fue desarrollada para mitigar cualquier factor que pueda causar daños irreparables a los empleados o al negocio. La norma es resultado del esfuerzo de un comité de expertos en seguridad y salud en el trabajo que buscaron un enfoque hacia otros sistemas de gestión, incluyendo la ISO 9001 y la ISO 14001. Además, la ISO 45001 fue diseñada para considerar otros sistemas de gestión de SST como la OHSAS 18001 y otras directrices y convenciones de seguridad.

Enfocada especialmente en la gerencia, la ISO 45001 tiene como objetivo final ayudar a los negocios a proporcionar un ambiente de trabajo seguro para los empleados y cualquier persona en el lugar de trabajo. Esto puede conseguirse al controlar factores que puedan potencialmente causar lesiones, enfermedades, y en casos extremos, defunciones. Como resultado, la ISO 45001 se centra en mitigar cualquier factor dañino o que suponga un riesgo para el bienestar físico y mental de los trabajadores.

## 8.2 Seguridad durante la construcción de la planta

Las políticas de higiene y seguridad deben ser delineadas por un profesional entrenado en la materia. Al inicio de un proyecto, se identifican los riesgos específicos para cada etapa y las áreas más problemáticas. Luego, se delinea un plan de acción que incluye medidas de seguridad preventivas, correctivas y los controles correspondientes.

Este plan da como resultado un Legajo Técnico. El Decreto 911/96, en su artículo 20, especifica:

*“El Legajo Técnico estará constituido por la documentación generada por la Prestación de Higiene y Seguridad para el control efectivo de los riesgos emergentes en el desarrollo de la obra. Contendrá información suficiente, de acuerdo a las características, volumen y condiciones bajo las cuales se desarrollarán los trabajos, para determinar los riesgos más significativos en cada etapa de los mismos.”*

Además, deberá actualizarse incorporando las modificaciones que se introduzcan en la programación de las tareas que signifiquen alteraciones en el nivel o características de los riesgos para la seguridad del personal. Deberá estar rubricado por el responsable de Higiene y Seguridad y será exhibido a la autoridad competente, a su requerimiento.

---

### 8.2.1 Riesgos identificados

- **Caídas:** pueden producirse a distinto nivel (tejados o cubiertas) o al mismo (tropezones, resbalones).
- **Falta de orden y limpieza:** tener el material tirado por el suelo o una superficie resbaladiza por no haberla sacado puede derivar en golpes o caídas.
- **Proyección de partículas:** pueden desprenderse fragmentos o partículas del material de trabajo, maquinaria o herramientas.
- **Riesgo eléctrico:** las instalaciones eléctricas de las obras de construcción suelen ser provisionales (y al aire libre) por lo que hay que tener especial cuidado con su mantenimiento.
- **Golpes contra objetos y herramientas:** se producen de forma frecuente en las extremidades inferiores y superiores.
- **Atrapamientos:** pueden producirse con la maquinaria de trabajo, así como atropellos con vehículos de carga.
- **Sobreesfuerzos:** es uno de los riesgos principales del sector y tiene consecuencias tanto a corto como a largo plazo. En los trabajos de construcción se levantan

constantemente cargas, por lo que pueden provocar lesiones musculoesqueléticas de forma aguda o crónica.

---

### 8.2.2 Plan de prevención

El plan de Higiene y Seguridad se implementa en el campo, juntamente con capacitaciones en el uso correcto de herramientas y materiales, así como otros procedimientos de trabajo seguro. Suele contemplar distintos elementos de seguridad personal y colectiva, algunos de los cuales especificamos a continuación:

- Elementos de protección personal (cascos, guantes, gafas, etc.)
- Protección de los tableros eléctricos.
- Sistemas de señalización y vallado adecuados.
- Condiciones de circulación adecuadas en espacios comunes, de paso y de acopio de materiales.
- Extintores y protección contra incendios.
- Medidas de prevención ante caída de personas y objetos.
- Orden y limpieza en la zona de trabajo.
- Acopio y almacenamiento organizado de los materiales.
- Condiciones adecuadas de temperatura, iluminación y ventilación.
- Acceso a sanitarios y vestuarios para el personal de obra.
- Agua potable para uso y consumo del personal.
- Gestión adecuada de los desechos de obra, cloacales y orgánicos.
- Seguro de riesgo de trabajo para el personal y terceros.
- Ventilación adecuada en todo lugar
- Legajo técnico, capacitación y asesoramiento en obra sobre Higiene y Seguridad.

Los elementos de protección personal más utilizados en la construcción incluyen:

- Casco de seguridad
- Guantes
- Protectores auditivos
- Antiparras
- Barbijo
- Calzado de seguridad
- Pechera y/o delantal de soldador.
- Protección facial

---

### 8.2.3 Personal de higiene y seguridad durante la construcción

La empresa encargada de la construcción de la planta tendrá como obligación tener por lo menos un responsable de Higiene y Seguridad en cada frente de trabajo. Éste será responsable de:

- Proveer de EPP a los operarios y exigir su uso en todo momento.
- Realizar un *checklist* de las herramientas a utilizar.
- Realizar desvíos por incumplimiento de normas de seguridad.
- Autorizar el inicio de la actividad en todo frente de trabajo.

## 8.3 Seguridad durante la operación de la planta

---

### 8.3.1 Gestión de seguridad y salud

La gestión de seguridad y salud ocupacional permite la implementación de un método sistemático para identificar los peligros, controlar los riesgos a la salud, reducir la cantidad de accidentes e incidentes a través de mecanismos de prevención, minimizar el ausentismo por enfermedad del personal y las interrupciones de producción.

Toda empresa al reducir los riesgos de incidentes y accidentes mejora su desempeño ya que garantiza que sus operaciones son seguras para los empleados y su entorno laboral.

Las acciones y elementos que componen un sistema de gestión de seguridad y salud típico son:

---

#### 8.3.1.1 MATRIZ DE RIESGOS

La Matriz de Riesgos es una herramienta de gestión que permite determinar objetivamente cuáles son los riesgos relevantes para la seguridad y salud de los trabajadores que enfrenta una organización. Su llenado es simple y requiere del análisis de las tareas que desarrollan los trabajadores. Sirve para analizar el nivel de riesgo presente en los trabajos, para comparar por nivel de riesgo diferentes tareas, para proponer acciones concretas para disminuir los riesgos y para estimar el impacto que estas acciones tendrán sobre el nivel de riesgo de los trabajadores. La Matriz de Riesgos se debe utilizar cada vez que se implemente una tarea nueva, cada vez que se cambie un procedimiento y por lo menos una vez al año como parte de la gestión de seguridad para asegurar que no ha habido cambios en el nivel de protección de los trabajadores.

---

### 8.3.1.2 PREVENCIÓN

La prevención constituye un concepto sumamente amplio, el cual abarca principalmente todas las medidas tomadas o planificadas en las distintas etapas de las actividades laborales que tienen como objetivo prevenir o reducir los riesgos en el trabajo.

En la actualidad, se sabe que los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales son el producto de una falla de los sistemas de prevención o bien de la inexistencia de los mismos. No obstante, existen técnicas y procedimientos que permiten eliminar o limitar a su mínima expresión los riesgos del trabajo. Por ello, la prevención debe regirse por una serie de principios, tomando como punto de partida que la mayoría de las condiciones peligrosas en los espacios de trabajo pueden prevenirse. De esta forma, la prevención tendrá como lineamientos:

- Privilegiar los aspectos preventivos por sobre la protección. La protección implica la presencia de peligros no eliminados, mientras que el enfoque preventivo actúa directamente sobre los riesgos, eliminándolos o reduciendo su peligrosidad.
- La evaluación, que implica un reconocimiento de los peligros y riesgos presentes en los sectores y puestos de trabajo.
- La eliminación de los peligros y riesgos detectados en la evaluación, mediante el reemplazo de la máquina o situación que los genera o la mejora de la ingeniería en el establecimiento.
- La aislación de aquellos riesgos y peligros que no hayan podido ser anulados, mediante mecanismos que actúen como barreras entre los trabajadores y los riesgos.
- Los controles periódicos, a fin de monitorear y continuar trabajando en las mejoras necesarias.
- El empleo de enfoques proactivos, esto es, la planificación de medidas concretas de prevención basadas en la recolección y análisis de datos e información sobre los peligros inherentes a las distintas actividades laborales y sus procesos.
- Favorecer la protección colectiva por sobre la individual.
- La capacitación y formación continua de los y las trabajadores/as sobre sus puestos de trabajo y los riesgos a los que están expuestos.
- El conocimiento y cumplimiento de la normativa sobre seguridad y salud en el trabajo.

Por ello, tendremos los siguientes puntos fuertes para reforzar en el tema de la prevención de riesgos:

#### 8.3.1.2.1 ORDEN Y LIMPIEZA

---

Este aspecto es fundamental para la prevención de riesgos, ya que en un ambiente laboral en el que reinen la limpieza y el orden, el riesgo de accidentes disminuye exponencialmente. Por ello, se implementarán las siguientes acciones:

- Se limpiará y ordenará el puesto de trabajo periódicamente al finalizar el turno.
- Se eliminarán los elementos innecesarios y se clasificarán los útiles.
- Se acondicionarán los medios y lugares para guardar y localizar el material fácilmente.
- Se limpiará rápidamente cualquier tipo de pérdida que se pueda generar en el proceso operativo, ya sea aceite de máquinas o pérdidas en líneas de materia prima/producto.
- Las zonas de paso, salidas y vías de circulación estarán libres de obstáculos, así como aquellas previstas para la evacuación en casos de emergencia.

#### 8.3.1.2.2 SEÑALIZACIÓN

---

La señalización es una técnica preventiva que, partiendo del reconocimiento de la existencia de un riesgo potencial, trata, mediante un sistema de mensajes codificados, de informar sobre el mismo y sobre las medidas a tomar, a efectos de estimular, dirigir y orientar la conducta de los receptores; evitando, con ello, la posible generación de accidentes. Su finalidad es, por tanto, informativa y es consecuencia directa de:

- Un análisis inicial y de la evaluación de riesgos existentes.
- De la previsión de situaciones de emergencia posibles.
- Del conocimiento exacto de las medidas de prevención a adoptar.

Deben de estar debidamente señalizados:

- Los riesgos mediante señales de advertencia.
- Las prendas de protección personal mediante señales de obligación.
- Las prohibiciones mediante señales del mismo nombre.
- Las indicaciones de salvamento o socorro.

Según el significado de la señal existen:

- **Señales de prohibición:** Son aquellas que prohíben un comportamiento susceptible de provocar un peligro. Tienen por objeto prohibir acciones o situaciones.



- **Señales de advertencia:** Son aquellas que advierten de la existencia de un riesgo o peligro. Tienen por misión advertirnos de un peligro.



- **Señales de obligación:** Son aquellas que obligan a adoptar un comportamiento determinado. Se encargarán de indicarnos que deberemos realizar alguna acción para evitar un accidente.



- **Señales de salvamento o socorro:** Son aquellas que proporcionan indicaciones sobre salidas de socorro, primeros auxilios y dispositivos de salvamento.



- **Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios:** Concebidas para indicarnos la ubicación de estos equipos.



- **Señales indicativas:** Son aquellas que proporcionan información relativa a la prevención de riesgos distintas a las anteriores.
- **Señales adicionales:** Son aquellas que, utilizadas juntamente con otras, facilitan informaciones complementarias.

Además, se incluirán otros tipos de señalización, como pueden ser:

- Sirenas o alarmas.
- Señalización lumínica.

Todo este conjunto de señales se dispondrá por la totalidad de la planta, sobre todo en las zonas en las que existen más riesgos, como lo son la zona operativa o la zona de depósitos, entre otras.

### 8.3.1.2.3 IDENTIFICACIÓN DE CAÑERÍAS

Se entiende por cañería a todo el sistema formado por los caños, uniones, válvulas, tapones, todas las conexiones para el cambio de dirección de la cañería y la eventual aislamiento exterior de esta última, que se emplea para la conducción de gases, líquidos, semilíquidos, vapores, polvos, plásticos, cableados eléctricos, etc.

Las cañerías se clasifican de la siguiente forma:

- Cañerías destinadas a conducir productos de servicio (agua, vapor, combustible, etc.).
- Cañerías destinadas a conducir materias primas, productos en proceso y productos terminados.

A nivel Nacional, para la clasificación de cañerías, se utiliza la **Norma IRAM 2407**.

- **CAÑERÍAS DESTINADAS A PRODUCTOS DE SERVICIO**

Las cañerías destinadas a conducir productos de servicio se identifican pintándolas en toda su longitud con los colores fundamentales establecidos en la siguiente tabla:

Producto	Color fundamental
Elementos para la lucha contra el fuego (sistemas de rociado, bocas de incendio, agua de incendio, ignífugos, etc.)	Rojo
Vapor de agua	Naranja
Combustibles (líquidos y gases)	Amarillo
Aire comprimido	Azul
Electricidad	Negro
Vacío	Castaño
Agua fría	Verde
Agua caliente	Verde con franjas naranja

En las cañerías de gran diámetro puede reemplazarse el pintado total por el pintado de franjas del color establecido en la tabla para el producto circundante.

- **CAÑERÍAS DESTINADAS MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS TERMINADOS O EN PROCESO DE FABRICACIÓN**

Las cañerías destinadas a conducir productos terminados o en proceso de fabricación que sean inofensivos para la seguridad personal se identifican pintándolos de color gris en toda su longitud, cualquiera sea el producto que conduzcan.

Las cañerías destinadas a conducir materias primas, productos terminados o en proceso de fabricación que sean peligrosos para la seguridad personal, se identifican en la forma siguiente:

- Color fundamental: Se pintan de color gris en toda su longitud.
- Color secundario: Se pintan sobre el color fundamental franjas de color naranja.

- **FRANJAS**

Las franjas o grupos de franjas se pintan a una distancia máxima de 6 metros entre sí, en los tramos rectos, a cada lado de las válvulas, de las conexiones, de los cambios de dirección de la cañería y junto a los pisos, techos o paredes que atraviese la misma. Se debe dejar un espacio de aproximadamente 10 centímetros entre la boca de las válvulas o conexiones y la franja correspondiente y también entre las franjas de un mismo grupo. El ancho de las franjas, con relación al diámetro exterior de la cañería, es establecido según la tabla siguiente:

Diámetro exterior de la cañería D (mm)	Ancho de las franjas de color A (mm) mín.
D < 50	200
50 < D < 150	300
150 < D < 250	600
D > 250	800

- **LEYENDAS**

La identificación de los productos conducidos por las cañerías se puede completar indicando con leyendas el nombre y/o el grado de peligrosidad de los mismos. Las leyendas se pueden pintar directamente sobre las franjas o se pueden adosar a las cañerías de pequeño diámetro por medio de carteles especiales y el color de las letras puede ser el negro o el blanco.

La elección del color está condicionada al establecimiento de un buen contraste con el color de las franjas.

Cuando la cañería esté colocada contra una pared, las leyendas se pintan sobre el lado visible desde el lugar de trabajo; si está elevada se pintan las leyendas debajo del eje horizontal de la cañería y si esta se encuentra apartada de las paredes, se pintan las leyendas sobre sus lados visibles.

- **FLECHAS**

El sentido de circulación del fluido dentro de las cañerías se puede identificar cuando sea necesario por medio de flechas que se pintan a cada lado de las franjas o a 10 cm. de las bocas de las válvulas y conexiones.

- **IDENTIFICACIÓN ADICIONAL**

Se puede efectuar una identificación adicional del producto conducido por las cañerías, por medio de franjas o signos que no interfieran en la identificación establecida.

- **CÓDIGO DE COLORES**

En todos los establecimientos se debe exhibir en un lugar fácilmente accesible, para uso de los operarios, un gráfico con el código de colores utilizado para la identificación de las cañerías.

#### **8.3.1.2.4 VALLADO, BARANDAS Y ESCALERAS**

---

En la parte de producción de la planta, habrá un vallado de seguridad que rodee a todos los equipos, motores e instalaciones eléctricas del proceso, a fin de evitar accidentes a causa de personas circulando cerca de ellos en el caso de que haya fallas, derrames o altas temperaturas.



En las zonas que se encuentren en desniveles con alturas superiores a un metro, poseerán barandas de seguridad situadas en el borde, de una altura de **un metro**, las cuales deberán soportar una sobrecarga horizontal de 50 kilos por metro lineal aplicada en cualquier punto de la estructura.



Para el caso de las escaleras, éstas tendrán barandas con pasamanos de **90 centímetros** de alto, además de que poseerán un descanso cada **21 peldaños**.

---

### 8.3.1.3 PLAN DE EMERGENCIAS Y EVACUACIÓN

El plan de emergencia de cualquier establecimiento plantea el doble objetivo de proteger a las personas y a las instalaciones ante situaciones críticas, minimizando sus consecuencias. La mejor salvaguarda para los ocupantes ante una emergencia es que puedan trasladarse a un lugar seguro, a través de un itinerario protegido y en un tiempo adecuado. Esto implica realizar una evacuación eficiente.

Para afrontar con éxito una situación “de emergencia”, la única forma válida, además de la prevención, es la planificación anticipada de las diferentes alternativas y acciones a seguir por los equipos que tendrán que hacer frente a dicha emergencia.

Más allá de todas las leyes y normativas vigentes, las autoridades de un establecimiento deberán adoptar las medidas necesarias en materia de lucha contra incendios y evacuación de personas.

El Plan de Evacuación es parte integral del Plan de Emergencias, que se elabora para dar respuesta ante la ocurrencia de un evento, y será único y diseñado para cada establecimiento en particular.

Para la definición de los planes de emergencia y elaboración del plan de evacuación se deberán tener en consideración:

- **Evaluación del riesgo:** enunciación y valorización de las condiciones de riesgo de los edificios en relación con los medios disponibles.
- **Medios de protección:** determinará los medios materiales y humanos disponibles y/o necesarios, se definirán los equipos y sus funciones y otros datos de interés para garantizar la prevención de riesgos y el control inicial de las emergencias que pudieran ocurrir.
- **Plan de emergencia:** contemplará las diferentes hipótesis de emergencias y los planes de actuación para cada una de ellas y las condiciones de uso y mantenimiento de instalaciones.
- **Plan de evacuación:** consistente en el diseño y divulgación general del Plan, la realización de la formación específica del personal incorporado al mismo, la realización de simulacros, así como su revisión para su actualización cuando corresponda.

---

### 8.3.2 Elementos de protección personal

Los EPP son indispensables para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades profesionales ante la presencia de riesgos específicos que no pueden ser aislados o eliminados.

Los mismos deben ser provistos por el empleador y en algunas categorías tienen que estar certificados por uno de los dos únicos entes certificadores reconocidos por la Secretaría de Comercio en la Argentina: IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), Internacional Quality Certifications y UL (Underwriters Laboratories).

Comúnmente, los EPP son encargados de proteger alguna zona específica del cuerpo. Por lo tanto, la empresa proveerá EPP para la protección de los siguientes miembros corporales:

- **PROTECCIÓN DE LA CABEZA**

**Prevención:** Evitar los riesgos de golpes, caídas o de proyección violenta de objetos sobre la cabeza, o cuando haya riesgo de contacto con electricidad.

**EPP:**

- **Casco**



- **PROTECCIÓN FACIAL Y OCULAR**

**Prevención:** Utilizar dispositivos que eviten la proyección de objetos, exposición del calor y de las radiaciones hacia la cara y ojos. Proyección de sustancias sólidas, líquidas, gaseosas en los ojos.

**EPP:**

- **Anteojos de seguridad**
- **Protector facial**



- **PROTECCIÓN AUDITIVA**

**Prevención:** Medidas de ingeniería para disminuir el nivel sonoro continuo equivalente superior los 90 decibeles medidos en escala A.

**EPP:**

- **Tapones endoaurales**
- **Protectores de copa**



- **PROTECCIÓN DE EXTREMIDADES INFERIORES (PIES)**

**Prevención:** Revisar los procedimientos de trabajo para prevenir riesgos de traumatismos directos en los pies.

**EPP:**

- **Botines de seguridad**



- **PROTECCIÓN DE EXTREMIDADES SUPERIORES (MANOS)**

**Prevención:** Disponer medidas tendientes a eliminar riesgos de cortes o contacto con sustancias tóxicas, irritantes o infectantes.

**EPP:**

- **Guantes de trabajo con cuatro diferentes especificaciones**

Usos múltiples

Riesgo químico

Riesgo eléctrico

Riesgo térmico



- **PROTECCIÓN RESPIRATORIA**

**Prevención:** Sustitución y/o captación de las sustancias que entrañen riesgos al aparato respiratorio originados por la contaminación del ambiente con gases, vapores, humos, nieblas, polvos, fibras y aerosoles. Debido a la situación actual, también para la prevención de enfermedades.

**EPP:**

- **Barbijo descartable**
- **Máscara facial con filtro**



- **INDUMENTARIA**

**Prevención:** Utilizar prendas de vestir técnicas, específicamente diseñadas para proteger o cubrir de riesgos determinados (arco eléctrico, corte, químicos, fuego, frío extremo, etc)

**EPP:**

- **Pantalón y camisa de trabajo identificado con la empresa**
- **Mameluco con dos diferentes especificaciones**

**Protección dieléctrica y cortes**



**Protección química**



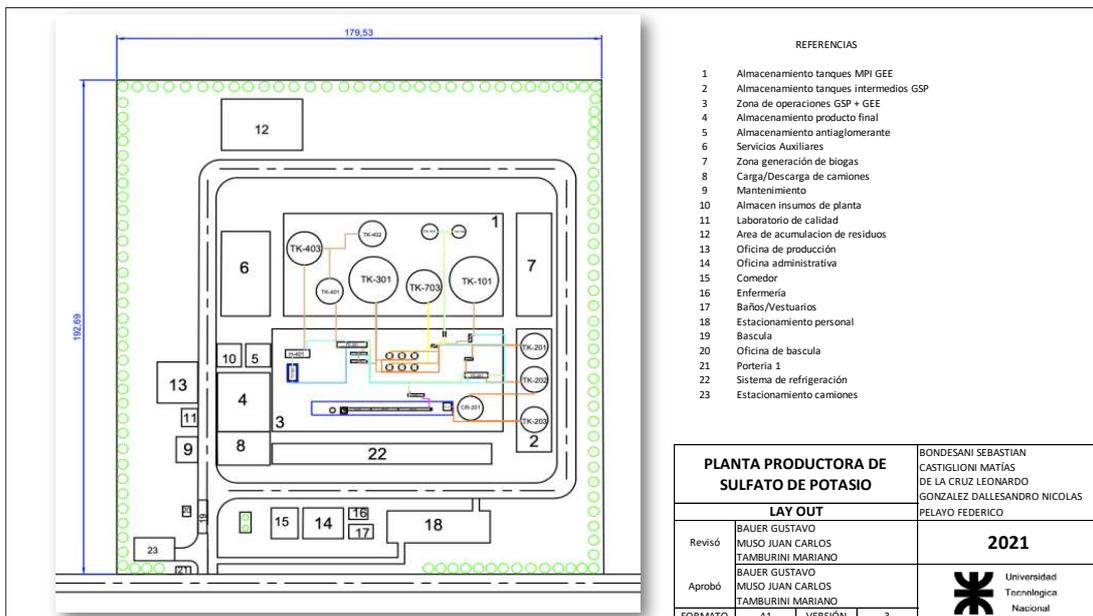
- **INSTALACIONES ESPECIALES: ESTACIONES DE DUCHAS Y LAVAOJOS DE EMERGENCIA**

Las duchas de seguridad y los lavaojos son equipos de emergencia para los casos de proyecciones, derrames o salpicaduras de productos químicos sobre las personas, con riesgo de contaminación o quemadura química. Se utilizan para aplicar primeros auxilios y, por lo tanto, no deben reemplazar a los elementos de protección personal habituales.



### 8.3.3 Uso de EPP en todas las áreas de la planta

Para una mejor identificación de los EPP a utilizar y las medidas de seguridad que se deben tomar de acuerdo a los riesgos presentes en la planta, se decide analizar los distintos sectores individualmente. Para ello, recordaremos la disposición del Lay Out general de la planta.



De esta manera, podemos agrupar los sectores en las siguientes áreas, seguido de una breve descripción de los riesgos identificados, las medidas de seguridad y los EPP que deben ser usados en ese lugar:

- **ÁREA DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS E INGRESO A PLANTA (14-15-16-17-18-19-20-21)**

Dado que es un área lejana al proceso productivo, no se identifica ningún riesgo y tampoco se exigirá el uso de algún EPP.

- **ÁREA DE OFICINAS PRODUCTIVAS Y DEPÓSITOS (4-5-8-9-10-11-12-13)**

Esta zona estaría más cercana al proceso y pegada a la calle, por lo que en esa zona se exigirá el uso de los siguientes EPP:

- Casco.
- Botines de seguridad.
- Anteojos de seguridad.

- **ÁREA DE TANQUES (1-2)**

Todos los tanques poseerán diques de contención. Se contará con dos estaciones de duchas y lavaojos de emergencias. Se exigirá el uso de los siguientes EPP:

- Casco.
- Botines de seguridad.
- Anteojos de seguridad.
- Protección auditiva (Tapones endoaurales o protectores de copa).

### **Sector de almacenamiento de ácido sulfúrico**

Ante cualquier situación en la que se deba estar en este sector, se exigirá el uso de los siguientes EPP adicionales:

- Mameluco de protección química.
- Guantes de riesgo químico.
- Protector facial.

- **ÁREA DE PRODUCCIÓN (3-6-7)**

Como se dijo anteriormente, todos los equipos estarán vallados. Se contará con dos estaciones de duchas y lavaojos de emergencias. En esta zona se exigirá el uso de los siguientes EPP.

- Casco.
- Botines de seguridad.
- Anteojos de seguridad.
- Protección auditiva (Tapones endoaurales o protectores de copa).

### **Sectores de equipos de transferencia de calor y generación de vapor**

Ante cualquier situación en la que se deba estar en estos sectores, ya sea para el control o manipulación de equipos que trabajen a altas temperaturas como lo son los intercambiadores de calor, evaporadores o caldera, se exigirá el uso de los siguientes EPP adicionales:

- Guantes de riesgo térmico.

### **Sector de turbina**

Ante cualquier situación en la que se deba estar en este sector, debido a los fuertes ruidos que producen las turbinas, se exigirá el uso de los siguientes EPP adicionales:

- Protección auditiva (Tapones endoaurales y protectores de copa).

### **Sector de procesamiento de producto sólido**

Ante cualquier situación en la que se deba estar en este sector, debido al material particulado que pueden emitir los equipos secadore, enfriadores y de agregado de antiaglomerante, se exigirá el uso de los siguientes EPP adicionales:

- Máscara facial con filtro.

- **GENERALIDADES**

#### **Situación epidemiológica**

Debido a la situación que se está atravesando actualmente debido al COVID-19, se tomarán las siguientes medidas que afectarán a toda la planta:

- Uso de barbijo en todo momento.
- Disposición de alcohol líquido y/o alcohol el gel.
- Mantener distanciamiento social.
- En zona de oficinas, los escritorios deberán estar lo suficientemente distanciados.

### Mantenimiento eléctrico

Ante cualquier trabajo que se realice en tableros eléctricos, motores y demás, se exigirá el uso de los siguientes EPP adicionales a los del sector involucrado:

- Guantes de riesgo eléctrico.
- Mameluco de protección dieléctrica y cortes.

### Mantenimiento mecánico

Ante cualquier trabajo que se realice en equipos, estructuras, bombas y demás, se exigirá el uso de los siguientes EPP adicionales a los del sector involucrado:

- Guantes de usos múltiples.
- Mameluco de protección dieléctrica y cortes.

---

#### 8.3.4 Fichas de seguridad de materias primas y productos

Una ficha de datos de seguridad es un documento que indica las particularidades y propiedades de una determinada sustancia para su uso más adecuado. El principal objetivo de esta hoja es proteger la integridad física del operador durante la manipulación de la sustancia.

Esta hoja o ficha contiene las instrucciones detalladas para su manejo y persigue reducir los riesgos laborales y medioambientales. Está pensada para indicar los procedimientos ordenadamente para trabajar con las sustancias de una manera segura. Las fichas contienen información física del producto como, por ejemplo, su punto de fusión, punto de ebullición, etc.; también incluyen su toxicidad, efectos a la salud, primeros auxilios, reactividad, almacenaje, disposición, protección necesaria y, en definitiva, todos aquellos cuidados necesarios para manejar los productos peligrosos con seguridad.

Las sustancias a las que les corresponde su ficha de seguridad son las siguientes:

- Ácido sulfúrico
- Sulfato de potasio
- Dietanolamina
- Silicato de manganeso

Dichas fichas se encontrarán en conjunto como **ANEXO D**.

---

### 8.3.5 Medición de ambientes laborales

Las mediciones en el ambiente se realizan para tomar conocimiento de la concentración media presente, tomada en un periodo de tiempo representativo. Estas pueden variar según los métodos de medición utilizados, siendo por lo general tomas de muestras para su posterior análisis en laboratorio o mediante instrumentales de lectura directa.

Las evaluaciones por parte de instrumental de lectura directa consisten en hacer pasar el aire de manera mecánica o manual por un sistema de sensores, los cuales nos arrojan los valores de la concentración de los agentes presentes en el medio ambiente.

En cambio, las tomas de muestras que se realizan, también de manera mecánica o manual, consisten en absorber en una especie de filtro una cierta cantidad del agente, el cual posteriormente debe ser remitido a un laboratorio, en donde se realizarán los análisis correspondientes para determinar las concentraciones de todos los contaminantes presentes en el ambiente de trabajo.

Ambas formas de medición deben ser realizadas con instrumental calibrado y bajo la supervisión de un profesional. Éste deberá comparar los datos obtenidos de las muestras con los límites establecidos en nuestra legislación y determinar el cumplimiento o no de la misma. En caso de superar estos límites, el mismo profesional determinara las medidas correctivas y de prevención más adecuadas para todos los trabajadores.

Los tipos de contaminantes detectables durante estas prácticas son:

---

#### 8.3.5.1 ORGÁNICOS VOLÁTILES

Los compuestos orgánicos volátiles son una mezcla de sustancias químicas que contienen carbono y se evaporan fácilmente a temperatura ambiente. Frecuentemente tienen olor; algunos ejemplos son la gasolina, el alcohol y los disolventes utilizados en pintura.

---

#### 8.3.5.2 MATERIAL PARTICULADO TOTAL

Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, en estado sólido y líquido que se encuentran suspendidas en el aire. En el ambiente laboral, se mide PM 10, que abarca todas las partículas en el aire que tienen comportamiento aerodinámico similar a una esfera de 10 µm de radio.

---

### 8.3.5.3 MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE

Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, en estado sólido y líquido que se encuentran suspendidas en el aire. En el ambiente laboral, se mide PM 2,5 a 10 micrones, que abarca todas las partículas en el aire que tienen comportamiento aerodinámico similar a una esfera de entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$  de radio. Estas partículas son peligrosas porque penetran profundamente en el tracto respiratorio, depositándose en la región alveolar.

---

### 8.3.5.4 OTRAS MEDICIONES Y MONITOREOS

#### 8.3.5.4.1 CALIDAD DE AGUA

---

Para determinar la necesidad de tratamiento y la correcta tecnología de tratamiento, los contaminantes específicos en el agua deben ser identificados y ser medidos. Los contaminantes del agua se pueden dividir en dos grupos: contaminantes disueltos y sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición.

Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua:

- La materia suspendida en el agua absorbe la luz, haciendo que el agua tenga un aspecto nublado. Esto se llama turbidez. La turbidez se puede medir con varias diversas técnicas, esto demuestra la resistencia a la transmisión de la luz en el agua.
- El sentido del gusto puede detectar concentraciones de algunas décimas a varios centenares de PPM y el gusto puede indicar que los contaminantes están presentes, pero no puede identificar contaminantes específicos.
- El color puede sugerir que las impurezas orgánicas estén presentes. En algunos casos el color del agua puede ser causado incluso por los iones de metales. El color es medido por la comparación de diversas muestras visualmente o con un espectrómetro. Éste es un dispositivo que mide la transmisión de luz en una sustancia, para calcular concentraciones de ciertos contaminantes. Cuando el agua tiene un color inusual esto generalmente no significa una preocupación para la salud.
- La detección del olor puede ser útil, porque el oler puede detectar generalmente incluso niveles bajos de contaminantes. Sin embargo, en la mayoría de los países la detección de contaminantes con olor está limitada a terminantes regulaciones, pues puede ser un peligro para la salud cuando algunos contaminantes peligrosos están presentes en una muestra.

- La calidad del agua se puede también determinar por un número de análisis cuantitativos en el laboratorio, tales como pH, sólidos totales (TS), la conductividad y la contaminación microbiana.

#### 8.3.5.4.2 NIVELES DE ILUMINACIÓN

El acondicionamiento de la iluminación en los puestos de trabajo tiene por objeto favorecer la percepción visual con el fin de asegurar la correcta ejecución de las tareas y la seguridad y bienestar de quienes las realizan.

Como es sabido, una iluminación deficiente puede propiciar errores y accidentes, así como también la aparición de fatiga visual y de otros trastornos visuales y oculares. A pesar de esta evidencia, es frecuente encontrar puestos de trabajo mal iluminados o con un mantenimiento deficiente del sistema de iluminación.

Según la Norma IRAM –AADL 20-06, los niveles de intensidad media de la iluminación para diversas tareas deberían ser correspondiente con la siguiente tabla:

CLASE DE TAREA VISUAL	ILUMINACIÓN (LUX)	EJEMPLOS DE TAREAS VISUALES
Visión ocasional solamente.	100	Para permitir movimientos seguros. En lugares de poco tránsito: sala de caldera, depósito de materiales voluminosos.
Tareas intermitentes, ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes.	100 a 300	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contada de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos.	300 a 750	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, como lectura, escritura y archivo.
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste.	750 a 1500	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montajes e inspección; pintura extrafina, sopleteado.
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste.	1500 a 3000	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices: inspección de calibrador, trabajo de molienda fina.

#### 8.3.5.4.3 APARATOS DE IZAR

El izaje mecánico de cargas es una operación que se realiza para mover elementos grandes y/o pesados las cuales no pueden ser transportadas manualmente.

El equipo utilizado para el izaje es todo dispositivo que permite elevar o bajar una carga, previamente calculada en forma segura y controlada.

Los cables deben ser sometidos a un programa de revisiones periódicas conforme a las recomendaciones establecidas por el fabricante y teniendo presente el tipo y condiciones de trabajo

a que se encuentre sometido. Este examen debe extenderse a todos aquellos elementos que pueden tener contacto con el cable o influir sobre él.

Fundamentalmente debe comprender: los tambores de arrollamiento, las poleas por las que discurre, los rodillos de apoyo; y de forma especial debe comprobarse el estado de los empalmes, amarres, fijaciones y sus proximidades.

El Art. 103.3 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo dispone que los cables de izar deben ser revisados a fondo, al menos, cada trimestre.

#### 8.3.5.4.4 CARGAS DE FUEGO

---

La carga de fuego es un indicador de la magnitud del riesgo potencial de incendio que presenta un edificio o instalación industrial. Es decir, el daño que se podría ocasionar en caso de incendio en un determinado establecimiento

Este valor es muy útil para determinar las instalaciones de detección y control de incendios, como también para determinar las características constructivas de la edificación.

Se define como el peso en madera por unidad de superficie (Kg. /m<sup>2</sup>), capaz de desarrollar una cantidad de calor por combustión equivalente a la de los materiales contenidos en el sector de incendio sometido al estudio

Como patrón de referencia se considera la madera con poder calorífico inferior a 4400 Cal/kg. La realización del estudio de la carga de fuego consiste en:

- Realizar relevamiento de las características del lugar y determinar el riesgo de incendio.
- Cálculo de carga de fuego en base a los materiales combustibles existentes.
- Cálculo de la cantidad de extintores necesarios.
- Implementación de sistemas de detección temprana de incendios y de extinción.

#### 8.3.5.4.5 RUIDOS Y VIBRACIONES

---

El ruido es uno de los contaminantes laborales más comunes. Gran cantidad de trabajadores se ven expuestos diariamente a niveles sonoros potencialmente peligrosos para su audición, además de sufrir otros efectos perjudiciales en su salud.

En muchos casos es técnicamente viable controlar el exceso de ruido aplicando técnicas de ingeniería acústica sobre las fuentes que lo generan.

Se define como dosis de ruido a la cantidad de energía sonora que un trabajador puede recibir durante la jornada laboral y que está determinada no sólo por el nivel sonoro continuo equivalente del ruido al que está expuesto sino también por la duración de dicha exposición. Es por ello que el potencial de daño a la audición de un ruido depende tanto de su nivel como de su duración.

Valores límite PARA EL RUIDO<sup>o</sup>

Duración por día		Nivel de presión acústica dBA <sup>a</sup>
Horas	24	80
	16	82
	8	85
	4	88
	2	91
	1	94
Minutos	30	97
	15	100
	7,50 Δ	103
	3,75 Δ	106
	1,88 Δ	109
	0,94 Δ	112
Segundos Δ	28,12	115
	14,06	118
	7,03	121
	3,52	124

TABLA

Valores límite PARA EL RUIDO<sup>o</sup>

Duración por día		Nivel de presión acústica dBA <sup>a</sup>
	1,76	127
	0,88	130
	0,44	133
	0,22	136
	0,11	139

#### 8.3.5.4.6 PUESTA A TIERRA

En cualquier instalación doméstica e industrial, la conexión de una toma de tierra es una de las reglas básicas a respetar para garantizar la seguridad de la red eléctrica. La ausencia de una toma de tierra podría suponer serios riesgos para la vida de las personas y poner en peligro las instalaciones eléctricas y los bienes. Sin embargo, la presencia de una toma de tierra no es suficiente para garantizar una seguridad total. Sólo controles realizados con regularidad pueden probar el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica.

Existen numerosos métodos de medición de tierra dependiendo del tipo de regímenes de neutro, del tipo de instalación (doméstico, industrial, medio urbano, rural, etc.) y de la posibilidad de dejar sin tensión la instalación.

#### 8.3.5.4.7 VENTILACIÓN DE ÁREAS

La ventilación es una técnica para controlar el ambiente de trabajo mediante la utilización del flujo de aire, consiste en la renovación del aire por medios naturales o mecánicos con el fin de reducir la agitación de olores molestos, condiciones ambientales y la remoción de la concentración de los contaminantes dispersos.

Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo 19587/72, Decreto 351/79 Capitulo XI – Ventilación Art. 64 al 70, menciona que, en todos los establecimientos, la ventilación contribuirá a mantener condiciones ambientales que no perjudiquen la salud del trabajador.

El Protocolo de Ventilación es ejecutado por un Profesional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, quien realizara el estudio con el instrumento correspondiente “Anemómetro”, el cual reflejara la medición de Temperatura, Caudal y Velocidad del Aire presente en el ambiente.

#### 8.3.5.4.8 APARATOS SOMETIDOS A PRESIÓN

---

La inspección de los aparatos sometidos a presión es de vital importancia para mantener la seguridad operativa de los equipos y evitar accidentes que pueden causar daños irreparables tanto a las personas como a las instalaciones.

La Ley Nacional de Seguridad e Higiene 19587 y su Decreto Reglamentario, establecen que los equipos deben mantenerse adecuadamente.

A través de la Resolución 231/96 y su modificatoria 1126/07 de OPDS, se establecen las condiciones en las cuales deben operar en el marco de Provincia de Buenos Aires.

Para establecimientos industriales en Provincia de Buenos Aires, se establece que los aparatos sometidos a presión deben inscribirse en un registro único de equipos por un profesional habilitado y matriculado en el organismo.

La prueba consiste en llenar el recipiente con agua y elevar la presión 1,5 veces la presión de trabajo y manteniendo la misma durante 60 minutos. En ese tiempo, se verifica que no se presenten pérdidas ni deformaciones o variaciones en el registro de presión.

Para los equipos sin fuego (Ej.: compresores de aire) la prueba hidráulica se realiza cada 5 años. Anualmente se debe realizar la inspección periódica que consiste principalmente en la medición de espesores por ultrasonido y calibración de válvula de seguridad.

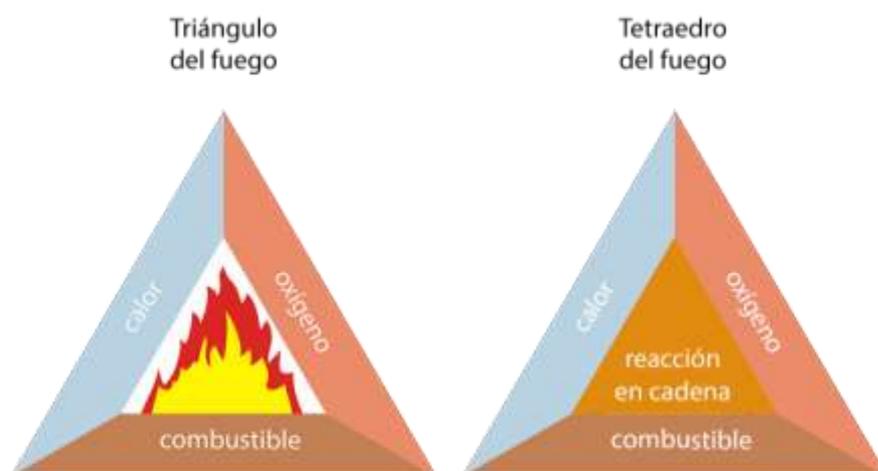
Para los equipos con fuego (Ej.: calderas) todas las pruebas y verificaciones antes mencionadas se realizan anualmente.

### 8.4 Seguridad contra incendios

Un incendio se define como el calor y la luz (llamas) que se produce cuando un material se quema o pasa por el proceso de combustión. El proceso por el cual una sustancia se quema es

una reacción química entre un material combustible y oxígeno, o sea combustión. En este proceso se libera energía en forma de calor.

Un incendio se produce por la presencia de cuatro elementos básicos: calor o fuente de ignición, material combustible, una concentración apropiada de oxígeno y la reacción en cadena. Se acostumbra a visualizar la relación de estos cuatro elementos como una pirámide en la que cada elemento representa un lado y se unen en una relación simbiótica o mutuamente beneficiosa.



El primero de estos factores necesarios, el **combustible**: puede ser cualquiera entre millares de materias: carbón, gasolina, madera, etc. En su estado normal, sólido o líquido, ninguno de estos materiales arde. Para que ardan necesitan convertirse antes en gas.

El segundo factor esencial para que el fuego arda es el **calor**: este es el que nos da la temperatura necesaria para convertir en gas al combustible, de manera de arder. Algunos combustibles se convierten en gas (se gasifican o se volatilizan) a temperaturas más altas. Sabemos que necesitan menor calor para volatilizar la gasolina y hacer que arda, el que necesita para lograrlo con madera o carbón.

El tercer factor para que el fuego arda, es el **oxígeno**: para provocar la ignición y comenzar a arder, el fuego necesita oxígeno.

El último factor para que el fuego arda es una **reacción en cadena**: cualquier instrumento que desencadene el fuego.

---

#### 8.4.1 Prevención de incendios

Algunas de las medidas en materia de prevención de incendios son:

- Mantener los depósitos de combustible en lugares apartados de las zonas de trabajo y el cubrimiento de los materiales próximos con lonas ignífugas.
- Colocar medidas preventivas de sistemas de detección y extinción de incendios, como algún extintor, en las zonas más peligrosas y proclives a la creación de un incendio.
- Señalizar las áreas en las que se prohíbe fumar y hacer cumplir con dicha prohibición.
- Realizar un mantenimiento preventivo en aquellos aparatos como quemadores y sopletes para evitar goteos y fugas. En caso de que presenten un estado deficiente, sustitución de estos.
- Se recomienda una supervisión ocular cada cierto tiempo en zonas peligrosas y proclives a la generación de un incendio
- Proteger y aislar el cableado de las instalaciones. Así mismo, es conveniente realizar una revisión eléctrica por profesionales de manera periódica y, si fuese necesario, renovar el circuito eléctrico.
- Realización de señalizaciones de seguridad, consistentes en una clara indicación de las zonas de almacenamiento y manejo de aquellos materiales altamente combustibles, así como de aquellos trabajos con riesgo crítico.
- Establecer una ventilación natural o forzada.
- Disponer de una conexión a tierra en aquellas máquinas que generen electricidad estática.

---

#### 8.4.2 Plan contra incendios

El plan para seguir en caso de que se produzca un incendio en la planta se compone de cuatro partes:

---

##### 8.4.2.1 DETECCIÓN

El sistema de detección de incendios como el primero que detecta cualquier conato de incendios debe cubrir la instalación en su totalidad de modo que no quede ningún rincón sin cubrir.

Con todos los sistemas conectados a la central de incendios, se permite la monitorización de estos, no solo desde la propia central sino desde centros de control instalados en las mismas instalaciones o en ubicaciones diferentes.

Se tendrán los siguientes instrumentos para la detección de incendios:

#### 8.4.2.1.1 DETECTORES DE HUMO

---

Es una alarma que detecta la presencia de humo en el aire y emite una señal acústica avisando del peligro de incendio. En nuestro caso, optaríamos por contar con detectores ópticos, los cuales detectan los humos visibles mediante la absorción o difusión de la luz. Éstos estarán dispuestos en las áreas de producción y depósitos.

#### 8.4.2.1.2 PULSADORES DE ACCIONAMIENTO MANUAL

---

Es un aparato que está diseñado para ser activado en caso de incendio, apretando un botón (tipo europeo) o tirando de una palanca (tipo americano). Al ser activado, el aparato informa de inmediato a la central de detección de incendios. Éstos al ser de accionamiento manual, deberán estar ubicados estratégicamente en toda la planta, tanto las zonas productivas como las no productivas.



De más está decir que estos elementos estarán conectados al panel de control de incendios, el cual cuando reciba señal de los dispositivos, avisará mediante alarmas lumínicas y sonoras la presencia de fuego en alguna zona de la planta.



---

#### 8.4.2.2 EXTINCIÓN

El sistema de extinción de incendios se compone de:

- Los medios disponibles en la propia empresa para hacer frente al incendio, sprinklers, extintores, etc.
- Los medios para ser utilizados por los medios de extinción; Bies, columnas secas etc.

Nuestro sistema de extinción de incendios se compondrá por los siguientes elementos:

#### 8.4.2.2.1 EXTINTORES DE INCENDIOS

Se define extintor o matafuegos a un aparato autónomo, diseñado como un cilindro, que puede ser desplazado por una sola persona y que, usando un mecanismo de impulsión bajo presión de un

<p><b>Clase A:</b> Se presenta en material combustible sólido, producido de la naturaleza orgánica. Su combustión se genera normalmente con formación de brasas combustibles, tales como aceites y grasas vegetales o animales.</p>	
<p><b>Clase B:</b> Es aquel incendio que se presenta por gases o líquidos inflamables.</p>	
<p><b>Clase C:</b> Este tipo de fuego involucra aparatos, equipos e instalaciones eléctricas energizadas.</p>	
<p><b>Clase D:</b> En este tipo de incendios intervienen metales combustibles, como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio o el potasio.</p>	
<p><b>Clase K:</b> Se presenta en instalaciones de cocina, que involucra sustancias</p>	

gas o presión mecánica, lanza un agente extintor hacia la base del fuego, para lograr extinguirlo.

Existen extintores con diferentes compuestos que son recomendables para cada tipo de fuego que se pueda producir. Los tipos de fuegos existentes son:

Los tipos de extintores según su agente extintor que se disponen son:

- Agua
- AFFF
- CO2
- Polvo ABC
- Polvo BC
- HCFC 123
- Polvo D
- Agua vaporizada
- Acetato de potasio

A continuación, se presenta una tabla resumen con la indicación de qué agente extintor es el más adecuado para cada tipo de fuego.

		AGENTES EXTINTORES								
CLASES DE FUEGOS		AGUA	AFFF	CO2	POLVO ABC	POLVO BC	HCFC 123	POLVO D	AGUA VAPORIZADA	ACETATO DE POTASIO
	Materiales que producen brasas (madera, papel, cartón y otros).	SI Acción de enfriamiento	SI Enfría y sofoca	NO No apaga fuegos profundos.	SI Se funde sobre los elementos	NO No es específico para este uso	SI Absorbe el calor	NO No es específico para este uso	SI Absorbe el calor	SI Absorbe el calor
	Líquidos inflamables (naftas, alcoholes, y otros).	NO Esporrea el combustible	SI Sofoca por medio de película de espumígeno	SI Sofoca por desplazar el oxígeno	SI Rompe la cadena de combustión	SI Rompe la cadena de combustión	SI Rompe la cadena de combustión	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso
	Equipos energizados eléctricamente.	NO Conduce la electricidad	NO Conduce la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	NO No es específico para este uso	SI No es conductor de la electricidad	NO Conduce la electricidad
	Metales combustibles (aluminio, magnesio y otros).	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	SI Es necesario utilizar el polvo adecuado para cada riesgo	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso
	Elementos que involucran aceites y grasas de origen vegetal y mineral.	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	SI Actúa por saponificación

AGENTES EXTINTORES: ■ SI ■ NO ES RECOMENDABLE ■ NO - PELIGRO

La distribución de extintores será de acuerdo con el tipo de fuego potencial que se pueda dar en cada sector de la planta. Se aproxima que tendremos **un extintor cada 200 m<sup>2</sup>**.

Cada extintor tendrá un cartel en el que se indique tanto su disposición como el tipo de fuego para el que es útil, de la siguiente manera:



#### 8.4.2.2.2 HIDRANTES

---

Los denominados hidrantes son equipos y tuberías conectados a una red de abastecimiento de agua destinado a suministrar agua en caso de incendio. En las plantas industriales, se pueden ver en forma de **nicho hidrante**, el cual se compone por:

- Una reserva de agua exclusiva
- Un sistema de bombeo
- Cañerías de conducción
- Bocas de ataque

Los nichos hidrantes estarán dispuestos estratégicamente en la planta, sobre todo en la zona de galpones de producción y depósitos, instalados en las veredas junto a la calle de tránsito dentro de la planta. Estarán señalizados mediante el siguiente cartel:



---

#### 8.4.2.3 SEÑALIZACIÓN Y EVACUACIÓN

Todo el sistema contra incendios debe estar adecuadamente señalizado para que cualquier elemento pueda ser localizado rápidamente incluso en situaciones de nula visibilidad.

El plan de evacuación debe ser conocido por todo el personal de la empresa, así como las funciones que deberán de realizar cada uno en caso de incendio, estableciéndose responsables que deberán poner en práctica las medidas de evacuación establecidas.

En caso de que el incendio se produzca en la zona de producción, el jefe de turno asumirá el rol de brigadista, indicándole a los operarios qué función deberá tomar cada uno en caso de combatir el incendio, o de desalojar el lugar rápida y ordenadamente en caso de que no se combata y haya que evacuar. Luego, será el encargado de notificarle al jefe de bomberos dónde se encuentra el incendio, qué tipo de incendio es, si hay material inflamable involucrado y cualquier detalle que sea de utilidad.

## 9 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para una empresa, la evaluación económica y financiera es un instrumento clave de planificación, evaluación y control. Este diagnóstico ofrece una visión global de la estructura de la organización en cada momento, con relación a su rentabilidad, solvencia y riesgos. Con los datos obtenidos se pueden orientar mejor las decisiones a tomar.

Con el fin de desarrollar el análisis, se analizarán los siguientes ítems:

- Costos de los equipos
- Inversión del capital
- Costos de producción
- Ingresos por ventas
- Punto de equilibrio
- Financiamiento de la inversión
- Flujo de caja
- Determinación del VAN y TIR

### 9.1 Costos de inversión

#### 9.1.1 Activos tangibles

##### 9.1.1.1 COSTOS DE LOS EQUIPOS

Los costos de los equipos fueron estipulados a partir de los parámetros de diseño y de diferentes páginas especializadas a partir de los mismos, como, por ejemplo, la página web **matche.com**, la cual contiene bases de datos de precios estimados de equipos industriales en dólares.

Equipos principales	Precio
	U\$S
Caldera de bagazo	100.000
Turbina de vapor	150.000
Generador	100.000
Intercambiador E-101	2.300
Intercambiador E-201	2.800
Intercambiador E-202	2.500
Intercambiador E-203	8.500
Intercambiador E-301A	5.100
Intercambiador E-301B	5.100
Evaporador FE-301	61.700
Evaporador FE-201	49.100
Centrifuga	60.000
Cristalizador	769.900
Ciclo frigorífico	525.200
Secador rotatorio	354.600
Enfriador rotatorio	289.600
Mezclador rotatorio	207.400
Resinas (6 equipos y su relleno)	925.000
Mezclador estático	50.000
Filtros de mangas	110.600
Tolva	10.000
Compresores	100.000
Otros equipos HPA	50.000
Resina catiónica	42.500
Resina aniónica	42.500
Lecho mixto	42.500
Clarificador	10.000
Espesador	15.000
Torres rellenas	20.000
Separadores flash	75.000
Intercambiadores restantes	5.000
Turbina de gas y generador	250.000
Calderas auxiliares	100.000
Tanque 101	463.000
Tanque 702	55.200
Tanque 701	70.400
Tanque 703	363.400
Tanque 301	463.000
Tanque 401	284.900
Tanque 402	103.600
Tanque 403	158.000
Tanque 201	158.000
Tanque 202	158.000
Tanque 203	158.000
Bomba P-101	7.500
Bomba P-301	6.300
Bomba P-302	3.200
Bomba P-401	3.200
Bomba P-402	4.900
Bomba P-403	4.900
Bomba P-701	3.200
Bomba P-702	3.200
Bomba P-703	3.200
Bomba P-201	6.300
Bomba P-202	4.900
Bomba P-203	11.500
Bomba P-204	11.500
Bomba P-205	4.900
<b>TOTAL</b>	<b>7.056.100</b>

Debido a que la gran mayoría de los equipos deben ser adquiridos internacionalmente con transporte marítimo, se sumarán los costos de los siguientes impuestos en referencia al costo base sujeto al FOB (free on board), lo cual quiere decir que los riesgos de pérdida o daño de la mercancía se traspasan al comprador una vez que el producto se encuentra a bordo del buque transportador:

Costo	Descripción	MONTO
		U\$S
Flete marítimo	7% precio FOB	493.927,0
Seguro	1,5% precio FOB	105.841,5
Impuesto al sello	0,5% precio FOB	35.280,5
Tasa de aduana	16% precio FOB	1.128.976,0
Flete terrestre	5% precio FOB	352.805,0
Ganancia retenida	10% precio FOB	705.610,0
<b>Total</b>		<b>2.822.440,0</b>

Teniendo en cuenta el costo base de los equipos y los impuestos asociados, obtenemos el costo total de los equipos:

Ítem	Monto (U\$S)
Costo base de equipos	7.056.100,0
Impuestos asociados	2.822.440,0
<b>Costo total de equipos</b>	<b>9.878.540,0</b>

#### 9.1.1.2 COSTOS DE LAS INSTALACIONES Y SERVICIOS AUXILIARES

Los costos asociados a la instalación de los servicios auxiliares y la obra civil se obtienen a partir de diferentes heurísticos en función de los costos de los equipos. Para el costo del terreno, se buscaron diferentes precios de terrenos en la zona industrial de Tucumán y se determinó el costo por m<sup>2</sup>.

Costo	Descripción	Monto (U\$S)
Instalación eléctrica	25% costo base	2.469.635
Montajes mecánicos	25% costo base	2.469.635
Terreno	31000m <sup>2</sup> a 23U\$S/m <sup>2</sup>	713.000
Obra civil	50% costo base	4.939.270
<b>Total</b>		<b>10.591.540,00</b>

En este punto, ya hemos calculado todos los costos de los activos tangibles en nuestra organización, de modo que el total de los mismos será:

Costo	Monto (U\$S)
Total de equipos	9.878.540,0
Servicios auxiliares e instalaciones	8.615.832,00
<b>Activos tangibles</b>	<b>18.494.372,0</b>

### 9.1.2 Activos intangibles

Como su nombre lo indica, representan aquellos activos de la empresa que no son tangibles. Para este proyecto, consideramos dos ítems: gastos de ingeniería y campo y gastos de contratistas y contingencia, cuyo valor fue obtenido a partir de un heurístico:

Costo	Descripción	Monto (U\$S)
Ingeniería y campo	25% costo base	2.469.635,0
Contratistas y contingencia	25% costo base	2.469.635,0
<b>Activos intangibles</b>		<b>4.939.270,0</b>

Una vez calculados los costos de los activos tangibles e intangibles, estamos en condiciones de calcular la inversión de capital fijo, mediante la suma de los dos primeros.

Costo	Monto (U\$S)
Activos tangibles	18.494.372,0
Activos intangibles	4.939.270,0
<b>Inversión de capital fijo</b>	<b>23.433.642,0</b>

## 9.2 Capital de trabajo

El capital de trabajo es la inversión de capital requerida para solventar los gastos de operación de la planta hasta que el producto es vendido y los pagos son recibidos. Es el capital que necesita la planta para operar, y se compone del costo de stock a 30 días de materias primas y producto terminado. También contempla los impuestos a pagar y los gastos operativos como salarios, costos de abastecimiento, administración, insumos generales, etc.

La inversión del capital de trabajo se estima que se encuentra en el orden del 10 y 20% de la inversión total, se adoptará un 15 %, de esta forma estamos en condiciones de obtener la inversión de capital fijo y de trabajo, que en suma nos dará la inversión de capital total.

Costo	Descripción	Monto (U\$S)
Capital de trabajo	15% de la inversión de capital fijo	3.515.046,30

Por último, calculamos el costo de inversión total de la siguiente manera:

Costo	Monto (U\$S)
Inversión de capital fijo	23.433.642,0
Inversión de capital de trabajo	3.515.046,3
<b>Costo total de inversión</b>	<b>26.948.688,3</b>

### 9.3 Organización de la planta (estructura de personal). Organigrama

#### 9.3.1 Tipo de sociedad

Una sociedad comercial existe cuando dos o más personas en forma organizada, conforme a uno de los tipos previstos en la ley, se obligan a realizar aportes para aplicarlos a la producción o intercambio de bienes o servicios, participando de los beneficios y soportando las pérdidas. La regularidad de las mismas se obtiene con la inscripción de la sociedad en el Registro Público de Comercio correspondiente al domicilio de la sociedad, denominándose así Sociedades Regularmente Constituidas. En nuestro país, la Ley 19.550 define las sociedades comerciales a través de su primer artículo, el cual establece:

“Habrà sociedad comercial cuando dos o más personas en forma organizada, conforme a uno de los tipos previstos en esta Ley, se obliguen a realizar aportes para aplicarlos a la producción o intercambio de bienes o servicios participando de los beneficios y soportando las pérdidas”.

#### 9.3.2 Elección del tipo de sociedad

La planta productora de GEPSA S.A se dedica a la producción y venta de sulfato de potasio y energía eléctrica. Partiendo de la ley 19.500 se procede a la elección del tipo de sociedad que aplica para nuestro emprendimiento.

	<b>Sociedad Anónima, S.A</b>	<b>Sociedad de Responsabilidad Limitada, S.R. L</b>
<b>División del Capital</b>	Acciones	Cuotas Sociales
<b>Cantidad de socios</b>	2 o más. Sin límite máximo	Como mínimo dos y no más de 50
<b>Responsabilidad patrimonial</b>	Limitada a la integración de las acciones suscritas	Limitada a la integración de las cuotas que suscriban o adquieran
<b>Nombre de la sociedad</b>	Nombre de fantasía o puede incluir el nombre de una o más personas físicas. Debe incluir la expresión "Sociedad Anónima", su abreviatura o la sigla SA.	Debe incluir el nombre de uno o más socios y debe contener la expresión "Sociedad de Responsabilidad Limitada", su abreviatura o la sigla SRL.
<b>Capital Social Inicial</b>	Totalmente en el momento de la celebración del contrato constitutivo. El capital podrá ser inferior a \$12.000.	Totalmente en el momento de la celebración del contrato constitutivo.
<b>Aportes</b>	Debe integrarse no menos del 25% de los aportes comprometidos en el estatuto, mediante depósito en un banco oficial y completarse dentro de los 2 años.	Debe integrarse no menos del 25% de los aportes comprometidos en el estatuto, mediante depósito en un banco oficial y completarse dentro de los 2 años.
<b>Participación en la sociedad</b>	La transmisión de las acciones es libre. El estatuto puede limitar la transmisibilidad de las acciones, pero no prohibirla.	Las cuotas son libremente transmisibles, salvo disposición contraria en el contrato, quien puede limitarla, pero no prohibirla.
<b>Dirección y Administración</b>	El DIRECTORIO - Compuesto por uno o más directores designados por la asamblea de accionistas. La representación corresponde al PRESIDENTE DEL DIRECTORIO.	La GERENCIA - Formada por uno o más gerentes, socios o no.

Debido a la gran envergadura del proyecto resulta de suma importancia que la cantidad de socios no sea limitada, de manera tal que las dos sociedades que cumplen con este requisito son las del tipo de responsabilidad limitada (S.R.L) o la sociedad anónima (S.A.)

Por lo observado anteriormente, se considera que la mejor opción resulta ser la Sociedad Anónima.

Esta última si bien presenta desventajas tales como capital social mínimo mucho más elevado que en el resto de los tipos societarios y gestión administrativa más compleja que las demás sociedades.

Pero los beneficios siguen siendo ventajosos ya que la responsabilidad frente a acreedores está limitada al capital social y bienes a nombre de la empresa, la libre transmisión de las acciones, y facilidad para incorporar un amplio número de socios inversores; caso contrario para las Sociedades de Responsabilidad Limitada ya que las participaciones no son fácilmente transmisibles. Su venta queda regulada por los estatutos de la sociedad y la Ley, teniendo prioridad los restantes socios y dada la situación del sistema financiero actual, si la sociedad necesita financiación, lo normal es que te pidan garantía personal.

La sociedad se denomina "GEPESA S.A.", y se dedica a la producción y comercialización de sulfato de potasio, como producto principal, y generación de energía como subproducto.

---

### 9.3.3 Organigrama de personal y departamentos

La estructura organizacional es fundamental en todas las empresas, define muchas características de cómo se va a organizar, tiene la función principal de establecer autoridad, jerarquía, cadena de mando, organigramas y departamentalizaciones, entre otras.

**Las organizaciones deben contar con una estructura organizacional de acuerdo con todas las actividades o tareas que pretenden realizar**, mediante una correcta estructura 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 y objetivos.

Para una mejor comprensión se define a continuación el concepto de organización:

*“Proviene del latín organon que significa órgano como elemento de un sistema ampliando más este concepto, organizar es el proceso de distribuir actividades, recursos, a través de la división de funciones, definiendo las autoridades y responsabilidades de cada departamento para que la empresa pueda alcanzar de una forma fácil sus metas”*

---

### 9.3.3.1 REPRESENTACIÓN DE LA EMPRESA POR SU ORGANIGRAMA

El organigrama es el instrumento que se utiliza en la empresa para plasmar de forma gráfica la estructura que tienen las organizaciones.

El uso de gráficos tiene una serie de ventajas, entre ellas:

- A través de ellos se identifican rápidamente las relaciones que existe entre cada uno de los órganos o miembros de la empresa.
- Dan una visión panorámica y de conjunto de una parte o de toda la empresa
- Indican cómo se reparte el poder de la estructura y si se centraliza o descentraliza la toma de decisiones
- Es un indicador de los cauces de comunicación de las informaciones que han de transmitirse
- La persona que se incorpora a trabajar puede conocer fácilmente de quien depende y quiénes son sus subordinados, en caso de tenerlos.

#### 9.3.3.1.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES

---

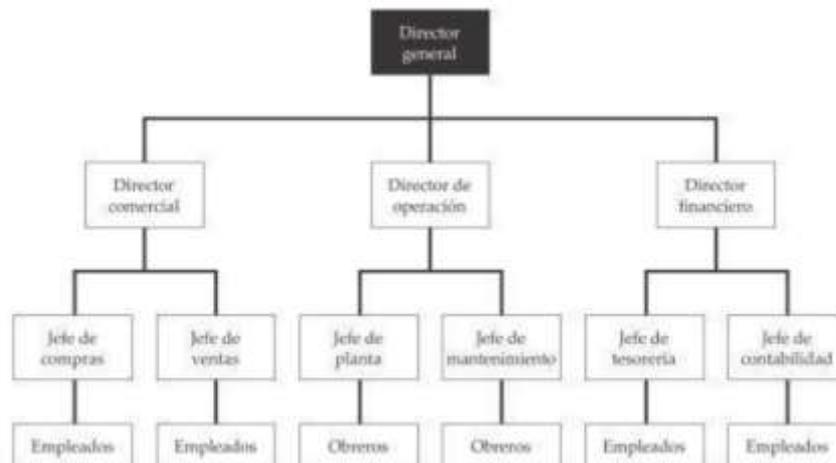
Cada estructura organizacional presenta características que la diferencian y la distinguen. Sin embargo, podemos ejemplificar con algunas estructuras tipo que se utilizan como marco referencial debido a que su aplicación esta generalizada. Ellas son:

- Lineal militar o de línea
- Funcional
- Líneo-funcional
- Staff
- Matricial

**Estructura de línea:** Es la más simple, en las que hay un solo jefe que da las directivas y órdenes a los operarios. Las personas que se hayan en los niveles superiores jerárquicos deben conocer todas las actividades de la empresa.

Tiene la ventaja de las relaciones de autoridad son muy claras y por el hecho de ser lineal casi no existe posibilidad de interferencia.

Tiene la desventaja de la falta de flexibilidad de crecimiento de la empresa. En caso de reemplazo del superior resultaría muy difícil y la ausencia de este podría ser fatal.



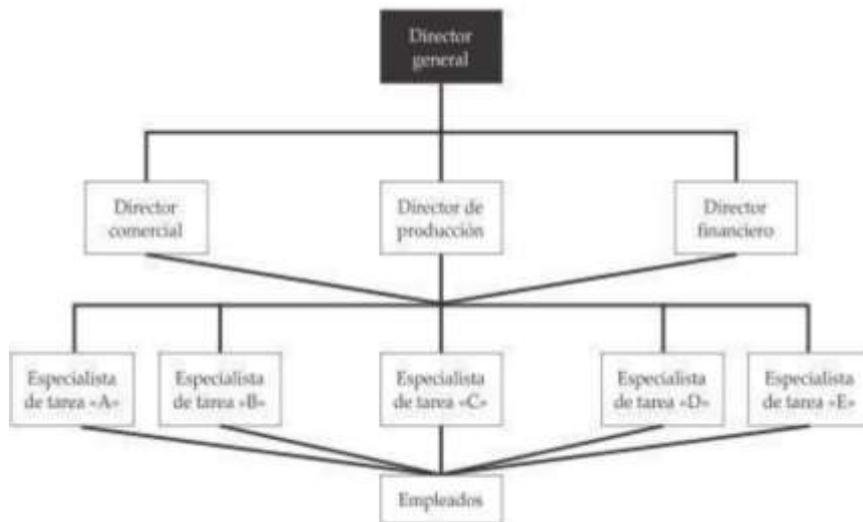
**Estructura funcional:** En el diseño de la estructura funcional, es preciso establecer cuáles son las funciones de la empresa con el fin de crear los cargos necesarios para poder garantizarlas. Es decir que se divide el trabajo y se agrupa en tareas afines por su especialización, tratando de que cada uno realice el menor número de funciones posible.

La estructura lineal pone el énfasis en la jerarquía; la estructura funcional lo pone en la división del trabajo y recurre a las habilidades para satisfacer los requerimientos de la tarea. Las capacidades del especialista quedan al servicio del cargo. Por lo tanto, tiene autoridad y responsabilidad sobre las actividades que le competen y puede hacer cumplir aquello que disponga dentro de su especialidad funcional. De esta manera, comparte la “autoridad de línea” con la autoridad funcional, y la estructura aprovecha sus conocimientos, haciéndole ejercer “controles funcionales”.

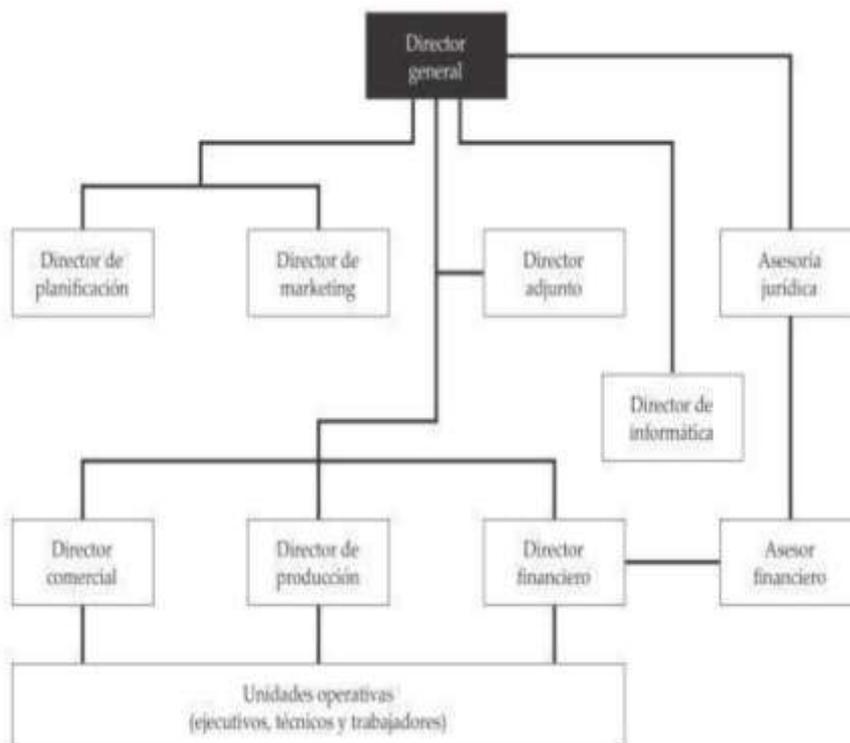
Por ejemplo, los supervisores especializados tienen autoridad (cada uno en su especialidad) sobre todo el personal que ejecuta tareas relacionadas con su función, debido a lo cual el personal operativo recibe órdenes de su jefe y de cada uno de los supervisores. En otras palabras, se reciben órdenes del superior jerárquico y de quienes no están ubicados en “jerarquías de subordinación inmediata”.

Tiene la ventaja de que las funciones están formalizadas, se aprovecha la especialización, se incrementa la eficiencia, se transmiten en forma directa la experiencia y los conocimientos.

Tiene las desventajas de que se reciben órdenes de varios jefes, la relación autoridad-responsabilidad no está bien definida, la disciplina se resiente, se debilita el control.



**Estructura lineo-funcional:** Es una combinación entre las anteriores. Mantiene las ventajas de cada una de ellas tratando de evitar las desventajas.



Se combinan estructuras de base con el asesoramiento realizado por especialistas, los cuales, si bien quedan fuera de la autoridad de línea y carecen de autoridad, influyen en la toma de decisiones de sus asesorados. En la actualidad, es cada vez más necesaria la participación del staff, que incluso en muchos casos toma decisiones y tiene autoridad.

En aquellos casos en que no la tiene, aparece en el organigrama en el mismo nivel que sus asesorados, con los que se conecta por una línea de puntos.

**Organización staff:** Se combinan estructuras de base con el asesoramiento realizado por especialistas, los cuales, si bien quedan fuera de la autoridad de línea y carecen de autoridad, influyen en la toma de decisiones de sus asesorados. En la actualidad, es cada vez más necesaria la participación del staff, que incluso en muchos casos toma decisiones y tiene autoridad.

En aquellos casos en que no la tiene, aparece en el organigrama en el mismo nivel que sus asesorados, con los que se conecta por una línea de puntos.

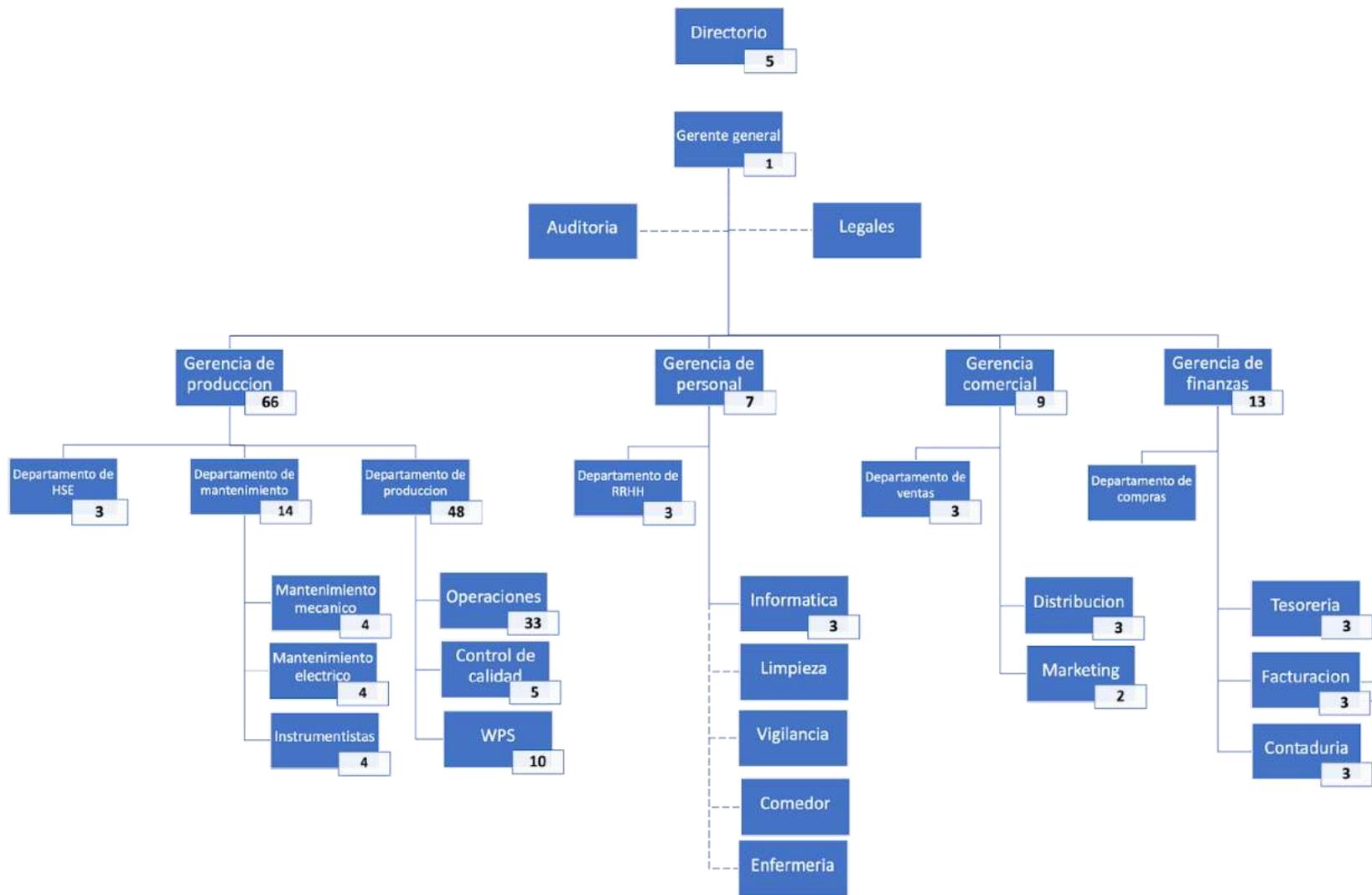
**Estructura matricial:** También denominada *organización de proyectos* es una combinación de la estructura tradicional con la organización de proyectos. En esta estructura organizacional, cuando es necesario concretar un proyecto se forma un equipo con el personal especializado de los diferentes departamentos que demuestre mayores aptitudes para participar en él, si bien pasa a la relación autoridad- responsabilidad con el jefe del proyecto, mientras, simultáneamente- te, cada uno sigue manteniendo la relación formal. Una vez finalizado el proyecto, retoman su cargo en el departamento de origen.

Tiene las ventajas de facilitar la comunicación entre los departamentos, se comparten e intercambian conocimientos, se reducen costos, etc.

Tiene las desventajas de la autoridad-responsabilidad puede ser confusa, voy a tener dos jefes y voy a tener que cumplir con ambos (conflictos).



El tipo de organigrama elegido para nuestra empresa es del tipo lineo-funcional, y se presenta a continuación:



---

#### 9.3.4 Diseño de cargos y tareas

**Cargo** es la definición de todas las actividades desempeñadas por una persona; es una unidad de la organización, conformada por un grupo de deberes y responsabilidades que lo separan y lo distinguen de los demás cargos.

El diseño de los cargos es la manera como se proyectan y estructuran los cargos individuales y se combinan en unidades, departamentos y divisiones

El cargo representa el punto de mediación entre el individuo y la empresa. Por un lado, el individuo con sus necesidades (motivaciones) y recursos personales (habilidades, conocimientos, capacidades, aptitudes, destrezas, etc.); y, por otro lado, la empresa con sus recursos y sus necesidades de talento humano. El cargo es el punto de contacto entre ambos.

**Tarea** se define como toda actividad ejecutada por alguien en desarrollo de su trabajo dentro de la organización. La tarea constituye la menor unidad posible dentro de la división de una organización.

Diseñar un cargo es especificar su contenido (tarea). El diseño de cargo es mediante el cual estos se crean, se proyectan y se combinan con otros cargos ejecución de tareas mayores.

DEPARTAMENTO	SUBDIVISIÓN	FUNCIONES	CARGO	PERSONAS IMPLICADAS
GERENCIA GENERAL	Gerente General	Planificar, organizar, dirigir, controlar, coordinar, analizar, calcular y deducir el trabajo de la empresa, además de contratar al personal adecuado.	Gerente General	1
GERENCIA DE PRODUCCIÓN	Ingeniero de Procesos	Mejora de procesos en las empresas y a menudo es responsable de la gestión, implementación y documentación de proyectos	Ingeniero de Procesos	3
	Departamento de HSE	Vigilar el cumplimiento de las normas de seguridad, Adiestrar e informar sobre los programas de seguridad laboral establecidos en la empresa, Colaborar en la elaboración de procedimiento de trabajo a la vez que asegurarse del cumplimiento de los mismos, Fomentar el orden y la limpieza en los lugares de trabajo, Incentivar la cultura preventiva entre los trabajadores, Informar sobre el uso y mantenimiento correcto de equipos de trabajo, Notificar sobre el uso obligatorio de equipos de protección individual y colectivo, Comunicar a la dirección sobre las deficiencias detectadas, Colaborar en la investigación de accidentes laborales, Difundir las medidas de emergencia contempladas en el plan de emergencia de la empresa, Revisar la correcta ubicación de los equipos de extinción de incendios, así como su correcta ubicación, Verificar el contenido del botiquín de primeros auxilios	HSE	3
	Departamento de mantenimiento	Planifica las actividades del personal a su cargo, Supervisa el mantenimiento de las instalaciones, Estima el tiempo y los materiales necesarios para realizar las labores de mantenimiento y reparaciones, Suministra al personal los materiales y equipos necesarios para realizar las tareas asignadas, Planifica, coordina y controla el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos y sistemas eléctricos, electrónicos y/o mecánicos, Estima el costo de las reparaciones necesarias.	Departamento de mantenimiento	14
	Departamento de producción	Planificación, coordinación y control en todo el proceso productivo para lograr la mayor productividad posible.	Operaciones	33
			Control de calidad	5
WPS			10	

GERENCIA DE PERSONAL	Departamento de RRHH	Organizar, planificar y administrar las distintas tareas y acciones relacionadas con las personas que integran la compañía.	RRHH	3
	informática (IT)	Administrar las herramientas tecnológicas que usa toda a la compañía. Además, deben garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de todos los elementos, así como en ocasiones incluso deben gestionar el acceso a internet de los empleados y poner límites a cómo estos lo usan, con el fin de garantizar la seguridad de la compañía.	IT	3
GERENCIA COMERCIAL	Departamento de ventas	Planeación, ejecución y control de actividades para alcanzar un mejor funcionamiento de todo el negocio.	Departamento de ventas	3
	Distribución	Organizar la recepción, almacenamiento y entrega de bienes a los clientes o puntos de venta.	Distribución	3
	Marketing	Ubicar y conseguir un posicionamiento para la empresa en el mercado y de esta forma incrementar las ventas y los ingresos.	Marketing	2
GERENCIA DE FINANZAS	Departamento de compras	Asegurar que el suministro de las materias primas, los productos que se subcontraten, los repuestos, etcétera, tengan una continuidad evitando, así, posibles roturas de stock.	Departamento de compras	3
	Tesorería	Garantizar y optimizar la <b>liquidez de la empresa</b> y los de optimizar el resultado financiero.	Tesorería	3
	Facturación	<u>Supervisar las cuentas por cobrar y garantizar que facturemos a nuestros clientes correctamente.</u>	Facturación	3
	Contaduría	Responsable del control de gastos e ingresos y de la situación financiera de la empresa, además de saber los cobros y pagos pendientes	Contaduría	3
			<b>TOTAL</b>	<b>95</b>

## Servicios Externos

- Servicio de Emergencias
- Servicio de Catering
- Personal de Seguridad
- Personal de Limpieza

---

### 9.3.5 Diagrama de turnos

La planta de producción GEPSA S.A. opera en forma continua, por lo cual existen 3 turnos por día y la distribución de horarios que se adopta se detalla a continuación:



- Jefe de turno
- Operador Sala de Control
- Operador Recorrida
- Asistente de Laboratorio
- WPS

A la derecha del esquema de turnos se observan los cargos en los que aplican turnos rotativos.

Respecto a las tareas administrativas, las mismas se efectúan en una jornada laboral de nueve horas de lunes a viernes.

De las cuales cuenta con un tiempo de descanso de 60 minutos que incluyen almuerzo, aseo y descanso.

Horario Central	Aplica a:
08:00-17:00	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gerencia general</li> <li>○ Secretaria ejecutiva</li> <li>○ Encargados de áreas</li> <li>○ Asistentes (excepto asistentes de laboratorio)</li> </ul>

---

**9.3.5.1      17.4. ESQUEMA DE TRABAJO**

El sector de producción, como se especificó anteriormente, cumple con tres turnos de trabajo. Por tal motivo se disponen en cuatro grupos de trabajo (A, B, C y D) cumpliendo con las 6 jornadas de laborales, con 2 días de descanso respectivamente.

Posteriormente se reincorpora en otro turno dando continuidad a la rotación del personal en los diferentes turnos.

M: Turno Mañana.

T: Turno Tarde.

N: Turno Noche.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>Grupo 1</b>	M	M	M	M	M	M			T	T	T	T	T	T			N	N	N	N	N	N			M	M	M	M	M	M	
<b>Grupo 2</b>	N	N	N	N			M	M	M	M	M	M			T	T	T	T	T	T			N	N	N	N	N	N			M
<b>Grupo 3</b>	T	T			N	N	N	N	N	N			M	M	M	M	M	M			T	T	T	T	T	T			N	N	N
<b>Grupo 4</b>			T	T	T	T	T	T			N	N	N	N	N	N			M	M	M	M	M	M			T	T	T	T	T

Figura 11.3.5.1.A. Esquema de turnos de operadores para la planta

## 9.4 Costos de producción. Costos fijos, variables y Punto de equilibrio

### 9.4.1 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio, punto muerto o umbral de rentabilidad es aquel nivel de ventas mínimo que iguala los costes totales a los ingresos totales. Por tanto, el punto muerto no es más que ese mínimo necesario para no tener pérdidas y donde el beneficio es cero. A partir de él, la empresa empezará a obtener ganancias. Este concepto es esencial para saber cuál es el mínimo vital para poder sobrevivir en el mercado. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Costos fijos totales}}{\text{Precio} - \text{Costos variables}}$$

$$\text{Costos totales} = \text{Ingreso por ventas}$$

$$\text{Costos fijos} + \text{Costos variables} = \text{Precios} * \text{Producción}$$

$$Cf + Cv * X = P * X$$

$$Cf = P * X - Cv * X$$

$$Cf = (P - Cv) * X$$

$$X(\text{Punto de equilibrio}) = \frac{Cf}{P - Cv}$$

### 9.4.2 Costos fijos

Los costos fijos son aquellos que a corto plazo no dependen de la cantidad que produzca la empresa. Se trata de los costos de sus factores fijos.

#### 9.4.2.1 SALARIOS

En función del organigrama realizado en el capítulo "Organización y sociedad" y de la información recopilada sobre los salarios en industrias similares, se obtuvo:

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>Costos Salarios - Gerencia</b>					
Gerente general	1	3.000	292.290	39.000	3.799.770
Gerente de producción	1	2.500	243.575	32.500	3.166.475
Gerente de personal o adm	1	2.500	243.575	32.500	3.166.475
Gerente comercial	1	2.500	243.575	32.500	3.166.475
Gerente finanzas	1	2.500	243.575	32.500	3.166.475
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>13.000</b>	<b>1.266.590</b>	<b>169.000</b>	<b>16.465.670</b>

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>Costos Salarios - Producción</b>					
Ingenieros de Procesos	3	6.000	584.580	78.000	7.599.540
Jefe de HSE	1	1.500	146.145	19.500	1.899.885
Operarios HSE	2	1.640	159.785	21.320	2.077.208
Jefe de mantenimiento	1	1.500	146.145	19.500	1.899.885
Operario mantenimiento mecánico	4	4.000	389.720	52.000	5.066.360
Operario mantenimiento eléctrico	4	4.000	389.720	52.000	5.066.360
Instrumentista	4	4.000	389.720	52.000	5.066.360
Jefe de producción	1	1.500	146.145	19.500	1.899.885
Supervisor general de producción	1	1.300	126.659	16.900	1.646.567
Supervisor de producción x turno	4	4.800	467.664	62.400	6.079.632
Operarios producción	8	8.000	779.440	104.000	10.132.720
Operarios de campo	16	16.000	1.558.880	208.000	20.265.440
Jefe de calidad	1	1.500	146.145	19.500	1.899.885
Operarios de calidad	4	3.200	311.776	41.600	4.053.088
Jefe de despacho y depósito	2	2.400	233.832	31.200	3.039.816
Operarios WPS	8	4.800	467.664	62.400	6.079.632
<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>66.140</b>	<b>6.444.020</b>	<b>859.820</b>	<b>83.772.263</b>

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>Costos Salarios - Administrativo</b>					
Jefe RRHH	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Personal de RRHH	2	1.300	126.659	16.900	1.519.908
Jefe de IT	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
IT	2	1.300	126.659	16.900	1.519.908
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>4.600</b>	<b>448.178</b>	<b>59.800</b>	<b>5.378.136</b>

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>Costos Salarios - Comercial</b>					
Jefe de ventas	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Ventas	2	1.240	120.813	16.120	1.449.758
Jefe de distribución	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Distribución	2	1.240	120.813	16.120	1.449.758
Marketing	2	1.100	107.173	14.300	1.286.076
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>5.580</b>	<b>543.659</b>	<b>72.540</b>	<b>6.523.913</b>

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>Costos Salarios - Finanzas</b>					
Jefe de compras	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Analistas de compras	2	1.240	120.813	16.120	1.449.758
Jefe de tesorería	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Tesorería	2	1.400	136.402	18.200	1.636.824
Jefe de facturación	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Facturación	2	1.240	120.813	16.120	1.449.758
Jefe de contaduría	1	1.000	97.430	13.000	1.169.160
Contaduría	2	1.240	120.813	16.120	1.449.758
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>9.120</b>	<b>888.562</b>	<b>118.560</b>	<b>10.662.739</b>

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>Costos Salarios - Terciarizados y otros</b>					
Portería	6	2.760	268.907	35.880	3.226.882
Enfermería	4	1.800	175.374	23.400	2.104.488
Médico	1	650	63.330	8.450	759.954
Comedor	4	1.520	148.094	19.760	1.777.123
Limpieza	8	3.296	321.129	42.848	3.853.551
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>10.026</b>	<b>976.833</b>	<b>130.338</b>	<b>11.721.998</b>

Elementos	Cantidad	Costo Mensual		Costo Annual	
		USD/mes	ARS/mes	USD/año	ARS/año
<b>TOTAL</b>	<b>118</b>	<b>108.466</b>	<b>10.567.842</b>	<b>1.410.058</b>	<b>134.524.719</b>

#### 9.4.2.2 COSTOS GENERALES

Costo	Descripción	Monto (USD)
Cargas sociales	40% costo MO	564.023,20
Gastos generales de planta	50% costo MO	705.029,00
Seguros e impuestos locales	1% costo IT	292.207,53
Generales	3-6% costos producción	70.256,69
<b>Total</b>		<b>1.631.516,41</b>

##### 9.4.2.2.1 CUOTA DE DEVOLUCIÓN AL BANCO

Si bien la forma de calcular se explicará más adelante, este valor debe ser considerado dentro de los costos fijos hasta que termine de pagarse el crédito, al ser un monto fijo en dólares. Equivale a **USD 2.543.443**.

#### 9.4.3 Costos variables

Los costos variables son aquellos costos que se ven modificados de acuerdo con variaciones del volumen de producción (o nivel de actividad). Es decir, si el nivel de actividad decrece, estos costos decrecen, mientras que, si el nivel de actividad aumenta, también lo hace esta clase de costos. Salvo en casos de

cambios estructurales, en las unidades económicas, los costos variables tienden a tener un comportamiento lineal, lo que les confiere la característica de poseer un valor promedio por unidad que tiende a ser constante.

Dentro de los costos de materia prima tenemos:

- Ácido sulfúrico,
- Etilenglicol,
- Amoníaco,
- Silicato de magnesio,
- DEA.

Para el caso de los servicios, los considerados son los siguientes:

- Electricidad,
- Gas natural.

Ítem	Consumo	Precio	Costo
	ton/año	U\$S/ton	U\$S/año
Ácido sulfúrico	2.250	250	562.380
Etilenglicol	552	955	527.160
Amoníaco	38	730	27.448
Silicato de magnesio	82	2.564	211.068
DEA	1	1.800	1.677
<b>Total</b>			<b>1.329.734</b>

Para calcular el gasto mensual relacionado con la energía eléctrica primero debemos tener en cuenta que salvo en el arranque, luego seremos capaces de autoabastecernos, por lo que se calculará el consumo eléctrico para esos días de arranque de planta (posteriores a mantenimiento, por ejemplo).

Para comenzar se buscaron las tarifas de la compañía EDESA que es la que brinda el servicio en donde está instalada la planta. Sin embargo, el acceso a la información se vio dificultado debido al funcionamiento de la página y los valores encontrados estaban poco claros, por lo que se decidió utilizar los de la compañía Edenor que sí estaban actualizados. Esta compañía brinda servicios en Buenos Aires por lo que los valores obtenidos tenderán a ser mayores que los reales para la provincia de Tucumán obteniendo como resultado un análisis conservador de la energía eléctrica consumida.

Es importante destacar que quien pagará por la energía demandada durante el bombeo de la vinaza y el bagazo será la empresa generadora de ese residuo ya que de nuestro lado nos haremos cargo del montaje de los ductos.

Tarifa 3 - BT >= 300 kW potencia contratada		EDENOR
Cargo Fijo	\$/mes	2.814,69
Cargo por Potencia Contratada	\$/kW- mes	296,42
Cargo por Potencia Adquirida	\$/kW- mes	2,99
Cargo Variable Pico	\$/kWh	1,644
Cargo Variable Resto	\$/kWh	1,569
Cargo Variable Valle	\$/kWh	1,494

La facturación se compone de cuatro ítems:

- Cargo fijo mensual por factura emitida.
- Cargo fijo mensual por kW de potencia máxima de suministro contratada.
- Cargo variable mensual por kW de potencia consumida.
- Cargo variable mensual por kW de energía consumida. Para este caso, consideraremos a toda la energía con el precio más alto.

Ítem	Monto		
	\$/AR/mes	\$/AR/año	USD/año
Cargo fijo	2.814,69	2.814,69	28,89
Cargo por potencia contratada	889.260,00	889.260,00	9.127,17
Cargo por potencia adquirida	8.970,00	8.970,00	92,07
Cargo variable pico	118.368,00	118.368,00	1.214,90
<b>Total</b>	<b>1.019.412,69</b>	<b>1.019.412,69</b>	<b>10.463,03</b>

Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta estas potencias:

Ítem	Valor
	kW
Potencia contratada	3000
Potencia pico	72000

Por último, para el caso del gas natural se tendrá en cuenta el consumo de la caldera de bagazo durante su puesta en marcha hasta lograr la transición a biomasa y el consumo menor de las calderas auxiliares a lo largo del año.

Ítem	Consumo	Precio	Costo
	MMBTU/año	USD/MMBTU	USD/año
Gas natural	3280,6	3,5	<b>11.482,0</b>

Otro costo variable que debe considerarse es la cantidad de dinero destinada al mantenimiento de los equipos y la operación, que estarán en función del nivel de producción. El monto estimado para cubrir las necesidades con la operación al 100% es del 5% de la inversión total, lo que arroja un valor de **USD 1.461.038**.

---

#### 9.4.4 Ingresos por ventas

Para este apartado consideramos tanto al sulfato de potasio como a la energía eléctrica como productos comercializables que nos generen ingresos. Así, obtenemos:

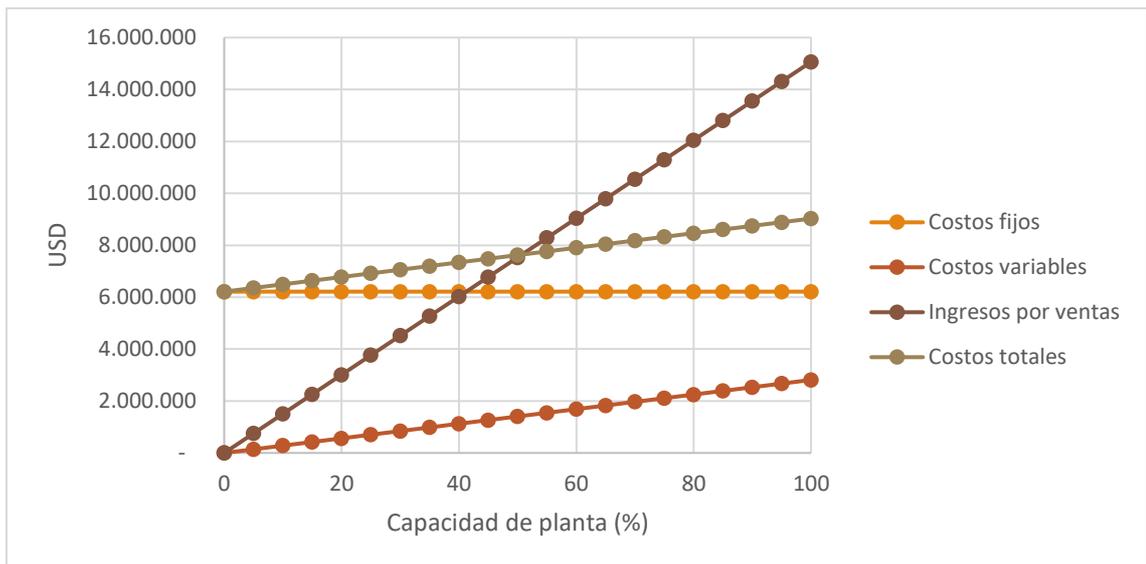
Ítem	Producción	Precio	Ganancia
	ton/año	USD/ton	USD/año
Sulfato de potasio	8281	618	5.117.658,00
	mWh	USD/mWh	USD/año
Electricidad	7,4	160	9.945.600,00
<b>Total</b>			<b>15.063.258,00</b>

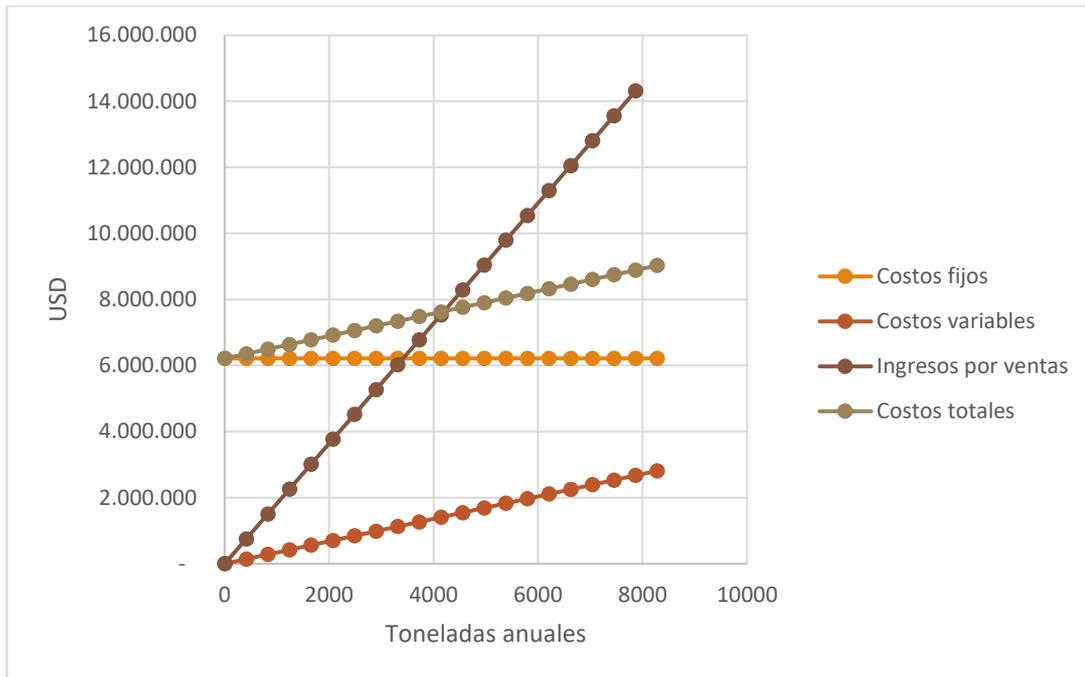
---

#### 9.4.5 Cálculo del punto de equilibrio

Establecidos los costos fijos, variables e ingresos, podemos proceder a calcular el punto de equilibrio de la siguiente forma:

Producción	Costos fijos	Costos variables	Costos totales	Ingresos por ventas
ton/año	USD	USD	USD	USD
0	6.214.787	-	6.214.787	-
414	6.214.787	140.636	6.355.423	753.163
828	6.214.787	281.272	6.496.059	1.506.326
1242	6.214.787	421.907	6.636.695	2.259.489
1656	6.214.787	562.543	6.777.331	3.012.652
2070	6.214.787	703.179	6.917.967	3.765.815
2484	6.214.787	843.815	7.058.602	4.518.977
2898	6.214.787	984.451	7.199.238	5.272.140
3312	6.214.787	1.125.087	7.339.874	6.025.303
3726	6.214.787	1.265.722	7.480.510	6.778.466
4140	6.214.787	1.406.358	7.621.146	7.531.629
4554	6.214.787	1.546.994	7.761.782	8.284.792
4968	6.214.787	1.687.630	7.902.417	9.037.955
5382	6.214.787	1.828.266	8.043.053	9.791.118
5796	6.214.787	1.968.902	8.183.689	10.544.281
6210	6.214.787	2.109.537	8.324.325	11.297.444
6624	6.214.787	2.250.173	8.464.961	12.050.606
7039	6.214.787	2.390.809	8.605.596	12.803.769
7453	6.214.787	2.531.445	8.746.232	13.556.932
7867	6.214.787	2.672.081	8.886.868	14.310.095
8281	6.214.787	2.812.717	9.027.504	15.063.258





Como se puede evidenciar gráficamente, el punto de equilibrio se alcanza al producir a un 50% de la capacidad de planta, lo que equivale a 4200 toneladas anuales aproximadamente.

También podemos corroborarlo matemáticamente mediante la fórmula expresada anteriormente:

$$X = \frac{Cf}{P - Cv}$$

Reemplazando los valores de costo fijo, costo variable e ingresos para el 50%:

$$X = \frac{6.214.787}{7.531.629 - 1.406.358}$$

$$X = 1,0$$

Que el cociente sea igual a 1 significa que tanto numerador como denominador son iguales, demostrando analíticamente que, con esos ingresos, podemos cubrir los gastos de la operación.

---

#### 9.4.6 Financiamiento del proyecto

El capital total de la inversión es de 29.220.753 dólares, el cual será costado en un 60% a través de un préstamo bancario y en un 40% gracias al aporte de accionistas.

### 9.4.6.1 CUOTA AL BANCO

La cuota al banco se calcula de la siguiente forma:

$$(1 + i) = (1 + r) * (1 + \pi)$$

Donde:

- $i$ : tasa de interés de los bancos, cuyo valor se estimará en 45%.
- $\pi$ : inflación, contemplada en 35%.
- $r$ : interés anual en dólares.

Reemplazando los datos, obtenemos:

$$(1 + 0,45) = (1 + r) * (1 + 0,35)$$

$$(1 + r) = \frac{(1 + 0,35)}{(1 + 0,45)}$$

$$r = 0,074 = 7,4\%$$

Con la tasa de interés podemos calcular la cuota de devolución al banco (C) mediante:

$$C = A * \frac{r * (r + 1)^N}{(r + 1)^N - 1}$$

Donde:

- A: aporte total del banco.
- N: años.

Reemplazando:

$$C = 17.532.452 * \frac{0,074 * (0,074 + 1)^{10}}{(0,074 + 1)^{10} - 1}$$

$$C = 2.543.443 \text{ USD}$$

## 9.5 Flujo de caja

Algunas consideraciones a tener en cuenta:

- El FLC del año 0 corresponde a la inversión total realizada y sólo eso, por lo que tendrá un valor negativo.
- Necesidades operativas de fondos (NOF) = Caja + Clientes + Existencias – Proveedores

- Como se incluye dentro del flujo libre de caja anual la devolución al banco de la deuda pactada con el mismo, al realizar el VAN solo se tendrá en cuenta la tasa de los accionistas, sino se tendría en cuenta dos veces la devolución. La tasa de los accionistas es la tasa CAPM.

Una de las variables que miden de mejor forma la capacidad financiera de una empresa es el flujo de caja libre (FCL). Consiste en la cantidad de dinero disponible para cubrir deuda o repartir dividendos, una vez se hayan deducido el pago a proveedores y las compras del activo fijo (construcciones, maquinaria, etc.).

En general, este cálculo sirve para medir la capacidad de un negocio para generar caja independientemente de su estructura financiera. Es decir, el FCL es el flujo de caja generado por la empresa que se encuentra disponible para satisfacer los pagos a los suministradores de financiación de la misma.

Primero, estimamos todos los costos, amortizaciones e ingresos:

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	MONTO (USD)
Inversión total	-	29.220.753
Aporte de bancos	-	17.532.452
Aporte de inversores	-	11.688.301
Tasa de interés de los bancos	-	45%
Inflación estimada	-	35%
Ingreso por ventas	-	15.063.258
<b>COSTOS</b>		
Materia prima	-	1.329.734
Personal	-	1.410.058
Cargas sociales de personas	40% costo MO	564.023
Gastos generales de planta	50% costo MO	705.029
Mantenimiento y reparaciones	4-6% costo IT	1.461.038
Seguros e impuestos locales	1% costo IT	292.208
Generales	3-6% costos producción	136.003
Gas	-	11.482
Electricidad	-	10.463
<b>Total</b>		<b>5.920.037,67</b>
Amortización	(Inversión - 0,1*Inversión)/10	2.629.868
NOF	Costo total/12	493.336

Una vez cargados todos los datos requeridos obtenemos:

	0	1	2	3	4	5
Ingreso por ventas	-	10.544.280,60	15.063.258,00	15.063.258,00	15.063.258,00	15.063.258,00
-Costo total	-	5.514.533,99	5.920.037,67	5.920.037,67	5.920.037,67	5.920.037,67
-Devolución al banco	-	2.543.443,10	2.543.443,10	2.543.443,10	2.543.443,10	2.543.443,10
BAAIT	-	2.486.303,51	6.599.777,23	6.599.777,23	6.599.777,23	6.599.777,23
-Amortización	-	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73
BAIT	-	143.564,22	3.969.909,50	3.969.909,50	3.969.909,50	3.969.909,50
-0,35*BAIT	-	50.247,48	1.389.468,33	1.389.468,33	1.389.468,33	1.389.468,33
BDI	-	93.316,74	2.580.441,18	2.580.441,18	2.580.441,18	2.580.441,18
+Amortización	-	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73
FLCN	-	2.536.550,98	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90
-NOF	-	493.336,47				
FLC	-	29.220.752,50	2.043.214,51	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90
FLC ACUMULADO	-	29.220.752,50	27.177.537,99	21.967.229,09	16.756.920,19	11.546.611,29

	6	7	8	9	10
Ingreso por ventas	15.063.258,00	15.063.258,00	15.063.258,00	15.063.258,00	15.063.258,00
-Costo total	5.920.037,67	5.920.037,67	5.920.037,67	5.920.037,67	5.920.037,67
-Devolución al banco	2.543.443,10	2.543.443,10	2.543.443,10	2.543.443,10	2.543.443,10
BAAIT	6.599.777,23	6.599.777,23	6.599.777,23	6.599.777,23	6.599.777,23
-Amortización	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73
BAIT	3.969.909,50	3.969.909,50	3.969.909,50	3.969.909,50	3.969.909,50
-0,35*BAIT	1.389.468,33	1.389.468,33	1.389.468,33	1.389.468,33	1.389.468,33
BDI	2.580.441,18	2.580.441,18	2.580.441,18	2.580.441,18	2.580.441,18
+Amortización	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73	2.629.867,73
FLCN	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90
-NOF					
FLC	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90	5.210.308,90
FLC ACUMULADO	1.125.990,48	4.084.315,42	9.294.624,32	14.504.933,22	19.715.242,12

Como se puede observar, comenzaremos a repagar los créditos a partir del séptimo año.

## 9.6 Rentabilidad: VAN, TIR y Retorno de Inversión

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc.).

Para este método resulta necesario determinar la tasa 'r' (denominada tasa de descuento) que es la tasa que se emplea para actualizar los flujos de fondos esperados que derivan de la realización del proyecto. Dicho valor se denomina normalmente "tasa de corte" ya que permite diferenciar aquellos buenos y aceptables proyectos de los que no lo son, produciendo así un "corte", una línea que delimita aquellos rendimientos que son viables de aquellos que no lo son.

No existe método indiscutido para la determinación de la tasa y el CAPM es el modelo mundialmente aceptado y más utilizado.

$$CAPM = Tlr + B * (Em - Tlr)$$

Donde:

- Tlr: tasa libre de riesgo.
- B: diversificación de negocio.
- Em: retorno esperado del mercado, ligado al riesgo país.

---

### 9.6.1 Tasa libre de riesgo

La tasa libre de riesgo, o la tasa de rentabilidad libre de riesgo, es un concepto teórico que los traders utilizan para definir una inversión que les garantiza ganancias sin tener que asumir ningún riesgo. La tasa libre de riesgo representa los intereses sobre un dinero invertido que puedes esperar durante un cierto período de inversiones que no conllevan ningún riesgo.

Se utiliza una tasa libre de riesgo para las inversiones más estables que se encuentran en los mercados financieros, como los bonos del Tesoro de Estados Unidos. Porque la posibilidad de que el gobierno de Estados Unidos no pague su deuda es prácticamente nula. En teoría, la inversión es lo más segura posible.

Teniendo en cuenta las estadísticas consideraremos un valor de tasa del 2%.




---

### 9.6.2 Diversificación de negocio

Al ser monoproducción este valor es 1.

---

### 9.6.3 Cálculo del riesgo país y retorno esperado del mercado

En los proyectos a evaluar en países emergentes, tales como Argentina, se suele sumar una prima adicional por el "Riesgo País". Se consideran países emergentes aquellos en los que su comportamiento económico es muy variable, por lo que sólo son aceptados como posibilidad de inversión por inversores

dispuestos a asumir altos niveles de riesgo. El Riesgo País es un indicador que intenta traducir las posibilidades de impago de la inversión en un país no desarrollado, puede ser interpretado como la diferencia entre el rendimiento de un título público del país en cuestión y el rendimiento de los títulos públicos de Estados Unidos de características similares en cuanto a plazo, condiciones de amortización e intereses, entre otros. Una medida del Riesgo País es proporcionada por JP Morgan, el cual publica un indicador denominado EMBI+ (Emerging Markets Bond Index Plus, Índice del Plus pagado por los Bonos de Mercados Emergentes respecto de los Bonos del Tesoro de los Estados Unidos). El mismo se calcula en función de la apreciación que hacen las compañías calificadoras de riesgo de variables como: nivel de inflación, regularidad del crecimiento del PBI (Producto Bruto Interno), control sobre el flujo de capitales en la economía, cambios políticos, estabilidad jurídica, derechos civiles, nivel de corrupción, entre otros. Se miden en puntos básicos de manera que 100 puntos básicos equivalen a 1%.

Al momento de realizar este análisis el riesgo país se encuentra en 1509 puntos, lo que equivale a un retorno esperado del mercado de 15,09%.

Con todos los valores y reemplazando, obtenemos:

$$CAPM = 0,02 + 1 * (0,1509 - 0,02)$$

$$CAPM = 0,1509$$

$$CAPM = 15,09\% = r$$

Una vez obtenida la tasa, podemos estimar el VAN mediante:

$$VAN = -Inv + \frac{FLC_1}{(1+r)^1} + \frac{FLC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FLC_N}{(1+r)^N}$$

Donde:

- Inv.: inversión total.

Como resultado del análisis se obtiene:

$$VAN = 11.619.740 USD$$

---

#### 9.6.4 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) se utiliza habitualmente para evaluar la conveniencia de las inversiones o proyectos y se define como la tasa de interés a la cual los flujos de caja negativos de la inversión se igualan a los flujos positivos de efectivo generados por el proyecto, es decir, es aquella tasa de descuento a la cual el VAN resulta nulo. El cálculo de dicha tasa se emplea como respaldo para el valor arrojado por el VAN, ya que

permite comparar el proyecto en cuestión con otros proyectos existentes en el mercado que también resulten convenientes.

En caso de que el TIR sea mayor que la tasa de descuento de la empresa (cuyo valor en el presente proyecto es 15,1%), el proyecto es rentable, resultando atractivo para los inversionistas. Por lo tanto, mientras mayor sea la TIR, mayor será la rentabilidad del proyecto.

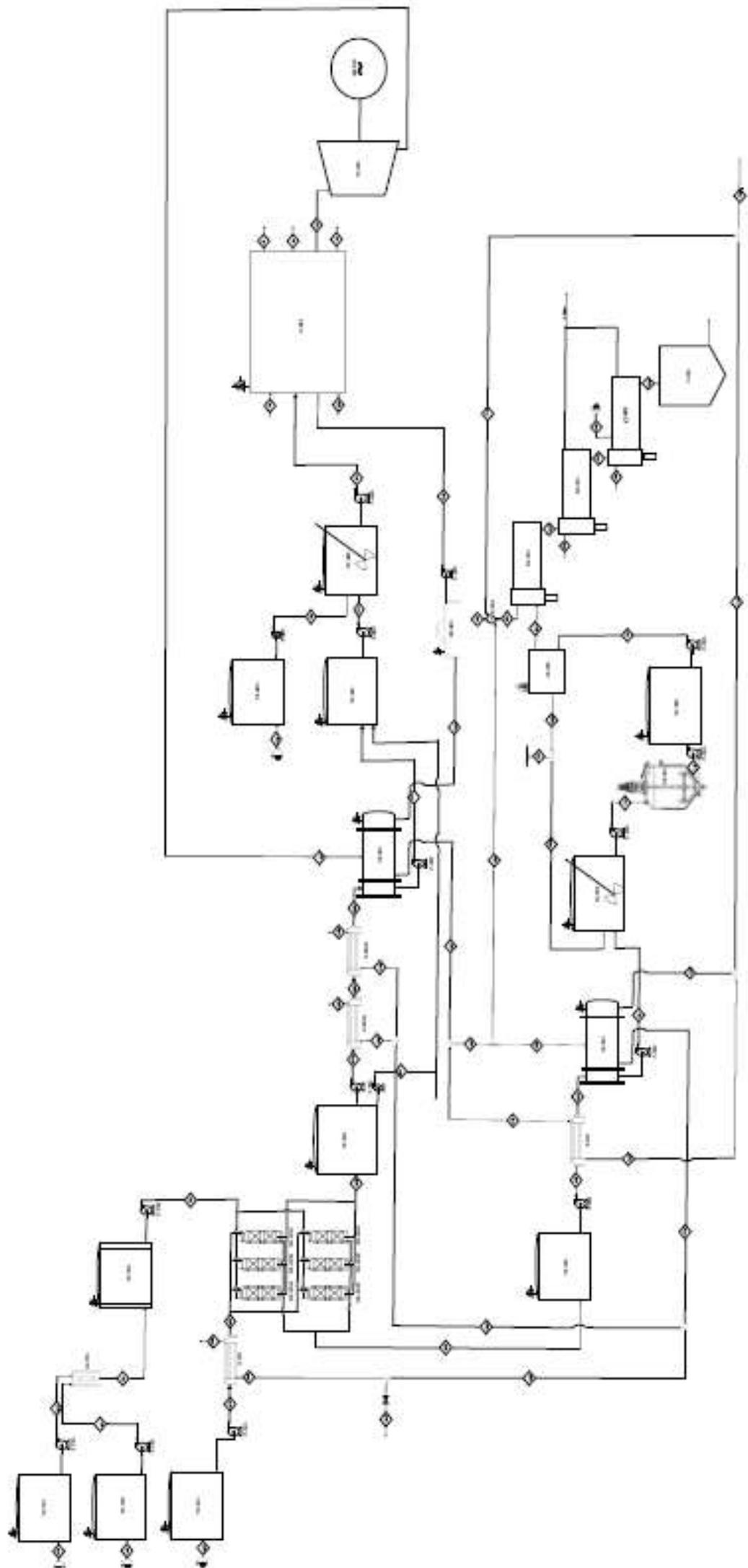
Realizando el cálculo, el valor de la tasa interna de retorno resulta:

$$TIR = 35,3\% > 15,1\%$$

Con los datos obtenidos del cálculo del VAN y la TIR podemos afirmar que nuestro proyecto es rentable y viable.

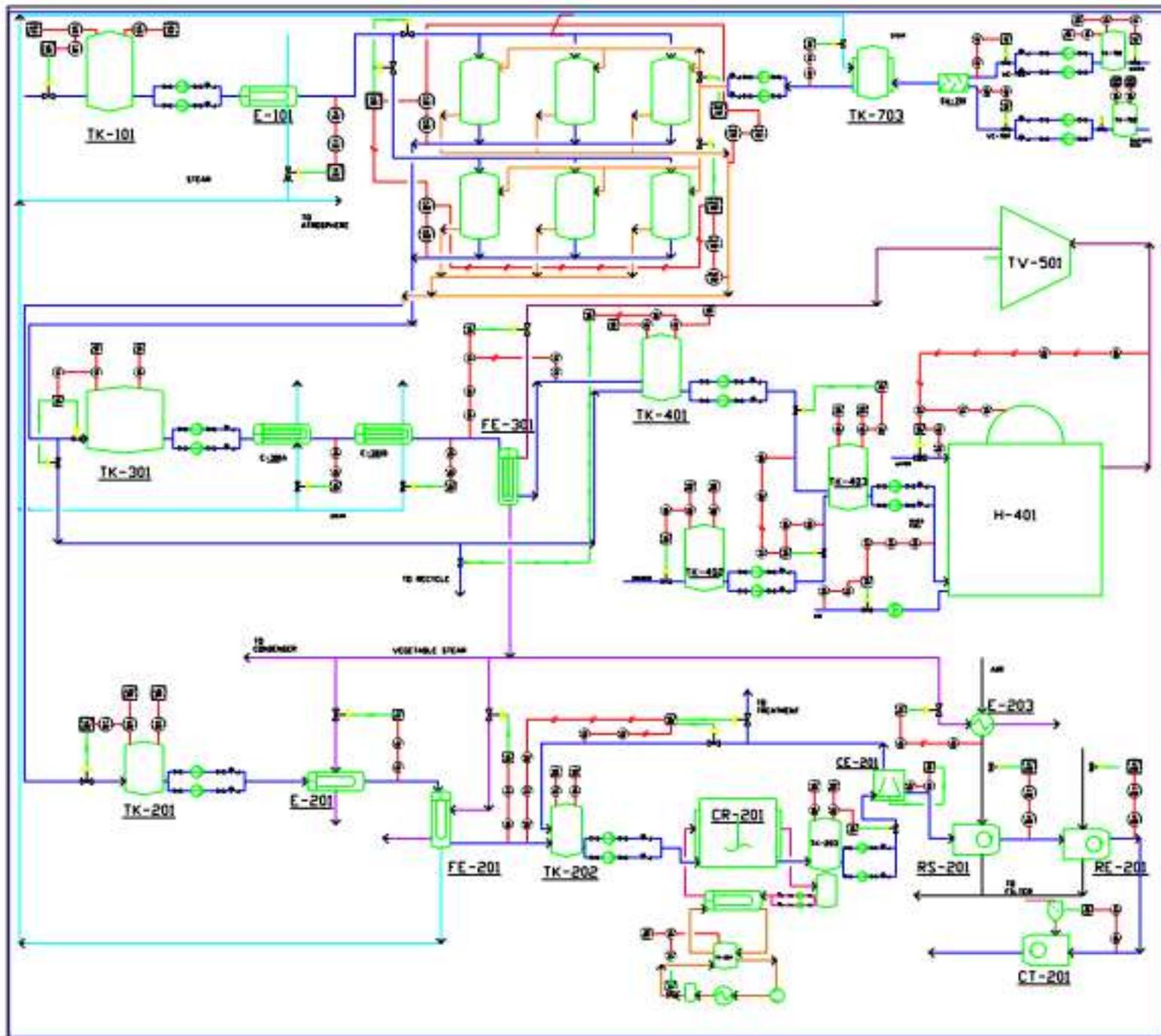
## 10 ANEXOS

# **ANEXO “A”: FLOWSHEET**

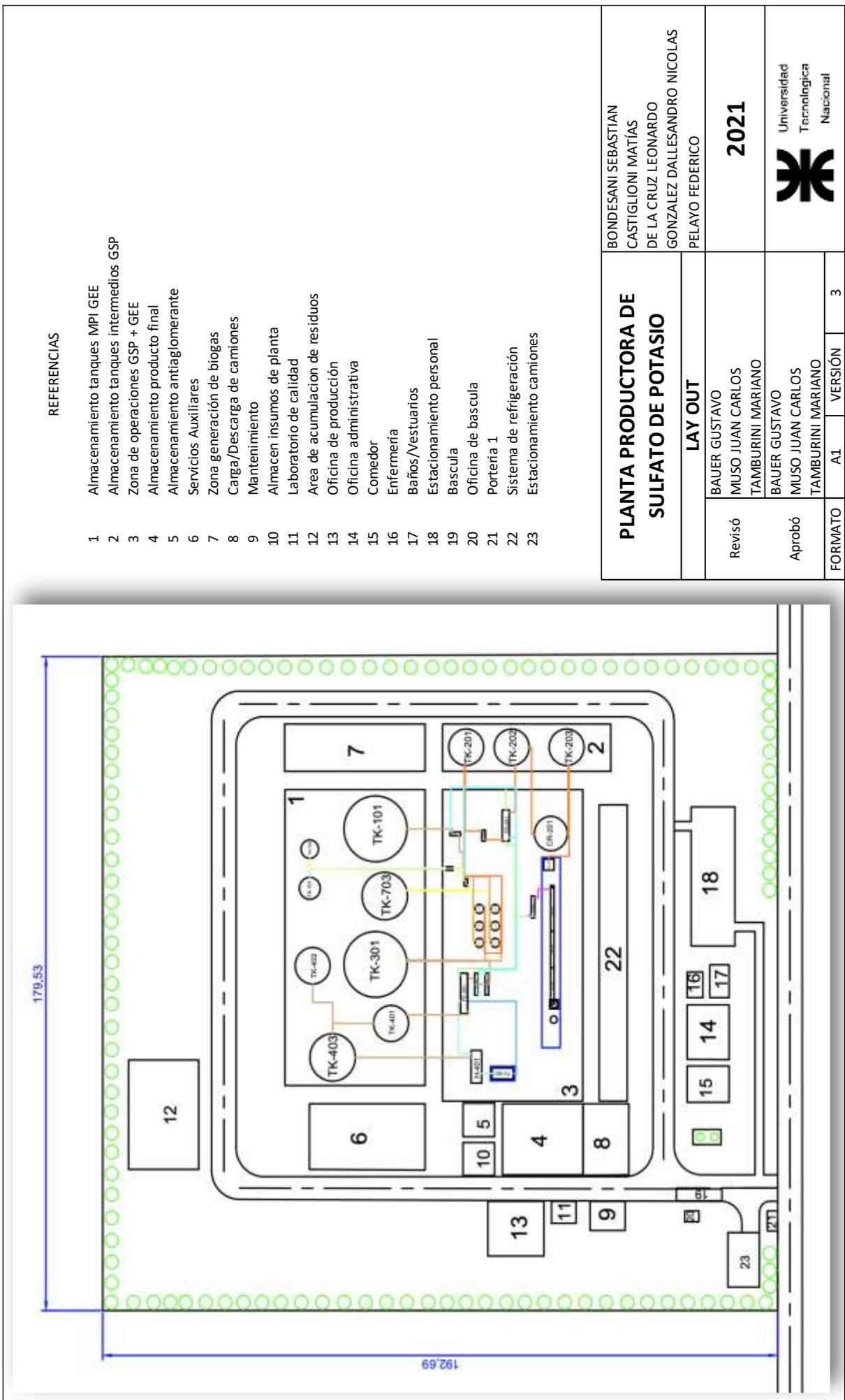


# **ANEXO “B”:**

# **P&ID**



# **ANEXO “C”: LAYOUT**



<b>PLANTA PRODUCTORA DE SULFATO DE POTASIO</b>		BONDESANI SEBASTIAN CASTIGLIONI MATIAS DE LA CRUZ LEONARDO GONZALEZ DALLESSANDRO NICOLAS PELAYO FEDERICO	
		<b>2021</b>	
<b>LAY OUT</b>		Revisó	BAUER GUSTAVO MUSO JUAN CARLOS TAMBURINI MARIANO
		Aprobó	BAUER GUSTAVO MUSO JUAN CARLOS TAMBURINI MARIANO
FORMATO	A1	VERSIÓN	3



# **ANEXO “D”: HOJAS DE SEGURIDAD**

# FICHA DE SEGURIDAD: ÁCIDO SULFÚRICO

## SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

### Identificador del producto

Identificación de la sustancia	Ácido sulfúrico 98 %
Número CE	231-639-5
Número CAS	7664-93-9

## SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

### Clasificación de la sustancia o de la mezcla

#### Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Sección	Clase de peligro	Categoría	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
2.16	Corrosivos para los metales	1	Met. Corr. 1	H290
3.2	Corrosión o irritación cutáneas	1A	Skin Corr. 1A	H314
3.3	Lesiones oculares graves o irritación ocular	1	Eye Dam. 1	H318

### Los principales efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y para el medio ambiente

Corrosión cutánea produce una lesión irreversible en la piel, esto es, una necrosis visible a través de la epidermis que alcanza la dermis.

### Elementos de la etiqueta

#### Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabras de advertencia PELIGRO

#### Pictogramas

- GHS05



### Indicaciones de peligro

H290	Puede ser corrosivo para los metales
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves

### Consejos de prudencia

#### Consejos de prudencia - prevención

P280	Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección
------	----------------------------------------------------

#### Consejos de prudencia - respuesta

P301+P330+P331	<u>EN CASO DE INGESTIÓN</u> : Enjuagar la boca. NO provocar el vómito
P303+P361+P353	<u>EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo)</u> : Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua [o ducharse]
P305+P351+P338	<u>EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS</u> : Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado
P308+P311	<u>EN CASO DE EXPOSICIÓN MANIFIESTA O PRESUNTA</u> : Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico

Componentes peligrosos para el etiquetado:      Ácido sulfúrico ...%

#### Otros peligros

#### Resultados de la valoración PBT y mPmB

La evaluación de esta mezcla determina que no contiene sustancias que sean PBT o mPmB.

## SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

#### Sustancias

Nombre de la sustancia	Potasio sulfato
Número CE	231-639-5
Número CAS	7664-93-9
Fórmula molecular	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Masa molar	98,07 g/mol



## SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

### Descripción de los primeros auxilios

#### Notas generales

Quítese inmediatamente la ropa manchada o salpicada. Autoprotección de la persona que preste los primeros auxilios.

#### En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

#### En caso de contacto con la piel

Quitar mecánicamente (por ej.: limpiar con cuidado, empleando algodón o celulosa, las partes de la piel afectadas) y lavar a continuación con agua abundante y detergente neutral. Necesario un tratamiento médico inmediato, ya que cauterizaciones no tratadas pueden convertirse en heridas difícil de curar.

#### En caso de contacto con los ojos

En caso de contacto con los ojos aclarar inmediatamente los ojos abiertos bajo agua corriente durante 10 o 15 minutos y consultar al oftalmólogo. Proteger el ojo ileso.

#### En caso de ingestión

Lavar la boca inmediatamente y beber agua en abundancia. Llamar al médico inmediatamente. En caso de tragar existe el peligro de una perforación del esófago y del estómago (fuertes efectos cauterizantes).

#### Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Corrosión, Perforación de estómago, Riesgo de lesiones oculares graves, Peligro de ceguera

#### Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Ninguno

## SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

### Medios de extinción



#### Medios de extinción apropiados

Medidas coordinadas de lucha contra incendios en el entorno:

**Medios de extinción no apropiados**

Chorro de agua

**Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

No combustible.

**Productos de combustión peligrosos**

En caso de incendio pueden formarse: Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)

**Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

En caso de incendio y/o de explosión no respire los humos. Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo. Llevar traje de protección química.

## SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

**Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia****Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia**

Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. No respirar los vapores/aerosoles.

**Precauciones relativas al medio ambiente**

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas. El producto es un ácido. Antes de su inmisión en la estación de depuración, es generalmente necesario efectuar una neutralización.

**Métodos y material de contención y de limpieza****Consejos sobre la manera de contener un vertido**

Cierre de desagües.

**Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido**

Absorber con una sustancia aglutinante de líquidos (arena, harina fósil, aglutinante de ácidos, aglutinante universal).

**Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas**

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

## SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

**Precauciones para una manipulación segura**

Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia. Áreas sucias limpiar bien.

**Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo**

Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

**Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**  
 Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Almacenar en un lugar seco.  
 Higroscópico.

**Sustancias o mezclas incompatibles**  
 Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

**Proteger contra la exposición externa, como**  
 Humedad

**Atención a otras indicaciones:**

**Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento**  
 Temperatura recomendada de almacenamiento: 15 - 25 °C

**Usos específicos finales**  
 No hay información disponible.

## SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

**Parámetros de control Valores límites nacionales**

**Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)**

País	Nombre del agente	No CAS	Identificador	VLA-ED [ppm]	VLA-ED [mg/m <sup>3</sup> ]	VLA-EC [ppm]	VLA-EC [mg/m <sup>3</sup> ]	VLA-VM [ppm]	VLA-VM [mg/m <sup>3</sup> ]	Anotación	Fuente
ES	ácido sulfúrico	7664-93-9	VLA		0,05					mist	INS
EU	ácido sulfúrico	7664-93-9	IOELV		0,05					t, mist	2016

### DNEL pertinentes de los componentes de la mezcla

Nombre de la sustancia	No CAS	Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	DNEL	0,05 mg/m <sup>3</sup>	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos locales
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	DNEL	0,1 mg/m <sup>3</sup>	humana, por inhalación	trabajador (industria)	agudo - efectos locales

### PNEC pertinentes de los componentes de la mezcla

Nombre de la sustancia	No CAS	Parámetro	Niveles umbrales	Organismo	Compartimiento ambiental	Tiempo de exposición
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	PNEC	0,003 mg/l	organismos acuáticos	agua dulce	corto plazo (exposición única)

Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	PNEC	0 mg/l	organismos acuáticos	agua marina	corto plazo (sición única)
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	PNEC	8,8 mg/l	organismos acuáticos	depuradora de aguas residuales (STP)	corto plazo (sición única)
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	PNEC	0,002 mg/kg	organismos acuáticos	sedimentos de agua dulce	corto plazo (sición única)
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	PNEC	0,002 mg/kg	organismos acuáticos	sedimentos marinos	corto plazo (sición única)

## Controles de exposición

### Medidas de protección individual (equipo de protección personal) Protección de los ojos/la cara



Utilizar gafas de protección con protección a los costados. Llevar máscara de protección.

### Protección de la piel



#### Protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374. Revisar la hermeticidad/impermeabilidad antes de su uso. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos arriba mencionados. Los tiempos son valores aproximados de mediciones a 22 ° C y contacto permanente. El aumento de las temperaturas debido a las sustancias calentadas, el calor del cuerpo, etc. y la reducción del espesor efectivo de la capa por estiramiento puede llevar a una reducción considerable del tiempo de penetración. En caso de duda, póngase en contacto con el fabricante. Con un espesor de capa aproximadamente 1,5 veces mayor / menor, el tiempo de avance respectivo se duplica / se reduce a la mitad. Los datos se aplican solo a la sustancia pura. Cuando se transfieren a mezclas de sustancias, solo pueden considerarse como una guía.

#### Tipo de material

FKM (Caucho de fluoruro)

#### Espesor del material

>0,4 mm

#### Tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes

>480 minutos (permeación: nivel 6)

#### Otras medidas de protección

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

### Protección respiratoria



Protección respiratoria es necesaria para: Formación de aerosol y niebla. Tipo: E (contra gases ácidos como dióxido de azufre o cloruro de hidrógeno, código de color: amarillo). Tipo: B-P2 (filtros combinados para gases ácidos y partículas, código de color: gris/blanco).

### Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

## SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

#### Aspecto

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

#### Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	<1 (20 °C)
Punto de fusión/ punto de congelación	10 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	337 °C
Punto de inflamación	No inflamable
Tasa de evaporación	No existen datos disponibles
Temperatura de autoignición	No existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	Estas informaciones no están disponibles
Presión de vapor	5,93x10 <sup>5</sup> mmHg
Densidad	1,83 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
Densidad de vapor	3,4

#### Solubilidad(es)

Hidrosolubilidad 1000 g/l con gran desprendimiento de calor.

Coeficiente de reparto

n-octanol/agua (log KOW) No relevante (inorgánico)

Viscosidad 21 cp a 25 °C.

Propiedades explosivas No se clasificará como explosiva

Propiedades comburentes Ninguno

**Otros datos**

**Información relativa a las clases de peligro físico:**

Corrosivos para los metales categoría 1: corrosivos para los metales

**Otras características de seguridad:**

Miscibilidad completamente miscible con agua

## SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Reactividad**

Corrosivos para los metales.

**Estabilidad química**

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

**Posibilidad de reacciones peligrosas**

**Reacciones fuertes con:** Aldehídos, Alcalis (lejía), Metales alcalinos, Amoníaco, Bromatos, Carburo, Cloratos, Metal alcalinotérreo, Hidrocarburos halogenados, Metales, Polvo de metal, Nitrato, Nitrilos, Derivado nitrado, Sustancias orgánicas, Percloratos, Permanganatos, Peróxidos, Fósforo, Óxido de fósforo, Ácidos, Lejía fuerte, Agua, Peróxido de hidrógeno.

**Condiciones que deben evitarse**

No se conocen condiciones particulares que deban evitarse.

**Materiales incompatibles**

Diferentes metales.

**Liberación de materiales inflamables con:** Metales, Metales ligeros (debido al desprendimiento de hidrógeno en un medio ácido/alcalino).

## SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información sobre las clases de peligro definidas en el Reglamento (CE) n° 1272/2008

No se dispone de datos de ensayo sobre la propia mezcla.

### Procedimientos de clasificación

La clasificación de la mezcla está basada en los componentes (fórmula de adición).

### Clasificación conforme al SGA (1272/2008/CE, CLP) Toxicidad aguda

No se clasificará como toxicidad aguda.

Toxicidad aguda de los componentes de la mezcla					
Nombre de la sustancia	No CAS	Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	oral	LD50	2.140 mg/kg	rata

### Corrosión o irritación cutánea

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

### Lesiones oculares graves o irritación ocular

Provoca lesiones oculares graves.

### Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

### Mutagenicidad en células germinales

No se clasificará como mutágeno en células germinales.

### Carcinogenicidad

No se clasificará como carcinógeno.

### Toxicidad para la reproducción

No se clasificará como tóxico para la reproducción.

### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

### Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).

### Peligro por aspiración

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

### Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

- En caso de ingestión

En caso de tragar existe el peligro de una perforación del esófago y del estómago (fuertes efectos cauterizantes)

- **En caso de contacto con los ojos**

Provoca quemaduras, Provoca lesiones oculares graves, peligro de ceguera

- **En caso de inhalación**

Tos, dolor, ahogo y dificultades respiratorias

- **En caso de contacto con la piel**

Provoca quemaduras graves, causa heridas difíciles de sanar

- **Otros datos**

Ninguno

**Propiedades de alteración endocrina**

Ninguno de los componentes está incluido en la lista.

**Información relativa a otros peligros**

No hay información adicional.

## SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

**Toxicidad**

No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

<b>Toxicidad acuática (aguda) de los componentes de la mezcla</b>					
<b>Nombre de la sustancia</b>	<b>No CAS</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Especie</b>	<b>Tiempo exposición</b>
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	EC50	>100 mg/l	invertebrados acuáticos	48 h
Ácido sulfúrico ...%	7664-93-9	ErC50	>100 mg/l	alga	72 h

**Biodegradación**

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

**Procesos de degradación**

No se dispone de datos.

**Potencial de bioacumulación**

No se dispone de datos.

**Movilidad en el suelo**

No se dispone de datos.

**Resultados de la valoración PBT y mPmB**

No se dispone de datos.

**Propiedades de alteración endocrina**

Ninguno de los componentes está incluido en la lista.

**Otros efectos adversos**

No se dispone de datos.

## SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

**Métodos para el tratamiento de residuos**

Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional.

**Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales**

No tirar los residuos por el desagüe.

**Tratamiento de residuos de recipientes/embalajes**

Es un residuo peligroso; solamente pueden usarse envases que han sido aprobado (p.ej. conforme a ADR).

**Disposiciones sobre prevención de residuos**

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso. Abfallverzeichnis-Verordnung (reglamento sobre catálogo de residuos, Alemania).

**Observaciones**

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

## SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

**Número ONU o número ID**

ADR/RID/ADN	UN 2796
Código-IMDG	UN 2796
OACI-IT	UN 2796

**Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas**

ADR/RID/ADN	ÁCIDO SULFÚRICO
Código-IMDG	SULPHURIC ACID
OACI-IT	Sulphuric acid

**Clase(s) de peligro para el transporte**

ADR/RID/ADN	8
Código-IMDG	8
OACI-IT	8

**Grupo de embalaje**

ADR/RID/ADN	II
Código-IMDG	II
OACI-IT	II

**Peligros para el medio ambiente** no peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas

**Precauciones particulares para los usuarios**

Las disposiciones concernientes a las mercancías peligrosas (ADR) se deben cumplir dentro de las instalaciones.

**Transporte marítimo a granel con arreglo a los instrumentos de la OMI**

El transporte a granel de la mercancía no está previsto.

**Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas****Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/ RID/ADN) - Información adicional**

Designación oficial	ÁCIDO SULFÚRICO
Menciones en la carta de porte	UN2796, ÁCIDO SULFÚRICO, 8, II, (E)
Código de clasificación	C1

Etiqueta(s) de peligro 8



Cantidades exceptuadas (CE)	E2
Cantidades limitadas (LQ)	1 L
Categoría de transporte (CT)	2
Código de restricciones en túneles (CRT)	E

Número de identificación de peligro 80

### Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) - Información adicional

Designación oficial	SULPHURIC ACID
Designaciones indicadas en la declaración del expedidor (shipper's declaration)	UN2796, SULPHURIC ACID, 8, II
Contaminante marino	-
Etiqueta(s) de peligro	8 
Cantidades exceptuadas (CE)	E2
Cantidades limitadas (LQ)	1 L
EmS	F-A, S-B
Categoría de estiba (stowage category)	B
Distinción de grupos	1 - Ácidos

### Organización de Aviación Civil Internacional (OACI-IATA/DGR) - Información adicional

Designación oficial	Sulphuric acid
Designaciones indicadas en la declaración del expedidor	UN2796. Sulphuric acid. 8. II
Etiqueta(s) de peligro	8 
Cantidades exceptuadas (CE)	E2
Cantidades limitadas (LQ)	0,5 L

## SECCIÓN 15: OTRA INFORMACIÓN

### Abreviaturas y los acrónimos

2009/161/UE: Directiva 2009/161/UE de la Comisión por la que se establece una tercera lista de valores límite de exposición profesional indicativos en aplicación de la Directiva 98/24/CE del Consejo y por la que se modifica la Directiva 2000/39/CE de la Comisión

ADN: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)

ADR: Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)

ADR/RID/ADN: Acuerdos relativos al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por carretera/ferrocarril/ vías navegables interiores (ADR/RID/ADN)

CAS: Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)

CLP: Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas

Código-IMDG: Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas

código NC: Nomenclatura Combinada

COV: Compuestos orgánicos volátiles

DGR: Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/ DGR)

DNEL: Derived No-Effect Level (nivel sin efecto derivado)

EC50: Effective Concentration 50 % (porcentaje de concentración efectivo). La CE50 corresponde a la concentración de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de cambios en la respuesta (por ejemplo, en el crecimiento) durante un intervalo de tiempo determinado

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)

ELINCS: European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)

EmS: Emergency Schedule (programa de emergencias)

ErC50  $\equiv$  CE50: en este ensayo, es la concentración de la sustancia de ensayo que da lugar a una reducción del 50 %, bien en el crecimiento (C50Eb) bien en la tasa de crecimiento (C50Er) con respecto al testigo

ETA Estimación de la Toxicidad Aguda

Eye Dam.: Causante de lesiones oculares graves

Eye Irrit.: Irritante para los ojos

IARC: Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer

IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo

IATA/DGR: Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)

IMDG: International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)

IMDG: International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)

INSHT: Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos, INSHT

IOELV: Valor límite de exposición profesional indicativo

LD50: Lethal Dose 50 % (dosis letal 50 %): la DL50 corresponde a la dosis de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

Met. Corr.: Corrosivos para los metales

mPmB: Muy persistente y muy bioacumulable

NLP: No-Longer Polymer (ex-polímero)

No CE: El inventario de la CE (EINECS, ELINCS y lista NLP) es la fuente para el número CE como identificador de sustancias de la UE (Unión Europea)

No de índice: El número de clasificación es el código de identificación que se da a la sustancia en la parte 3 del el anexo VI del Reglamento (CE) no 1272/2008

NTP-RoC: National Toxicology Program: Report on Carcinogens (Informe sobre Carcinógenos)

OACI: Organisation de l'Aviation Civile International

OACI-IT: Technical instructions for the safe transport of dangerous goods by air (instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea)

PBT: Persistente, Bioacumulable y Tóxico

PNEC: Predicted No-Effect Concentration (concentración prevista sin efecto)

Ppm: Partes por millón

REACH: Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)

RID: Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)

SA: Convenio internacional sobre el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías (elaborado por la Organización Mundial de Aduanas)

SGA: "Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas

Skin Corr.: Corrosivo cutáneo

Skin Irrit.: Irritante cutáneo

SVHC: Substance of Very High Concern (sustancia extremadamente preocupante)

VLA: Valor límite ambiental

VLA-EC: Valor límite ambiental-exposición de corta duración

VLA-ED: Valor límite ambiental-exposición diaria

VLA-VM: Valor máximo

#### Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas. Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2020/878/UE.

Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ ADN). Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG). Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire).

#### Procedimientos de clasificación

Propiedades físicas y químicas. La clasificación está basada en la mezcla sometida a ensayo. Peligros para la salud humana. Peligros para el medio ambiente. La clasificación de la mezcla está basada en los componentes (fórmula de adición).

#### Frases pertinentes

Código	Texto
H290	Puede ser corrosivo para los metales.
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H318	Provoca lesiones oculares graves.

---

# FICHA DE SEGURIDAD: SULFATO DE POTASIO

---

## SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

### Identificador del producto

Identificación de la sustancia	<b>Potasio sulfato</b>
Número CE	231-915-5
Número CAS	7778-80-5

## SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

### Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.

### Elementos de la etiqueta

<u>Palabras de advertencia</u>	No es necesario.
<u>Otros peligros</u>	No hay información adicional.

## SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### Sustancias

Nombre de la sustancia	Potasio sulfato
Número CE	31-915-5
Número CAS	7778-80-5
Fórmula molecular	$K_2SO_4$
Masa molar	174,3 g/mol



## SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

### Descripción de los primeros auxilios

#### Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

#### En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco.

#### En caso de contacto con la piel

Aclararse la piel con agua/ ducharse. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

#### En caso de ingestión

Enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.

#### Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

A la fecha no se conocen síntomas y efectos.

#### Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Ninguno.

## SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS



### Medios de extinción

#### Medios de extinción apropiados

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores  
Agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

#### Medios de extinción no apropiados

Chorro de agua

#### Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No combustible.

### **Productos de combustión peligrosos**

En caso de incendio pueden formarse: óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>)

### **Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

## **SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**



### **Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

#### **Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia**

No respirar el polvo.

#### **Precauciones relativas al medio ambiente**

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

#### **Métodos y material de contención y de limpieza**

##### **Consejos sobre la manera de contener un vertido**

Cierre de desagües.

#### **Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido**

Recoger mecánicamente.

#### **Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas**

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

## **SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

### **Precauciones para una manipulación segura**

No son necesarias medidas especiales.

### **Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo**

Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo.

### **Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Almacenar en un lugar seco.

### **Sustancias o mezclas incompatibles**

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

### **Atención a otras indicaciones**

- **Requisitos de ventilación**  
Utilización de ventilación local y general.
- **Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento**

Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 25 °C.

- Usos específicos finales  
No hay información disponible.

## SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Parámetros de control Valores límites nacionales

Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

No se dispone de datos.

DNEL/DMEL/PNEC pertinentes y otros niveles umbrales:

- Valores relativos a la salud humana

Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
DNEL	21,3 mg/kg	humana, cutánea	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos
DNEL	37,6 mg/m <sup>3</sup>	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos

- Valores medioambientales

Parámetro	Niveles umbrales	Compartimiento ambiental	Tiempo de exposición
PNEC	0,68 mg/l	agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,068 mg/l	agua marina	corto plazo (ocasión única)
PNEC	10 mg/l	depuradora de aguas residuales (STP)	corto plazo (ocasión única)
PNEC	6,8 mg/l	agua	emisiones intermitentes

Controles de exposición

Medidas de protección individual (equipo de protección personal) Protección de los ojos/la cara



Utilizar gafas de protección con protección a los costados.

#### Protección de la piel



#### Protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374.

#### Tipo de material

NBR (Goma de nitrilo)

#### Espesor del material

>0,11 mm

#### Tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes

>480 minutos (permeación: nivel 6)

#### Otras medidas de protección

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

#### Protección respiratoria



Protección respiratoria es necesaria para: Formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143). P1 (filtra al menos 80 % de las partículas atmosféricas, código de color: blanco).

#### Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

## SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

#### Aspecto

Estado físico	Sólido (cristalinas)
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

#### Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	5,5 - 8,5 (agua: 50 g/l, 20 °C)
------------	---------------------------------

Punto de fusión/ punto de congelación	1.067 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	1.689 °C
Punto de inflamación	No es aplicable
Tasa de evaporación	No existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	Estas informaciones no están disponibles

Límites de explosividad

- límite inferior de explosividad (LIE) Esta información no está disponible
- límite superior de explosividad (LSE) Esta información no está disponible
- Límites de explosividad de nubes de polvo Estas informaciones no están disponibles
- Presión de vapor Esta información no está disponible.

Densidad	2,66 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad aparente	800 - 2.000 kg/m <sup>3</sup>
Densidad relativa	Esta información no está disponible.

Solubilidad(es)

Hidrosolubilidad ~ 110 g/l a 20 °C

Coeficiente de reparto

n-octanol/agua (log KOW)	Esta información no está disponible.
Temperatura de auto-inflamación	Esta información no está disponible.
Temperatura de descomposición	No existen datos disponibles
Viscosidad	No relevantes (materia sólida)
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	Ninguno

**Otros datos**

No hay información adicional.

## SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### Reactividad

Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales.

### Estabilidad química

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

### Posibilidad de reacciones peligrosas

No tiene reacciones peligrosas conocidas

### Condiciones que deben evitarse

No se conocen condiciones particulares que deban evitarse.

### Materiales incompatibles

No hay información adicional.

### Productos de descomposición peligrosos

No hay información adicional.

## SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

No se clasificará como toxicidad aguda.

Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie
cutánea	LD50	>2.000 mg/kg	rata
oral	LD50	6.600 mg/kg	rata

#### Corrosión o irritación cutánea

No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.

#### Lesiones oculares graves o irritación ocular

No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

#### Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida**

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).

#### **Peligro por aspiración**

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

#### **Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas**

- **En caso de ingestión**

No se dispone de datos

- **En caso de contacto con los ojos**

Débilmente irritante

- **En caso de inhalación**

No se dispone de datos

- **En caso de contacto con la piel**

Contacto frecuente y continuo con la piel puede causar irritaciones de piel

#### **Otros datos**

Ninguno

## **SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

#### **Toxicidad**

Según 1272/2008/CE: No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

#### **Toxicidad acuática (aguda)**

Parámetro	Valor	Especie	Fuente	Tiempo exposición
LC50	680 mg/l	pez	ECHA	96 h

#### **Procesos de degradación**

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

#### **Potencial de bioacumulación**

No se dispone de datos.

#### **Movilidad en el suelo**

No se dispone de datos.

**Resultados de la valoración PBT y mPmB**

No se dispone de datos.

**Otros efectos adversos**

No se dispone de datos.

## SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

**Métodos para el tratamiento de residuos**

Contactar al eliminador aprobado correspondiente para una eliminación de residuos.

**Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales**

No tirar los residuos por el desagüe.

**Disposiciones sobre prevención de residuos**

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

**Observaciones**

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

## SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

<b>Número ONU</b>	(No está sometido a las reglamentaciones de transporte)
<b>Designación oficial de transporte de las UN</b>	No relevantes
<b>Clase(s) de peligro para el transporte</b>	No relevantes
<b>Grupo de embalaje</b>	No relevante (No se le atribuye)
<b>Peligros para el medio ambiente</b>	Ninguno (No peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas)

### **Precauciones particulares para los usuarios**

No hay información adicional.

### **Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC**

El transporte a granel de la mercancía no está previsto.

### **Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas**

- **Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/ RID/ADN)**

No está sometido al ADR, RID y al ADN.

- **Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)**

No está sometido al IMDG.

- **Organización de Aviación Civil Internacional (OACI-IATA/DGR)**

No está sometido a la OACI-IATA.

## **SECCIÓN 15: OTRA INFORMACIÓN**

### **Abreviaturas y los acrónimos**

ADN: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)

ADR: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)

CAS: Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)

CLP: Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas

CMR: Carcinógeno, Mutágeno o tóxico para la Reproducción

COV: compuestos orgánicos volátiles

DGR: Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/DGR)

DMEL: Derived Minimal Effect Level (nivel derivado con efecto mínimo)

DNEL: Derived No-Effect Level (nivel sin efecto derivado)

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)

ELINCS: European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)

IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo

IATA/DGR: Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)

IMDG: International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)

LC50: Lethal Concentration 50 % (concentración letal 50%): la CL50 corresponde a la concentración de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

LD50: Lethal Dose 50 % (dosis letal 50 %): la DL50 corresponde a la dosis de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

MARPOL: el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abr. de "Marine Pollutant")

mPmB: muy persistente y muy bioacumulable

NLP: No-Longer Polymer (ex-polímero)

OACI: Organisation de l'Aviation Civile Internationale

PBT: Persistente, Bioacumulable y Tóxico

PNEC: Predicted No-Effect Concentration (concentración prevista sin efecto)

REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)

RID: Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)

SGA: "Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas

SVHC: Substance of Very High Concern (sustancia extremadamente preocupante).

### **Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos**

Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2015/830/UE

Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP, UE SGA)

Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)

Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)

---

# FICHA DE SEGURIDAD: SILICATO DE MANGANESO

---

## SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

### Identificador del producto

Identificación de la sustancia	Silicato de magnesio
Número CE	215-681-1
Número CAS	1343-88-0

## SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

### Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.

### Elementos de la etiqueta

<u>Palabras de advertencia</u>	No es necesario.
<u>Otros peligros</u>	No hay información adicional.

## SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### Sustancias

Nombre de la sustancia	Silicato de magnesio
Número CE	215-681-1
Número CAS	1643-88-0
Fórmula molecular	MgO <sub>3</sub> Si
Masa molar	100,4 g/mol



## SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

### Descripción de los primeros auxilios

#### Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

#### En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco.

#### En caso de contacto con la piel

Aclararse la piel con agua/ ducharse. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

#### En caso de contacto con los ojos

Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

#### En caso de ingestión

Enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.

#### Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Efectos irritantes.

#### Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Ninguno.

## SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

### Medios de extinción



#### Medios de extinción apropiados

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores

Agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

#### Medios de extinción no apropiados

Chorro de agua

#### Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No combustible.

### **Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

## **SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**



### **Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

#### **Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia**

No respirar el polvo.

#### **Precauciones relativas al medio ambiente**

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

#### **Métodos y material de contención y de limpieza**

##### **Consejos sobre la manera de contener un vertido**

Cierre de desagües.

#### **Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido**

Recoger mecánicamente.

#### **Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas**

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

## **SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

### **Precauciones para una manipulación segura**

Evitar la producción de polvo.

### **Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo**

Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo.

### **Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Almacenar en un lugar seco.

### **Sustancias o mezclas incompatibles**

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

### **Atención a otras indicaciones**

- **Requisitos de ventilación**  
Utilización de ventilación local y general.
- **Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento**  
Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 25 °C.
- **Usos específicos finales**  
No hay información disponible.

# SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

## Parámetros de control

### Valores límites nacionales

### Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

País	Nombre del agente	No CAS	Anotación	Identificador	VLA-ED [mg/mS]	VLA-EC [mg/mS]	Fuente
ES	partículas no especificadas de otra forma		i	VLA	10		INSF
ES	partículas no especificadas de otra forma		r	VLA	3		INSF

#### Anotación

i Fracción inhalable  
r Fracción respirable

VLA-EC Valor límite ambiental-exposición de corta duración (nivel de exposición de corta duración): valor límite a partir del cual no debe producirse ninguna exposición y que hace referencia a un periodo de 15 minutos, salvo que se disponga lo contrario

VLA-ED Valor límite ambiental-exposición diaria (límite de exposición de larga duración): tiempo medido o calculado en relación con un período de referencia de una media ponderada en el tiempo de ocho horas

## Controles de exposición

### Medidas de protección individual (equipo de protección personal) Protección de los ojos/la cara



Utilizar gafas de protección con protección a los costados.

### Protección de la piel



#### Protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374.

#### Tipo de material

NBR (Goma de nitrilo)

#### Espesor del material

>0,11 mm

#### Tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes

>480 minutos (permeación: nivel 6)

#### Otras medidas de protección

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

#### Protección respiratoria



Protección respiratoria es necesaria para: Formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143). P1 (filtra al menos 80 % de las partículas atmosféricas, código de color: blanco).

#### Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

## SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

#### Aspecto

Estado físico	Sólido (polvo)
Color	Blanquecino
Olor	Inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

#### Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	8,5 - 9,5 (agua: 50 g/l, 20 °C) Suspensión
Punto de fusión/ punto de congelación	No determinado
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	Esta información no está disponible
Punto de inflamación	No es aplicable
Tasa de evaporación	No existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	Estas informaciones no están disponibles

#### Límites de explosividad

- límite inferior de explosividad (LIE) Esta información no está disponible
- límite superior de explosividad (LSE) Esta información no está disponible
- Límites de explosividad de nubes de polvo Estas informaciones no están disponibles

• Presión de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad	2,51 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad aparente	Esta información no está disponible.
Densidad relativa	Esta información no está disponible.
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	No existen datos disponibles.
<u>Coeficiente de reparto</u>	
n-octanol/agua (log KOW)	Esta información no está disponible.
Temperatura de auto-inflamación	Esta información no está disponible.
Temperatura de descomposición	No existen datos disponibles
Viscosidad	No relevantes (materia sólida)
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	Ninguno
<b>Otros datos</b>	
No hay información adicional.	
Tamaño de partícula	75 - 150 µm

## SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### Reactividad

Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales.

### Estabilidad química

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

### Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones fuertes con: Muy comburente

### Condiciones que deben evitarse

Proteger de la humedad.

### Materiales incompatibles

No hay información adicional.

#### **Productos de descomposición peligrosos**

No hay información adicional.

## **SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

### **Información sobre los efectos toxicológicos**

#### **Toxicidad aguda**

No se clasificará como toxicidad aguda.

#### **Corrosión o irritación cutánea**

No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.

#### **Lesiones oculares graves o irritación ocular**

No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.

#### **Sensibilización respiratoria o cutánea**

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

#### **Resumen de la evaluación de las propiedades CMR**

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida**

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).

#### **Peligro por aspiración**

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

#### **Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas**

- **En caso de ingestión**

No se dispone de datos

- **En caso de contacto con los ojos**

Esencialmente no irritante.

- **En caso de inhalación**

Después de inhalar polvo pueden irritarse las vías respiratorias.

- **En caso de contacto con la piel**

No irritante.

**Otros datos**

Ninguno

## SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

**Toxicidad**

Según 1272/2008/CE: No se clasificará como peligroso para el medio ambiente acuático.

**Procesos de degradación**

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

**Potencial de bioacumulación**

No se dispone de datos.

**Movilidad en el suelo**

No se dispone de datos.

**Resultados de la valoración PBT y mPmB**

No se dispone de datos.

**Otros efectos adversos**

Non-hazardous to water.

## SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

**Métodos para el tratamiento de residuos**

Contactar al eliminador aprobado correspondiente para una eliminación de residuos.

**Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales**

No tirar los residuos por el desagüe.

**Disposiciones sobre prevención de residuos**

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

**Observaciones**

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

## SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

<b>Número ONU</b>	(No está sometido a las reglamentaciones de transporte)
<b>Designación oficial de transporte de las UN</b>	No relevantes
<b>Clase(s) de peligro para el transporte</b>	No relevantes
<b>Grupo de embalaje</b>	No relevante (No se le atribuye)
<b>Peligros para el medio ambiente</b>	Ninguno (No peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas)

### **Precauciones particulares para los usuarios**

No hay información adicional.

### **Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC**

El transporte a granel de la mercancía no está previsto.

### **Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas**

- **Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/ RID/ADN)**

No está sometido al ADR, RID y al ADN.

- **Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)**

No está sometido al IMDG.

## SECCIÓN 15: OTRA INFORMACIÓN

### **Abreviaturas y los acrónimos**

ADN: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)

ADR: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)

CAS: Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)

CLP: Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas

CMR: Carcinógeno, Mutágeno o tóxico para la Reproducción

COV: compuestos orgánicos volátiles

DGR: Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/DGR)

DMEL: Derived Minimal Effect Level (nivel derivado con efecto mínimo)

DNEL: Derived No-Effect Level (nivel sin efecto derivado)

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)

ELINCS: European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)

IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo

IATA/DGR: Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)

IMDG: International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)

LC50: Lethal Concentration 50 % (concentración letal 50%): la CL50 corresponde a la concentración de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

LD50: Lethal Dose 50 % (dosis letal 50 %): la DL50 corresponde a la dosis de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

MARPOL: el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abr. de "Marine Pollutant")

mPmB: muy persistente y muy bioacumulable

NLP: No-Longer Polymer (ex-polímero)

OACI: Organisation de l'Aviation Civile Internationale

PBT: Persistente, Bioacumulable y Tóxico

PNEC: Predicted No-Effect Concentration (concentración prevista sin efecto)

REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)

RID: Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)

SGA: "Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas

SVHC: Substance of Very High Concern (sustancia extremadamente preocupante).

**Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos**

Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2015/830/UE

Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP, UE SGA)

# FICHA DE SEGURIDAD: DIETANOLAMINA

## SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

### Identificador del producto

Identificación de la sustancia	Dietanolamina
Número CE	203-868-0
Número CAS	111-42-2

## SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Clasificación según SGA			
Sección	Clase de peligro	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
3.1O	toxicidad aguda (oral)	(Acute Tox. 4)	H3
3.2	corrosión o irritación cutáneas	(Skin Irrit. 2)	H3
3.3	lesiones oculares graves o irritación ocular	(Eye Dam. 1)	H3
3.9	toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas)	(STOT RE 2)	H3
4.1C	peligroso para el medio ambiente acuático - peligro crónico	(Aquatic Chronic 3)	H4

### Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabras de advertencia PELIGRO

### Pictogramas

- GHS05, GHS07, GHS08



### Indicaciones de peligro

H302	Nocivo en caso de ingestión
H315	Provoca irritación cutánea
H318	Provoca lesiones oculares graves
H373	Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas
H412	Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

### Consejos de prudencia

#### Consejos de prudencia - prevención

P280 Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección

#### Consejos de prudencia - respuesta

<b>P302+P352</b>	<u>EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL</u> : Lavar con abundante agua
<b>P305+P351+P338</b>	<u>EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS</u> : Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado
<b>P310</b>	<u>EN CASO DE EXPOSICIÓN MANIFIESTA O PRESUNTA</u> : Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico

## SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

### Sustancias

Nombre de la sustancia	2,2'-iminodietanol
No de índice	603-071-00-1
Número de registro (REACH)	01-2119488930-28-xxxx
Número CE	203-868-0
Número CAS	111-42-2
Fórmula molecular	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>
Masa molar	105,1 g/mol



## SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

### Descripción de los primeros auxilios

#### Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

#### En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico

#### En caso de contacto con la piel

Aclararse la piel con agua/ ducharse. En caso de irritaciones cutáneas, consultar a un dermatólogo.

#### En caso de contacto con los ojos

Aclarar cuidadosamente con agua durante 10 o 15 minutos y consultar al oftalmólogo.

#### En caso de ingestión

Enjuagarse la boca y beber agua en abundancia. Llamar a un médico.

#### Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Irritación, Tos, Dificultades respiratorias, Vómitos, Riesgo de lesiones oculares graves, Peligro de ceguera.

#### Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Ninguno.

## SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

### Medios de extinción



#### Medios de extinción apropiados

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores

Agua pulverizada, espuma, espuma resistente al alcohol, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

#### Medios de extinción no apropiados

Chorro de agua

**Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**

Combustible. Vapores pesan más que el aire, se extienden sobre el suelo y producen aire con mezclas explosivas.

**Productos de combustión peligrosos**

En caso de incendio pueden formarse: óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

**Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

## SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

**Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia****Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia**

No respirar el polvo. No respirar los vapores/aerosoles. Evítese el contacto con los ojos y la piel.

**Precauciones relativas al medio ambiente**

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

**Métodos y material de contención y de limpieza****Consejos sobre la manera de contener un vertido**

Cierre de desagües.

**Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido**

Recoger mecánicamente. Control del polvo.

**Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas**

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación. Ventilar la zona afectada.

## SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

**Precauciones para una manipulación segura**

Asegurar una ventilación adecuada. Evítese la exposición.

**Medidas de prevención de incendios, así como las destinadas a impedir la formación de partículas en suspensión y polvo**

Eliminación de depósitos de polvo.

**Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo**

Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos. Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo.

**Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**  
Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Almacenar en un lugar seco.

**Sustancias o mezclas incompatibles**

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

**Controlar los efectos**

**Proteger contra la exposición externa, como**  
humedad, luz directa.

**Atención a otras indicaciones**

- **Requisitos de ventilación**  
Utilización de ventilación local y general.
- **Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento**  
Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 25 °C.
- **Usos específicos finales**  
No hay información disponible.

## SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

**Parámetros de control**

**Valores límites nacionales**

**Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)**

País	Nombre del agente	No CAS	Anotación	Identificador	VLA-ED [mg/m <sup>3</sup> ]	VLA-EC [mg/m <sup>3</sup> ]	VLA-VM [ppm]	VLA-VM [mg/m <sup>3</sup> ]	Fuente
ES	partículas no especificadas de otra forma		i	VLA	10				INS
ES	partículas no especificadas de otra forma		r	VLA	3				INS
ES	dietanolamina	111-42-2		VLA	2				INS

**Anotación**

- i Fracción inhalable
- r Fracción respirable
- VLA-EC Valor límite ambiental-exposición de corta duración (nivel de exposición de corta duración): valor límite a partir del cual no debe producirse ninguna exposición y que hace referencia a un periodo de 15 minutos, salvo que se disponga lo contrario
- VLA-ED Valor límite ambiental-exposición diaria (límite de exposición de larga duración): tiempo medido o calculado en relación con un periodo de referencia de una media ponderada en el tiempo de ocho horas
- VLA-VM Valor máximo a partir del cual no debe producirse ninguna exposición (ceiling value)

**DNEL/DMEL/PNEC pertinentes y otros niveles umbrales**

**Valores relativos a la salud humana**

Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
DNEL	0,75 mg/m <sup>3</sup>	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos
DNEL	0,5 mg/m <sup>3</sup>	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos locales
DNEL	0,13 mg/kg pc/día	humana, cutánea	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos

### Valores medioambientales

Parámetro	Niveles umbrales	Compartimiento ambiental	Tiempo de exposición
PNEC	0,021 mg/l	agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,002 mg/l	agua marina	corto plazo (ocasión única)
PNEC	100 mg/l	depuradora de aguas residuales (STP)	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,092 mg/kg	sedimentos de agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,009 mg/kg	sedimentos marinos	corto plazo (ocasión única)
PNEC	1,63 mg/kg	suelo	corto plazo (ocasión única)

### Controles de exposición

#### Medidas de protección individual (equipo de protección personal) Protección de los ojos/la cara



Utilizar gafas de protección con protección a los costados.

#### Protección de la piel



#### Protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374. Revisar la hermeticidad/impermeabilidad antes de su uso. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos arriba mencionados. Los tiempos son valores aproximados de mediciones a 22 ° C y contacto permanente. El aumento de las temperaturas debido a las sustancias calentadas, el calor del cuerpo, etc. y la reducción del espesor efectivo de la capa por estiramiento puede llevar a una reducción considerable del tiempo de penetración. En caso de duda, póngase en contacto con el fabricante. Con un espesor de capa aproximadamente 1,5 veces mayor / menor, el tiempo de avance respectivo se duplica / se reduce a la mitad. Los datos se aplican solo a la sustancia pura. Cuando se transfieren a mezclas de sustancias, solo pueden considerarse como una guía.

**Tipo de material**

NR (Caucho natural)

**Espesor del material**

0,5-0,7 mm

**Tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes**

>480 minutos (permeación: nivel 6)

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

**Protección contra salpicaduras - Guantes de protección****Tipo de material**

NBR (Goma de nitrilo)

**Espesor del material**

>0,11 mm

**Tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes**

>480 minutos (permeación: nivel 6)

**Otras medidas de protección**

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

**Protección respiratoria**

Protección respiratoria es necesaria para: Formación de polvo/Formación de aerosol y niebla. Filtro de partículas (EN 143). Tipo: A-P2 (filtros combinados contra partículas, gases y vapores orgánicos, código de color: marrón/blanco).

**Controles de exposición medioambiental**

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

## SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

**Información sobre propiedades físicas y químicas básicas****Aspecto**

Estado físico	Sólido (materia sólida)
Color	Incoloro
Olor	Como a amoníaco
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

### Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	~11 (agua: 50 g/l, 20 °C)
Punto de fusión/ punto de congelación	27 °C a 1 atm
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	269,9 °C a 1 atm
Punto de inflamación	176 °C
Tasa de evaporación	No existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	Estas informaciones no están disponibles

### Límites de explosividad

• límite inferior de explosividad (LIE)	2,1 %Vol
• límite superior de explosividad (LSE)	10,6 %Vol
• Límites de explosividad de nubes de polvo	Estas informaciones no están disponibles
• Presión de vapor	0 hPa a 20 °C, 1 hPa a 108 °C

Densidad	1,09 g/cm <sup>3</sup> a 23 °C
Densidad de vapor	3,6
Densidad relativa	Esta información no está disponible.

### Solubilidad(es)

Hidrosolubilidad	950 g/l a 20 °C
------------------	-----------------

### Coeficiente de reparto

n-octanol/agua (log KOW)	-2,46 (25 °C) (ECHA)
Carbono orgánico en el suelo/agua	1 (ECHA)
Temperatura de auto-inflamación	375 °C a 1 atm - ECHA
Temperatura de descomposición	>200 °C a 1.013 hPa (ECHA)
Viscosidad	No relevantes (materia sólida)
Viscosidad dinámica	390,9 MPa.s a 30 °C
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva
Propiedades comburentes	Ninguno

### Otros datos

Clase de temperatura  
(UE según ATEX)

T2 (Temperatura de superficie máxima admisible en  
el equipo: 300 °C)

## SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### Reactividad

Calentando: Vapores pueden formar con aire una mezcla explosiva. El producto en la forma de entrega no es capaz de producir una explosión del polvo, pero la acumulación de polvo fino conduce a un peligro de explosión de polvo.

### Estabilidad química

Reactividad en caso de exposición a la luz. Sólido higroscópico.

### Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacción exotérmica con: Hidrocarburos halogenados, Peróxidos, Fenoles, Medios de reducción, Cloruros de ácido, inorgánico, Ácidos, Muy comburente, Isocianato, Peligro/reacciones peligrosas con: Nitrato, Nitrato de potasio, Ácido nítrico y ácido nitroso

### Condiciones que deben evitarse

Humedad. Conservar alejado del calor. Descomposición comienza a partir de temperaturas de >200 °C a 1 atm.

### Materiales incompatibles

Cobre, bronce, latón, etc.

### Productos de descomposición peligrosos

No hay información adicional.

## SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### Información sobre los efectos toxicológicos

#### Toxicidad aguda

Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie	Fuente
oral	LD50	1.100 mg/kg	rata	ECHA

#### Corrosión o irritación cutánea

Provoca irritación cutánea.

#### Lesiones oculares graves o irritación ocular

Provoca lesiones oculares graves.

#### Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

### Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida**

Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

### Peligro por aspiración

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

### Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

- **En caso de ingestión**

Trastornos gastrointestinales, vómitos, puede perjudicar el hígado si la exposición se traga prolongadamente o repetidas veces.

- **En caso de contacto con los ojos**

Provoca lesiones oculares graves, peligro de ceguera.

- **En caso de inhalación**

Vértigo, cefalea, irritación de las vías respiratorias, dificultades respiratorias.

- **En caso de contacto con la piel**

Provoca irritación cutánea.

### Otros datos

Ninguno

## SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

### Toxicidad

Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

### Toxicidad acuática (aguda)

Parámetro	Valor	Especie	Fuente	Tiempo exposición
LC50	460 mg/l	pez	ECHA	96 h
EC50	30,1 mg/l	invertebrados acuáticos	ECHA	48 h
ErC50	9,5 mg/l	alga	ECHA	72 h

### Toxicidad acuática (crónica)

Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático

Parámetro	Valor	Especie	Fuente	Tiempo exposición
EC50	11,82 mg/l	invertebrados acuáticos	ECHA	21 d
crecimiento (CEbx) 10%	1,05 mg/l	invertebrados acuáticos	ECHA	21 d

### Procesos de degradación

La sustancia es fácilmente biodegradable.

Demanda Teórica de Oxígeno con nitrificación: 2,054 mg/mg.

Demanda Teórica de Oxígeno: 1,522 mg/mg.

Dióxido de Carbono Teórico: 1,674 mg/mg.

Proceso	Velocidad de degradación	Tiempo
desaparición de oxígeno	5 %	5 d
desaparición de oxígeno	50 %	7 d
desaparición de oxígeno	93 %	28 d

### Potencial de bioacumulación

Se enriquece en organismos insignificadamente.

n-octanol/agua (log KOW) -2,46 (25 °C)

### Movilidad en el suelo

Constante de la ley de Henry 0 Pa m<sup>3</sup>/mol a 25 °C

El coeficiente de adsorción

normalizado para tener en cuenta el carbono orgánico 1

### Resultados de la valoración PBT y mPmB

No se dispone de datos.

### Otros efectos adversos

No se dispone de datos.

## SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN



### Métodos para el tratamiento de residuos

Elimínese el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional.

### **Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales**

No tirar los residuos por el desagüe. Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

### **Disposiciones sobre prevención de residuos**

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

### **Observaciones**

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Por favor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

## **SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE**

<b>Número ONU</b>	(No está sometido a las reglamentaciones de transporte)
<b>Designación oficial de transporte de las UN</b>	No relevantes
<b>Clase(s) de peligro para el transporte</b>	No relevantes
<b>Grupo de embalaje</b>	No relevante (No se le atribuye)
<b>Peligros para el medio ambiente</b>	Ninguno (No peligroso para el medio ambiente conforme al reglamento para el transporte de mercancías peligrosas)

### **Precauciones particulares para los usuarios**

No hay información adicional.

### **Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC**

El transporte a granel de la mercancía no está previsto.

### **Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas**

- **Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/ RID/ADN)**

No está sometido al ADR, RID y al ADN.

- **Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)**

No está sometido al IMDG.

## SECCIÓN 15: OTRA INFORMACIÓN

### Abreviaturas y los acrónimos

ADN: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)

ADR: Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)

CAS: Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)

CLP: Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas

CMR: Carcinógeno, Mutágeno o tóxico para la Reproducción

COV: compuestos orgánicos volátiles

DGR: Dangerous Goods Regulations (reglamento para el transporte de mercancías peligrosas, véase IATA/DGR)

DMEL: Derived Minimal Effect Level (nivel derivado con efecto mínimo)

DNEL: Derived No-Effect Level (nivel sin efecto derivado)

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas)

ELINCS: European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)

IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo

IATA/DGR: Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)

IMDG: International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)

LC50: Lethal Concentration 50 % (concentración letal 50%): la CL50 corresponde a la concentración de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

LD50: Lethal Dose 50 % (dosis letal 50 %): la DL50 corresponde a la dosis de una sustancia sometida a prueba que provoca un porcentaje 50 de mortalidad durante un intervalo de tiempo determinado

MARPOL: el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abr. de "Marine Pollutant")

mPmB: muy persistente y muy bioacumulable

NLP: No-Longer Polymer (ex-polímero)

OACI: Organisation de l'Aviation Civile Internationale

PBT: Persistente, Bioacumulable y Tóxico

PNEC: Predicted No-Effect Concentration (concentración prevista sin efecto)

REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)

RID: Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)

SGA: "Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas

SVHC: Substance of Very High Concern (sustancia extremadamente preocupante).

#### Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2015/830/UE

Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP, UE SGA)

Dangerous Goods Regulations (DGR) for the air transport (IATA) (Reglamento para el transporte de mercancías peligrosas por aire)

Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)

#### Frases pertinentes

Código	Texto
H302	nocivo en caso de ingestión
H315	provoca irritación cutánea
H318	provoca lesiones oculares graves
H373	puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas
H412	nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

## 11 BIBLIOGRAFÍA

### 11.1 LIBROS Y MANUALES CONSULTADOS

PERRY & GREEN (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill.

WELTY, J (2005). Fundamentos de la Transferencia de Momento, Calor y Masa. Wiley.

FOUST, A. (1992). Principio de las Operaciones Unitarias. McGraw-Hill.

TREYBAL, R. (1993). Operaciones de Transferencia de Masa. McGraw-Hill.

KERN, D. (1999). Procesos de Transferencia de Calor. McGraw-Hill.

CAO, E. (2004). Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos.

CORRIPIO, A. (1997). Principles and Practice of Automatic Process Control. Wiley.

MCCAETTA, J. (1984). Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Marcel Dekker.

HIGNETT, T. (1985). Fertilizer Manual. Springer-Science + Business Media.

GUTIERREZ, J. (2003). Diseño de Procesos en Ingeniería Química. Editorial Reverté.

NAYYAR, M. (1973). Piping Handbook. McGraw-Hill.

MEGYESY, E. (1989). Manual de Recipientes a Presión.

JAGADESH (1999) "Seeding effect on batch crystallization of potassium sulfate under natural cooling mode and simple design method of crystallizer".

PERERA J. (2009) "Concentración y combustión de vinazas".

### 11.2 PÁGINAS WEB

- <https://studylib.es/doc/8382363/sulfato-de-potasio-soluble--hds->
- <https://www.lifeder.com/sulfato-de-potasio/>
- <https://www.acidosulfurico.org/>
- [https://www.prevor.com/docs/es/dossier\\_acido\\_sulfurico.pdf](https://www.prevor.com/docs/es/dossier_acido_sulfurico.pdf)
- <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1813/181358410001/html/index.html>
- <https://www.ecured.cu/Vinaza>
- <https://www.hindawi.com/journals/aess/2013/581984/>
- [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_residuos\\_sucro\\_alcoholera\\_argentina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_residuos_sucro_alcoholera_argentina.pdf)
- <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/036.pdf>

- <https://www.infocampo.com.ar/el-inta-advierte-que-la-aplicacion-de-vinaza-podria-incrementar-el-contenido-de-sales-en-el-suelo/>
- [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_residuos\\_sucro\\_alcoholera\\_argentina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_residuos_sucro_alcoholera_argentina.pdf)
- <https://grupoacura.com/blog/soluciones-y-tecnologia/tanques-de-almacenamiento/>
- [https://www.researchgate.net/publication/326904671\\_CALDERAS\\_CLASIFICACION\\_USOS\\_Y\\_MECANISMOS\\_DE\\_TRANSFERENCIA\\_DE\\_CALOR](https://www.researchgate.net/publication/326904671_CALDERAS_CLASIFICACION_USOS_Y_MECANISMOS_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR)
- <https://www.pirobloc.com/blog-es/clasificacion-de-calderas-por-su-tecnologia/>
- <http://www.fertilizer-machine.net>
- <http://www.fertilizer-machine.net>
- <https://www.begahelicoidales.com/que-es-un-transportador-helicoidal>
- [https://spanish.alibaba.com/product-detail/conveyor-for-powder-auger-conveyor-professional-stainless-steel-screw-auger-conveyor-for-powder-1600201093946.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.6b067ea6aXBFNn&s=p](https://spanish.alibaba.com/product-detail/conveyor-for-powder-auger-conveyor-professional-stainless-steel-screw-auger-conveyor-for-powder-1600201093946.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.6b067ea6aXBFNn&s=p)
- [https://spanish.alibaba.com/p-detail/Espiral-alimentos-precio-tolva-transportador-de-tornillo-para-el-polvo-300011468299.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.43061281I9YTq1](https://spanish.alibaba.com/p-detail/Espiral-alimentos-precio-tolva-transportador-de-tornillo-para-el-polvo-300011468299.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.43061281I9YTq1)
- <http://www.ub.edu/talq/es/node/209>
- [http://www.cristalografia.com.ar/images/pdf/Talleres-2016\\_Unidad-2](http://www.cristalografia.com.ar/images/pdf/Talleres-2016_Unidad-2)
- <http://materias.fi.uba.ar/7605/Archivos/Cristalizacion.pdf>
- [https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1\\_AutoChem\\_Applications/L2\\_Crystallization.html](https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystallization.html)
- <https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/5392/DISE%20D1O+CONCEPTUAL+DE+UNA+PLANTA+PARA+LA+PRODUCCION+DE+SULFATO+DE+ALUMINIO+A+PARTIR+DE+BAUXITA+TES.pdf;jsessionid=A14CFDB8DE6B0C28366A7E4339ADF358?sequence=2>
- <http://www.plantasdecoenergia.com/index.php/turbinas-de-vapor>
- <http://www.renovetec.com/tiposturbinasvapor.html#:~:text=-Turbinas%20de%20condensaci3n%20EI%20vapor,que%20buscan%20un%20alto%20rendimiento>
- <https://www.directindustry.es/prod/siemens-power-generation/product-23116-2019848.html>
- <https://www.alfalaval.mx/productos-y-soluciones/transferencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-de-placas/intercambiador-de-calor-que-es-y-como-funciona/>
- [https://ingenieromarinero.com/intercambiadores-de-calor/#2Tipos\\_de\\_Intercambiadores\\_segun\\_la\\_Direccion\\_del\\_Flujo](https://ingenieromarinero.com/intercambiadores-de-calor/#2Tipos_de_Intercambiadores_segun_la_Direccion_del_Flujo)
- [https://www.researchgate.net/publication/326904671\\_CALDERAS\\_CLASIFICACION\\_USOS\\_Y\\_MECANISMOS\\_DE\\_TRANSFERENCIA\\_DE\\_CALOR](https://www.researchgate.net/publication/326904671_CALDERAS_CLASIFICACION_USOS_Y_MECANISMOS_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR)
- <https://www.pirobloc.com/blog-es/clasificacion-de-calderas-por-su-tecnologia/>
- <https://www.mecalux.com.ar/manual-logistico-almacenaje/diseño-de-depositos/ancho-pasillos>

- <https://www.globalsources.com/si/AS/Hefei-Eagle/6008845420432/Homepage.htm>
- <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-leer-las-etiquetas-de-los-fertilizantes/>
- <https://hardval.com.ar/canos.html>
- <https://www.roydisa.es/las-formas-constructivas-del-motor-electrico-normalizadas/>
- [http://www.bombas\\_ideal.com/catalogo/](http://www.bombas_ideal.com/catalogo/)
- <https://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/2018/11/400-CAT-RNI-GNI-50-60-Hz-D-081018.pdf>
- <https://lafisicayquimica.com/11-5-presion-de-vapor/>
- <https://hardval.com.ar/canos.html>
- [https://www.academia.edu/27961530/Concepto\\_de\\_servicio\\_auxiliar](https://www.academia.edu/27961530/Concepto_de_servicio_auxiliar)
- [https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual\\_de\\_Biogas01.pdf](https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf)
- <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/funcionamiento-refrigeracion-amoniaco/>
- <https://www.ladco.com.ar/product/etilenglicol/>
- <https://www.seguas.com/produccion-aire-comprimido-industrial-compresores/>
- <http://www.bottarini.es/productos/compresores-de-tornillo-velocidad-fija>
- <http://ingenieriapotencial.blogspot.com/2019/09/que-es-un-torre-de-refrigeracion-o.html>
- [https://www.parker.com/literature/dornick%20hunter%20Industrial%20Division/Literature%20&%20Documents/174004425\\_ES\\_FOOD\\_GRADE\\_COMPRESSED\\_AIR\\_MSB.PDF](https://www.parker.com/literature/dornick%20hunter%20Industrial%20Division/Literature%20&%20Documents/174004425_ES_FOOD_GRADE_COMPRESSED_AIR_MSB.PDF)
- [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/168385/TFG\\_Capsule\\_cap08.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/168385/TFG_Capsule_cap08.pdf)
- <https://www.aeisa.com.mx/liquididos-penetrantes-todo-lo-que-ienes-que-saber-sobre-esta-prueba-no-destructiva/>
- <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/evaluacion-de-impacto-ambiental#:~:text=La%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Impacto%20Ambiental,a%20la%20toma%20de%20decisi%C3%B3n>
- <https://argentinambiental.com/legislacion/tucuman/decreto-2204-reglamentacion-la-evaluacion-impacto-ambiental/>
- <https://www.msm.gov.ar/wp-content/uploads/2013/11/Decreto-1741-96.pdf>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/San\\_Miguel\\_de\\_Tucum%C3%A1n](https://es.wikipedia.org/wiki/San_Miguel_de_Tucum%C3%A1n)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Gran\\_San\\_Miguel\\_de\\_Tucum%C3%A1n](https://es.wikipedia.org/wiki/Gran_San_Miguel_de_Tucum%C3%A1n)
- <https://www.cohife.org/advf/TUCUMAN/D016.pdf>
- <https://www.lifeder.com/flora-fauna-tucuman/>
- <http://rig.tucuman.gov.ar/leyes/scan/scan/decretos/2007/D-1610-3-MDP-11052007.pdf>
- <https://argentinambiental.com/legislacion/tucuman/resolucion-23107-efluentes-industriales-liquididos/>

- <https://www.crea.org.ar/mapalegal/efluentes/tucuman>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad\\_y\\_salud\\_laboral](https://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad_y_salud_laboral)
- <https://sociales.unc.edu.ar/sites/default/files/ley-19587%20ley%20de%20higiene%20y%20seguridad%20en%20el%20trabajo.pdf>
- <https://www.argentina.gob.ar/trabajo/buscastrabajo/conocetusderechos/riesgos-de-trabajo>
- <https://www.nga.com/es-pe/certification/standards/iso-45001>
- <https://www.adbarbieri.com/blog/seguridad-e-higiene-en-el-ambito-de-la-construccion>
- <https://www.unir.net/ingenieria/revista/riesgos-laborales-construccion/>
- <https://www.monografias.com/trabajos23/incendios/incendios.shtml>
- <https://cuadernosdeseguridad.com/2018/03/pautas-para-prevenir-incendios-en-la-industria/>
- <https://cuadernosdeseguridad.com/2018/03/pautas-para-prevenir-incendios-en-la-industria/>
- <https://www.argentina.gob.ar/srt/prevencion/que-es-la-prevencion>
- <https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/actualidad-laboral/salud-laboral-consejos-mantener-orden-limpieza-en-trabajo/>
- <https://estrucplan.com.ar/la-senalizacion-como-herramienta-preventiva/>
- <https://puertasasturmex.com/tipos-de-incendios/>
- <https://www.intecomgroup.com.ar/contenido.asp?id=150>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Detector\\_de\\_humo](https://es.wikipedia.org/wiki/Detector_de_humo)
- <http://cbmetal.com.pe/blog/altura-ideal-barandas-de-seguridad/>
- <https://www.eleveescaleras.com.ar/reglamentacion-de-escaleras.htm>
- <https://www.argentina.gob.ar/srt/prevencion/epp>
- [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/04\\_guia\\_equipos\\_y\\_elementos\\_de\\_proteccion\\_personal\\_ok.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/04_guia_equipos_y_elementos_de_proteccion_personal_ok.pdf)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Ficha\\_de\\_datos\\_de\\_seguridad](https://es.wikipedia.org/wiki/Ficha_de_datos_de_seguridad)
- [https://ceut.frbb.utn.edu.ar/web/admin/pages/links/PLANES\\_DE\\_EVACUACION\\_Y\\_EMERGENCIA\\_S.pdf](https://ceut.frbb.utn.edu.ar/web/admin/pages/links/PLANES_DE_EVACUACION_Y_EMERGENCIA_S.pdf)
- <https://exactas.uba.ar/higieneysseguridad/wp-content/uploads/2019/08/IRAM-2407-Identificacion-de-ca%C3%B1erias.pdf>
- <https://www.highseg.com.ar/medicion-contaminantes-ambiente-laboral.html>
- <https://www.lenntech.es/la-evaluacion-de-la-calidad-agua-faq-calidad-agua>
- <https://higieneysseguridadlaboral.com/blog/medicion-de-iluminacion/>
- <https://estrucplan.com.ar/aparatos-para-izar-parte-3/>
- <https://higiene-seguridad.com.ar/carga-de-fuego/>
- [https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia\\_practica\\_2\\_Ruido\\_2016.pdf](https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia_practica_2_Ruido_2016.pdf)

- [https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat\\_guia\\_de\\_medicion\\_de\\_tierra\\_ed2.pdf](https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_tierra_ed2.pdf)
- <https://chaer.com.ar/ventilacion-laboral/>
- <https://www.acaringenieria.com.ar/aparatos-sometidos-presion>
- <https://www.economia.gob.ar/concursos/biblio/LEY%2019550-2084>
- <http://www.creacionempresas.com/la-eleccion-de-la-forma-juridica/>
- <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/>
- <http://www.sitiosargentina.com.ar/notas/2007/noviembre/diferencias>
- <https://derecho.laguia2000.com/derecho-comercial/sociedades-mercantiles>
- <https://www.iberfinancia.es/ventajas-sociedad-anonima-limitada>
- <https://www.gestiopolis.com/estructuras-organizacionales>
- <https://prezi.com/wr65h8hgxmzq/disenio-de-cargos-y-tareas/>
- <https://www.monografias.com/docs/Concepto-de-cargo-FK66KJVPCDG2Z>
- <https://blog.earn2trade.com/es/tasa-libre-de-riesgo/#ixzz78MuX47sc>
- <https://datosmacro.expansion.com/bono/usa>
- <https://www.veritrade.com/es/argentina/importaciones-y-exportaciones/sulfato-de-potasio/310430#>

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/322547823>

# Integrated process for potassium sulfate and a mixture Of ammonium chloride/potassium sulfate salts production

Article in *International Journal of Engineering and Technology* - March 2018

DOI: 10.17979/IJETT.V11N3.1801

CITATIONS

0

READS

8,656

1 author:



Yousef Mubarak

University of Jordan

30 PUBLICATIONS 156 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

[Fertilizers](#) [View project](#)



# Integrated process for potassium sulfate and a mixture Of ammonium chloride/potassium sulfate salts production

Yousef Ahmad Mubarak \*

Chemical Engineering Department, School of Engineering, The University of Jordan, Amman-11942-Jordan

\*Corresponding author E-mail: [y\\_mubarak@ju.edu.jo](mailto:y_mubarak@ju.edu.jo)

## Abstract

Relatively pure and coarse crystalline potassium sulfate of about 52 wt %  $K_2O$  content and almost chlorine free has been obtained by reacting commercial potassium chloride and commercial ammonium sulfate in a stirred tank reactor at moderately low temperature. To increase the yield of potassium sulfate to a reasonable value, an evaporation stage located between the reactor and the crystallizer is used. The main steps of the production process include dissolution, reaction, evaporation, crystallization, centrifuging, drying, and then cooling. It is found that the best operating parameters to produce potassium sulfate of good quality, quantity, and crystal size are 1:1 as  $KCl/(NH_4)_2SO_4$  mole ratio, 60 °C reaction temperature, 1 hour reaction time, about one third of the total water used in the dissolution step is to be evaporated, 10 °C crystallization temperature, 1 hour crystallization time, and 160 and 60 rpm agitation speeds in the reactor and the crystallizer respectively. Applying these operating conditions, a potassium sulfate yield of about 78 % can be achieved. Also, a fully soluble complex salt as a mixture of ammonium chloride and potassium sulfate is obtained by further treatment of the mother liquor. Further concentration of the mother liquor by further water evaporation of about 40 wt % and then crystallization of the slurry at 25 °C can recover up to about 60 wt % of the remaining solid in the mother liquor as a complex salt. The total yield of potassium sulfate is found to be about 95 wt % and the whole value of the solid product obtained is about 79 wt %.

**Keywords:** Ammonium Chloride; Ammonium Sulfate; Crystallization; Potassium Sulfate; Potassium Chloride.

## 1. Introduction

Potassium as a source of K exists as a single fertilizer like potassium chloride (KCl), potassium sulfate  $K_2SO_4$ , and potassium hydroxide (KOH) or as NPK fertilizers like mono potassium phosphate (MKP), and potassium nitrate ( $KNO_3$ ). Potassium (K) fertilizer is commonly added to improve the yield and quality of plants growing in soils that are lacking an adequate supply of this essential nutrient. Most potassium fertilizer comes from ancient salt deposits located throughout the world. The word "potash" is a general term that most frequently refers to potassium chloride (KCl), but it also applies to all other K-containing fertilizers, such as potassium sulfate ( $K_2SO_4$ ) [1], [2].

Potassium sulfate is an organic crystalline salt with a chemical formula  $K_2SO_4$ , produced in a crystalline or a powder form. It is white, odorless, bitter tastes, nontoxic, nonflammable, and soluble in water. It contains 48 to 54 % potassium (as  $K_2O$ ) and supplies 18.4 % of sulfate, and it is considered as the second largest tonnage of potassium compound and is primarily used as a fertilizer [3]. Potassium sulfate is a valuable chemical commodity and it is typically employed as a fertilizer especially for certain crops that do not tolerate the chloride ions well, also most crops need more sulfate than chloride. This fertilizer is a rich source of potassium and sulfur which offers a high concentration of nutrients readily available to plants. Potassium sulfate is also used in the manufacture of glass and production of potassium alums [4].

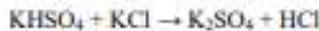
### 1.1. Potassium sulfate production processes

Historically potassium sulfate has been made primarily from potassium chloride and sulfuric acid when the byproduct HCl was the dominant product. However, over the year the HCl market has had more competition and "natural"  $K_2SO_4$  with lower capital and operating costs has begun to dominate its production in some countries with natural complex salts. Nowadays, potassium sulfate can be manufactured by several processes such as: Mannheim process, yield from natural complex salts, naturally occurring brines, the Ochoa process, production of potassium sulfate from potash and sodium sulfate, production of potassium sulfate by reacting ammonium sulfate with potassium chloride. A brief description of these processes in addition to disadvantages will be given below.

#### 1.1.1. Mannheim process

The Mannheim process was originally developed for sodium sulfate production. For the production of potassium sulfate, sodium chloride is replaced with potassium chloride. The required raw materials (potassium chloride (KCl) and sulfuric acid ( $H_2SO_4$ )) are poured into the center of a muffle furnace heated to above 600 °C [5]. Potassium chloride reacts with sulfuric acid during the slow mixing of the ingredients in the gas heated Mannheim furnace consisting of cast iron muffle with rotating plough which helps to agitate the mixture. The hydrochloric acid produces during the reaction is cooled and absorbed into water to produce 33 % hydro-

chloric acid as a byproduct. The precipitated potassium sulfate is cooled, filtered and the lumps are crushed and granulated [6], [7]. The following reactions take place during the production process:



Although the Mannheim process is the most widely process for  $\text{K}_2\text{SO}_4$  production but it has many disadvantages

- 1) Mannheim process needs high production cost.
- 2) It needs a high temperature (> 550 °C) which means high energy consumption.
- 3) Mechanical problems and some difficulties encountered due to corrosion.
- 4) The Mannheim kiln is of necessity constructed from special bricks which have high resistance to direct flame, intense heat and acid, while the stirrer must be heat- and acid-proof.

### 1.1.2. Recovery from natural complex salts

Complex salts containing magnesium sulfate and potassium sulfate occur naturally in many potash ores, such as the potash ores that are found in the European deposits and in the Permian Basin. The chief natural complex salts that are the source of the potassium sulfate are; Kainite ( $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), Langbeinite ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ ), and Carpathian polyminerals. The natural process involves the initial conversion with recycled  $\text{K}_2\text{SO}_4$  end liquor "mined" kainite or langbeinite to form an intermediate product schoenite. All processes are based on intercrystalline reactions of ion exchange.

The process comprises four basic units: preparation of the ore and flotation, production of schoenite and its recovery, leaching of the schoenite to potassium sulfate, and liquor treatment. The kainite is repulped with recycled brine, screened, and directed to ball mills and hydro-classifiers. Overflows go to a thicker and main filter and underflows to flotation and filtration. Float material, after filtration, is combined with the solid fraction from the main filter and directed to the schoenite reactors and separating cyclones. After a two-step hydro-separation, centrifugation, and filtration, schoenite is directed to the leaching reactors. After decomposition of the schoenite, product is directed to final centrifuges and a dryer; the overflows are cooled and crystallized. After additional thickening, the product is centrifuged and dried. The product specification ensures that the  $\text{K}_2\text{O}$  content is not lower than 50% and the chlorine content is less than 1% [8].

### 1.1.3. Production of potassium sulfate from potash and sodium sulfate

Potassium chloride can be reacted with various sulfate salts to form a double salt that can be decomposed to recover potassium sulfate. The most common raw material employed for this purpose is sodium sulfate. A saturated solution of sodium sulfate is added to a saturated solution of potassium chloride to produce glaserite, which is the double sulfate of sodium and potassium. The solution obtained can be filtered to remove insoluble matter, and is then subjected to crystallization, such as evaporative crystallization or cooling crystallization in which glaserite crystallizes out of solution. The obtained solution is filtered to separate the produced potassium sulfate from the mother liquor. The resulting mother liquor undergoes evaporative crystallization in which sodium chloride is produced, and then it is separated by filtration from the mother liquor and recovered as a co product [9-11]. The main disadvantages of this method are summarized as follows:

- This process takes a very long time and this is the most serious disadvantage.
- There are numerous problems associated with the solid/liquid separation of glaserite. Since known processes produce a fine glaserite. Somewhat larger glaserite crystals

can be obtained by out-salting, but this requires a longer residence time and more sophisticated crystallization equipment.

- Dilution of the solution being cooled with water permits obtaining quality glaserite, but its yield is only 5 to 10 wt % of the theoretical. In addition, the refrigeration is so expensive.
- In addition, as a result of evaporation of the glaserite solutions, a thick crust of glaserite, difficult to remove, is formed on the apparatus surface, which reduces the heat transfer coefficient.

### 1.1.4. Recovery of potassium sulfate from polyhalite

The process utilizes polyhalite, water and energy to produce three main products soluble potassium sulfate, standard potassium sulfate, and granular potassium sulfate. Processing polyhalite to produce potassium sulfate by this technique involves crushing, washing, calcinations, leaching, crystallization, and granulation. This method can be effective in areas, which have high evaporation rate and low rainfall and only with brines that contain very high sulfate levels, while in reality lakes with sufficient brine mineral levels are rare. Potassium sulfate production from such sources is usually complex because of the presence of many other salts in significant proportions, which leads to the use of a combination of a mechanical type of separation step with a solubility process step in order to make the latter more efficient. The recoveries of potassium sulfate are less than the optimum due to the greatest difficulty encountered in effecting a clean separation of these several salts because of the presence of the sodium chloride. In most cases, potassium sulfate is not recovered directly from natural brine sources; however, potassium chloride is commonly recovered and then used as a raw material for the production processes of potassium sulfate [12], [13].

### 1.1.5. Naturally occurring brines

In this process evaporate minerals comprising mixtures of relatively coarse salts are treated in a manner such that certain salts are converted by recrystallization to very finely divided form and then separated from the coarse salts by size classification. The ore should be calcined at 450 °C to remove the water of crystallization and render the material soluble in a hot water leach. Polyhalite which is a row material in this process crystallizes in the triclinic system. There are various operations in this process and the process can only be effective in areas which have plenty of water resources. The treatment being especially useful in a process for the recovery of potassium sulfate from marine evaporates mixtures [14]. The main disadvantage of this technique is its high energy and cost are needed in addition to that it requires high rate of equipment maintenance.

### 1.1.6. Production of potassium sulfate by reacting ammonium sulfate and potassium chloride

In this production process, potassium sulfate is produced by reacting ammonium sulfate and potassium chloride at a temperature of about 30 to 40 °C to produce a slurry containing  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  double salt, and reacting this double salt with an aqueous solution containing potassium chloride at a temperature of about 30 °C to produce a slurry containing potassium sulfate. The slurry containing potassium sulfate is subjected to a solids/liquid separation step to obtain potassium sulfate crystals having a size in the range of about 20 to about 150 meshes. The filtrate from solids/liquid separator flows to a settler, where this filtrate is separated into fines, which are recycled back, and an overflow liquor; reacting the overflow liquor with sodium sulfate and either calcium chloride or calcium sulfate dihydrate at a temperature of 30° C to produce a slurry containing syngenite,  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , and passing the slurry containing syngenite into a solids/liquid separator to produce a filtrate and solid syngenite [15], [16].

After reviewing most of the available commercial potassium sulfate production processes and based on the availability of the raw materials, the advantages, and disadvantages of the mentioned processes especially the huge quantity of energy required by most of the available production processes and their environmental effect, it is necessary to seek a more feasible and more environmentally friendly production process with less energy consumption.

### 1.1.7. Description of the present production method

Production of potassium sulfate by the present process starts by charging both commercial potassium chloride (KCl) and ammonium sulfate ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) to two separate jacketed dissolution tanks to prepare potassium chloride and ammonium sulfate saturated solutions. In order to obtain the saturated solutions of both of these materials, it is necessary to raise the temperature of the solution up to 60 °C under an agitation. The two saturated solution (streams 1 and 2) are transferred to a jacketed continuous stirred reactor where the reaction temperature is kept constant for the whole period of reaction time. The stoichiometric reaction between potassium chloride and ammonium sulfate obeys the following reaction equation:



Fig. 1 shows the process flow sheet for the production of potassium sulfate according to the laboratory experimental work carried out. On completion of the reaction, the resulted solution (stream 3)

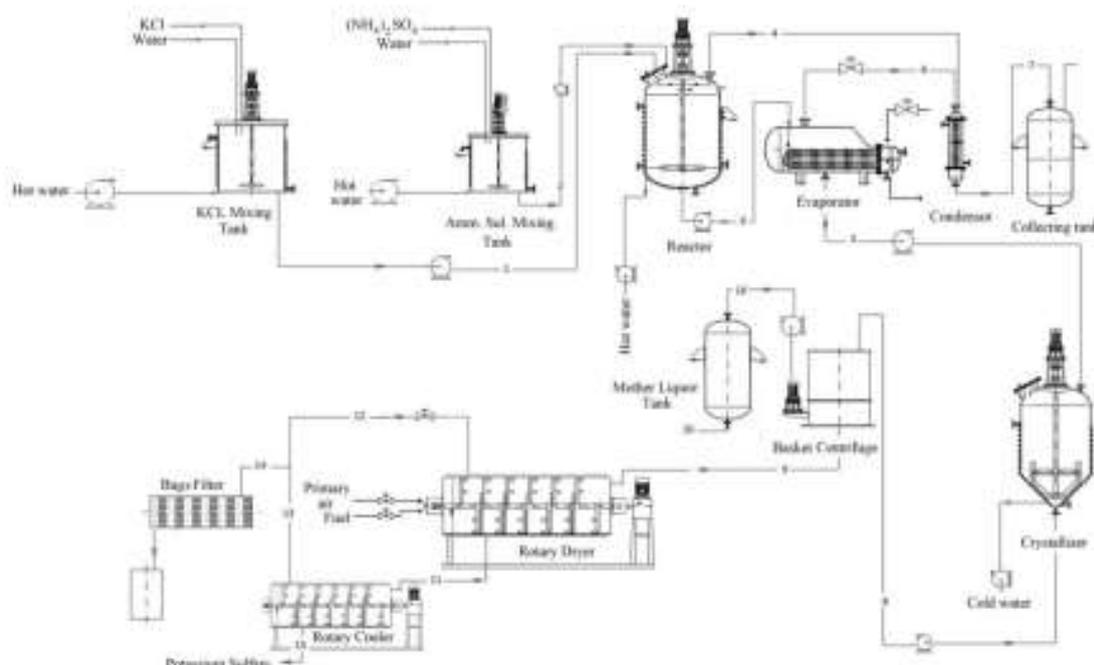


Fig. 1: Process Flow Sheet of Potassium Sulfate Production.

The resulting slurry of potassium sulfate crystals and the mother liquor flows via stream 8 to the centrifuge where the separation of potassium sulfate crystals from the mother liquor takes place under the very high speed of rotation of the internal basket of the centrifuge. The moist potassium sulfate crystals (stream 9) need further drying while the mother liquor (stream 10) is pumped to a storage tank for further processing and recovery. The mother liquor contains valuable compounds such as dissolved ammonium chloride and soluble potassium sulfate that must be recovered.

To get rid of the excess moisture content within the obtained potassium sulfate crystals and obtain crystals with the standard specifications, a rotary dryer is used where the wet crystals flow via stream 9 from the centrifuge to the rotary dryer. The wet crystals flow counter-currently into the rotary dryer where they will be in

contact with hot air blown into the dryer with a temperature of 122 °C. Potassium sulfate crystals (stream 11) leave the rotary dryer at a moisture content of about 0.05 % and at a temperature of 60 °C.

To prevent the dried potassium sulfate crystals from gaining some moisture from the air and then agglomerate while they are in storage, a cooling step is required to cool down the end product from about 55 °C down to room temperature. Dust from both, the rotary dryer (stream 12) and the cooler (stream 13) are sent to a bag filter to recover any potassium sulfate fine crystals and to clean the exit air from solid pollutants. Also, water vapor from the reactor and the evaporator is collected and condensed to reduce the amount of water consumed.

The mother liquor (stream 16) that contains mainly the dissolved ammonium chloride and the unrecovered potassium sulfate is

treated as shown in Fig. 2 to obtain a complex salt of both of these compounds. The treatment process starts with the further evaporation of water to increase the concentration of the salts in the liquor. The saturated solution (stream 18) is then transferred to crystallizer 2 that operates at a temperature of 25 °C to allow the salts crystal to nucleate and grow up. By the end of the crystallization process, the suspension (stream 19) is centrifuged to separate the solid salt formed from the second mother liquor. The obtained solid salt (stream 20) is dried using a rotary dryer to remove the excess moisture.

Many experimental runs were done to determine the best operating parameters for producing potassium sulfate by reacting ammonium sulfate and potassium chloride. There are many operating parameters need to be optimized such as mole ratio of KCl to  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , reaction temperature, reaction time, crystallization

temperature and crystallization time. In the present work, five variables were investigated to achieve the best-operating conditions that lead to a maximum yield of  $\text{K}_2\text{SO}_4$  with better crystals quality. These variables are: the reaction temperature (40, 60, 80 and 100 °C), the reaction time (0.5, 1, 2 and 4 hour), the crystallization temperature (5, 10, 15 and 28 °C), the crystallization time (0.25, 0.5, 1 and 2 hour), and the percentage of water evaporated (15, 24 and 32 %). Also, to recover potassium sulfate/ammonium chloride complex salt from the main mother liquor, the percentage of water evaporated and the crystallization temperature were studied. The percentage of water evaporated varied as 0, 15, 30, 40, and 50 wt % while the crystallization temperature varied as 5, 10, 15, 25, and 30 °C.

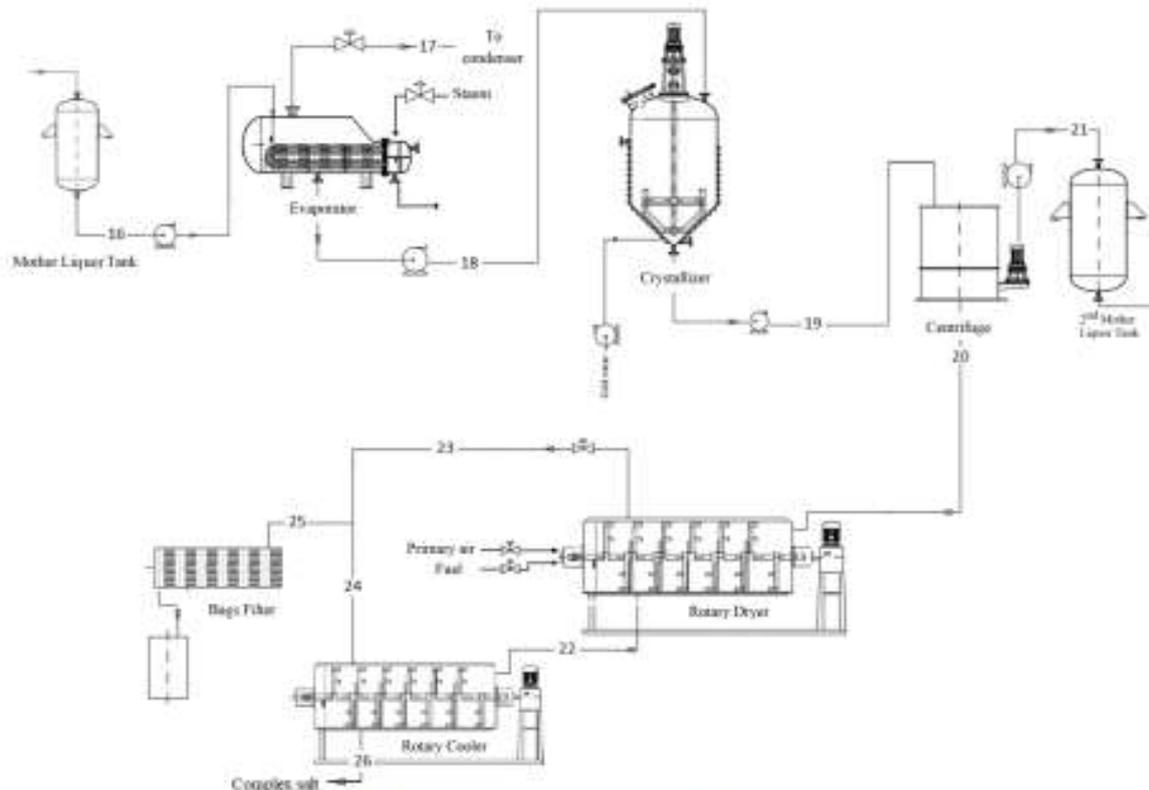


Fig. 2: Process Flow Sheet of Mother Liquor Treatment.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Materials used

A standard potassium chloride (KCl) supplied by the Arab Potash Company and has the following specifications: purity = 96.6 %, potassium oxide ( $\text{K}_2\text{O}$ ) = 61 wt %, moisture content = 0.35 wt %, particle size (90 % minimum) between 0.212-1.7 mm, bulk density = 1300-1358  $\text{kg/m}^3$  [17]. Commercial ammonium sulfate  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  with the following specifications: ammoniacal nitrogen = 21 wt %, water soluble sulphur = 24 wt %, moisture content

= 0.2 wt %, mean particle size = 1.1 mm, loose bulk density = 1040  $\text{kg/m}^3$ , and color = whitish.

### 2.2. Experimental procedure followed

The following block flow diagram (Figure 3) summarizes the procedure adopted in the experimental work to produce both potassium sulfate and the complex salt. Both raw materials were used as received to prepare the saturated solutions from which the two products were obtained.

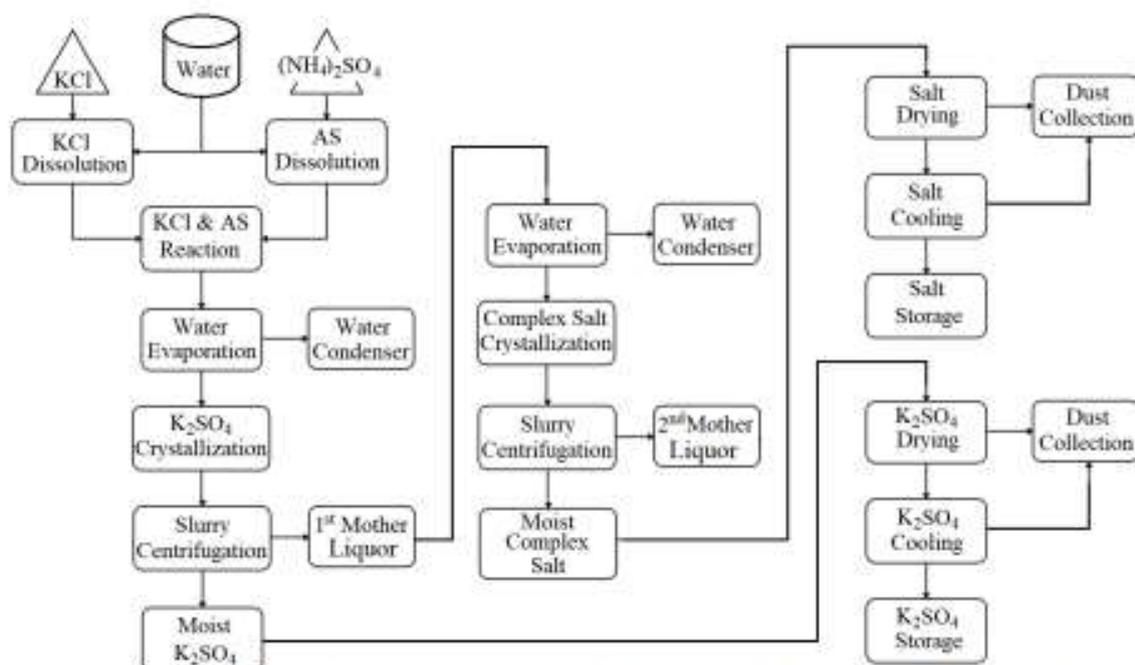


Fig. 3: Block Flow Diagram for Potassium Sulfate and Potassium Sulfate/Ammonium Chloride Complex Salt Production.

### 3. Results and discussion

In this proposed method two products can be produced; the main is the crystalline potassium sulfate while the other byproduct is a mixture of ammonium chloride and potassium sulfate salts. Below the effect of the operating parameters on the yield, chemical analysis, and physical appearance of the products will be presented.

#### 3.1. Effect of operating parameters on the potassium sulfate production

##### 3.1.1. Reaction temperature effect

To investigate the effect of the reaction temperature on the yield of potassium sulfate, four experiments were carried out at different reaction temperatures (40, 60, 80 and 100 °C) while all other parameters were kept fixed at: molar ratio of  $\text{KCl}/(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 1/1$ , reaction time = 60 min, crystallization temperature = 10 °C, crystallization time = 60 min, and evaporated water ratio = 15 %. The effects of the reaction temperature on the potassium sulfate yield and crystals size are presented in Fig. 3. It is obvious that in general, increasing the reaction temperature increases the  $\text{K}_2\text{SO}_4$  yield. Increasing the temperature from 40 to 60 °C, increases the

yield by about 5 wt %, while increasing the reaction temperature from 40 to 100 °C, increases  $\text{K}_2\text{SO}_4$  yield by about 15 wt %. On the other hand, increasing the reaction temperature from 60 to 100 °C, increase the yield by about 6 wt % only.

The obtained potassium sulfate crystals were all white and shiny except the crystals obtained at a reaction temperature of 40 °C; the  $\text{K}_2\text{SO}_4$  crystals were very fine in size and less shiny. Since the obtained  $\text{K}_2\text{SO}_4$  crystals at a reaction temperature of 40 °C are not acceptable in terms of crystal size and physical appearance, and since increasing the reaction temperature above 60 °C does not increase the yield significantly, it is concluded that the best reaction temperature to adopt is 60 °C. Figure 4 shows microscopic graphs of the obtained potassium sulfate crystals obtained by crystallization saturated solutions reacted at different temperatures. All samples were crystallized at a crystallization temperature of 10 °C.

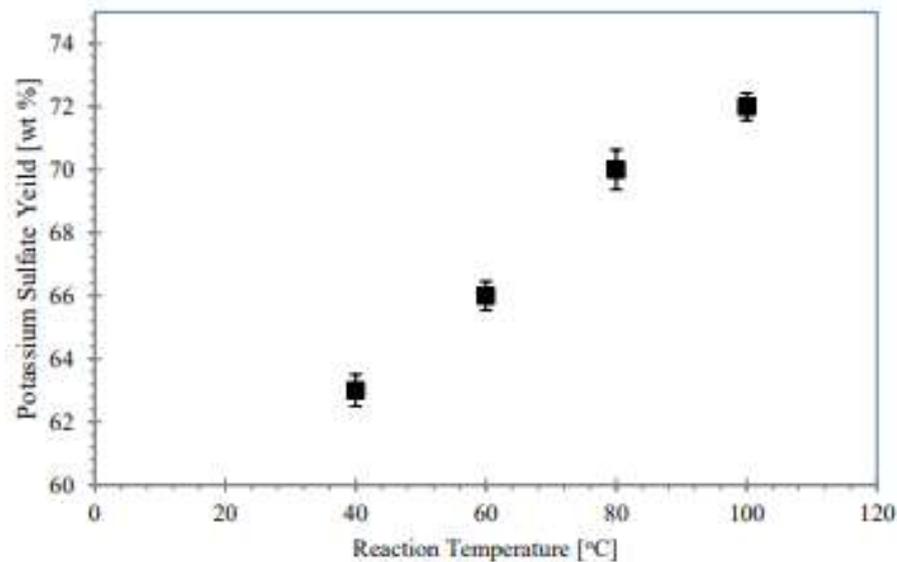


Fig. 3: Percentage of Potassium Sulfate Yield as a Function of Reaction Temperature while the other Parameters were Kept Fixed at 60 Min Reaction Time, 10 °C Crystallization Temperature, 60 Min Crystallization Time and 15 wt % Evaporated Water Ratio.

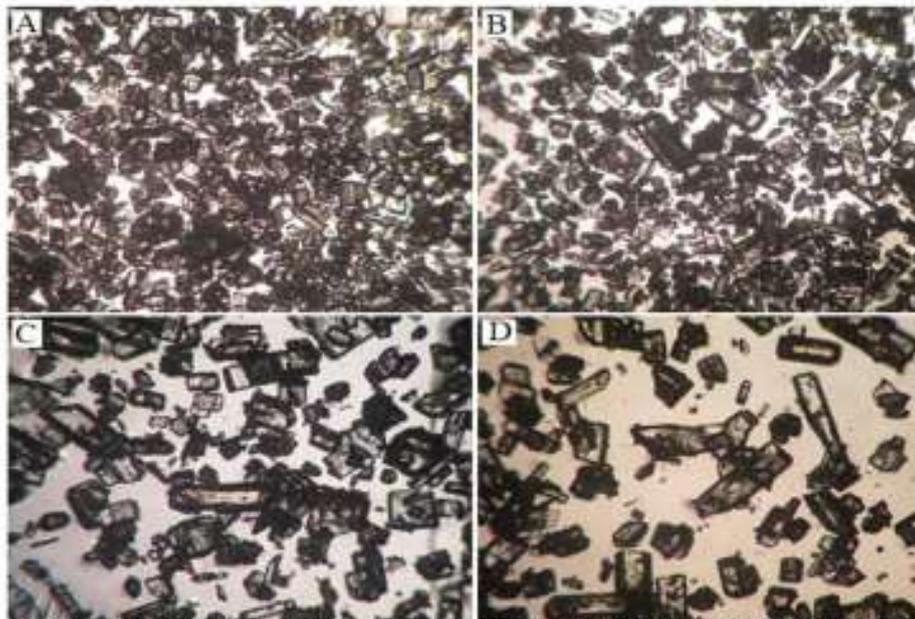


Fig. 4: Microscopic Images of Potassium Sulfate Crystals Crystallized at 10 °C From Solutions Reacted at A) 40 B) 60 C) 80 D) 100 Oc.

### 3.1.2. Reaction time effect

To reveal the reaction time effect on the  $K_2SO_4$  yield, four trials were conducted at 0.5, 1, 2 and 4 hours reaction time while the other operating parameters were kept constant at: molar ratio of  $KCl/(NH_4)_2SO_4 = 1/1$ , reaction temperature = 60°C, crystallization temperature = 10°C, crystallization time = 60 minutes, and evaporated water ratio = 15 %. Fig. 5 presents the effect of the reaction time on the yield of the potassium sulfate crystals. The results show that increasing the reaction time from 30 min to 60 min increases the potassium sulfate yield by about 10 wt % and increasing the reaction time to 120 minutes increases the yield by about

13 wt % only. Further increment in the reaction time does not increase the yield significantly and nearly similar yield values were obtained for reaction times of 1, 2 and 4 hours. Also, it is noticed that the amount of  $K_2SO_4$  nuclei and fine crystals formed during the reaction step after 30 minutes was very little compared with the amount formed after 60 minutes. As a result of this, a reaction time of 60 minutes can be considered as the best reaction time. Fig. 6 shows microscopic graphs of the obtained potassium sulfate crystals by crystallization saturated solutions reacted at 60 °C for different times. All samples were crystallized at a crystallization temperature of 10 °C.

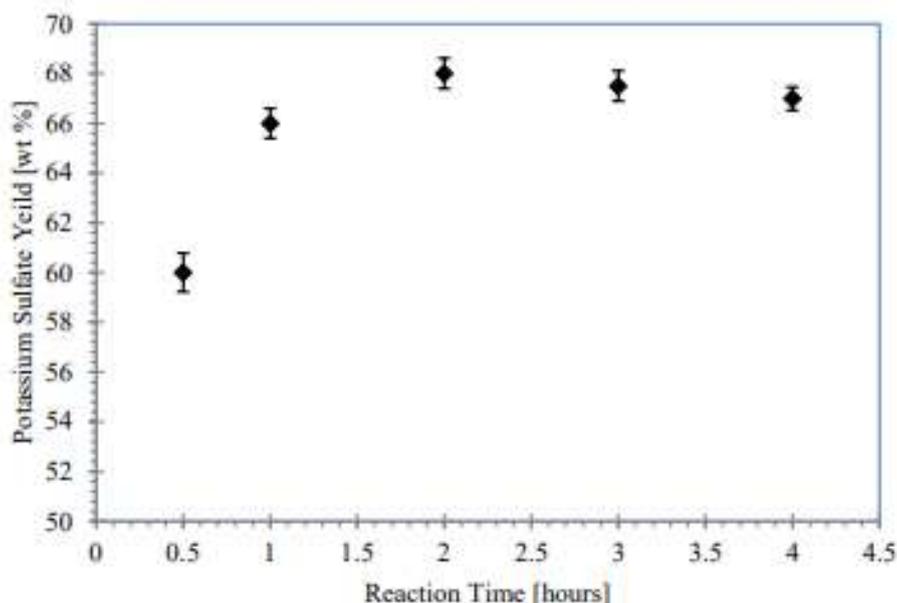


Fig. 5: Percentage of  $K_2SO_4$  Yield as a Function of Reaction Time while the other Parameters were Kept Fixed at 60 °C Reaction Temperature, 10 °C Crystallization Temperature, 60 Min Crystallization Time and 15wt % Evaporated Water Ratio.

### 3.2.3. Crystallization temperature effect

One of the most widely used methods for achieving the supersaturation essential for crystallization is cooling of a solution. On completion of the reaction between the potassium chloride and ammonium sulfate, the slurry is transferred to the crystallizer to allow further nucleation and growth of  $K_2SO_4$  crystals and hence increase the yield of potassium sulfate. Knowing that the solubility of ammonium chloride [18] (39.5 g/100 g water at 25 °C) is over three times the solubility of potassium sulfate [19] (12 g/100 g water at 25 °C), and then cooling a saturated solution containing both of these salts will allow potassium sulfate to crystallize initially. In the present study, slurries from the reactor were cooled at different crystallization temperatures to investigate the effect of the crystallization temperature on  $K_2SO_4$  yield; the crystallization temperatures covered were 5, 10, 15 and 28°C. The other parameters were kept constant at: molar ratio of  $KCl/(NH_4)_2SO_4 = 1/1$ , reaction temperature = 60°C, reaction time = 60 minutes, crystallization time = 60 minutes, and evaporated water ratio = 15%. The cooling temperature is known to influence the rate of growth and size of crystals through its effect on supercooling [20-22].

It is clearly seen in Fig. 7 that decreasing the crystallizer's temperature will increase the yield of  $K_2SO_4$  crystals as a result of the supercooling which leads to excessive nucleation. Decreasing the crystallization temperature from 28 °C to 10 °C increases the  $K_2SO_4$  yield by 20 wt %. Since the difference in the yield values is almost negligible (less than 2 wt %) if the crystallization temperature reduces from 10 to 5 °C, then there is no need to reduce the crystallization temperature further. Hence, it is believed that 10 °C might be a suitable crystallizer temperature at which a reasonable amount of  $K_2SO_4$  can be recovered. The microscopic images of Fig. 8 show that increasing the crystallization temperature increases the size of the obtained crystals, at lower crystallization temperature the nucleation rate is high and hence smaller size of crystals will be obtained [23], [24].

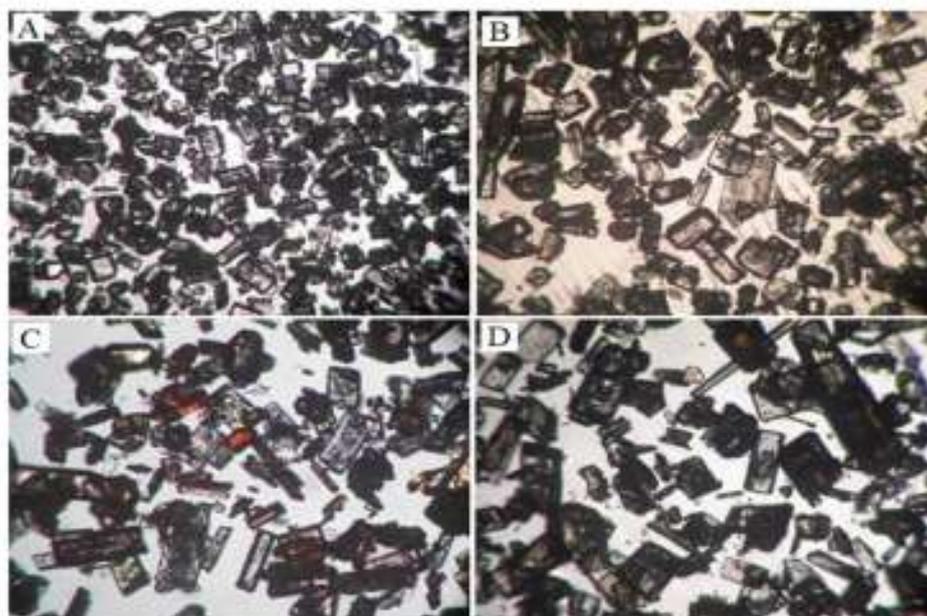


Fig. 6: Microscopic Images of Potassium Sulfate Crystals Crystallized at 10 °C from Solutions Reacted at 60 °C for A) 0.5 B) 1 C) 2 D) 4 Hr.

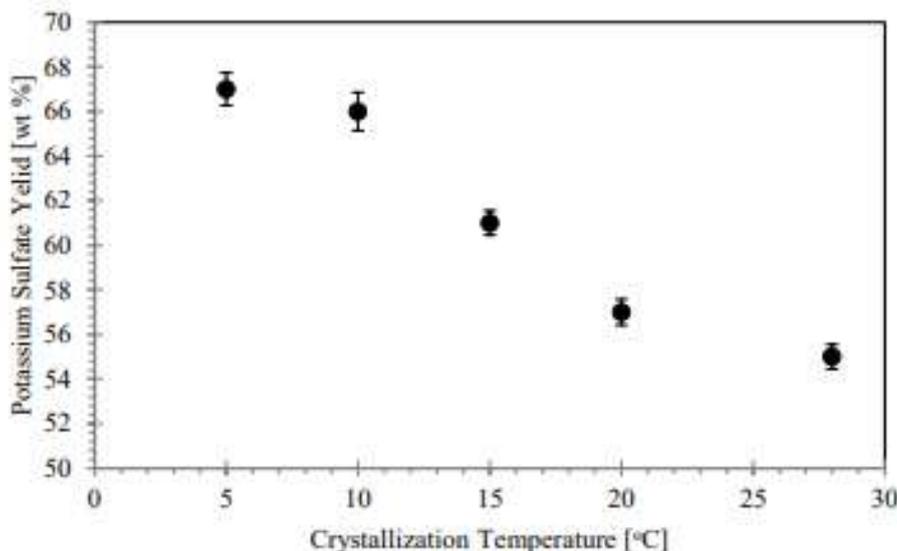


Fig. 7: Percentage of  $K_2SO_4$  Yield as a Function of Crystallization Temperature; the other Parameters were Kept Fixed at 60 °C Reaction Temperature, 60 Min Reaction Time, 60 Min Crystallization Time and 15 wt % Evaporated Water Ratio.

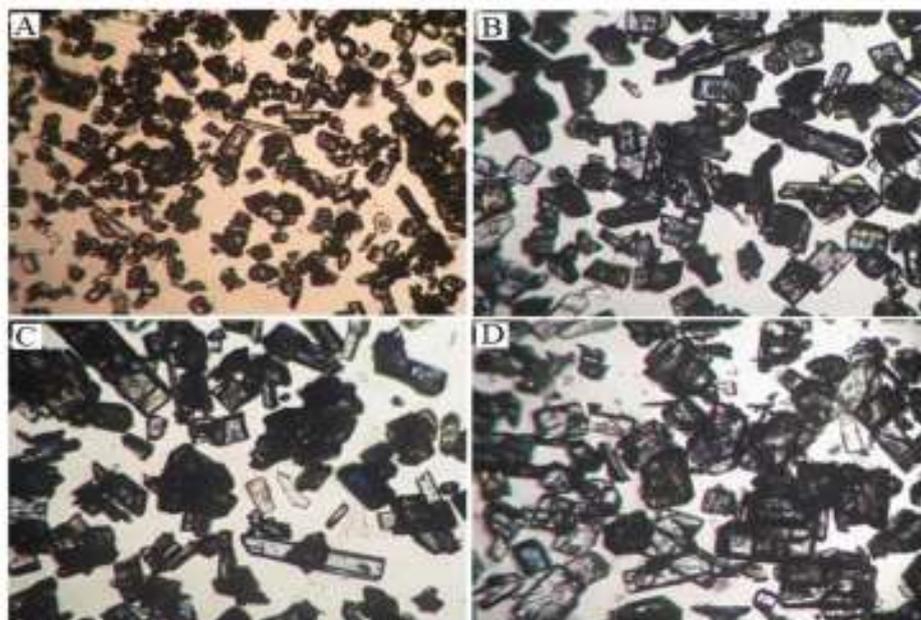


Fig. 8: Microscopic Images of Potassium Sulfate Crystals Crystallized for One Hour at Different Temperatures A) 5 B) 10 C) 15 D) 28 °C.

#### 3.2.4. Crystallization time effect

As expected, the crystal yield increases with time [25], the effect of crystallization time was studied by setting the crystallization time to 0.25, 0.5, 1, and 2 hours, while the other variables were set at: molar ratio of  $KCl/(NH_4)_2SO_4 = 1/1$ , reaction temperature = 60°C, reaction time = 60 minutes, crystallization temperature = 10°C, and evaporated water ratio = 15 %. As expected, increasing the crystallization time will increase the  $K_2SO_4$  yield as presented in Fig. 9. The figure reveals that the yield increases by about 14 wt % when the crystallization time increases from 30 to 60 minutes,

while the yield increases by about 16 wt % when the crystallization time increases from 30 to 120 minutes. Since the increment in the  $K_2SO_4$  yield is very small as the crystallization time increases from 60 to 120 minutes and in order to save more energy and to reduce the process time, it is suggested to stop the crystallization stage after 60 minutes. The microscopic graphs obtained (Fig. 10) reveals that reducing the crystallization time will decrease the final size of the crystals as a result of the insufficient time for crystals to grow up.

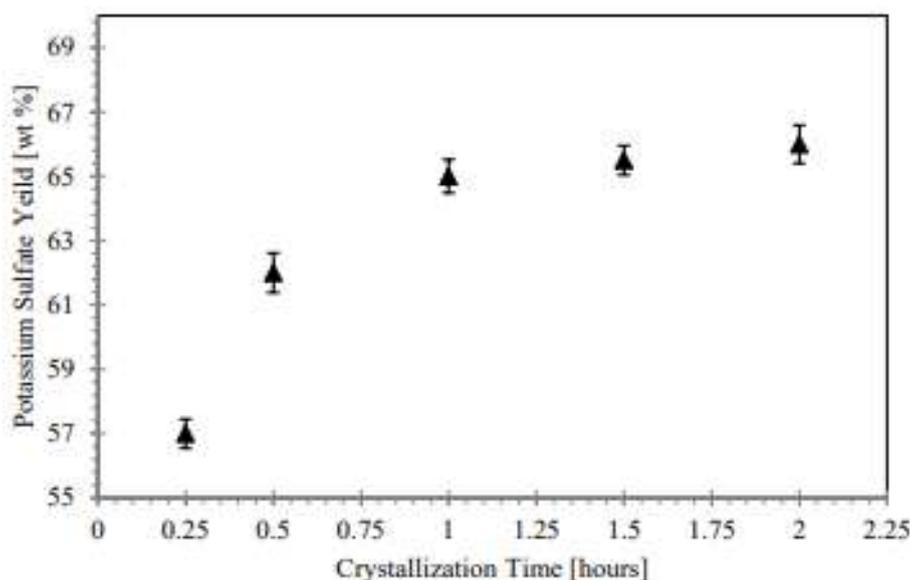


Fig. 9: Percentage of Potassium Sulfate Yield as a Function of Crystallization Time while the other Parameters were Kept Fixed at 60 °C Reaction Temperature, 60 Min Reaction Time, 10 °C Crystallization Temperature and 15 wt % Evaporated Water Ratio.

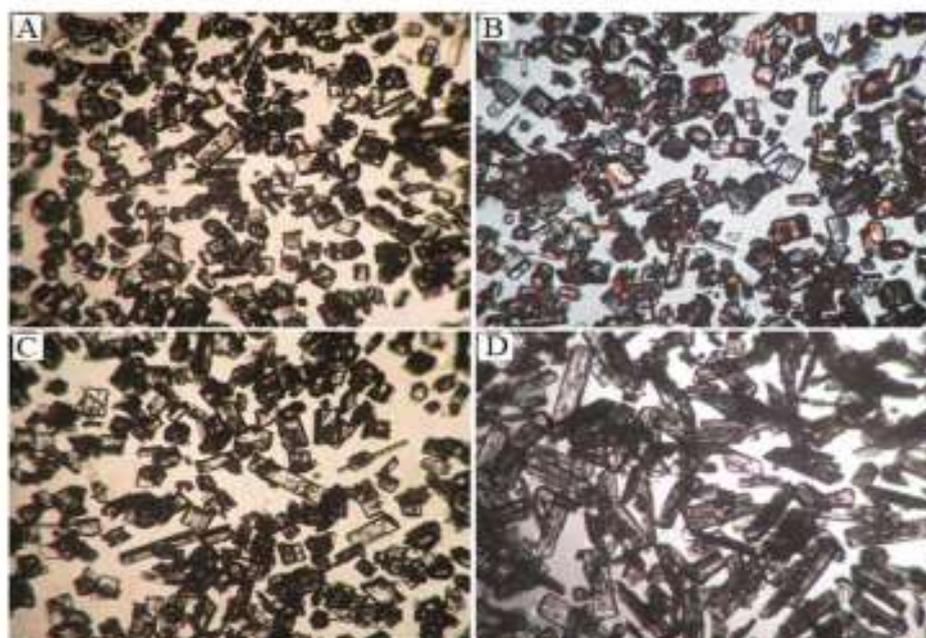


Fig. 10: Microscopic Images of Potassium Sulfate Crystals Crystallized at 10 °C for Different Periods of Time A) 0.25 B) 0.5 C) 1 D) 2 Hr.

### 3.2.5. Water evaporation ratio effect

In order to prepare the two saturated solutions of potassium chloride and ammonium sulfate, it is necessary to use a large quantity of water to dissolve the solid raw materials at the required temperature (60 °C). The total percentage of water at the beginning of the reaction stage is about 65 wt % of the total feed. The presence of this high quantity of water limits and reduces the  $K_2SO_4$  yield; hence a very low yield was obtained when this large quantity of water remains in the solution during the crystallization stage. It is necessary to evaporate part of this water to increase the concentration of the salts in the solution and allow the less soluble salt ( $K_2SO_4$ ) to crystallize at a reasonable crystallization temperature. The effect of the percentage of water evaporation prior to crystallization was studied by setting the ratio of the water evaporation at 0, 15, 24 and 32%, while all other parameters were set at: molar ratio of  $KCl/(NH_4)_2SO_4 = 1/1$ , reaction temperature = 60 °C, crystallization temperature = 10°C, reaction time = 60 minutes, and

crystallization = 60 minutes. Fig. 11 presents the effect of the percentage of water evaporation on the  $K_2SO_4$  yield. It can be clearly seen that increasing water evaporation leads to higher yield; the yield increases from 42 to 65 wt % by water evaporation of about 15 wt % of the total water exist in the solution. By increasing the percentage of water evaporation to 32%, about 100% increment in the  $K_2SO_4$  yield can be achieved (about 85 wt % of  $K_2SO_4$  is recovered); further increase in water evaporation does not increase the yield much. As a result of this conclusion, a 32 percentage of water evaporation will be considered as the best. This percentage of water evaporation means that around 1.5 tons of water must be evaporated for each ton of potassium sulfate production. This amount of water is considered reasonable if we compare it with the 10 tons of water that must be evaporated per ton of potassium sulfate as mentioned by Sardisco in his patent [26].

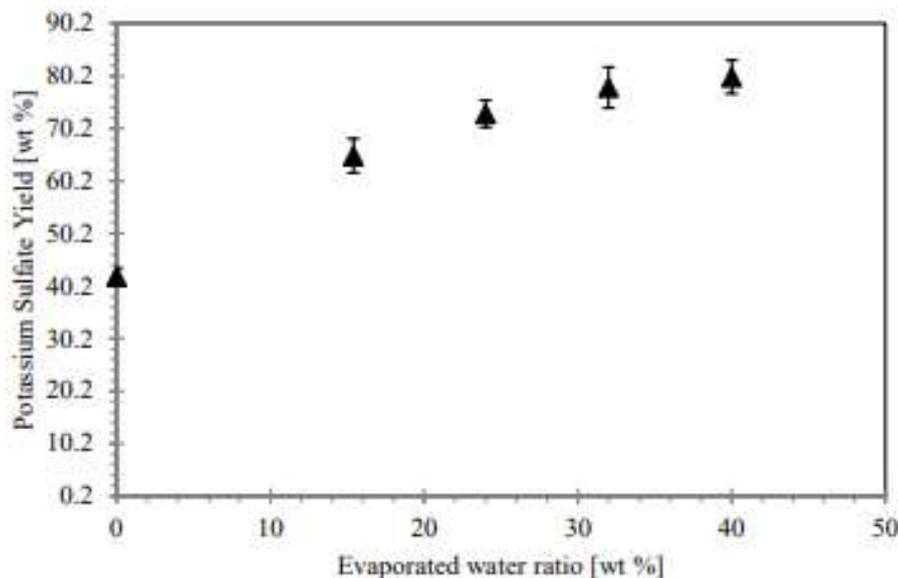


Fig. 11: Percentage of  $K_2SO_4$  Yield as a Function of Evaporated Water Ratio; the other Parameters were Kept Fixed At 60 °C Reaction Temperature, 60 Min Reaction Time, 10 °C Crystallization Temperature and 60 Min Crystallization Time.

### 3.2.6. Best operating parameters for $K_2SO_4$ production

To verify the obtained results in this study, a triplicate identical experiments were conducted at the obtained best-operating conditions: molar ratio of  $KCl/(NH_4)_2SO_4 = 1/1$ , 60 °C reaction temperature, 60 minutes reaction time, 10 °C crystallization temperature, 60 minutes crystallization time, and 32 wt % water evaporation. About 78 wt % of the  $K_2SO_4$  was recovered as a white and shiny solid crystals as shown in Fig. 11. The chemical analysis of the obtained  $K_2SO_4$  crystals is presented in Table 1. In addition to the chemical analysis, the microscopic graphs shown in Fig. 12 is another evidence that the obtained crystals are potassium sulfate crystals which is in agreement with what is reported in the literature [27], [28].

Table 1: Specifications of the Obtained Potassium Sulfate Crystals Produced at the Best Operating Parameters

Element	Description
Color	White
State	Free flowing
Appearance	Shiny crystals
Solubility	Fully soluble
K <sup>+</sup>	43.2 wt %
K <sub>2</sub> O	52.2 wt %
Cl <sup>-</sup>	0.5 wt %
N <sup>-</sup>	0.2 wt %
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	55.2 wt %
moisture	0.8 wt %



Fig. 12: Microscopic Graphs of Potassium Sulfate Crystals Obtained by Applying the Recommended Operating Parameters.

### 3.3. Effect of operating parameters on the complex salt production

#### 3.3.1. Mother liquor treatment

The mother liquor that contains a considerable amount of dissolved  $K_2SO_4$  in addition to a large quantity of ammonium chloride can be treated further to produce ammonium chloride/potassium sulfate slat. In the present study, two main factors affecting the yield of the salt were studied; these are the water evaporation ratio and the crystallization temperature.

#### 3.3.2. Effect of water percentage evaporation on the yield of the complex salt

The mother liquor leaves the  $K_2SO_4$  centrifuge still has a reasonable fraction of unrecovered potassium sulfate in addition to the whole ammonium chloride. It is crucial to recover these valuable materials from the solution, different trials were conducted to recover as much as possible out of these materials. The recovered salt is a mixture of ammonium chloride and potassium sulfate. It has been found that the percentage of recovered salt is very low if crystallization is applied on the mother liquor without any water evaporation, the very high solubility of ammonium chloride prevents the crystallization step to take place with the existence of the huge quantity of water in the solution. Hence it was necessary to get rid of part of the water exist in the solution prior to the crystallization step. Keeping the crystallization temperature fixed at 25 °C, Fig. 13 shows the effect of water evaporation % on the yield of the salt, as shown in the figure, the recovered quantity of the salt is very little (< 10 wt %) if no water evaporation takes place. Up to 59 wt % of the dissolved salts in the mother liquor can be recovered if 40 wt % of the water is evaporated. The percentage of yield may reach 67 wt % by further evaporation (50 wt % of the water is evaporated) but the viscosity of the slurry inside the evaporator will be high and this may cause handling and transferring problems.

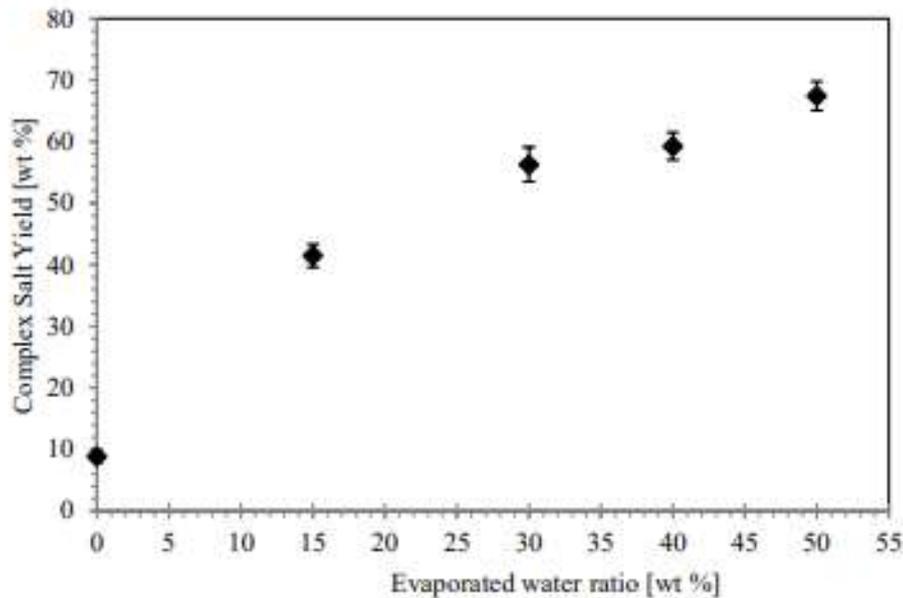


Fig. 13: Percentage of the Complex Salt Yield as a Function of Evaporated Water Ratio. Samples were Crystallized at 25 °C for 60 Min.

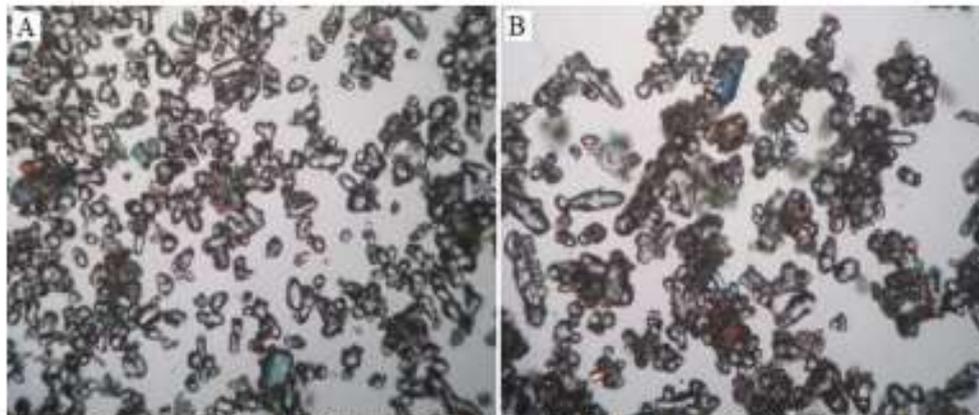


Fig. 14: Microscopic Graphs of Complex Salt Crystals Obtained by Crystallizing the Mother Liquor at 25 °C after Water Evaporation of A) 40 wt % B) 50 wt %.

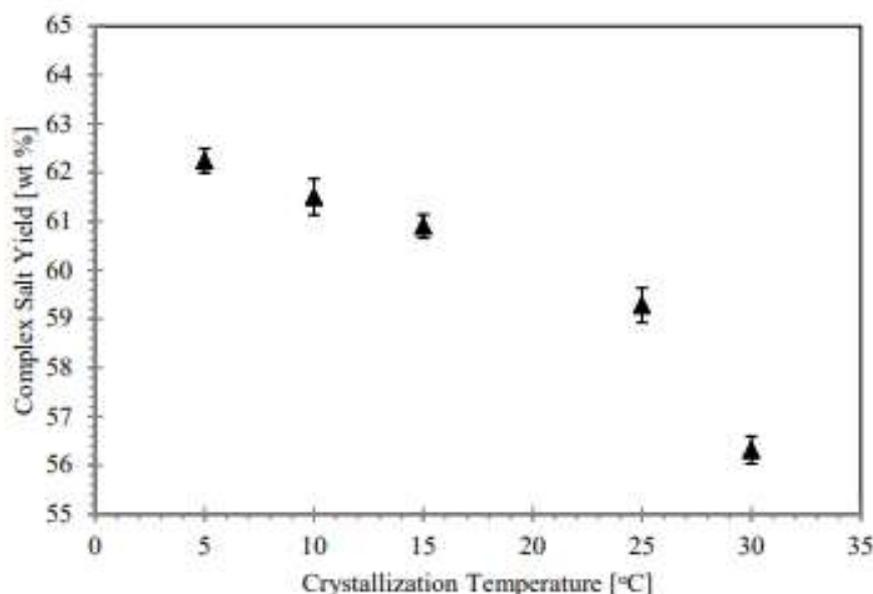
Also, it has been found that the crystals obtained from solutions with high viscosity are hard to be dried and the flowability of the particles are less compared to crystals obtained from solution with less viscosity as shown in Fig. 14. As a result of this, it is decided to keep the percentage of evaporation around 40 wt %.

### 3.3.3. Effect of crystallization temperature

It has been found that once the solution is concentrated, the complex salt will start to precipitate even at high temperature. The effect of the crystallization temperature on the percentage of salt yield is presented in Fig. 15. Each point on the curve represents an individual experiment, all experiments were conducted by keeping the percentage of evaporation around 40 wt % while keeping the crystallization time fixed at 60 minutes and varying the crystallization temperature. Four crystallization temperatures were tested; 5, 10, 25 and 30 °C. The results show that if the crystallization temperature reduces from 30 to 5 °C, then an additional amount of

6 wt % of the complex salt can be obtained. This additional amount reduces to 3 wt % if the crystallization temperature decreased from 25 to 5 °C. Since cooling the crystallizer to 5 °C will cost more and needs a longer period of time, it is recommended to use a crystallizer temperature of 25 °C at which about 59 wt % of the complex salt can be recovered.

Table 2 shows the chemical analysis of the complex salt obtained. Detailed experimental values for the feed, main product ( $K_2SO_4$ ) and the complex salt in addition to the chemical analysis of each item and the percentage of yield are tabulated in Table 3. These values were obtained by conducting a complete experimental run using the suggested operating parameters to produce potassium sulfate as well the complex salt.



**Fig. 15:** Percentage of the Complex Salt Yield as a Function of Crystallization Temperature; the Crystallization Time was Kept at 60 Min and the Percentage of Water Evaporation was 40 %.

**Table 2:** Chemical Analysis of the Obtained Complex Salt Produced From the Main Mother Liquor after 40 wt % Water Evaporation and Then Crystallization at 25 °C

Element	Description
Color	white
State	Free flowing
Appearance	Crystals
Solubility	Fully soluble
NH <sub>4</sub> Cl (63.8 %)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 21.5 % Cl <sup>-</sup> : 42.3 %
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (35.3 %)	K <sup>+</sup> : 15.9 % SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : 19.5 %
Moisture	0.8 %

**Table 3:** Chemical Analysis of the Feed and the Obtained Products as Well as the % Yield. the Operating Parameters were: 60 °C Reaction Temperature, 60 Minutes Reaction Time, 10 °C (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), and 25 °C (Complex Salt) Crystallization Temperature, 60 Minutes Crystallization Time, and 32% (Main Solution) and 40% (Mother Liquor) Water Evaporation

	Mass (g)	Composition	(g)	Theoretical	Mass (g)	Yield	%
Feed	291						
KCl (96% purity)	156	52.4% K <sup>+</sup> 47.6% Cl <sup>-</sup> Other	78.7 71.3 6	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> Cl	174.25 107	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> Cl	95.4 52.5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (98% purity)	135	72.8% SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 21.2% N <sup>-</sup> 6.05% H <sup>+</sup> Other	96 28 8 3			K <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup> N <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	93.2 52.1 52.4 96.8
Main Product	138				Total solid yield		79.1
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	135.8	43.2% K <sup>+</sup> 55.2% SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	59.62 76.18				78
NH <sub>4</sub> Cl	1.05	0.5% Cl <sup>-</sup> 0.2% N <sup>-</sup> 0.06% H <sup>+</sup> 0.8% H <sub>2</sub> O	0.69 0.28 0.08 1.1				1.0
Moisture	1.1						
Complex Salt	86.3						
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30.5	15.9 % K <sup>+</sup> 19.5 % SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13.7 16.8				17.5
NH <sub>4</sub> Cl	55.1	42.3% Cl <sup>-</sup> 16.7% N <sup>-</sup> 4.8% H <sup>+</sup> 0.8% H <sub>2</sub> O	36.5 14.4 4.2 0.7				51.5
Moisture	0.7						

## 4. Conclusions

Potassium sulfate with high purity and clarity is produced by reacting commercial potassium chloride with commercial ammoni-

um sulfate at moderately medium reaction temperature. The chemical analysis of the obtained K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> crystals shows that the product has about 52 wt % K<sub>2</sub>O and less than 0.5 wt % chlorine content. The addition of an evaporation step before the crystallization step will increase the K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yield from about 64 wt % up to 78 wt %. Large crystals of potassium sulfate have better features and have

more satisfying aesthetics for the customers; also the separation of these crystals from the mother liquor and drying will be easier.

A potassium sulfate yield of about 78 wt % and a reasonable crystal size can be obtained if the production process is carried out at the recommended operating conditions obtained from the experimental study. A reaction temperature of 60 °C, a reaction time of 1 hour, a crystallization temperature of 10 °C, a crystallization time of 1 hour, and a water evaporation ratio of 32 wt % were found to be the best-operating conditions.

Further treatment of the mother liquor leads to production of a complex salt containing about 15 wt % N, 22 wt % K<sub>2</sub>O, and 38 wt % Cl which can be used as NPK fertilizer if a source of phosphorous is added. It has been found that a water evaporation ratio of 40 wt % and a crystallization temperature of 25 °C will yield about 17.5% of the remaining K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in addition to about 51.5 wt % of the ammonium chloride.

About 93 wt % of the total input K can be recovered as 75.8 wt % in the K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 17.5 wt % in the complex salt. On the other hand, about 40 wt % of the total input nitrogen can be recovered in the complex salt as ammonium chloride. Both of the obtained products are free-flowing with a moisture content of less than 0.8 wt %, both salts are fully soluble in water and leave no turbidity.

Compared with the Mannheim process for K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> production, the present method requires much lower energy and it is free of chlorine gas emission, hence environmentally friendly process. While the Mannheim process requires a reaction temperature of at least 600 °C, the present process requires a reaction temperature of 60 °C only. Potassium sulfate produced by the present method have a shiny, clear, and larger crystals size compared to the powder form obtained by the Mannheim technique. In terms of equipment's materials of construction; the present process does not require expensive alloys to fabricate the equipment from. Instead of stainless steel or special alloys, carbon steel or mild steel can be used since there is no corrosive acids exist.

## References

- [1] V.S. Meena, B.R. Maurya, J.P. Verma, R.S. Meena, Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture, Springer India, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2>
- [2] U.S. Jones, Fertilizers and Soil Fertility, 2nd ed., New Delhi, 1987.
- [3] K. Reid, D. Aspinall, Soil Fertility Handbook, Ontario Legislative Library, 2006.
- [4] Potassium Sulfate, The Great Soviet Encyclopedia, 3rd Edition (1970-1979), The Gale Group Inc., 2010, <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Potassium+Sulfate>.
- [5] A.K. Kolay, Manures and Fertilizers, Atlantic publishers and Distributors, 2007.
- [6] R.M. McKercher, Potash Technology: Mining, Processing, Maintenance, Transportation, Occupational Health and Safety, Environment, Pergamon Press, 1983.
- [7] R.N. Shreeve, Chemical Process Industries: Mannheim Process, 3rd ed., McGraw-Hill, 1967.
- [8] V. Gowariker, S. Gowariker, V.N. Krishnamurthy, M. Ghanorkar, K. Paranjape, the Fertilizer Encyclopedia, John Wiley and Sons, 2009.
- [9] F.T. Nielsson, Manual of Fertilizer Processing, Marcel Dekker Inc., 1987.
- [10] D.E. Garrett, Sodium Sulfate: Handbook of Deposits, Processing, Properties, and Use, Academic Press, 2001.
- [11] C. Holdengraber, S. Lampert, Process for Producing Potassium Sulfate from Potash and Sodium Sulfate, patent, US 6143271, 2000.
- [12] F.R. George, Recovery of potassium sulphate from polyhalite, patent, US1812497 A, 1931.
- [13] T.H. Neuman, R.W. Chastain, D.M. Felton, D.C. Neuman, O.C. Schanuber, Methods Of Processing Polyhalite Ore, Methods of Producing Potassium Sulfate, and Related Systems, patent, US 8551429 B2, 2013.
- [14] B. Gunn, Production of potassium sulphate from naturally occurring sodium sulphate and potassium chloride, The Canadian Journal of Chemical Engineering 42(4) (1964) 187-190. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450420412>
- [15] X. Wang, X. Han, X. Zhang, Q. Li, and T. Xu, Modeling of Potassium Sulfate Production from Potassium Chloride by Electrodialytic Ion Substitution, ACS Sustainable Chem. Eng. 5(10) (2017) 9076-9085. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01992>
- [16] R. Phinney, Method of producing potassium sulfate, patent, US6315976 B1, 2001.
- [17] Potassium chloride specifications. <http://www.arabpotash.com/Pages/viewpage.aspx?pageID=30>. Accessed December 26, 2017.
- [18] L. Wang, Q. Xia\*, J. Kang, M.X. Du, G.L. Zhang, and F.B. Zhang, Measurement and Correlation of Solubilities of Potassium Chloride and Potassium Sulfate in Aqueous Glycerol Solutions, Journal of Chemical Engineering Data 56(10) (2011) 3813-3817. <https://doi.org/10.1021/jc200238s>
- [19] S. Sawamura, N. Yoshimoto, Y. Taniguchi, Y. Yamaura, Effects of pressure and temperature on the solubility of ammonium chloride in water, Journal of High Pressure Research 16(4) (1999) 253-263. <https://doi.org/10.1080/08957959908200298>
- [20] A.G. Jones, J.W. Mullin, Programmed Cooling Crystallization of Potassium Sulphate Solution, Chemical Engineering Science 29 (1974) 105-118. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(74\)85036-0](https://doi.org/10.1016/0009-2509(74)85036-0)
- [21] A.S. Myerson, R. Ginde, Handbook of Industrial Crystallization: Crystal Growth and Nucleation, Butterworth-Heinemann, 1993, pp. 33-63.
- [22] F. Schuth, Nucleation and Crystallization of Solids from Solutions, Curr Opin Solid State Mater Sci. 5 (2001) 389-395. [https://doi.org/10.1016/S1359-0286\(01\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S1359-0286(01)00023-7)
- [23] J. Utomo, Experimental Kinetics Studies and Wavelet-Based Modeling of a Reactive Crystallization System, Thesis (Ph.D.), Curtin University, Australia, 2009.
- [24] N. Kubota, N. Doki, M. Yokota, D. Jagadesh, Seeding effect on product crystal size in batch crystallization, Journal of Chemical Engineering Japan 35(11) (2002) 1063-1071. <https://doi.org/10.1252/jcej.35.1063>
- [25] S. Zainal Abidin, G.K.F. Ling, L.C. Abdullah, S. Ahmad, R. Yunus, T. Choong, Effects of Temperature and Cooling Modes on Yield, Purity and Particle Size Distribution of Dihydroxystearic Acid Crystals, European Journal of Scientific Research 33(3) (2009) 471-479.
- [26] J.B. Sardisco, Production of potassium sulfate and hydrogen chloride, patent, US4045543, 1977.
- [27] J.W. Mullin, Crystallization, 4th ed., Boston, MA, Butterworth-Heinemann, 2001.
- [28] J.W. Mullin, C. Gaska, Potassium sulfate crystal growth rates in aqueous solution, J. Chem. Eng. Data 18(2) (1973) 217-220. <https://doi.org/10.1021/je60057a030>