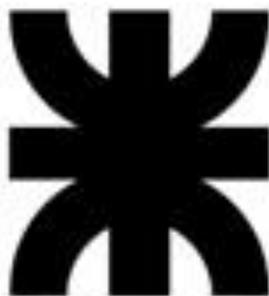


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA



Proyecto final de grado de Ingeniería Química

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

BONETTO, Tomás

VICO, Ana Paula

ZANATTA, María Paz

2020

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

FIRMA DE LOS ALUMNOS

BONETTO, Tomás

Firma:

DNI: 39.173.247

VICO, Ana Paula

Firma:

DNI: 38.478.782

ZANATTA, María Paz

Firma:

DNI: 39.172.528

Aceptado por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María el día del mes de del año 2020.

APROBADA POR SU CONTENIDO Y ESTILO

Presidente del Tribunal:

Primer Miembro Vocal:

Segundo Miembro Vocal:

Nota final de aprobación:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María por abrirnos sus puertas y darnos la oportunidad de formarnos como profesionales. También agradecer a todo el personal docente y no docente por su dedicación y acompañamiento a lo largo de estos años, ya que fueron indispensables para lograr este hermoso objetivo.

A los profesionales que nos brindaron su tiempo y ayuda desinteresada para poder desarrollar este proyecto. A nuestros compañeros y amigos que conocimos en el ámbito universitario, gracias por todos los momentos compartidos, el compañerismo y apoyo de todos los días.

Tomás

Mi más sincero agradecimiento está dirigido hacia mis padres, Fabiana y Gustavo, por el esfuerzo realizado, por ser mis guías y por el apoyo brindado para que pueda conseguir este logro. A mis abuelos, por su cariño, sus consejos y ser indispensables durante estos años. A mis hermanas por su afecto. A mi familia en general, a mis seres queridos y amigos por siempre estar presente. Finalmente quiero agradecer a mis compañeras Ana y María Paz especialmente por su paciencia, constancia y dedicación, además de su buena amistad y por todos los hermosos momentos que compartimos.

Ana Paula

Por este gran logro quiero agradecer principalmente a mis padres, Emilce y Horacio, por acompañarme y apoyarme siempre a lo largo de estos años y por el esfuerzo que hicieron para que hoy pueda alcanzar esta meta. A mi hermano Lucio por estar siempre presente, a mis abuelos, familia en general y amigos por el cariño brindado. Un agradecimiento especial a Mauricio y su familia por su apoyo, aliento y cariño.

Finalmente, quiero agradecer a Tomás y María Paz por su paciencia, su esfuerzo y trabajo realizado en este camino que atravesamos juntos, pero principalmente, por su amistad.

María Paz

Quiero agradecer por este logro principalmente a mi mamá Ana, gracias por acompañarme y apoyarme de manera incondicional para que hoy pueda alcanzar esta meta, sin ella no hubiera sido posible. A mi abuela María, por todo su cariño y por la confianza infinita. A mi novio, Maximiliano, gracias por estar siempre a mi lado, por las palabras de aliento, por escucharme y aconsejarme. A toda mi familia y amigos por estar presente.

Finalmente quiero agradecer a mis compañeros Tomás y Ana, no solo por su gran compromiso y dedicación, sino también por su amistad y por todos los momentos compartidos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

1.	FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
1.1.	INTRODUCCIÓN.....	15
1.2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	15
1.2.1.	Objetivos generales.....	15
1.2.2.	Objetivos específicos.....	16
2.	GENERALIDADES	18
2.1.	INTRODUCCIÓN.....	18
2.2.	ANALGÉSICOS ANTIPIRÉTICOS Y ANTIINFLAMATORIOS NO ESTEROIDES (AINEs)..	18
2.3.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: ÁCIDO ACETILSALICÍLICO.....	19
2.3.1.	Introducción y propiedades.....	19
2.3.2.	Un poco de historia.....	20
2.3.3.	Aplicaciones y usos	21
2.4.	DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	22
2.4.1.	Anhídrido acético.....	22
2.4.2.	Fenol	23
2.4.3.	Hidróxido de sodio.....	23
2.4.4.	Dióxido de carbono.....	24
2.4.5.	Ácido sulfúrico	25
2.5.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO INTERMEDIO ÁCIDO SALICÍLICO	26
3.	ESTUDIO DE MERCADO.....	29
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	29
3.2.	CONTEXTO INTERNACIONAL	29
3.2.1.	Industria farmacéutica global	29
3.2.2.	Principales productores	31
3.3.	CONTEXTO NACIONAL.....	32
3.3.1.	Industria farmacéutica argentina.....	32

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.3.2.	Producción nacional	34
3.4.	MERCADO NACIONAL	34
3.4.1.	Importaciones	35
3.4.2.	Exportaciones	38
3.4.3.	Demanda insatisfecha	38
3.5.	MATERIAS PRIMAS.....	40
3.5.1.	Anhídrido acético	40
3.5.2.	Fenol	41
3.5.3.	Hidróxido de sodio	42
3.5.4.	Dióxido de carbono.....	43
3.5.5.	Ácido sulfúrico	44
3.6.	ANÁLISIS FODA.....	46
3.6.1.	Fortalezas.....	46
3.6.2.	Oportunidades	46
3.6.3.	Debilidades.....	46
3.6.4.	Amenazas	47
4.	LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	49
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	49
4.2.	MACRO LOCALIZACIÓN	49
4.2.1.	Método de cribado	50
4.3.	MICRO LOCALIZACIÓN.....	61
4.3.1.	Método de las puntuaciones ponderadas	61
4.4.	CONCLUSIÓN.....	65
5.	CAPACIDAD DE LA PLANTA.....	67
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	67
5.2.	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TAMAÑO DE LA PLANTA.....	67
5.3.	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD.....	68

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

5.3.1.	Proyección de la demanda del producto	69
5.3.2.	Cálculo de la capacidad óptima	70
6.	SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	73
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	73
6.2.	VÍAS DE OBTENCIÓN DE ÁCIDO SALICÍLICO	73
6.2.1.	Extracción de la salicina del sauce blanco	73
6.2.2.	A partir de salicilaldehído con hidróxido de potasio.....	74
6.2.3.	A partir de fenol, hidróxido de potasio y dióxido de carbono	74
6.2.4.	A partir de fenol, hidróxido de sodio y dióxido de carbono	75
6.3.	SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	75
6.4.	PROCESO INDUSTRIAL DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO	75
6.4.1.	Reacciones.....	76
6.4.2.	Proceso	78
6.5.	DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO.....	78
6.5.1.	Sección A: Reacción de Kolbe-Schmitt.....	78
6.5.2.	Sección B: Preparación del ácido salicílico	80
6.5.3.	Sección C: Preparación del ácido acetilsalicílico.....	81
6.5.4.	Sección D: Purificación del ácido acetilsalicílico	81
7.	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	84
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	84
7.2.	DIAGRAMA DE FLUJO	85
7.3.	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	91
7.3.1.	Balance global del proceso	93
7.3.2.	Preparación de la materia prima	94
7.3.3.	Sección A	97
7.3.4.	Sección B	102
7.3.5.	Sección C	114

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.3.6.	Sección D.....	124
7.3.7.	Resumen del balance de masa y energía.....	136
8.	DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS.....	139
8.1.	INTRODUCCIÓN.....	139
8.2.	RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	139
8.2.1.	Diseño de tanques.....	139
8.2.2.	Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio T – 001	141
8.2.3.	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico T – 002	142
8.2.4.	Tanque de almacenamiento de anhídrido acético T – 003.....	143
8.2.5.	Tanques de almacenamiento de ácido acético T – 004 y T – 005.....	144
8.3.	DISEÑO DE TOLVAS.....	147
8.3.1.	Tolva de almacenamiento de salicilato de sodio TV – A01	148
8.3.2.	Tolva de almacenamiento de ácido acetil salicílico TV – D02	149
8.4.	DISEÑO DE TANQUES AGITADOS.....	150
8.4.1.	Mezclador M – A01.....	152
8.4.2.	Tanque de dilución de salicilato de sodio TW – B01	158
8.4.3.	Tanque de precipitación TP – B01.....	161
8.5.	DISEÑO DE REACTORES.....	166
8.5.1.	Reactor R – A01	167
8.5.2.	Reactor R – C02.....	179
8.6.	DISEÑO DE LA TORRE DE DECOLORACIÓN TD – B01.....	184
8.7.	DISEÑO DE LA TORRE DE DESTILACIÓN D – D01	186
8.8.	DISEÑO DE LOS SECADORES ROTATIVOS	189
8.8.1.	Gas calefactor	190
8.8.2.	Diseño mecánico del secador rotativo	190
8.9.	DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	201
8.9.1.	Intercambiador de calor I – A01	202

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.9.2.	Intercambiador de calor I – B02	204
8.9.3.	Intercambiador de calor I – C03.....	205
8.9.4.	Intercambiador de calor I – C04.....	206
8.9.5.	Economizador E – C01	207
8.9.6.	Economizador E – C02	208
8.9.7.	Condensador I – D05.....	209
8.9.8.	Rehervidor I – D06.....	210
8.10.	ADOPCIÓN DEL COMPRESOR K – A01	212
8.11.	ADOPCIÓN DE LA CENTRIFUGA C – B01	213
8.12.	ADOPCIÓN DEL FILTRO ROTATIVO F – D01	215
8.13.	ADOPCIÓN DEL SISTEMA MOLINO-TAMIZ MT – D01.....	217
8.14.	ADOPCIÓN DE LA ENVASADORA N– D01	220
8.15.	ADOPCIÓN DE EQUIPOS PARA EL TRANSPORTE DE SÓLIDOS.....	221
8.16.	ADOPCIÓN DE BOMBAS.....	224
9.	SERVICIOS AUXILIARES	231
9.1.	INTRODUCCIÓN.....	231
9.2.	SISTEMA DE LIMPIEZA CIP	231
9.2.1.	Sistema CIP adoptado.....	232
9.2.2.	Boquilla de limpieza adoptada	233
9.2.3.	Programa de limpieza.....	234
9.2.4.	Sistema de bombeo.....	235
9.3.	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	236
9.3.1.	Torre de enfriamiento adoptada.....	237
9.3.2.	Sistema de bombeo.....	238
9.4.	SISTEMA DE VAPOR.....	240
9.4.1.	Pérdida de calor en la red.....	241
9.4.2.	Retorno de condensados.....	241

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.4.3.	Trampas de vapor.....	242
9.4.4.	Caldera adoptada	242
9.5.	AGUA DE POZO	244
9.5.1.	Tanques de agua adoptados	245
9.5.2.	Tratamiento del agua cruda	246
9.5.3.	Sistema de bombeo.....	247
9.6.	GAS NATURAL	249
9.7.	ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.....	249
9.8.	SERVICIO DE ELECTRICIDAD.....	252
9.8.1.	Elementos de la instalación eléctrica	252
9.8.2.	Sistema de iluminación	254
9.8.3.	Consumo de energía eléctrica	260
10.	CONTROL DE CALIDAD	263
10.1.	INTRODUCCIÓN	263
10.2.	BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA	263
10.2.1.	Gestión de la calidad.....	264
10.2.2.	Personal.....	266
10.2.3.	Edificios e instalaciones	266
10.2.4.	Equipos de proceso	268
10.2.5.	Documentación y registros.....	269
10.2.6.	Gestión de materiales de partida.....	270
10.2.7.	Envasado y etiquetado.....	272
10.2.8.	Almacenamiento y distribución.....	273
10.2.9.	Controles de laboratorio	274
10.2.10.	Rechazo y reutilización de materiales	275
10.2.11.	Reclamos y retiros del mercado	276

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.3.	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS DE SANEAMIENTO (POES).....	277
10.4.	PLAN DE CONTROL DE CALIDAD	285
10.4.1.	Materias primas e insumos	285
10.4.2.	Proceso de producción y producto intermedio.....	285
10.4.3.	Producto terminado.....	285
10.5.	REGISTROS DE CONTROL.....	295
10.6.	SALA LIMPIA	297
10.6.1.	Selección de la Sala Limpia	298
10.6.2.	Características de la Sala Limpia	298
11.	CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS	302
11.1.	INTRODUCCIÓN	302
11.2.	FUNDAMENTOS BÁSICOS.....	302
11.3.	AUTOMATIZACIÓN SECCIÓN C.....	302
11.3.1.	Hojas de especificación de los instrumentos	307
12.	OBRAS CIVILES.....	317
12.1.	INTRODUCCIÓN	317
12.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO	317
12.2.1.	Sector I	320
12.2.2.	Sector II	322
12.2.3.	Sector III.....	323
12.2.4.	Sector IV	329
12.2.5.	Sector V	329
13.	ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	331
13.1.	INTRODUCCIÓN	331
13.2.	TIPO DE SOCIEDAD COMERCIAL	331
13.3.	ESTRUCTURA DE LA EMPRESA	332

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

13.3.1.	Descripción de funciones por puesto.....	333
13.4.	ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TURNOS DE TRABAJO	339
14.	ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO	342
14.1.	INTRODUCCIÓN	342
14.2.	INVERSIÓN	343
14.2.1.	Activos fijos	344
14.2.2.	Activos nominales	349
14.2.3.	Capital de trabajo	351
14.2.4.	Inversión total del proyecto	352
14.3.	INGRESO POR VENTAS.....	353
14.4.	COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	354
14.4.1.	Costos variables.....	355
14.4.2.	Costos fijos	358
14.5.	COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN.....	363
14.6.	EVALUCACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	365
14.6.1.	Estado de resultados	365
14.6.2.	Valor Actual Neto (VAN).....	368
14.6.3.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	368
14.6.4.	Período de recupero de la inversión (PRI).....	368
14.7.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	368
14.7.1.	Variación de la TIR con el precio de venta	369
14.7.2.	Variación de la TIR con el precio de mano de obra	369
14.7.3.	Variación de la TIR con el volumen de ventas.....	370
14.7.4.	Variación de la TIR con la TMAR	371
14.8.	CONCLUSIONES	371
15.	CONCLUSIONES	374
	BIBLIOGRAFÍA.....	377

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ANEXO I: FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD	384
ANEXO II: TÉCNICAS PARA ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD	395
ANEXO III: PLANOS.....	409

*FUNDAMENTACIÓN Y
OBJETIVOS DEL
PROYECTO*

CAPÍTULO 1

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

1. FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se evalúa y analiza la posibilidad de instalar una planta productora de ácido acetilsalicílico, con el fin de obtener un producto de calidad, que abastezca al mercado nacional. Es conocido popularmente como Aspirina®, que es el nombre comercial de la marca que lo lanzó por primera vez al mercado y que pasó a ser de uso común.

El ácido acetilsalicílico es un fármaco de la familia de los salicilatos que se clasifica dentro del grupo de los analgésicos antipiréticos y antiinflamatorios no esteroides (AINEs). Es un éster ácido del ácido salicílico, cuya reacción química para su síntesis se considera una esterificación. En ella el ácido salicílico es tratado con anhídrido acético en medio ácido obteniendo así el producto de interés y ácido acético como subproducto. Ésta es la única vía de obtención, ya que es una sustancia química sintética que no se encuentra en la naturaleza como tal.

Su aplicación principal es en el área de la medicina por ser un fármaco con el cual se elaboran numerosos y variados medicamentos. Posee diversos usos, estando algunos aún en etapa de investigación, ellos son: analgésico, antiinflamatorio, antipirético, antiagregante plaquetario, entre otros.

Como no existe producción de ácido acetilsalicílico a nivel nacional, su abastecimiento proviene de las importaciones, siendo los principales importadores Bayer Consumer® de España y China, que fue ganando fuerza en los últimos años.

Por las razones antes mencionadas, con el presente proyecto se pretende abastecer al mercado nacional de dicho fármaco, cuyo consumo se encuentra en constante crecimiento debido al descubrimiento de nuevas aplicaciones médicas.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivos generales

Se propone como objetivos generales del presente proyecto:

- Determinar la factibilidad técnica y económica-financiera respecto a un proyecto de inversión para la instalación de una planta de producción de ácido acetilsalicílico en Argentina.
- Aplicar los conocimientos y habilidades profesionales del ingeniero químico adquiridos durante el transcurso de la carrera universitaria para el desarrollo y confección del proyecto.
- Evaluar y analizar alternativas mediante criterios de formación profesional para arribar a conclusiones pertinentes en lo respectivo a la realización del proyecto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

1.2.2. Objetivos específicos

Entre los objetivos específicos planteados, se encuentran:

- Confeccionar una descripción detallada del producto a elaborar, resaltando sus características físico-químicas, su aplicación en las industrias de interés y usos generales.
- Reconocer y definir el mercado nacional e internacional del ácido acetil salicílico a través de un estudio de mercado, considerando su evolución a lo largo del tiempo y la competencia existente. Con el mismo también se busca establecer aspectos geográficos y económicos relacionados a los proveedores y consumidores finales del producto terminado, con el fin de tomar decisiones acertadas referidas a la localización de la planta y la capacidad de producción.
- Evaluar la ubicación óptima donde debería instalarse la planta de producción para llevar a cabo el proyecto, considerando principalmente la proximidad a proveedores, clientes y a las distintas vías de comunicación y transporte.
- Determinar la capacidad óptima de producción de la planta teniendo en cuenta la demanda insatisfecha del ácido acetilsalicílico en el país.
- Analizar los diferentes procesos de producción a fin de seleccionar el método más conveniente.
- Emplear la ingeniería básica y de detalle para efectuar los balances de masa y energía del proceso, como así también el diseño, dimensionamiento, adopción y distribución de los equipos involucrados en éste y en los servicios auxiliares, incluyendo todas las instalaciones.
- Diseñar un sistema de gestión de calidad que garantice la seguridad de los procesos y calidad del producto terminado y de las materias primas.
- Realizar la automatización del proceso para asegurar el correcto funcionamiento del mismo dentro de los parámetros establecidos garantizando la seguridad y calidad de producto, mediante la aplicación de los conocimientos básicos del control automático de procesos.
- Realizar un análisis económico-financiero con el fin de determinar la inversión inicial necesaria y los principales indicadores económicos financieros del proyecto como la TIR y el VAN.

GENERALIDADES

CAPÍTULO 2

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2. GENERALIDADES

2.1. INTRODUCCIÓN

En este segundo capítulo se realiza una descripción del producto a desarrollar, el ácido acetilsalicílico (en adelante AAS), y también se hace una breve mención sobre los analgésicos antipiréticos y antiinflamatorios no esteroides (AINEs), grupo de medicamentos del que dicho fármaco forma parte. También se describen las materias primas necesarias para llevar a cabo el proceso de fabricación. Las fichas de seguridad de las mismas se encuentran en el Anexo I.

Como el AAS es una sustancia sintética que se puede obtener solo por la reacción química entre el anhídrido acético y el ácido salicílico (en adelante AS), se realiza una descripción de este último, a pesar de ser un compuesto intermedio para nuestro proceso, por su importancia en el mismo.

2.2. ANALGÉSICOS ANTIPIRÉTICOS Y ANTIINFLAMATORIOS NO ESTEROIDES (AINEs)

Los fármacos que se encuentran dentro de la clasificación de analgésicos antipiréticos y antiinflamatorios no esteroides o simplemente antiinflamatorios no esteroides (AINEs) son un grupo de agentes de estructura química diferente que tienen como principal efecto inhibir la síntesis de prostaglandinas, las cuales son mediadoras de la producción de fiebre, dolor e inflamación, mediante la inhibición de la enzima cicloxigenasa. Por lo cual, comparten acciones farmacológicas y efectos secundarios semejantes. La aspirina (AAS) es el prototipo del grupo y es el fármaco con el cual son comparados los demás. Por ello, también son llamadas drogas “tipo aspirina” u otra denominación es drogas “anticicloxigenasa” debido a que inhiben esta enzima.

En farmacología existen dos grupos de agentes antiinflamatorios: los antiinflamatorios esteroides, que son los más potentes y entre los cuales se encuentra, por ejemplo, la morfina; y los AINEs o drogas tipo aspirina. Estos últimos son los medicamentos más vendidos en el mundo, son muy comúnmente consumidos por prescripción médica o automedicación. Esta familia está compuesta por innumerables medicamentos, cuya síntesis e incorporación al mercado farmacéutico se realiza persistentemente. Para mencionar algunos de los fármacos más consumidos y conocidos que se encuentran en este grupo junto con el AAS, se tiene el ibuprofeno, el paracetamol y la dipirona. En la Tabla 2.1 se realiza una clasificación de los AINEs según su estructura química y se mencionan algunos de los fármacos que conforman cada subgrupo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 2.1 - Clasificación de los AINEs según su estructura química.

Grupo terapéutico	Fármacos
Salicilatos	Ácido acetilsalicílico, acetilsalicilato de lisina, salicilato de sodio, diflunisal.
Pirazolonas	Dipirona.
Paraminofenoles	Paracetamol.
Indoles	Indometacina, sulindaco, acemetacina.
Arilacéticos o derivados del ácido acético	Diclofenaco sódico o potásico, aceclofenaco.
Arilpropiónicos o derivados del ácido propiónico	Ibuprofeno, naproxeno, ketoprofeno, flurbiprofeno, indoprofeno.
Oxicames	Piroxicam, tenoxicam, meloxicam, sudoxicam.
Fenamatos	Ácido mefenámico, meclofenamato, flufenamico, niflúmico.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

2.3.1. Introducción y propiedades

El ácido acetilsalicílico, más popularmente conocido como Aspirina®, debido a que ese es el nombre de la marca comercial que lo lanzó por primera vez al mercado y que pasó al uso común, es un fármaco de la familia de los salicilatos.

El AAS es un éster de ácido del ácido salicílico, cuya reacción química para su síntesis se considera una esterificación. El ácido salicílico es tratado con anhídrido acético, este proceso produce AAS y ácido acético, el cual se considera un subproducto de la reacción. Como catalizador se usan pequeñas cantidades de ácido sulfúrico y ocasionalmente ácido fosfórico. Ésta es la única vía de obtención del AAS ya que es una sustancia sintética que no se encuentra en la naturaleza como tal. En la Imagen 2.1 se muestra su estructura química y en la Tabla 2.2 se presentan sus propiedades físicas tomadas a 25°C y 1 atm.

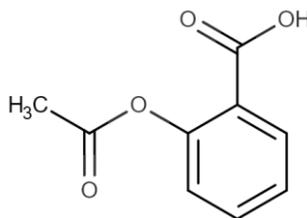


Imagen 2.1 - Estructura química del AAS.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 2.2 – Propiedades físicas del AAS a 25°C y 1 atm.

Fórmula molecular	$C_9H_8O_4$
Nombre	Ácido acetilsalicílico, Ácido o-acetilsalicílico, Acetilsalicilato, Ácido 2-acetoxibenzoico, o-acetoxibenzoico,
Nombre IUPAC	Ácido 2-(acetiloxi)-benzoico
Número CAS	50-78-2
Peso molecular	180,16 g/mol
Estado físico	Sólido
Características del sólido	Polvo cristalino blanco inodoro (puede tener un ligero olor a vinagre, debido al ácido acético)
Punto de ebullición	Se descompone
Punto de fusión	135°C
Temperatura de descomposición	140°C
Densidad	1393,23 kg/m ³
Presión de vapor	3.05e-007 atm
Solubilidad	Agua: 3 mg/ml o 0,3 g/100 ml Etanol: 50 mg/ml o 5 g/100 ml

2.3.2. Un poco de historia

Los textos de Hipócrates (460-370 a.C.), padre de la medicina griega, mencionan por primera vez el uso de un brebaje obtenido de la corteza de un tipo de sauce, que se bebía para aliviar los dolores y la fiebre. Ello demuestra que desde antes de Cristo se usaba el ácido salicílico presente en estos árboles como medicamento, aunque hasta el siglo XIX no se logró identificar y aislar ese compuesto químico, el cual es una sustancia amarga y amarillenta, con forma de agujas cristalinas, a la que se denominó salicina. Con el fin de mejorar su sabor y disminuir sus efectos secundarios, principalmente las lesiones que producía en el estómago, el químico francés Charles Frédéric Gerhardt añadió anhídrido acético a la salicina, y así sintetizó ácido acetilsalicílico por primera vez en 1853. Pero fue recién en 1897 cuando el químico alemán Félix Hoffman, que trabajaba para la farmacéutica alemana Bayer, logró purificar y mejorar su síntesis.

El AAS fue patentado y lanzado al mercado por la empresa farmacéutica Bayer bajo la marca registrada Aspirina® en 1899 en Alemania. Desde ese año se ha utilizado para reducir el dolor, la fiebre y la inflamación, pero recién en 1971 se comprendió el mecanismo de acción del

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

medicamento, lo que permitió el descubrimiento de nuevos usos. El británico John Robert Vane fue quien lo descubrió, lo que le valió el Nobel de Medicina de 1982.

Al principio, solo se vendía en polvo, pero en 1915 se comienza a fabricar en forma de comprimidos y podía ser comprada sin receta. Lo que llevó a ser uno de los medicamentos más utilizados y el primer fármaco moderno y sintético de consumo masivo. Y también fue el primero de los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs).

2.3.3. Aplicaciones y usos

Su aplicación más común y principal es en el área de la medicina, por lo que es considerado un fármaco con el cual se elaboran numerosos y variados medicamentos. Sus usos son muchos, estando algunos aún en etapa de investigación. En la Tabla 2.3 se mencionan estos usos.

Existen en el mercado medicamentos que contienen como principio activo AAS puro, todos en formato de comprimidos de diferentes cantidades (mg). Pero también, existen otros que poseen AAS más otro principio activo como ácido ascórbico, cafeína, paracetamol, piridoxina, ácido fólico, clopidogrel, etcétera.

Tabla 2.3 - Usos medicinales del AAS.

Conocidos desde su lanzamiento al mercado.	Analgésico: Para aliviar dolores de cabeza, muelas, óseos, musculares y de oídos.
	Antiinflamatorio: Elimina la inflamación, el calor y el enrojecimiento.
	Antipirético: Actúa bloqueando el proceso que incrementa la temperatura, lo que provoca el descenso de la misma.
Descubiertos y demostrados luego de su lanzamiento al mercado.	Antiagregante plaquetario: Inhibe la acción de las plaquetas sanguíneas. Está indicado para personas con alto riesgo de coagulación sanguínea, principalmente para los que ya han tenido un infarto.
	Tratamiento contra la fiebre reumática y otras enfermedades reumáticas.
En investigación.	Prevenir la aparición de distintos tipos de cáncer como el de colon, recto, estómago y otros tipos de cáncer gastrointestinal.
	Reducir el riesgo de Alzheimer.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

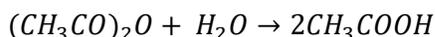
2.4.1. Anhídrido acético

El anhídrido acético, comúnmente escrito Ac_2O , es un compuesto orgánico que pertenece a la familia de los anhídridos carboxílicos que a 1 atm y $25^{\circ}C$ es un líquido transparente e incoloro con un olor a vinagre muy punzante y penetrante. En la Tabla 2.4 se mencionan algunas de sus propiedades físicas.

Tabla 2.4 - Propiedades físicas del anhídrido acético a $25^{\circ}C$ y 1 atm.

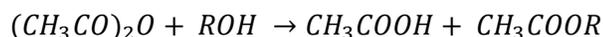
Fórmula molecular	$C_4H_6O_3$
Nombre	Anhídrido acético, óxido de acetilo, óxido acético.
Nombre IUPAC	Anhídrido acético, anhídrido etanoico.
Número CAS	108-24-7
Peso molecular	102,09 g/mol
Estado físico	Líquido
Punto de ebullición	$139,55^{\circ}C$
Punto de fusión	$-73^{\circ}C$

Se disuelve fácilmente en los disolventes orgánicos habituales y no se puede disolver en agua porque se produce la hidrólisis, representado en la Ecuación 2.1. Reacciona lentamente con el agua a temperatura ambiente para formar ácido acético. Sin embargo, a temperaturas mayores, esta reacción puede ser extremadamente exotérmica y violenta.



Ecuación 2.1 - Hidrólisis del anhídrido acético.

Se utiliza como solvente para numerosos productos orgánicos e inorgánicos, como deshidratante y como agente acetilante, ya que es ampliamente empleado para la acetilación de alcoholes y aminas. La Ecuación 2.2 muestra el ejemplo con alcoholes para formar ésteres acéticos.



Ecuación 2.2 - Reacción del anhídrido acético con los alcoholes.

La mayor parte de la producción de anhídrido acético se destina a la fabricación de acetato de celulosa, que se usa en plásticos y fibras textiles. Otras aplicaciones son la síntesis de tetraacetiletilenodiamina (TAED) en la industria de detergentes, y la síntesis de fármacos tales como el ácido acetilsalicílico y paracetamol.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2.4.2. Fenol

El fenol es un compuesto orgánico que en su forma pura y a temperatura ambiente es un sólido cristalino blanco, con un aroma muy fuerte fácilmente reconocible y tóxico. En la Tabla 2.5 se mencionan algunas de sus propiedades físicas.

Tabla 2.5 - Propiedades físicas del fenol a 25°C y 1 atm.

Fórmula molecular	C ₆ H ₆ O
Nombre	Fenol, ácido fénico, alcohol fenílico, ácido fenílico, fenilhidróxido.
Nombre IUPAC	Hidroxibenceno, fenol.
Número CAS	108-95-2
Peso molecular	94,11 g/mol
Estado físico	Sólido
Punto de ebullición	181.84°C
Punto de fusión	40,91°C

Originalmente se aisló del alquitrán de hulla y este se mantuvo como fuente primaria hasta el desarrollo de la industria petroquímica, ya que los avances tecnológicos permitieron que actualmente se produzca casi totalmente de forma sintética.

Se usa ampliamente como materia prima en la fabricación de otros productos químicos. Por ejemplo, se hace reaccionar de varias maneras con aldehídos, como el formaldehído, para obtener resinas fenólicas. También se utiliza en la manufactura de nylon y otras fibras sintéticas. Es muy empleado en la industria química, farmacéutica y clínica como un potente fungicida, bactericida, sanitizante, antiséptico y desinfectante, también para producir agroquímicos y bisfenol A, que es la materia prima para producir resinas epoxi. Es materia prima de varios productos farmacéuticos, como el AAS.

2.4.3. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio puro, NaOH, es un sólido incoloro. No se sucede en la naturaleza, pero se fabrica a gran escala a partir de materias primas que se obtienen con facilidad y se utiliza en numerosos procesos químicos. Debido a su acción corrosiva sobre muchas sustancias, se conoce como soda cáustica. El hidróxido de sodio puro es fuertemente higroscópico, es decir que posee una alta afinidad con el agua, se disuelve en esta con liberación de calor y forma seis hidratos definidos. Se produce comercialmente en dos formas: como solución al 50% en peso (la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

forma más común) y en estado sólido como granos, escamas o perlas. En la Tabla 2.6 se mencionan algunas de sus propiedades físicas

Tabla 2.6 - Propiedades físicas del hidróxido de sodio a 25°C y 1 atm.

Fórmula molecular	NaOH
Nombre	Hidróxido sódico, hidróxido de sodio, soda cáustica.
Número CAS	1310-73-2
Peso molecular	40 g/mol
Estado físico	Sólido blanco cristalino
Punto de ebullición	1556,85°C
Punto de fusión	322,85°C

La mayoría de los consumidores de hidróxido de sodio requieren soluciones acuosas diluidas. La mayor parte de la producción se utiliza en la industria química para la fabricación de sales de sodio, para la regulación del pH, para reacciones de saponificación, eterificación y esterificación, para catálisis básicas, para lavar gases residuales y neutralizar aguas residuales. También se emplea en la industria del papel, textil, de los detergentes, en la del aluminio y en la de alimentos.

2.4.4. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono en condiciones de 25°C y 1 atm se presenta como un gas incoloro. Este compuesto químico existe naturalmente en la atmósfera terrestre. Hoy en día su producción industrial se basa en recuperarlo de los procesos de fabricación de óxido de etileno, alcoholes y fertilizantes. Se comercializa en sus tres estados: gas, líquido y sólido. Este último es conocido como hielo seco. En la Tabla 2.7 se mencionan algunas de sus propiedades físicas.

Tabla 2.7 - Propiedades físicas del dióxido de carbono a 25°C y 1 atm.

Fórmula molecular	CO ₂
Nombre	Dióxido de carbono, anhídrido carbónico, gas carbónico.
Número CAS	124-38-9
Peso molecular	44,01 g/mol
Estado físico	Gas
Punto de sublimación	-78°C

Uno de sus principales usos es en la industria alimentaria, ya que se utiliza para producir bebidas carbonatadas. Otro es como agente extintor para reducir la concentración de oxígeno en un

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

determinado espacio para impedir que se genere una combustión. También se utiliza como ácido inocuo o poco contaminante, por lo cual en la industria se emplea para neutralizar residuos alcalinos sin añadir otro ácido más fuerte. Además, es útil en refrigeración como una clase de líquido refrigerante en máquinas frigoríficas o sólido como hielo seco. Este último se usa para crear niebla artificial para efectos especiales en el cine y los espectáculos. Posee también muchas aplicaciones en su condición de fluido supercrítico.

2.4.5. Ácido sulfúrico

De todos los productos químicos industriales pesados, el ácido sulfúrico es quizás el más importante, ya que tiene una serie de usos a gran escala no solo dentro de la industria química sino también en otras industrias. Incluso su consumo ha sido citado muchas veces como un indicador del estado general de la economía de una nación.

El ácido sulfúrico se fabrica a partir de dióxido de azufre, y este a partir del azufre elemental (o pirita). Un gran productor indirecto de dióxido de azufre es la industria de metales no ferrosos, cuyos procesos de tostación y fundición generan gases residuales con una concentración alta de dióxido de azufre para permitir el procesamiento directo al ácido sulfúrico. En un grado creciente, el ácido producido en tales plantas está reemplazando al ácido obtenido del azufre elemental.

El ácido sulfúrico puro es un líquido incoloro ligeramente viscoso. En la Tabla 2.8 se mencionan algunas de sus propiedades físicas. Se puede mezclar con agua en cualquier proporción. El ácido sulfúrico anhidro (al 100%) se conoce como "monohidrato", lo que simplemente significa que es el monohidrato del trióxido de azufre. El ácido sulfúrico disolverá cualquier cantidad de SO_3 , formando óleum o ácido sulfúrico humeante. La concentración de óleum se expresa en porcentaje en peso de SO_3 disuelto o SO_3 libre en H_2SO_4 al 100%.

Tabla 2.8 - Propiedades físicas del ácido sulfúrico a 25°C y 1 atm.

Fórmula molecular	H_2SO_4
Nombre	Ácido sulfúrico
Número CAS	7664-93-9
Peso molecular	98,08 g/mol
Estado físico	Líquido incoloro
Punto de ebullición	336,85°C
Punto de fusión	10,31°C

El consumidor más importante de ácido es la industria de fertilizantes fosfatados. Otras aplicaciones importantes son en la refinación de petróleo, la producción de pigmentos, la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

extracción de metales no ferrosos y la fabricación de explosivos, detergentes, plásticos y fibras artificiales. También se utiliza para la elaboración de colorantes y productos farmacéuticos.

2.5. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO INTERMEDIO ÁCIDO SALICÍLICO

El ácido salicílico es un ácido o-hidroxicarboxílico aromático y se distribuye ampliamente en el reino vegetal en forma de ésteres, estos se encuentran en varios géneros de plantas, los principales son sauce, espirea y gaulteria. Se trata de un sólido incoloro a temperatura ambiente que cristaliza en forma de agujas en agua o de prismas monoclinicos en etanol. En la Imagen 2.2 se muestra su estructura química y en la Tabla 2.9 se mencionan algunas de sus propiedades físicas.

El AS es una sustancia perteneciente al grupo de los agentes analgésicos, antipiréticos y antiinflamatorios. Desde la antigüedad se utilizó las infusiones de la corteza del sauce blanco común, *salix alba*, para tratar la fiebre y calmar dolores, pero el AS recién fue descrito por primera vez en el siglo XVIII y su obtención pasó por un largo proceso. Se debe a Henri Leroux, farmacéutico francés, la obtención en 1827 del ingrediente activo de la corteza de este árbol, la salicilina. En 1828 Johann A. Buchner, un químico alemán, aisló la salicilina y descubrió que por hidrólisis esta libera glucosa y alcohol salicílico, conocido también como saligenina. Recién en 1838, el químico italiano Rafaele Piria obtuvo ácido salicílico a partir del alcohol salicílico. La elaboración de los salicilatos sintéticos se logra alrededor de 1870 y rápidamente desplazaron a los naturales por ser menos costosos de producir.

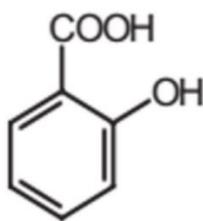


Imagen 2.2 - Estructura química del AS.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 2.9 - Propiedades físicas del ácido salicílico a 25°C y 1 atm.

Fórmula molecular	$C_7H_6O_3$
Nombre	Ácido salicílico, ácido 2-hidroxibenzoico, ácido o-hidroxibenzoico.
Nombre IUPAC	Ácido 2-hidroxibenzoico
Número CAS	69-72-7
Peso molecular	138,12 g/mol
Estado físico	Sólido incoloro
Punto de ebullición	255,85°C
Punto de fusión	158,6°C

El ácido salicílico y sus derivados se utilizan principalmente para sintetizar productos farmacéuticos y como intermedios en la producción de colorantes, productos agroquímicos y de perfumería. Su mayor uso es en la síntesis del AAS y en forma de ésteres, amidas y sales de ácido salicílico, sirve como material de partida para otros productos farmacéuticos. El ácido salicílico de grado técnico se utiliza principalmente como intermediario en la producción de productos agroquímicos, colorantes, así como en la industria del caucho y en la fabricación de resinas fenólicas. Posee acción queratolítica, razón por la que se usa ampliamente en productos dermatológicos para limpiar la piel y eliminar escamas. También tiene propiedades bacteriostáticas, por lo que se utiliza como desinfectante, sin embargo, su presencia no está permitida en los alimentos. Se le atribuyen además las siguientes acciones: queratoplástico, exfoliante, antiinflamatorio, seborregulador, antiséptico, fungistático, fotoprotector y analgésico.

ESTUDIO DE MERCADO

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO DE MERCADO

3.1. INTRODUCCIÓN

El análisis del mercado es el primero y tal vez el más importante de los indicadores de la posibilidad de realizar con éxito una idea industrial, pues este análisis dará las perspectivas sobre la factibilidad de fabricación del producto.

El presente capítulo se inicia mostrando una serie de datos cuantitativos acerca de la industria farmacéutica global y nacional para poder analizar su comportamiento, el cual sirve como referencia para contextualizar el mercado donde se encuentra el ácido acetilsalicílico (en adelante AAS), observando su evolución en el tiempo. Además, se analiza el mercado de este producto junto con el de sus materias primas, con el fin de evaluar la demanda insatisfecha existente en el país, a fin de poder determinar una capacidad de producción, dato sobre el cual se realizarán todos los estudios de factibilidad del proyecto. A nivel nacional se cuenta con datos de importación y exportación del producto aislado por lo que es posible calcular dicha demanda insatisfecha y utilizarla como indicador.

Es importante destacar que el país no cuenta con producción propia de AAS, por lo que no es viable determinar su consumo aparente. Por último, se realiza un análisis FODA para mencionar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto.

3.2. CONTEXTO INTERNACIONAL

3.2.1. Industria farmacéutica global

La industria farmacéutica es un sector considerado estratégico por los gobiernos nacionales de la mayoría de los países desarrollados. Esto se debe a razones como la generación de conocimiento científico y tecnología, la producción de bienes con alto valor agregado e incrementar el nivel de salud de la población poniendo al alcance de esta todas las novedades terapéuticas y medicinales. La fabricación y comercialización de medicamentos en el mundo está encabezada por empresas multinacionales con presencia en la mayoría de los mercados. La dimensión del mercado mundial de medicamentos se muestra en la Gráfico 3.1, medido por las ventas de todas las compañías en miles de millones de dólares.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

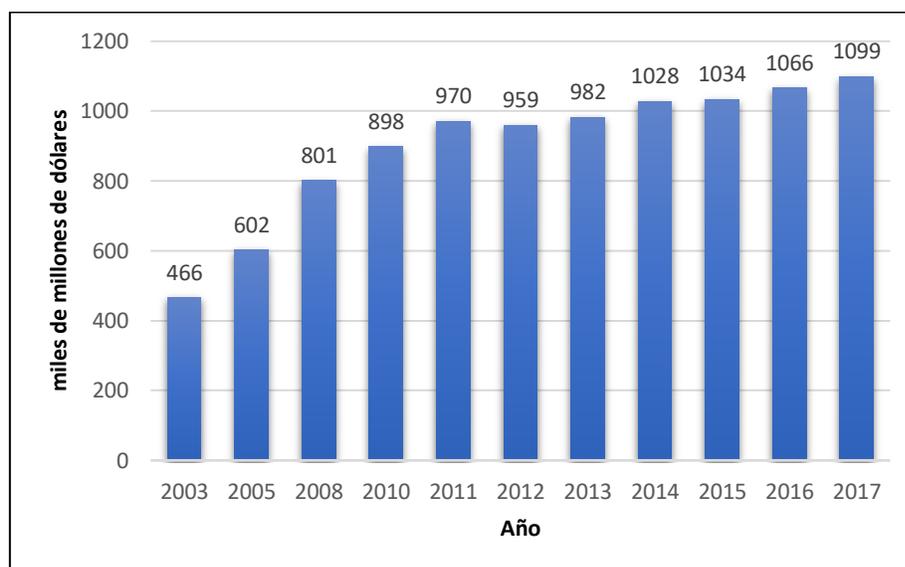


Gráfico 3.1 - Mercado mundial de medicamentos. Fuente: CILFA, IQVia Argentina.

La industria farmacéutica global ha tenido un crecimiento revelador en los últimos años, fortaleciendo su nivel por encima de un billón de dólares desde el año 2014. Se alcanzó un valor de U\$S 1.099 miles de millones en el año 2017, valor superior en un 3,2% respecto al año anterior. En el Gráfico 3.2 se muestra la distribución del mercado de medicamentos por regiones en el año 2017 en miles de millones de dólares.

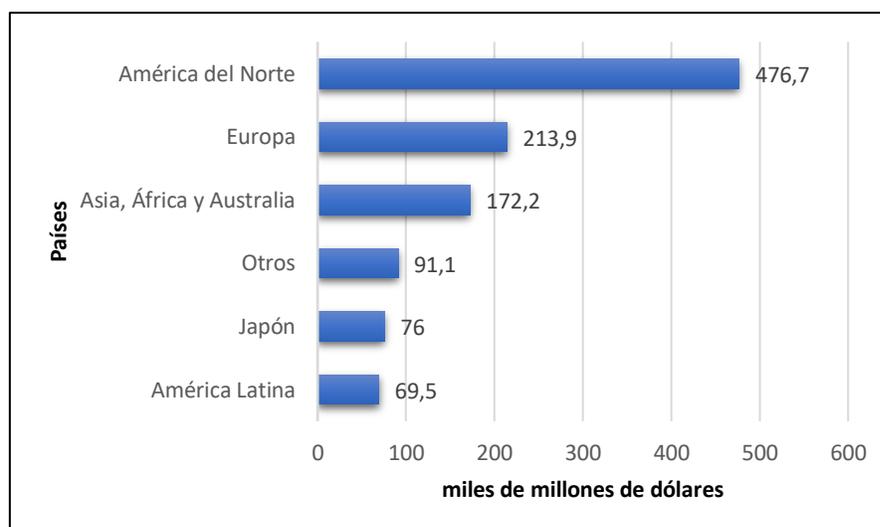


Gráfico 3.2 – Mercados regionales año 2017. Fuente: CILFA, IQVia Argentina.

La industria y el consumo de medicamentos en el mundo están fuertemente concentrados en los países desarrollados, que al mismo tiempo son los que lideran las actividades de investigación y desarrollo. Estados Unidos y Canadá representan el 43,4% del mercado mundial, porcentaje que sube al 69,7% si se suman Europa y Japón. La industria farmacéutica latinoamericana representa el 6,3%. Mientras que Argentina participa en un 8,9% del total del mercado de América Latina y

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

un 0,5% en el mercado mundial en el año 2017 (Cámara Industrial de Laboratorios Farmacéuticos Argentinos (CILFA), 2018).

Respecto a las exportaciones mundiales, en miles de millones de dólares, desde el año 2010 hasta el 2017 crecieron un 20,5%, aumentando de 443 a 534. En el 2017 estas crecieron un 5,3% respecto al 2016. Los países destacados exportadores de medicamentos son países desarrollados, siendo Alemania el primero en el ranking mundial de este tipo de exportaciones con un 15,81% del mercado mundial seguido de Suiza, USA, Bélgica, Irlanda, Países Bajos, UK, Francia, Italia, Dinamarca, quedando un 29,81% para el resto del mundo. Argentina pasó del puesto N°34 en 2016 al N°43 en 2017 en el ranking mundial (Cámara Industrial de Laboratorios Farmacéuticos Argentinos (CILFA), 2018).

Los valores dados anteriormente son hasta el año 2017 ya que hasta dicho año se encontraron datos de una fuente confiable, sin poder hallar los mismos respecto al 2018. Pero dichos datos fueron expuestos con el objetivo de ubicarnos en el mercado a nivel mundial donde se encuentra nuestro producto, el AAS.

3.2.2. Principales productores

El AAS fue lanzado al mercado por la empresa farmacéutica Bayer bajo la marca registrada Aspirina en 1899 en Alemania. Desde ese año se ha utilizado para reducir el dolor, la fiebre y la inflamación, pero recién en 1971 se comprendió el mecanismo de acción del medicamento, lo que permitió el descubrimiento de nuevos usos como prevención de ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares, actúa como antiagregante plaquetario, se utiliza en el tratamiento contra la fiebre reumática, etc. Todos estos descubrimientos potenciaron su consumo y producción, convirtiendo a Bayer en su principal empresa productora. Desde 2014, el 100% del AAS producido por esta empresa se concentró en La Felguera, Asturias, España. Esta planta asturiana produce aproximadamente 6000 toneladas anuales de AAS, además de otros fármacos importantes de la compañía, allí se envasa para ser exportadas a otras siete fábricas de Bayer en todo el mundo donde se elaboran los comprimidos según sus distintas presentaciones comerciales y se distribuye a determinados mercados.

La fábrica de Asturias convierte a España en el primer productor mundial de AAS, seguido de China, quién en las últimas décadas se ha convertido en un fuerte competidor instalándose en el mercado, el fármaco está viviendo una segunda revolución con su expansión en el país oriental. Posicionándose en tercer lugar se encuentra Francia y el resto de la producción mundial de AAS está distribuida en pequeñas cantidades en varios países como Tailandia, India, Reino Unido, Suiza, Bélgica y Estados Unidos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El AAS tiene 120 años en el mercado y a partir de 2011, se producen aproximadamente 40000 toneladas cada año en total y esta cantidad aumentará aún más en su segundo siglo de vida a medida que los investigadores de la salud descubren nuevas aplicaciones para dicho medicamento.

3.3. CONTEXTO NACIONAL

3.3.1. Industria farmacéutica argentina

Argentina es uno de los pocos países en el mundo cuyos laboratorios de capitales nacionales poseen una presencia y participación en su mercado interno mayor a la de los laboratorios extranjeros. El área de fabricación de medicamentos cuenta con 190 plantas industriales instaladas en el país, donde 160 son de capital nacional y 30 multinacionales, además el mercado farmacéutico argentino es abastecido por 210 laboratorios (Cámara Industrial de Laboratorios Farmacéuticos Argentinos (CILFA), 2018).

La industria farmacéutica en Argentina es el tercer sector industrial en relación a la cantidad del valor agregado industrial que produce, por detrás del sector petrolero y del hierro y el acero. Las cuentas nacionales muestran que el valor agregado de esta rama representa el 4,9% del total del valor agregado de la industria y su participación en el valor bruto de producción del total de la industria argentina es del 3,3%, según los datos del último censo económico.

A esta información, debe agregarse que esta industria registra los más altos niveles sectoriales de investigación y desarrollo. En base a una encuesta que realizó el MinCyT, dicho sector encabeza el podio de I+D en Argentina, con un 20% en la distribución de I+D por sector, lo cual genera empleos de alta calidad y profesionalidad.

En el Gráfico 3.3 se especifican las ventas de la industria farmacéutica en el país en millones de pesos a precios de salida de laboratorio.

Las ventas internas crecieron más de un 1000% en valores entre los años 2009 y 2018. En particular, durante el año 2018 aumentaron un 27% respecto al año anterior. El mercado local es abastecido un 66,1% por laboratorios nacionales y el restante 33,9% por laboratorios extranjeros (IQVia Argentina, 2017). De la facturación total del último año el 28,6% representa la reventa local de importados, y el 71,4% se debe a facturación de producción nacional, siendo el 89,2% de la producción nacional la venta al mercado interno, y el restante 10,8% es destinado a la exportación. Observándose el predominio de los productos nacionales en el mercado local.

Se puede observar un crecimiento sostenido de la producción y facturación en la última década, con predominio de productos nacionales en el mercado local. Esto se debe al aumento del nivel de utilización de la capacidad instalada, ampliaciones de planta y construcción de nuevas plantas

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

industriales con incorporación de tecnología de punta y maquinarias con el objeto de abastecer la demanda nacional.

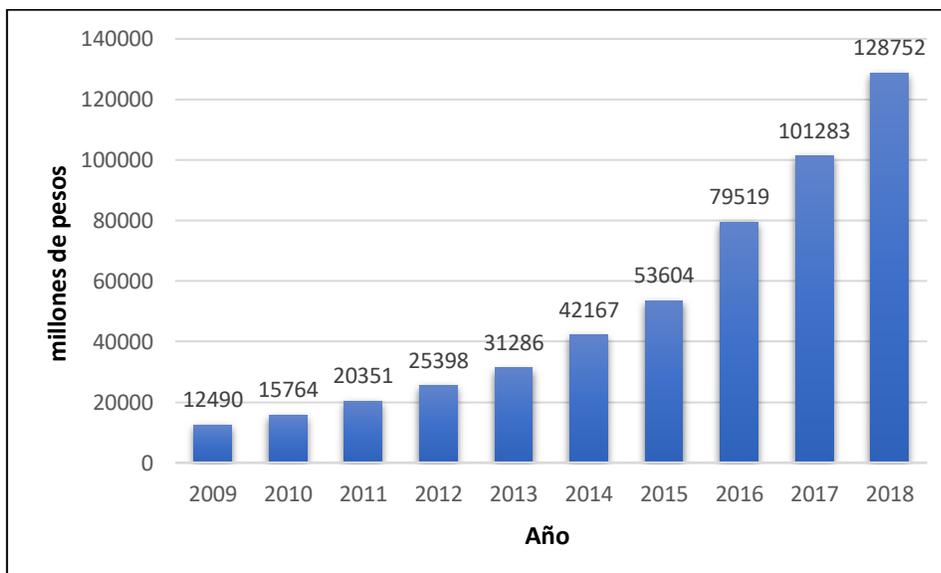


Gráfico 3.3 - Ventas de la industria farmacéutica en el país a precios de salida de laboratorio.
Fuente: INDEC, CILFA, IQVia Argentina.

Respecto al comercio exterior del sector, en la Tabla 3.1 se detallan los valores en millones de dólares de las exportaciones e importaciones en los últimos años.

Tabla 3.1 - Exportaciones e importaciones nacionales en millones de dólares.
Fuente: ABECEB, INDEC.

Año	Exportaciones	Importaciones
2009	659,5	1208,2
2010	693,2	1565,6
2011	810,2	1790,4
2012	903,0	2087,6
2013	912,3	2138,0
2014	851,3	2148,9
2015	1048,8	2406,6
2016	907,9	2157,4
2017	744,2	2381,0

Las exportaciones argentinas de medicamentos registraron en 2017 una caída del 18% respecto del año 2016. Mientras que las importaciones tuvieron un aumento del 10,4% en 2017 respecto al año anterior. La abrupta caída de las exportaciones en los últimos dos años se debe a la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

reducción de las exportaciones a Venezuela, causada por la crisis económica que está atravesando dicho país.

Como muestran los flujos de exportaciones e importaciones, el sector posee históricamente una balanza comercial deficitaria, que fue incrementándose año a año.

Como consecuencia, Argentina cuenta con una industria farmacéutica nacional industrialmente competitiva y tecnológicamente moderna, compatible con el objetivo estratégico de asegurar un adecuado abastecimiento de medicamentos, a precios accesibles y elaborados acorde con las normas internacionales en la materia.

La industria farmacéutica nacional está construyendo una visión de largo plazo, tanto en lo que se refiere a su expansión y desarrollo en el mercado interno como en los mercados internacionales, por intermedio del aumento de los volúmenes que se exporten a mercados no tradicionales, y por el establecimiento y consolidación de filiales en los principales países de América Latina y otros países.

3.3.2. Producción nacional

Actualmente en el mercado nacional hay disponible para su comercialización y consumo doce medicamentos que contienen como principio activo AAS puro, todos en formato de comprimidos de diferentes cantidades (mg), elaborados por distintos laboratorios como Bayer, Vent-3, Gezzi, ISA y Savant Consumer. Además, existen otros quince medicamentos que poseen AAS más otro principio activo como ácido ascórbico, cafeína, paracetamol, piridoxina, ácido fólico, clopidogrel, etcétera. Estos medicamentos además de poseer las acciones básicas del AAS como antiinflamatorio, antipirético y analgésico, actúan como antiagregante plaquetario, antiácido, etcétera. Los laboratorios que elaboran estos medicamentos en diferentes presentaciones son un total de trece.

Del gran abanico de laboratorios farmacéuticos que utilizan AAS como materia prima para la elaboración de sus medicamentos, ninguno lo sintetiza internamente para su consumo. Y todo este AAS utilizado ingresa al país mediante las importaciones ya que no existe en Argentina una industria que elabore dicho producto para proveerlo como materia prima.

3.4. MERCADO NACIONAL

Se realizará un análisis de los datos sobre importación y exportación del AAS obtenidos de la página de comercio exterior del INDEC, los cuáles son datos del AAS puro, que se encuentran bajo el número arancelario 29.18.22.11 Ácido o-acetilsalicílico. Este análisis nos permite caracterizar el comportamiento de dicho producto en los últimos 10 años, período 2009-2018.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.4.1. Importaciones

En la Tabla 3.2 se detallan los datos de las importaciones totales del AAS en Argentina.

Tabla 3.2 - Importaciones. Fuente: INDEC.

Año	Importación [kg]
2009	661.277,00
2010	654.677,00
2011	622.575,00
2012	652.180,00
2013	541.851,00
2014	538.750,00
2015	412.460,00
2016	300.500,00
2017	336.700,00
2018	406.145,00

En el Gráfico 3.5 se observan los principales países de los cuales se importa el AAS, con España en primer lugar, siendo el más relevante en volúmenes importados ya que abarca el 75% del total de las importaciones, seguido por China con el 23%, en tercera posición Francia y cuarto Tailandia. Con cantidades muy pequeñas encontramos a Estados Unidos y a Reino Unido, cuyas cantidades, en comparación, son despreciables. Estos últimos cuatro países son el 2% restante.

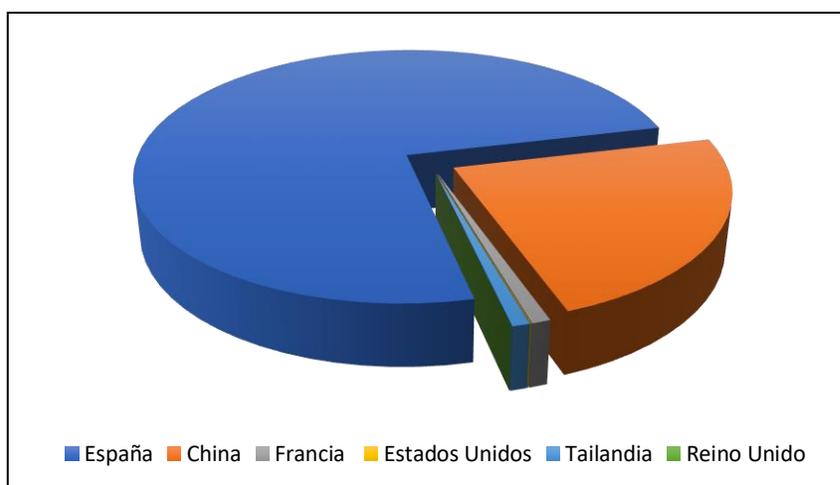


Gráfico 3.4 – Importaciones por país de origen. Fuente: INDEC.

El predominio de España en las importaciones se debe a que, como se mencionó anteriormente, la compañía Bayer produce la totalidad de su AAS en dicho país para luego distribuirlo, y

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

considerando a tal como un monopolio, descartamos las cantidades importadas de este país en nuestro análisis. En la Tabla 3.3 se detalla la diferencia entre el total y las importaciones provenientes de España, la cual es la que se tendrá en cuenta para nuestro estudio, y en el Gráfico 3.5 se muestra la tendencia de los datos calculados.

Tabla 3.3 - Cálculo de las importaciones sin España. Fuente: INDEC.

Año	Importaciones [kg]		
	Total	España	Diferencia
2009	661.277	594.000	67.277
2010	654.677	605.000	49.677
2011	622.575	328.000	294.575
2012	652.180	12.000	640.180
2013	541.851	471.000	70.851
2014	538.750	479.600	59.150
2015	412.460	384.000	28.460
2016	300.500	292.000	8.500
2017	336.700	304.000	32.700
2018	406.145	292.000	114.145

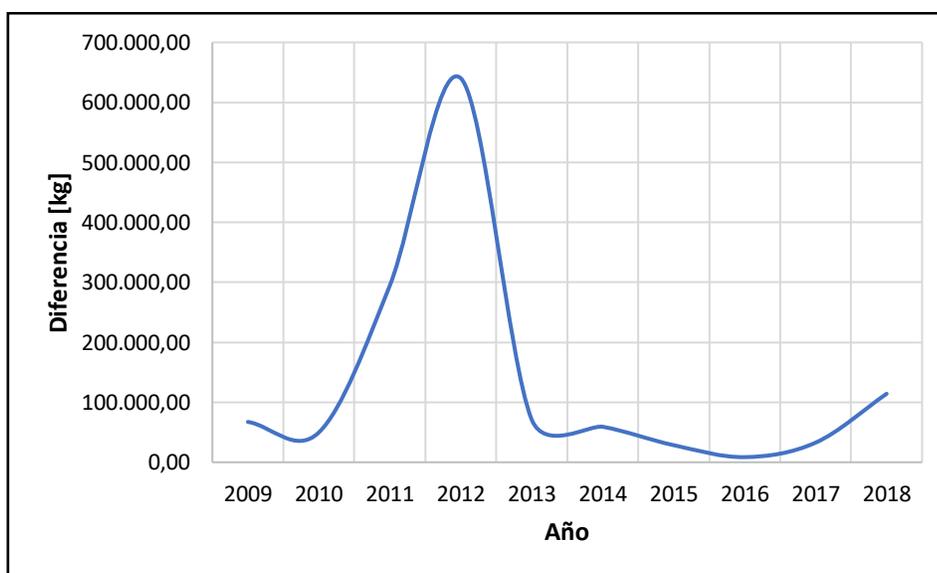


Gráfico 3.5 - Importaciones sin España. Fuente: INDEC.

Se interpreta del Gráfico 3.5 que las importaciones atravesaron fluctuaciones. Las más relevantes se encuentran en los años 2011 y 2012, esto puede atribuirse a la crisis mundial que atravesó

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Europa durante estos años, siendo España uno de los más afectados. Esto produjo la notable reducción de las importaciones españolas habiendo sido reemplazadas por China. Para corregir estos datos excepcionales se los considera como el promedio entre los años 2010 y 2013, dando como resultado 60264 kg cada año.

Otra de las variaciones generadas en las importaciones se debe al cambio de gobierno nacional a finales del 2015, donde se reabrieron las mismas. Por lo cual se hace una regresión con los datos desde el año 2009 al 2014 con los valores modificados del 2011 y 2012 para obtener la función que se utilizará para estimar los valores de los cuatro años siguientes.

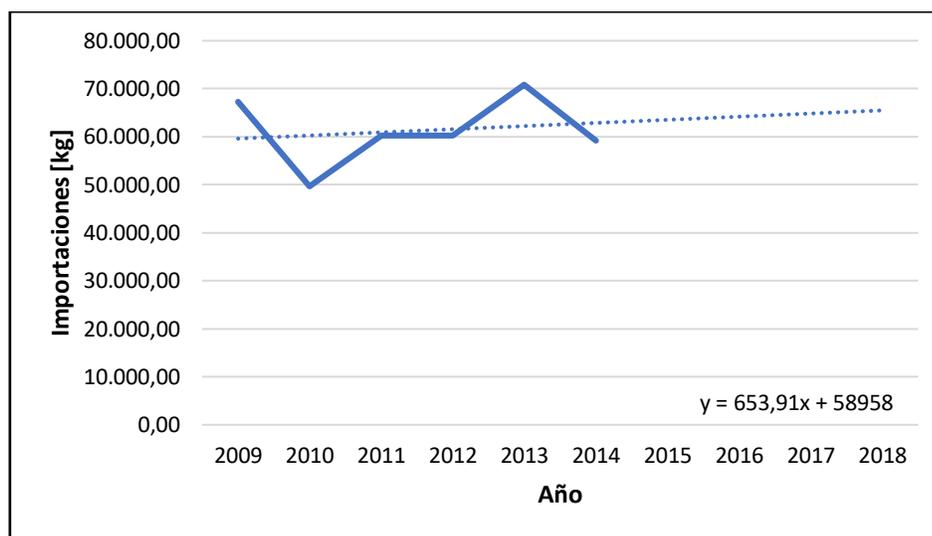


Gráfico 3.6 - Proyección de las importaciones del 2015 al 2018.

Por último, en la Tabla 3.4 se muestran los valores de las importaciones finales que se van a utilizar para el cálculo de la demanda insatisfecha.

Tabla 3.4 - Importaciones modificadas finales.

Año	Importación [kg]
2009	67.277
2010	49.677
2011	60.264
2012	60.264
2013	70.851
2014	59.150
2015	63.535
2016	64.189

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2017	64.843
2018	65.497

3.4.2. Exportaciones

En la Tabla 3.3 se detallan los datos de las exportaciones del AAS. Se advierte que las cantidades exportadas son muy pequeñas, despreciables con respecto a las importaciones, e incluso nulas en algunos años. El principal destino es Uruguay, seguido de Chile, solo en ciertos años particulares.

Tabla 3.5 - Exportaciones. Fuente: INDEC.

Año	Exportación [kg]
2009	3000,00
2010	0,00
2011	2000,00
2012	1900,00
2013	4150,00
2014	0,00
2015	700,00
2016	600,00
2017	1100,00
2018	0,00

3.4.3. Demanda insatisfecha

Después de analizar los datos del mercado del AAS, se observa que las importaciones del mismo en Argentina son muy superiores respecto a las exportaciones. Esto se debe a que la producción nacional es nula, abasteciéndose el mercado interno por compras al exterior. Por ello se toma la decisión de utilizar la demanda insatisfecha como indicador del proyecto, la cual se calcula mediante la Ecuación 3.1.

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

Ecuación 3.1 - Cálculo de la demanda insatisfecha.

En la Tabla 3.6 se observan los valores obtenidos de la demanda insatisfecha del AAS desde el 2009 al 2018, calculados con los valores modificados de las importaciones de la Tabla 3.4.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.6 - Demanda Insatisfecha.

Año	Demanda insatisfecha [kg]
2009	64.277,00
2010	49.677,00
2011	58.264,00
2012	58.364,00
2013	66.701,00
2014	59.150,00
2015	62.835,37
2016	63.589,28
2017	63.743,19
2018	65.497,10

Con los datos de la Tabla 3.6 se construye el Gráfico 3.7 de la demanda insatisfecha y se obtiene la recta de regresión para calcular la proyección para los próximos 10 años, valores que se requerirán para estimar la capacidad de producción futura.

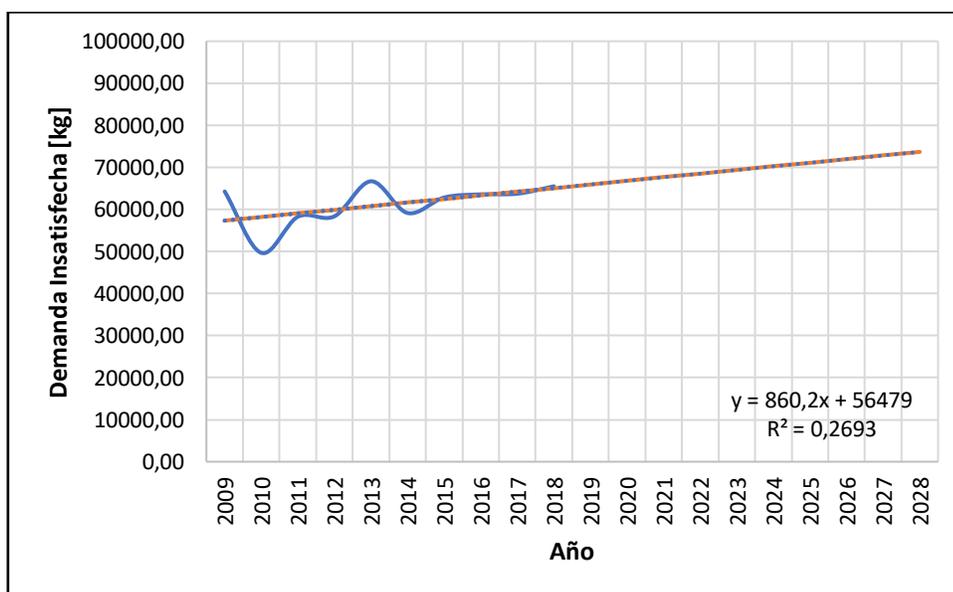


Gráfico 3.7 - Demanda Insatisfecha. Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.5. MATERIAS PRIMAS

Para la elaboración de ácido acetilsalicílico es necesario que se produzca la reacción entre el anhídrido acético y el ácido salicílico. Este último, a su vez, se obtiene por síntesis química, siendo necesarias las siguientes materias primas para producirlo: fenol, hidróxido de sodio, dióxido de carbono y ácido sulfúrico.

3.5.1. Anhídrido acético

En 1967 Rhodia inaugura su planta de anhídrido acético en Baradero, provincia de Buenos Aires, primera y única planta dedicada a la producción de dicha sustancia para la venta en Argentina. En la década del '80, la empresa que hoy es actualmente ATANOR S.C.A adquiere a Rhodia, para ampliar su producción con nuevos productos, entre ellos el anhídrido acético. Por lo tanto, en Argentina existió hasta el año 2017 anhídrido acético producido en el país, ya que en dicho año la firma ATANOR S.C.A toma la decisión de concentrar sus esfuerzos en sus plantas de síntesis y formulación de herbicidas ubicadas en San Nicolás y Pilar (Buenos Aires) y Río Tercero (Córdoba), cerrando de este modo la planta de Baradero, la cuál era la única en el país que elaboraba acetatos (de etilo, butilo e isopropilo), sorbitol, triacetina, ácido y anhídrido acético, producía 2600 tn de este último. Por lo cual, desde el 2017 todo el anhídrido acético necesario de obtiene por importaciones.

En el Gráfico 3.8 se muestran los datos de las importaciones de anhídrido acético en el período 2009 – 2018 obtenidos de la página del INDEC bajo el número arancelario 29.15.24.00 y se observa el extremo crecimiento que tuvieron estas en los años 2017 y 2018, luego del cierre de la fábrica de ATANOR S.C.A.

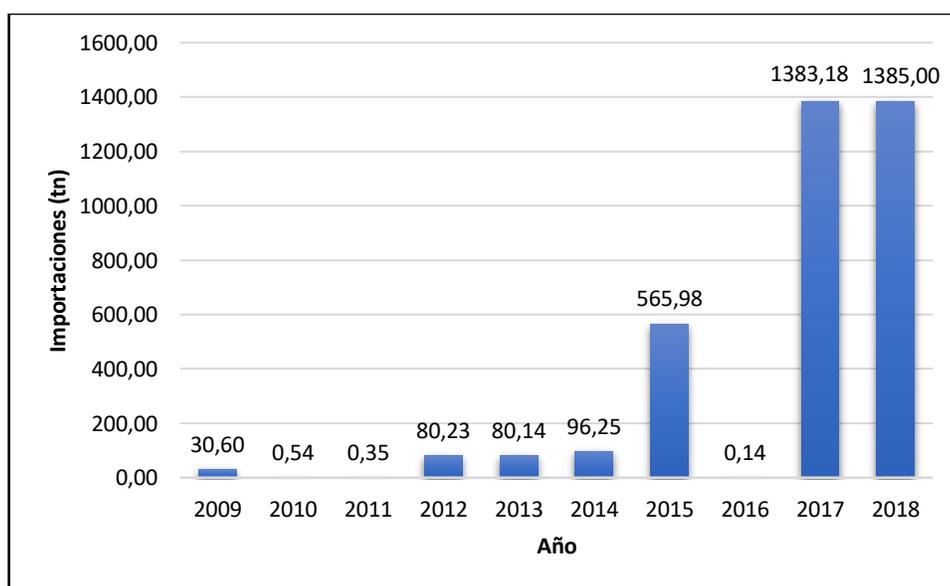


Gráfico 3.8- Importaciones de anhídrido acético. Fuente: INDEC.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.5.2. Fenol

El fenol, también llamado hidroxibenceno, en su forma pura a temperatura ambiente es un sólido cristalino de color blanco-incoloro. La preparación comercial es un líquido que se evapora más lentamente que el agua, con un olor característico, repugnantemente dulce y alquitranado.

El fenol forma soluciones muy tóxicas y los vapores, que son más pesados que el aire, expuestos al calor, forman mezclas explosivas. La oxidación del fenol en el aire se acelera por efecto de la luz o de impurezas que actúan como catalizadores.

En 1959 Fensud, una sociedad entre Bayer y Compañía Química, instala una planta de fenol en San Nicolás, Buenos Aires. En 1963 Duranor Industrias Químicas S.A.I.C. (ahora una sociedad entre Atanor y Hooker Chemical) inauguran la producción de fenol en Río Tercero, sin embargo, en los años 80, Atanor desmantela la planta que producía fenol y elimina otras líneas improductivas. Actualmente se importa la gran mayoría del fenol que se requiere en el país.

En el Tabla 3.7 se muestran los números de las exportaciones e importaciones en kilogramos de fenol y sus sales en el período 2009 – 2018 conseguidos de la página del INDEC. Se revela que las exportaciones en todos los años son muy bajas en comparación a las importaciones, manteniéndose estas últimas relativamente constantes.

Tabla 3.7 - Exportaciones e importaciones de Fenol. Fuente: INDEC.

Año	Importaciones [kg]	Exportaciones [kg]
2009	16.850.464	233,5
2010	15.955.397	74,1
2011	18.034.756	56.030,3
2012	14.418.984	395
2013	14.418.676	107
2014	16.542.049	48,6
2015	15.756.676	256,8
2016	12.096.886	84.265,3
2017	12.064.437	5.463,6
2018	12.395.305	-

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.5.3. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio o soda cáustica es uno de los productos químicos básicos de la industria, ya que posee un gran abanico de aplicaciones. Se comercializa bajo distintas presentaciones: sólido con forma de granos, escamas, hojuelas o perlas, y en solución a diferentes concentraciones. La forma más común es en solución al 50%. En nuestro país existen muchas plantas industriales que elaboran y venden hidróxido de sodio, estas se presentan en la Tabla 3.8 elaborada a partir de la información dada por la Cámara de la Industria Química y Petroquímica.

Tabla 3.8 - Plantas productoras de NaOH en Argentina. Fuente: CIQYP.

Productores	Ubicación	Presentación
ATANOR S.C.A.	Río Tercero - Córdoba	Solución al 50%
CLORONOR	Formosa	Solución al 50%
Petroquímica Bermúdez S.A.	Capitán Bermúdez – Santa Fe	Solución al 50%
Petroquímica Río Tercero S.A.	Río Tercero - Córdoba	Solución al 50%
PPE ARGENTINA S.A.	Haedo – Buenos Aires	Solución al 50%
SOLVAY INDUPA S.A.I.C.	Bahía Blanca – Buenos Aires.	Solución al 50% Perlas
TRANSCLOR S.A.	Pilar - Buenos Aires.	Solución al 50% Solución al 32%

Además, existen otras firmas como CLORONOX Argentina S.A., Juan Messina S.A. y Ledesma S.A.A.I. que producen soda cáustica para consumo propio.

En el Gráfico 3.9 se muestran los valores de las exportaciones e importaciones de hidróxido de sodio en el período 2009 – 2018 obtenidos de la página del INDEC. Allí queda expuesto que las exportaciones en todos los años, con una sola excepción en el año 2010, son mayores a las importaciones, por lo cual hay disponibilidad en el mercado de hidróxido de sodio de producción nacional.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

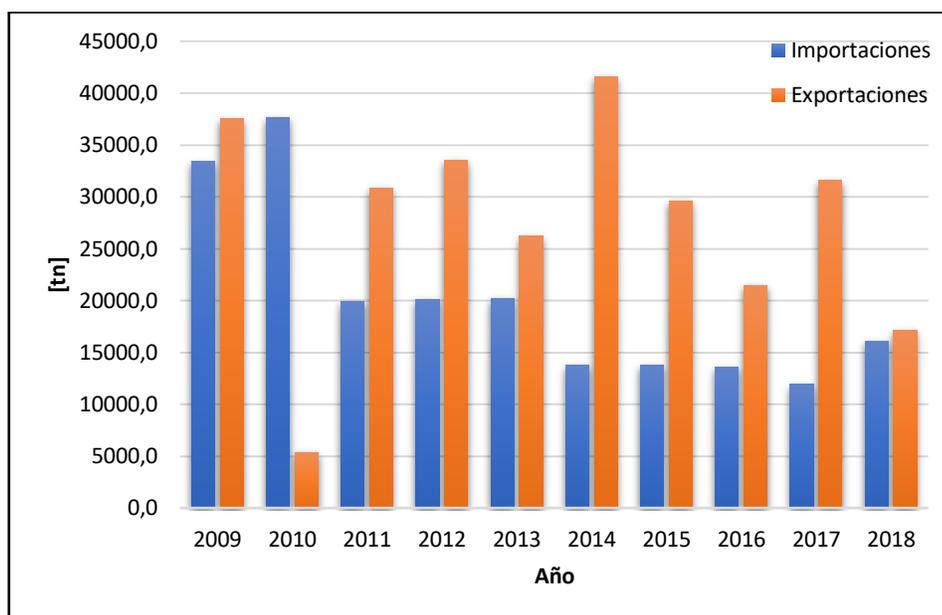


Gráfico 3.9 - Exportaciones e importaciones de NaOH. Fuente: INDEC.

3.5.4. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es uno de los gases más utilizados en las distintas áreas de la industria. Se vende con distintos grados de pureza, dependiendo si el destino es la industria química, alimenticia o farmacéutica. En Argentina existen las siguientes firmas que se dedican a la obtención del anhídrido carbónico: Air Liquide Argentina S.A., donde su actividad principal es la producción y distribución de gases del aire de grado industrial y medicinal, dicha empresa ofrece sus productos y servicios en todo el territorio nacional contando con 17 plantas a lo largo del país, donde la mayoría de ellas se encuentran en la provincia de Buenos Aires (Ensenada, Escobar, Bahía Blanca, San Nicolás, Lavallol). Luego se encuentra PRAXAIR Argentina S.A. y GASCARBO S.A.I.C., ambas ubicadas en la provincia Buenos Aires, en las localidades de Ricardo Rojas y El Talar de Pacheco, respectivamente. También se cuenta con Gas Carbónico Chiantore S.A.I. ubicada en la ciudad de Villa María, Córdoba. Además, la empresa Cervecería y Maltería Quilmes produce su propio dióxido de carbono.

En la Tabla 3.9 se muestran los números de las exportaciones e importaciones en toneladas de dióxido de carbono en el período 2009 – 2018 conseguidos de la página del INDEC. Se revela que las exportaciones en todos los años son superiores a las importaciones, por lo cual hay disponibilidad en el mercado de dióxido de carbono nacional.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.9 - Exportaciones e importaciones de CO₂. Fuente: INDEC.

Año	Importaciones [tn]	Exportaciones [tn]
2009	1,5	33.025,3
2010	10,7	41.153,6
2011	16,6	37.557,9
2012	4,2	43.540,0
2013	2,7	34.170,3
2014	2,0	40.735,8
2015	6,0	33.529,9
2016	6,5	34.093,4
2017	52,4	33.401,9
2018	53,5	33.224,2

3.5.5. Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido incoloro, viscoso y extremadamente corrosivo. Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países.

La primera empresa fundada en Argentina para producir ácido sulfúrico fue establecida en Buenos Aires en 1879, siendo también la primera en Sudamérica. Años después, en 1912, la Compañía Primitiva de Gas pone en marcha una planta de ácido sulfúrico por el método de cámaras de plomo a partir del azufre recuperado de la producción de gas de alumbrado. Cabe destacar también, a la filial argentina de ICI en sociedad con Cía. Rivadavia, que decide la construcción de una planta de ácido sulfúrico por el método de contacto, primera de su tipo en Sudamérica, la que iniciaría su producción en 1930.

Actualmente, en nuestro país existen muchas plantas industriales que elaboran y venden ácido sulfúrico, estas se presentan en la Tabla 3.10 elaborada a partir de la información obtenida por la Cámara de la Industria Química y Petroquímica.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 3.10 - Plantas productoras de H₂SO₄ en Argentina. Fuente: CIQYP.

Productores	Ubicación
Akzo Nobel Functional Chemicals S.A. (ex ICI Argentina)	San Lorenzo – Santa Fe
AR ZINC S.A.	Fray Luis Beltrán – Santa Fe
Dirección General de Fabricaciones Militares	Azul – Buenos Aires
	Río Tercero – Córdoba
	Villa María – Córdoba
MERANOL S.A.C.I.	Dock Sud Avellaneda – CABA
Valentín Balcarce S.A.	Fátima – Buenos Aires

En el Tabla 3.11 se muestran los números de las exportaciones e importaciones en toneladas de ácido sulfúrico en el período 2009 – 2018 conseguidos de la página del INDEC. Nótese que las importaciones son mucho mayores que las exportaciones todos los años, indicando que la producción nacional no alcanza a satisfacer la demanda interna.

Tabla 3.11 - Exportaciones e importaciones de H₂SO₄. Fuente: INDEC.

Año	Importaciones [tn]	Exportaciones [tn]
2009	44.204,09	87,68
2010	72.355,07	308,67
2011	53.139,69	6124,67
2012	65.131,87	280,13
2013	29.332,61	85,82
2014	64.481,52	3,04
2015	87.410,62	2,11
2016	134.916,58	30,99
2017	157.161,10	54,35
2018	116.446,71	79,12

3.6. ANÁLISIS FODA

3.6.1. Fortalezas

- Elaboración de un producto conocido e instalado en el mercado hace muchos años, por lo que no requiere inversión en marketing.
- En el territorio nacional se cuenta con la infraestructura requerida para la instalación del proyecto, tanto en disponibilidad de servicios como en espacio físico.
- La industria farmacéutica mundial y nacional está muy consolidada y en constante crecimiento. Es un sector empresario de gran relevancia en la economía.
- Los laboratorios nacionales tienen una muy buena imagen de marca en el mercado interno.
- Plantas industriales que cumplen con estándares internacionales de materia de buenas prácticas de fabricación y control.

3.6.2. Oportunidades

- El consumo de AAS se encuentra en constante aumento debido a los nuevos usos que se le atribuyen a medida que se investiga.
- Producto no fabricado en el país.
- El AAS está destinado a la industria farmacéutica y está presente en una amplia variedad de productos.
- Generación de nuevos puestos de trabajo calificados.
- Contribuir a una red de proveedores que podría aumentar la eficiencia de producción en el país de medicamentos.
- Posibilidades de reducir los costos de transporte y logística.

3.6.3. Debilidades

- Fuerte competidor instalado en el mercado con marca reconocida a nivel mundial.
- El único medio de obtención de algunas de las materias primas principales es importándolas, generando una alta dependencia de las mismas.
- Carencia de instrumentos financieros aptos para sostener la expansión y el crecimiento del sector.
- No existe una política perdurable en el tiempo para estimular el nacimiento de empresas y crecimiento de las PyMEs.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3.6.4. Amenazas

- Crecimiento de las importaciones provenientes de China y/o demás países asiáticos, debido a que tienen fuertes políticas nacionales de promoción al sector.
- Inestabilidad en los mercados nacionales a causa de diferentes crisis políticas y económicas.
- Mantenimiento de índices elevados de inflación y de impuestos impacta sobre los costos financieros y de producción.
- Intentos de las multinacionales de bloquear determinados segmentos del mercado con el fin de limitar la competencia.

*LOCALIZACIÓN DE LA
PLANTA*

CAPÍTULO 4

4. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

4.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo en la localización de fábricas o plantas industriales es la elección de un lugar físico específico que permitirá conseguir las materias primas necesarias, realizar los procesos de producción y entregar el producto final a los clientes al costo total más bajo posible. La adecuada ubicación de la planta industrial es muy importante para su éxito posterior, por lo tanto, se procura hacer el análisis de localización tan amplio como sea posible.

Para realizar el presente análisis se acude primero a un paso preseleccionador, con el fin de que las comparaciones finales minuciosas se hagan entre un número reducido de los sitios más prometedores. En este primer paso, el método utilizado para acortar el número de lugares posibles de ubicación de la planta, sobre los cuales se hizo un estudio final intenso, es el denominado procedimiento de cribado. Con este método se seleccionaron las regiones sobre las cuales se aplicó un segundo método lógicamente semejante, pero algo distinto, para evaluar comparativamente las diferentes zonas y determinar el sitio más adecuado, este es el método de puntuaciones ponderadas.

En el caso de nuestro proyecto, la planta de producción de ácido acetilsalicílico, en adelante AAS, se encuentra dentro del grupo de industrias secundarias porque utiliza materias primas ya tratadas para someterlas a un proceso adicional. Esta clase de industrias tiene tendencia a establecerse en zonas industriales bien desarrolladas, que ofrecen buenas posibilidades de abastecimiento y distribución.

4.2. MACRO LOCALIZACIÓN

La macro localización implica la realización de un análisis con el fin de evaluar y seleccionar las zonas que ofrecen las mejores condiciones para la ubicación del proyecto en el país, reduciendo así el número de posibilidades de ubicación utilizando para este procedimiento de preselección el método de cribado.

El proyecto de la planta de producción de AAS fue pensado para localizarse en nuestro país, con el fin de sustituir parte de las importaciones de este fármaco, ya que no existe producción nacional hasta el año 2019 y poder cubrir así un porcentaje de la demanda insatisfecha. En este paso se determina qué provincias presentan las mejores condiciones para la instalación de la planta. Para lo cual se realiza un análisis considerando los siguientes factores más importantes para nuestro proyecto:

- Disponibilidad de materias primas.
- Disponibilidad de zonas de consumo o mercados.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Existen muchos otros factores generales importantes para la ubicación de la planta como disponibilidad de transportes, de mano de obra, de servicios generales (agua, energía, combustible, efluentes, etc.) y de parques industriales; también otros factores específicos como el clima, la estructura del suelo, la legislación y normas públicas vigentes. Pero primero se comienza con el análisis de los dos factores más importantes mencionados inicialmente por considerarlos determinantes para nuestro proyecto.

4.2.1. Método de cribado

Para implementar este método se emplean mapas esquemáticos del país, uno para cada factor considerado, y se sombrea en cada uno de los mapas individuales las zonas que se deciden más favorables para cada uno de los factores tenidos en cuenta.

Con ello se logra que el problema se simplifique y que se enfoque la atención en una cantidad relativamente pequeña de sitios. Sobre los cuales se determina la/s zona/s más adecuadas por implementación del método de las puntuaciones ponderadas.

Los factores que se analizan en primer lugar son la disponibilidad de materia prima y zonas de consumo o mercados.

➤ Disponibilidad de materia prima

Este es un factor de mucha influencia al momento de localizar la planta, ya que es sustancial poder analizar las principales fuentes de suministros, distancias a las mismas y costos de transporte, ya que influirán en el precio final del producto.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, para la elaboración de AAS es necesario que se produzca la reacción entre el anhídrido acético y el ácido salicílico. Éste último, a su vez, se obtiene por síntesis química, siendo necesarias las siguientes materias primas para producirlo: fenol, hidróxido de sodio, dióxido de carbono y ácido sulfúrico.

Podría decirse que las materias primas más importantes para nuestro proyecto son el anhídrido acético y el fenol, las cuales a su vez son las más críticas, porque, como se señaló en el capítulo del estudio de mercado, ninguna de estas dos sustancias al año 2019 se producen en el país. Esto significa que ambas se obtienen por importaciones, lo cual limita nuestro proyecto siendo necesaria la cercanía con algún puerto.

En Argentina el transporte marítimo es muy utilizado para el transporte de mercancías y la gran mayoría de los productos importados llega al país por las hidrovías, que están conformadas por los ríos de La Plata, Paraná, Paraguay y Uruguay. Los principales puertos fluviales son los de Zárate y Campana. El país cuenta con 102 puertos comerciales en funcionamiento, entre las provincias con mayor cantidad se encuentra primero Santa Fe con 33, le sigue Buenos Aires con

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

31 y Entre Ríos con 13. En la Imagen 4.1 se muestra la ubicación de los puertos a lo largo del país.



Imagen 4.1 - Localización de los puertos en Argentina. Fuente: <https://www.argentina.gob.ar>

Las demás materias primas necesarias sí se producen en el país, por ello se elaboró la Tabla 4.1 donde se discrimina por cada sustancia el nombre de la empresa productora y su ubicación.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 4.1 - Localización de las empresas productoras de NaOH, CO₂ y H₂SO₄. Elaboración propia.

Materia prima	Empresa	Ubicación
Hidróxido de sodio	ATANOR S.C.A.	Río Tercero, Córdoba
	Petroquímica Río Tercero S.A.	Río Tercero, Córdoba
	Petroquímica Bermúdez S.A.	Capitán Bermúdez, Santa Fe
	PPE ARGENTINA S.A.	Haedo, Buenos Aires
	SOLVAY INDUPA S.A.I.C.	Bahía Blanca, Buenos Aires.
	TRANSCOLOR S.A.	Pilar, Buenos Aires.
Ácido sulfúrico	Akzo Nobel Functional Chemicals S.A. (ex ICI Argentina)	San Lorenzo, Santa Fe
	AR ZINC S.A.	Fray Luis Beltrán, Santa Fe
	Dirección General de Fabricaciones Militares	Azul, Buenos Aires
		Río Tercero, Córdoba
		Villa María, Córdoba
	MERANOL S.A.C.I.	Dock Sud Avellaneda, Buenos Aires
Valentín Balcarce S.A.	Fátima, Buenos Aires	
Dióxido de carbono	PRAXAIR Argentina S.A.	Ricardo Rojas, Buenos Aires
	GASCARBO S.A.I.C.	El Talar, Buenos Aires
	Air Liquide Argentina S.A.	Santa Fe, Santa Fe
		Villa Constitución, Santa Fe
		Rosario, Santa Fe
		San Jorge, Santa Fe
		Martínez, Buenos Aires
		Ensenada, Buenos Aires

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

		Campana, Buenos Aires
		Bahía Blanca, Buenos Aires
		La Tablada, Buenos Aires
		Tandil, Buenos Aires
		San Nicolas, Buenos Aires
		Córdoba, Córdoba
		Río Cuarto, Córdoba
	Gas Carbónico Chiantore S.A.I.	Villa María, Córdoba

A partir de la información recopilada en la Tabla 4.1, se elabora la Imagen 4.2 la cual consiste en un mapa de Argentina mostrando la ubicación geográfica de cada una de las empresas. Los círculos representan a las fábricas de hidróxido de sodio, los rombos a las de ácido sulfúrico y las cruces a las de dióxido de carbono.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 4.2 - Ubicación geográfica de las empresas productoras de NaOH, CO₂ y H₂SO₄ en Argentina. Elaboración propia.

Se puede concluir que las tres provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires poseen fabricantes de las tres materias primas consideradas, por lo tanto, las tres ofrecen zonas muy favorables para la localización de nuestra planta respecto a la disponibilidad de materia prima. A partir de esto se elabora el mapa del método de cribado para el factor considerado que se muestra en la Imagen 4.3, donde las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires están sombreadas en negro debido a la mayor concentración de proveedores.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 4.3 - Disponibilidad de materias primas. Elaboración propia.

➤ Disponibilidad de zonas de consumo o mercados

Este factor es importante a la hora de considerar las distancias con el consumidor, ya que afecta directamente a los precios del transporte del producto y tiempos de entrega del mismo, los cuales también se reflejan en ventajas ante futuros competidores.

Los potenciales clientes de nuestro proyecto son los laboratorios farmacéuticos que elaboran medicamentos con AAS, a quienes se le vendería el fármaco a granel. Por lo tanto, para poder realizar el estudio de las zonas de consumo o mercados se realizó una investigación sobre cuáles son los laboratorios que emplean AAS como materia prima y donde se encuentran ubicados, esta información se muestra en la Tabla 4.2.

Como se mencionó en el capítulo de estudio de mercado, actualmente en el país hay disponible para su comercialización y consumo doce medicamentos que contienen como principio activo AAS puro, todos en formato de comprimidos de diferentes cantidades (mg) y otros quince

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

medicamentos que poseen AAS más otro principio activo, sumando un total de 13 laboratorios, excluido Bayer S.A. Argentina por las razones indicadas en el estudio de mercado.

Tabla 4.2 - Laboratorios que emplean AAS como materia prima. Elaboración propia.

Laboratorio	Ubicación
Laboratorios Vent-3 S.R.L.	Córdoba, Córdoba.
Savant Pharm S.A.	El Tío, Córdoba.
Laboratorios E. J. Gezzi S.R.L.	CABA, Buenos Aires.
ISA - Instituto Seroterápico Argentino S.A.I.C.	CABA, Buenos Aires.
GlaxoSmithKline S.A.	Victoria, Buenos Aires
TRB Pharma S.A.	CABA, Buenos Aires.
Laboratorios Sidus S.A.	Pilar, Buenos Aires
Sanofi-Aventis Argentina S.A.	Pilar, Buenos Aires
Laboratorios Biotenk S.A.	CABA, Buenos Aires.
Laboratorios Dr.Lazar & Cía. S.A.	Munro, Buenos Aires.
Genomma Laboratories Argentina S.A.	Vicente López, Buenos Aires.
Investi Farma S.A.	Vicente López, Buenos Aires
Ferrer Argentina S.A.	CABA, Buenos Aires.

Analizando la información recopilada en la Tabla 4.2 de los 13 laboratorios argentinos que emplean AAS como materia prima, un total de 11 se encuentran en la provincia de Buenos Aires y solamente 2 en la provincia de Córdoba. A partir de esto se elabora el mapa del método de cribado para el factor considerado que se muestra en la Imagen 4.4, donde la provincia de Buenos Aires está sombreada en negro debido a la mayor concentración de consumidores y Córdoba en gris.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 4.4 - Zonas de consumo o mercados. Elaboración propia.

Por lo tanto, se puede concluir que la provincia argentina más favorable respecto al factor considerado es Buenos Aires. Pero como dicha provincia es demasiado extensa, se puede reducir en la zona al Noreste de la misma comprendida entre el parque industrial de Pilar y CABA, ya que esta zona abarca todos los sitios donde se encuentran los consumidores de AAS. En la Imagen 4.5 se muestra la provincia bonaerense con dicha zona delimitada y la Imagen 4.6 es una ampliación de la misma que muestra la ubicación de cada laboratorio marcada con una cruz.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 4.5 - Provincia de Buenos Aires con la zona donde se concentran los consumidores de AAS delimitada. Elaboración propia.

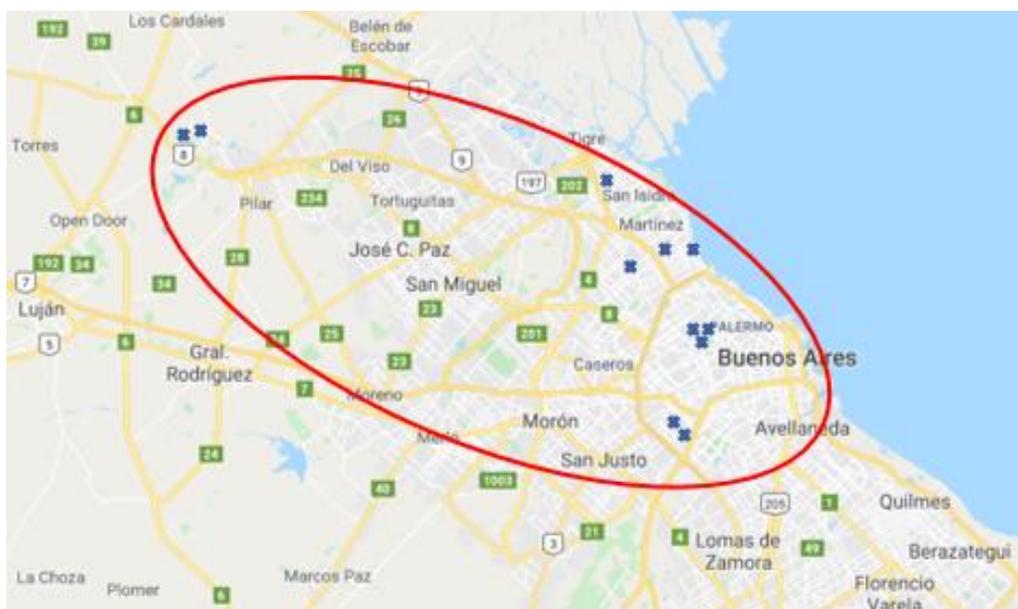


Imagen 4.6 - Ampliación de la zona delimitada en la Imagen 4.5 y ubicación de los laboratorios. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los dos factores considerados hasta el momento, si se observan los dos mapas elaborados mediante el método de cribado se concluye que la provincia de Buenos Aires es la que ofrece las mejores posibilidades para la localización de nuestra planta, principalmente

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

la zona delimitada en la Imagen 4.5 y 4.6, ya que además de la concentración de los laboratorios consumidores también hay en la misma zona proveedores de las materias primas y puertos. En la Imagen 4.7 se muestra la localización de estas últimas en la misma zona, pero en un radio un poco más amplio para abarcar algunos proveedores más. Los círculos representan a las fábricas de hidróxido de sodio, los rombos a las de ácido sulfúrico y las cruces a las de dióxido de carbono.

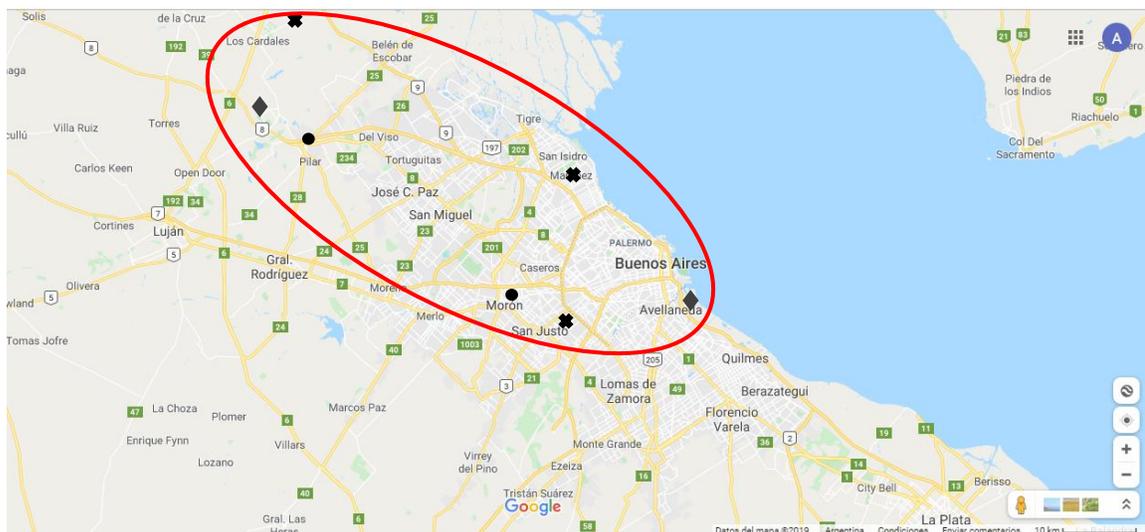


Imagen 4.7 - Localización de los fabricantes de materias primas en la misma zona que se encuentran los clientes de AAS. Elaboración propia.

➤ Otros

Respecto a los otros factores generales importantes para la ubicación de la planta tales como disponibilidad de transportes, de mano de obra y de parques industriales se mencionarán en base a la provincia de Buenos Aires.

Considerando el primer factor, el transporte en Argentina está basado en una amplia red de carreteras, frecuentadas diariamente por camiones de carga y donde todas las capitales provinciales se encuentran interconectadas por rutas asfaltadas. Además, también cuenta con un sistema ferroviario que posee trenes de carga conformados por 71 locomotoras y 5176 vagones en funcionamiento que tienen acceso a algunos puertos. La provincia de Buenos Aires posee una gran disponibilidad en cuanto a las diversas alternativas y capacidad de transporte junto a las provincias de Santa Fe y Córdoba, ya que en estas se concentran las principales industrias del país con la necesidad de contar con transporte eficiente. Es importante analizar las distancias para llevar la materia prima a la planta y el producto terminado a los consumidores, para tener en cuenta los costos de envío.

En cuanto al segundo factor, según el último Censo Nacional de Población realizado en Argentina el 27 de octubre de 2010 y llevado a cabo por el INDEC, la provincia de Buenos Aires cuenta con Bonetto, Tomás – Vico, Ana Paula – Zanatta, María Paz

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

15.625.083 habitantes más otros 2.890.151 que corresponden a la CABA, siendo la más poblada del país y mostrando una tasa de crecimiento respecto al censo del 2001 del 13.0% para la provincia y del 4.1% para la CABA. Además, el porcentaje de alfabetización es del 98.63% y 99.52%, respectivamente. Por lo tanto, Buenos Aires cuenta con gran disponibilidad de mano de obra de calidad.

Respecto al tercer factor la provincia argentina considerada cuenta con un total de 70 parques industriales, según el Listado de Parques Industriales inscriptos en el RENPI actualizado al 01/03/2018 realizado por Ministerio de Producción de la Nación Argentina, de los cuales 22 se encuentran en la zona delimitada más favorable para nuestro proyecto, como se muestra en la Imagen 4.8. Por lo tanto, se puede afirmar que en cuanto a este factor no habría inconvenientes. Es importante contar con parques industriales en donde localizar la planta ya que estos cuentan con una infraestructura adecuada porque organizan los lotes, los servicios, la circulación, el cuidado del medio ambiente y facilitan la operatoria diaria de las empresas; además permiten una inversión eficiente en servicios porque al estar en una misma área predeterminada hay un ahorro en la inversión de la infraestructura base; y los cercos perimetrales, así como los procedimientos comunes de controles de accesos facilitan la seguridad.



Imagen 4.8 - Parques industriales en la zona delimitada. Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

4.3. MICRO LOCALIZACIÓN

4.3.1. Método de las puntuaciones ponderadas

Este método que aquí se presenta realiza un análisis cuantitativo en el que se compararán entre sí las diferentes alternativas para conseguir determinar una localización válida. El objetivo del estudio no es buscar una localización óptima sino una aceptable.

En base a toda la información recopilada y analizada en la macro localización se determinó que los parques industriales más favorables para el proyecto, cuya ubicación se muestra en la Imagen 4.9, son:

1. Parque industrial Campana.
2. Parque industrial Pilar.
3. Parque industrial Newton.

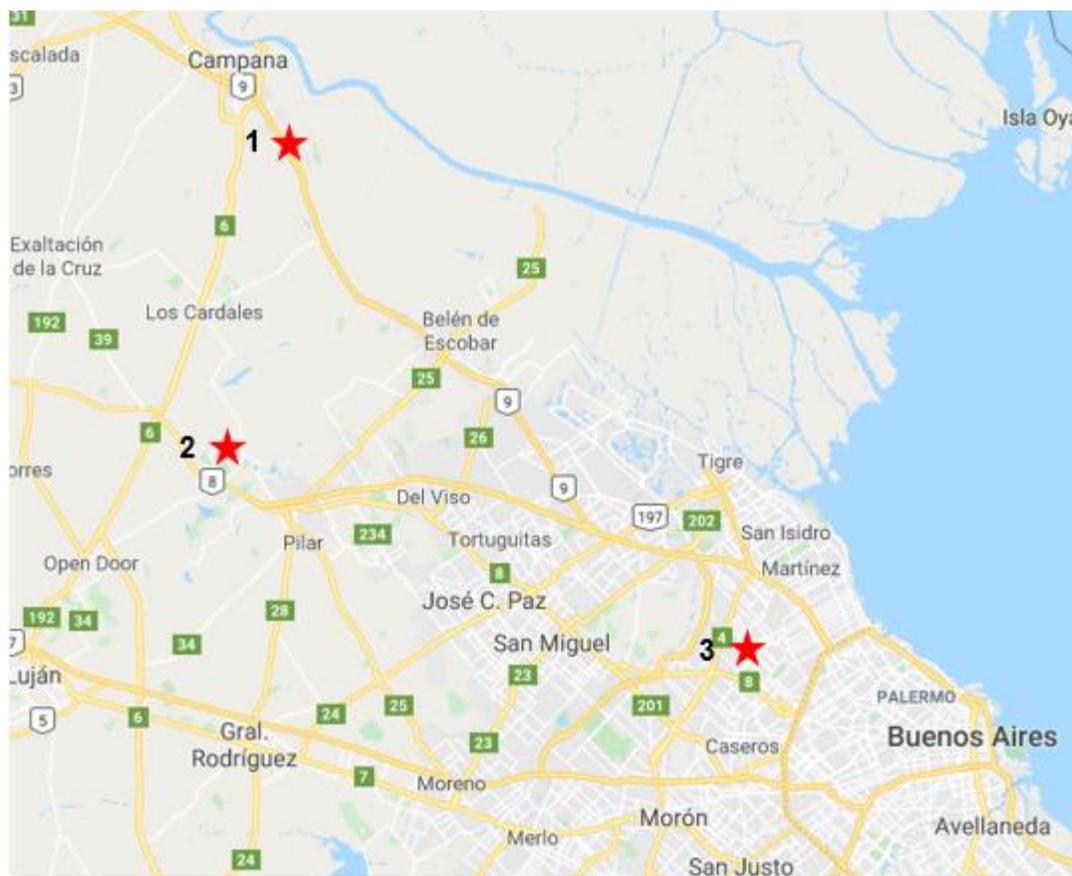


Imagen 4.9 - Localización de parques industriales a evaluar. Elaboración propia.

Este método consiste en ponderar de acuerdo a su importancia los factores que se deben tener en cuenta para la ubicación de la planta, de tal forma que la sumatoria de todas las ponderaciones sea igual a 1.000. Luego se le asigna una puntuación a cada región para cada uno de los factores, en porcentaje, siendo el 100% el máximo valor. Estos porcentajes asignados se multiplican por

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

las ponderaciones correspondientes. Finalmente, la sumatoria de los puntos de todos los factores para cada región da un valor, el mayor de ellos indica la región más adecuada.

En esta fase se recoge toda la información acerca de cada localización para medirla en función de cada uno de los factores considerados, cuyo desarrollo se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 – Método de las puntuaciones ponderadas para la localización más favorables.

Factores	Ponderación	Campana		Pilar		Newton	
		%	Puntos	%	Puntos	%	Puntos
Disponibilidad de materias primas	250	80	200	85	212.5	75	187.5
Consumidores	200	60	120	70	140	90	180
Cercanía a puertos	200	90	180	50	100	70	140
Beneficios del parque	100	100	100	90	90	90	90
Costo del terreno	50	80	40	70	35	60	30
Disponibilidad de transporte	150	85	127.5	75	112.5	75	112.5
Total	1000		767.5		690		740

Mediante la implementación de este método se logra identificar que la ubicación más adecuada es el parque industrial de Campana, el cual cuenta con los siguientes servicios:

- Desagües pluviales e industriales.
- Red de energía eléctrica y de gas.
- Recursos hídricos.
- Red de caminos pavimentados y vías de comunicación.
- Régimen de desgravación impositiva.
- Red fluvial y ferroviaria.

Este parque industrial cuenta con ferrovías que enlazan con CABA y provincias vecinas, tiene entrada a los puertos locales. También posee un Régimen de Desgravación Impositiva, que beneficia a las empresas que allí se radican, contando con la posibilidad de Desgravación Impositiva que le ofrece la Ley 10.547 de Promoción Industrial de la Provincia de Buenos Aires. Esta permite hasta diez (10) años de exención de pago de Impuestos de Ingresos Brutos e Inmobiliario básico y otros beneficios. La municipalidad de Campana, adhiere a esta ley, con exención de pago de tasas, derechos e impuestos municipales que gravan la actividad industrial en el Partido. Respecto a la red fluvial, a través del río Paraná, vincula con los puertos de Rosario

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

y Buenos Aires. Los puertos locales admiten buques de gran calado. El abastecimiento de agua se hará por medio de una perforación por cada parcela, con un caudal medio de explotación de 10 m³/hora. La totalidad de las parcelas cuenta con conductos subterráneos que reciben los efluentes líquidos industriales, previamente tratados.

En la Imagen 4.10 se muestra una vista satelital de la ciudad en cuestión con la ubicación de los puertos y del parque industrial remarcado en rojo.

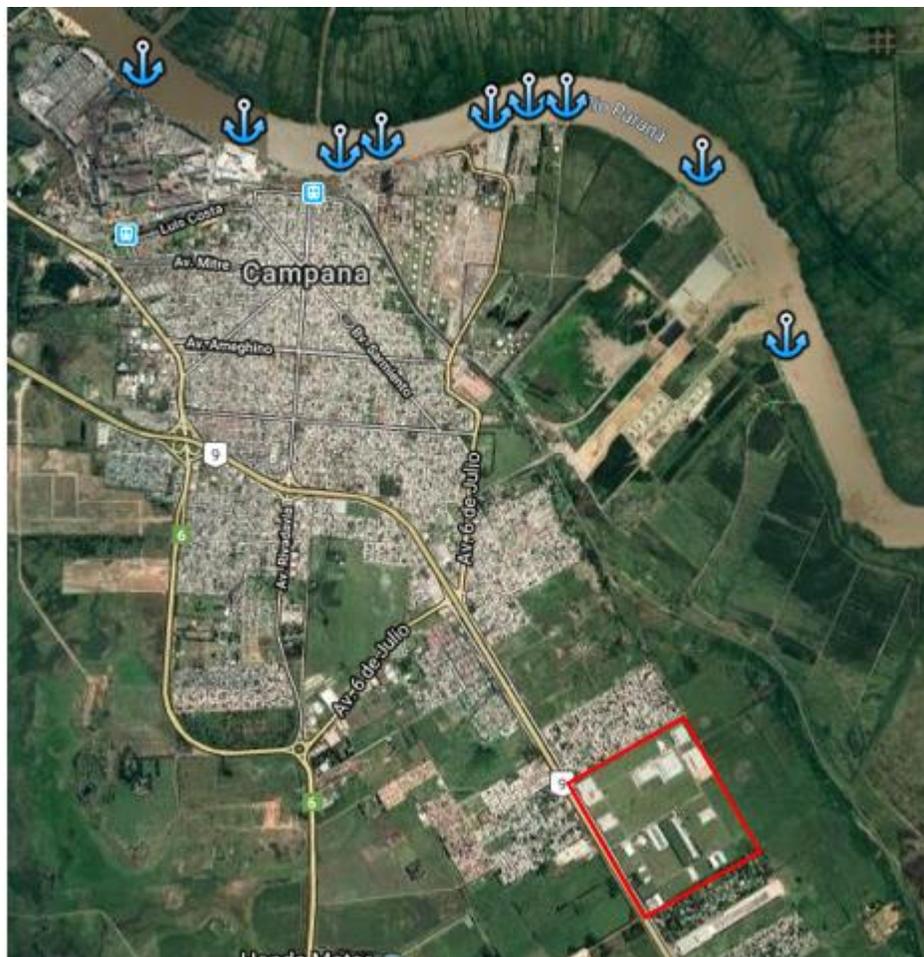


Imagen 4.10 - Vista satelital de la ciudad de Campana.

En la Imagen 4.11 se muestra la división de las parcelas con sus respectivas dimensiones, diferenciando las ocupadas de las disponibles. Y remarcado en rojo el terreno seleccionado para nuestra planta, que posee 8.550 m² de superficie con 90 m por 95 m. El cual se considera adecuado por tener a sus alrededores terrenos utilizables en caso de una eventual ampliación a futuro.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

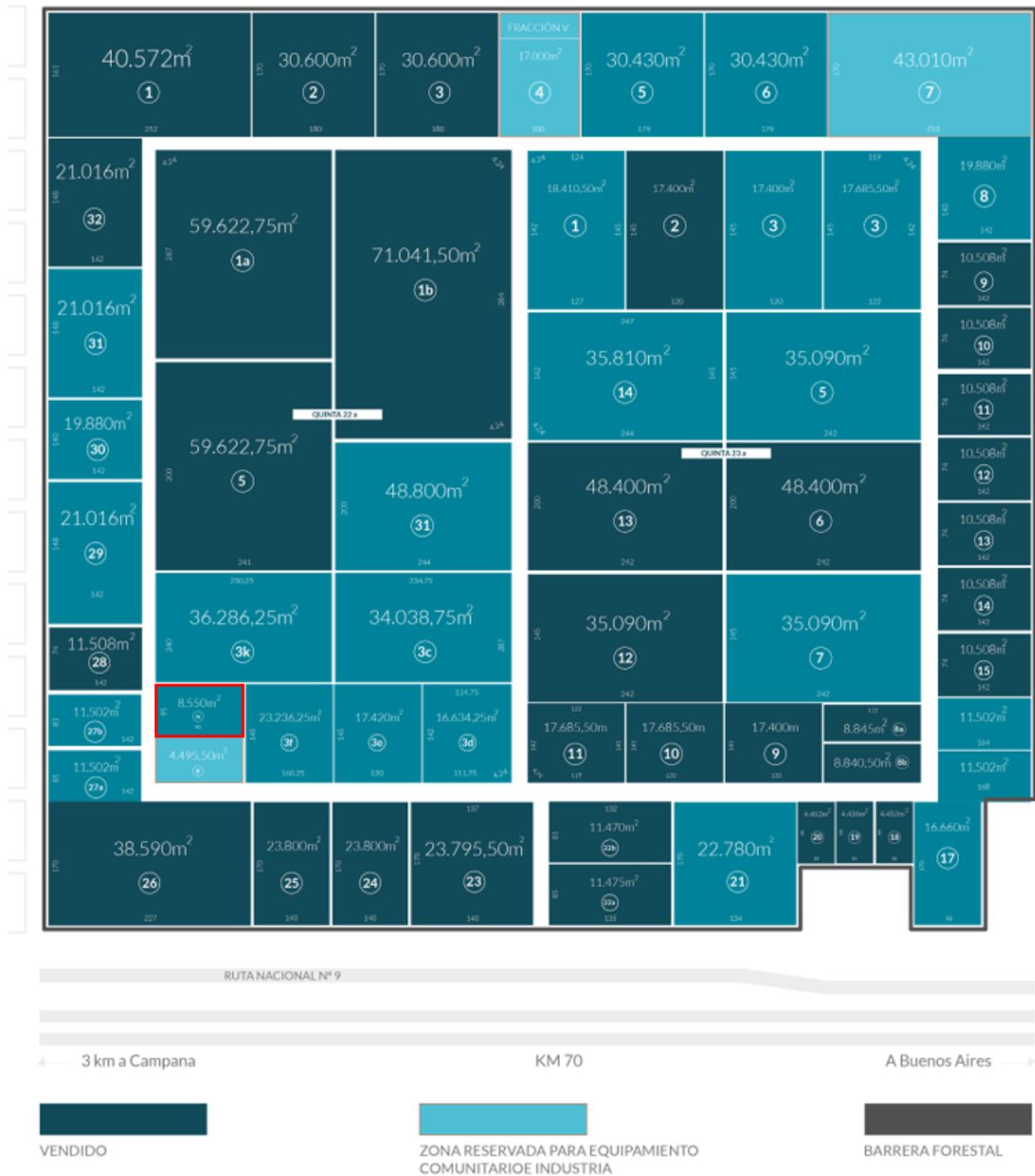


Imagen 4.11 - Selección del terreno para la ubicación de la planta.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

4.4. CONCLUSIÓN

Se escoge como el más adecuado al lote ubicado en el Parque Industrial Campana, el cual se posiciona sobre la Ruta Nacional N°9 km 70.4, Campana, Buenos Aires, Argentina. Cuenta con la ventaja de un rápido acceso a la autopista que vincula a las ciudades de Buenos Aires, Rosario y Córdoba, favoreciendo al transporte y distribución del AAS; además de las facilidades que ofrecen las vías fluviales y férreas.

La disposición de materias primas es otro factor importante, ya que las que se producen y compran en el país no se encuentran en un radio mayor a 30 kilómetros, y la cercanía al puerto permite adquirir los insumos provenientes de otros países de manera más rápida y sencilla. El lote cuenta con todos los servicios y una buena oferta de mano de obra especializada en la zona.

*CAPACIDAD DE LA
PLANTA*

CAPÍTULO 5

5. CAPACIDAD DE LA PLANTA

5.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo del proyecto es la definición de su tamaño, siendo la capacidad instalada la forma de representarlo. Se entiende por capacidad, el volumen de producción o número de unidades que puede producir una instalación en un período de tiempo específico. Determinar la capacidad de planta en términos de producción sirve para facilitar la toma de decisiones respecto al equilibrio entre instalaciones, equipamiento y fuerza de trabajo. Además de determinar los requerimientos de capital, la capacidad de la planta indicará si se podrá satisfacer la demanda. Si la instalación es demasiado grande, algunas de sus áreas estarán ociosas y agregarán costos a la producción existente, si es demasiado pequeña, se perderán clientes y quizá mercados.

El estudio de mercado provee información para la estimación de la demanda futura, y que sirve como referencia para la determinación del tamaño de un proyecto. La demanda actual y futura debe ser satisfecha por el tamaño de la planta a diseñar, ya que si esto no ocurre se perderán oportunidades para generar beneficios y crecimiento.

5.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TAMAÑO DE LA PLANTA

Generalmente la variable más importante y que define la dimensión del proyecto es el mercado, aunque no es posible tomar una decisión basada exclusivamente en este factor. Complementariamente debe evaluarse la tecnología, la disponibilidad de insumos, la localización y el financiamiento del proyecto, entre otros factores.

➤ Demanda del producto

Para medir la influencia del mercado se define la función demanda a la cual se enfrenta el proyecto y se analizan sus proyecciones futuras. El tamaño no debe responder a una situación de corto plazo, sino que debe optimizarse frente al dinamismo de la demanda, esto hace recomendable definir un tamaño superior al necesario para cubrir la demanda futura, pero adecuado a las expectativas de crecimiento.

➤ Disponibilidad de materia prima

Entre los factores fundamentales que determinan la ubicación de un proyecto están el mercado del producto y la localización de las materias primas. Por lo tanto, para el abastecimiento de materias primas, deben tenerse en cuenta su cercanía y disponibilidad, así como la variedad de

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

los proveedores, si hubiera más de uno. En nuestro proyecto algunas de las materias primas más importantes son importadas, que son el anhídrido acético y el fenol.

Si se considera que algún insumo puede no estar disponible en la cantidad deseada, esto limita la capacidad de uso del proyecto a la disponibilidad de dicho insumo, elevando además los costos. Por ello es preciso analizar los niveles de recursos existentes en el momento que se realiza el estudio y los que se esperen a futuro. Los requerimientos cuantitativos de materias primas e insumos están determinados por el programa de producción y por el porcentaje de utilización de capacidad instalada. Mientras más se utiliza la capacidad instalada, menos es el costo de fabricación unitario, ya que los gastos fijos se prorratan entre un mayor número de productos.

Además, en cuanto a los costos, si bien el volumen de materia prima consumida varía proporcionalmente con la producción, los requerimientos de mano de obra y capital aumentan menos que proporcionalmente respecto al producto, de manera que puede resultar más barato producir mayores cantidades de producto. Lo mismo ocurre con los gastos de distribución y ventas, que varían en relación menos que proporcional frente a los cambios de producción.

➤ Tecnología y financiamiento

Otra variable que condiciona el tamaño del proyecto es el proceso tecnológico, que muchas veces impone una escala de producción mínima, que en algunos casos puede ser mayor a la capacidad de uso planeada y que por lo tanto eleva los costos de operación a niveles que pueden hacer recomendable el abandono del proyecto.

A largo plazo, el uso de la tecnología llevará a conseguir mejoras en la eficiencia y productividad, y en muchos casos a reducir los costos. En el corto plazo, la adquisición e instrumentación de la tecnología resultan en un incremento significativo en los costos. Aquí se nota que la tecnología que se usará para lograr el desarrollo de nuestro producto dependerá en gran medida de nuestra capacidad de financiamiento.

5.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD

El tamaño de un proyecto es su capacidad instalada, y se expresa en unidades de producción por año. La decisión que se tome con respecto al tamaño de la planta determinará el nivel de operación en base al cual, finalmente, se estimarán los ingresos por ventas.

En este proyecto para realizar la determinación de la capacidad se considera la demanda a satisfacer futura, por lo tanto, debe optarse por tomar un tamaño inicial lo suficientemente grande que pueda responder al crecimiento del mercado en el tiempo. Debido a esto, inicialmente se comienza con una capacidad ociosa de producción, la cual irá disminuyéndose a través de los

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

años hasta que la capacidad de trabajo alcance la máxima calculada, por eso la determinación del tamaño se realiza en base a la proyección de la demanda, y de su tasa estimada de crecimiento.

5.3.1. Proyección de la demanda del producto

Con los datos obtenidos y analizados de la demanda insatisfecha en el capítulo del estudio de mercado, se muestra en el Gráfico 5.1 la proyección de la misma a 10 años. Con la cual, por medio de una regresión lineal se obtiene la Ecuación 5.1, que es la relación matemática utilizada para calcular los valores futuros de la demanda a satisfacer. Dichos resultados se manifiestan en la Tabla 5.1 y, además, en la misma se calcula el porcentaje de crecimiento de un año al siguiente, para obtener la tasa estimada de crecimiento promedio de la demanda en el periodo considerado.

$$y = 860,2x + 56479$$

Ecuación 5.1 - Función de la demanda insatisfecha.

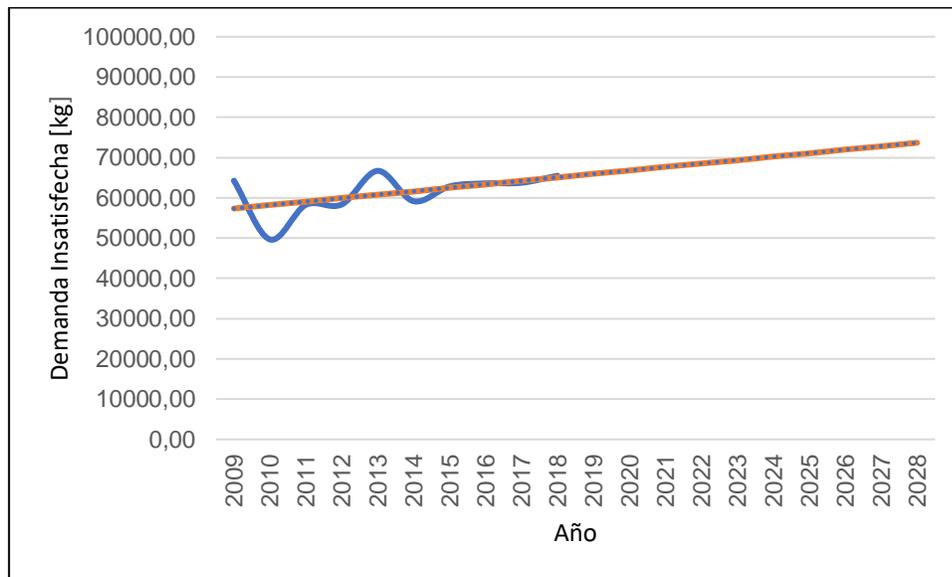


Gráfico 5.1 - Proyección de la demanda insatisfecha.

Tabla 5.1 - Demanda a satisfacer futura y tasas de crecimiento.

Año	Demanda de AAS [kg]	% Crecimiento
2018	65.081,0	
2019	65.941,2	1,32%
2020	66.801,4	1,30%
2021	67.661,6	1,29%
2022	68.521,8	1,27%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

2023	69.382,0	1,26%
2024	70.242,2	1,24%
2025	71.102,4	1,22%
2026	71.962,6	1,21%
2027	72.822,8	1,20%
2028	73.683,0	1,18%
% Crecimiento promedio		1,25%

A partir de los datos expuestos, se estimó una tasa de crecimiento promedio de la demanda de AAS de 0,0125.

5.3.2. Cálculo de la capacidad óptima

El tamaño óptimo de un proyecto será aquel que permita mantener al mínimo los costos totales durante la vida útil estimada de los equipos a utilizar. Se calcula el tamaño de la planta con demanda creciente empleando las Ecuaciones 5.2 y 5.3, las cuales determinan el número de años en que se desarrolla el mercado desde que inicia la producción de la empresa. La demanda que se observa en el periodo en que el mercado llega a su desarrollo óptimo es la que determina el tamaño (Chain & Chain, 1989).

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

Ecuación 5.2

$$R = 1 + r$$

Ecuación 5.3

R = Desarrollo porcentual de la demanda.

α = Exponente del factor de escala.

N = Vida útil del equipo.

n = Período óptimo.

r = Tasa de crecimiento estimada del mercado.

Para el caso de nuestro proyecto r es igual a 0,0125, reemplazando este valor en la Ecuación 5.3 se obtiene un R de 1,0125.

Por convención se toma una vida útil de 10 años para N, el cual coincide con los años analizados para el proyecto.

El factor de escala tiene un valor de 0,65, el cual se encuentra tabulado en una lista generada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el Boletín N°20, calculado para las

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

industrias química, alimenticias, farmacéuticas, petroquímicas y automovilísticas. (ONU, Boletín N°20, “Industrialización y Productividad”).

Con los valores establecidos de los parámetros, en primera instancia se calcula el valor de n con la Ecuación 5.2, que es el período óptimo al que corresponde el tamaño del proyecto y se obtiene un valor de 9,26.

Una vez calculado el período óptimo, se incorpora en la Ecuación 5.4 para determinar la capacidad de la planta.

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

Ecuación 5.4

D_0 = Magnitud del mercado actual.

D_n = Tamaño de la planta.

Este procedimiento solo considera la restricción del mercado. La Tabla 5.2 resume los valores de las variables utilizadas y los resultados calculados para cada una de ellas.

Tabla 5.2 - Resumen de valores de los parámetros.

Variable	Resultado
r	0,0125
R	1,0125
α	0,65
N	10
n	9,26
D_0	65081 kg
D_n	72110 kg

Se obtiene como resultado final un valor óptimo de capacidad de la planta en cuanto a la producción de 72110 kg/año, el cual será el nivel de operación máximo para el año 10 con un crecimiento promedio de 1,25% anual para el periodo establecido. Se considera que esta capacidad anual incluye las pérdidas globales de un 3%, siendo la producción máxima de 70010 kg/año.

*SELECCIÓN Y
DESCRIPCIÓN DEL
PROCESO*

CAPÍTULO 6

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

6.1. INTRODUCCIÓN

Desde que se descubrió la Aspirina® ésta ha generado gran conmoción, pues el ser humano se ha visto en la necesidad de aliviar las dolencias que padece. Hasta ahora no existe ningún otro medicamento que logre suplantarla, ya que las propiedades de esta sustancia satisfacen las necesidades del hombre en distintas áreas.

El ácido acetilsalicílico (AAS) es un compuesto sintético, por lo que no está presente en la naturaleza y su única forma de producción es mediante la reacción química entre el ácido salicílico (AS) y el anhídrido acético (Ac_2O) en medio ácido. El método de obtención puede variar en cuanto a la manera de elaborar el AS, y aunque existen muchas vías para obtener dicha sustancia, la mayoría de ellas han quedado a escala laboratorio solamente.

En el presente capítulo se hará una breve mención de los métodos de obtención del AS, para luego presentar y describir detalladamente el único proceso de producción industrial que se ha empleado desde los inicios para la creación del AAS, en el cual se obtiene el AS a partir del fenol y del dióxido de carbono (CO_2), como materias primas principales. Este proceso es el que emplearemos en nuestro proyecto, ya que ha dado resultados positivos y no se ha encontrado uno que lo supere actualmente.

6.2. VÍAS DE OBTENCIÓN DE ÁCIDO SALICÍLICO

6.2.1. Extracción de la salicina del sauce blanco

El procedimiento consiste en aislar de la corteza del sauce blanco un extracto activo llamado salicina, denominado así a partir del nombre latino de dicho árbol (*Salix alba*). La salicina es un glucósido β -alcohólico que, mediante una reacción de hidrólisis, se descompone en sus dos partes principales: glucosa y alcohol salicílico. Luego el alcohol se separa para someterlo a una reacción de oxidación con un oxidante fuerte, obteniendo así el ácido salicílico. El alcohol salicílico se obtiene a partir de la salicina por hidrólisis ácida o enzimática.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

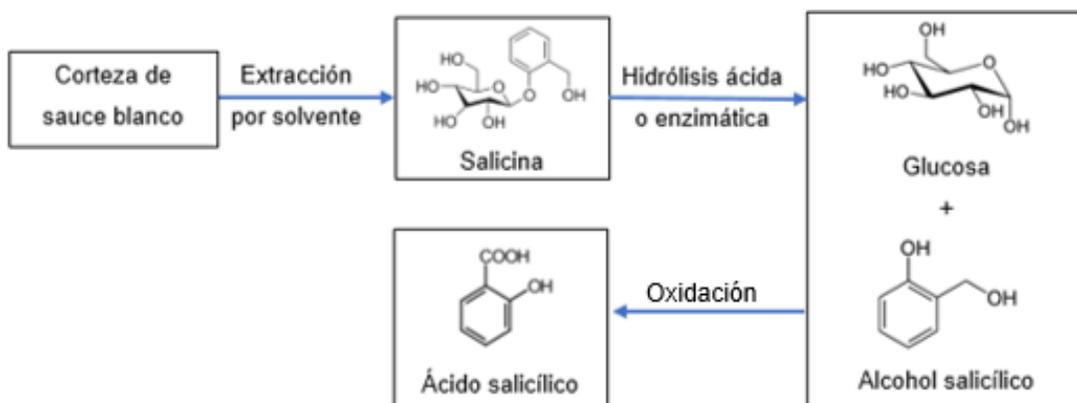


Imagen 6.1 - Obtención de AS a partir de la corteza del sauce blanco. Elaboración propia.

6.2.2. A partir de salicilaldehído con hidróxido de potasio

Éste camino resulta muy rudimentario si se tiene en cuenta que para producir el salicilaldehído se parte del fenol e hidróxido de sodio (NaOH), para dar fenolato de sodio, que se tiene que hacer reaccionar primero con cloruro de metilo (CHCl_2) y luego con ácido sulfúrico (H_2SO_4).

A partir de éste salicilaldehído, se obtiene el ácido salicílico y el alcohol salicílico, luego de haber reaccionado con el hidróxido de potasio. Tomando en cuenta lo expuesto, el proceso resulta muy largo y, por lo tanto, más caro, aparte de presentar un rendimiento bajo, de aproximadamente un 60%. Por estas razones es que nunca se implementó en la industria (Jimenez Lopéz & Sandoval Garcia, 1986).

6.2.3. A partir de fenol, hidróxido de potasio y dióxido de carbono

Haciendo reaccionar el fenol con el hidróxido de potasio (KOH) en cantidades equimolares, se obtiene fenóxido o fenolato de potasio. Este producto resultante se hace reaccionar con gas carbónico a una presión de 20 atmósferas y 200°C de temperatura, obteniéndose la sal potásica llamada salicilato de potasio. Dicha sal se somete a una acidulación con ácido sulfúrico, obteniéndose un 40% de ácido salicílico y un 60% ácido parahidroxibenzoico. Esto se debe al tamaño del radio atómico del potasio, que al ser mayor que el de sodio, hace que el grupo funcional COOK se oriente en la parte más lejana de la molécula del grupo OH, ósea en la posición para. Por ello, se obtiene mayor cantidad de ácido parahidroxibenzoico en lugar de ácido ortohidroxibenzoico (AS). Su bajo rendimiento es la causa por la que no se llevó nunca a escala industrial (Jimenez Lopéz & Sandoval Garcia, 1986).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

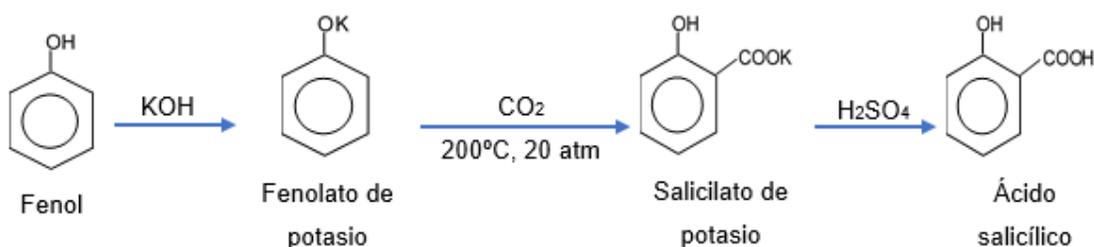


Imagen 6.2 - Obtención de AS a partir de fenol y KOH. Elaboración propia.

6.2.4. A partir de fenol, hidróxido de sodio y dióxido de carbono

A partir de fenol y sosa, se obtiene fenóxido o fenolato de sodio. Para obtener la sal de sodio (salicilato de sodio), se sigue la misma secuencia que cuando se emplea hidróxido de potasio (apartado 6.2.3), únicamente van a variar las condiciones de operación que son: 140-160°C de temperatura y 5-6 atmósferas de presión, pero obteniéndose un rendimiento de aproximadamente el doble, y es el proceso que se utiliza hasta hoy día (Jimenez López & Sandoval Garcia, 1986).

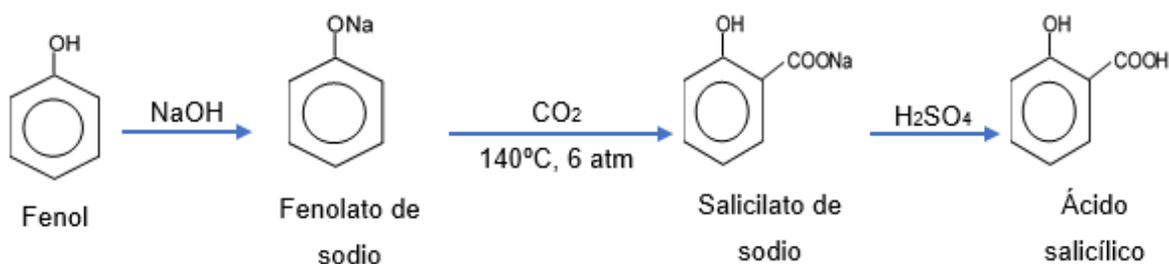


Imagen 6.3 - Obtención de AS a partir de fenol y NaOH. Elaboración propia.

6.3. SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

De todos los métodos mencionados en la sección 6.2 para la obtención de AS, el único que fue implementado en la industria es el que utiliza como materia prima fenol, hidróxido de sodio y dióxido de carbono (6.2.4). Esto se debe a sus mayores rendimientos y sus menores costos de producción.

Las demás vías de síntesis de AS descritas han quedado en escala laboratorio, poseen bajos rendimientos y no son económicamente rentables para la elaboración en grandes cantidades. Debido a esto es que se optó por el método 6.2.4 para el desarrollo de nuestro proyecto porque es el único que tiene antecedentes de producción industrial y de factibilidad económica.

6.4. PROCESO INDUSTRIAL DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Para obtener AAS se realiza un proceso de acetilación, en la reacción se introduce un grupo acetilo en el AS, siendo el anhídrido acético el agente acetilante. Este AS se obtiene a partir de una serie de reacciones consecutivas del fenol con hidróxido de sodio, dióxido de carbono y ácido sulfúrico, como se indicó en el apartado 6.2.4.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

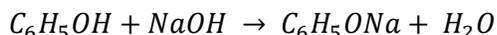
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6.4.1. Reacciones

Las principales reacciones que intervienen en la formación de AAS son las siguientes:

- Obtención de fenolato de sodio

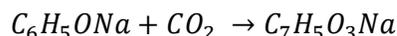
Esta primera etapa tiene una elevada velocidad de reacción, por lo que se considera instantánea a cualquier temperatura. Es posible obtener una conversión completa, aunque los reactivos estén en proporción estequiométrica, pero se emplea un leve exceso de hidróxido de sodio.



Ecuación 6.1 - Obtención de fenolato de sodio.

- Reacción de carboxilación o de Kolbe-Schmitt

El fenóxido o fenolato de sodio obtenido en la Ecuación 6.1 reacciona con dióxido de carbono gaseoso, produciéndose la reacción de carboxilación, que es exotérmica y se lleva a cabo a una temperatura de 140-160°C con 5-6 atmosferas de presión, obteniendo salicilato de sodio con una conversión del 87-97%. Los fenolatos no reaccionados, bajo las condiciones de operación, se convierten en fenol y en salicilato disódico, que deben ser separados como subproductos.



Ecuación 6.2 - Obtención de salicilato de sodio.

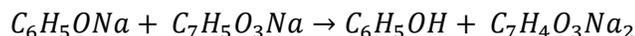
La reacción de Kolbe-Schmitt es un procedimiento estándar para la preparación de una amplia variedad de hidroxiácidos aromáticos, como lo es el AS. Su nombre se debe a los dos químicos alemanes que la descubrieron, primero Adolph Kolbe (1860) fue quien logró preparar AS calentando una mezcla de fenóxido de sodio en presencia de CO₂ a presión atmosférica, pero con rendimientos menores al 50%. Luego Rudolf Schmitt (1884) realizó una modificación de la reacción de Kolbe, en la que la carboxilación se llevó a cabo a presiones más elevadas y produjo rendimientos muy mejorados (Lindsey & Jeskey, 1957).

A pesar de los grandes esfuerzos y las numerosas hipótesis propuestas por varios investigadores para dilucidar el mecanismo de reacción de Kolbe-Schmitt, este tema sigue sin resolverse. Se ha propuesto desde la formación y reorganización de innumerables compuestos intermedios hasta una sustitución directa, pero hasta la actualidad no se ha confirmado ninguno de ellos (Stanescu & Achenie, 2006).

Bajo las condiciones antes descritas, tiene lugar una reacción secundaria, Ecuación 6.3, donde el fenolato de sodio que no reacciona con el CO₂ lo hace con una molécula de salicilato de sodio para dar lugar a la formación de fenol y salicilato disódico en cantidades equivalentes como subproductos. Dicha sal disódica es la que posteriormente, en la etapa de acidificación con H₂SO₄, genera los ácidos p-hidroxibenzoico (PHB) y 4-hidroxiisoftálico (4-HIF) (Ullmann, 2016).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

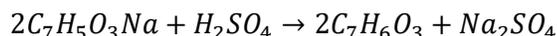
Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Ecuación 6.3 - Reacción secundaria con formación de subproductos.

➤ Reacción de precipitación

En esta reacción, también instantánea, el salicilato de sodio obtenido se homogeniza con ácido sulfúrico al 60% p/p en un tanque de precipitación. El ácido ataca al salicilato de sodio, formándose sal de sulfato de sodio y ácido salicílico; este último precipita en forma de cristales debido a su baja solubilidad en agua.



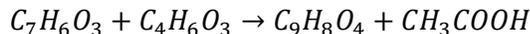
Ecuación 6.4 - Obtención de ácido salicílico.

Para la precipitación de AS a partir de una solución acuosa de salicilato de sodio se debe adicionar un ácido inorgánico fuerte en una cantidad al menos igual a la cantidad estequiométrica con respecto al salicilato de sodio. Se puede usar cualquier ácido capaz de liberar AS de su sal, como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ácido fosfórico. Debido al costo y a los factores de corrosión más bajos, generalmente se prefiere ácido sulfúrico (Cocco R., 1989).

➤ Reacción de acetilación

Esta es la última reacción del proceso y no requiere de parámetros especiales, se puede trabajar a condiciones normales sin problemas, obteniendo una conversión alta, superior al 90%. Aquí el AS obtenido reacciona con anhídrido acético en exceso en medio ácido para dar el AAS junto con ácido acético como subproducto. La reacción ocurre a presión atmosférica y a una temperatura de operación de 90°C (Cavin, 2002).

Una de las características especiales de esta reacción es el aumento de volumen del producto respecto los reactivos, que llega a ser tres veces mayor al final de la reacción.



Ecuación 6.5 - Obtención de ácido acetilsalicílico

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6.4.2. Proceso

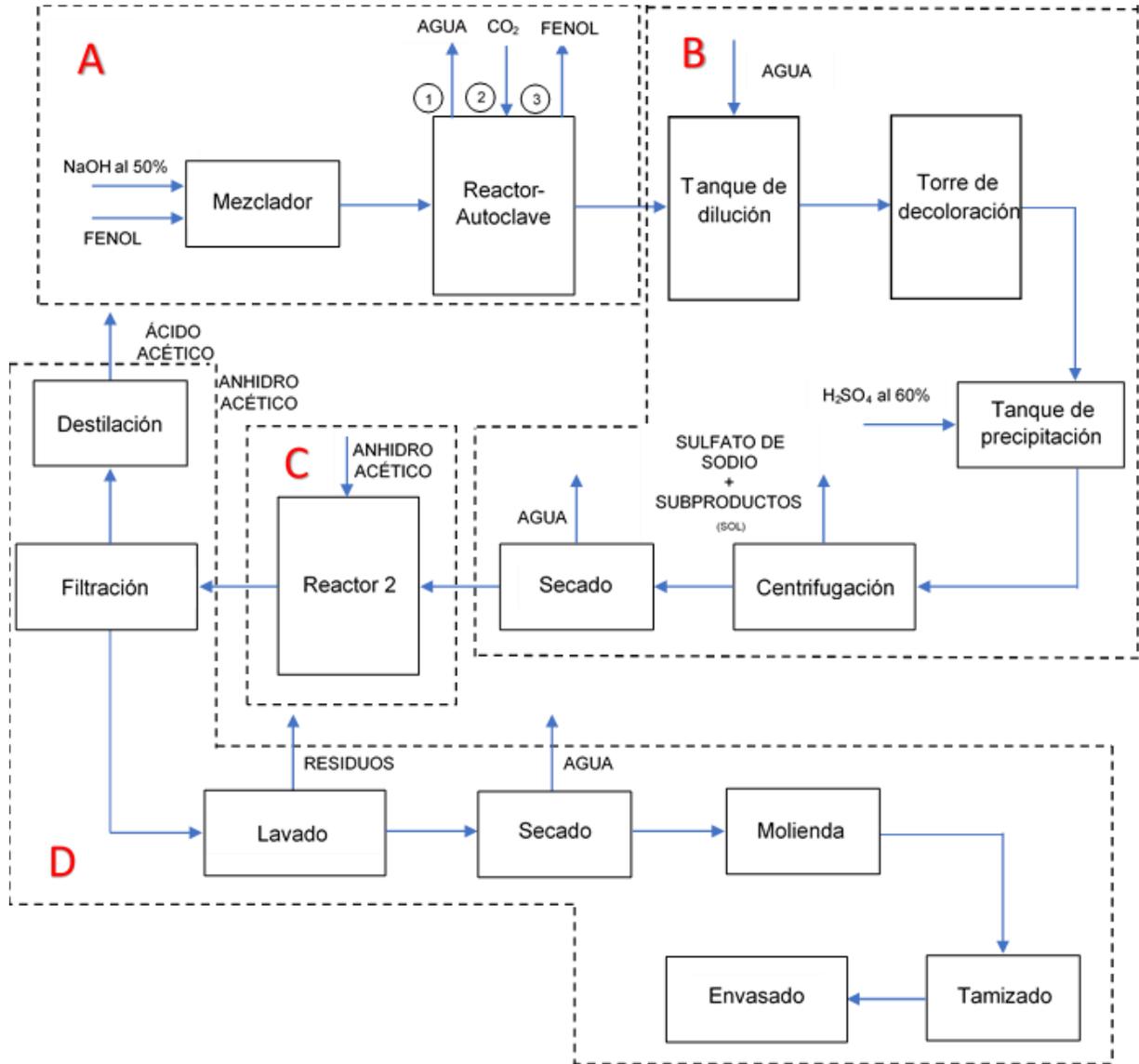


Imagen 6.4 - Diagrama de flujo del proceso. Elaboración propia.

6.5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO

En este apartado se realiza una descripción detallada del proceso, especificando las etapas y corrientes con sus respectivos parámetros de operación, dividiendo el diagrama de flujo en cuatro secciones, como se indica en la Imagen 6.4, para facilitar su interpretación.

6.5.1. Sección A: Reacción de Kolbe-Schmitt

El proceso comienza con el ingreso de una solución de soda caústica al 50% en peso y fenol puro dentro de un mezclador para dar lugar a la reacción de la Ecuación 6.1, que es la de formación del fenóxido de sodio. La base se agrega con un exceso del 1-2% molar con respecto a la cantidad

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

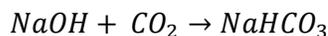
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

estequiométrica; esta etapa tiene un tiempo de reacción de 30 minutos (Jimenez López & Sandoval Garcia, 1986).

El siguiente equipo es un reactor también llamado autoclave debido a la función que desempeña. El mismo está provisto de un encamisado, que sirve como sistema de calefacción y enfriamiento, cuenta con un equipo generador de vacío y un agitador, además de todos los accesos de entrada y salida de materias primas, productos y subproductos, e instrumentos de medición de los diferentes parámetros de operación, como lo son la presión y la temperatura.

El fenolato de sodio en solución se precalienta a 60°C en el primer mezclador y pasa a este reactor, donde se elimina el agua por evaporación, calentando hasta 100°C a presión atmosférica, logrando un producto sólido con un contenido de agua entre el 1-5 % en peso.

El uso de fenóxido de sodio o CO₂ en presencia de un gran contenido de humedad en la síntesis del salicilato de sodio conduce a rendimientos más bajos del producto. Esto se debe a que ocurre la hidrólisis de la sal metálica a fenol y NaOH, y la introducción del CO₂ en estas condiciones solo conducirá a la formación de bicarbonato de sodio (NaHCO₃), mientras que el fenol no se ve afectado, como se observa en la Ecuación 6.6. Por esta razón es que se realiza un secado antes de la carboxilación hasta un contenido de agua entre el 1-5 % en peso, ya que en este rango la formación de NaHCO₃ no ocurre (Lindsey & Jeskey, 1957).



Ecuación 6.6 - Formación de bicarbonato de sodio.

Obtenido el sólido seco se inyecta CO₂, que debe ingresar en un 30% de exceso para asegurar una máxima conversión, y debe contener menos del 0,1% de O₂ para evitar la formación de alquitrán. La temperatura se eleva a 150°C dentro del reactor, y luego comienza el ingreso del CO₂, que debe de hacerse a esa misma temperatura y a 5 atm de presión, estas condiciones se mantienen durante un tiempo de 6,5 horas. La reacción de Kolbe-Schmitt se desarrolla logrando una conversión del 97% (Stanescu & Achenie, 2006).

Respecto al efecto de la presión, ocurre que, a una temperatura dada, el aumento de la misma por encima de un cierto valor mínimo no afecta el curso de la reacción de carboxilación. La presión mínima requerida corresponde a la presión de disociación del complejo de arilóxido de metal-CO₂ a la temperatura empleada. Para el complejo de fenóxido de sodio-CO₂ la presión mínima de disociación a temperaturas superiores a 140 °C es 4 atm (Lindsey & Jeskey, 1957).

Se establece que todo el modo de operación de esta sección es discontinuo y la etapa limitante es la de carboxilación, debido a su tiempo de reacción. Finalizada la reacción, se libera la presión dentro del autoclave para recuperar gran parte del dióxido de carbono excedente, y se efectúa

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

vacío para eliminar el fenol producido en la reacción secundaria de la Ecuación 6.3, lo cual se realiza con el objetivo de recuperarlo y purificar el producto.

Luego, se reestablece la presión hasta el valor atmosférico y se enfría a 30°C para poder transportarlo hasta un tanque pulmón, en donde se almacena el salicilato de sodio sólido, con el objetivo de continuar el proceso operando en forma continua.

6.5.2. Sección B: Preparación del ácido salicílico

A partir de esta sección el proceso se lleva a cabo de manera continua, iniciando con el transporte del sólido a un tanque de dilución donde se agrega agua con la finalidad de lograr una solución de salicilato de sodio de entre 20-45%, lo que facilita su traslado a la siguiente etapa, que es el tratamiento decolorante (Cocco R., 1989). La solución de salicilato pasa por una columna rellena con el agente decolorante, que es una mezcla de carbón activado, sulfato de zinc y polvo de zinc, en una relación 0.02, 0.02 y 0.01 kg/kg de AS, respectivamente. La finalidad de esta etapa es remover las impurezas que generan color a la solución (Hardy & Snell, 1957). La temperatura en ambos equipos no debe ser inferior a 40°C para favorecer la solubilidad del salicilato de sodio en agua.

La solución decolorada ya está lista para pasar al tanque de precipitación, donde se mezcla con una solución de ácido sulfúrico al 60% en peso, en cantidad estequiométrica, para generar AS sólido y una solución de sulfato de sodio, que será separada por centrifugación, debido a la baja solubilidad del AS en agua; la temperatura de operación en el tanque se mantiene a 40°C. La cantidad de ácido fuerte que debe agregarse es la teóricamente requerida para liberar el AS y los ácidos PHB y 4-HIF de sus respectivas sales de sodio. Se adiciona 0,5 moles de H₂SO₄ puro por 1 mol de salicilato monosódico y 1 mol de H₂SO₄ por 1 mol de salicilato disódico. (Patente US4827027)

Luego de la centrifugación, la corriente de interés sigue con la línea de proceso con un contenido de agua igual al 10% p/p del agua entrante, mientras que las aguas madres son consideradas un efluente, constituidas principalmente por: agua, sulfato de sodio y los subproductos, que son el ácido PHB y 4-HIF (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019). La sección finaliza con una operación de secado, para llevar el contenido de agua a un 0,04%, acondicionando al AS para la siguiente etapa.

En la Tabla 6.1 se muestra la composición del ácido salicílico en base seca, obtenido con el proceso anteriormente mencionado (Ullmann, 2016).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 6.1 - Composición del AS en base seca.

Sustancia	Porcentaje (%p/p)
Ácido salicílico	99,7
Fenol	0,1
Cenizas	0,1
PHB y 4-HIF	0,1

6.5.3. Sección C: Preparación del ácido acetilsalicílico

El AS formado ingresa a un segundo reactor donde se mezcla con anhídrido acético para dar AAS, que es nuestro producto deseado, junto con ácido acético. Las condiciones necesarias para que ocurra la reacción de acetilación son una temperatura de 90°C durante 7,5 horas, catalizada por ácido acético, que provee un medio ácido para alcanzar una conversión del 93%. Las relaciones molares que se usan para cargar el reactor son 1/1,4/1 de ácido salicílico, anhídrido acético y ácido acético (Cavin, 2002).

Con la finalidad de lograr integración energética es que el anhídrido acético y el ácido acético, previo a ingresar al reactor, se calientan hasta la temperatura de reacción con las corrientes que salen de la columna de destilación de la sección D; el destilado calienta al anhídrido acético y el residuo al ácido acético.

El ácido acético a utilizar es el glacial que tiene una pureza del 99,99%, evitando de esta manera el ingreso de agua, ya que en presencia de la misma el anhídrido acético se descompone en ácido acético, generando una reducción en el rendimiento de la reacción. Es por esta misma razón que el AS se seca antes de su ingreso al reactor.

6.5.4. Sección D: Purificación del ácido acetilsalicílico

A la salida del reactor se pasa la mezcla por un filtro rotatorio de vacío que separa por un lado el AAS del ácido acético y anhídrido acético sin reaccionar, que pueden recuperarse para reutilizarlos en la sección C, mediante una destilación, basándose en la diferencia de sus puntos de ebullición, que son 118°C y 140°C, respectivamente (Cavin, 2002).

El AAS se purifica en una etapa de lavado y enfriando desde 90°C a 30°C, pasando a un posterior tratamiento de secado, que busca reducir la humedad hasta 0,04%. El sólido seco se acondiciona en un sistema molino-tamiz para garantizar un producto uniforme con un tamaño no superior a 180 µm (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019).

Las características del producto final obtenido se muestran en la Tabla 6.2, junto con los límites establecidos por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

(ANMAT), como referencia de que nuestro producto cumple con las especificaciones de calidad requeridas en Argentina. (FARMACOPEA ARGENTINA, 2013)

Tabla 6.2 - Composición del AAS producido.

Sustancia	Porcentaje (%p/p)	Límites (%p/p)
Ácido acetilsalicílico	99,75	99.5-100.5
Cenizas	0,02	≤0.05
Sulfatos	0,04	≤0.04
Ácido salicílico libre	0,1	≤0.1
Solventes	0,05	≤0.5
Agua	0,04	≤0.5

*BALANCE DE MASA Y
ENERGÍA*

CAPÍTULO 7

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

7.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se desarrollan los balances de masa y energía correspondientes al proceso de producción de ácido acetil salicílico, los cuales se dividen en las cuatro secciones principales mencionadas en el capítulo 6 de Selección y descripción del proceso, y se toman como base la capacidad calculada en el capítulo 5 de Capacidad de la planta.

En primer lugar, se debe organizar un ciclo de producción con el fin de establecer el régimen de trabajo y así obtener la cantidad de lotes, el tipo de proceso y los turnos necesarios para producir la capacidad deseada.

Se decide finalmente determinar el régimen de trabajo de lunes a viernes, donde se trabajan las 24 horas del día en tres turnos de 8 horas cada uno. Un ciclo de trabajo semanal se considera de 120 horas, las cuales inician el día lunes a las 5:00 a.m. y finaliza el día sábado a la misma hora. Se trabajan 50 semanas al año, ya que se consideran 2 semanas para parada anual e imprevistos por mantenimiento.

La sección A del proceso opera en forma discontinua, con el fin de almacenar los lotes producidos del producto intermedio en un tanque pulmón para operar las secciones B, C y D en continuo. En base a esto, en la Tabla 7.1 se muestra la organización de un ciclo semanal de trabajo.

Tabla 7.1 - Diagrama de organización del régimen semanal de trabajo. Elaboración propia

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
05:00 Ingreso personal					05:00 Fin	
06:00 Inicio producción batch		Batch		Continuo Producción de AAS 21:00		
	Batch	13:00 Inicio producción continua	Continuo Producción de AAS		Franco	Franco
Batch Producción de salicilato de sodio		Continuo Producción de AAS		Envasado Limpieza		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En función de todo lo descrito anteriormente en la Tabla 7.2 se muestra la producción anual, semanal y horaria del ácido acetil salicílico para el régimen continuo. Y también en la Tabla 7.3 se detalla la producción anual, semanal y por lote del régimen discontinuo en base al producto intermedio, el cual es salicilato de sodio y se ha calculado por estequiometría. En los datos de ambas tablas no están incluidas las pérdidas.

Tabla 7.2 - Producción continua de ácido acetil salicílico.

Producción anual	70010 kg/año
Producción semanal	1400,2 kg/semana
Producción horaria	25 kg/h

Tabla 7.3 - Producción discontinua de salicilato de sodio.

Producción anual	500 lotes/año
Producción semanal	10 lotes/semana
Producción por lote	133,69 kg/lote

Se realiza un balance global y balances parciales para cada equipo, se definen los caudales másicos y las respectivas composiciones de cada corriente, y los requerimientos energéticos de todo el proceso. Además, se incluye un balance general para el proceso en su totalidad, diferenciándolo según el régimen de operación e indicando las corrientes de entrada y de salida, mencionando sus correspondientes cantidades.

Finalmente se efectúa un resumen del balance de masa y energía donde se especifican los consumos de materias primas, insumos, vapor, agua y otros servicios para la producción de una unidad de ácido acetil salicílico, como así los efluentes y subproductos que se producen por unidad de producción.

7.2. DIAGRAMA DE FLUJO

Se presenta el diagrama de flujo de todo el proceso de producción de ácido acetil salicílico, el cual, para su mejor comprensión, se dividió en sus cuatro secciones: Imagen 7.1 Sección A: Reacción de Kolbe-Schmitt, Imagen 7.2 Sección B: Preparación del ácido salicílico, Imagen 7.3 Sección C: Preparación del ácido acetilsalicílico, Imagen 7.4 Sección D: Purificación del ácido acetilsalicílico.

En la Tabla 7.4 se indican los colores de referencia utilizados para las distintas corrientes.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.4 - Codificación de los colores de las corrientes.

Alimentación	Verde
Salida	Azul claro
Vapor	Rojo
Agua	Azul
Recirculación	Magenta
Aire secado	Blanco
Producto intermedio	Naranja
Producto final	Amarillo

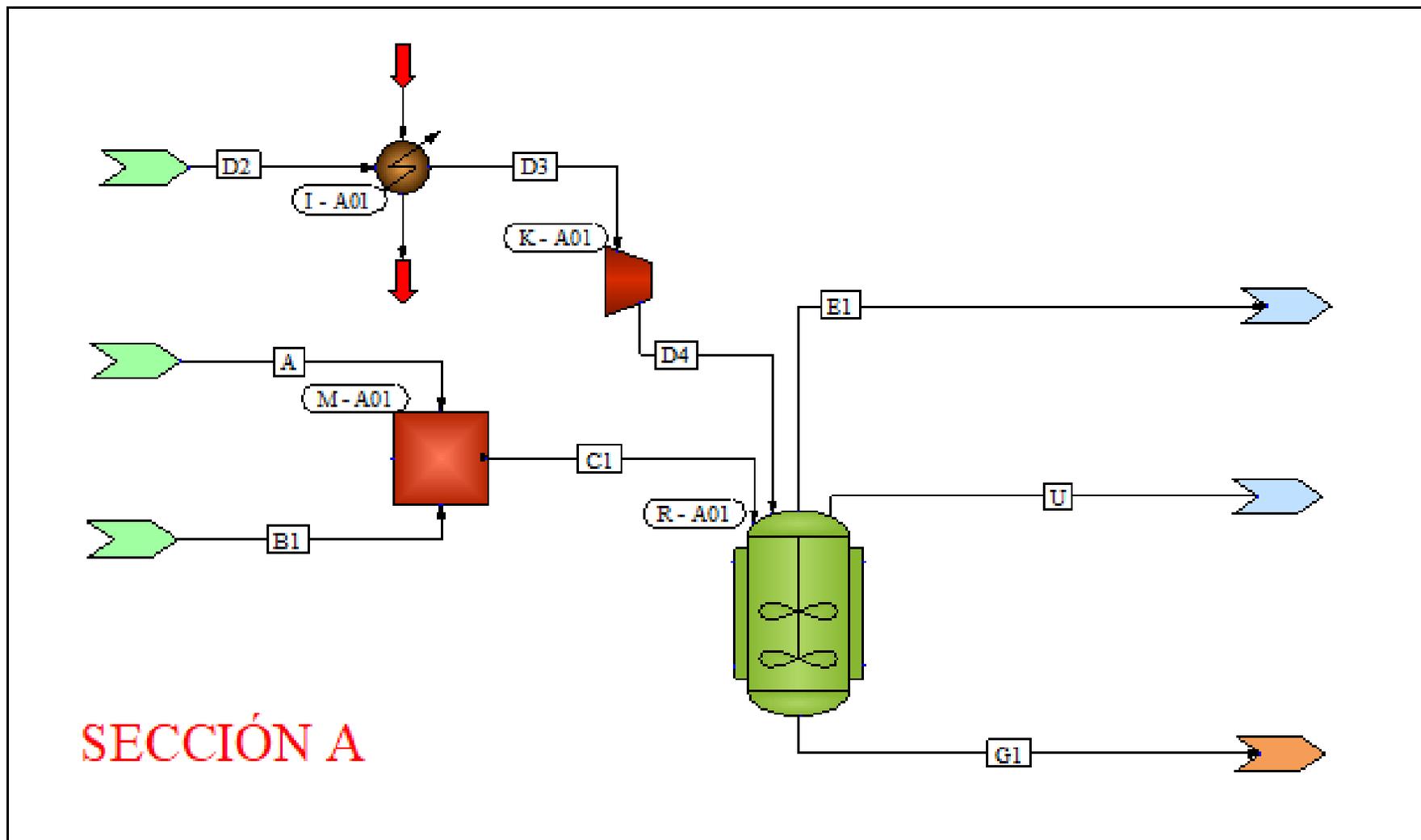


Imagen 7.1 - Sección A: Reacción de Kolbe-Schmitt. Elaboración propia.

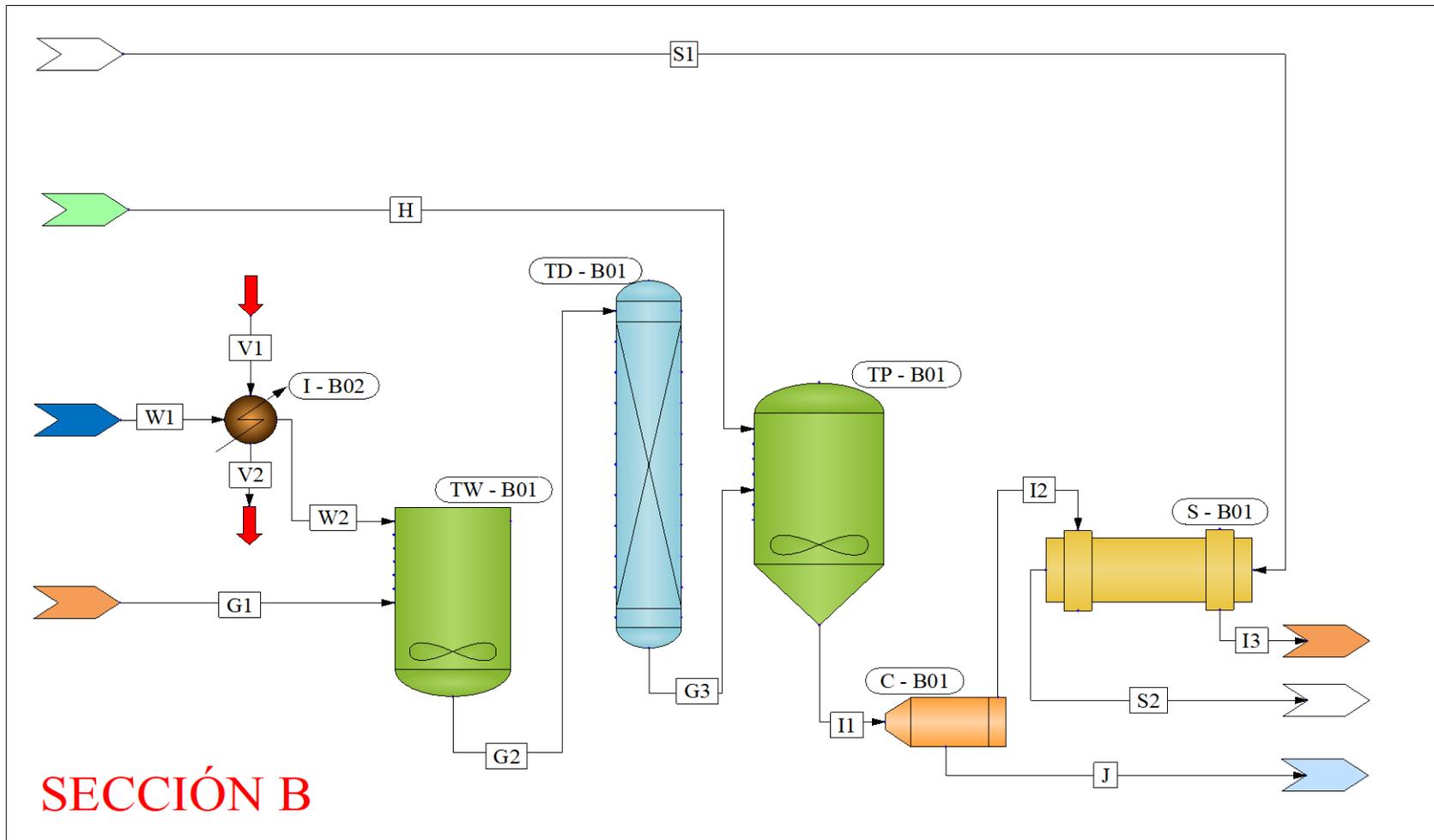


Imagen 7.2 - Sección B: Preparación del ácido salicílico. Elaboración propia.

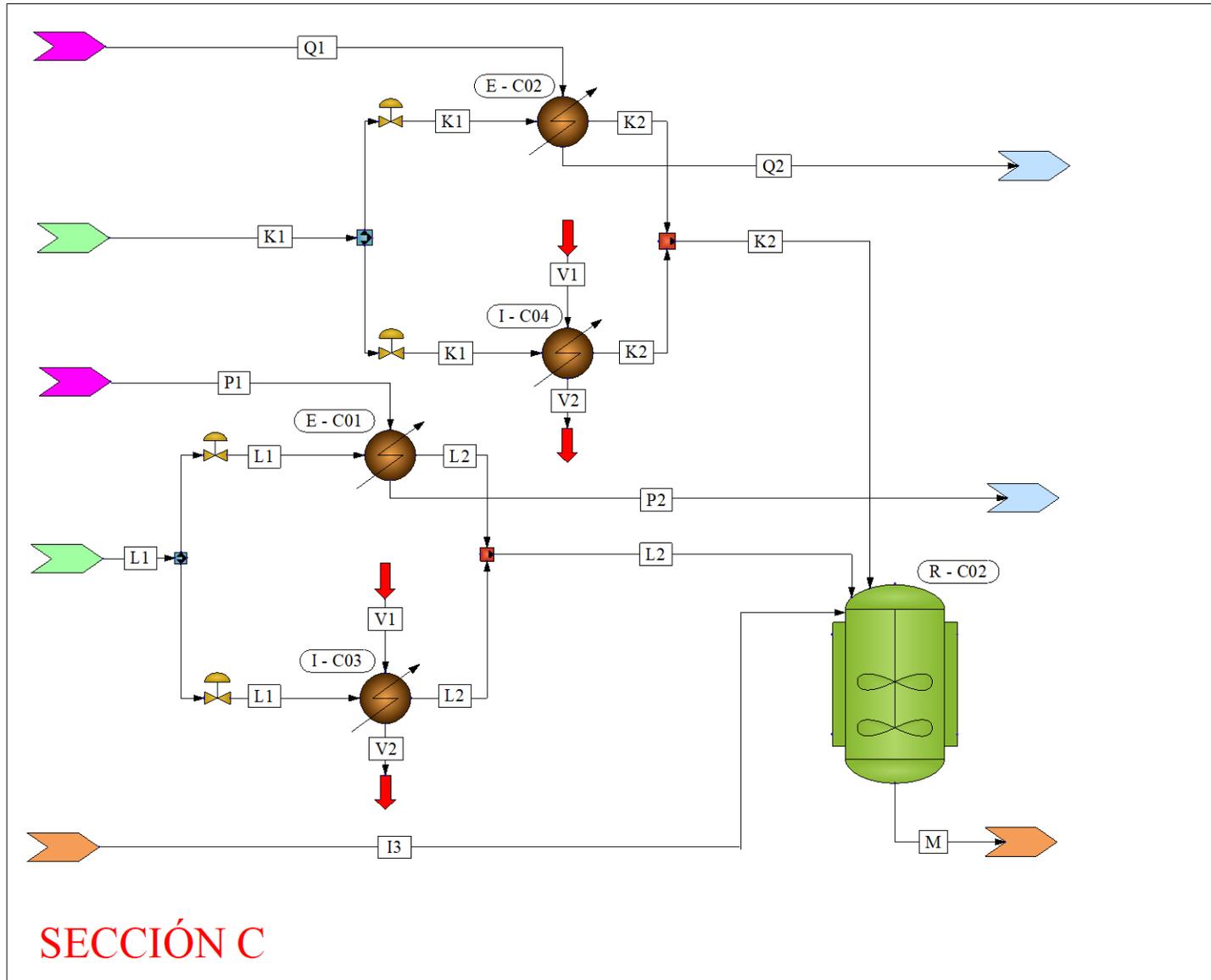


Imagen 7.3 - Sección C: Preparación del ácido acetilsalicílico. Elaboración propia.

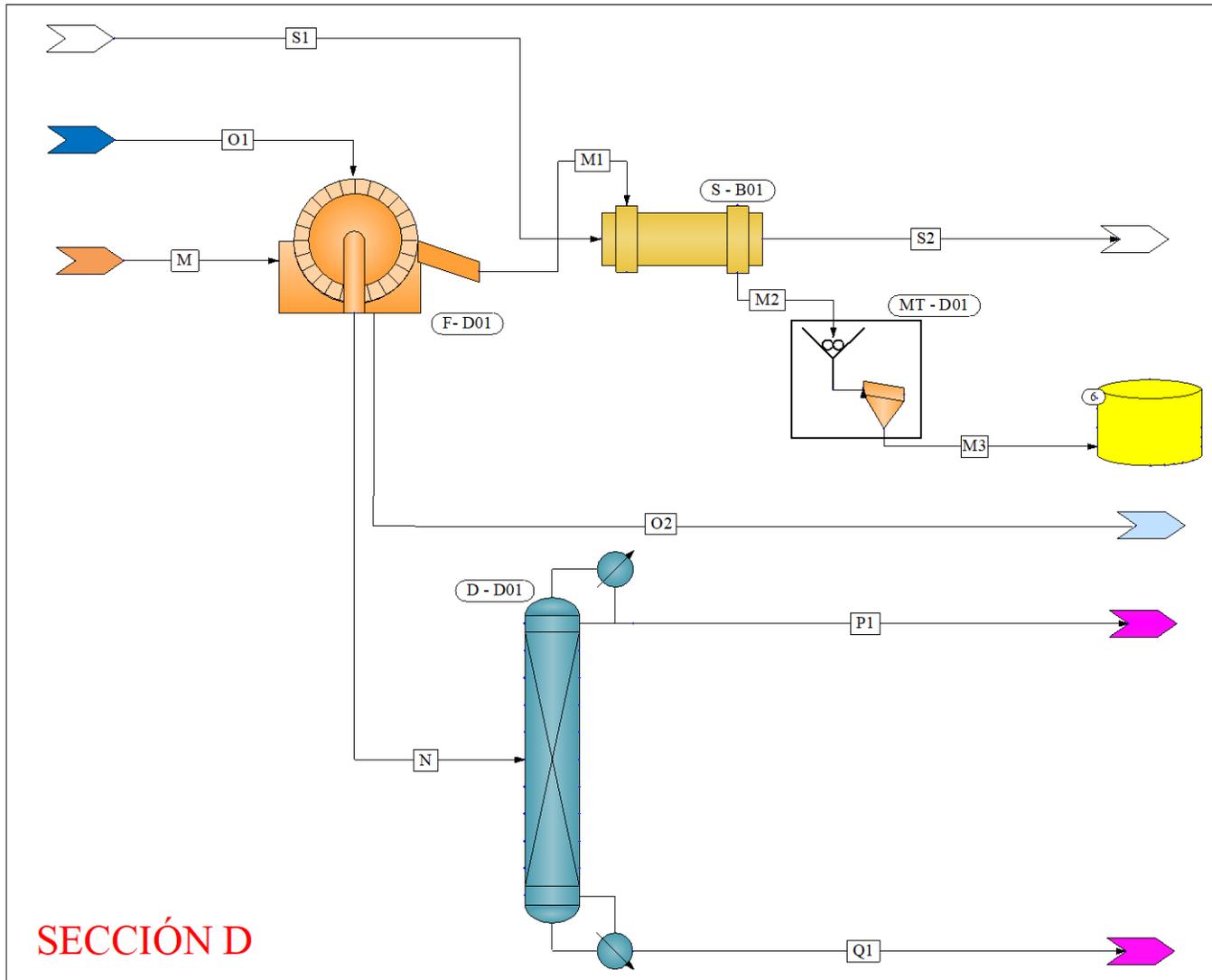


Imagen 7.4 - Sección D: Purificación del ácido acetilsalicílico. Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Para realizar los balances de masa se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Con el objetivo de facilitar la comprensión, se toma como base para los cálculos la producción por lote y la producción horaria, para el régimen discontinuo y continuo respectivamente.
- Se produce un 3 %p/p más de producto final estipulado para contemplar todas las pérdidas globales del proceso.
- No hay acumulación de materia en cada operación, ya que se opera en estado estacionario.
- Cada etapa conlleva un rendimiento determinado, el cual se asignó teniendo en cuenta la bibliografía de procesos similares y en otros casos calculados por simulación en CHEMCAD.

Para los cálculos del balance de energía se tienen en cuenta solamente las etapas donde la energía intercambiada es relevante y justifica el análisis.

En las ecuaciones de los balances, X representa la fracción másica del componente que se indica y H representa la entalpía en kilocalorías por kilogramo de la corriente total respecto a una temperatura de referencia.

En la Tabla 7.5 se detalla la nomenclatura asignada a cada corriente del proceso y en la Tabla 7.6 se explicita la nomenclatura general dada para cada tipo de equipo que se emplea.

Tabla 7.5 - Nomenclatura de las corrientes del proceso.

Nomenclatura	Corriente	Nomenclatura	Corriente
A	Hidróxido de sodio al 50%p/p	M2	Ácido acetil salicílico seco
B1	Fenol sólido	M3	Ácido acetil salicílico seco y molido listo para envasar
C1	Solución de fenóxido de sodio	N	Mezcla de anhídrido y ácido acético
G1	Salicilato de sodio sólido	O1	Agua de lavado
D2	Dióxido de carbono descomprimido y frío	O2	Agua de lavado con impurezas
D3	Dióxido de carbono descomprimido y caliente	P0	Corriente de vapor de la cabeza de la torre

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

D4	Dióxido de carbono comprimido y caliente	P1	Ácido acético recuperado caliente
E1	Mezcla gaseosa de dióxido de carbono y fenol	R1	Reflujo del condensador de la torre de destilación
G1'	Salicilato de sodio sólido	P2	Ácido acético recuperado frío
G2	Solución de salicilato de sodio	Q0	Corriente líquida del fondo de la torre
G3	Solución de salicilato de sodio decolorada	Q1	Anhídrido acético recuperado caliente
H	Ácido sulfúrico al 60%p/p	R2	Reflujo del rehervidor de la torre de destilación
I1	Ácido salicílico en solución	Q2	Anhídrido acético recuperado frío
I2	Ácido salicílico sólido húmedo	S1	Aire de secado
I3	Ácido salicílico sólido seco	S2	Aire de secado húmedo
J	Agua madres de la centrífuga	U	Vapor de agua de proceso
K1	Ácido acético frío	V1	Vapor
K2	Ácido acético caliente	V2	Condensado de vapor
L1	Anhídrido acético frío	W1	Agua de proceso fría
L2	Anhídrido acético caliente	W2	Agua de proceso caliente
M	Ácido acetil salicílico en solución	Y1	Agua de enfriamiento
M1	Ácido acetil salicílico húmedo	Y2	Agua de enfriamiento caliente

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.6 - Nomenclatura general de equipos.

Nomenclatura	Equipo
C	Centrífuga
D	Torre de destilación
E	Economizador
F	Filtro
I	Intercambiador de calor
K	Compresor
M	Mezclador
MT	Sistema molino - tamiz
N	Envasadora
P	Tanque pulmón
R	Reactor
S	Secador
T	Tanque de almacenamiento
TD	Torre de decoloración
TP	Tanque de precipitación
TV	Tolva
TW	Tanque de dilución

7.3.1. Balance global del proceso

En la Tabla 7.7 se evidencia el balance global para la sección A del proceso que opera en régimen discontinuo, tomando como referencia la elaboración de un batch, y en la Tabla 7.8 para las secciones B, C y D en conjunto, que son la parte del proceso que opera en continuo. En ambos casos se considera al mismo como una caja negra y se tienen en cuenta todas las corrientes externas de ingreso y egreso.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.7 - Balance global para el proceso discontinuo.

Entrada [kg] = Salida [kg]	
Entrada	Salida
A + B1 + D2 71,62 + 83,44 + 50,73 205,8	E1 + U + G1 13,43 + 50,74 + 141,63 205,8

Tabla 7.8 - Balance global para el proceso continuo.

Entrada [kg/h] = Salida [kg/h]	
Entrada	Salida
G1 + W1 + H + S1 + L1 + K1 + O1 + S1 25,29 + 29,87 + 13,07 + 147,07 + 21,95 + 9,22 + 30,6 + 326,54 603,61	J + S2 + P2 + Q2 + O2 + S2 + M3 43,42 + 150,59 + 5,56 + 14,39 + 31,32 + 332,54 + 25,79 603,61

7.3.2. Preparación de la materia prima

Se describe un pequeño apartado con los balances de masa y energía de los equipos necesarios para acondicionar la materia prima, específicamente el dióxido de carbono, a las características requeridas por el proceso. La distinción se hace con el objetivo de mejorar la comprensión, pero estos equipos son parte de la sección A que se presenta en el apartado 7.3.3.

El dióxido de carbono de grado farmacéutico utilizado en el proceso comercialmente se consigue en estado líquido a 20°C y 58,03 atm. Pero, el dióxido de carbono para la reacción de Kolbe – Smith en el reactor R – A01 se necesita a 150°C y 5 atm. Por lo tanto, para conseguir las condiciones requeridas, el dióxido de carbono debe tratarse en una serie de etapas. En la primera, se debe someter a un sistema de descompresión para obtenerlo a presión atmosférica, este proceso trae aparejado una disminución de la temperatura debido al efecto de Joule-Thomson. El gas obtenido, que se encuentra a 1 atm y -87,93°C, pasa a dos etapas más que implican el intercambiador de calor I – A01 y el compresor K - A01, respectivamente.

➤ Intercambiador de calor I – A01

El intercambiador de calor I – A01 trabaja a presión atmosférica y es utilizado para elevar la temperatura desde -87,93 hasta 26°C del dióxido de carbono ya descomprimido.

El calentamiento ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

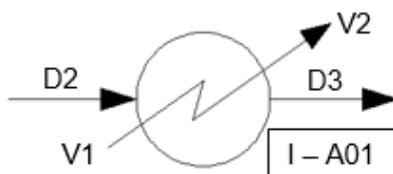


Imagen 7.5 - Diagrama del intercambiador de calor I – A01.
Elaboración propia.

Tabla 7.9 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del intercambiador de calor I – A01.

Balance de masa	
Balance global:	$V1 + D2 = V2 + D3$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_{D1} = Q_V$ $C_{pD1} \times \Delta t \times D = \lambda \times V$ $D2 H_{D2} + V1 H_{V1} = D3 H_{D3} + V2 H_{V2}$ $V (H_{V1} - H_{V2}) = D (H_{D3} - H_{D2})$

Donde:

Q_{D1} : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del dióxido de carbono de $-87,93$ a 26°C .

Q_V : Calor latente entregado por el vapor de caldera.

C_{pD1} : calor específico promedio del dióxido de carbono entre $-87,93$ a 26°C .

D: masa de dióxido de carbono, en kilogramos $D = D2 = D3$.

V: masa de vapor, en kilogramos $V = V1 = V2$.

Tabla 7.10 - Balance de masa y energía del intercambiador de calor I – A01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg]
D2	Entrada	Dióxido de carbono	50,73	Dióxido de carbono	100%	50,73
V1	Entrada	Vapor	2,16	Agua	100%	2,16
Masa de entrada total [kg]				52,89		
D3	Salida	Dióxido de carbono	50,73	Dióxido de carbono	100%	50,73
V2	Salida	Condensado	2,16	Agua	100%	2,16
Masa de salida total [kg]				52,89		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Balance de energía				
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada
D2	Entrada	-87,93	0,1731	1
V1	Entrada	155	0,4575	1
D3	Salida	26	0,2036	1
V2	Salida	155	1,0321	0
Calor intercambiado, Q_{D1} [kcal]			1085,25	
Calor de vaporización, λ [kcal/kg]			501,43	
Masa de vapor necesaria, V [kg]			2,16	

➤ **Compresor K – A01**

El dióxido de carbono debe comprimirse a 5 atm para ingresar al reactor R – A01, para el cual se utiliza el compresor K – A01. El calentamiento final hasta 150°C del gas se realiza en este equipo, ya que hay que tener en cuenta su comportamiento no ideal.

No existen cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos. Además, se considera que es una etapa adiabática, por lo que no hay intercambio de calor con el exterior.

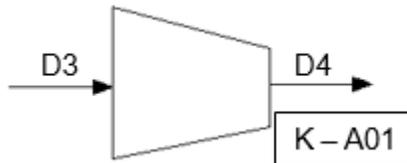


Imagen 7.6 - Diagrama del compresor K – A01.
Elaboración propia.

Tabla 7.11 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del compresor K – A01.

Balance de masa	
Balance global:	$D3 = D4$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_{D2} = Q_{COM}$ $C_{pD2} \times \Delta t \times D = Q_{COM}$ $D (H_{D4} - H_{D3}) = Q_{COM}$

Donde:

Q_{D2} : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del dióxido de carbono de 26 a 150°C.

Q_{COM} : Calor mecánico entregado por el compresor.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

C_{pD2} : calor específico promedio del dióxido de carbono entre 26 a 150°C.

D: masa de dióxido de carbono, en kilogramos $D = D3 = D4$.

Tabla 7.12 - Balance de masa y energía del compresor K – A01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg]
D3	Entrada	Dióxido de carbono	50,73	Dióxido de carbono	100%	50,73
Masa de entrada total [kg]				50,73		
D4	Salida	Dióxido de carbono	50,73	Dióxido de carbono	100%	50,73
Masa de salida total [kg]				50,73		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
D3	Entrada	26	0,2036	1		
D4	Salida	150	0,2338	1		
Calor mecánico entregado, Q_{COM} [kcal]			1375,74			

7.3.3. Sección A

➤ Mezclador M – A01

Al mezclador M – A01 ingresa la corriente de hidróxido de sodio al 50% p/p y el fenol sólido a 25°C, este último se disuelve en agua y cuando se calienta por encima de los 41°C es líquido.

En dicho mezclador ocurre la formación del fenóxido de sodio, la cual se da por una reacción instantánea que es levemente endotérmica. La solución de hidróxido de sodio ingresa un 1% p/p en exceso (Jimenez López & Sandoval Garcia, 1986).

En el mismo también se produce un precalentamiento del compuesto formado hasta 60°C, para luego ingresar al reactor R – A01.

Para el balance de energía se suponen despreciables las pérdidas de energía por convección y radiación al ambiente, el aporte energético producido por la agitación mecánica y el calor de disolución.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

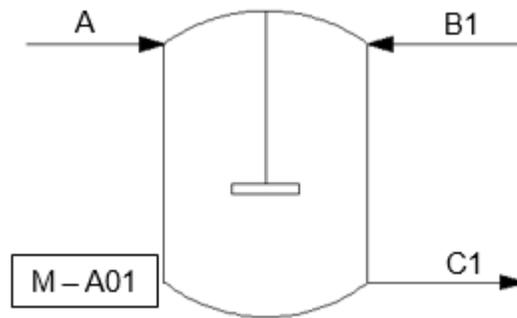


Imagen 7.7 - Diagrama del mezclador M – A01.
Elaboración propia.

Tabla 7.13 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del mezclador M – A01.

Balance de masa	
Balance global:	$A + B1 = C1$
Balance parcial del agua (A):	$A X_{A-A} + B1 X_{B1-A} = C1 X_{C1-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$A H_A + B1 H_{B1} + Q_M - \Delta R_F = C1 H_{C1}$

Donde:

Q_M : calor necesario para mantener la reacción y precalentar el fenóxido de sodio hasta 60°C.

ΔR_F : calor de reacción endotérmica de la reacción de la reacción de formación del fenóxido de sodio a 25°C.

Tabla 7.14 - Balance de masa y energía del mezclador M – A01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg]
A	Entrada	Hidróxido de sodio al 50%p/p	71,62	Agua	50%	35,81
				NaOH	50%	35,81
B1	Entrada	Fenol sólido	83,44	Fenol	100%	83,44
Masa de entrada total [kg]				155,06		
C1	Salida	Solución de fenóxido de sodio	155,06	Agua	33,39%	51,78
				NaOH	0,23%	0,35
				Fenóxido de sodio	66,38%	102,93
Masa de salida total [kg]				155,06		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Balance de energía				
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada
A	Entrada	25	0,6756	0
B1	Entrada	25	0,5305	0
C1	Salida	60	0,2940	0
Calor de calentamiento, Q_M [kcal]			2872,28	
Calor de reacción, ΔR_F [kcal]			44,97	
Masa de vapor total necesaria [kg]			5,82	

➤ Reactor autoclave R – A01

El reactor R – A01, así como toda la sección A, opera en forma discontinua. Dentro de este equipo se llevan a cabo distintas etapas que ocurren sucesivamente, pero el balance de masa y energía se desarrolla de manera global para una mejor comprensión.

Etapas 1:

El fenolato de sodio en solución preparado en el mezclador M – A01 ingresa al reactor, donde se le elimina el agua por evaporación, calentando la mezcla hasta 100°C a presión atmosférica. Se obtiene así fenóxido de sodio sólido con un contenido de agua de 1% en peso, el cual se sigue calentando para elevar su temperatura hasta 150°C (Jimenez López & Sandoval Garcia, 1986).

Etapas 2:

Obtenido el sólido seco se inyecta dióxido de carbono gaseoso que debe ingresar en un 30% de exceso, para asegurar una máxima conversión, a 150°C y 5 atm de presión (Jimenez López & Sandoval Garcia, 1986).

Etapas 3:

Las condiciones de 150°C y 5 atm se mantienen durante un tiempo de 6,5 horas para que la reacción de Kolbe-Schmitt se desarrolle logrando una conversión del 97% molar (Stanescu & Achenie, 2006).

El fenóxido de sodio que no reacciona para dar salicilato de sodio como producto, es consumido por la reacción secundaria dando como resultado salicilato disódico y fenol, tal como se indicó en

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

el capítulo 6. Por lo tanto, no hay restos de fenóxido de sodio al finalizar el tiempo de reacción (Ullmann, 2016).

Etapa 4:

Finalizado el tiempo de reacción se libera el reactor de las 5 atm para llevarlo a presión atmosférica, esta acción se aprovecha para recuperar gran parte del dióxido de carbono excedente. Restaurada la presión, se hace vacío para poder extraer en fase vapor el fenol formado en la reacción secundaria y el dióxido de carbono remanente. Esta etapa se realiza con el objetivo recuperar ambas sustancias y purificar el producto.

Etapa 5:

El producto de la reacción es sólido, formado principalmente por salicilato de sodio, se enfría a 30°C dentro del mismo reactor con agua de enfriamiento para luego poder transportarlo hasta un tanque pulmón, donde se almacena con el objetivo de continuar el proceso operando en forma continua.

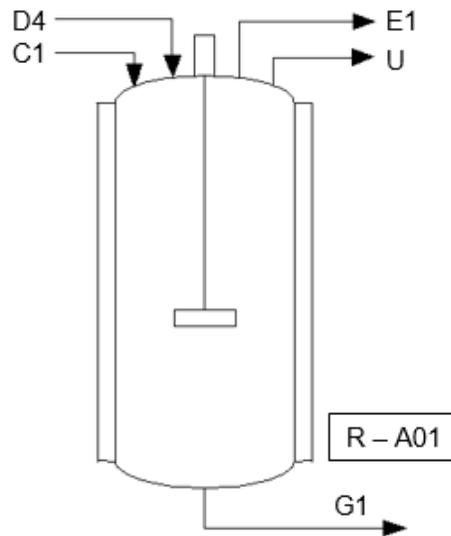


Imagen 7.8 - Diagrama del reactor R – A01.
Elaboración propia.

Tabla 7.15 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del reactor R – A01.

Balance de masa	
Balance global:	$C1 + D4 = U + E1 + G1$
Balance parcial del fenol (F):	$C1 X_{C1-F} + D4 X_{D4-F} = U X_{U-F} + E1 X_{E1-F} + G1 X_{G1-F}$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Balance de energía	
Balance global:	$C1 H_{C1} + D4 H_{D4} + Q_{cal} - \Delta R_{KS} = U H_U + E1 H_{E1} + G1 H_{G1} + Q_{enf}$

Donde:

Q_{cal} : es la sumatoria del calor necesario para elevar la temperatura desde 60 hasta 100°C de toda la masa de la corriente C1, más el calor para evaporar el agua de la corriente U, el calor para calentar la masa C1 – U kilogramos que quedan en el reactor hasta 150°C y el calor necesario para mantener la reacción a temperatura constante.

ΔR_{KS} : calor de reacción endotérmica de la reacción de Kolbe – Smith a 150°C.

Q_{enf} : calor a retirar para enfriar la corriente G1 de 150 a 30°C dentro del reactor.

Tabla 7.16 - Balance de masa y energía del reactor R – A01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg]
C1	Entrada	Solución de fenóxido de sodio	155,06	Agua	33,39%	51,78
				NaOH	0,23%	0,35
				Fenóxido de sodio	66,38%	102,93
D4	Entrada	Dióxido de carbono	50,73	Dióxido de carbono	100%	50,73
Masa de entrada total [kg]				205,79		
U	Salida	Agua evaporada	50,74	Agua	100%	50,74
E1	Salida	Mezcla gaseosa de dióxido de carbono y fenol	13,43	Dióxido de carbono	91,52%	12,29
				Fenol	8,48%	1,14
G1	Salida	Salicilato de sodio sólido	141,63	Agua	0,74%	1,04
				NaOH	0,25%	0,35
				Salicilato de sodio	97,22%	137,70
				Salicilato Disódico	1,71%	2,42
				Fenol	0,08%	0,11

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Masa de salida total [kg]			205,79	
Balance de energía				
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada
C1	Entrada	60	0,2940	0
D4	Entrada	150	0,2338	1
U	Salida	100	0,4512	1
E1	Salida	150	0,2413	1
G1	Salida	30	0,3140	0
Calor de calentamiento, Q_{cal} [kcal]			32139,80	
Calor de enfriamiento, Q_{enf} [kcal]			-5336,72	
Calor de reacción, ΔR_{KS} [kcal]			713,30	
Masa de vapor total necesaria [kg]			65,52	
Masa de agua de enfriamiento total necesaria [kg]			444,73	

7.3.4. Sección B

➤ Tanque de dilución TW – B01

El salicilato de sodio producido en el reactor R – A01 y almacenado temporalmente en el tanque pulmón P – A01, se mezcla en el tanque de dilución TW – B01 con el objetivo de formar una solución al 45%p/p de salicilato de sodio en agua para facilitar el transporte del mismo (Cocco, 1989). Además, el agua de dilución se agrega a una temperatura de 44,1°C para que la corriente de salida lo haga a una temperatura de 40°C, la cual favorece la disolución del salicilato de sodio en agua.

Para el balance de energía se suponen despreciables las pérdidas de energía por convección y radiación al ambiente, el aporte energético producido por la agitación mecánica y el calor de disolución.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

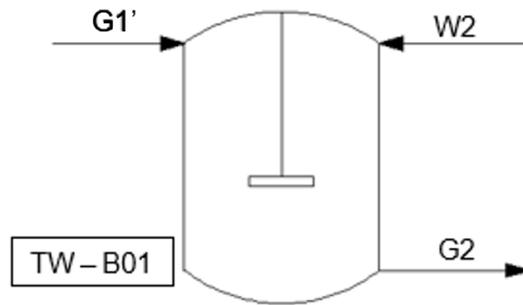


Imagen 7.9 - Diagrama del tanque de dilución TW – B01.
Elaboración propia.

Tabla 7.17 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del tanque de dilución TW – B01.

Balance de masa	
Balance global:	$G1' + W2 = G2$
Balance parcial del agua:	$G1' X_{G1'-A} + W2 X_{W2-A} = G2 X_{G2-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$G1' H_{G1'} + W2 H_{W2} = G2 H_{G2}$

Tabla 7.18 - Balance de masa y energía del tanque de dilución TW – B01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
G1'	Entrada	Salicilato de sodio proveniente del tanque pulmón	25,29	Agua	0,74%	0,19
				NaOH	0,25%	0,06
				Salicilato	97,22%	24,59
				Salicilato disódico	1,71%	0,43
				Fenol	0,08%	0,02
W2	Entrada	Agua de proceso para dilución	29,87	Agua	100%	29,87
Masa de entrada total [kg/h]				55,16		
G2	Salida	Solución de salicilato de sodio	55,16	Agua	54,49%	30,05
				NaOH	0,11%	0,06
				Salicilato	44,58%	24,59

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

				Salicilato disódico	0,78%	0,43
				Fenol	0,04%	0,02
Masa de salida total [kg/h]				55,16		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
G1'	Entrada	25	0,3140	0		
W2	Entrada	44,1	0,9974	0		
G2	Salida	40	0,6864	0		

➤ Intercambiador de calor I – B02

El intercambiador I – B02 es empleado para calentar el agua de proceso desde 25 a 44,1°C, la cual ingresa al tanque de dilución TW – B01 para la disolución del salicilato de sodio.

El calentamiento ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable

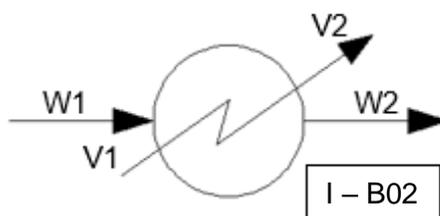


Imagen 7.10 - Diagrama del intercambiador de calor I – B02.
Elaboración propia.

Tabla 7.19 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del intercambiador de calor I – B02.

Balance de masa	
Balance global:	$V1 + W1 = V2 + W2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_w = Q_v$ $C_{pw} \times \Delta t \times W = \lambda \times V$ $W1 H_{w1} + V1 H_{v1} = W2 H_{w2} + V2 H_{v2}$ $V (H_{v1} - H_{v2}) = W (H_{w2} - H_{w1})$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Donde:

Q_w : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del agua de dilución de 25 a 44,1 °C.

Q_v : Calor latente entregado por el vapor de caldera.

C_{pw} : calor específico del agua de proceso.

W: masa de agua de proceso, en kilogramos $W = W1 = W2$.

V: masa de vapor, en kilogramos $V = V1 = V2$.

Tabla 7.20 - Balance de masa y energía del intercambiador de calor I – B03.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
W1	Entrada	Agua de proceso	29,87	Agua	100%	29,87
V1	Entrada	Vapor	1,14	Agua	100%	1,14
Masa de entrada total [kg/h]				31,01		
W2	Salida	Agua de proceso	29,87	Agua	100%	29,87
V2	Salida	Condensado	1,14	Agua	100%	1,14
Masa de salida total [kg/h]				31,01		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]		Fracción vaporizada	
W1	Entrada	25	0,9996		0	
V1	Entrada	155	0,4575		1	
W2	Salida	44,1	0,9974		0	
V2	Salida	155	1,0321		0	
Calor intercambiado, Q_w [kcal/h]			569,35			
Calor de vaporización, λ [kcal/kg]			501,43			
Masa de vapor necesaria, V [kg/h]			1,14			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Torre de decoloración TD – B01

La solución de salicilato de sodio obtenida en el tanque de dilución TW – B01 pasa por una columna rellena con agente decolorante, que es una mezcla de carbón activado, sulfato de zinc y polvo de zinc, en una relación 0.02, 0.02 y 0.01 kg/kg de AS, respectivamente. La finalidad de esta etapa es remover las impurezas que generan color a la solución (Hardy & Snell, 1957).

Las impurezas adsorbidas por el agente decolorante son despreciables en términos másicos, por ello es que en este equipo no ocurren cambios en la composición de las corrientes, así como tampoco hay cambios energéticos apreciables ni intercambio de calor involucrado. La corriente de entrada y salida presentan la misma temperatura y lo que sucede es solamente un cambio físico en el color de la solución.

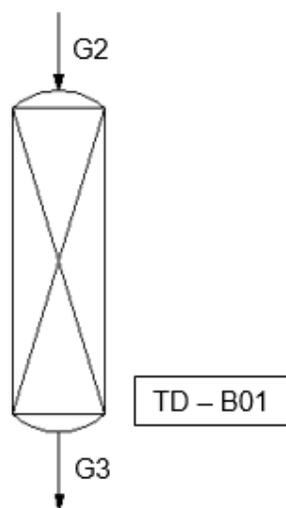


Imagen 7.11 - Diagrama de la torre de decoloración TD – B01.
Elaboración propia.

Tabla 7.21 - Ecuaciones para el balance de masa y energía de la torre de decoloración TD – B01.

Balance de masa	
Balance global:	$G_2 = G_3$
Balance parcial del agua:	$G_2 X_{G_2-A} = G_3 X_{G_3-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$G_2 H_{G_2} = G_3 H_{G_3}$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.22 - Balance de masa y energía de la torre de decoloración TD – B01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
G2	Entrada	Solución de salicilato de sodio	55,16	Agua	54,49%	30,05
				NaOH	0,11%	0,06
				Salicilato	44,58%	24,59
				Salicilato disódico	0,78%	0,43
				Fenol	0,04%	0,02
Masa de entrada total [kg/h]				55,16		
G3	Salida	Solución de salicilato de sodio decolorada	55,16	Agua	54,49%	30,05
				NaOH	0,11%	0,06
				Salicilato	44,58%	24,59
				Salicilato disódico	0,78%	0,43
				Fenol	0,04%	0,02
Masa de salida total [kg/h]				55,16		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
G2	Entrada	40	0,6864	0		
G3	Salida	40	0,6864	0		

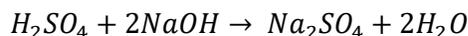
➤ Tanque de precipitación TP – B01

La solución decolorada saliente de la torre de decoloración TD – B01 continúa hacia el tanque de precipitación TP – B01, donde se mezcla con una solución de ácido sulfúrico al 60% p/p, en cantidad estequiométrica, para generar AS sólido y una solución de sulfato de sodio. La cantidad de ácido fuerte que debe agregarse es la teóricamente requerida para liberar el AS y los ácidos PHB y 4-HIF de sus respectivas sales de sodio. Se adiciona 0,5 mol de H₂SO₄ puro por 1 mol de salicilato monosódico y 1 mol de H₂SO₄ por 1 mol de salicilato disódico (Patente US4827027).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Además, se añade 0,5 mol de H_2SO_4 puro por 1 mol de NaOH, esto es para neutralizar la soda cáustica remanente mediante la reacción que se muestra en la Ecuación 7.1.



Ecuación 7.1 - Reacción de neutralización de NaOH.

Respecto al balance de energía, la reacción de formación del AS es exotérmica (Jimenez Lopéz & Sandoval Garcia, 1986) y como la temperatura de operación en el tanque debe mantenerse a $40^\circ C$, es necesario retirar el calor de reacción generado en exceso. Se suponen despreciable las pérdidas de energía por convección y radiación al ambiente, el aporte energético producido por la agitación mecánica, el calor de disolución y los calores de las reacciones de neutralización y de los subproductos.

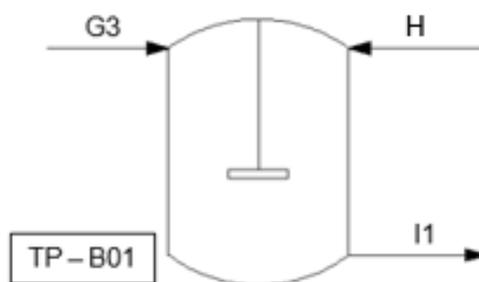


Imagen 7.12 - Diagrama del tanque de precipitación TP – B01.
Elaboración propia.

Tabla 7.23 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del tanque de precipitación TP – B01.

Balance de masa	
Balance global:	$G3 + H = I1$
Balance parcial del agua:	$G3 X_{G3-A} + H X_{H-A} = I1 X_{I1-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_{TP} = Q_Y$ $Q_Y = Y \times C_{py} \times \Delta t$ $G3 H_{G3} + H H_H + Q_{TP} - \Delta R_{AS} = I1 H_{I1}$

Donde:

Q_{TP} : Calor a retirar del tanque de precipitación para mantener la temperatura a $40^\circ C$.

ΔR_{AS} : Calor de reacción exotérmica de la reacción de formación de AS a $40^\circ C$.

Q_Y : Calor retirado por el agua de enfriamiento.

Y: masa de agua de enfriamiento, en kilogramos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.24 - Balance de masa y energía del tanque de precipitación TP – B01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
G3	Entrada	Solución de salicilato de sodio decolorada	55,16	Agua	54,49%	30,05
				NaOH	0,11%	0,06
				Salicilato	44,58%	24,59
				Salicilato disódico	0,78%	0,43
				Fenol	0,04%	0,02
H	Entrada	Ácido sulfúrico al 60% p/p.	13,07	Agua	40%	5,23
				Ácido sulfúrico	60%	7,84
Masa de entrada total [kg/h]				68,23		
I1	Salida	Solución de ácido salicílico	68,23	Agua	51,75%	35,31
				Fenol	0,03%	0,02
				Ácido salicílico	31,09%	21,21
				Sulfato de sodio	16,15%	11,02
				PHB y 4-HIF	0,98%	0,67
Masa de salida total [kg/h]				68,23		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
G3	Entrada	40	0,6864	0		
H	Entrada	25	0,6056	0		
I1	Salida	40	0,6726	0		
Calor intercambiado, Q_{TP} [kcal/h]			-10440,72			
Calor de reacción, ΔR_{AS} [kcal/h]			-10440,72			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Agua de enfriamiento		
Masa [kg/h]	Temperatura de entrada [°C]	Temperatura de salida [°C]
879,14	20	32

➤ **Centrífuga C – B01**

La solución de ácido salicílico proveniente del tanque de precipitación TP – B01 se dirige a la centrífuga C – B01 con el objetivo de eliminar agua y separar el AS sólido de los subproductos. La corriente de interés sigue con la línea de proceso con un contenido de agua igual al 10% p/p del agua entrante, mientras que las aguas madres son consideradas un efluente, constituidas por: agua, sulfato de sodio y los subproductos, que son el ácido PHB y 4-HIF (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019).

El equipo elimina el 90% del agua, el 99% del sulfato de sodio y el 97% de los subproductos (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019). La pérdida de AS en el efluente se considera dentro de las pérdidas globales del proceso.

Respecto al balance de energía, no hay cambios energéticos apreciables ni intercambio de calor involucrado.

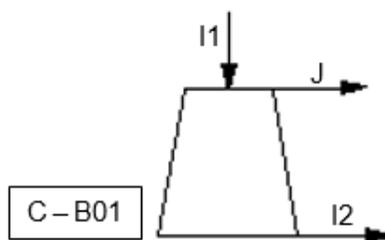


Imagen 7.13 - Diagrama de la centrífuga C – B01.
Elaboración propia.

Tabla 7.25 - Ecuaciones para el balance de masa y energía de la centrífuga C – B01.

Balance de masa	
Balance global:	$I_1 = J + I_2$
Balance parcial del agua:	$I_1 X_{1-A} = J X_{J-A} + I_2 X_{I_2-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$I_1 H_{I_1} = J H_J + I_2 H_{I_2}$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.26 - Balance de masa y energía de la centrifuga C – B01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
I1	Entrada	Solución de ácido salicílico	68,23	Agua	51,75%	35,31
				Fenol	0,03%	0,02
				Ácido salicílico	31,09%	21,21
				Sulfato de sodio	16,15%	11,02
				PHB y 4-HIF	0,98%	0,67
Masa de entrada total [kg/h]				68,23		
I2	Salida	Ácido salicílico sólido húmedo	24,81	Agua	14,23%	3,53
				Fenol	0,09%	0,02
				Ácido salicílico	85,51%	21,21
				Sulfato de sodio	0,09%	0,02
				PHB y 4-HIF	0,09%	0,02
J	Salida	Aguas madres de la centrifugación	43,42	Agua	73,18%	31,78
				Sulfato de sodio	25,33%	11,00
				PHB y 4-HIF	1,49%	0,65
Masa de salida total [kg/h]				68,23		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
I1	Entrada	40	0,6726	0		
I2	Salida	40	0,4571	0		
J	Salida	40	0,7974	0		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Secador S – B01

La corriente de sólidos proveniente de la centrifuga C – B01 se va a secar en el secador rotatorio S – B01 a contracorriente con aire. El objetivo de esta etapa es acondicionar el ácido salicílico para la siguiente sección, el cual debe tener 0,04% de agua, 0,1% de fenol, 0,1% de subproductos, 0,1% de sulfato de sodio y 99,66% de ácido salicílico (Ullmann, 2016).

El cálculo de la cantidad de aire necesario para el secado, así como las condiciones finales del mismo se efectuaron mediante la resolución simultanea de las ecuaciones de balance de masa y energía, siguiendo el procedimiento descrito por Robert E. Treybal en Operaciones de transferencia de masa.

Se considera que todo el calor necesario para evaporar el agua contenida en el sólido es entregado por el aire de secado, el cual se enfría a medida que pasa a través del secador. La transferencia de energía ocurre por contacto directo y no existen pérdidas al ambiente.

Se supone que el aire utilizado para secar se toma del ambiente a 25°C de temperatura y 50% de humedad relativa.

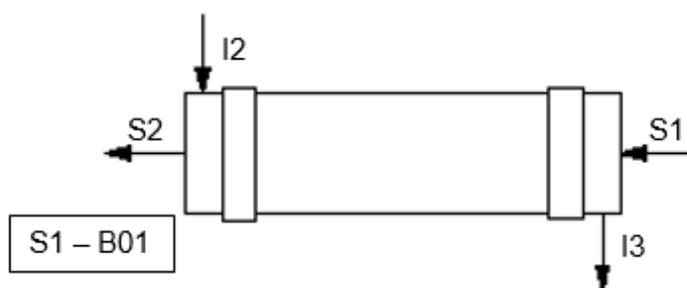


Imagen 7.14 - Diagrama del secador S – B01.
Elaboración propia.

Tabla 7.27 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del secador S – B01.

Balance de masa	
Balance global:	$S1 + I2 = S2 + I3$
Balance parcial del agua:	$S1 X_{S1-A} + I2 X_{I2-A} = S2 X_{S2-A} + I3 X_{I3-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$S1 H_{S1} + I2 H_{I2} = S2 H_{S2} + I3 H_{I3}$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.28 - Balance de masa y energía del secador S – B01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
I2	Entrada	Ácido salicílico sólido húmedo	24,81	Ácido salicílico	85,51%	21,21
				Fenol	0,09%	0,02
				Sulfato de sodio	0,09%	0,02
				PHB y 4-HIF	0,09%	0,02
				Agua	14,23%	3,53
S1	Entrada	Aire de secado	147,07	Aire	99,01%	145,61
				Agua	0,99%	1,46
Masa de entrada total [kg/h]				171,88		
I3	Salida	Ácido salicílico sólido seco	21,29	Ácido salicílico	99,66%	21,21
				Fenol	0,10%	0,02
				Sulfato de sodio	0,10%	0,02
				PHB y 4-HIF	0,10%	0,02
				Agua	0,04%	0,01
S2	Salida	Aire de secado húmedo	150,59	Aire	96,69%	145,61
				Agua	3,31%	4,98
Masa de salida total [kg/h]				171,88		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
I2	Entrada	40	0,4571	0		
S1	Entrada	95	0,2423	1		
I3	Salida	90	0,4111	0		
S2	Salida	30	0,2452	1		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Calor intercambiado, Q [kcal/h]	1610,45
Calor para calentar el aire, Q _s [kcal/h]	2448,29
Masa de agua evaporada [kg/h]	3,52

7.3.5. Sección C

➤ Reactor R – C02

El ácido salicílico seco saliente del secador S – B01 ingresa al reactor R - C02 donde se mezcla con anhídrido acético y ácido acético, el objetivo de este último es proveer el medio ácido necesario para la reacción, por lo que no se consume.

Las relaciones molares que se usan para cargar el reactor son 1/1,4/1 de ácido salicílico, anhídrido acético y ácido acético, esto quiere decir que el anhídrido ingresa con un 40% molar en exceso (Cavin, 2002).

El reactor es continuo e isotérmico, opera a presión atmosférica y a una temperatura de 90°C, en esas condiciones el rendimiento de la reacción es de 93% y no ocurren reacciones secundarias (Cavin, 2002).

La reacción de acetilación es exotérmica, y como se debe mantener la temperatura constante, se retira el calor excedente haciendo circular agua de enfriamiento por la camisa con la que cuenta el equipo. Estos cálculos del balance de energía fueron efectuados en CHEMCAD versión 6.

Los productos de la reacción son el ácido acetil salicílico, producto deseado, y ácido acético, subproducto. Además, se considera que los calores de mezclado y de agitación mecánica son despreciables.

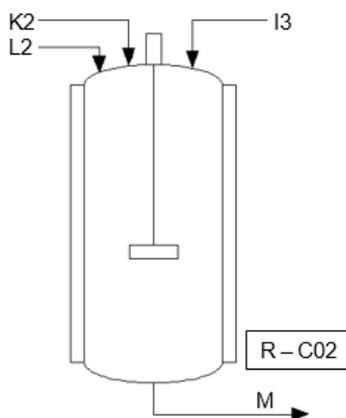


Imagen 7.15 - Diagrama del reactor R – C02.
Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.29 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del reactor R – C02.

Balance de masa	
Balance global:	$K2 + L2 + I3 = M$
Balance parcial del ácido acético (c):	$K2 X_{K2-C} + L2 X_{L2-C} + I3 X_{I3-C} = M X_{M-C}$
Balance de energía	
Balance global:	$K2 H_{K2} + L2 H_{L2} + I3 H_{I3} - Q_{R2} - \Delta R_{AAS} = M H_M$

Donde:

Q_{R2} : calor a retirar en el reactor para mantener la temperatura constante a 90°C.

ΔR_{AAS} : calor de reacción a 90°C.

Tabla 7.30 - Balance de masa y energía del reactor R – C02.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
I3	Entrada	Ácido salicílico sólido seco	21,29	Ácido salicílico	99,66%	21,21
				Fenol	0,10%	0,02
				Sulfato de sodio	0,10%	0,02
				PHB y 4-HIF	0,10%	0,02
				Agua	0,04%	0,01
K2	Entrada	Ácido acético glacial	9,224	Ácido acético	99,99%	9,223
				Agua	00,01%	0,001
L2	Entrada	Anhídrido acético puro	21,95	Anhídrido acético	100%	21,95
Masa de entrada total [kg/h]				52,464		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

M	Salida	Producto de reacción	52,464	Ácido acetil salicílico	49,05%	25,73
				Ácido acético	33,93%	17,80
				Anhídrido acético	14,05%	7,37
				Ácido salicílico	2,83%	1,48
				Fenol	0,04%	0,02
				Sulfato de sodio	0,04%	0,02
				PHB y 4-HIF	0,04%	0,02
				Agua	0,02%	0,011
Masa de salida total [kg/h]				52,464		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
I3	Entrada	90	0,4111	0		
K2	Entrada	90	0,5628	0		
L2	Entrada	90	0,5195	0		
M	Salida	90	0,4576	0		
Calor a retirar, Q_{R2} [kcal/h]			-1194,82			
Agua de enfriamiento						
Masa [kg/h]			Temperatura de entrada [°C]	Temperatura de salida [°C]		
99,57			20	32		

➤ Intercambiador de calor I – C03

El intercambiador de calor I – C03 es empleado para calentar la corriente de anhídrido acético desde 25 a 90 °C, la cual ingresa al reactor R – C02 para efectuar la reacción de acetilación. El calentamiento ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

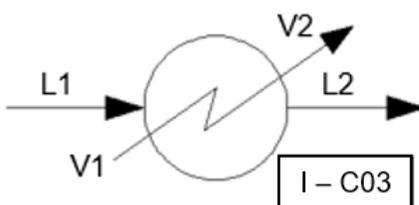


Imagen 7.16 - Diagrama del intercambiador de calor I – C03.
Elaboración propia.

Tabla 7.31 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del intercambiador de calor I – C03.

Balance de masa	
Balance global:	$V1 + L1 = V2 + L2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_L = Q_V$ $C_{pL} \times \Delta t \times L = \lambda \times V$ $L1 H_{L1} + V1 H_{V1} = V2 H_{V2} + L2 H_{L2}$ $V (H_{V1} - H_{V2}) = L (H_{L2} - H_{L1})$

Donde:

Q_L : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del anhídrido acético desde 25 a 90°C.

Q_V : Calor latente entregado por el vapor de caldera.

C_{pL} : calor específico promedio del anhídrido acético.

L: masa de la corriente de anhídrido acético, en kilogramos $L = L1 = L2$.

V: masa de vapor, en kilogramos $V = V1 = V2$.

Tabla 7.32 - Balance de masa y energía del intercambiador de calor I – C03.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
L1	Entrada	Anhídrido acético puro	21,95	Anhídrido acético	100%	21,95
V1	Entrada	Vapor	1,37	Agua	100%	1,37
Masa de entrada total [kg/h]				23,32		
L2	Salida	Anhídrido acético puro	21,95	Anhídrido acético	100%	21,95
V2	Salida	Condensado	1,37	Agua	100%	1,37
Masa de salida total [kg/h]				23,32		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Balance de energía				
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada
L1	Entrada	25	0,4417	0
V1	Entrada	155	0,4575	1
L2	Salida	90	0,5195	0
V2	Salida	155	1,0321	0
Calor intercambiado, Q_L [kcal/h]			686,20	
Calor de vaporización, λ [kcal/kg]			501,43	
Masa de vapor necesaria, V [kg/h]			1,37	

➤ Intercambiador de calor I – C04

El intercambiador de calor I – C04 es empleado para calentar la corriente de ácido acético desde 25 a 90°C, la cual ingresa al reactor R – C02 para proveer de un medio ácido la reacción de acetilación. El calentamiento ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

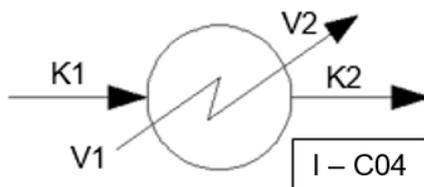


Imagen 7.17 - Diagrama del intercambiador de calor I – C04.
Elaboración propia.

Tabla 7.33 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del intercambiador de calor I – C04.

Balance de masa	
Balance global:	$V1 + K1 = V2 + K2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_K = Q_V$ $C_{pK} \times \Delta t \times K = \lambda \times V$ $K1 H_{K1} + V1 H_{V1} = V2 H_{V2} + K2 H_{K2}$ $V (H_{V1} - H_{V2}) = K (H_{K2} - H_{K1})$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Donde:

Q_K : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del ácido acético desde 25 a 90°C.

Q_V : Calor latente entregado por el vapor de caldera.

C_{pK} : calor específico promedio del ácido acético.

K: masa de la corriente de ácido acético, en kilogramos $K = K1 = K2$.

V: masa de vapor, en kilogramos $V = V1 = V2$.

Tabla 7.34 - Balance de masa y energía del intercambiador de calor I – C04.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
K1	Entrada	Ácido acético glacial	9,224	Ácido acético	99,99%	9,223
				Agua	00,01%	0,001
V1	Entrada	Vapor	0,63	Agua	100%	0,63
Masa de entrada total [kg/h]				9,854		
K2	Salida	Ácido acético glacial	9,224	Ácido acético	99,99%	9,223
				Agua	00,01%	0,001
V2	Salida	Condensado	0,63	Agua	100%	0,63
Masa de salida total [kg/h]				9,854		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]		Fracción vaporizada	
K1	Entrada	25	0,4926		0	
V1	Entrada	155	0,4575		1	
K2	Salida	90	0,5628		0	
V2	Salida	155	1,0321		0	
Calor intercambiado, Q_K [kcal/h]			315,09			
Calor de vaporización, λ [kcal/kg]			501,43			
Masa de vapor necesaria, V [kg/h]			0,63			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Economizador / Intercambiador de calor E – C01

El economizador E – C01 es, en realidad, un intercambiador de calor, se lo suele denominar así porque en él se efectúa integración energética. Es empleado para calentar la corriente de anhídrido acético desde 25 a 90 °C, la cual ingresa al reactor R – C02 para efectuar la reacción de acetilación, utilizando como fuente de calor la corriente de destilado que sale por la cabeza de la torre de destilación D – D01, que está constituida principalmente por ácido acético recuperado. Esta operación se lleva a cabo con el objetivo de aprovechar el calor contenido en el destilado y de enfriar dicha corriente para su almacenamiento. El calentamiento ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

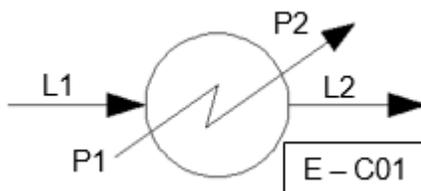


Imagen 7.18 - Diagrama del economizador E – C01.
Elaboración propia.

Tabla 7.35 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del economizador E – C01.

Balance de masa	
Balance global:	$P1 + L1 = P2 + L2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_L = Q_P$ $C_{pL} \times \Delta t \times L = C_{pP} \times \Delta t \times P$ $L1 H_{L1} + P1 H_{P1} = P2 H_{P2} + L2 H_{L2}$ $P (H_{P1} - H_{P2}) = L (H_{L2} - H_{L1})$

Donde:

Q_L : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del anhídrido acético desde 25 a 90°C.

Q_P : Calor sensible entregado por la corriente de destilado.

C_{pL} : Calor específico promedio del anhídrido acético.

C_{pP} : Calor específico promedio de la corriente de destilado.

L: masa de la corriente de anhídrido acético, en kilogramos $L = L1 = L2$.

P: masa de la corriente de destilado, en kilogramos $P = P1 = P2$.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.36 - Balance de masa y energía del economizador E – C01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
L1	Entrada	Anhídrido acético puro	21,95	Anhídrido acético	100%	21,95
P1	Entrada	Destilado, constituido principalmente por ácido acético recuperado	14,39	Ácido acético	97,98%	14,10
				Anhídrido acético	2,02%	0,29
Masa de entrada total [kg/h]				36,34		
L2	Salida	Anhídrido acético puro	21,95	Anhídrido acético	100%	21,95
P2	Salida	Destilado, constituido principalmente por ácido acético recuperado	14,39	Ácido acético	97,98%	14,10
				Anhídrido acético	2,02%	0,29
Masa de salida total [kg/h]				36,34		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]		Fracción vaporizada	
L1	Entrada	25	0,4417		0	
P1	Entrada	118,30	0,3113		0	
L2	Salida	90	0,5195		0	
P2	Salida	30,80	0,5038		0	
Calor intercambiado, Q _L [kcal/h]			686,20			

➤ Economizador / Intercambiador de calor E – C02

El economizador E – C02 es, en realidad, un intercambiador de calor, se lo suele denominar así porque en él se efectúa integración energética. Es empleado para calentar la corriente de ácido acético desde 25 a 90°C, la cual ingresa al reactor R – C02 para proveer de un medio ácido la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

reacción de acetilación, utilizando como fuente de calor la corriente de residuo que sale por el fondo de la torre de destilación D – D01, que está constituida principalmente por anhídrido acético recuperado.

Esta operación se lleva a cabo con el objetivo de aprovechar el calor contenido en el residuo y de enfriar dicha corriente para su almacenamiento. El calentamiento ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

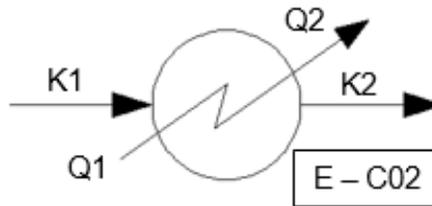


Imagen 7.19 - Diagrama del economizador E – C02.
Elaboración propia.

Tabla 7.37 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del economizador E – C02.

Balance de masa	
Balance global:	$Q1 + K1 = Q2 + K2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_K = Q_Q$ $C_{pK} \times \Delta t \times K = C_{pQ} \times \Delta t \times Q$ $K1 H_{K1} + Q1 H_{Q1} = K2 H_{K2} + Q2 H_{Q2}$ $Q (H_{Q1} - H_{Q2}) = K (H_{K2} - H_{K1})$

Donde:

Q_K : Calor sensible necesario para elevar la temperatura del ácido acético desde 25 a 90°C.

Q_Q : Calor sensible entregado por la corriente de residuo.

C_{pK} : Calor específico promedio del ácido acético.

C_{pQ} : Calor específico promedio de la corriente de residuo.

K : masa de la corriente de ácido acético, en kilogramos $K = K1 = K2$.

Q : masa de la corriente de residuo, en kilogramos $Q = Q1 = Q2$.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.38 - Balance de masa y energía del economizador E – C02.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
K1	Entrada	Ácido acético glacial	9,224	Ácido acético	99,99%	9,223
				Agua	00,01%	0,001
Q1	Entrada	Residuo, constituido principalmente por anhídrido acético recuperado	5,56	Ácido acético	0,18%	0,01
				Anhídrido acético	99,82%	5,55
Masa de entrada total [kg/h]				14,784		
K2	Salida	Anhídrido acético puro	9,224	Ácido acético	99,99%	9,223
				Agua	00,01%	0,001
Q2	Salida	Residuo, constituido principalmente por anhídrido acético recuperado	5,56	Ácido acético	0,18%	0,01
				Anhídrido acético	99,82%	5,55
Masa de salida total [kg/h]				14,784		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
K1	Entrada	25	0,4926	0		
Q1	Entrada	139,40	0,5786	0		
K2	Salida	90	0,5628	0		
Q2	Salida	28,90	0,4467	0		
Calor intercambiado, Q_k [kcal/h]			315,09			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

7.3.6. Sección D

➤ Filtro F – D01

La corriente de producto de reacción que sale del reactor R – C02 se somete a una etapa de filtración en el equipo F – D01, el cual es un filtro rotatorio de vacío que separa y lava los sólidos, constituidos principalmente por ácido acetil salicílico.

El líquido en la alimentación a filtrar es una mezcla de ácido acético, cuya cantidad es igual a la ingresada al reactor más la que se formó como subproducto, y anhídrido acético, que es igual a la cantidad sin reaccionar más el exceso.

Esta etapa tiene un rendimiento del 80% respecto al volumen de líquido a filtrar (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019).

El ácido acetil salicílico, el ácido salicílico, el sulfato de sodio y los subproductos, PHB y 4-HIF, presentan muy baja solubilidad en ácido y anhídrido acético, es por ello que solamente estas dos últimas sustancias aparecen como líquido filtrado y se desprecia las trazas de los demás compuestos (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019).

Luego de la filtración, el AAS se purifica en una etapa de lavado que se lleva a cabo en el mismo equipo. La cantidad de agua de lavado necesaria es de 1,2 kg de agua/kg AAS, esta relación permite lavar el producto de sus impurezas, que son arrastradas por el agua, logrando una composición final del sólido de 80,94% de AAS, 18,90% de agua, 0,08% de AS, 0,04% de solventes, 0,03% de sulfato y 0,00% de subproductos (Aleu, Espinoza, & Sánchez, 2019). Con solventes se refiere a una mezcla de fenol, ácido y anhídrido acético.

La pérdida de AAS en el agua de lavado se considera dentro de las pérdidas globales del proceso. Respecto al balance de energía, no hay cambios energéticos apreciables ni intercambio de calor involucrado en la etapa de filtración dentro del equipo. Sin embargo, en la etapa de lavado si hay cambios apreciables, ya que el agua que ingresa al filtro a 25°C provoca el enfriamiento del sólido desde 90 a 30°C, esto fue simulado en el software CHEMCAD versión 6.

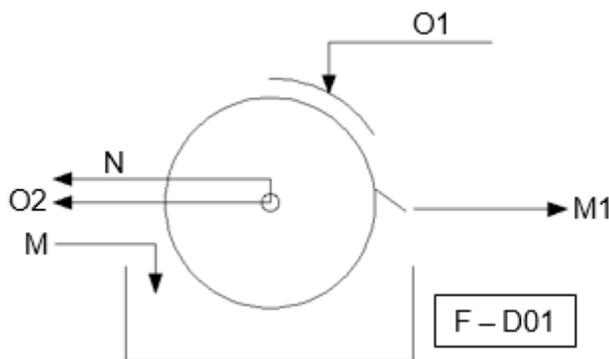


Imagen 7.20 - Diagrama del filtro F – D01.
Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.39 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del filtro F – D01.

Balance de masa	
Balance global:	$M + O1 = M1 + N + O2$
Balance parcial del ácido salicílico (AS):	$M X_{M-AS} + O1 X_{O1-AS} = M1 X_{M1-AS} + N X_{N-AS} + O2 X_{O2-AS}$
Balance de energía	
Balance global del lavado:	$M1' H_{M1'} + O1 H_{O1} = M1 H_{M1} + O2 H_{O2}$

Donde:

M1': es el sólido dentro del filtro previo al ingreso del agua de lavado.

Tabla 7.40 - Balance de masa y energía del filtro F – D01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
M	Entrada	Producto de reacción	52,46	Ácido acetil salicílico	49,05%	25,73
				Ácido acético	33,93%	17,80
				Anhidrido acético	14,05%	7,37
				Ácido salicílico	2,83%	1,48
				Fenol	0,04%	0,02
				Sulfato de sodio	0,04%	0,02
				PHB y 4-HIF	0,04%	0,02
				Agua	0,02%	0,01
O1	Entrada	Agua de lavado	30,60	Agua	100%	30,60
Masa de entrada total [kg/h]				83,06		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

O2	Salida	Agua de lavado con impurezas	31,32	Agua	78,55%	24,6
				Ácido salicílico	4,66%	1,46
				PHB y 4-HIF	0,07%	0,02
				Solventes	16,69%	5,23
				Sulfato de sodio	0,03%	0,01
N	Salida	Filtrado, mezcla de ácido y anhídrido acético	19,95	Ácido acético	70,72%	14,11
				Anhídrido acético	29,28%	5,84
M1	Salida	Sólido húmedo, formado principalmente por AAS	31,79	Ácido acetil salicílico	80,94%	25,73
				Ácido salicílico	0,08%	0,03
				Solventes	0,04%	0,01
				Sulfato de sodio	0,03%	0,01
				Agua	18,90%	6,01
Masa de salida total [kg/h]				83,06		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
M	Entrada	90	0,4576	0		
O1	Entrada	25	0,9996	0		
O2	Salida	42,5	0,9974	0		
N	Salida	90	0,5501	0		
M1	Salida	30	0,4485	0		
Calor intercambiado, Q [kcal/h]			533,48			

➤ Torre de destilación D – D01

La corriente líquida saliente del filtro F – D01, denominada filtrado, está constituida por ácido acético y anhídrido acético sin reaccionar, que pueden recuperarse para reutilizarlos en la sección C, mediante una destilación, basándose en la diferencia de sus puntos de ebullición, que son 118°C y 140°C, respectivamente (Cavin, 2002).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

La corriente del fondo de la torre de destilación debe tener una composición superior al 99,5% molar de anhídrido acético, para que este sea apto para ser utilizado nuevamente en la reacción de acetilación (Patente US5264087A).

El balance de masa y energía se realiza mediante una simulación en CHEMCAD versión 6.

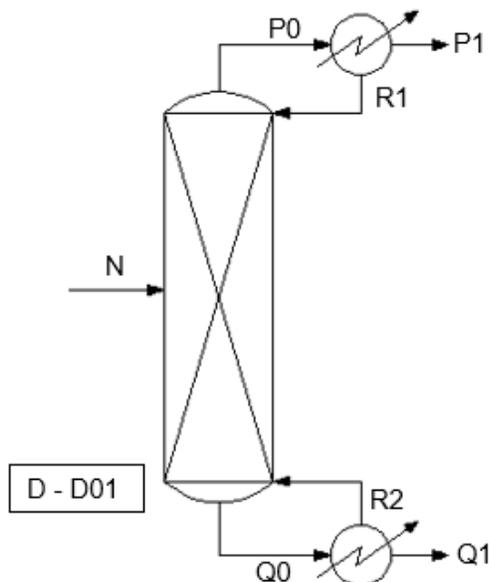


Imagen 7.21 - Diagrama de la torre de destilación D – D01.
Elaboración propia.

Tabla 7.41 - Ecuaciones para el balance de masa y energía de la torre de destilación D – D01.

Balance de masa	
Balance global:	$N = P1 + Q1$
Balance parcial del ácido acético (c):	$N X_{N-C} = P1 X_{P1-C} + Q1 X_{Q1-C}$
Balance de energía	
Balance global:	$N H_N + Q_R = P1 H_{P1} + Q1 H_{Q1} + Q_C$

Donde:

Q_R : Calor entregado en el rehervidor.

Q_C : Calor retirado en el condensador.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.42 - Balance de masa y energía de la torre de destilación D – D01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
N	Entrada	Alimentación, mezcla de ácido y anhídrido acético	19,95	Ácido acético	70,72%	14,11
				Anhídrido acético	29,28%	5,84
Masa de entrada total [kg/h]				19,95		
P1	Salida	Destilado, constituido principalmente por ácido acético recuperado	14,39	Ácido acético	97,98%	14,10
				Anhídrido acético	2,02%	0,29
Q1	Salida	Residuo, constituido principalmente por anhídrido acético recuperado	5,56	Ácido acético	0,18%	0,01
				Anhídrido acético	99,82%	5,55
Masa de salida total [kg/h]				19,95		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
N	Entrada	90	0,5501	0		
P1	Salida	118,3	0,3113	0		
Q1	Salida	139,4	0,5786	0		
Calor retirado en el condensador Q _C [kcal/h]			-4588,99			
Calor entregado en el rehervidor Q _R [kcal/h]			4975,68			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Intercambiador de calor I – D05

El intercambiador de calor I – D05 es parte de la torre de destilación D – D01 y es un condensador total empleado, valga la redundancia, para condensar la corriente de vapor, constituida principalmente por ácido acético, que sale por la cabeza de la torre. Para el enfriamiento se utiliza agua y ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable

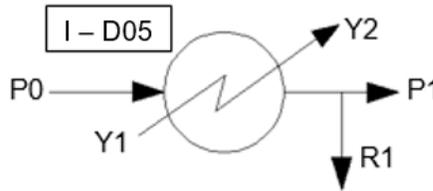


Imagen 7.22 - Diagrama del condensador I – D05.
Elaboración propia.

Tabla 7.43 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del condensador I – D05.

Balance de masa	
Balance global:	$P_0 + Y_1 = P_1 + R_1 + Y_2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_C = Q_Y$ $\lambda_P \times P = C_{pY} \times \Delta t \times Y$ $P_0 H_{P_0} + Y_1 H_{Y_1} = P_1 H_{P_1} + R_1 H_{R_1} + Y_2 H_{Y_2}$ $P_0 H_{P_0} - P_1 H_{P_1} - R_1 H_{R_1} = Y (H_{Y_2} - H_{Y_1})$

Donde:

Q_C : Calor a retirar para condensar el vapor saliente por la cabeza de la torre.

Q_Y : Calor sensible retirado por el agua de enfriamiento.

C_{pY} : Calor específico promedio del agua de enfriamiento.

Y: masa de la corriente de agua de enfriamiento, en kilogramos $Y = Y_1 = Y_2$.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.44 - Balance de masa y energía del condensador I – D05.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
P0	Entrada	Corriente de vapor que sale por la cabeza de la torre	48,21	Ácido acético	97,98%	47,24
				Anhídrido acético	2,02%	0,97
Y1	Entrada	Agua de enfriamiento	382,42	Agua	100%	382,42
Masa de entrada total [kg/h]				430,63		
Y2	Salida	Agua de enfriamiento	382,42	Agua	100%	382,42
P1	Salida	Destilado	14,39	Ácido acético	97,98%	14,10
				Anhídrido acético	2,02%	0,29
R1	Salida	Reflujo	33,82	Ácido acético	97,98%	33,14
				Anhídrido acético	2,02%	0,68
Masa de salida total [kg/h]				430,63		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
P0	Entrada	118,3	0,3111	1		
Y1	Entrada	20	1,0009	0		
Y2	Salida	32	0,9983	0		
P1	Salida	118,3	0,3113	0		
R1	Salida	118,3	0,3113	0		
Calor intercambiado, Q _c [kcal/h]			-4588,99			
Masa de agua de enfriamiento Y [kg/h]			382,42			

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Intercambiador de calor I – D06

El intercambiador de calor I – D06 es parte de la torre de destilación D – D01 y es un rehedidor parcial empleado para vaporizar la corriente de líquido, constituida principalmente por anhídrido acético, que sale por el fondo de la torre. Para el calentamiento se utiliza vapor y ocurre por contacto indirecto, por lo que, no existe mezcla ni cambios en las composiciones de las corrientes, solo cambios energéticos y de fase. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable

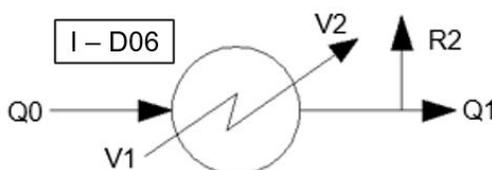


Imagen 7.23 - Diagrama del rehedidor I – D06.
Elaboración propia.

Tabla 7.45 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del rehedidor I – D06.

Balance de masa	
Balance global:	$Q_0 + V_1 = Q_1 + R_2 + V_2$
Balance de energía	
Balance global:	$Q_R = Q_V$ $\lambda_Q \times R_2 = \lambda_V \times V$ $Q_0 H_{Q0} + V_1 H_{V1} = Q_1 H_{Q1} + R_2 H_{R2} + V_2 H_{V2}$ $V (H_{V1} - H_{V2}) = Q_1 H_{Q1} + R_2 H_{R2} - Q_0 H_{Q0}$

Donde:

Q_R : Calor necesario para vaporizar la masa de la corriente R2.

Q_V : Calor latente entregado por el vapor.

V: masa de la corriente de vapor en kilogramos $V = V_1 = V_2$.

Tabla 7.46 - Balance de masa y energía del rehedidor I – D06.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
Q0	Entrada	Corriente de líquido que sale por el fondo de la torre	58,49	Ácido acético	0,18%	58,38
				Anhídrido acético	99,82%	0,11

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

V1	Entrada	Vapor	9,92	Agua	100%	9,92
Masa de entrada total [kg/h]				68,41		
V2	Salida	Vapor	9,92	Agua	100%	9,92
Q1	Salida	Residuo, constituido principalmente por anhídrido acético recuperado	5,56	Ácido acético	0,18%	0,01
				Anhídrido acético	99,82%	5,55
R2	Salida	Reflujo de vapor	52,93	Ácido acético	0,18%	0,1
				Anhídrido acético	99,82%	52,83
Masa de salida total [kg/h]				68,41		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
Q0	Entrada	139,4	0,5786	0		
V1	Entrada	155	0,4575	1		
V2	Salida	155	1,0321	0		
Q1	Salida	139,4	0,5786	0		
R2	Salida	139,4	0,3101	1		
Calor intercambiado, Q_R [kcal/h]			4975,68			
Masa de vapor, V [kg/h]			9,92			

➤ **Secador S – D02**

La corriente de sólidos proveniente del filtro F – D01 se ve a secar en el secador rotatorio S – D02 en flujo paralelo con aire. El objetivo de esta etapa es obtener el ácido acetil salicílico con las características finales indicadas en la Tabla 6.2 del capítulo 6.

El cálculo de la cantidad de aire necesario para el secado, así como las condiciones finales del mismo se efectuaron mediante la resolución simultánea de las ecuaciones de balance de masa y energía, siguiendo el procedimiento descrito por Robert E. Treybal en Operaciones de transferencia de masa.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Se considera que todo el calor necesario para evaporar el agua contenida en el sólido es entregado por el aire de secado, el cual se enfría a medida que pasa a través del secador. La transferencia de energía ocurre por contacto directo y no existen pérdidas al ambiente.

Se supone que el aire utilizado para secar se toma del ambiente a 25°C de temperatura y 50% de humedad relativa.

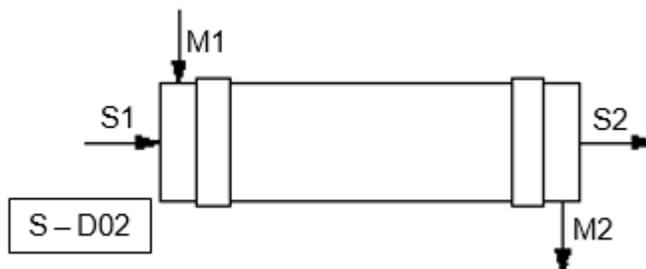


Imagen 7.24 - Diagrama del secador S – D02.
Elaboración propia.

Tabla 7.47 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del secador S – D02.

Balance de masa	
Balance global:	$S1 + M1 = S2 + M2$
Balance parcial del agua:	$S1 X_{S1-A} + M1 X_{M1-A} = S2 X_{S2-A} + M2 X_{M2-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$S1 H_{S1} + M1 H_{M1} = S2 H_{S2} + M2 H_{M2}$

Tabla 7.48 - Balance de masa y energía del secador S – D02.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
M1	Entrada	Ácido acetil salicílico sólido húmedo	31,79	Ácido acetil salicílico	80,94%	25,73
				Ácido salicílico	0,08%	0,03
				Solventes	0,04%	0,01
				Sulfato de sodio	0,03%	0,01
				Agua	18,90%	6,01
S1	Entrada	Aire de secado	326,54	Aire	99,01%	323,31
				Agua	0,99%	3,23
Masa de entrada total [kg/h]				358,33		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

M2	Salida	Ácido acetil salicílico sólido seco	25,79	Ácido acetil salicílico	99,77%	25,73
				Ácido salicílico	0,10%	0,03
				Solventes	0,05%	0,01
				Sulfato de sodio	0,04%	0,01
				Agua	0,04%	0,01
S2	Salida	Aire de secado húmedo	332,54	Aire	97,22%	323,31
				Agua	2,78%	9,23
Masa de salida total [kg/h]				358,33		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
M1	Entrada	30	0,4485	0		
S1	Entrada	90	0,2422	1		
M2	Salida	34,5	0,2810	0		
S2	Salida	45	0,2453	1		
Calor intercambiado, Q [kcal/h]			2555,25			
Calor para calentar el aire, Q _s [kcal/h]			5047,84			
Masa de agua evaporada [kg/h]			6,00			

➤ Sistema molino tamiz MT – D01

En este equipo no ocurren cambios másicos ni de composición, únicamente se disminuye el tamaño de las partículas sólidas desde 300 a 180 μm (Aleo, Espinoza, & Sánchez, 2019). El rendimiento de la molienda se considera del 100%.

No existe variación energética significativa durante esta etapa, se desprecia el calor mecánico generado en el molino, por lo que la corriente de entrada y salida presentan la misma temperatura.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

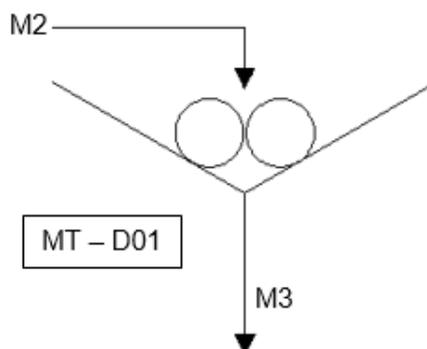


Imagen 7.25 - Diagrama del sistema molino tamiz MT – D01.
Elaboración propia.

Tabla 7.49 - Ecuaciones para el balance de masa y energía del sistema molino tamiz MT – D01.

Balance de masa	
Balance global:	$M2 = M3$
Balance parcial del agua:	$M2 X_{M2-A} = M3 X_{M3-A}$
Balance de energía	
Balance global:	$M2 H_{M2} = M3 H_{M3}$

Tabla 7.50 - Balance de masa y energía del sistema molino tamiz MT – D01.

Balance de masa						
Corriente	Entrada/ Salida	Denominación	Masa total [kg/h]	Componente	Composición porcentual	Masa [kg/h]
M2	Entrada	Ácido acetil salicílico sólido húmedo	25,79	Ácido acetil salicílico	99,77%	25,73
				Ácido salicílico	0,10%	0,03
				Solventes	0,05%	0,01
				Sulfato de sodio	0,04%	0,01
				Agua	0,04%	0,01
Masa de entrada total [kg/h]				25,79		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

M3	Salida	Ácido acetil salicílico sólido seco molido	25,79	Ácido acetil salicílico	99,77%	25,73
				Ácido salicílico	0,10%	0,03
				Solventes	0,05%	0,01
				Sulfato de sodio	0,04%	0,01
				Agua	0,04%	0,01
Masa de salida total [kg/h]				25,79		
Balance de energía						
Corriente	Entrada/ Salida	Temperatura [°C]	Cp [kcal/kg°C]	Fracción vaporizada		
M2	Entrada	34,5	0,2810	0		
M3	Salida	34,5	0,2810	0		

La última corriente de salida M3 de 25,79 kg/h representa el producto final ya listo para ser envasado, pero hay que aclarar dos consideraciones respecto a la misma. Primero se le debe sumar una corriente denominada cenizas de 0,01 kg/h, estas hacen referencias a trazas de compuestos inorgánicos que van quedando en el producto a medida que atraviesa las distintas etapas. Más allá de que su cantidad no es relevante, si lo es para la composición final del producto. Segundo, se le debe restar 0,80 kg/h correspondiente a pérdidas globales del proceso, que incluyen las etapas de centrifugación, filtración y lavado. En conclusión, la corriente final está constituida por 25 kg/h.

7.3.7. Resumen del balance de masa y energía

A modo de conclusión del capítulo se efectúa en la Tabla 7.53 un resumen del balance de masa y energía, donde se especifican los consumos totales de materias primas y servicios para la producción de una unidad de ácido acetil salicílico, como así también la cantidad de efluentes y subproductos que se generan por kilogramo de producto. Respecto a estos últimos dos es válido aclarar que como efluente se considera las agua madres de la centrífuga C – B01 y las aguas de lavado del filtro F – D01; y respecto al subproducto se calcula en base al ácido acético disponible para la venta, que es el excedente a la cantidad necesaria para autoabastecer el proceso.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 7.53 - Resumen del balance de masa y energía.

Materia prima / Servicio / Efluente / Subproducto	kg / kg de AAS
Fenol	0,58
Hidróxido de sodio	0,50
Dióxido de carbono	0,35
Ácido sulfúrico	0,51
Anhídrido acético	0,85
Ácido acético	0,36
Agua de proceso	2,34
Agua de enfriamiento	55,85
Vapor	0,61
Efluentes	2,90
Subproducto (ácido acético)	0,20

Los valores de la Tabla 7.53 están calculados en base a la cantidad total requerida para producir una unidad de producto, pero es pertinente mencionar que el proceso permite recuperar el 24,23% del dióxido de carbono, el 25,33% del anhídrido acético y el 100% del ácido acético necesario.

*DISEÑO Y ADOPCIÓN DE
EQUIPOS*

CAPÍTULO 8

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8. DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

8.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrollan los cálculos y criterios a tener en cuenta para el diseño y adopción de equipos que van a ser utilizados en el proceso de producción de ácido acetil salicílico. En los casos en que se adopta el equipo, se elige el que esté disponible en el mercado y que mejor se adapte a los requerimientos técnicos que se establecen a través de los cálculos realizados. Los equipos están dimensionados para satisfacer los balances de masa y energía definidos en el capítulo 7.

Los valores de las propiedades de las sustancias involucradas se obtuvieron de la base de datos de CHEMCAD 6. En la Tabla 8.1 se muestran los equipos a diseñar y adoptar que son necesarios.

Tabla 8.1 - Equipos para diseño y adopción.

Diseño	Adopción
Tanques de almacenamiento y pulmón	Compresor
Tanques agitados	Centrífuga
Reactores	Filtro rotativo
Torre de decoloración	Sistema molino-tamiz
Torre de destilación	Envasadora
Secadores	Bombas
Intercambiadores de calor	

8.2. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

Para el almacenamiento de materias primas se ha tomado como criterio contar con un mes de stock, en caso de posibles eventualidades, ya que dos de las materias primas, el fenol y el anhídrido acético, son importadas. Con el resto se tomó este mismo razonamiento, pero con la finalidad de abaratar los costos de transporte. La única excepción es para el ácido acético, que sólo se compra al inicio de la actividad productiva, ya que se recupera y además se genera más ácido acético del necesario, por lo tanto, el proceso se autoabastece.

8.2.1. Diseño de tanques

El diseño mecánico de los tanques se realiza bajo la normativa API 650, teniendo en cuenta el tiempo de residencia, las propiedades del fluido, las condiciones de seguridad y el objetivo de la operación, para todos los tanques involucrados en el proceso se parte de los siguientes cálculos:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$V_{Tanque} = V_{Cilindro} + 2 \cdot V_{Fondo} \quad (1)$$

$$V_{Cilindro} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \quad (2)$$

$$V_{Fondo} = \frac{\pi \cdot D^2}{6} \cdot H \quad (3)$$

Donde:

V: volumen [m³]

D: diámetro interno del cilindro [m]

h: altura del cilindro [m]

H: altura del fondo o de la cabeza del tanque [m], que puede suponerse en primera instancia como:

$$H = \frac{D}{4} \quad (4)$$

El volumen del tanque es el volumen que ocupa la materia prima más un margen de seguridad, que en este caso se tomó de un 20%.

$$V_{Tanque} = \frac{m}{\delta} \cdot 1,2 \quad (5)$$

Donde:

m: masa materia prima [kg]

δ: densidad materia prima [kg/m³]

Teniendo en cuenta para los tanques una relación de esbeltez de 1,5.

$$\frac{h}{D} = 1,5 \quad (6)$$

Para el cálculo del espesor de la pared se tuvo en cuenta la información dada en la Tabla 8.2 extraída de la misma norma de diseño. A partir de la cual se toma la lámina de la pared y de la tapa del tanque de 5mm de espesor, y el del fondo de 6mm, ya que es el mínimo por cuestiones de seguridad.

Tabla 8.2 - Espesor de la pared del tanque. Fuente: Norma API 650

Diámetro nominal del tanque		Espesor nominal de la lámina	
m	ft	mm	ln
<15	<50	5	3/16
15 hasta <36	50 hasta <120	6	¼
36 hasta 60	120 hasta 200	8	5/16
>60	>200	10	3/8

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para el fondo y el tope del tanque se optó por la forma torisférica, también conocida como fondo y tope tipo Kloppler, siguiendo la norma DIN 28011. El cálculo de sus dimensiones características se lleva a cabo con las ecuaciones (7) a la (11).

$$R = D \quad (7)$$

$$r = 0,1 \cdot D \quad (8)$$

$$h_1 = 3,5 \cdot e \quad (9)$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot D - 0,455 \cdot e \quad (10)$$

$$H = h_1 + h_2 + e \quad (11)$$

En la Imagen 8.1 se muestra un diagrama representativo de los fondos tipo Kloppler y se indican sus dimensiones.

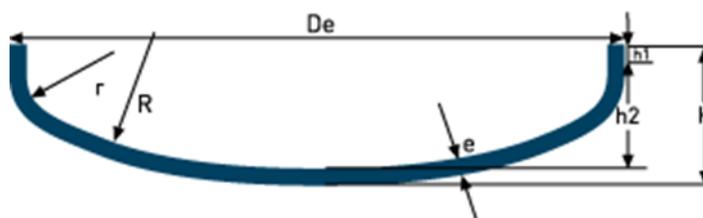


Imagen 8.1 - Dimensiones fondo Kloppler.

8.2.2. Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio T – 001

En la Tabla 8.3 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el tanque de almacenamiento de solución de hidróxido de sodio al 50%.

Tabla 8.3 – Datos y dimensiones del tanque T – 001.

Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio T – 001	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	2865,60 kg
Densidad	1310,66 kg/m ³
Volumen total	2,62 m ³
Altura del líquido	1,92 m
Altura total	2,38 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	2,20 m ³
Diámetro interno	1,23 m
Altura del cilindro	1,85 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Tope y fondo del tanque	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,21 m ³
Radio esférico interior (R)	1237 mm
Radio rebordeo interior (r)	123,70 mm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	238 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	264 mm
Espesor tope	5 mm

8.2.3. Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico T – 002

En la Tabla 8.4 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el tanque de almacenamiento de solución de ácido sulfúrico al 60%.

Tabla 8.4 – Datos y dimensiones del tanque T – 002.

Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico T – 002	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	2927,68 kg
Densidad	1372,36 kg/m ³
Volumen total	2,56 m ³
Altura del líquido	1,91 m
Altura total	2,38 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	2,14 m ³
Diámetro interno	1,23 m
Altura del cilindro	1,83 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Tope y fondo del tanque	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,21 m ³
Radio esférico interior (R)	1227 mm
Radio rebordo interior (r)	122,70 mm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	235 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	262 mm
Espesor tope	5 mm

8.2.4. Tanque de almacenamiento de anhídrido acético T – 003

En la Tabla 8.5 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el tanque de almacenamiento de anhídrido acético.

Tabla 8.5 – Datos y dimensiones del tanque T – 003.

Tanque de almacenamiento de anhídrido acético T – 003	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	4916,80 kg
Densidad	1075 kg/m ³
Volumen total	5,49 m ³
Altura del líquido	2,45 m
Altura total	3,03 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	4,63 m ³
Diámetro interno	1,58 m
Altura del cilindro	2,37 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Tope y fondo del tanque	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,43 m ³
Radio esférico interior (R)	1583 mm
Radio rebordeo interior (r)	158,30 mm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	304 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	331 mm
Espesor tope	5 mm

8.2.5. Tanques de almacenamiento de ácido acético T – 004 y T – 005

El ácido acético es un reactivo que se usa como catalizador en la reacción que se lleva a cabo en el reactor R – C02. Este se recupera al finalizar la acetilación, y además se genera más ácido acético como producto de reacción, por lo que se tiene un superávit del mismo. Entonces para su almacenamiento se diseñan dos tanques, el primer tanque T – 004 sirve para suplir las necesidades del proceso y el segundo tanque T – 005 para almacenar el exceso que posteriormente será vendido.

En este caso particular, en donde solo se compra ácido acético para abastecer el proceso hasta la puesta a punto de este, el tanque se diseña para satisfacer catorce (14) días de trabajo. En la Tabla 8.6 y en la Tabla 8.7 se detallan los datos y dimensiones calculadas para los tanques de almacenamiento de ácido acético.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.6 – Datos y dimensiones del tanque T – 004.

Tanque de almacenamiento de ácido acético T – 004	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	1032,64 kg
Densidad	1050 kg/m ³
Volumen total	1,18 m ³
Altura del líquido	1,48 m
Altura total	1,83 m
Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	0,98 m ³
Diámetro interno	0,94 m
Altura del cilindro	1,41 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Tope y fondo del tanque	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,10 m ³
Radio esférico interior (R)	948 mm
Radio rebordeo interior (r)	94,80 mm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	181 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	208 mm
Espesor tope	5 mm

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.7 – Datos y dimensiones del tanque T – 005.

Tanque de almacenamiento de ácido acético T – 005	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	1158,08 kg
Densidad	1050 kg/m ³
Volumen total	1,32 m ³
Altura del líquido	1,54 m
Altura total	1,90 m
Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	1,1 m ³
Diámetro interno	0,981 m
Altura del cilindro	1,47 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Tope y fondo del tanque	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,11 m ³
Radio esférico interior (R)	985 mm
Radio rebordeo interior (r)	98,5 mm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	188 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	215 mm
Espesor tope	5 mm

Nótese que las dimensiones de ambos tanques son muy similares, por lo tanto, se opta por hacer ambos iguales al de mayor tamaño, que es el tanque T – 005.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.3. DISEÑO DE TOLVAS

Por las características del proceso es necesaria la implementación de tanques pulmón, más específicamente tolvas, porque estos almacenarán temporalmente productos sólidos. Para determinar el tamaño de todas las tolvas involucradas en el proceso, se parte de los siguientes cálculos:

$$V_{Tolva} = V_{Cilindro} + V_{Cono} \quad (12)$$

$$V_{Cilindro} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \quad (13)$$

$$V_{Cono} = \frac{\pi \cdot D^2}{12} \cdot h_c \quad (14)$$

Donde:

V: volumen [m³]

D: diámetro interno del cilindro [m]

H: altura del cilindro [m]

h_c: altura del cono de la tolva [m], que se define como:

$$h_c = \frac{r}{\tan(\alpha)} \quad (15)$$

Donde:

r: radio interno del cilindro [m]

α: la mitad del ángulo interno del cono [°]

El volumen de la tolva es el volumen que ocupan los productos sólidos más un margen de seguridad, que para el caso de tomo del 20%.

$$V_{Tolva} = \frac{m}{\delta} \cdot 1,2 \quad (16)$$

Donde:

m: masa del sólido [kg]

δ: densidad del sólido [kg/m³]

Teniendo en cuenta para las tolvas una relación de esbeltez de 3.

$$\frac{h}{D} = 3 \quad (17)$$

En la Imagen 8.2 se muestra un diagrama representativo de las tolvas empleadas para el proceso.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 8.2 - Diagrama representativo de una tolva.

8.3.1. Tolva de almacenamiento de salicilato de sodio TV – A01

Como la sección A del proceso es discontinua, para poder operar de manera continua de allí en adelante se necesita una tolva que almacene la totalidad del producto intermedio, que es el salicilato de sodio sólido. En la Tabla 8.8 se detallan los datos y dimensiones calculadas para la tolva de almacenamiento de salicilato de sodio.

Tabla 8.8 – Datos y dimensiones de la tolva TV – A01.

Tolva de almacenamiento de salicilato de sodio TV – A01	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	1416,30 kg
Densidad	320 kg/m ³
Volumen total	5,31 m ³
Altura del sólido	3,12 m
Altura total	4,91 m
Cuerpo de la tolva	
Volumen del cilindro	4,84 m ³
Diámetro interno	1,27 m
Altura del cilindro	3,81 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Cono de la tolva	
Ángulo que forma el cono	30°
Volumen del cono	0,47 m ³
Altura del cono	1,10 m
Espesor	5 mm

8.3.2. Tolva de almacenamiento de ácido acetil salicílico TV – D02

A la salida del sistema molino-tamiz el producto terminado se almacena en una tolva antes de pasar a la envasadora, en donde se almacena la producción de toda la semana. En la Tabla 8.9 se detallan los datos y dimensiones calculadas para la tolva de almacenamiento de AAS.

Tabla 8.9 – Datos y dimensiones de la tolva TV – D02.

Tolva de almacenamiento de ácido acetil salicílico TV – D02	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	1377 kg
Densidad	1393,23 kg/m ³
Volumen total	1,19 m ³
Altura del sólido	2,55 m
Altura total	2,98 m
Cuerpo de la tolva	
Volumen del cilindro	1,08 m ³
Diámetro interno	0,77 m
Altura del cilindro	2,31 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Cono de la tolva	
Ángulo que forma el cono	30°
Volumen del cono	0,11 m ³
Altura del cono	0,67 m
Espesor	5 mm

8.4. DISEÑO DE TANQUES AGITADOS

Para la construcción de los tanques agitados se selecciona como material acero inoxidable AISI 304 debido a que el producto a obtener es de uso farmacéutico. Se diseñan en base a la normativa API 650 utilizando las fórmulas ya citadas en el apartado 8.2.1. Los tanques cuentan con un cuerpo cilíndrico, mientras que la tapa y el fondo son torisférico o cónicos, lo cual favorece a que no se presenten volúmenes muertos. Se establece una relación de esbeltez de 1,5 y un margen de seguridad del 20%.

Para el diseño del sistema de agitación, se calculan las dimensiones y la potencia necesaria del mismo según el procedimiento establecido por McCabe y Smith, 1991. Las relaciones típicas adoptadas para la geométrica del agitador se muestran en la Imagen 8.3.

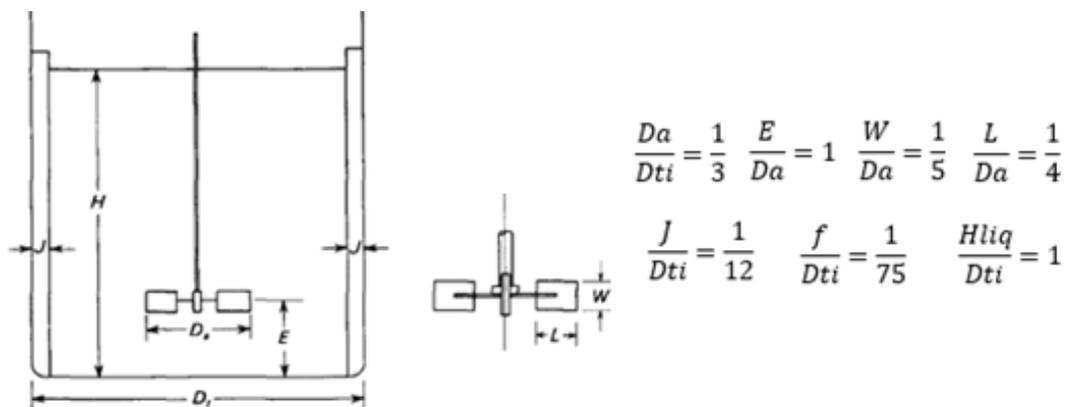


Imagen 8.3 - Relaciones geométricas del sistema de agitación.

Dónde:

Dt: diámetro del tanque [m]

Da: diámetro del agitador [m]

H: altura del líquido [m]

J: ancho deflectores [m]

W: ancho de pala del agitador [m]

L: largo de pala del agitador [m]

E: distancia del agitador al fondo [m]

f: distancia de deflector a la pared del tanque [m]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para conocer la potencia de agitación necesaria se efectúa la correlación entre el número de Reynolds modificado y el número de potencia, aplicando una resolución simultánea entre las ecuaciones (18) y (19), junto a la Imagen 8.4.

$$N_{Re} = \frac{Da^2 \cdot N \cdot \delta}{\mu} \quad (18)$$

$$P = \frac{N_p \cdot \delta \cdot N^3 \cdot Da^5}{g_c \cdot 76,04} \quad (19)$$

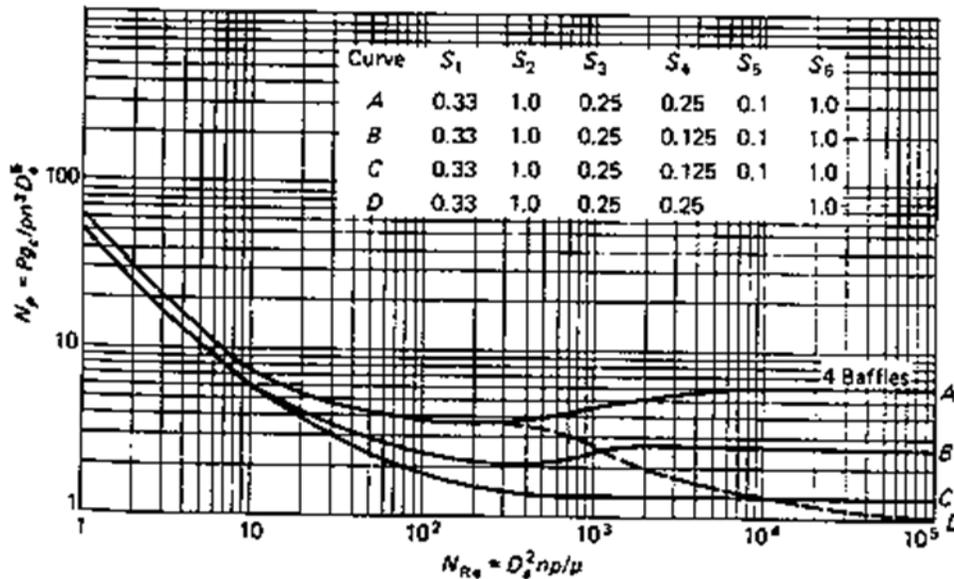


Imagen 8.4 - Correlación entre el número de potencia y el número de Reynolds modificado.

Fuente: McCabe, Smith; 1991.

Donde:

N_{Re} : número de Reynolds [adimensional]

N_p : número de potencia [adimensional]

N : revolución por segundo [1/s]

δ : densidad del medio agitado [kg/m^3]

μ : viscosidad del medio agitado

g_c : constante gravitacional [$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{kgf}\cdot\text{s}^2$]

P : potencia [HP]

Se termina por seleccionar una turbina de 6 palas planas debido a que proporciona el flujo necesario para satisfacer los requerimientos del proceso de todos los tanques. La velocidad promedio de una turbina se encuentra entre 100-300 rpm (Castillo Uribe; 2013), adoptando una velocidad de agitación de 150 rpm. Para evitar la formación de vórtices se colocan 4 placas deflectoras ubicadas en la periferia y distanciadas en 90° cada una.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.4.1. Mezclador M – A01

La primera etapa para obtener el salicilato de sodio se lleva a cabo en el mezclador M – A01, el cual forma parte de la sección A que opera de manera discontinua. El equipo presenta un tiempo de operación de 1,5 horas que se divide en tres etapas: llenado, calentamiento y vaciado, teniendo una duración de 30 minutos cada una. En este se efectúa el proceso de mezclado a 25°C de una solución de NaOH al 50% con fenol sólido, dando como producto fenóxido de sodio, correspondiente a la Ecuación 6.1. A medida que se agrega la materia prima se obtiene el producto ya mencionado debido a que se trata de una reacción instantánea. El equipo cuenta con un serpentín helicoidal sumergido, el cual permite proveer la energía necesaria para calentar la mezcla hasta 60°C. Cuenta con un sistema de agitación que mejora la transferencia tanto de calor como de movimiento.

En la Tabla 8.10 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el mezclador. Así como en la Tabla 8.11 se indican los parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora adoptada.

Tabla 8.10 – Datos y dimensiones del mezclador M – A01.

Mezclador M – A01	
Fabricante	Servinox
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Masa	155,08 kg
Densidad	1181 kg/m ³
Volumen total	0,16 m ³
Altura del líquido	0,67 m
Altura total	1 m
Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	0,15 m ³
Diámetro interno	0,50 m
Diámetro externo	0,51 m
Altura del cilindro	0,75 m
Espesor de la pared	5 mm

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tope y fondo del tanque	
Forma	Toriférica (Klopper)
Volumen del fondo o tope	$12,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Radio esférico interior (R)	51 mm
Radio rebordeo interior (r)	18 mm
Altura de la parte recta (h1)	96 mm
Altura de la parte curva (h2)	0,13 m
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	0,12 m
Espesor tope	5 mm

Tabla 8.11 - Parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora.

Agitador del mezclador M – A01	
Diámetro del agitador (Da)	167 mm
Distancia del agitador al fondo (E)	167 mm
Ancho de pala (W)	33 mm
Largo de pala (L)	42 mm
Deflectores	4
Ancho deflectores	42 mm
Distancia deflector-pared (f)	7 mm
Revoluciones por minuto (N)	150 rpm
Potencia requerida	0,02 HP
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency
Modelo	B34R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 63
Eficiencia	64,8%
Potencia adoptada	0,16 HP

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Rotación sincrónica	1500 rpm
Número de polos	4
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	220/380 V
Grado de protección	IP55
Masa aproximada	7 kg
Caja reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 35
Relación de reducción	1:10
Potencia soportada	0,45 HP

➤ Sistema de calentamiento

La mezcla se precalienta a 60°C antes de pasar al reactor R – A01, para realizar esta etapa se utiliza un serpentín helicoidal sumergido, como se muestra en la Imagen 8.5. Como fluido calefactor se utiliza vapor saturado a 155°C, aprovechando su calor latente. El diseño térmico del mismo se basa en el autor Donald Kern; 1996.

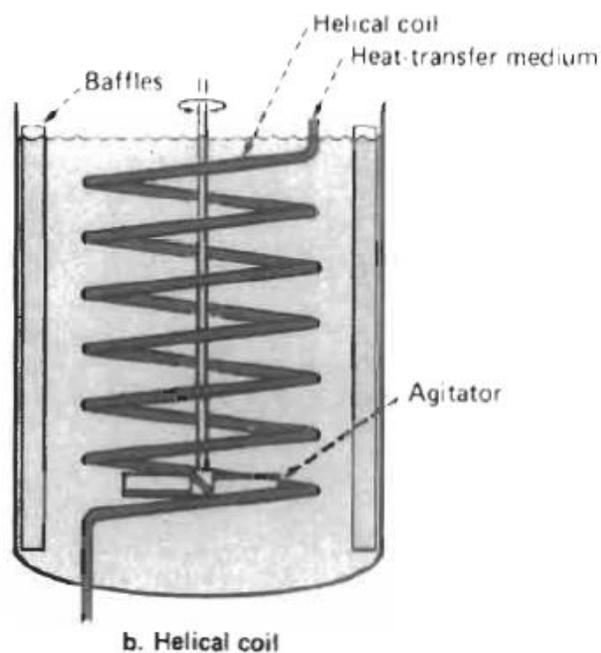


Imagen 8.5 - Tanque agitado con serpentín helicoidal sumergido.
Fuente: Applied process design; E. Ludwing

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Al tratarse de una operación batch, hay varios modos de considerar los procesos de transferencia de calor. Si se desea lograr cierta operación en un tiempo dado, los requerimientos de superficie usualmente se desconocen o viceversa, en este caso el tiempo de calefacción es de 30 minutos, y para poder averiguar el área se toman las siguientes suposiciones:

- U es constante para el proceso y en toda la superficie.
- El flujo de líquido es constante.
- Calores específicos constantes.
- Temperatura de entrada del medio calefactor constante.
- Temperatura uniforme de la mezcla.
- No existen pérdidas de calor.

Para serpentines sumergidos donde el medio calefactor es isotérmico se utiliza la ecuación (20).

$$\ln\left(\frac{T1 - t1}{T1 - t2}\right) = \frac{U_D \cdot A \cdot \theta}{M \cdot Cp} \quad (20)$$

Donde:

T1: temperatura del medio calefactor [°F]

t1: temperatura inicial [°F]

t2: temperatura final [°F]

U_D: coeficiente total de transferencia de calor [BTU/pie².°F.h]

M: masa del líquido [lb]

Cp: calor específico [BTU/lb.°F]

θ: tiempo [h]

A: área de transferencia [pie²]

En la Tabla 8.12 se especifican los datos necesarios en unidades inglesas ya que facilita el procedimiento de cálculo establecido por el autor, luego los resultados finales se expresan en el Sistema Internacional. Estos se obtuvieron del Capítulo 7 y de la base de datos de CHEMCAD 6.

Tabla 8.12 – Datos para cálculo del serpentín.
Fuente: Procesos de transferencia de calor (Kern; 1999)

	Medio agitado	Vapor
Masa	341,89 lb	42,76 lb/h
Temperatura inicial	104 °F	155 °F
Temperatura final	104 °F	155 °F
Hio	-	1500 BTU/h.pie ² .°F

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Calor específico (Cp)	1 BTU/lb*°F	-
Densidad	62,5 lb/pie ³	-
Viscosidad	1,06 lb/pie.h	-
Conductividad térmica (k)	0,38 BTU/pie.h.°F	-

El cálculo del coeficiente total de transferencia de calor se calcula según la siguiente metodología:

1. Cálculo del número de Reynolds modificado.

$$NRe = \frac{(Da)^2 \cdot \delta \cdot N}{\mu} \quad (21)$$

2. Búsqueda del correspondiente valor del factor de transmisión de calor en la Fig. 20-2, Donald Kern 1996.
3. Cálculo coeficiente de película externo para serpentines hc.

$$hc = j \cdot \frac{k}{Dti} \cdot \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (22)$$

Dónde:

hc: coeficiente de película externo para serpentín [BTU/pie².h.°F]

j: factor de transmisión de calor [adimensional]

k: conductividad térmica del fluido [BTU/pie.h.°F]

Dti: diámetro interno del tanque [pie]

Cp: calor específico del fluido [BTU/lb.°F]

μ: viscosidad del fluido [lb/pie.h]

Se considera que el valor de (μ/μ_w) es igual a 1.

4. Se considera que el valor del coeficiente interno hio para el vapor es de 1500 BTU/pie².h.°F.
5. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U_c y U_b, considerando un valor de R_d de 0,005.

$$U_c = \frac{h_{ic} \cdot hc}{h_{ic} + hc} \quad (23)$$

$$U_D = \frac{U_c \cdot \frac{1}{Rd}}{U_c + \frac{1}{Rd}} \quad (24)$$

Dónde:

U_c: coeficiente limpio de transferencia de calor [BTU/pie².h.°F]

U_D: coeficiente sucio de transferencia de calor [BTU/pie².h.°F]

R_d: coeficiente de ensuciamiento [pie².h.°F/ BTU]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

6. Cálculo del área de transferencia con la ecuación (20).
7. Cálculo de la cantidad de vueltas mediante la ecuación (25), para lo cual se selecciona un tubo que cumple con las características presentadas en la Tabla 8.13.

$$n = \frac{A}{\pi \cdot DEs \cdot Superficie \text{ x pie lineal}} \quad (25)$$

Tabla 8.13 - Datos del tubo seleccionado.
Fuente: Tabla 10 de Procesos de transferencia de calor (Kern; 1999)

Material	Acero
DE	0,75 pulg
DI	0,62 pulg
BWG	16
Área de flujo (As)	0,302 pulg ²
Superficie por pie lineal	0,1963 pie ² /pie
Diámetro externo vuelta de serpentín (DEs)	0,30 m

8. Por último, se procede a calcular la geometría de este, calculando el paso, largo y altura del serpentín (Pérez Sánchez; 2019).

$$p = 1,5 \cdot DE \quad (26)$$

$$L = n \cdot \sqrt{(\pi \cdot DEs)^2 + p^2} \quad (27)$$

$$H = n \cdot p + DE \quad (28)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot DEs} \right) \quad (29)$$

Dónde:

p: paso [pie]

L: largo del serpentín [pie]

H: altura del serpentín [pie]

α : ángulo [°]

En la Imagen 8.6 se indican las dimensiones geométricas del serpentín calculas con las ecuaciones.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

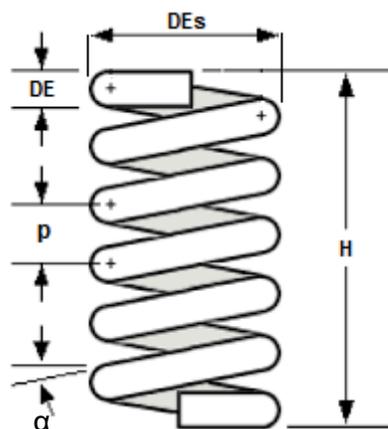


Imagen 8.6 - Dimensiones geométricas del serpentín helicoidal. Elaboración propia.

En la Tabla 8.14 se detallan los valores obtenidos para el serpentín diseñado con sus unidades expresadas de acuerdo al Sistema Internacional.

Tabla 8.14 – Parámetros del serpentín del mezclador M – A01.

Serpentín helicoidal de enfriamiento M – A01	
Calor intercambiado	2917,25 kcal
Factor de transmisión de calor j	1500
Hoc	2407,04 kcal/h.m ² .°C
Hic	1500 kcal/h.m ² .°C
Uc	1811,38 kcal/h.m ² .°C
U _D	634,72 kcal/h.m ² .°C
Área de transferencia	0,17 m ²
Vueltas	3
Sobredimensionamiento	9,82 %
Paso	28,57 mm
Longitud del serpentín	2,82 m
Altura del serpentín	105 mm
Ángulo del serpentín	1,73°

8.4.2. Tanque de dilución de salicilato de sodio TW – B01

La dilución del producto intermedio de salicilato de sodio se realiza en un tanque agitado, en donde para favorecer la dilución de este, el agua que ingresa es calentada anteriormente para que la solución resultante se encuentre a aproximadamente 40°C. El tiempo de retención de la mezcla dentro del tanque es de 2 horas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Aquí inicia la sección B, por lo que el proceso de ahora en adelante es continuo. En la Tabla 8.15 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el tanque de dilución de salicilato de sodio. Así como en la Tabla 8.16 se indican los parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora adoptada.

Tabla 8.15 – Datos y dimensiones del tanque de dilución TW – B01.

Tanque de dilución de salicilato de sodio TW – B01	
Fabricante	Servinox
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Caudal	55,16 kg/h
Densidad	508,42 kg/m ³
Volumen total	0,26 m ³
Altura del líquido	0,91 m
Altura total	1,13 m
Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	0,19 m ³
Diámetro interno	0,57 m
Altura del cilindro	0,86 m
Espesor de la pared	5 mm
Diámetro de la boca de hombre	600 mm
Tope y fondo del tanque	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,023 m ³
Radio esférico interior (R)	572 mm
Radio rebordeo interior (r)	57,2 mm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	108 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	135 mm
Espesor tope	5 mm
Altura del tope	134 mm

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.16 - Parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora.

Agitador del tanque de dilución TW – B01	
Diámetro del agitador (Da)	190 mm
Distancia del agitador del fondo (E)	190 mm
Ancho de pala (W)	38 mm
Largo de pala (L)	48 mm
Deflectores	4
Ancho deflectores	48 mm
Distancia deflector-pared (f)	8 mm
Revoluciones por minuto (N)	150 rpm
Potencia requerida	0,02 HP
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency
Modelo	B34R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 63
Eficiencia	64,8%
Potencia adoptada	0,16 HP
Rotación sincrónica	1500 rpm
Número de polos	4
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	220/380 V
Grado de protección	IP55
Masa	7 kg

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Caja reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 35
Relación de reducción	1:10
Potencia soportada	0,45 HP

8.4.3. Tanque de precipitación TP – B01

La obtención del ácido salicílico se logra en un tanque de precipitación en donde ingresan continuamente el salicilato de sodio ya decolorado y una corriente de H_2SO_4 al 60% p/p llevándose a cabo la Ecuación 6.4, la cual está favorecida por medio de un sistema de agitación. Además, el equipo cuenta con un serpentín interno para retirar el calor generado por la reacción, manteniendo así la temperatura del sistema en 40°C.

Presenta la particularidad, a diferencia de los demás, que su fondo tiene forma cónica favoreciendo la separación del ácido salicílico. El tiempo de residencia del fluido dentro del reactor es de 2 horas. En la Tabla 8.17 se detallan los datos y dimensiones calculadas para el tanque de precipitación. Así como en la Tabla 8.18 se indican los parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora adoptada.

Tabla 8.17 – Datos y dimensiones del tanque de precipitación TP – B01.

Tanque de precipitación TP – B01	
Fabricante	Servinox
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Datos	
Caudal	68,23 kg/h
Densidad	1034,80 kg/m ³
Volumen total	0,16 m ³
Altura del líquido	0,58 m
Altura total	1,26 m
Cuerpo del tanque	
Volumen del cuerpo	0,13 m ³
Diámetro interno	0,48 m
Altura del cilindro	0,73 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Espesor de la pared	5 mm
Fondo del tanque	
Forma	Cónica
Volumen del fondo	$26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Ángulo que forma el cono	30°
Altura del cono	418 mm
Espesor del fondo	6 mm
Tope del tanque	
Forma	Toriférico (Klopper)
Volumen del tope	$11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Radio esférico interior (R)	493 mm
Radio rebordeo interior (r)	49,3 mm
Altura de la parte recta (h1)	17,5 mm
Altura de la parte curva (h2)	93 mm
Espesor tope (e)	5 mm
Altura del tope (H)	116 mm

Tabla 8.18 - Parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora.

Agitador tanque de precipitación TP – B01	
Diámetro del agitador (Da)	160 mm
Distancia del agitador del fondo* (E)	160 mm
Ancho de pala (W)	32 mm
Largo de pala (L)	40,20 mm
Deflectores	4
Ancho deflectores (J)	40,20 mm
Distancia deflector-pared del tanque	6,40 mm
Revoluciones por minuto (N)	150 rpm
Potencia requerida	0,02 HP

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency
Modelo	B34R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 63
Eficiencia	64,8%
Potencia adoptada	0,16 HP
Rotación sincrónica	1500 rpm
Número de polos	4
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	220/380 V
Grado de protección	IP55
Masa	7 kg
Caja Reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 35
Relación de reducción	1:10
Potencia soportada	0,45 HP

*Se considerando el cuerpo cilíndrico y no el cono.

➤ Sistema de refrigeración

Al tratarse de una reacción exotérmica, la mezcla tiende a calentarse y es por ello que debe retirarse calor. Se establece que la temperatura se mantenga a 40°C debido a que afecta la solubilidad en agua del sulfato de sodio y del ácido salicílico formado, siendo el primero más soluble. Para mantener constante la temperatura se utiliza un serpentín interno helicoidal y su diseño térmico se basa en el procedimiento establecido por el autor Donald Kern, 1996.

En la Tabla 8.19 se especifican los datos necesarios en unidades inglesas ya que facilita el procedimiento de cálculo establecido por el autor, los cuales se obtuvieron del Capítulo 7 y de la base de datos de CHEMCAD 6. Luego los resultados finales se expresan en el Sistema Internacional.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.19 - Datos para cálculo del serpentín.
Fuente: Procesos de transferencia de calor (Kern; 1999)

	Medio agitado	Agua
Caudal	300,48 lb	1937,53 lb/h
Temperatura inicial	104 °F	68 °F
Temperatura final	104 °F	89,6 °F
ΔT_{MDL}	23,57 °F	
Calor específico (Cp)	0,6607 BTU/lb*°F	1 BTU/lb*°F
Densidad	64,6 lb/pie ³	62,2 lb/pie ³
Viscosidad	1,25 lb/pie.h	2,18 lb/pie.h
Conductividad térmica (k)	0,2287 BTU/pie.h.°F	0,3510 BTU/pie.h.°F

El área necesaria para la transferencia de calor se obtiene de la ecuación de Fourier (30), previo a esto es necesario conocer el coeficiente total de transferencia de calor U_D , también llamado coeficiente sucio, el cual se calcula a partir del coeficiente limpio de transferencia de calor U_c , siendo este último dependiente de los coeficientes de película correspondientes.

$$Q = U_D \cdot A \cdot \Delta T_{MDL} \quad (30)$$

Dónde:

Q: calor transferido [BTU/h]

A: área de transferencia de calor [pie²]

U_D : coeficiente total de transferencia de calor [BTU/h.pie². °F]

ΔT_{MDL} : diferencia de temperatura media logarítmica [°F]

La metodología para conocer el coeficiente total de transferencia de calor comienza con los pasos 1 al 3 descritos anteriormente en el apartado 8.4.1 para el cálculo del serpentín del mezclador M – A01. Luego continua de la siguiente manera:

4'. Cálculo de la velocidad del fluido frío dentro del tubo, para ello es necesario conocer las dimensiones del mismo, las cuales se presentan en la Tabla 8.20.

Tabla 8.20 - Datos del tubo seleccionado.
Fuente: Tabla 10 de Procesos de transferencia de calor (Kern; 1999)

Material	Acero
DE	0,75 pulg
DI	0,532 pulg
BWG	12

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Área de flujo (A_s)	0,223 pulg ²
Superficie por pie lineal	0,1963 pie ² /pie
Diámetro externo vuelta de serpentín (DEs)	0,3 m

Por regla general, no se recomiendan nunca velocidades del agua en el tubo por debajo de 3 pie/s (0,91 m/s) y hay un incentivo cada vez más importante para elevarse de 8 a 10 pie/s (2,44 a 3,05 m/s) (Perry, 1984).

$$v = \frac{mf}{\delta f A_s} \quad (31)$$

Dónde:

mf: caudal másico del fluido frío [lb/h]

δ : densidad del fluido frío [lb/pie³]

A_s : área de flujo [pie²]

5'. A partir de la Figura 25 (Kern; 1996) buscar el valor del coeficiente de película interior de los tubos h_i . Luego este coeficiente debe corregirse según McAdams.

$$h_{ic} = h_i \left(1 + 3,5 \cdot \frac{DI}{DEs} \right) \quad (32)$$

Dónde:

h_i : coeficiente de película interior [BTU/pie².h.°F]

h_{ic} : coeficiente de película interior modificado [BTU/pie².h.°F]

DI: diámetro interior del tubo [pie]

DEs: diámetro exterior del serpentín [pie]

6'. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U_c y U_D mediante las ecuaciones (23) y (24).

Según la Tabla 12 (Kern; 1996) corresponde un valor del coeficiente de ensuciamiento de 0,001.

7'. Cálculo del área de transferencia mediante la ecuación (30) reordenada.

8'. Cálculo de la cantidad de vueltas necesarias según la ecuación (25).

9'. Cálculo de la geometría del serpentín empleando las ecuaciones de la (26) a la (29).

En la Tabla 8.21 se detallan los valores obtenidos con sus unidades expresadas de acuerdo al Sistema Internacional.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.21 – Parámetros del serpentín del tanque de precipitación TP – B01.

Serpentín helicoidal de enfriamiento TP – B01	
Calor intercambiado	10440,72 kcal/h
Factor de transferencia de calor j	1400
Hoc	1517,95 kcal/h.m ² .°C
Hic	6782,19 kcal/h.m ² .°C
Uc	1240,14 kcal/h.m ² .°C
Ud	986,25 kcal/h.m ² .°C
Área de transferencia	0,85 m ²
Vueltas	15 vueltas
Sobredimensionamiento	4,13 %
Paso	28,57 mm
Longitud del serpentín	14,14 m
Altura del serpentín	0,45 m
Ángulo del serpentín	1,73°

8.5. DISEÑO DE REACTORES

En el presente proyecto se considera que los reactores son el núcleo del proceso químico descrito. Ello es debido a que su comportamiento condiciona las operaciones posteriores de separación y acondicionamiento. Específicamente se puede considerar al reactor como una unidad donde tienen lugar las reacciones químicas con un objetivo principal de producción industrial.

Para que la operación química involucrada en el proceso cumpla con los requerimientos de este, es necesario el diseño adecuado del reactor. Lo cual implica: seleccionar el tipo, dimensionar y realizar la ingeniería de detalle.

La selección del tipo de reactor tiene por objeto maximizar el rendimiento material y energético. Para ello hay que considerar, entre otras cosas, las características de la reacción involucrada: número de fases presentes, estequiometría, equilibrio, efectos térmicos y la sensibilidad a las condiciones físicas. Escoger el reactor consiste en seleccionar: modo de tratamiento de la carga o modo de operación, evolución en el tiempo de su contenido (régimen estacionario o no estacionario), modelo de flujo, puesta en contacto de las fases presentes y los materiales de construcción.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Una vez elegido el reactor hay que dimensionar el mismo determinando el parámetro básico del equipo, que según el tipo de reacción puede ser: el volumen total (reacción homogénea), la masa de catalizador (reacción catalítica heterogénea) o altura de la columna (reacciones gas líquido). Por último, se debe realizar la ingeniería de detalle que abarca desde aspectos de distribución de volumen como la relación de esbeltez, el consumo de energía de agitación y el área de transmisión de calor necesaria.

8.5.1. Reactor R – A01

La reacción de carboxilación se produce en un reactor agitado tipo semi batch, recubierto de un enchaquetado necesario para efectuar los distintos intercambios energéticos requeridos en las etapas que se llevan a cabo dentro del equipo, ya descritas en el capítulo 6 y 7.

Más allá de todas las operaciones que se efectúan dentro, la etapa primordial es la de reacción y es la que determina el diseño, principalmente el cálculo del tamaño. Por lo que no es conveniente emplear un reactor totalmente discontinuo, debido a que el ingreso, al inicio de la operación, de toda la cantidad de masa de dióxido de carbono necesaria conlleva a un volumen excesivo. Además, que a medida que el gas se consume la presión dentro del equipo disminuye por debajo de 4 atmosferas, por lo que la reacción no se produciría en las condiciones deseadas. El funcionamiento del sistema en semicontinuo, consistente en introducir un reactivo de forma discontinua, todo de una vez, y añadir el segundo reactivo de forma continua durante el período de reacción. En la Imagen 8.7 se ilustra el modo de operación descrito.

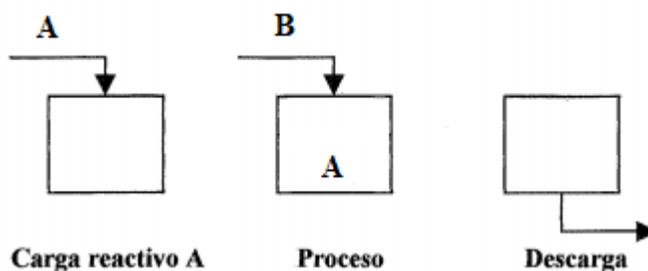


Imagen 8.7 - Operación de un reactor semicontinuo.

Fuente: Dolors Grau Vilalta M., 1999.

El funcionamiento de un reactor semicontinuo se basa en mantener la velocidad de reacción máxima constante, lo cual se hace manipulando la velocidad de adición de uno de los reactivos (Dolors Grau Vilalta M., 1999). Para el cálculo del volumen del equipo se emplean las ecuaciones de diseño (33), (34) y (35) (Rosen A.; 2014), que se obtienen del balance de materia de B, la sustancia que se alimenta continuamente.

$$\text{entrada} = \text{salida} + \text{desaparición} + \text{acumulación}; \quad \text{donde salida} = 0$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$\frac{dC_B}{dt} = r_B + \frac{v_o[C_{BO} - C_B]}{V} \quad (33)$$

$$v_o = \frac{M_{BO} - M_B}{t_r \cdot \delta_B} \quad (34)$$

$$V = V_o + v_o \cdot t \quad (35)$$

Donde:

t: tiempo [h]

V: volumen [m³]

C_{BO}: concentración inicial de B [mol/m³]

C_B: concentración de B [mol/m³]

M_{BO}: masa inicial de B [mol]

M_B: masa de B [mol]

δ_B: densidad de B en las condiciones de operación [mol/m³]

v_o: caudal volumétrico de B [m³/h]

-r_B: velocidad de reacción de B [mol/m³.h]

El caudal volumétrico de alimentación de B se determina en función de su velocidad de reacción, es decir, en base a la cinética, la cual se encuentra representada en la Imagen 8.8. Por lo tanto, el diseño se basa en optimizar el caudal de ingreso de B para mantener la velocidad de reacción máxima constante y así aumentar la productividad.

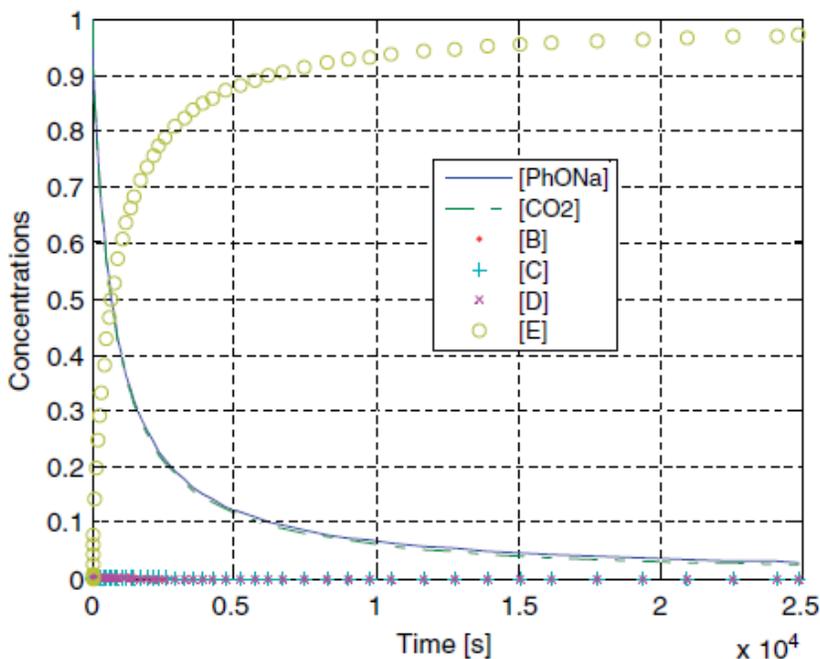


Imagen 8.8 - Variación de las concentraciones para diferentes estructuras a lo largo de la reacción de Kolbe-Schmitt. Fuente: Stanescu I., Achenie L., 2006.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

La reacción de formación del salicilato de sodio es de primer orden respecto al fenóxido de sodio y de primer orden respecto al dióxido de carbono, por lo que tiene un orden global de reacción igual a 2 (Stanescu I., Achenie L.; 2006).

El tiempo de reacción del salicilato de sodio es de 6,5 horas, al cual se le debe sumar los tiempos correspondientes a carga, descarga, limpieza, calentamiento, entre otros. En la Tabla 8.22 se especifica los tiempos parciales y total de cada batch.

Tabla 8.22 – Tiempos operativos del reactor R – A01.

Carga	0,5 h
Calentamiento a 100°C y evaporación del agua	1 h
Ingreso de CO ₂	1,5 h
Calentamiento a 150°C	0,5
Tiempo de reacción	6,5 h
Enfriamiento a 30°C	1,5 h
Descarga	0,5 h
Limpieza	0,5 h
Tiempo total	12,5 h

Respecto al diseño mecánico del mismo, para el cálculo de las dimensiones se sigue el procedimiento descrito y las ecuaciones dadas en el apartado 8.2.1, se considera inicialmente una relación de esbeltez del cuerpo del cilindro de 1,5 y luego se corrobora que la relación de esbeltez total este comprendida entre 1 y 2 para lograr un diseño óptimo (McCabe; 1991).

$$\frac{h}{D} = 1,5 \quad (36)$$

$$1 \leq \frac{h_T}{D} \leq 2 \quad (37)$$

D: diámetro interno del cilindro [m]

h: altura del cilindro [m]

h_T: altura total [m]

El cálculo de los espesores del reactor está regido por la normativa ASME, ya que se trata de un recipiente cerrado diseñado para soportar gases o líquidos a una presión sustancialmente diferente de la ambiental. Cuando el diseño interno de un contenedor excede 15 psi (1,02 atm), este debe considerarse como un recipiente a presión (Diaz del Castillo F.; 2018).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En la sección VIII división 1 del código ASME se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección de los recipientes a presión, allí se especifican las fórmulas y parámetros que se tienen que considerar. Normalmente deben ser diseñados para la más severa condición de presión esperada en operación normal más un incremento del valor mayor del 10% ó 30 psi (2.11 kg/cm²), lo que da como resultado la presión de diseño.

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ psi}, P = 1,1P_o \quad (38)$$

$$\text{Si } P_o \leq 300 \text{ psi}, P = P_o + 30 \text{ psi} \quad (39)$$

Donde:

P: presión de diseño, valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas del recipiente.

P_o: presión de operación, es la presión de trabajo o manométrica a la cual está sometido el equipo en condiciones de operación normal.

Para el cálculo del espesor del material de construcción de la carcasa cilíndrica se emplea la ecuación (40).

$$e = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (40)$$

Donde:

R: radio [cm]

S: esfuerzo máximo permisible del material [kgf/cm²]

e: espesor mínimo requerido sin corrosión [cm]

E: eficiencia de las soldaduras [adimensional]

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas, cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación. Las tapas torisférica son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 m, para presiones entre 1 y 14 kg/cm², y espesores menores de 19 mm (Diaz del Castillo F.; 2018). Para el cálculo del espesor del material de construcción de la tapa y el fondo se emplea la ecuación (41)

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} \quad (41)$$

Donde:

L: radio esférico interior [cm]

M: factor que depende de la relación L/r [adimensional]

r: radio rebordeo interior [cm]

t: espesor mínimo requerido sin corrosión [cm]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En la Tabla 8.23 se muestran los valores obtenidos de las dimensiones finales del reactor.

Tabla 8.23 - Dimensiones del reactor R – A01.

Reactor R – A01	
Fabricante	Servinox
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Volumen total	1,613 m ³
Altura total	1,98 m
Cuerpo	
Volumen del cuerpo	1,379 m ³
Diámetro interno	1,05 m
Altura del cilindro	1,58 m
Espesor de la pared	0,34 mm
Tope y fondo	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,117 m ³
Radio esférico interior (L)	1,05 m
Radio rebordeo interior (r)	10,50 cm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	176,2 mm
Espesor fondo (t)	0,53 mm
Altura del fondo (H)	203,2 mm

Considerando los efectos de la corrosión, se adopta un espesor estándar de 5 mm para la carcasa cilíndrica y la tapa del reactor, y uno de 6 mm para el fondo.

➤ Sistema de agitación

Como la reacción que ocurre en el reactor es heterogénea es primordial seleccionar un tipo de agitador que favorezca el contacto entre las fases, sólida y gaseosa. Es por esto que se adoptó un agitador del tipo ancla, cuya característica principal es que trabaja muy cercano a la pared, lo que permite el movimiento de todo el sólido contenido, favoreciendo la transferencia de calor y evitando su adhesión a la pared.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 8.9 - Agitador de ancla.

Las relaciones que se tienen en cuenta para el cálculo del agitador de ancla son las que se muestran de la ecuación (42) a la (45).

$$\frac{D_T}{D_a} = 1,02 \quad (42)$$

$$\frac{C}{D_T} = 1,01 \quad (43)$$

$$\frac{h_a}{D_a} = 1 \quad (44)$$

$$\frac{W}{D_a} = 0,1 \quad (45)$$

Donde:

D_T : diámetro del tanque [m]

D_a : diámetro del agitador [m]

C : distancia del agitador a la pared [m]

h_a : altura del agitador [m]

W : ancho de los brazos del agitador [m]

Para conocer la potencia de agitación se efectúa la correlación entre el número de Reynolds modificado y el número de potencia, aplicando una resolución simultánea entre las ecuaciones (18) y (19), junto a la Imagen 8.10.

En la Tabla 8.24 se indican los parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora adoptada.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

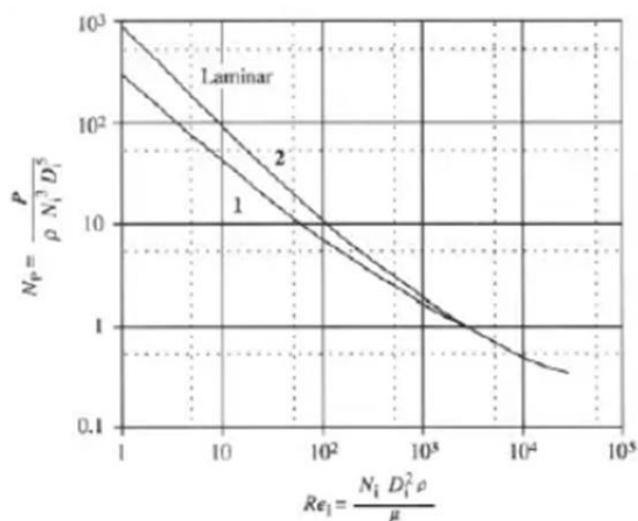


Imagen 8.10. Curva de potencia. Donde: (1) ancla y (2) hélice.

Tabla 8.24 - Parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora.

Agitador del reactor R – A01	
Diámetro del agitador (Da)	103 mm
Distancia del agitador del fondo (E)	1 mm
Ancho de los brazos (W)	10 mm
Alto total (ha)	103 mm
Deflectores	0
Revoluciones por minuto (N)	100 rpm
Potencia requerida	13,66 HP
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency
Modelo	B14R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 160L
Eficiencia	90,5%
Potencia adoptada	15 HP
Rotación sincrónica	1000 rpm
Número de polos	6

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	380/660 V
Grado de protección	IP55
Masa	136 kg
Caja reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 170
Relación de reducción	1:10
Potencia soportada	19 HP

➤ Sistema de transferencia de calor

El sistema de transferencia de calor debe ser capaz de controlar la temperatura del equipo para realizar las etapas mencionadas en el apartado 7.3.3. Para este caso, se opta por una camisa de media caña, la cual consiste en un tubo cortado a la mitad soldado en la periferia del reactor, permitiendo que el fluido circulante tenga una mayor velocidad y otorgando un buen área de transferencia. Las ventajas que presenta es que no contamina el producto, provee mayor resistencia a la pared y presenta la posibilidad de dividir el área de transferencia en diferentes zonas, lo cual aumenta la eficiencia de la transmisión de calor. En la Imagen 8.11 se muestra un diagrama ilustrativo de dicho sistema.

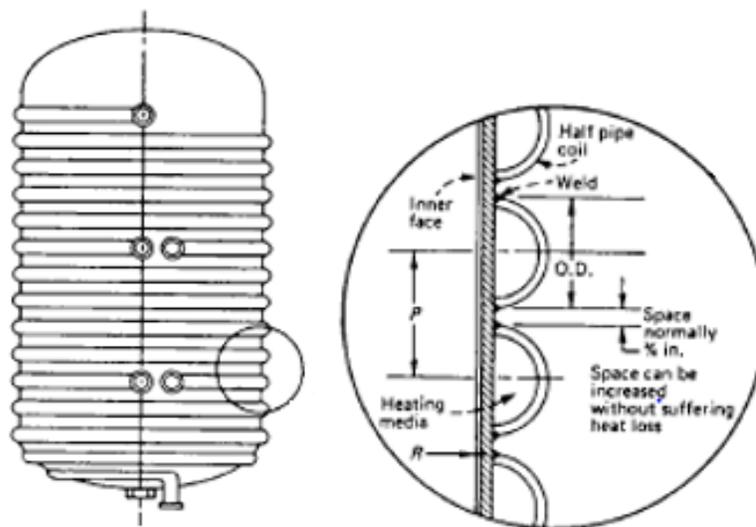


Imagen 8.11 - Camisa de media caña con detalles de fabricación. Fuente: Mc Ketta, 1991.

Debido a que en el reactor se realizan etapas de calentamiento y enfriamiento, el sistema de transferencia se divide en dos zonas, una ubicada en el cuerpo y otra en el fondo de este. Se

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

toman como referencia la Etapa 1 y la Etapa 5, respectivamente, ya que estas presentan la mayor energía a intercambiar.

Para el diseño térmico de la camisa de media caña se utilizan las ecuaciones de los coeficientes de transferencia de calor proporcionadas por el autor John J. McKetta (1991) en Heat Transfer Design Methods. El área necesaria para el calentamiento de un proceso batch se obtiene a partir de la ecuación (20), previo a esto es necesario conocer el coeficiente total de transferencia de calor U, el cual se calcula a partir de la ecuación (46).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_j} + f_{fi} + f_{fj} + \frac{x}{km} \quad (46)$$

Donde:

h_i : coeficiente de película de transmisión de calor interno [BTU/pie².h.°F]

h_j : coeficiente de película de transmisión de calor externo [BTU/pie².h.°F]

f_{fi} : coeficiente de ensuciamiento interno [pie².h.°F /BTU]

f_{fj} : coeficiente de ensuciamiento externo [pie².h.°F /BTU]

x : espesor pared del reactor [pie]

km : conductividad térmica del material del reactor [BTU/h.pie.°F]. Para el acero inoxidable AISI 304 es 9,1 BTU/h.pie.°F (McKetta J.; 1991)

La estimación de los coeficientes de película tanto interno como externo de la zona 1 depende del agitador seleccionado y del tipo de camisa utilizada, respectivamente. Se sigue la siguiente metodología:

1. Cálculo del coeficiente de película interno para un agitador de tipo ancla, ecuación (47)

$$h_i = \frac{k}{D_{ti}} \cdot \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \delta}{\mu} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{C_p \cdot k}{\mu} \right)^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,18} \quad (47)$$

Donde:

D_{ti} : diámetro interno del tanque [pie]

δ : densidad [lb/pie³]

μ : viscosidad [lb/pie.h]

k : conductividad térmica [Btu/h.pie.°F]

C_p : calor específico [Btu/lb.°F]

2. Cálculo del coeficiente de película externo. Para este caso como se utiliza vapor, el valor es 1500 Btu/h.pie².°F.
3. Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor a partir de la ecuación (46).
4. Cálculo del área de transferencia de calor utilizando la ecuación (20).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

5. Cálculo de la longitud del tubo, vueltas necesarias, paso y altura que ocupará en el cuerpo cilíndrico, utilizando las ecuaciones que van desde la (48) hasta la (51). En la Tabla 8.25 se muestran las medidas del tubo seleccionado. Se considera que la media caña no presenta un ángulo de inclinación.

Tabla 8.25 – Tubo de la media caña para la zona 1.

Material	Acero
DE	1 pulg
DI	0,87 pulg
BWG	16
Diámetro media caña (Dc)	3,48 pie

$$L = \frac{A}{DI} \quad (48)$$

$$N = \frac{L}{\pi * Dc} \quad (49)$$

$$p = DE + 0,5 \quad (50)$$

$$H = DE * N + 0,5 * (N - 1) \quad (51)$$

Donde:

L: longitud del tubo [pie]

A: área de transferencia de calor [pie²]

Dc: diámetro externo del recipiente o diámetro interno de la media caña [pie]

p: paso de la media caña [pie]

H: altura de la media caña [pie]

N: número de vueltas.

En la Tabla 8.26 se resumen los valores obtenidos en unidades del Sistema Internacional.

Tabla 8.26 – Camisa del cilindro del reactor R – A01.

Camisa de media caña zona 1 reactor R – A01	
Calor intercambiado	32139,80 kcal
Hj	7323,65 kcal/h.m ² .°C
Hi	204,33 kcal/h.m ² .°C
U	143,25 kcal/h.m ² .°C
Área de transferencia	0,59 m ²
Vueltas	10

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Sobredimensionamiento	24,50 %
Paso	38,10 mm
Longitud del serpentín	33,35 m

Para la zona 2, el valor del coeficiente total de transferencia de calor se calcula de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1'. Cálculo del coeficiente de película interno para un agitador de tipo ancla, ecuación (47).
- 2'. Cálculo del diámetro equivalente, área de flujo y velocidad del fluido, utilizando las ecuaciones (52), (53) y (54), respectivamente. En la Tabla 8.27 se muestran las medidas del tubo seleccionado. Se considera que la media caña no presenta un ángulo de inclinación.

Tabla 8.27 – Tubo de la media caña para la zona 2.

Material	Acero
DE	0,75 pulg
DI	0,62 pulg
BWG	16
Diámetro media caña (Dc)	3,49 pie
Diámetro equivalente (Deq)	0,081 pie
Área de flujo (Ax)	$1,048 \cdot 10^{-3}$ pie ²

$$Deq = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{DI}{12} \quad (52)$$

$$Ax = \frac{\pi}{8} \cdot (DI)^2 \cdot \frac{1}{144} \quad (53)$$

$$v = \frac{ma}{Ax \cdot \delta a} \quad (54)$$

Donde:

Deq: diámetro equivalente [pie]

Ax: área de flujo [pie²]

v: velocidad del fluido dentro de los tubos [pie/h]

δa : densidad del agua de enfriamiento [lb/pie³]

ma: caudal del agua de enfriamiento [lb/h]

- 3'. Cálculo del número de Reynolds en la media caña, ecuación (55).

$$N_{Re} = \frac{Deq \cdot v \cdot \delta a}{\mu a} \quad (55)$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Donde:

μ_a : viscosidad del agua de enfriamiento [lb/pie.h]

4'. Cálculo del coeficiente de película externo para una camisa de media caña, haciendo uso de la ecuación (56).

$$h_j = \frac{0,027 \cdot k_a}{Deq} \cdot \left(\frac{Deq \cdot v \cdot \delta a}{\mu_a} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{Cpa \cdot \mu_a}{k_a} \right)^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cdot \left(1 + 3,5 \cdot \left(\frac{Deq}{Dc} \right) \right) \quad (56)$$

Donde:

k_a : conductividad térmica del agua [Btu/h.pie.°F]

Cpa : calor específico del agua de enfriamiento [Btu/lb.°F]

5'. Cálculo coeficiente global de transferencia de calor, ecuación (46).

6'. Cálculo del área de transferencia utilizando la ecuación (57).

$$\ln \left(\frac{t_1 - T}{t_2 - T} \right) = \frac{U \cdot A \cdot \theta}{M \cdot Cp} \quad (57)$$

Donde:

t_1 : temperatura inicial dentro del reactor [°F]

t_2 : temperatura final dentro del reactor [°F]

T : temperatura promedio del agua de enfriamiento [°F]

M : masa contenida en el reactor [lb]

Cp : calor específico [BTU/lb.°F]

7'. Cálculo de la longitud del tubo, vueltas necesarias, paso y altura que ocupará en el fondo, utilizando las ecuaciones desde la (48) hasta la (51).

En la Tabla 8.28 se resumen los valores obtenidos en unidades del Sistema Internacional.

Tabla 8.28 – Camisa del fondo del reactor R – A01.

Camisa de media caña zona 2 reactor R – A01	
Calor intercambiado	5336,72 kcal
Hj	3516,18 kcal/h.m ² .°C
Hi	519,30 kcal/h.m ² .°C
U	285,92 kcal/h.m ² .°C
Área de transferencia	0,35 m ²
Vueltas	7
Sobredimensionamiento	3,50 %
Paso	31,75 mm
Longitud del serpentín	23,38 m

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.5.2. Reactor R – C02

La reacción de acetilación se produce en un reactor agitado con flujo mezcla perfecta, el cual opera de manera continua e isotérmica a 1 atmósfera de presión y a 90°C de temperatura. El ácido salicílico sólido que ingresa a este, junto con el anhídrido y ácido acético, se encuentra completamente disuelto en las condiciones dadas dentro del reactor, ya que su concentración es inferior a la de saturación (Joiner D.; 2012). Por lo tanto, la reacción ocurre en fase homogénea. La reacción de acetilación es exotérmica y, como se debe mantener la temperatura constante, se retira el calor excedente haciendo circular agua de enfriamiento por la camisa con la que cuenta el equipo. Además, se mezcla continuamente la solución mediante un sistema de agitación que favorece la mezcla y precipitación del producto sólido. En la Imagen 8.12 se muestra un diagrama representativo del equipo.

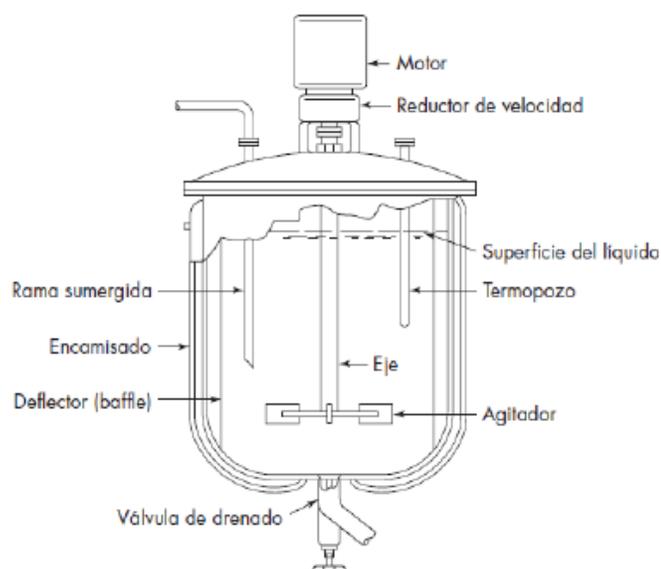


Imagen 8.12 - Diagrama reactor tanque agitado. Fuente: McCabe, 1991.

La reacción de formación del ácido acetil salicílico (AAS), con su subproducto el ácido acético (HA), es de primer orden respecto al ácido salicílico (AS) y de primer orden respecto al anhídrido acético (AA), por lo que tiene un orden global de reacción igual a 2 (Joiner D.; 2012). Siendo su ecuación cinética la número (58).

$$-r_{AS} = 0,129 \frac{l}{mol \cdot min} C_{AS} C_{AA} \quad (58)$$

El reactor continuo tanque agitado se usa para llevar a cabo la reacción en fase líquida e interesa su operación en estado estacionario, por tanto, se diseña para ello. En consecuencia, la ecuación de diseño empleada es la número (59).

$$\theta = \frac{V \cdot C_A^0}{F_{A0}} = \frac{X_A \cdot C_A^0}{-r_A} = \frac{C_A^0 - C_A}{-r_A} \quad (59)$$

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Donde:

θ : tiempo espacial [h]

V: volumen de reacción [m^3]

C_A^0 : concentración inicial de A [mol/m^3]

C_A : concentración de A [mol/m^3]

F_{A0} : flujo molar de A que ingresa al reactor [mol/h]

X_A : conversión molar de A

$-r_A$: velocidad de reacción de A [$mol/m^3 \cdot h$]

Las variables X_A , $-r_A$ y C_A se evalúan para las condiciones de la corriente de salida del reactor, ya que son iguales a las existentes dentro del mismo. Para el cálculo del volumen de reacción se utiliza la primera igualdad de la ecuación (59) debido a su simplicidad, pero podría emplearse cualquier combinación de ellas. Siendo A el ácido salicílico (AS), los datos utilizados y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.29.

Tabla 8.29 - Cálculo del volumen de reacción.

Tiempo espacial	7,5 h
Concentración inicial	3246,51 mol/m^3
Flujo molar	153,56 mol/h
Volumen de reacción	0,35 m^3

El volumen final del reactor es el volumen de reacción calculado con la ecuación de diseño más un margen de seguridad, que en este caso se tomó de un 20%.

$$V_{reactor} = 1,2 \cdot V_{reacción} \quad (60)$$

El diseño mecánico del reactor se realiza bajo la normativa API 650, ya que se trata de un recipiente a presión atmosférica. Se sigue el procedimiento descrito y las ecuaciones dadas en el apartado 8.2.1, se considera inicialmente una relación de esbeltez del cuerpo del cilindro de 1,5 y luego se corrobora que la relación de esbeltez total este comprendida entre 1 y 2 para lograr un diseño óptimo (McCabe; 1991).

El equipo cuenta con una tapa y un fondo tipo torisférico, lo que favorece la ausencia de volúmenes muertos. En la Tabla 8.30 se muestran los valores obtenidos de las dimensiones finales del reactor.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.30 - Dimensiones del reactor R – C02.

Reactor R – C02	
Fabricante	Servinox
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Volumen total	0,42 m ³
Altura del líquido	1,03 m
Altura total	1,31 m
Cuerpo	
Volumen del cuerpo	0,34 m ³
Diámetro interno	0,67 m
Altura del cilindro	1,00 m
Espesor de la pared	5 mm
Tope y fondo	
Tipo	Toriférico (Klopper)
Volumen del fondo o tope	0,04 m ³
Radio esférico interior (R)	0,67 m
Radio rebordeo interior (r)	6,67 cm
Altura de la parte recta (h1)	21 mm
Altura de la parte curva (h2)	126 mm
Espesor fondo (e)	6 mm
Altura del fondo (H)	153 mm
Espesor tope	5 mm

➤ Sistema de agitación

Para el diseño del sistema de agitación, se calculan las dimensiones y la potencia necesaria del mismo según el procedimiento establecido por McCabe y Smith (1991) y ya descrito en el apartado 8.4.

Se selecciona una turbina de 6 palas planas debido a que proporciona el flujo necesario para satisfacer los requerimientos del proceso, adoptando una velocidad de agitación de 150 rpm. Para evitar la formación de vórtices se colocan 4 placas deflectoras ubicadas en la periferia y distanciadas en 90° cada una. En la Tabla 8.31 se indican los parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora adoptada.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.31 - Parámetros del sistema de agitación, el motor eléctrico y la caja reductora.

Agitador del reactor R – C02	
Diámetro del agitador (Da)	222 mm
Distancia del agitador del fondo (E)	222 mm
Ancho de pala (W)	44 mm
Largo de pala (L)	56 mm
Ancho deflectores	56 mm
Distancia deflector-pared (f)	8 mm
Revoluciones por minuto (N)	150 rpm
Potencia requerida	0,08 HP
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency
Modelo	B34R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 63
Eficiencia	64,8%
Potencia adoptada	0,16 HP
Rotación sincrónica	1500 rpm
Número de polos	4
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	220/380 V
Grado de protección	IP55
Masa	7 kg
Caja reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 35
Relación de reducción	1:10
Potencia soportada	0,45 HP

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Sistema de refrigeración

La reacción que se lleva a cabo libera calor y como consecuencia eleva la temperatura del sistema, es por ello que se opta por realizar el enfriamiento con una camisa de media caña ubicada en la periferia del reactor, de esta forma se evita la contaminación del producto final.

Al tratarse de un proceso continuo, el área de transferencia es calculada a partir de la ecuación (30), mientras que su coeficiente global de transferencia se obtiene con la ecuación (46), utilizando la misma metodología presentada para el sistema de enfriamiento de la zona 2 del reactor R – A01, en la sección 8.5.1.

La diferencia que presenta es que en este caso se cuenta con un agitador tipo turbina de 6 palas planas, por lo tanto, el coeficiente de película interno se calcula con la ecuación (61). En la Tabla 8.31 se presentan las dimensiones del tubo que forma parte de la media caña mientras que en la Tabla 8.32 se resumen los valores obtenidos en unidades del Sistema Internacional.

$$h_i = \frac{0,74 \cdot k}{D_{ti}} \cdot \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \delta}{\mu} \right)^{0,67} \cdot \left(\frac{Cp \cdot k}{\mu} \right)^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (61)$$

Donde:

h_i : coeficiente de película interno [Btu/h.pie².°F]

k : conductividad térmica [Btu/h.pie.°F]

D_{ti} : diámetro interno del reactor [pie]

Da : diámetro del agitador [pie]

N : revoluciones por hora [1/h]

δ : densidad del fluido dentro del reactor [lb/pie³]

μ : viscosidad del fluido [lb/pie.h]

Cp : calor específico del fluido dentro del reactor [Btu/lb.°F]

Tabla 8.31 - Tubo de la media caña.

Material	Acero
DE	0,5 pulg
DI	0,334 pulg
BWG	14
Diámetro media caña (Dc)	2,22 pie
Diámetro equivalente (Deq)	0,044 pie
Área de flujo (Ax)	3,042.10 ⁻⁴ pie ²

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.32 - Camisa del reactor R – C02.

Camisa de media caña R – C02	
Calor intercambiado	1194,82 kcal/h
Ho	4420.46 kcal/h.m ² .°C
Hi	762,15 kcal/h.m ² .°C
U _D	348,07 kcal/h.m ² .°C
Área de transferencia	0,06 m ²
Vueltas	6 vueltas
Sobredimensionamiento	28,7 %
Paso	28,57 mm
Longitud del serpentín	6,38 m

8.6. DISEÑO DE LA TORRE DE DECOLORACIÓN TD – B01

La torre de decoloración es una columna rellena con agente decolorante cuyo objetivo es remover las impurezas que generan color a la solución. La cuestión principal en el diseño de equipos de adsorción es determinar el tipo de relleno ideal, la cantidad necesaria y el tiempo de operación (Perry; 1984).

Para lograr las condiciones deseadas de decoloración, el empaque de la torre está formado por una mezcla de carbón activado, sulfato de zinc y polvo de zinc, en una relación 0.02, 0.02 y 0.01 kg/kg de ácido salicílico, respectivamente. (Hardy W., Snell F.; 1957). El equipo se diseña para que pueda operar ininterrumpidamente las 56 horas de duración del proceso continuo, siendo necesario recambiar el relleno cada semana.

Para el cálculo de las dimensiones de la torre se emplean las ecuaciones (62) a la (65).

$$V_B = \frac{m_B}{\delta_{ap}} \quad (62)$$

$$V_B = V_{cilindro} = A \cdot L_B \quad (63)$$

$$\frac{L_B}{D} = 3 \quad (64)$$

$$L_B = 0,75 \cdot L_C \quad (65)$$

Donde:

V_B : volumen de relleno [m³]

m_B : masa de relleno [kg]

δ_{ap} : densidad aparente del relleno [kg/m³]

L_B : altura del relleno [m]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

L_C : altura de la columna [m]

A: área transversal de la columna [m²]

D: diámetro de la columna [m]

Se adopta una relación de esbeltez para la torre igual a 3, con respecto a la altura del sólido, que representa un 75% de la altura total de la columna (Perry; 1984). El volumen restante de la torre está destinado para el líquido y los elementos mecánicos necesarios para su correcto funcionamiento, como los soportes del relleno, el distribuidor y redistribuidor de líquido. En la Imagen 8.13 se muestra un esquema representativo de la torre empacada con sus partes principales.

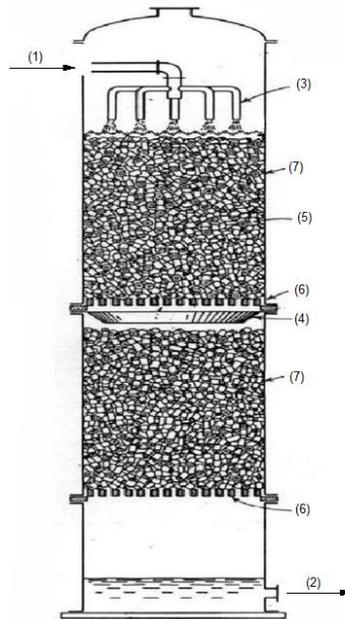


Imagen 8.13 - Esquema de una torre rellena.

(1) Entrada de líquido, (2) Salida de líquido, (3) Distribuidor, (4) Redistribuidor, (5) Coraza, (6) Soporte del empaque, (7) Empaque sólido al azar.

Un parámetro importante que se debe conocer, principalmente para el diseño de la instalación hidráulica, es la caída de presión generada en la columna. Para ello se recurre a la ecuación de Ergun (66), la cual es la expresión matemática más característica y difundida para el cálculo de la caída de presión provocada por fluidos que fluyen a través de un lecho de sólidos (McCabe, Smith; 1991)

$$\frac{-\Delta P}{L_B} = \frac{150 \cdot \mu \cdot v \cdot (1 - \varepsilon_B)^2}{g_C \cdot d_p^2 \cdot \varepsilon_B^3} + \frac{1,75 \cdot \delta \cdot v^2 \cdot (1 - \varepsilon_B)}{g_C \cdot d_p \cdot \varepsilon_B^3} \quad (66)$$

Donde:

$-\Delta P$: caída de presión a través del lecho sólido [kgf/m²]

μ : viscosidad del líquido [kg/m.s]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

v: velocidad del fluido [m/s]

ϵ_B : porosidad del lecho sólido [adimensional]

d_p : diámetro de la partícula sólida [m]

g_c : constante gravitacional [9,8 kg.m/ kgf.s²]

δ : densidad del líquido [kg/m³]

Para los datos de la porosidad, la densidad aparente y el diámetro de partícula del sólido se tomaron los valores dados por el proveedor seleccionado.

Tabla 8.33 – Parámetros de la torre de decoloración TD – B01.

Torre de decoloración TD – B01	
Fabricante	Technia S.A.
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Disposición	Vertical
Relleno	Sólido al azar
Masa de relleno	60 kg totales
	24 kg carbón activado
	24 kg sulfato de zinc
	12 kg polvo de zinc
Volumen de relleno	0,12 m ³
Altura de relleno	1,11 m
Altura de la columna	1,48 m
Diámetro interno de la columna	0,37 m
Flujo en la columna	Descendente - Laminar
Caída de presión	189,40 kgf/m ²

8.7. DISEÑO DE LA TORRE DE DESTILACIÓN D – D01

La corriente líquida obtenida del filtro F – D01, denominada filtrado, está constituida por ácido y anhídrido acéticos, los cuales se recuperan para reutilizarlos en la sección C, mediante una operación de destilación, basada en la diferencia de sus puntos de ebullición, 118°C y 140°C, respectivamente (Cavin L., 2002). El equipo empleado para tal fin es una torre de destilación que opera de manera continua constituida por una columna de lecho empacado, un condensador y un rehervidor.

Para el diseño de la columna propiamente dicha se sigue el procedimiento recomendado por el autor Robert E. Treybal en Operaciones de transferencia de masa, se emplea la herramienta de software CHEMCAD versión 6 y se parte de las siguientes consideraciones:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- La corriente del fondo debe tener una composición superior al 99,5% molar de anhídrido acético, para que este sea apto para ser utilizado nuevamente en la reacción de acetilación (Patente US5264087A).
- Para el relleno se elige anillos Rasching de cerámica, con un tamaño nominal de 1/4 pulg, ordenados al azar. El relleno con estas características posee un factor de empaque de 1600.
- Una relación de R/Rmín de 1,5.
- El límite de inundación no debe ser superior al 70%.

En la Tabla 8.34 se detallan las especificaciones del equipo obtenido y en las Imágenes 8.14, 8.15 y 8.16 se muestra el relleno utilizado, un corte transversal de la columna con el empaque y un diagrama representativo de la misma, respectivamente.

El diseño del condensador y del rehervidor que completan el conjunto se detallan en el apartado 8.9.7 y 8.9.8, respectivamente.

Tabla 8.34 – Parámetros de la torre de destilación D - D01.

Torre de destilación D – D01	
Fabricante	Technia S.A.
Equipo	Columna rellena
Especificaciones	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Presión de trabajo	1 atm
Número de etapas	34
Etapas de alimentación	11
Altura equivalente de plato teórico	0,06 m
Relación de reflujo (R/D)	2,35
Número de secciones	1
Porcentaje máximo de inundación	59,00%
Porcentaje mínimo de inundación	54,00%
Eficiencia del plato	0,85
Asignación por corrosión	0,08 cm
Altura total de la columna	2,04 m
Diámetro	0,18 m
Caída de presión	0,01 atm

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 8.14- Anillos Rasching de cerámica.



Imagen 8.15- Corte transversal de la columna rellena.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

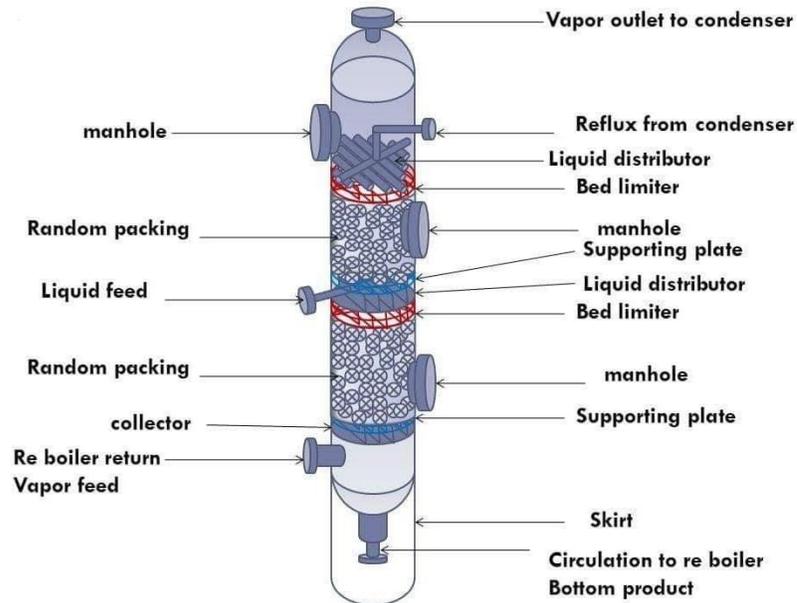


Imagen 8.16 - Diagrama de representativo de una torre de destilación rellena.

8.8. DISEÑO DE LOS SECADORES ROTATIVOS

El proceso cuenta con dos etapas de secado de sólidos, las cuales se llevan a cabo de manera continua en dos secadores rotativos distintos, uno para cada una de ellas. Se ha seguido el mismo procedimiento de diseño para ambos, que poseen las siguientes características:

- Operan en estado estacionario ya que tanto el sólido como el aire ingresan y salen del equipo de manera constante.
- Se emplea secado directo, en donde el calor necesario para evaporar la humedad se obtiene completamente por contacto inmediato de la sustancia con el gas caliente.
- La operación es adiabática porque el calor no se proporciona dentro del equipo ni se pierde hacia el entorno, por lo tanto, el gas perderá calor sensible y se enfriará.
- En la operación adiabática en paralelo, el sólido húmedo se pone en contacto con el gas más caliente y el producto se calentará a la temperatura de bulbo húmedo del gas.
- En la operación adiabática a contracorriente, el gas más caliente está en contacto con el sólido más seco, por lo tanto, el sólido descargado se calienta a una temperatura próxima a la del gas entrante.

En la Imagen 8.17 se muestra un secador con aire caliente directo a contracorriente y en la Imagen 8.18 se observa el corte transversal del mismo y sus elevadores internos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

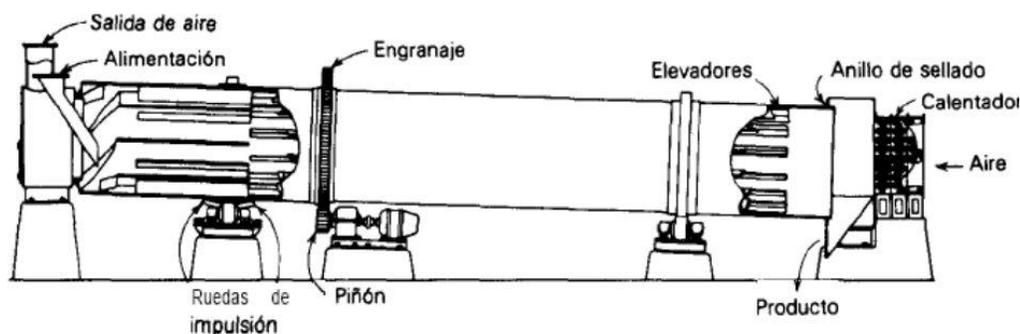


Imagen 8.17 - Esquema de un secador rotativo en vista longitudinal.

Fuente: R. Treybal, 1997.

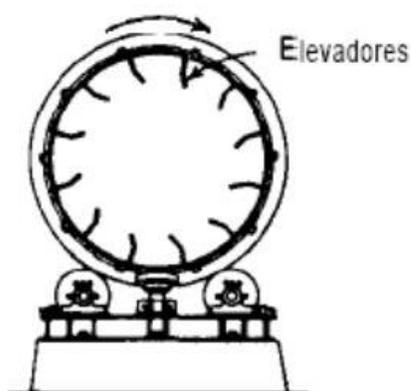


Imagen 8.18 - Esquema de un secador rotativo en vista longitudinal.

Fuente: R. Treybal, 1997.

8.8.1. Gas calefactor

Los gases de secado normalmente son los productos de combustión de un quemador en el rango de temperaturas de 250°C a 1000°C. Sin embargo, para aplicaciones de baja temperatura, sensibles al calor o donde se debe evitar la contaminación, se puede suministrar aire calentado indirectamente con vapor o empleando una resistencia eléctrica.

Como lo que se seca es un producto farmacéutico, es deseable evitar la contaminación, además de que se trabaja con temperaturas bajas. Por lo tanto, para el gas calefactor se empleará aire, el cual deberá satisfacer la norma de calidad ISO 14644-1, la cual se especifica en el capítulo 10 de Control de Calidad. El aire se calienta a temperaturas alrededor de los 90°C produciéndose la esterilización de este.

8.8.2. Diseño mecánico del secador rotativo

El dimensionamiento del cilindro de secado se realiza tomando en cuenta las condiciones extremas de entrada y salida. Además, se supone que en cualquier instante el cilindro contiene su capacidad de sólido seco constante, ya que las dimensiones de este están en función directa de la cantidad de producto a tratar. Para garantizar el tratamiento de secado es necesario tener

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

un volumen del cilindro mayor al volumen ocupado por el producto, al que se denomina volumen nominal.

$$V_n = \frac{m_s}{\delta_s} \quad (67)$$

Donde:

V_n : volumen nominal ocupado por el sólido [m^3]

m_s : masa de sólido [kg]

δ_s : densidad del sólido [kg/m^3]

Para un buen diseño, la cantidad de material debe ser alrededor del 8 al 15% del volumen del secador (Sper, Torres; 2009).

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \quad (68)$$

Donde:

V : volumen del cilindro de secado [m^3]

D : diámetro del secador [m]

L : longitud del secador [m]

El cálculo del diámetro del secadero se efectúa en base a la velocidad del aire, la cual debe adoptarse entre 2 a 3 m/s, una velocidad mayor no es recomendable porque puede generar movimiento del sólido dentro del secador (Ocon J., Tojo G.; 1982). Para un diseño óptimo se recomienda que el diámetro sea del 10 al 25% de la longitud del secadero (Ocon J., Tojo G.; 1982).

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot v \cdot \delta_a}} \quad (69)$$

Donde:

G : caudal de aire [kg/h]

δ_a : densidad del aire [kg/m^3]

v : velocidad del aire [m/h]

El tiempo promedio de paso o de retención del sólido en el secador debe ser igual al tiempo requerido de secado para que el sólido salga con el contenido deseado de humedad. Este se calcula efectuando la división entre la retención del sólido y el flujo volumétrico de alimentación (Treybal, R.; 1997).

$$\theta = \frac{L \cdot f \cdot \delta_s}{F_s} \quad (70)$$

Donde:

θ : tiempo de retención [min]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

f: fracción de volumen ocupado por el sólido seco; fracción de llenado

F_s : flujo de sólido seco [kg/min.m²]

El cilindro del secador se instala con un pequeño ángulo de inclinación para favorecer el movimiento hacia adelante del sólido. Dicho ángulo normalmente oscila en los 2°, este valor es adecuado por razones de diseño mecánico de los soportes y rodamientos. Además, que un valor menor no provocaría el movimiento de las partículas hacia adelante y uno mayor haría que fluyan demasiado rápido. (Sper, Torres; 2009).

Con el tiempo de retención y el valor del ángulo de inclinación se calcula la velocidad de giro del cilindro (Arun M., 1995).

$$\theta = \frac{L}{N.D.tan \alpha} \quad (71)$$

Donde:

N: velocidad de giro [rpm]

α : ángulo de inclinación [°]

Se fabricará el cilindro de acero inoxidable AISI 304, el cual proporciona las propiedades necesarias y suficientes que el producto requiere. El objetivo es determinar el espesor necesario para que resista la presión máxima ejercida por el sólido sobre las paredes, que es cuando trabaja a su máxima capacidad.

$$P = \frac{F}{A_s} \quad (72)$$

Donde:

P: presión interna [kgf/cm²]

F: peso del sólido dentro del cilindro [kgf]

A_s : área del cilindro ocupada por el sólido [cm²]

Para determinar el área que ocupa el sólido en el cilindro se considera el mismo factor de llenado.

$$A_s = \pi.D.L.f \quad (73)$$

Cuando se trata de recipientes cilíndricos cuya pared posee un espesor mucho menor a su radio, solamente se considera el esfuerzo tangencial de la carga sobre el mismo, la cual está uniformemente distribuida sobre el grosor de la pared. (Cárdenas, Romero; 2010)

$$\sigma_t = \frac{P.D}{2.e} \quad (74)$$

Donde:

e: espesor del cilindro [cm]

σ_t : esfuerzo tangencial [kgf/cm²]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Se considera un factor de seguridad de 2, para garantizar que el cilindro no falle (Cárdenas, Romero; 2010). La propiedad mecánica de resistencia de fluencia del acero empleado es de 2812,28 kgf/cm² (Budynas R., Nisbett J.; 2008).

$$\sigma_{t\text{máx}} = \frac{S_y}{FS} \quad (75)$$

S_y: resistencia de fluencia [kgf/cm²]

FS: factor de seguridad

Considerando que el acero inoxidable AISI 304 se adquiere en el mercado en planchas de espesores estandarizados, el cálculo del grosor del cilindro se hace con el fin de adoptar el espesor estándar adecuado.

Los elevadores son los elementos mecánicos que se colocan dentro del cilindro de secado, su función principal es la de proveer el movimiento hacia adelante del sólido y generar una cortina uniforme del mismo para favorecer el área de contacto con el aire, como se muestra en la Imagen 8.19.

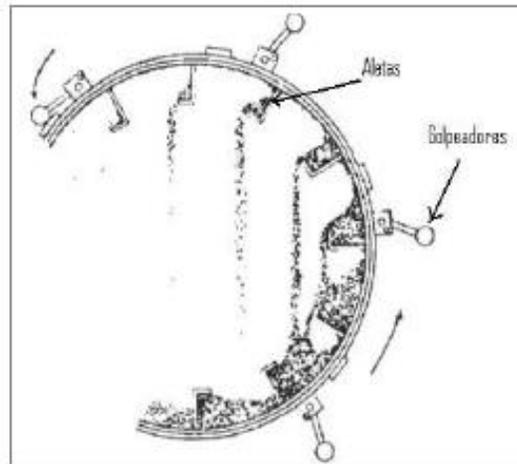


Imagen 8.19 - Elevadores internos. Fuente: Hardinge Co.

Se le denomina longitud radial a la sección del elevador perpendicular a la superficie del cilindro y longitud tangencial a la otra, como se observa en la Imagen 8.20. Para productos granulares no pegajosos se recomienda el empleo de elevadores rectangulares, es decir, aquellas donde se forma un ángulo recto entre la sección radial y tangencial.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

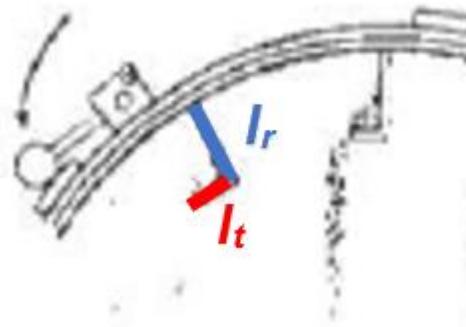


Imagen 8.20 - Imagen ampliada de un elevador rectangular.

El valor de la longitud radial se calcula con la ecuación (76) y la longitud tangencial con la ecuación (77) (Ademiluyi, 2016).

$$l_r = \frac{D}{10} \quad (76)$$

$$l_t = 0,85 \cdot l_r \quad (77)$$

Donde:

l_r : longitud radial [m]

l_t : longitud tangencial [m]

Los elevadores se colocan en forma alternada dentro del cilindro y su cantidad se calcula con la ecuación (78) (Ademiluyi, 2016).

$$N^{\circ}_{elevadores} = \frac{\pi \cdot D}{0,15} \quad (78)$$

En la Tabla 8.35 se indican las especificaciones de construcción y dimensionamiento para el secador rotativo S – B01 utilizado para secar ácido salicílico.

Tabla 8.35 – Parámetros del secador rotativo S – B01.

Secador rotativo S - B01		
Fabricante	Technia S.A.	
Disposición	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal inclinado
	Calefacción	Directo con aire
Caudal másico en base seca		
Sólido	21,28 kg/h	
Aire	145,61 kg/h	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Especificaciones de construcción	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro interno del cilindro	0,16 m
Longitud del cilindro	1,79 m
Espesor	0,30 mm
Número de elevadores	4
Longitud radial de los elevadores	15,60 mm
Longitud tangencial de los elevadores	13,30 mm
Velocidad de giro	16,50 rpm
Ángulo de inclinación	2°
Tiempo de retención	20 min
Fracción de llenado	0,15

En la Tabla 8.36 se indican las especificaciones de construcción y dimensionamiento para el secador rotativo S – D02 utilizado para secar ácido acetil salicílico.

Tabla 8.36 – Parámetros del secador rotativo S – D02.

Secador rotativo S - D02		
Fabricante	Technia S.A.	
Disposición	Arreglo	Cocorrente
	Orientación	Horizontal inclinado
	Calefacción	Directo con aire
Caudal másico en base seca		
Sólido	25,78 kg/h	
Aire	323,31 kg/h	
Especificaciones de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Diámetro interno del cilindro	0,24 m	
Longitud del cilindro	1,48 m	
Espesor	0,30 mm	
Número de elevadores	5	
Longitud radial de los elevadores	23,6 mm	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Longitud tangencial de los elevadores	20,10 mm
Velocidad de giro	12 rpm
Ángulo de inclinación	2°
Tiempo de retención	30 min
Fracción de llenado	0,15

Se debe calcular la potencia adecuada del motor eléctrico que transmite el movimiento rotatorio para que este sea capaz de soportar el peso del equipo, el peso del producto sólido y girar a la velocidad requerida.

$$P_0 = \frac{0,75 \cdot N(34,3 \cdot D \cdot C + 1,39 \cdot D \cdot W + 0,73 \cdot W)}{100.000} \quad (79)$$

$$P_C = V \cdot \delta_{\text{AISI 304}} = \pi \cdot L \cdot (R^2 - r^2) \cdot \delta_{\text{AISI 304}} \quad (80)$$

$$P_e = N^{\circ}_{\text{elevadores}} \cdot V_e \cdot \delta_{\text{AISI 304}} \quad (81)$$

Donde:

P_0 : potencia [HP]

N: velocidad de giro [rpm]

C: peso de la carga máxima del sólido dentro del cilindro [kg]

W: peso del cilindro más el de la carga máxima del sólido [kg]

D: diámetro interior del cilindro [m]

P_C : masa del cilindro [kg]

$\delta_{\text{AISI 304}}$: densidad del material de construcción [kg/m^3]

r: radio interno del cilindro [m]

R: radio externo del cilindro [m]

P_e : masa elevadores [kg]

V_e : volumen elevador [m^3]

Las demás constantes numéricas son factores de conversión de unidades.

En las Tablas 8.37 y 8.38 se indican las características de motor eléctrico y de la caja reductora seleccionados para el secador S – B01 y S – D02, respectivamente.

Tabla 8.37 – Parámetros del motor eléctrico y caja reductora del secador S – B01.

Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Modelo	B34R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 63
Potencia necesaria	0,01 HP
Eficiencia	57,7%
Potencia adoptada	0,16 HP
Rotación sincrónica	1000 rpm
Número de polos	6
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	220/380 V
Grado de protección	IP55
Masa	8 kg
Caja reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 63
Relación de reducción	1:60
Potencia soportada	0,40 HP

Tabla 8.38 – Parámetros del motor eléctrico y caja reductora del secador S – D02.

Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Motor de inducción asíncrono con rotor de jaula de ardilla -Trifásico
Serie	W22 – IE3 – Premium Efficiency
Modelo	B34R(E)
Carcasa	Hierro fundido – 71
Potencia necesaria	0,01
Eficiencia	52,5%
Potencia adoptada	0,16 HP
Rotación sincrónica	750 rpm
Número de polos	8

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	220/380 V
Grado de protección	IP55
Masa	11 kg
Caja reductora	
Fabricante	Felix Di Ninno e Hijos S.A.
Tipo	Sin fin y corona
Modelo	FD - 63
Relación de reducción	1:60
Potencia soportada	0,30 HP

Para que el aire utilizado para retirar la humedad del sólido posea las características necesarias para la operación de secado se requiere de equipos auxiliares como un ventilador, capaz de impulsar un caudal de aire requerido, y una fuente de energía para calentarlo.

Generalmente se emplea un ventilador de extracción para jalar el gas a través del secador, por lo tanto, este se coloca en el extremo del equipo opuesto al ingreso del aire. Los ventiladores son máquinas de baja velocidad que impulsan y descargan gases, normalmente aire, dentro de los espacios abiertos o ductos grandes generando presiones muy bajas, del orden de 0,04 atm (McCabe & Smith, 2007).

Los ventiladores por lo general son centrífugos y operan exactamente sobre el mismo principio que las bombas centrífugas. Debido a que la variación de la densidad del fluido en el aparato es pequeña, resultan adecuadas las ecuaciones utilizadas al estudiar el funcionamiento de las bombas centrífugas con fluidos no compresibles (McCabe & Smith, 2007).

$$W_V = \frac{1}{\eta} \left(\frac{p_b - p_a}{\delta} + \frac{V_b^2}{2 \cdot g_c} \right); \text{ donde } V_a = 0, Z_a = Z_b \quad (82)$$

$$P_v = \frac{q_a \cdot W_V}{76,04} \quad (83)$$

Donde:

W_v : trabajo del ventilador [kgf.m/kg]

p : presión [kgf/m²]

δ : densidad promedio del aire [kg/m³]

V : velocidad del aire [m/s]

Z : altura [m]

g_c : constante gravitacional [kg.m/kgf.s²]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

a: succión

b: impulsión

Pv: potencia del ventilador [HP]

q_a: caudal de aire [kg/s]

η: eficiencia

En las Tablas 8.39 y 8.40 se indican las características del ventilador adoptado para el secador S – B01 y S – D02, respectivamente. En la Imagen 8.21 se muestra el equipo seleccionado.

Tabla 8.39 – Parámetros ventilador del secador S – B01.

Ventilador	
Fabricante	Sodeca
Tipo	Ventilador centrífugo - Trifásico
Modelo	CMA - 218 - 2T
Carcasa	Envolvente en fundición de aluminio
Turbina	Aluminio - 218
Potencia necesaria	0,03 HP
Eficiencia	70 %
Potencia instalada	0,12 HP
Caudal máximo	265 m ³ /h
Rotación nominal	2670 rpm
Número de polos	2
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	230/400 V
Masa	6 kg

Tabla 8.40 – Parámetros ventilador del secador S – D02.

Ventilador	
Fabricante	Sodeca
Tipo	Ventilador centrífugo - Trifásico
Modelo	CMA - 324 - 2T
Carcasa	Envolvente en fundición de aluminio
Turbina	Aluminio - 324

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Potencia necesaria	0,09 HP
Eficiencia	70 %
Potencia instalada	0,24 HP
Caudal máximo	440 m ³ /h
Rotación nominal	2750 rpm
Número de polos	2
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal	230/400 V
Masa	9 kg



Imagen 8.21 - Ventilador centrífugo adoptado. Fuente: Sodeca.

La fuente de energía empleada en este caso es una resistencia eléctrica, se opta por utilizar esta opción por varios motivos:

- Baja cantidad de masa de aire que se debe calentar.
- Las temperaturas necesarias del aire para el secado son bajas.
- Existen en el mercado proveedores de resistencias eléctricas exclusivas para aire.
- La resistencia eléctrica termina siendo la opción más sencilla y aséptica.

La potencia eléctrica necesaria que se le transfiere al aire para su calentamiento por medio de la resistencia eléctrica es función del incremento de temperatura y del caudal.

$$P_a = G \cdot C_{pa} \cdot \Delta t \quad (84)$$

Donde:

P_a : potencia eléctrica suministrada al aire para su calentamiento [W]

C_{pa} : calor específico del aire. [J/kg.°C]

Δt : incremento de la temperatura [°C]

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

La potencia eléctrica necesaria es de 2846 W y 5879 W para el secador S – B01 y S – D02, respectivamente.

8.9. DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

En el proceso deben realizarse operaciones de transferencia de energía térmica sobre algunas corrientes de fluido. Las cuales tienen por objeto producir calentamiento o cambio de fase, como condensación y evaporación. Para ello, se diseñan los intercambiadores de calor correspondientes.

Se opta por diseñar intercambiadores de casco y tubo para las operaciones que involucran cambio de fase, ya que los requerimientos energéticos son considerables y son los más adecuados para tal fin. Para su dimensionamiento se siguen las recomendaciones y procedimientos dados por el autor Donald Kern (1999) en Transferencia de la energía térmica.

En las operaciones donde solo se intercambia calor sensible, ya sea entre corrientes de proceso o con vapor, se opta por emplear intercambiadores de placas. Esto se debe a que los requerimientos de calor no son grandes, por lo tanto, el área de transferencia tampoco. Para su dimensionamiento se siguen las recomendaciones y procedimientos dados por el autor Eduardo Cao (1983) en Intercambiadores de calor y por Sadik Kakac (2002) en Heat exchangers, selection, rating and thermal design. En la Imagen 8.22 se ilustra distintos modelos representativos de este tipo de intercambiadores.



Imagen 8.22 - Intercambiadores de placas. Fuente: Alfa Laval.

El diseño de cualquier tipo de intercambiador de calor se basa en el cálculo del área de intercambio necesaria para la transferencia de energía. Para tal fin, se emplean las ecuaciones básicas (30), (23) y (24) que se habían descrito anteriormente en el apartado 8.4.1 y 8.4.3.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$Q = U_D \cdot A \cdot \Delta T_{MDL} \quad (30)$$

$$U_C = \frac{h_c \cdot h_h}{h_c + h_h} \quad (23)$$

$$U_D = \frac{U_C \cdot \frac{1}{Rd}}{U_C + \frac{1}{Rd}} \quad (24)$$

Dónde:

Q: calor transferido [kcal/h]

A: área de transferencia de calor [m²]

ΔT_{MDL} : diferencia de temperatura media logarítmica [°C]

U_C : coeficiente limpio de transferencia de calor [kcal/m².h.°C]

U_D : coeficiente sucio de transferencia de calor [kcal/m².h.°C]

Rd: coeficiente de ensuciamiento [m².h.°C/kcal]

Se emplea el software CHEMCAD versión 6 como principal herramienta para el diseño de todos los intercambiadores del proceso y se expone en una tabla todos los valores de los resultados obtenidos para cada uno. Se tiende a que las dimensiones de corazas y de tubos internos, así como las de las placas, sean similares, para facilitar su construcción y reducir la cantidad de stock necesario para mantenimiento, en el caso que surjan imprevistos.

8.9.1. Intercambiador de calor I – A01

Para la adopción de los valores de los coeficientes de ensuciamiento de todos los intercambiadores de placas diseñados, se sigue la recomendación del autor Eduardo Cao (1983) que establece que no es correcto especificar para los equipos de placas los mismos valores de Rd que los empleados en los intercambiadores tubulares, debido a que suelen ser bastante menores, algunas de las razones son las siguientes:

- No hay espacios muertos en los que el fluido pueda estancarse como, por ejemplo, en la vecindad de los baffles.
- Las placas son construidas de materiales de calidad superior, dado que el espesor de estas es delgado, por lo que no hay depósitos de corrosión a los cuales el ensuciamiento pueda adherirse.
- Dado que las operaciones de limpieza pueden ser realizadas de forma simple y efectiva, pueden hacerse más a menudo.
- Se les puede hacer un pulido espejo a las placas, otorgándole menor rugosidad.

Los valores de los coeficientes de ensuciamiento se adoptan según la Tabla 10.4 del libro Heat exchangers, selection, rating and thermal design (Sadik Kakac; 2002) que se muestra en la Imagen 8.23.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

TABLE 10.4

Recommended Fouling Factors for Plate Heat Exchangers

Service	Fouling Factor, $m^2 \cdot K/W$
Water	
Demineralized or distilled	0.000017
Soft	0.000034
Hard	0.000086
Cooling tower (treated)	0.000069
Sea (coastal) or estuary	0.000086
Sea (ocean)	0.000052
River, canal, tube well, etc.	0.000086
Engine jacket	0.000103
Steam	0.000017
Lubricating oils	0.000034–0.000086
Vegetable oils	0.000017–0.000052
Organic solvents	0.000017–0.0000103
General process fluids	0.000017–0.0000103

From Raju, K. S. N. and Jagdish, C. B. [1983] In *Low Reynolds Number Flow Heat Exchangers*, Hemisphere, Washington, D.C.; Cooper, A. et al. [1980] *Heat Transfer Eng.*, Vol. 1, No. 3, 50–55. With permission.

Imagen 8.23 - Factores de ensuciamiento recomendados para intercambiadores de placa.
Fuente: Sadik Kakac, 2002.

El intercambiador de calor I – A01 se diseña para transferir energía a la corriente de dióxido de carbono que se emplea en la reacción de formación del salicilato de sodio en el reactor R – A01, utilizando vapor para elevar su temperatura de $-87,93$ a 26°C . En la Tabla 8.41 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.41 – Parámetros del intercambiador de calor I – A01.

Intercambiador de calor I – A01		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Tipo	Placas
	Arreglo	Contracorriente
	Lado caliente	Vapor
	Lado frío	Dióxido de carbono
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Número de placas	8	
Alto de placa	0,80 m	
Ancho de placa	0,32 m	
Espesor de placa	0,10 cm	
Espacio entre placas	0,10 cm	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tipo de corrugación	Chevron 80°
Pasos lado caliente	2
Pasos lado frío	2
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	180 °C
Área requerida / efectiva	0,08 / 0,10 m ²
U calculado / de servicio	9 / 7 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	25%
ΔP lado frío / caliente	0,001 / 0,001 atm
Coefficiente de película lado frío / caliente	53,20 / 11,00 kcal/h.m ² .°C

8.9.2. Intercambiador de calor I – B02

El intercambiador de calor a placas I – B02 se diseña para transferir energía a la corriente de agua que se emplea en la dilución del salicilato de sodio, utilizando vapor para elevar su temperatura de 25 a 44,1°C. En la Tabla 8.42 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.42 – Parámetros del intercambiador de calor I – B02.

Intercambiador de calor I – B02		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Tipo	Placas
	Arreglo	Contracorriente
	Lado caliente	Vapor
	Lado frío	Agua
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Número de placas	4	
Alto de placa	0,38 m	
Ancho de placa	0,15 m	
Espesor de placa	0,10 cm	
Espacio entre placas	0,30 cm	
Tipo de corrugación	Chevron 45°	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Pasos lado caliente	1
Pasos lado frío	1
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	120,20 °C
Área requerida / efectiva	0,16 / 0,18 m ²
U calculado / de servicio	30 / 26 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	12,50%
ΔP lado frío / caliente	0,001 / 0,001 atm
Coeficiente de película lado frío / caliente	717,10 / 31,30 kcal/h.m ² .°C

8.9.3. Intercambiador de calor I – C03

El intercambiador de calor a placas I – C03 se diseña para transferir la energía necesaria a la corriente de anhídrido acético para elevar su temperatura de 25 a 90°C utilizando vapor de caldera. En la Tabla 8.43 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.43 – Parámetros del intercambiador de calor I – C03.

Intercambiador de calor I – C03		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Tipo	Placas
	Arreglo	Contracorriente
	Lado caliente	Vapor
	Lado frío	Anhídrido acético
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Número de placas	8	
Alto de placa	0,38 m	
Ancho de placa	0,15 m	
Espesor de placa	0,10 cm	
Espacio entre placas	0,30 cm	
Tipo de corrugación	Chevron 45°	
Pasos lado caliente	2	
Pasos lado frío	1	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	93,77 °C
Área requerida / efectiva	0,27 / 0,32 m ²
U calculado / de servicio	27 / 23 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	18,22%
ΔP lado frío / caliente	0,001 / 0,001 atm
Coefficiente de película lado frío / caliente	224,30 / 130,30 kcal/h.m ² .°C

8.9.4. Intercambiador de calor I – C04

El intercambiador I – C04 se diseña para transferir calor, proporcionado por una corriente de vapor a la alimentación fresca de ácido acético glacial y de esta forma elevar su temperatura desde 25°C hasta 90°C. En la Tabla 8.44 se detallan los valores de dicho diseño.

Tabla 8.44 – Parámetros del intercambiador de calor I – C04.

Intercambiador de calor I – C04		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Tipo	Placas
	Arreglo	Contracorriente
	Lado caliente	Vapor
	Lado frío	Ácido acético
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Número de placas	4	
Alto de placa	0,30 m	
Ancho de placa	0,12 m	
Espesor de placa	0,10 cm	
Espacio entre placas	0,30 cm	
Tipo de corrugación	Chevron 45°	
Pasos lado caliente	2	
Pasos lado frío	1	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	93,77°C
Área requerida / efectiva	0,10 / 0,12 m ²
U calculado / de servicio	33 / 29 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	20 %
ΔP lado frío / caliente	0,001 / 0,001 atm
Coeficiente de película lado frío / caliente	257,1 / 38,3 kcal/h.m ² .°C

8.9.5. Economizador E – C01

El economizador E – C01 es un intercambiador de calor que se diseña para transferir la energía necesaria a la corriente de anhídrido acético desde 25 a 90°C utilizando como fuente de calor la corriente de destilado que sale por el tope de la torre de destilación D – D01, que está constituida principalmente por ácido acético recuperado.

Esta operación se lleva a cabo con el objetivo de aprovechar el calor contenido en el destilado y de enfriar dicha corriente para su almacenamiento. En la Tabla 8.45 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.45 – Parámetros del economizador E – C01.

Economizador E – C01		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Tipo	Placas
	Arreglo	Contracorriente
	Lado caliente	Destilado torre
	Lado frío	Anhídrido acético
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Número de placas	8	
Alto de placa	0,30 m	
Ancho de placa	0,12 m	
Espesor de placa	0,10 cm	
Espacio entre placas	0,30 cm	
Tipo de corrugación	Chevron 45°	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Pasos lado caliente	1
Pasos lado frío	1
Datos de transferencia de calor	
ΔTML	30,19 °C
Área requerida / efectiva	0,20 / 0,23 m ²
U calculado / de servicio	114 / 99 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	15 %
ΔP lado frío / caliente	0,001 / 0,001 atm
Coeficiente de película lado frío / caliente	220,40 / 242,10 kcal/h.m ² .°C

8.9.6. Economizador E – C02

El economizador E – C02 es un intercambiador de calor que se diseña para transferir la energía necesaria a la corriente de ácido acético desde 25 a 90°C utilizando como fuente de calor la corriente de residuo que sale por el fondo de la torre de destilación D – D01, que está constituida principalmente por anhídrido acético recuperado.

Esta operación se lleva a cabo con el objetivo de aprovechar el calor contenido en el residuo y de enfriar dicha corriente para su almacenamiento. En la Tabla 8.46 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.46 – Parámetros del economizador E – C02.

Economizador E – C02		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Tipo	Placas
	Arreglo	Contracorriente
	Lado caliente	Fondo torre
	Lado frío	Ácido acético
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Número de placas	4	
Alto de placa	0,30 m	
Ancho de placa	0,12 m	
Espesor de placa	0,10 cm	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Espacio entre placas	0,30 cm
Tipo de corrugación	Chevron 45°
Pasos lado caliente	1
Pasos lado frío	1
Datos de transferencia de calor	
ΔTML	31,93 °C
Área requerida / efectiva	0,08 / 0,10 m ²
U calculado / de servicio	116 / 103 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	12,5%
ΔP lado frío / caliente	0,001 / 0,001 atm
Coefficiente de película lado frío / caliente	255,30 / 217,00 kcal/h.m ² .°C

8.9.7. Condensador I – D05

La adopción de los valores de los coeficientes de ensuciamiento de todos los intercambiadores de casco y tubos se fundamenta según la Tabla 12 del autor Donald Kern (1999) en Transferencia de la energía térmica.

El intercambiador de calor I – D05 representa el condensador de la torre de destilación D – D01. El cual retira la energía necesaria, empleando agua de enfriamiento, para que la columna funcione normalmente y se cumpla con los requisitos establecidos del proceso.

El equipo diseñado es un intercambiador de casco y tubo empleado como condensador total, cuyo objetivo es condensar la corriente de vapor, constituida principalmente por ácido acético, que sale por la cabeza de la torre. En la Tabla 8.47 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.47 – Parámetros del intercambiador de calor I – D05.

Condensador I – D05		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubo
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Condensación
	Tubos	Agua de enfriamiento

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Datos generales de construcción	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Pasos en la coraza	1
Diámetro externo de la coraza	17,78 cm
Diámetro interno de la coraza	15,24 cm
Pasos en los tubos	1
Número de tubos	6
Longitud de tubos	0,91 m
Diámetro externo de los tubos	19,05 mm
Diámetro interno de los tubos	15,75 mm
Espesor de tubos	BWG 16
Arreglo de los tubos	En cuadro a 90°
Paso de tubos	2,54 cm
Número de baffles	9
Tipo de baffles	Segmentación simple
Segmentación de baffles	25%
Espaciado de baffles	5,20 cm
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	92,20 °C
Área requerida / efectiva	0,16 / 0,19 m ²
U calculado / de servicio	320,41 / 258,93 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	23,75%
ΔP tubos / coraza	0,020 / 0,002 atm
Coeficiente de película tubos / coraza	821,65 / 1166,80 kcal/h.m ² .°C

8.9.8. Rehervidor I – D06

El intercambiador de calor I – D06 es el rehervidor que forma parte de la torre de destilación D – D01. La energía necesaria para evaporar el fondo de la columna se suministra con vapor de agua proveniente de la caldera.

El equipo diseñado es un intercambiador de casco y tubo empleado como evaporador parcial, cuyo objetivo es evaporar la corriente líquida, constituida principalmente por anhídrido acético,

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

que atraviesa toda la longitud de la torre. En la Tabla 8.48 se enumeran los valores obtenidos de los resultados del diseño.

Tabla 8.48 – Parámetros del intercambiador de calor I – D06.

Rehervidor I – D06		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubo
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Evaporación
	Tubos	Vapor
Datos generales de construcción		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Pasos en la coraza	1	
Diámetro externo de la coraza	17,78 cm	
Diámetro interno de la coraza	15,24 cm	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	7	
Longitud de tubos	1,22 m	
Diámetro externo de los tubos	19,05 mm	
Diámetro interno de los tubos	15,75 mm	
Espesor de tubos	BWG 16	
Arreglo de los tubos	En cuadro a 90°	
Paso de tubos	2,54 cm	
Número de baffles	10	
Tipo de baffles	Segmentación simple	
Segmentación de baffles	25%	
Espaciado de baffles	7,97 cm	
Datos de transferencia de calor		
ΔT_{ML}	15,57 °C	
Área requerida / efectiva	0,36 / 0,46 m ²	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

U calculado / de servicio	896,02 / 688,56 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	30,13%
ΔP tubos / coraza	0,001 / 0,010 atm
Coeficiente de película tubos / coraza	22844,04 / 2053,69 kcal/h.m ² .°C

8.10. ADOPCIÓN DEL COMPRESOR K – A01

La presión requerida del dióxido de carbono para que el proceso se lleve a cabo en condiciones adecuadas se logra por medio de un equipo que mueva y comprima gases. En este caso se adopta un compresor, ya que este tipo de equipos generan presiones superiores a 2 atmósferas (McCabe & Smith, 2007).

Los compresores son de desplazamiento positivo o centrífugos, los primeros se utilizan para presiones de descarga hasta de aproximadamente 6 atm, mientras que los segundos manejan mayores caudales y presiones de salidas superiores a 20 atm. Debido a esto, se adopta un compresor reciprocante, estas máquinas operan mecánicamente de la misma manera que lo hacen las bombas reciprocantes, con la diferencia de que la prevención de fugas es más difícil y el aumento de la temperatura es importante (McCabe & Smith, 2007).

Debido al cambio en la densidad durante el paso del flujo en el compresor, es necesario escribir la ecuación de Bernoulli en forma diferencial y utilizarla para relacionar el trabajo de eje con el cambio diferencial de la carga de presión.

$$W_c = \int_{p_a}^{p_b} \frac{dp}{\delta} \quad (85)$$

Para usar la ecuación (85), hay que evaluar la integral, lo cual requiere conocer la trayectoria seguida por el fluido en el equipo desde la succión hasta la descarga. El dióxido de carbono sigue una trayectoria politrópica, ya que no es isotérmica ni adiabática.

$$P_c = \frac{0,317 \cdot T_a \cdot n \cdot q_0}{(n - 1) \cdot \eta \cdot 0,75} \cdot \left[\left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{1 - \frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (86)$$

Donde:

P_c: potencia del compresor [HP]

T_a: temperatura de entrada [K]

q₀: caudal del gas, evaluado a 0°C y 1 atm [m³/s]

n: constante [adimensional]

η: eficiencia [adimensional]

En la Tabla 8.49 se especifican los parámetros del equipo adoptado, vale aclarar que se elige un tamaño de este modelo adecuado a los requerimientos del proceso. La particularidad que tiene

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

este tipo de compresor es que trabaja en ausencia de aceite lubricante, evitando así una eventual contaminación y siendo factible su aplicación en industrias farmacéuticas.

Tabla 8.49 – Parámetros del compresor adoptado.

Compresor K – A01	
Fabricante	Brotie
Tipo	Compresor de pistón oil - free
Modelo	BRC – CO2
Consumo de energía	1,5 – 45 kW
Rango de velocidad	400 – 800 rpm
Rango de capacidad	1 – 200 Nm ³ /h
Presión de entrada	0,1 – 20 bar
Presión de salida	2 – 80 bar
Grado de compresión	1 – 4
Largo	1,10 m
Altura	1 m
Ancho	0,80 m



Imagen 8.24 - Compresor adoptado. Fuente: Brotie.

8.11. ADOPCIÓN DE LA CENTRIFUGA C – B01

Previo a la etapa de secado el ácido salicílico debe ser separado de los subproductos y el agua, para ello se adopta un equipo que permita concentrarlo, basándose en la diferencia de sus densidades.

El equipo seleccionado es una centrífuga cuyo funcionamiento es una combinación del de un decantador y de una centrífuga de discos, llamada sedicanter, con la cual se logra una separación

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

eficaz de los sólidos y una máxima clarificación de los líquidos. Este cuenta con un tambor macizo y un tornillo sinfín, que giran a una velocidad diferencial, generando la descarga continua del sólido. En la Imagen 8.25 se muestra un esquema con el funcionamiento del equipo y el detalle sus partes.

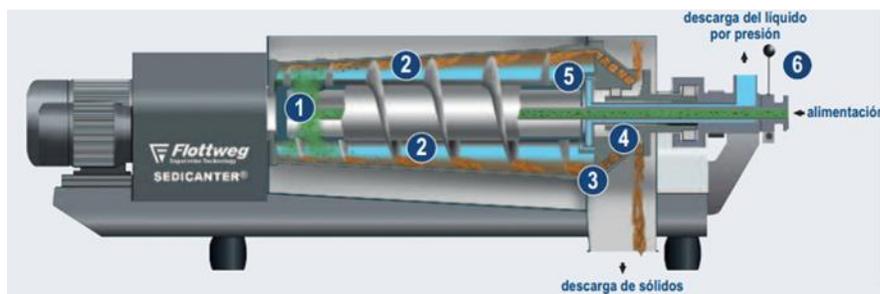


Imagen 8.25 - Partes y funcionamiento de la centrifuga

1) Cono, 2) Zona de clarificación, 3) Disco anular, 4) Tornillo sinfín, 5) Rodete, 6) Palanca

Posee la ventaja de un diseño higiénico donde todas las partes que están en contacto con el producto son de acero inoxidable y no se presentan fisuras ni esquinas que puedan acumular suciedad. En la Imagen 8.26 se muestra al equipo seleccionado y en la Tabla 8.50 se resumen las características de este.



Imagen 8.26 - Sedicanter adoptada. Fuente: Flottweg.

Tabla 8.50 - Parámetro de la centrifuga adoptada.

Centrifuga C – B01	
Fabricante	Flottweg
Tipo	Centrifuga-decantador
Modo de operación	Continuo
Modelo	S3E – 3
Especificaciones	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro del tambor	300 mm

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Velocidad del tambor	7750 rpm
Velocidad diferencial	1,5 – 3 rpm
Largo	2304 mm
Altura	752 mm
Ancho	700 mm
Potencia del motor para el tambor	20 HP
Potencia del motor para el tornillo	5 HP

8.12. ADOPCIÓN DEL FILTRO ROTATIVO F – D01

Luego de la reacción de acetilación en el reactor R – C02 entre el AS y el anhídrido acético, es necesario separar el AAS sólido del medio líquido en el que se encuentra y, también una etapa de lavado con agua para eliminar las impurezas. Es por esto por lo que se decide utilizar un equipo de filtración al vacío, más específicamente un filtro de tambor rotativo al vacío por los siguientes motivos:

- Opera de manera continua, por tanto, la descarga del filtrado y del sólido es constante.
- Se realizan las etapas de separación y lavado en un mismo equipo, lo que conlleva a una reducción de aparatos y a una disminución de los costos de capital.
- En la bibliografía consultada se utiliza comúnmente este tipo de equipos para la separación de productos farmacéuticos.

En la Imagen 8.27 se ilustra el diagrama de un filtro rotatorio continuo al vacío.

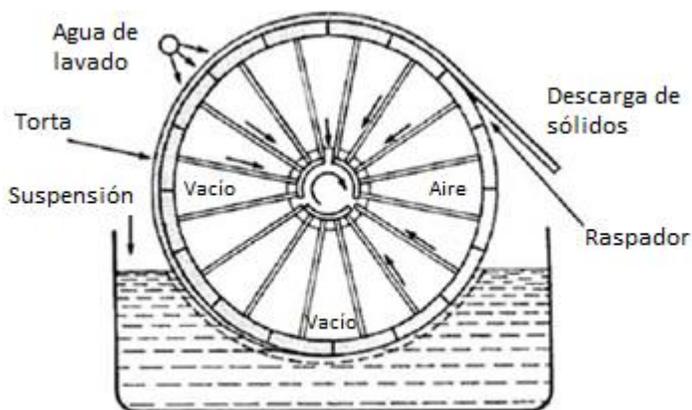


Imagen 8.27 - Diagrama representativo del funcionamiento de un tambor rotativo.

Se siguió el procedimiento de cálculo dado por Geankoplis C.J. para la adopción de un filtro adecuado a los requerimientos del proceso, teniendo en cuenta que la velocidad de la alimentación, el filtrado y la torta son constantes. La resistencia del medio filtrante se desprecia en comparación con la de la torta y la caída de presión se mantiene constante durante la filtración.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$t = f \cdot t_c \quad (87)$$

$$v = \frac{V}{A \cdot t_c} = \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot (-\Delta P) \cdot g_c}{t_c \cdot \mu \cdot \alpha \cdot C_s}} \quad (88)$$

Donde:

t: tiempo requerido para la formación de la torta/tiempo de filtración [s]

f: fracción de inmersión del tambor en la suspensión

t_c: tiempo total del ciclo [s]

α: resistencia específica de la torta [m/kg]

μ: viscosidad de filtrado [Pa/s]

C_s: masa de sólido por volumen de filtrado [kg/m³]

v: velocidad de filtrado [m/s]

A: Área de filtrado [m²]

V: caudal volumétrico de filtrado [m³/s]

Las especificaciones del filtro rotativo de vacío adoptado se detallan en la Tabla 8.51, además este posee las siguientes características:

- Posee una bomba de sellado de líquido conectada al tambor para aplicar vacío.
- La suspensión a filtrar se alimenta continuamente al canal del filtro donde se distribuye por igual debido a su diseño de compartimiento de pirámide invertida, por lo que no necesita sistema de agitación.
- Es recomendado por el fabricante para temperaturas de hasta 95°C, partículas de 50-300 μm de tamaño y tortas delgadas. Las aplicaciones dadas por este incluyen a la aspirina, bisfenol A, ácido bórico, antibióticos, bicarbonato de sodio, almidones, entre otros.

Tabla 8.51 - Parámetros del filtro rotativo de vacío adoptado.

Filtro F – D01	
Fabricante	ANDRITZ
Tipo	Filtro rotativo de tambor
Principio de operación	Filtración al vacío
Modo de operación	Continuo
Orientación	Horizontal
Serie	YU
Modelo	12" x 4"

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Especificaciones		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Diámetro nominal del tambor	0,30 m	
Longitud del tambor	0,10 m	
Masa	320 kg	
Área de filtrado	0,1 m ²	
Dimensiones del equipo	A	0,81 m
	B	1,30 m
	C	1,22 m
Velocidad de giro	1,5 rpm	
Tiempo del ciclo	40 s	
Fracción sumergida del área de filtración	0,19	
Caída de presión aplicada	2066,45 kgf/m ²	

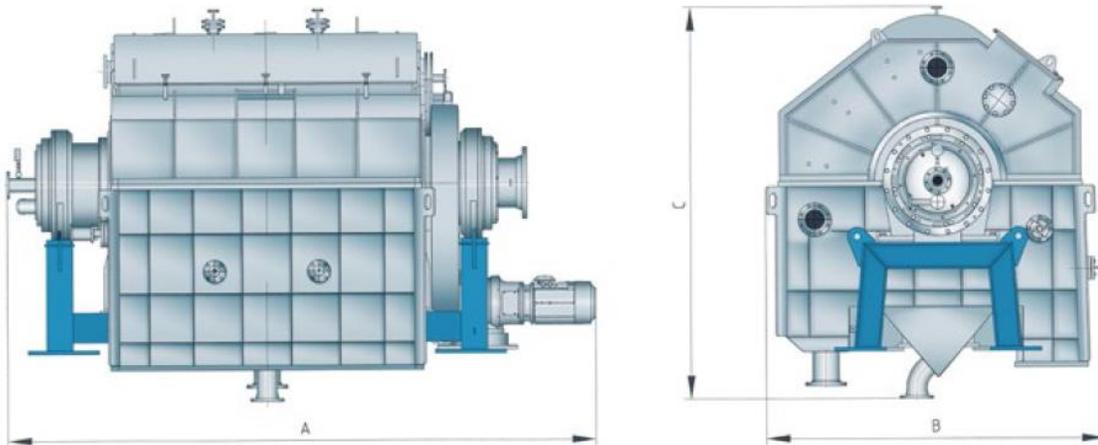


Imagen 8.28 - Dimensiones del filtro rotativo adoptado. Fuente: ANDRITZ.

8.13. ADOPCIÓN DEL SISTEMA MOLINO-TAMIZ MT – D01

La molienda es una etapa significativa en la elaboración de productos farmacéuticos sólidos que tiene la finalidad de uniformar y reducir el tamaño de estos. Por ello, el objetivo principal es determinar qué tipo de equipo de reducción emplear, tal que satisfaga los requerimientos del proceso. Como se muestra en la Imagen 8.29, un molino cónico es adecuado para llevar a cabo la operación porque abarca el intervalo de tamaño requerido (300 – 180 μm).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

P.S.D.	1µm	10µm	25µm	45µm	75µm	150µm	425µm	850µm	1700µm	4750µm	+
Pre-sizers Hammer Mills							Ideal for lump/crystalline 'hard' material producing coarse gritty product. For de-agglomeration applications, capable of finer products.				
Cone Mills						Lump / de-agglomeration applications, typically after dryer or pre-sizing before jet mill. Hard crystalline materials may damage mesh basket.					
DCM Dynamic Classifier Mills			Universal mill capable of a wide range of PSD's. Inverter driven integral classifier allows instant adjustment of product PSD.								
Spiral Jet Mills	Widely used in pharmaceuticals, no moving parts and easy to clean. Typical PSD of d97 8-10 µm, d50 2-3µm.										
Pharmill (Classifier Spiral Jet Mill)	Similar size range to spiral jet mills - much finer with SSA's > 3m ² /g & 'tighter' size distribution compared to spiral jet mills.										

Imagen 8.29 - Rango de aplicación para tipo de molino en función del tamaño de partícula.

El equipo seleccionado es un molino calibrador cónico cuyo principio de reducción de tamaño es una combinación de corte e impacto. Este posee una cámara cónica de molienda donde el impulsor gira a una velocidad determinada e impacta las partículas impulsándolas tangencialmente y forzando su paso a través de los orificios del cono, como se muestra en la Imagen 8.30. La calibración del granulado se produce utilizando un tamiz cónico, que determinará el tamaño medio y la forma de la partícula.

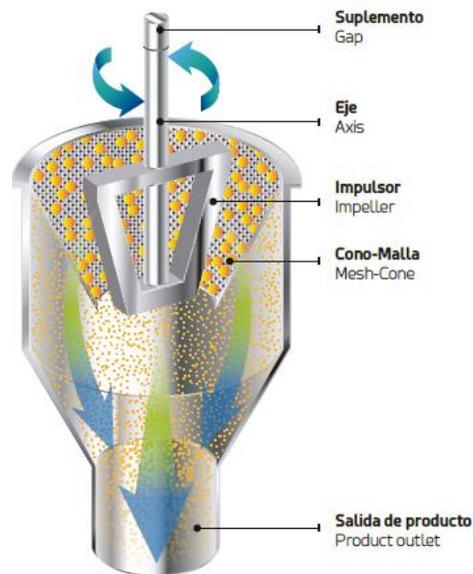


Imagen 8.30 - Principio de funcionamiento del equipo. Fuente: Comasa.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

En la Tabla 8.52 se especifican las características del equipo adoptado. Además, en la Imagen 8.31 se muestra el equipo adoptado junto al detalle de sus partes.

Tabla 8.52 - Parámetros del equipo de reducción de tamaño adoptado.

Molino tamiz MT – D01	
Fabricante	COMASA
Tipo	Molino calibrador cónico
Modo de operación	Continuo
Modelo	CPS Line
Especificaciones	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro nominal del cono	22,86 cm
Diámetro medio de la alimentación	300 μm
Diámetro medio del producto	180 μm
Altura a la tolva de carga	132,00 cm
Altura a la boca de salida	65,80 cm
Ancho	66,10 cm
Largo	145,00 cm
Velocidad del impulsor	1900 rpm
Potencia	0,28 HP

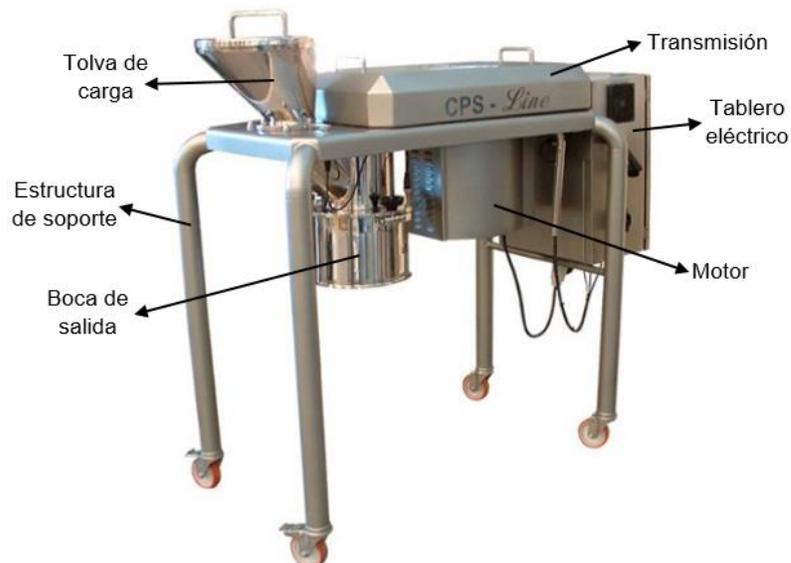


Imagen 8.31 - Equipo adoptado y sus partes principales. Fuente: Comasa.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

8.14. ADOPCIÓN DE LA ENVASADORA N- D01

Luego de atravesar todas las etapas del proceso el producto terminado se envasa en una cámara con atmósfera controlada, en bolsas de diferentes formatos para su posterior comercialización. La envasadora opera en forma discontinua y semiautomática, llenando de forma vertical y sellando de a una bolsa por vez.

Posee la ventaja de un diseño higiénico donde todas las partes que están en contacto con el producto son de acero inoxidable y cuenta con una cubierta que aísla el motor del agitador. Este último se encarga de generar una descarga continua evitando obstrucciones.

En la Tabla 8.53 se especifican las características del equipo adoptado. Además, en la Imagen 8.32 se muestra el equipo junto a la cámara de envasado y en la Imagen 8.33 un esquema de este donde se indican sus partes principales.

Tabla 8.53 - Parámetros de la envasadora adoptada.

Envasadora N- D01	
Fabricante	ALL-FILL
Tipo	Envasadora de llenado vertical
Modo de operación	Discontinuo
Modelo	VFFS Machines – Serie 10
Especificaciones	
Material	Acero inoxidable AISI 304
Volumen de la tolva	0,038 m ³
Altura total	2,10 m
Altura al sinfín de alimentación	1,82 m
Ancho	0,95 m
Potencia del agitador	0,74 HP
Velocidad mínima sinfín	0,02 rpm
Rango de peso de llenado	20 mg – 50 kg
Peso total del equipo	175 kg
Potencia del sinfín	3 HP

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 8.32 - Equipo junto a la cámara de envasado. Fuente: ALL – FILL.



Imagen 8.33 - Envasadora adoptada y sus partes principales. Fuente: ALL – FILL.

8.15. ADOPCIÓN DE EQUIPOS PARA EL TRANSPORTE DE SÓLIDOS

Debido a que en el proceso se cuenta con componentes sólidos, es necesario la adopción de un sistema que sea capaz de manejarlos. La selección del transportador correcto para un material específico está relacionada a un gran número de factores afines entre sí, por ejemplo, la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

capacidad, longitud de desplazamiento, la elevación, características de los materiales, su función, vida útil, entre otros. Los requisitos necesarios en el proceso es principalmente el transporte con pendiente positiva de sólidos, es por ello por lo que de acuerdo a la Imagen 8.34 se opta por la opción de tornillos sin fin.

Función	Tipo de transportador
Transporte horizontal de materiales	De banda articulada, de banda, normal, de flujo continuo, de arrastre de tablas, vibratorio, de cangilones, de cangilones de volteo, de aire
Transporte de materiales hacia arriba o hacia abajo de una pendiente	De banda articulada, de banda, de flujo continuo, de paletas, de tornillo sin fin
Elevación de materiales	Elevador de cangilones, flujo continuo, montacarga de cajón, aire
Manejo de materiales sobre una combinación de trayectorias horizontales y verticales	Flujo continuo, de cangilones de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire
Distribución o colección de materiales para tolvas, depósitos, etc.	De banda, de paletas, de tornillo sin fin, de flujo continuo, de cangilones de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire
Retiro de materiales de vagones del ferrocarril, camiones, etc.	Vaciados de carros, descargador de vagones de granos, agitador de vagones, pala mecánica, aire

Imagen 8.34 - Tipo de transportador según la función. Fuente: Perry, 1984.

El transportador de tornillo helicoidal o sinfín consiste en un sistema de aspas montadas en un eje o no y que giran en un canalón en forma de U o dentro de un tubo. Presenta las ventajas de ser versátil ya que puede ser utilizado como equipo de trasiego de material, como dispositivo dosificador, como elemento mezclador o agitador, es de bajo costo y sencillez de fabricación.

Se adopta un sistema con tubo flexible de nylon el cual tiene la característica de superar desniveles importantes además de evitar contaminaciones, debido a que es hermético. El mismo no posee un eje impulsor, en cambio es un espiral accionado por un motor ubicado en uno de los extremos. En la Imagen 8.35 y 8.36 se representa el sistema elegido y cómo funciona, mientras que en la Tabla 8.54 se detallan los distintos transportadores de tornillo del proceso.

Tabla 8.54 - Parámetros de los transportadores de tornillo helicoidal del proceso.

Sin fin	Caudal másico [kg]	Densidad [kg/m ³]	Caudal volumétrico [m ³ /h]	Diámetro [mm]	Longitud [m]	Ángulo
Z – A01 H	283,26	320	0,885	65	3,10	0 °
Z – A01 I	283,26	320	0,885	65	7,65	45 °
Z – B02	25,29	320	0,08	40	2,87	35 °
Z – B03	21,29	1350	0,02	40	3,68	30 °

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Z – D04	25,79	1393,23	0,02	40	2,20	35 °
Z – D05	25,79	1393,23	0,02	40	4,95	45 °
Z – D06	25,79	1393,23	0,02	40	3,66	35 °



Imagen 8.35 - Imagen ilustrativa del tipo de sin fin adoptado. Fuente: GIMAT.

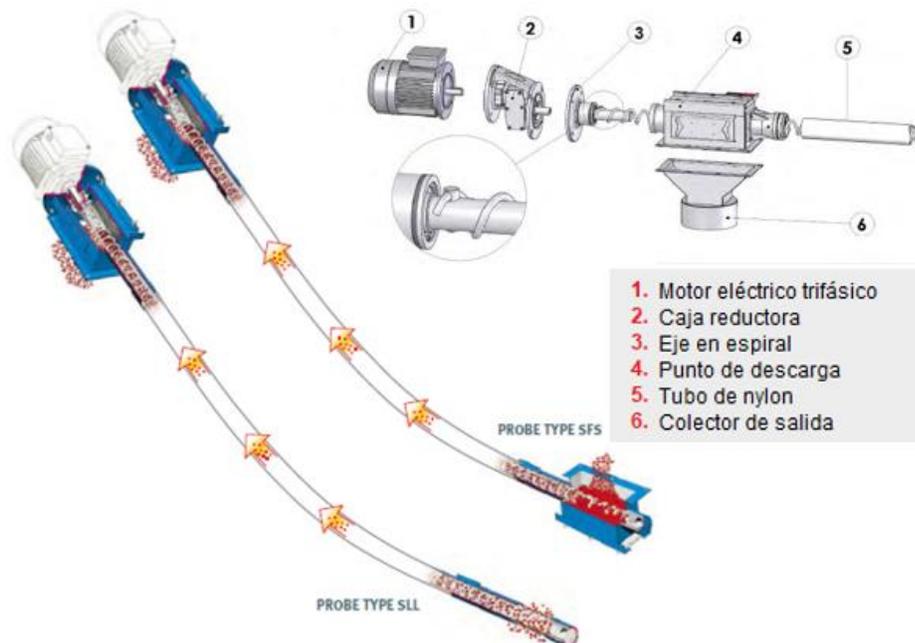


Imagen 8.36 - Funcionamiento del sistema de transporte de sólido seleccionado. Fuente: GIMAT.

8.16. ADOPCIÓN DE BOMBAS

Existen muchos tipos diferentes de bombas y su selección depende, entre otras cuestiones, de las características del líquido a manipular, que incluyen viscosidad, corrosividad y abrasividad. El rendimiento confiable de la bomba es fundamental para garantizar una producción ininterrumpida. Además, se debe garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad para proteger a los trabajadores y minimizar el daño a equipos.

Para el transporte de las corrientes líquidas debe diseñarse un sistema de cañerías y adoptar una bomba adecuada para cada conexión entre equipos, cuando sea necesario. La fuerza impulsora necesaria para que el líquido fluya de un punto a otro en una tubería es suministrada por las bombas, que incrementan la energía mecánica del fluido para aumentar la velocidad, presión y elevación de este. En este proceso se utilizan dos tipos de bombas: centrífuga y peristáltica, que denominaremos con las letras C y P, respectivamente, para diferenciarlas.

- Bombas centrífugas: son el tipo más común de bomba utilizada en la industria, altamente eficientes, de diseño y operación simple, y generalmente menos costosas que otros tipos. Todas las bombas centrífugas extraen líquido en el impulsor por succión, causando un vacío, esta característica también la hace propensa a la cavitación, especialmente con bajas presiones de admisión.
- Bombas peristálticas: es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, típicamente usadas para bombear fluidos limpios o estériles porque la bomba no puede contaminar el líquido, o para bombear fluidos agresivos que pueden dañarla. Debido a que la única parte de la bomba en contacto con el fluido es el interior del tubo, las restantes superficies internas son fáciles de esterilizar y limpiar. Además, su mecanismo de funcionamiento la hace más adecuada para el manejo de pequeños caudales.

Puesto que no hay partes móviles en contacto con el líquido, las bombas peristálticas son baratas de fabricar. Su carencia de válvulas, de sellos y de arandelas, y el uso de mangueras o tubos, hace que tengan un mantenimiento relativamente de bajo costo comparado a otros tipos de bombas.

Los parámetros por estimar para la adopción de las bombas son: diámetro mínimo de la tubería de aspiración y de la de impulsión; y potencia mínima de la bomba a instalar. Para ello, se emplea el procedimiento detallado a continuación:

1. Se define la distribución y elevación para los equipos y tuberías teniendo en cuenta el diámetro, altura y nivel de líquido de los recipientes de proceso.
2. Se confecciona el diagrama tridimensional de tuberías, incluyendo válvulas, uniones y accesorios. Además, se selecciona el tipo de material de construcción.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

3. Se determinan las velocidades de flujo en las líneas de succión y descarga del fluido y el diámetro óptimo de las tuberías correspondientes. Las velocidades inicialmente se adoptan de la tabla que se ilustra en la Imagen 8.37. Con la velocidad y los caudales obtenidos en el balance de masa y energía se establecen los diámetros de las líneas. Luego se elige el diámetro nominal que mejor se adapte y se recalculan las velocidades.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		pies/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5-1	0,15-0,30
	Entrada de bomba	1-3	0,3-0,9
	Salida de bomba	4-10	1,2-3
	Línea de conducción	4-8	1,2-2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2-0,5	0,06-0,15
	Salida de bomba	0,5-2	0,15-0,6
Vapor de agua		30-50	9-15
Aire o gas		30-100	9-30

Imagen 8.37 – Velocidad de fluidos en tuberías. Fuente: Tabla 8.1 McCabe, 1991.

4. Con las velocidades se calcula el número de Reynolds en las tuberías de entrada y salida de la bomba.

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (89)$$

Donde:

Re: número de Reynolds [adimensional]

v: velocidad lineal media [m/s]

D: diámetro [m]

ρ : densidad [kg/m³]

μ : viscosidad [kg/m.s]

5. Si el valor del número de Reynolds es mayor a 2100 se considera régimen turbulento y se procese al cálculo del factor de fricción mediante los diagramas de Moody, siguiendo el procedimiento establecido en el libro “Problemas en ingeniería química Tomo I” de Ocon y Tojo. Si el valor del Reynolds es menor a 2100 el factor de fricción se calcula a partir de la Ecuación 90.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (90)$$

Donde:

f: factor de fricción [adimensional]

6. Se calcula la pérdida de carga de la tubería, que contempla la pérdida de carga equivalente por longitud en válvulas, codos y accesorios, mediante la ecuación (91).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

$$h_f = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (91)$$

Donde:

h_f : pérdida por fricción [m]

L_{eq} : longitud total equivalente de la cañería [m]

g : aceleración de la gravedad [m/s^2]

La pérdida de carga total se obtiene sumando las pérdidas de la succión y de la descarga.

7. Para determinar la altura de impulsión teórica se utiliza la ecuación de Bernoulli corregida, teniendo en cuenta la fricción del fluido (h_f).

$$H_B = \frac{\Delta P \cdot g_c}{\rho \cdot g} + \Delta Z + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + h_f \quad (92)$$

Donde:

H_B : altura de impulsión teórica [m]

ΔP : diferencia de presión entre los puntos de succión y descarga [kgf/m^2]

ΔZ : diferencia de altura entre los puntos de succión y descarga [m]

Δv : diferencia de velocidades entre los puntos de succión y descarga [m/s]

g_c/g : factor de proporcionalidad [kg/kgf]

8. Por último, se estima la potencia requerida por la bomba en HP, considerando el rendimiento mecánico del equipo como $\eta=0,75$.

$$P_B = \frac{H_B \cdot Q \cdot \rho}{\eta \cdot 75} \quad (93)$$

Donde:

P_B : potencia mínima de la bomba a instalar [HP]

Q : caudal volumétrico [m^3/h]

En la Tabla 8.55 se observa el tipo de bombas que son necesarias adoptar para el proceso productivo, mostrando el origen y destino de cada corriente, junto con los parámetros de caudal y temperatura.

En la Tabla 8.56 se detalla el cálculo de los parámetros de las bombas del proceso. Las bombas B-006, B-009, B-010 y B-013 se describen en el capítulo 9 de Servicios Auxiliares, cada una en sus respectivas secciones, este es el motivo por el que no aparecen en la Tabla 8.56. Y, por último, en la Tabla 8.57 se especifican las características de las bombas adoptadas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 8.55 – Bombas del proceso.

Bomba	Origen	Destino	Caudal [l/h]	Temp. [°C]	Corriente	Tipo
B - A01	T - 001	M - A01	110	25	A	P
B - B02	T - 002	TP - B01	9,53	25	H	P
B - B03	T - 003	R - C02	20	25	L	P
B - B04	T - 004	R - C02	8,71	25	K	P
B - B05	T - 006	TW - B01	29,87	25	W	P
		F - D01	30,60		O	
B - 006	T - 007	T - 009	4320	25	Agua ¹	C
B - A07	M - A01	R - A01	310	60	C1	P
B - B08	TW - B01	TP - B01	108	40	G	P
B - 009	T - 008 T - 009 T - 010	R ² / I ³	1440	25 ⁴ / 60 ⁵	CIP	C
B - 010	OI - 001	T - 006 T - 007	1200	25	Agua tratada	C
B - D11	I - D05	T - 004 T - 005	14	118,3	P	P
B - D12	I - D06	T - 003	5,20	139,4	Q	P
B - 013	TE - 001 TE - 002	R - A01	444,73	20	Y	C
		TP - B01	879,14			
		R - C02	99,57			
		I - D05	382,42			

Tabla 8.56 – Cálculo de bombas.

	Código de bomba	B – A01	B – B02	B – B03	B – B04	B – B05	B – A07	B – B08	B – D11	B – D12
Succión	Diámetro exterior [pulg]	3/4	1/8	1/8	1/8	1/4	1/2	3/8	1/8	1/8
	Velocidad del fluido [m/s]	0,09	0,12	0,24	0,10	0,36	0,44	0,24	0,16	0,10
	Número de Reynolds	31,03	149,30	1560	488,85	2785	6942	1557	762,65	395
	Factor de fricción (f)	2,062	0,432	0,041	0,131	0,046	0,036	0,041	0,084	0,162
	Longitud equivalente [m]	1,88	1,88	1,70	2	1,25	0,90	1	0,20	0,20
	Pérdida por fricción (hf) [m]	0,07	0,1	0,04	0,03	0,05	0,02	0,10	0,02	0,02
	Altura [m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Descarga	Diámetro exterior [pulg]	1/4	1/8	1/8	1/8	1/8	1/4	1/4	1/8	1/8
	Velocidad del fluido [m/s]	0,45	0,12	0,24	0,10	0,72	1,29	0,65	0,16	0,10
	Número de Reynolds	70,3	149,30	1560	488,85	3910	11870	2540	762,65	395
	Factor de fricción (f)	0,91	0,432	0,041	0,131	0,048	0,020	0,035	0,084	0,162
	Longitud equivalente [m]	3,80	3,80	25,50	28,40	27,21	10,04	6,94	20,25	15,80
	Pérdida por fricción (hf) [m]	3,91	0,2	0,57	0,37	1,29	2,93	0,50	0,42	0,90
	Altura [m]	0,75	0,73	1	1	1	2,60	1,76	1,90	3
	Altura teórica total [m]	4,75	1,02	1,61	1,4	2,36	5,62	2,65	2,32	3,10
Potencia [W]	4,30	0,10	0,22	0,10	0,90	10,92	0,92	0,21	0,11	

SERVICIOS AUXILIARES

CAPÍTULO 9

9. SERVICIOS AUXILIARES

9.1. INTRODUCCIÓN

Los servicios auxiliares son indispensables para mantener las operaciones de forma óptima y continua en todo el proceso productivo. En el presente capítulo se expresan los requerimientos de los servicios auxiliares de agua, vapor, gas natural, aire y electricidad para una semana de producción, con el fin de facilitar la interpretación, ya que el proceso es batch al inicio y el resto de los días opera en continuo. Además, se dimensionan y adoptan los equipos necesarios tales como tanques, bombas, torres de enfriamiento, caldera, entre otros. La demanda de agua dependerá para que se destine la misma, si es agua de proceso, limpieza o enfriamiento, teniendo en cuenta además la que se destinará a la caldera para transformarla en vapor. Finalmente, los cálculos de electricidad abarcan tanto los requerimientos de la planta para el proceso como la luminaria necesaria. Otros servicios incluidos, que brinda el parque industrial Campana son los de cloacas, efluentes e internet.

9.2. SISTEMA DE LIMPIEZA CIP

En la industria actual, bien sea alimenticia, farmacéutica, química o cosmética, un correcto diseño de los procesos de limpieza es fundamental para evitar los problemas de contaminación. Para ello se incorpora un sistema CIP, del inglés Cleaning In Place (limpieza en sitio), dentro de las líneas de proceso, haciendo circular por el entramado de tuberías, equipos y depósitos una combinación de soluciones químicas que permiten realizar la limpieza sin trasladar, desarmar ni involucrar personas.

La función de la unidad CIP es la de preparar automáticamente las soluciones de limpieza a la concentración y temperatura establecidas, y la de programar los distintos ciclos para la limpieza de todos los elementos de la planta, controlando temperatura, caudal y/o presión. Toda limpieza efectiva requiere de cuatro parámetros imprescindibles para su correcta ejecución, que quedan establecidos por el diagrama del círculo de Sinner:

- Acción mecánica: se trata del hecho físico de eliminar la suciedad. En este aspecto es fundamental conocer perfectamente las herramientas que se emplean en la limpieza porque su uso indebido puede llevar a un deterioro de las superficies excesivamente rápido.
- Acción química: es el conjunto de productos químicos que deben emplearse en cada acción de limpieza. Esta técnica es uno de los factores fundamentales, ya que siempre hay que elegir el producto que se adapte mejor a cada tipo de limpieza y emplearlo en las dosis recomendadas por los fabricantes. Es la única forma de obtener resultados favorables sin dañar ni las superficies, ni el entorno, ni la salud de los profesionales.
- Temperatura: influye en la efectividad del producto químico que se utiliza, aunque no es un factor excesivamente determinante porque, si bien facilita la limpieza cuando

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

hay un origen graso en la suciedad, hay materiales que no resisten las altas temperaturas a las que puede estar el agua.

- **Tiempo:** Viene influenciado por el tipo de superficie que se vaya a limpiar, la suciedad que haya acumulada, el producto que se emplee y si se va a realizar una limpieza manual o con algún tipo de máquina

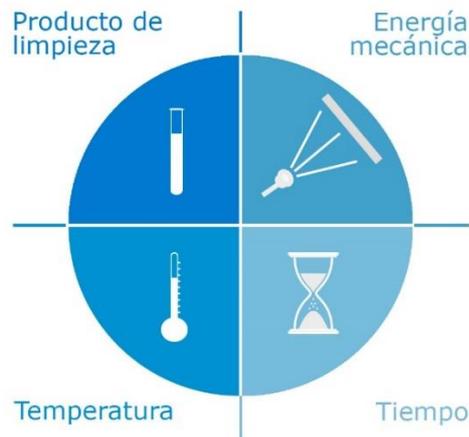


Imagen 9.1 - Diagrama circular de Sinner.

Los elementos que conforman el círculo Sinner se combinan entre sí para poder realizar una limpieza completa, si variamos alguno de estos, el resto se verán alterados. Esto se aplica tanto para los sistemas CIP como para los métodos de limpieza manual. Cada industria emplea diferentes parámetros en función del producto y el nivel de limpieza que se desea alcanzar.

9.2.1. Sistema CIP adoptado

En general, los sistemas CIP disponen de dos programas de lavado: programa corto y programa largo. El primero consiste en realizar un enjuague inicial con agua recuperada, la cual es una solución de agua con soda obtenida de la última recirculación de la limpieza anterior, que luego de cumplir con su fin se elimina del sistema. Este primer enjuague tiene un poder químico mayor que el agua por sí sola, y que además permite ahorrar agua y soda. En la segunda fase se realiza una recirculación de solución de NaOH al 2% de concentración. En tercer lugar, se realiza un enjuague con agua de red, que luego irá al depósito de agua recuperada para utilizar en la próxima limpieza.

Al programa largo se le añaden dos pasos más respecto al programa corto. Se realiza un lavado con ácido, seguido de un enjuague a fondo perdido con agua de red, es decir que este no se recupera, sino que se elimina.

El programa más adecuado para satisfacer nuestras necesidades de limpieza es el corto, por lo tanto, el sistema CIP cuenta con tres depósitos: uno para solución de soda al 2% a 60°C, otro de agua recuperada y otro para agua de red, que se emplea como tanque pulmón. Tanto

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

el aclarado inicial como el final se llevan a cabo a temperatura ambiente. Además, cuenta con el circuito de dosificación de soda, la entrada de agua de red, la salida al colector para la impulsión de las soluciones del CIP y el retorno del CIP, creando así un circuito cerrado que permite recircular la solución durante el tiempo establecido.

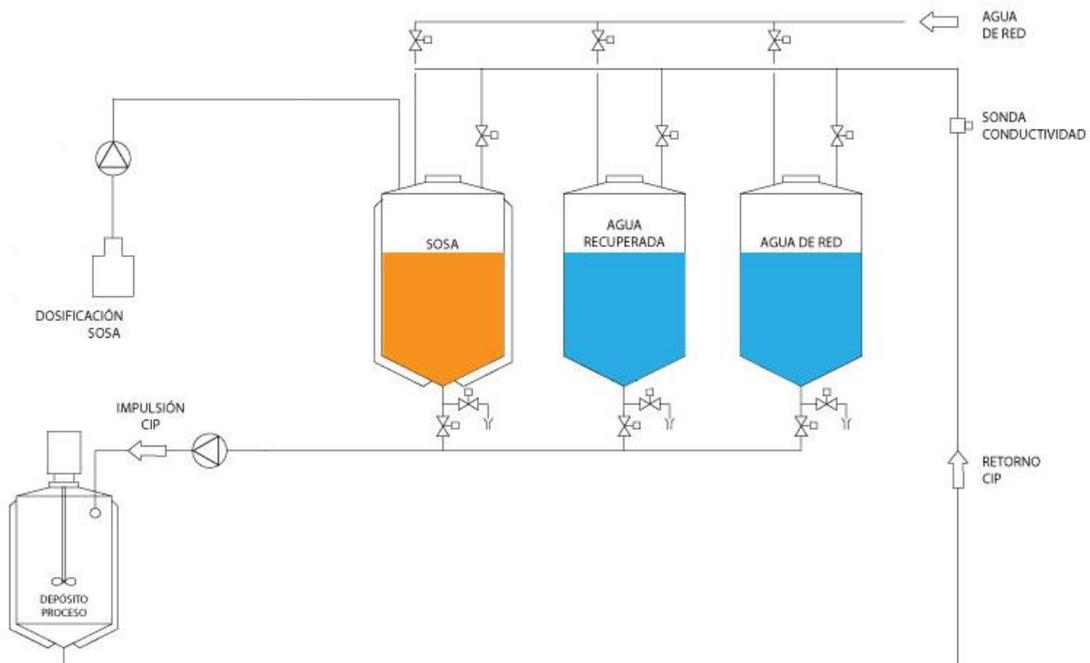


Imagen 9.2- Diagrama representativo del sistema CIP adoptado.

9.2.2. Boquilla de limpieza adoptada

El principio básico del CIP es el paso de un líquido limpiante a alta velocidad sobre las superficies del equipo generando un efecto de lavado mecánico que desaloja cualquier residuo. En el caso de tanques o depósitos, en los que por su geometría es muy difícil lograr altos niveles de turbulencia, se utilizan cabezales de rociado que impactan todos los puntos de la superficie del tanque, logrando el desprendimiento de desechos.

Para la limpieza de los reactores se instalan en su interior boquillas de limpieza que consisten en dispositivos que contienen una determinada cantidad de orificios de cierto diámetro, uniformemente distribuidos. Para los dos reactores R – A01 y el reactor R – C02 se adopta la boquilla que se muestra en la Imagen 9.3, mientras que la limpieza del resto de los tanques agitados se hace de manera manual por un operario. En la Tabla 9.1 se detallan los parámetros de operación de la boquilla adoptada.

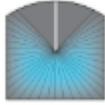
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 9.3 - Boquilla de limpieza adoptada. Fuente: Spraying Systems Co.

Tabla 9.1 - Especificaciones de la boquilla de limpieza adoptada. Fuente: Spraying Systems Co

Modelo	TANKJET VSM
Diámetro máximo del tanque	1,5 m
Principio de operación	Fija – Estacionaria
Rango de flujo	16,3 – 62 l/min
Presión de operación	0,7 – 10,2 atm
Temperatura máxima	93°C
Material	Nylon
Cobertura del spray	240° Down 
Conexión	1/2 pulg

Para la adopción de la boquilla se tiene en cuenta el diámetro del tanque, siendo la presión recomendada 1,5 atm para un máximo de 2,5 m (Viruega Sevilla D., 2018). Con estos parámetros el caudal de las soluciones CIP se establece en 24 l/min.

9.2.3. Programa de limpieza

En la Tabla 9.2 se detalla el programa de lavado CIP para el reactor R – A01, que se realiza luego de cada batch, y que tiene un tiempo total de limpieza de 30 min.

Tabla 9.2 - Programa de lavado CIP reactor R - A01.

Etapa	Tiempo	Volumen
Agua recuperada	10 min	240 l
Solución de soda al 2 %	10 min	240 l
Agua de red	10 min	240 l

En la Tabla 9.3 se detalla el programa de lavado CIP para el reactor R – C02, que se realiza una vez al finalizar la jornada semanal, y que tiene un tiempo total de limpieza de 60 min.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.3 - Programa de lavado CIP reactor R - C02.

Etapa	Tiempo	Volumen
Agua recuperada	15 min	360 l
Solución de soda al 2 %	30 min	720 l
Agua de red	15 min	360 l

Además, el sistema CIP se utiliza para los intercambiadores de calor, con un tiempo de lavado de 30 minutos cada uno, realizándose una vez por semana. Por lo tanto, el volumen total de agua a utilizar semanalmente es de 4440 litros y el de solución de soda es de 4800 litros, siendo necesarios tres tanques, el de agua recuperada, el de agua de red y el de solución de soda, con un volumen de 1 m³ cada uno. A estos tanques se los identifica como T – 008, T – 009 y T – 010, respectivamente.

9.2.4. Sistema de bombeo

La red de distribución de las sustancias de limpieza hacia los diferentes equipos consiste en un sistema de cañerías y válvulas, además de todos los accesorios necesarios como codos y conexiones, que garantizan la repartición, retorno o descarte de los fluidos. Las cañerías de los tanques CIP a la succión de la bomba son de 1 pulg; las ramificaciones hacia los equipos, retorno a los tanques y eliminación al desagüe son de 1/2 pulg de diámetro nominal. Esto se determina en función de los caudales y velocidad del fluido.

Como se especificó en el capítulo 8, la bomba empleada es la B – 009. El objetivo de esta es transportar los fluidos empleados en la limpieza CIP a cada una de las boquillas de aspersión de los reactores y a los intercambiadores, cuando corresponda. El cálculo de esta se realiza siguiendo el procedimiento establecido en el apartado 8.16. En la Tabla 9.4 se muestran los resultados del cálculo de la bomba B – 009, tanto para la succión como para la descarga, y las características generales de la bomba adoptada.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.4 - Cálculo y adopción de la bomba B - 009.

Cálculo		
Variable	Succión	Descarga
Caudal volumétrico	1,44 m ³ /h	
Diámetro exterior	1 pulg	1/2 pulg
Velocidad del fluido	0,72 m/s	2,04 m/s
Número de Reynolds	1,91.10 ⁴	3,22.10 ⁴
Factor de fricción (f)	0,030	0,028
Longitud equivalente	11,20 m	42,20 m
Pérdida por fricción (hf)	0,33 m	15,85 m
Presión de trabajo	1 atm	1 atm
Altura	0 m	1,43 m
Altura teórica total	18,51 m	
Potencia calculada	0,25 HP	
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos	
Tipo	Centrífuga multietapa de instalación vertical con aspiración y descarga al mismo nivel.	
Modelo	CRE 3 – 2	
Caudal volumétrico máx.	4,5 m ³ /h	
Altura de carga máx.	20 m	
Presión de trabajo máx.	25 bar	
Potencia del motor	0,37 kW	
Peso	16,4 kg	

9.3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Al agua necesaria para las distintas etapas de enfriamiento se le debe bajar la temperatura para poder utilizarla nuevamente en un circuito cerrado, por lo que se adoptan las torres de enfriamiento. En estos equipos el agua caliente se pulveriza en forma de lluvia sobre un entramado o relleno (conjunto de finas láminas de PVC) donde se refrigera por medio de una corriente de aire que fluye en sentido contrario, cayendo el agua fría un depósito que la recoge para ser devuelta al proceso.

Las torres de enfriamiento se dimensionan en base a la cantidad de agua necesaria en el proceso, teniéndose en cuenta para esto el consumo máximo del ciclo de producción, que ocurre cuando la parte batch y continua del proceso funcionan de manera simultánea. En la

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.5 se muestran los caudales de los diferentes equipos que requieren enfriamiento, y en la Imagen 9.4 el diagrama de distribución del agua de enfriamiento.

Tabla 9.5 - Requerimientos de agua de enfriamiento del proceso.

Equipo	Temp. entrada	Temp. salida	Caudal
R – A01	20°C	32°C	296,48 kg/h
R – C02	20°C	32°C	99,57 kg/h
TP – B01	20°C	32°C	879,14 kg/h
I – D05	20°C	32°C	382,42 kg/h
Total			1657,61 kg/h

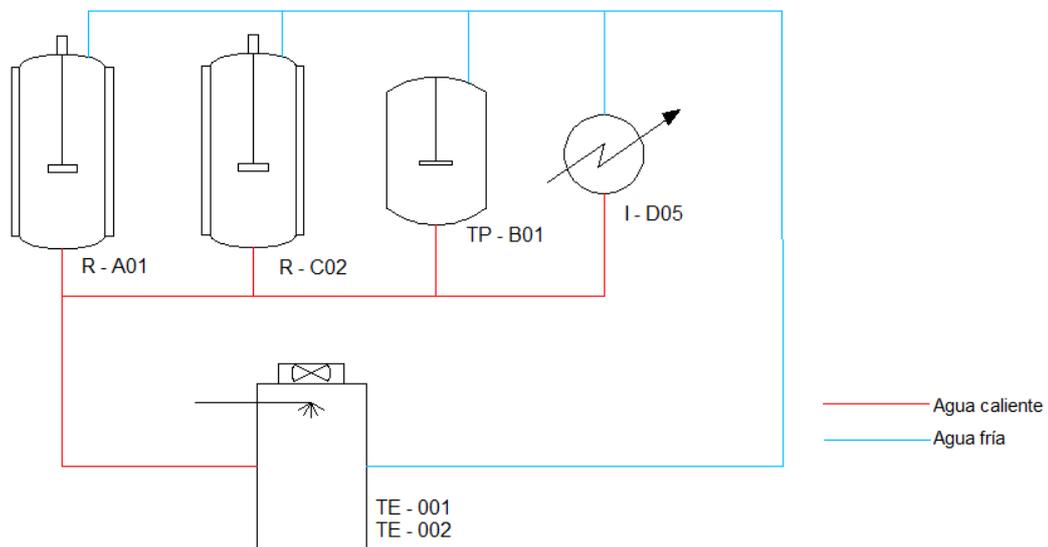


Imagen 9.4 - Diagrama de distribución del agua de enfriamiento. Elaboración propia.

9.3.1. Torre de enfriamiento adoptada

Se adoptan las torres de enfriamiento SINAX serie EWK que cuentan con una variedad de modelos que trabajan con un rango de caudal que va desde 2 m³/h hasta 540 m³/h por torre. Se resuelve optar por dos torres de caudal de 2m³/h para absorber las variaciones climáticas en las diferentes estaciones del año, permitiendo un control de la temperatura y del caudal más preciso según la humedad presente en el aire.

Las torres SINAX son equipos compactos y autoportantes que están basadas en el principio de intercambio a contracorriente con ventilador axial de tiro inducido, ubicado en la parte superior, que les confiere un óptimo rendimiento en un mínimo de espacio ocupado. Cuenta con las siguientes características generales:

- Cuerpo y estructura construidas totalmente en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV).
- Rellenos laminares construidos en polipropileno o PVC.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Separadores de gotas contruidos en PVC.
- Tornillería de sujeción en acero inoxidable, AISI 304.
- Caudal por torre desde 2 a 350 m³/h.
- Capacidad térmica disipación desde 8 a 400TR (30.000 hasta 1.500.000 kcal/hora).

En la Tabla 9.6 se detallan los parámetros de la torre de enfriamiento adoptada, y en la Imagen 9.5 una ilustración de la misma.

Tabla 9.6 - Parámetros de la torre de enfriamiento adoptada.

Torre de enfriamiento TE – 001 y TE – 002	
Proveedor	SINAX
Modelo	EWK 036
Material de construcción	PRFV
Caudal	2 m ³ /h
Capacidad térmica	30000 kcal/h
Potencia	0,5 HP
Peso neto	48 kg
Altura total	1,73 m
Altura a la conexión de entrada	1,36 m
Ancho/largo	0,53 m
Diámetro conexión de entrada	1 pulg
Diámetro conexión de salida	2 ½ pulg



Imagen 9.5 - Torre de enfriamiento adoptada. Fuente: SINAX.

9.3.2. Sistema de bombeo

La red de distribución del agua de enfriamiento de la planta consiste en un sistema de cañerías y válvulas, además de todos los accesorios necesarios como codos y conexiones, que

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

garantizan la repartición del agua fría y el retorno del agua caliente a las torres de enfriamiento, por tratarse de un sistema cerrado. Las cañerías principales son de 3/4 pulg y las ramificaciones hacia los equipos son de 1/2, 1/4 y 1/8 pulg de diámetro nominal. Esto se determina en función de los distintos caudales requeridos y de la velocidad del fluido.

La bomba encargada de proveer al fluido refrigerante la energía necesaria para su transporte es la B – 013. En la Tabla 9.7 se muestran los resultados del cálculo de la bomba B – 013, tanto para la succión como para la descarga, y las características generales de la bomba adoptada.

Tabla 9.7 - Cálculo y adopción de la bomba B - 013.

Cálculo		
Variable	Succión	Descarga
Caudal volumétrico	1,658 m ³ /h	
Diámetro exterior	1 pulg	3/4 pulg
Velocidad del fluido	0,83 m/s	1,34 m/s
Número de Reynolds	2,20.10 ⁴	2,80.10 ⁴
Factor de fricción (f)	0,029	0,027
Longitud equivalente	1 m	76,2 m
Pérdida por fricción (hf)	0,04 m	8,98 m
Presión de trabajo	1 atm	1 atm
Altura	0 m	1,2 m
Altura teórica total	35,08 m	
Potencia calculada	0,49 HP	
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos	
Tipo	Centrífuga multietapa de instalación vertical con aspiración y descarga al mismo nivel.	
Modelo	CR 1 – 7	
Caudal volumétrico máx.	2,4 m ³ /h	
Altura de carga máx.	43,7 m	
Presión de trabajo máx.	16 bar	
Potencia del motor	0,37 kW	
Peso	20,2 kg	

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.4. SISTEMA DE VAPOR

En el proceso existen distintas etapas que requieren de la entrega de calor para alcanzar las condiciones deseadas. Para suplir estas necesidades se emplea vapor de agua saturado a 5,36 atmósferas de presión, cuya temperatura de saturación es 155°C y su calor de vaporización de 501,43 kcal/kg. Conociendo estos valores y los calores a entregar se calcula la cantidad de vapor necesario para cada equipo.

El vapor de agua requerido se suministra al proceso mediante una caldera. Estas son aparatos en los que se hace hervir agua para producir vapor y donde el calor necesario para vaporizarla puede ser suministrado por un hogar, por gases calientes recuperados a la salida de otro equipo industrial (horno, por ejemplo) o por una corriente eléctrica. Durante su funcionamiento, la caldera propiamente dicha está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada.

La caldera se calcula en base a la cantidad de vapor de agua necesario para el proceso, teniendo en cuenta para ello el consumo máximo del ciclo de producción, que ocurre cuando la parte batch y continua del proceso funcionan en simultáneo. En la Tabla 9.8 se muestran los requerimientos de los diferentes equipos que emplean vapor, y en la Imagen 9.6 el diagrama de distribución de este servicio.

Tabla 9.8 - Requerimientos de vapor del proceso.

Equipo	Caudal
M – A01	11,64 kg/h
I – A01	0,24 kg/h
R – A01	67,38 kg/h
I – B03	1,14 kg/h
I – C03	1,37 kg/h
I – C04	0,63 kg/h
I – D06	9,92 kg/h
Total	92,35 kg/h

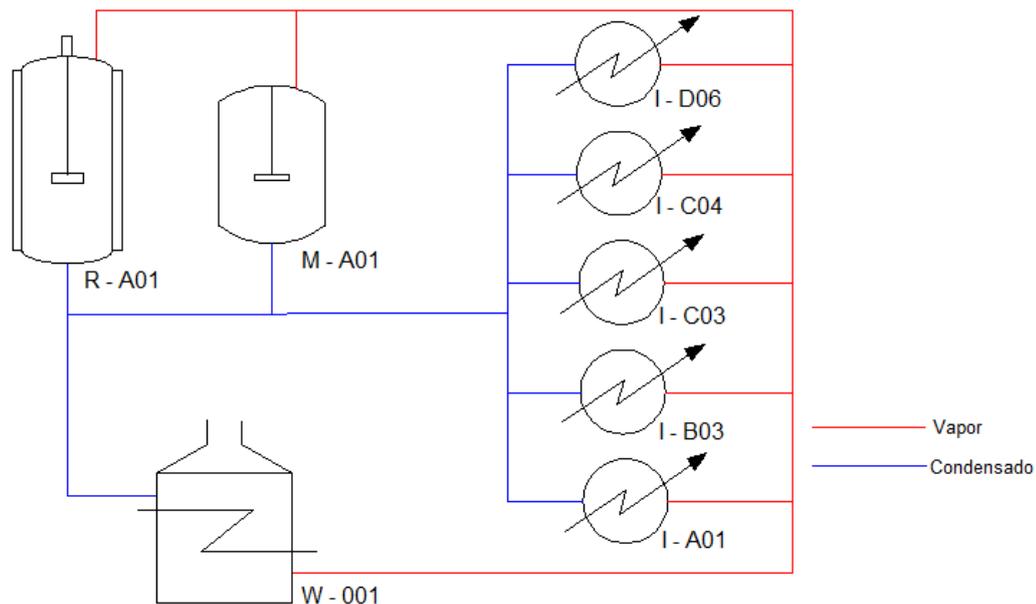


Imagen 9.6 - Diagrama de distribución de vapor. Elaboración propia.

9.4.1. Pérdida de calor en la red

El vapor representa un recurso importante debido a su valor energético, económico y operacional. Para generarlo se consumen altas cantidades de combustible, incurriéndose además en costos asociados al ablandamiento de agua de calderas y mantenimiento en general. Debido al elevado costo que puede representar el consumo de recursos energéticos, es indispensable implementar políticas de gestión energética para reducir dichos consumos. A lo largo de toda la superficie externa de una tubería que transporta vapor existe una pérdida de calor hacia el ambiente por convección y radiación, provocando que parte de este se condense, reduciendo su presión y temperatura, lo cual ocasiona una disminución de la calidad del vapor. Por ello es que a las tuberías de distribución se le coloca un aislante térmico, minimizando el desperdicio de energía. En tuberías en las que pasa vapor a presiones iguales o menores a 10 atm se ha determinado empíricamente que:

- Para tuberías menores a 2 pulg de diámetro se tendrá 1 pulg de espesor de aislante.
- Para tuberías mayores a 2 pulg de diámetro se tendrá 2 pulg de espesor de aislante.

9.4.2. Retorno de condensados

El condensado contiene alrededor de una cuarta parte de la energía del vapor del que procede, es por ello que si permitimos que el condensado se tire al desagüe se malgasta valiosa energía y agua. Sin dudas la mayoría de las plantas con sistema de vapor reconocen que el condensado es un recurso valioso. El retorno de condensado al tanque de alimentación de la caldera es la manera más efectiva de mejorar la eficiencia de la planta de vapor. Además, hay que drenar el condensado de las tuberías y equipos para evitar el riesgo de golpes de ariete.

Las tuberías de retorno son aquéllas que reciben el condensado de los equipos de transferencia de energía y de varias tuberías de descarga de trampas de vapor, y lo llevan de regreso al tanque de condensado para aprovechar tanto su temperatura como el tratamiento que ya le fue dado. En plantas pequeñas puede haber una sola línea de retorno de condensado.

Otro punto por considerar es que la línea de retorno de condensado este por debajo del nivel del equipo de transferencia de calor de manera que la descarga de condensado de la trampa de vapor pueda fluir por gravedad a la línea de retorno de condensado, además la cañería debe tener una ligera pendiente para favorecer el flujo por gravedad.

9.4.3. Trampas de vapor

Tan pronto como el vapor deja la caldera empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie de menor temperatura. Al hacer esto, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura. La combinación de agua y vapor hace que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor. De aquí deriva la importancia de las trampas de vapor, que son un tipo de válvula automática que separa el condensado y gases no condensables como lo es el aire, sin dejar escapar al vapor.

Como ocurre normalmente, parte del vapor transportado en una línea de distribución se condensa y se acumula en el fondo de la tubería. Cuando el área transversal de una sección de tubería está completamente llena, se generan olas de condensado a gran velocidad, debido a que esta agua no se puede comprimir como el vapor, produciendo el golpe de ariete. Este puede causar daño tanto al equipo, tubería, válvulas, como, además, incurrir en un riesgo para los trabajadores. Por lo tanto, se debe tener en cuenta la ubicación y diseño de las instalaciones de trampeo.

Se colocan trampas de vapor en los siguientes casos:

1. Cada 30-50 metros de cañería recta.
2. Antes de una válvula de control o reductora de presión
3. Antes de válvulas manuales que permanecen cerradas por largos periodos de tiempo.
4. En la parte inferior de subidas o bajadas verticales.

9.4.4. Caldera adoptada

Según los datos de cantidad de vapor que se presentaron en la Tabla 9.8 se adopta una caldera marca CERTUSS serie JUNIOR 80 – 400 TC. Estas pequeñas calderas son generadores de vapor acuotubulares de tres pasos de humos, con sistema de precalentamiento de aire de combustión incorporado. Están diseñadas para trabajar con combustibles líquidos o gaseosos, completamente equipadas, listas para funcionar, con

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

generadores de vapor rápidos controlados electrónicamente con todos los dispositivos de seguridad para quemadores, presión y temperatura.

En la Tabla 9.9 se detallan los parámetros de la caldera adoptada, y en la Imagen 9.7 se ilustra la misma con las indicaciones de sus dimensiones.

Tabla 9.9 - Parámetros de la caldera adoptada.

Caldera W - 001	
Proveedor	CERTUSS
Modelo	JUNIOR 80 – 400 TC / TAMAÑO 1
Tipo	Acuotubular – Vertical – Tres pasos de humos
Caudal	80 – 120 kg/h
Capacidad de calentamiento	53 – 79 kW
Área de transferencia de calor	2 m ²
Tipo de combustible	Gas natural
Consumo de gas natural	5,8 – 8,7 Nm ³ /h
Presión máxima de diseño	31,6 atm
Temperatura máxima de diseño	239°C
Peso	320 kg
Altura (A)	1,50 m
Ancho (B)	0,70 m
Largo (C)	1,21 m
Diámetro caldera (D)	0,50 m
DN conexión gas natural	3/4 pulg
DN conexión alimentación de agua	1 ¼ pulg
DN conexión vapor	1/2 pulg

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 9.7 - Caldera adoptada. Fuente: CERTUSS.

9.5. AGUA DE POZO

El Parque Industrial Campana contempla el recurso hídrico subterráneo, es decir que el abastecimiento de agua se hace por medio de una perforación en cada parcela, con un caudal medio de explotación de 10 m³/hora.

Por lo tanto, para suplir los requerimientos se emplea agua de pozo, disponiendo de un sistema de equipos de bombeo e impulsión y de una red de distribución interna. El agua es tratada y utilizada para el proceso, para reposición de los circuitos cerrados y para el sistema CIP. En la Tabla 9.10 se detalla la cantidad necesaria para una semana de producción.

Tabla 9.10 - Requerimientos de agua de pozo del proceso.

Etapa	Consumo semanal
Agua de proceso	4233 kg
Reposición torres de enfriamiento	49,72 kg
Reposición caldera	9,24 kg
Sistema CIP	4440 kg
Total	8731,96 kg

Respecto a los circuitos cerrados, para la reposición de la caldera se considera una pérdida del 10% del vapor utilizado y 3% de agua en el sistema refrigeración, estas se reponen en el tanque de condensado y del agua de enfriamiento, respectivamente. Para el sistema CIP se abarca el agua de enjuague necesaria para llevar a cabo el programa de limpieza. Por último, el agua de proceso es la necesaria para la dilución en el tanque TW – B01 y para el lavado

del sólido en el filtro F – D01, más un 25% de exceso para contemplar posibles eventualidades. En la Imagen 9.8 se ilustra el diagrama de distribución.

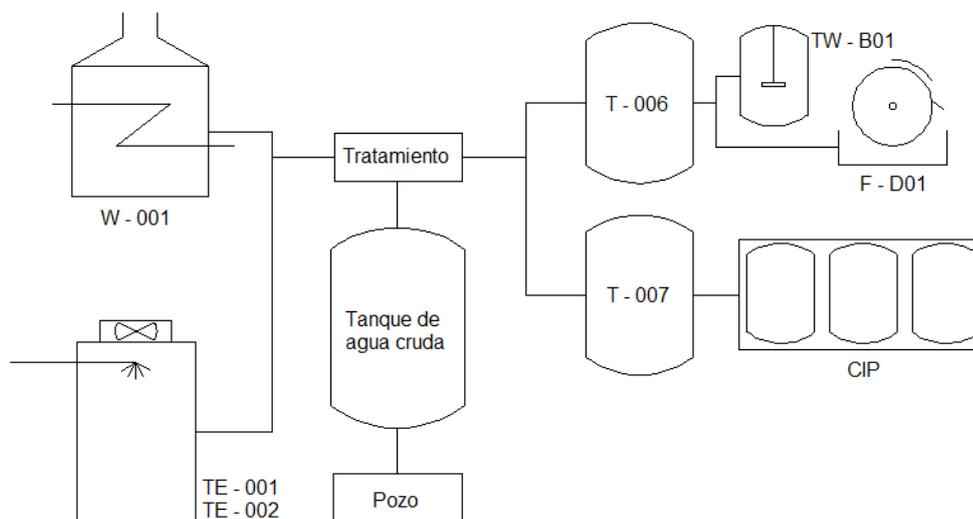


Imagen 9.8 - Diagrama de distribución del agua de pozo. Elaboración propia.

9.5.1. Tanques de agua adoptados

En base al consumo de agua total se resuelve colocar un tanque de almacenamiento para el agua cruda, es decir, para el agua sin tratar. Para dimensionarlo se considera que debe tener un volumen capaz de almacenar el agua necesaria para una semana, es decir 8731,96 litros. Luego del tratamiento correspondiente, el agua para los equipos del proceso y para el sistema CIP es almacenada en dos tanques pulmón identificados como T – 006 y T – 007. Estos también se dimensionan para cubrir las necesidades de una semana de producción, es decir que deben almacenar 4233 y 4440 litros, respectivamente.

Se adoptan tanques verticales construidos en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) aptos para depósito de agua marca Plásticos Laspiur. El material es resistente a la corrosión, a la intemperie y a la caída de granizo. Además, poseen boca de ingreso superior con tapa hermética de 50 centímetros de diámetro, escalera de acceso a la tapa, visor de llenado y respiradero. En la Tabla 9.11 se indican las dimensiones de los tanques adoptados y se muestran en la Imagen 9.9.

Tabla 9.11 - Dimensiones de los tanques de agua adoptados.

Tanque	Volumen	Diámetro	Altura
Agua cruda	10 m ³	2,5 m	2,2 m
T – 006	5 m ³	2,5 m	1,2 m
T – 007	5 m ³	2,5 m	1,2 m



Imagen 9.9 - Modelo de los tanques de agua adoptados. Fuente: Plásticos Laspiur.

9.5.2. Tratamiento del agua cruda

El agua cruda obtenida de la perforación, antes de ser utilizada, debe ser tratada para asegurar la calidad del producto y la vida útil de las instalaciones de la planta. Para tal fin se decide instalar un equipo de osmosis inversa, el cual es ideal para purificar agua de perforación o de red y para obtener aguas desmineralizadas, especialmente en la industria farmacéutica, debido a que es una eficiente barrera de iones, microorganismos y moléculas.

El fenómeno de osmosis inversa consiste en separar componentes de una solución mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semipermeable. Una ventaja de este sistema es que elimina por completo todo tipo de contaminantes como arsénico, nitritos, nitratos, dureza y sales que pueda poseer el agua a tratar lográndose una conductividad de salida muy baja. Los equipos de osmosis inversa se utilizan en muchas aplicaciones y dependiendo de cuál sea ésta dependerá su tamaño y su arquitectura de bombas de presión, membranas, etc.

El equipo adoptado es de la marca OsmoVic, que están fabricados de forma que cuentan con un sistema de automatización, con PLC marca Siemens, lo que genera que no haya necesidad de intervención humana, y bombas de alta presión marca Grundfos en acero inoxidable. Además, poseen electroválvulas, llaves de agua, manómetros de presión y toda su estructura hecha en acero inoxidable. Otro punto importante es que realiza la medición constante de la calidad del agua a través de un conductímetro que compara los parámetros de entrada con los de salida. En la Tabla 9.12 se detallan los parámetros del equipo adoptado y se muestra en la Imagen 9.10.

Además, es posible incorporar filtros de pretratamiento, permitiendo que a partir de agua de cualquier origen y nivel de contaminación se logre obtener agua extremadamente limpia y

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

pura. Estos pueden ser del tipo anti-incrustante (ablandador para calderas), filtrado de suciedad y carbón activado (sustancias orgánicas).

Tabla 9.12 - Parámetros del equipo de ósmosis inversa adoptado.

Equipo de ósmosis inversa OI – 001	
Proveedor	OsmoVic
Modelo	OI - 501
Tipo	Ósmosis inversa
Membrana	Hydranautic origen USA de 99,9% de rechazo salino
Material de construcción	Acero inoxidable
Caudal	1200 l/h
Altura	1,50 m
Ancho	0,50 m
Largo	0,80 m



Imagen 9.10 - Equipo de ósmosis inversa adoptado. Fuente: OsmoVic.

9.5.3. Sistema de bombeo

Como se especificó en el capítulo 8, las bombas para el abastecimiento de agua de la planta son la B – 006 y la B – 010. La primera transporta el fluido del tanque T – 007 al T – 009, correspondiente al sistema CIP, mediante una cañería de 1". La segunda traslada el agua ya tratada, mediante el equipo de ósmosis inversa, a los tanques T – 006 y T – 007 a través de cañerías de 1/2". En la Tabla 9.13 y 9.14 se muestran, respectivamente, los resultados del cálculo de las bombas, tanto para la succión como para la descarga, y las características generales de las bombas adoptadas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.13 - Cálculo y adopción de la bomba B - 006.

Cálculo		
Variable	Succión	Descarga
Caudal volumétrico	4,32 m ³ /h	
Diámetro exterior	1 ½ pulg	1 pulg
Velocidad del fluido	1,01 m/s	2,15 m/s
Número de Reynolds	3,93.10 ⁴	5,73.10 ⁴
Factor de fricción (f)	0,022	0,023
Longitud equivalente	1,05 m	12,18 m
Pérdida por fricción (hf)	0,03 m	2,54 m
Presión de trabajo	1 atm	1 atm
Altura	0 m	1,43 m
Altura teórica total	5,21 m	
Potencia calculada	0,26 HP	
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos	
Tipo	Centrífuga multietapa de instalación vertical con aspiración y descarga al mismo nivel.	
Modelo	CRN 3 – 2	
Caudal volumétrico máx.	4,6 m ³ /h	
Altura de carga máx.	13,5 m	
Presión de trabajo máx.	25 bar	
Potencia del motor	0,37 kW	
Peso	16,4 kg	

Tabla 9.14 - Cálculo y adopción de la bomba B - 010.

Cálculo		
Variable	Succión	Descarga
Caudal volumétrico	1,20 m ³ /h	
Diámetro exterior	1 pulg	1/2 pulg
Velocidad del fluido	0,60 m/s	1,70 m/s
Número de Reynolds	1,59.10 ⁴	2,69.10 ⁴
Factor de fricción (f)	0,031	0,029

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Longitud equivalente	1 m	39,3 m
Pérdida por fricción (hf)	0,02 m	10,26 m
Presión de trabajo	1 atm	1 atm
Altura	0 m	1,2 m
Altura teórica total	11,60 m	
Potencia calculada	0,16 HP	
Bomba adoptada		
Proveedor	Grundfos	
Tipo	Centrífuga multietapa de instalación vertical con aspiración y descarga al mismo nivel.	
Modelo	CRE 2 – 3	
Caudal volumétrico máx.	5,3 m ³ /h	
Altura de carga máx.	18,9 m	
Presión de trabajo máx.	16 bar	
Potencia del motor	0,37 kW	
Peso	21 kg	

9.6. GAS NATURAL

El parque industrial de Campana cuenta con una red de gas natural con presión de 15 kg/cm², que recorre la totalidad de las calles internas del mismo con conexiones de distintos diámetros (8", 6" y 4"). El prestador del servicio es Gas Natural Ban S.A.

En la planta el gas natural se utiliza principalmente en la caldera, siendo este su mayor requerimiento, y en menor medida en algunas dependencias como el laboratorio. Su consumo total se calcula en 9 m³/h.

La cañería principal de distribución de gas natural a toda la planta es de acero galvanizado, con un diámetro de 4 pulgadas, la misma alimenta a la caldera, mientras que las de distribución a otras instalaciones son de 1/2 pulgadas de polietileno.

9.7. ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Las características que debe cumplir el aire dentro de los recintos de la planta para poder estar en contacto con el producto sin riesgo de posibles contaminaciones, está determinado por la implementación de las denominadas Salas Limpias. La definición, la norma de referencia y la selección de estas se describen en el capítulo 10 de Control de Calidad, apartado 10.5.

Una vez que se sabe las características del aire que habrá, se debe decidir el tipo de sistema de ventilación y filtración a instalar. Este constará de: ventiladores, tratamiento del aire y una

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

red de conductos de impulsión y extracción, la cual se realiza mediante canales rectangulares de chapa galvanizada.

En cuanto a la ventilación, la clasificación de limpieza del espacio es la variable principal para determinar el flujo de aire de suministro. Como se muestra en la Tabla 9.15, cada clase de sala tiene una tasa de cambio de aire recomendada por la ISO 14644. La tasa de cambio seleccionada para la sala debe tener en cuenta la actividad prevista dentro de la misma, es decir, si tiene un porcentaje de ocupación bajo o alto, una presurización positiva o neutral en relación con los espacios adyacentes más sucios y el nivel de tráfico de entrada - salida frecuente.

Tabla 9.15 - Tasa de cambio de aire según la clase de Sala Limpia. Fuente: ISO 14644.

Clase ISO	Cambios de aire por hora
ISO 5	240 – 360
ISO 6	90 – 180
ISO 7	30 – 60
ISO 8	10 – 25
ISO 9	2 – 4

Otras variables que afectan el suministro de aire son los flujos de este que se escapan, es decir que se infiltran y exfiltran. Como la mayoría de las salas limpias se encuentran bajo presión positiva, se produce una filtración de aire planificada a espacios contiguos que tienen una presión estática más baja y una no planificada a través de enchufes eléctricos, accesorios de iluminación, marcos de puertas y ventanas, entre otros. Es importante comprender que las habitaciones no están herméticamente selladas y poseen fugas. Una sala limpia correctamente sellada tendrá una tasa de fuga de 1% a 2% en volumen.

En la Tabla 9.16 se especifica el balance de aire realizado, el cual consiste en igualar todo el flujo de aire que ingresa al espacio (suministro e infiltración) a todo el flujo de aire que abandona el mismo (exfiltración y extracción). Este se realiza teniendo en cuenta el rango de la tasa de recambio de aire para la clase ISO 7, una infiltración del 0%, debido a que la sala de encuentra con diferencia de presión positiva, y una exfiltración del 2%, considerando que la construcción asegura un buen sellado.

Tabla 9.16 - Balance de aire espacial para Sala Limpia clase ISO 7.

Zona de la Sala Limpia	Elaboración	Secador S – D02	Filtro sanitario
Área	99 m ²	24 m ²	4,5 m ²
Altura	4 m	4 m	3 m
Volumen	396 m ³	96 m ³	13,5 m ³

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Recambio de aire por hora	40	40	30
Caudal necesario	15840 m ³ /h	3840 m ³ /h	405 m ³ /h
Exfiltración	316,8 m ³ /h	76,8 m ³ /h	8,1 m ³ /h
Infiltración	0 m ³ /h	0 m ³ /h	0 m ³ /h
Caudal suministrado	16156,8 m ³ /h	3916,8 m ³ /h	413,1 m ³ /h
Caudal extraído	15840 m ³ /h	3840 m ³ /h	405 m ³ /h

En cuanto al sistema de filtración, no todas las soluciones de filtrado son adaptables a este tipo de instalaciones debido a los delicados procesos que tienen lugar en ellas, cuya calidad del aire es fundamental. Para esto son necesarios filtros de muy alta eficiencia denominados absolutos, los cuales están regulados por la norma EN 1822 y se los conoce como filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air filter) y ULPA (Ultra Low Penetration Air filter). En la Tabla 9.17 se especifica la selección de los filtros de aire que se necesitan en función de las partículas a filtrar según la clase ISO 7.

Tabla 9.17 - Selección de los filtros. Fuente: Infiltró.

Tipo de filtro	Tipo de filtración	Clase según norma EN 1822	Aplicación
1. Prefiltro	Partículas superiores a 10 μm (insectos, fibras textiles, polvos de escape, arena, polen, polvo de cemento)	G3 / G4	Prefiltros para filtros clase F6 a F9.
2. De alta eficiencia	Partículas de 1 a 10 μm (polvo, esporas)	F6	Prefiltros para filtros clase H10 a H11.
3. Filtros absolutos HEPA / ULPA	Partículas menores a 1 μm (virus, bacterias, gérmenes, humo de tabaco y humos ferrosos)	H10 / H11	Filtros finales para salas limpiar clase 7

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

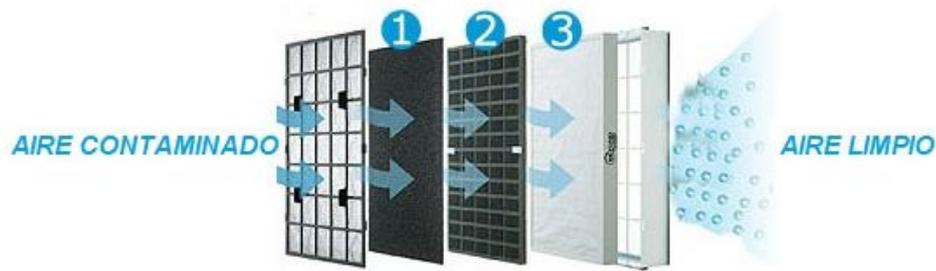


Imagen 9.11 - Sistema de filtración.

9.8. SERVICIO DE ELECTRICIDAD

La alimentación de energía eléctrica al parque industrial proviene de la subestación transformadora Campana 1, que cuenta con dos transformadores de 30 MVA de 33/13.2 KV. El transporte hasta la subestación se realiza a través de un alimentador sobre estructura de hormigón armado con disposición coplanar preparado para doble terna. El mismo también cuenta con líneas de suministro de media y baja tensión, además de una red interna de distribución e instalaciones de iluminación en las calles externas.

La planta cuenta con la instalación de iluminación correspondiente a cada a sector y la conexión trifásica requerida para aquellos equipos que estén provistos de motores. De tal manera que para el sistema de iluminación e instalaciones de la planta se utiliza corriente alterna de 220 V y en lo que respecta a los equipos del proceso se emplea corriente alterna trifásica de 380 V.

9.8.1. Elementos de la instalación eléctrica

Toda instalación eléctrica debe apearse a la normativa dictada por sus respectivos órganos reguladores, cuyo objetivo es definir normas que garanticen la integridad de las personas y la preservación del medio ambiente, evitando o minimizando los riesgos de origen eléctrico. Un posible fallo en un sistema industrial que funciona con energía eléctrica suele traducirse en grandes pérdidas económicas, por lo que es imperativo realizar mantenimientos preventivos de manera periódica, llevado a cabo por personas calificadas.

Las instalaciones eléctricas industriales, debido a su envergadura y a los numerosos componentes que las conforman, necesitan tener garantías de seguridad y características técnicas específicas. Deben contar con los sistemas adecuados para hacer frente a los efectos que puedan surgir debido a corrientes de cortocircuito y de sobrecarga, y las averías que éstas puedan provocar.

Para el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica son necesarios una serie de elementos que se detallan a continuación:

Tableros:

Los tableros eléctricos tienen diversas funciones, entre las que se encuentran las de medición, control, maniobra y protección. Constituyen un elemento vital de las instalaciones eléctricas,

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ya que se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación. Pueden tener diversos tamaños y formas según el tipo de función que les toque desempeñar. La altura a la cual están ubicados debe permitir las operaciones de una persona. Un tablero eléctrico está compuesto por el gabinete o caja, nombres que se utilizan para mencionar a la parte exterior que se encarga de proteger a todos los componentes del circuito de control, y los componentes que van dentro de este gabinete, que pueden ser: los aparatos de maniobra (llaves, interruptores), los aparatos de protección (fusibles e interruptores automáticos) y los aparatos de medición (medidores de energía eléctrica, amperímetros, voltímetros, transformadores de intensidad).

Se destacan como principales constituyentes de los tableros eléctricos el medidor de consumo, que no puede ser alterado, y el interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.

Los tableros tienen la facultad distribuir corrientes a todos los sectores de la empresa, y se clasifican desde el punto de vista de su operación en:

- Tablero principal: es el que opera toda la instalación. Recibe la energía eléctrica directamente desde la línea principal de alimentación, y cuenta con un interruptor maestro o principal capaz de cortar todo suministro de energía.
- Tablero seccional: es una derivación del tablero principal que se encarga de controlar pequeñas partes del sistema, opera circuitos. Se colocan en los sitios necesarios para poder accionar los comandos para la parada, arranque y manejo de los diferentes equipos en los que sea necesario.

Conductores eléctricos:

En las instalaciones eléctricas los elementos que proveen las trayectorias de circulación de la corriente eléctrica son los conductores. Están constituidos de un alambre central de material conductor, que normalmente es cobre, cuya sección está determinada por la corriente a conducir y limitada por el calentamiento y la caída de tensión que provoca. Externamente poseen una cubierta de aislante térmica y eléctrica, de un material plástico, principalmente de policloruro de vinilo (PVC). Este tipo de material tiene la desventaja de endurecerse y volverse frágil a bajas temperaturas y ablandarse a altas, pero tiene la ventaja de retomar sus propiedades físicas a temperaturas normales.

Tomacorrientes:

Un tomacorriente es un elemento de la instalación que dispone de ranuras, y cuya función es establecer una conexión eléctrica segura con un enchufe macho, que se encuentran en el extremo del cable. Generalmente se sitúa en la pared, de forma superficial o empotrado en la misma, o también se los suele encontrar adaptados dentro de los tableros eléctricos, esto se

da en el caso de ser sistemas trifásicos. Consta de dos o tres piezas metálicas que reciben a sus complementarias macho y permiten la circulación de la corriente eléctrica.

Elementos de protección:

Debido a la presencia de maquinaria, motores y a la cantidad de cables de corriente en las instalaciones industriales, las medidas de seguridad deben ser estrictas a la hora de aplicar la normativa vigente. En cuanto a los motores y maquinaria, cada uno de ellos deberá guardar las distancias de seguridad mínima para evitar que se produzcan accidentes al entrar en funcionamiento. Además, los materiales inflamables deberán situarse lejos. Los cables conductores utilizados deberán respetar los estándares de calibre o sección, capacidad de carga, recubierta aislante y las especificidades de su lugar de acción.

En los circuitos eléctricos pueden ocasionarse fallas que provoquen daños letales a las personas. Por lo tanto, el circuito debe estar conectado a tierra, así si ocurriera que el circuito se abriera por algún motivo, esto permitiría que la corriente sea derivada al suelo protegiendo a las personas que estén en contacto con las instalaciones. En una instalación industrial las carcasas de los equipos eléctricos, los accionamientos de los aparatos, los armazones de estructura y las partes metálicas de los cables deben estar conectados a tierra.

Uno de los elementos de mayor uso como protección de sobrecorriente, falla a tierra y cortocircuito son los interruptores automáticos, por lo que se deben utilizar productos certificados, siendo su selección e instalación las principales características a considerar.

9.8.2. Sistema de iluminación

La iluminación de espacios tiene mucha relación con las instalaciones eléctricas, ya que las fuentes de luminiscencia están sometidas al paso de la corriente eléctrica. El objetivo del servicio de iluminación en la industria es ofrecer una visibilidad eficiente y cómoda, permitiendo realizar el trabajo en forma apropiada y crear un ambiente seguro. Una adecuada iluminación presenta ventajas como: proteger la capacidad visual, evitar la fatiga ocular, disminuir los accidentes y errores, facilitar la limpieza y el mantenimiento de las distintas zonas. Por lo tanto, la iluminación de calidad es un factor de rendimiento y productividad en el espacio de trabajo.

Para determinar el cálculo de iluminación se debe tener en cuenta algunos factores como:

- El uso de la zona que amerita la iluminación.
- El tipo de tarea que se va realizar.
- Las dimensiones del espacio.
- El alumbrado de los espacios como del techo y paredes y otras condiciones como la luz natural.

Para determinar el nivel de iluminación necesario para cada sector, se debe tener en cuenta las dimensiones del mismo y el flujo luminoso necesario de acuerdo al trabajo que se realiza

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2), el cual surge del cociente entre el flujo luminoso (lumen) y el área de la superficie iluminada (m^2).

Los niveles mínimos de intensidad media de iluminación para diversas clases de tarea visual están dados por la ley 19.587 “Higiene y Seguridad en el trabajo” decreto 4160, los cuales se detallan en la Tabla 9.18.

Tabla 9.18 - Niveles de iluminación para diversas clases de tarea visual.
Fuente: Ley 19.587 “Higiene y Seguridad en el trabajo”

Clase de tarea visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)	Ejemplos de tareas visuales
Visión ocasional solamente.	100	Para permitir movimientos seguros por ejemplo en lugares de poco tránsito: Sala de calderas, depósito de materiales voluminosos y otros.
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes.	100 a 300	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.
Tarea moderadamente crítica y prolongadas, con detalles medianos.	300 a 750	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje; trabajos comunes de oficina, tales 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, costura de ropa oscura.
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 con calibrador, trabajo de molienda fina.
	3000	Trabajo fino de relojería y reparación.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tareas excepcionales, difíciles o importantes.	5000 a 10000	Casos especiales como, por ejemplo: iluminación del campo operatorio en una sala de cirugía.
--	--------------	--

Las características de las lámparas a utilizar, todas marca Philips, se detallan en la Tabla 9.19. La selección del tipo de lámpara a utilizar en cada sector es: para zonas cubiertas como baños, vestuarios, comedor, oficinas, pasillos y zonas de servicios auxiliares se emplean tubos LED modelo MasterConect; para zonas cubiertas de producción, de almacenamiento tanto de materias primas como de productos terminados y laboratorio se colocan tubos LED modelo Essential LED waterproof; y para zonas a la intemperie el modelo UrbanPlus LED.

Tabla 9.19 - Lámparas seleccionadas.

Modelo	Serie	Potencia	Flujo luminoso
Essential LED waterproof	WTO63C LED43S/NW PSU	38 W	3420 lm
MasterConect LEDtube	1200mm UO 16.5W840 T8	16,5 W	2500 lm
UrbanPlus LED	BRP220 LED110/NW	106 W	12080 lm

Para determinar el número de lámparas necesarias para cada sector de la planta de acuerdo al nivel de iluminación requerido en cada uno, seleccionado según las recomendaciones de la ley 19.587 “Higiene y Seguridad en el trabajo” decreto 4160, se utiliza la Ecuación 9.1.

$$N_{\text{lámparas}}^{\circ} = \frac{E \cdot S}{F_m \cdot F_u \cdot I_L}$$

Ecuación 9.1 - Cálculo del número de lámparas.

Donde:

E: nivel de iluminación requerido en el sector dependiendo del tipo de actividad realizada [lux].

S: superficie del sector [m²].

F_m: factor de mantenimiento [adimensional].

F_u: factor de utilización [adimensional].

I_L: flujo luminoso de la lámpara utilizada [lm].

El factor de mantenimiento, o también denominado de conservación, es un coeficiente adimensional que depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual se recomiendan utilizar los siguientes valores: para alumbrados interiores que presentan una polución del ambiente reducida un factor del 90% para luminaria cerrada y 80% para abierta; y en los alumbrados exteriores un factor de 60% cuando la polución es importante, 70% cuando es moderada y 80% si es reducida.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

El factor de utilización es una medida de la eficiencia de una lámpara en la transferencia de energía lumínica al plano de trabajo en un área determinada, siendo su valor óptimo de 100%. Para su determinación se debe conocer la altura del montaje de la luminaria sobre el plano de trabajo, la reflectancia de las paredes y del techo.

En la Tabla 9.20 se detallan las características de la luminaria en cada sector, el correspondiente número de lámparas necesarias y se especifica el consumo eléctrico respectivo. A partir de los resultados de la misma, se concluye que son necesarias 170 lámparas en total, de las cuales 56 son del modelo MasterConect, 98 pertenecen al modelo Essential LED waterproof y los 16 restantes corresponden al modelo UrbanPlus LED.

Tabla 9.15 - Cálculo de la luminaria necesaria.

Habitación	Cantidad	Iluminación [lux]	Superficie [m ²]	Lámpara [lm]	N° de lámparas	Potencia [W]	Horas de servicio	Consumo diario [kWh]	Consumo anual [kWh]
Vestuarios y sanitarios	2	100	18	2500	1	16,5	24	0,40	99,00
Pasillo vestuarios	1	100	9	2500	1	16,5	24	0,40	99,00
Panel de control	1	500	17,50	2500	4	16,5	24	1,73	433,13
Oficina de planta	1	500	8,75	2500	2	16,5	24	0,87	216,56
Laboratorio	1	600	24	3420	5	38	24	4,80	1200,00
Pasillo principal	1	100	30	2500	2	16,5	24	0,59	148,50
Sala de producción	1	600	336,65	3420	74	38	24	67,33	16832,50
Sala de productos de limpieza	1	100	4	2500	1	16,5	24	0,40	99,00
Sala de tableros	1	300	9	2500	1	16,5	24	0,40	99,00
Sala limpia	1	300	69,75	3420	8	38	24	6,98	1743,45
Filtro sanitario	1	100	4,50	3420	1	38	24	0,91	228,00
Sala de cuarentena	1	300	12	3420	1	38	24	0,91	228,00
Sala de producto terminado	1	300	37,50	3420	4	38	24	3,75	937,50
Sala de rechazo	1	300	9	3420	1	38	24	0,91	228,00
Depósito de materias primas	1	100	10	3420	1	38	24	0,91	228,00

Sala del secador	1	300	24	3420	3	38	24	2,40	600,00
Sala de caldera	1	100	20	2500	1	16,5	24	0,40	99,00
Sala de tratamiento de agua	1	100	20	2500	1	16,5	24	0,40	99,00
Taller de mantenimiento	1	300	96	2500	16	16,5	24	6,52	1629,26
Cabina de ingreso	1	200	24	2500	2	16,5	24	0,95	237,60
Oficinas	1	500	72	2500	18	16,5	12	3,56	891,00
Comedor	1	200	50	2500	5	16,5	24	1,98	495,00
Estacionamiento	1	100	640	12080	8	106	12	9,63	2406,81
Calle interna	1	100	540	12080	6	106	12	8,12	2030,75
Senda de circulación	2	100	59	12080	1	106	12	1,27	318,00
Playa de tanques	1	100	104	12080	1	106	12	1,27	318,00
Cantidad total de lámparas					170	Consumo total		127,78	31944,35

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

9.8.3. Consumo de energía eléctrica

El consumo total de energía eléctrica de la planta está conformado por la utilización de esta para los diferentes equipos del proceso, las bombas y la luminaria necesaria. Este último ya fue calculado y especificado en la Tabla 9.20.

En la Tabla 9.21 se detalla el consumo de energía de cada equipo considerando la cantidad, la potencia y las horas de funcionamiento. También, en la Tabla 9.22 se muestra el consumo de las bombas considerando la potencia y las horas de funcionamiento. Y, por último, en la Tabla 9.23 se muestra el consumo global de energía eléctrica de la planta.

Tabla 9.16 - Consumo de energía de los equipos.

Equipo	Cantidad	Potencia [kW]	Funcionamiento		Consumo [kWh/año]
			[h/semana]	[h/año]	
M - A01	1	0,12	5	250	30
R - A01	2	11,18	50	2500	55900
TW - B01	1	0,12	56	2800	336
TP - B01	1	0,12	56	2800	336
S - B01	1	0,29	56	2800	812
S - D02	1	1,11	56	2800	3108
R - C02	1	0,12	56	2800	336
K - A01	2	1,58	40	2000	6320
C - B01	1	18,64	56	2800	52192
F - D01	1	0,37	56	2800	1036
MT - D01	1	0,21	56	2800	588
Consumo de energía total de los equipos al año					120994

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 9.22 - Consumo de energía de las bombas.

Bomba	Potencia	Funcionamiento		Consumo
	[kW]	[h/semana]	[h/año]	[kWh/año]
B - A01	0,37	5	250	92,50
B - B02	0,18	56	2800	504
B - B03	0,18	56	2800	504
B - B04	0,18	56	2800	504
B - B05	0,18	56	2800	504
B - 006	0,37	1,2	60	22,20
B - A07	0,18	5	250	45
B - B08	0,37	56	2800	1036
B - 009	0,37	9,5	475	175,75
B - 010	0,37	9	450	166,5
B - D11	0,18	56	2800	504
B - D12	0,18	56	2800	504
B - 013	0,37	71	3550	1313,50
Consumo de energía total de las bombas al año				5875,45

Tabla 9.17 - Consumo global de energía de la planta.

Origen del consumo	Consumo anual [kWh/año]
Equipos	120994
Bombas	5875,45
Luminaria	31944,35
Consumo total al año	158813,80

CONTROL DE CALIDAD

CAPÍTULO 10

10. CONTROL DE CALIDAD

10.1. INTRODUCCIÓN

Se entiende por calidad de un producto o servicio a la capacidad de satisfacer las necesidades del cliente, proporcionando confianza y seguridad al consumidor, lo que influye positivamente para el posicionamiento en el mercado. Para asegurar o mejorar la calidad demandada, es necesario aplicar un sistema de control de calidad, el cual consta de herramientas, programas, mecanismos y/o técnicas que se aplican en distintos puntos del proceso. El objetivo de este sistema es recoger y analizar datos de variables en el proceso, materias primas, productos intermedios y terminados, detectando los posibles errores y accionar con la finalidad de eliminarlos.

En el presente capítulo se especifica el sistema de control de calidad, que describe la metodología de organización y documentación necesaria, los procedimientos de muestreo, especificaciones y ensayos para asegurar que solo materiales aptos sean aceptados, producidos y autorizados para la comercialización, entre otras cuestiones primordiales.

Además, se describe un plan de control de calidad a implementar, detallando los controles a realizar sobre la materia prima y el producto elaborado, así como también los parámetros de proceso más relevantes en las distintas etapas de producción a fin de garantizar la calidad y responder a los parámetros exigidos por las especificaciones y normativas vigentes.

Por último, como el nivel de exigencia de las buenas prácticas de manufactura debe incrementarse a medida que el proceso evoluciona hacia las etapas finales de acondicionamiento y envasado, se decide instalar para las mismas una Sala Limpia según la norma ISO 14644-1.

10.2. BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) son procedimientos que poseen por objetivo principal garantizar que los productos sean elaborados en condiciones sanitarias adecuadas y disminuir los riesgos de contaminación inherentes a la producción y distribución. Las mismas son de aplicación obligatoria en Argentina según lo expuesto por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT).

Dado que el producto final se destina como materia prima de laboratorios o industrias farmacéuticas, se deben cumplir las normativas establecidas por la ANMAT en la disposición 3827/2018: Guía de buenas prácticas de fabricación para elaboradores, importadores/exportadores de medicamentos de uso humano, parte B.

La calidad y pureza deseada del producto elaborado puede lograrse por medio de la aplicación de las BPM para la producción de Ingredientes Farmacéuticos Activos (IFA). Para ello se debe

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

confeccionar un sistema de gestión de calidad, el cual incluye todas las operaciones de recepción de materiales, producción, envasado, etiquetado, control de calidad, liberación, almacenamiento y distribución, junto a los controles relacionados. También dentro de las BPM se incluyen distintos aspectos relacionados al personal, instalación, equipos, servicios, auditorías y procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES). Las mismas deben estar establecidas y documentadas con sus respectivos registros.

El fabricante debe indicar y documentar las razones de la elección del punto el cual se inicia la fabricación del IFA. Desde este punto en adelante, deben aplicarse a este intermediario y/o etapas de elaboración del IFA los principios pertinentes de las BPM. El nivel de exigencia de las BPM debe incrementarse conforme evolucione el proceso hacia las etapas finales.

10.2.1. Gestión de la calidad

- La calidad debe ser responsabilidad de todas las personas implicadas en la fabricación.
- Cada fabricante debe establecer, documentar e implantar un sistema efectivo para gestionar la calidad que incluya la participación activa de la gerencia y del personal apropiado de fabricación.
- El sistema para gestionar la calidad debe contemplar la estructura de la organización, los procedimientos, procesos y recursos, así como las acciones necesarias para asegurar que las sustancias activas cumplirán las especificaciones de calidad y pureza. Todas las actividades deben estar definidas y documentadas.
- Deben especificarse las personas autorizadas para liberar los IFAs.
- Se deben registrar en el momento las actividades que se lleven a cabo relacionadas con la calidad.
- Es necesaria la existencia de una Unidad de Calidad, independiente de Producción que sea la responsable de generar la Garantía de Calidad y Control de Calidad.
- Deben existir procedimientos para notificar a su debido tiempo a la Autoridad Sanitaria Nacional, deficiencias serias en BPM, defectos de los productos y acciones relacionadas.

Responsabilidades de la Unidad de Calidad

La Unidad de Calidad debe estar involucrada en todas las actividades relacionadas a la calidad, ya sea revisando y aprobando la documentación. Las responsabilidades no pueden ser delegadas, estas deben estar designadas por escrito y como mínimo deben incluir las actividades vinculadas a:

- Liberar o rechazar todos los IFAs, además de establecer un sistema para llevarlo a cabo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Revisar la fabricación completa por lotes y los registros del laboratorio de las etapas críticas antes de la liberación del producto terminado.
- Asegurar que las desviaciones sean investigadas y resueltas.
- Llevar a cabo auditorías internas.
- Aprobar cambios que influyan en la calidad del producto.
- Revisar y controlar los protocolos de validación.
- Asegurar que las quejas recibidas relacionadas a la calidad se investiguen y se resuelvan.
- Asegurar que exista un sistema para la inspección, mantenimiento y calibración de equipamiento utilizado en etapas críticas.
- Asegurar que los materiales empleados se analizan, comunican y registran de manera adecuada.

Responsabilidades de las actividades de producción

Las responsabilidades deben describirse por escrito e incluyen las actividades relacionadas a:

- Fabricar IFAs de acuerdo con instrucciones previamente aprobadas.
- Revisar los registros de fabricación de lotes y asegurarse de que éstos han sido completados y firmados.
- Asegurar que todas las desviaciones en producción se evalúan y se comunican, y que las desviaciones críticas se investigan, registrando las conclusiones.
- Asegurar que las instalaciones de producción se encuentren limpias y cuando sea necesario desinfectarlas.

Revisión de la calidad del producto

Se deben llevar a cabo revisiones periódicas de calidad del producto con el objeto de verificar la efectividad del sistema aplicado. Dichas revisiones deben ser llevadas a cabo y documentadas anualmente, incluyendo como mínimo:

- Revisión de los controles críticos en proceso y resultados críticos del análisis del IFA.
- Estudio de todos los lotes que no cumplieron las especificaciones establecidas.
- Revisión e investigación de todas las desviaciones críticas o no conformidades.
- Revisión de cualquier cambio en los procesos o métodos de analíticos.
- Revisión de resultados del programa de monitoreo de estabilidad.
- Revisión de todas las devoluciones, quejas y retiros de producto de mercado relacionadas con la calidad.
- Revisión de la adecuación de acciones correctivas.

10.2.2. Personal

El personal al estar en vinculado con la elaboración del producto, es el responsable de asegurar una buena calidad, por lo tanto, se deben cumplir una serie de requisitos brindados por la empresa:

- Debe existir un número adecuado de personal calificado, contando con una buena formación, entrenamiento y/o experiencia, para realizar y llevar a cabo la inspección durante la fabricación.
- Las responsabilidades de todo el personal deben estar especificadas por escrito.
- El personal es continuamente entrenado por medio de un grupo calificado. Dichos entrenamientos deben ser registrados y periódicamente se debe evaluar la formación del personal.
- Se debe cumplir con buenas prácticas sanitarias e higiénicas. Previo al ingreso al establecimiento es necesario pasar por un filtro sanitario.
- Uso de la ropa adecuada y protección cuando sea necesaria.
- Prohibido el ingreso con artefactos personales que puedan contaminar al producto.
- El personal debe evitar el contacto directo con el IFA.
- Prohibido fumar, comer, beber, mascar en áreas de fabricación. El almacenamiento de alimentos debe restringirse a espacios específicos y separados de las a áreas de fabricación.
- Cualquier persona que forme parte del personal que presente alguna enfermedad infecciosa o lesiones abiertas que puedan estar expuestas, debe ser excluido y no debe participar en actividades que puedan comprometer la calidad del producto. Dicha persona puede retomar su actividad cuando el personal médico lo determine.

10.2.3. Edificios e instalaciones

Diseño y construcción

- Los edificios e instalaciones usados en la fabricación deben estar situados, diseñados y construidos para facilitar la limpieza, mantenimiento y operaciones necesarias según el tipo y etapa de fabricación, además la exposición a determinados contaminantes microbiológicos debe ser limitada con un buen diseño del establecimiento.
- Disponer de suficiente espacio para ubicar y ordenar tanto los equipos como los materiales, para evitar confusiones y contaminaciones cruzadas.
- Los equipos que cuenten con protección adecuada del material pueden instalarse al aire libre.
- El flujo de materiales y de personal debe diseñarse para evitar confusiones y contaminaciones cruzadas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Deben existir las siguientes áreas definidas para las actividades a desarrollar:
 1. Recepción, identificación, muestreo de los materiales recibidos pendientes de aprobación o rechazo.
 2. Cuarentena del producto antes de la aprobación o rechazo.
 3. Almacenamiento de materiales rechazados, ya sea para devolución, reprocesado o destrucción.
 4. Almacenamiento de materiales aprobados.
 5. Operaciones de producción.
 6. Operaciones de envasado y etiquetado.
 7. Operaciones de laboratorio.
- El personal debe disponer de instalaciones para la limpieza, aseo y también para cambiarse, las cuales estarán separadas de las áreas de producción, pero fácilmente accesibles. Estas estarán equipadas con agua caliente y fría, jabón, secadores de aire o servicio de toallas individuales.
- Las áreas del laboratorio que estén dedicadas a controles del proceso, pueden estar situadas en las áreas de producción, siempre y cuando las operaciones del proceso no afecten la exactitud de las medidas.

Servicios

- Las instalaciones deben contar con adecuada ventilación, filtración de aire y extracción, de tal forma de que se minimice el riesgo de contaminación. Se deben incluir equipos para el control del aire, polvo, humedad, temperatura y microorganismos (si es necesario).
- Las cañerías deben identificarse de manera apropiada (mediante identificación individual, documentación, sistemas informáticos de control o medio alternativos). No deben generar riesgos de contaminación, por lo tanto, su ubicación es importante.

Agua

- Debe demostrarse que el agua utilizada en la fabricación es adecuada para el uso para el cual esté destinada.
- A no ser que se justifique lo contrario, el agua de proceso debe cumplir, como mínimo, las directrices de la OMS para la calidad del agua potable.
- Cuando el agua utilizada en el proceso es tratada para alcanzar una calidad definida, el proceso de tratamiento debe ser validado y monitoreado periódicamente.

Iluminación

- Debe existir iluminación adecuada en todas las áreas para facilitar la limpieza, mantenimiento y las distintas operaciones.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Aguas residuales y residuos

- Las aguas residuales, desechos y otros residuos, deben eliminarse de los edificios y alrededores de una manera segura, higiénica y a su debido tiempo.
- Los contenedores y/o conductos de materiales de desecho deben estar claramente identificados.

Sanitización y mantenimiento

- Los edificios utilizados en la fabricación deben mantenerse, repararse correctamente y conservarse en condiciones de limpieza adecuadas.
- Debe establecerse procedimientos escritos que asignen responsabilidades sobre la sanitización y que describan los programas de limpieza, métodos, equipos y materiales a utilizar.

10.2.4. Equipos de proceso

Diseño y construcción

- Los equipos empleados deben tener el diseño y tamaño adecuados, estar correctamente ubicados para el uso previsto, su limpieza, sanitización (si corresponde) y mantenimiento.
- Los equipos se construirán de forma que las superficies de contacto con materiales de partida, producto intermedio y terminado no alteren su calidad más allá de las especificaciones establecidas.
- Los equipos y las líneas de proceso permanentes deben identificarse de manera apropiada.
- Toda sustancia asociada al funcionamiento de equipos, como lubricantes, fluidos calefactores o refrigerantes, no debe estar en contacto con el producto de manera que pueda alterar la calidad del mismo más allá de las especificaciones establecidas. Se deben utilizar lubricantes y aceites de grado alimenticio siempre que sea posible.
- Se deben utilizar equipos cerrados o de contención siempre que sea apropiado. Cuando se abran los equipos deben tomarse las precauciones adecuadas para minimizar el riesgo de contaminación.

Mantenimiento y limpieza

- Se deben establecer programas y procedimientos para el mantenimiento preventivo de los equipos, incluyendo la asignación de responsabilidades.
- Se deben establecer procedimientos escritos para la limpieza de equipos, y su posterior aprobación. Los procedimientos de limpieza deben ser suficientemente detallados para permitir a los operarios limpiar cada tipo de equipo de una manera reproducible y efectiva. Deben incluir como mínimo:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

1. Asignación de responsabilidades.
 2. Programas de limpieza, incluyendo, cuando sea necesario, programas de sanitización.
 3. Descripción completa de métodos y materiales, incluyendo dilución de los agentes de limpieza utilizados.
 4. Instrucciones para desarmar y rearmar cada parte del equipo.
 5. Instrucciones para la protección del equipo una vez limpio y para prevenirlo de contaminación previo a su uso.
 6. Inspección del equipo limpio antes de usarlo.
- Los equipos y utensilios empleados deben limpiarse, guardarse y, cuando sea necesario, sanitizarse para prevenir la contaminación o arrastre de material.

10.2.5. Documentación y registros

Sistema de documentación y especificaciones

- Todos los documentos empleados deben ser preparados, revisados, aprobados y distribuidos de acuerdo a procedimientos escritos. Estos documentos pueden estar en papel o en soporte electrónico.
- Todos los registros de producción, control y distribución deben mantenerse como mínimo hasta un año después de la fecha de vencimiento del lote. En caso de fecha de reanálisis, estos se mantendrán, por lo menos, hasta tres años posteriores a la distribución completa del lote.
- Las entradas en los registros deben ser indelebles y en los espacios destinados a tal fin, efectuadas inmediatamente después de realizar la actividad y deben identificar a quien la realizó. Las correcciones deben fecharse, firmarse y mantener legible la entrada original.
- Se deben establecer y documentar especificaciones para materiales de partida, intermediarios y producto terminado.

Registros de uso y limpieza de equipos

- Los registros de uso, limpieza, sanitización y mantenimiento de los equipos contendrán la fecha, hora, producto, número de lote procesado y persona responsable.

Registro de materiales de partida

Se deben mantener registros que incluyan:

- El nombre del elaborador, identidad, cantidad de cada envío, nombre del proveedor, el/los número/s de control del proveedor u otro número de identificación, el número asignado en la recepción y la fecha de recepción.
- Los resultados de cualquier ensayo o examen realizado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Registros donde se observe la trazabilidad en el empleo.

Registros de Lote de Producción y Control

- Los registros deben numerarse con un número único de lote o de identificación, y deben emitirse con fecha y firma. En producción continua, el código del producto, junto con la fecha y hora, pueden servir como identificativo único.
- La documentación de cada etapa significativa del proceso en el registro de producción y control debe incluir como mínimo:
 1. Fecha y hora.
 2. Identificación del equipo usado en dicha etapa.
 3. Identificación del lote.
 4. Número de lote de los materiales de partida.
 5. Valores establecidos de los parámetros críticos del proceso.
 6. Firmas de las personas que realizan, supervisan o comprueban cada paso del proceso.
 7. Resultados de laboratorio.
 8. Cualquier desviación detectada, su evaluación e investigación.

Registros del laboratorio

- Los registrados de laboratorio deben incluir datos completos de todos los análisis llevados a cabo:
 1. Descripción de las muestras recibidas, incluyendo nombre u origen del material, número de lote o identificación, fecha de muestro y análisis.
 2. Referencia de cada método analítico utilizado.
 3. Resultados de los análisis comparados con los criterios de aceptación.
 4. Firma de la persona que llevó a cabo el análisis.
 5. Firma y fecha de la persona encargada de la revisión de los resultados.
- También deben conservarse registros completos de:
 1. Cualquier modificación de un método analítico establecido.
 2. Calibración periódica de los instrumentos, aparatos e indicadores.
 3. Todos los ensayos de estabilidad realizados.
 4. Investigaciones de resultados fuera de las especificaciones.

10.2.6. Gestión de materiales de partida

Debe disponerse de procedimientos escritos que describan la recepción, identificación, cuarentena, almacenamiento, manipulación, muestreo, análisis, aprobación o rechazo de materiales de partida.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Recepción y cuarentena

- En la recepción debe realizarse un examen visual de cada contenedor o grupo de contenedores de materiales de partida para verificar un correcto rotulado, que no hayan sido dañados, presenten cierres rotos o evidencia de manipulación y contaminación.
- Los materiales se mantendrán en cuarentena hasta que hayan sido muestreados, analizados y aprobados.
- Antes que los materiales recibidos sean mezclados con el stock existente (silos, tolvas, etc.), deben ser correctamente identificados, analizados y liberados.
- Deben identificarse correctamente los tanques de almacenamiento de gran volumen, incluyendo sus líneas de carga y descarga.
- Cada contenedor o grupo de contenedores (lote) de materiales debe asignarse e identificarse mediante un código distintivo, número de lote o número de recepción, que puede igual al asignado por el elaborador.

Muestreo y análisis

- Se debe realizar al menos un ensayo para verificar la identidad de cada lote de material.
- Las muestras deben ser representativas del lote. Los métodos de muestreo deben especificar el número de envases a muestrear, que parte del envase es muestreada y la cantidad del material a tomar.
- El muestreo se realizará en un área definida al efecto y con procedimientos que eviten la contaminación del material.
- Los envases de donde se extraen las muestras deben abrirse con cuidado y posteriormente cerrarse. Se marcarán indicando que se ha tomado una muestra.

Almacenamiento

- Los materiales deben almacenarse y manipularse de manera de prevenir su degradación y contaminación.
- Los materiales en bolsas, bidones y cajas deben almacenarse sin tocar el piso y adecuadamente separados para permitir su limpieza e inspección.
- Deberá controlarse que se utilice primero el stock más antiguo.
- Ciertos materiales pueden almacenarse al aire libre en contenedores adecuados, siempre que sus etiquetas se mantengan legibles y los mismos se limpien antes de su apertura y uso.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.2.7. Envasado y etiquetado

Generalidades

- Deben existir procedimientos escritos que describan la recepción, identificación, cuarentena, muestreo, examen y/o análisis, liberación, manipulación y almacenamiento de material de acondicionamiento y etiquetado.
- El material etiquetado y acondicionado debe cumplir las especificaciones establecidas. Los materiales que no las cumplan, deben rechazarse para evitar su utilización en operaciones para las que no son adecuados.
- Se deben mantener registros de cada recepción de etiquetas y material de acondicionamiento, indicando su recepción, examen o análisis, y si ha sido aceptado o rechazado.

Materiales de empaque/acondicionamiento

- Los envases deben proporcionar la protección adecuada al IFA contra el deterioro o contaminación que pudiera ocurrir durante su transporte o almacenamiento.
- Los envases deben estar limpios y, cuando la naturaleza del IFA lo requiera, sanitizados para asegurar que son adecuados para el uso al que estén destinados. Los envases no deben ser reactivos, absorbentes o adicionarse al producto, de manera de alterar la calidad más allá de los límites especificados.

Emisión y control de etiquetas

- El acceso a las áreas de almacenamiento de etiquetas estará restringido al personal autorizado.
- Deberán emplearse procedimientos para la reconciliación de la cantidad de etiquetas emitidas, utilizadas y devueltas, y evaluar las discrepancias encontradas entre el número de etiquetas emitidas y el número de envases etiquetados. Cualquier discrepancia debe investigarse, y la investigación será aprobada por la/s unidad/es de calidad.
- Cualquier exceso de etiquetas impresas con información del número de lote o cualquier impresión relativa a un lote debe ser destruido. Las etiquetas devueltas deben almacenarse de tal manera que se eviten errores y se proporcione una fácil identificación.
- Las etiquetas obsoletas y anticuadas deben destruirse.
- Las impresoras empleadas en la emisión de etiquetas para las operaciones de acondicionamiento deben controlarse para asegurar que la impresión se corresponde con lo especificado en el registro de producción del lote.
- Las etiquetas utilizadas en los envases deben identificar el nombre o código identificador del producto, el número de lote y las condiciones de almacenamiento.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Si se pretende llevar al IFA fuera del sistema de control de materiales del fabricante, la etiqueta también deberá incluir el nombre y dirección del elaborador, cantidad de producto contenido, condiciones especiales de transporte y cualquier requisito legal especial. Para IFAs con fecha de vencimiento, ésta debe ser indicada en la etiqueta en el certificado de análisis.
- Los IFAs etiquetados y acondicionados, deben incorporarse para asegurar que los envases cuentan con la etiqueta correcta. El resultado de esta inspección debe formar parte de la operación de acondicionamiento. Sus resultados deben registrarse en el registro de producción del lote o en registros de control.
- Los envases transportados fuera del control del elaborador, se deben precintar de tal manera que, si el precinto falta o ha sido forzado, el envase se pondrá en alerta por parte del receptor considerando la posibilidad de que el contenido haya sido alterado.

10.2.8. Almacenamiento y distribución

Procedimiento de almacenamiento

- Debe haber instalaciones disponibles para almacenar los materiales en las condiciones adecuadas (p. ej. temperatura y humedad controladas, cuando sea necesario). Deben llevarse registros de estas condiciones si éstas fueran críticas para el mantenimiento de las características del material.
- Deben asignarse áreas de almacenamiento separadas para el almacenamiento temporario de materiales en cuarentena, rechazados, devueltos o retirados, a menos que exista un sistema alternativo para prevenir su uso intencional o no autorizado, antes de que se haya tomado una decisión sobre su destino final.

Procedimientos de distribución

- Los IFAs sólo pueden ser liberados para su distribución a terceras partes luego de que hayan sido aprobadas por la/s unidad/es de calidad. Los IFAs pueden transferirse bajo cuarentena a otra unidad bajo el control de la misma compañía, cuando la/s unidad/es de calidad lo haya/n autorizado, y siempre que existan los controles y documentación apropiados.
- Los IFAs deben transportarse de manera de no afectar negativamente la calidad.
- Las condiciones especiales de almacenamiento o transporte para un IFA deberán constar en la etiqueta.
- El elaborador debe asegurarse de que el transportista contratado para el envío de IFAs conoce y sigue las condiciones para un transporte y almacenamiento adecuados.
- Debe existir un sistema mediante el cual pueda determinarse fácilmente la distribución de cada lote de IFA para permitir su retiro en caso necesario.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.2.9. Controles de laboratorio

Controles generales

- Deben existir procedimientos que describan el muestreo, análisis, aprobación o rechazo de materiales, y el registro y almacenamiento de datos de laboratorio. Los registros de laboratorio se deben llevar de acuerdo a la sección 10.2.5, Registros del laboratorio.
- Los controles de laboratorio deben seguirse y documentarse en el momento de efectuarse. Cualquier desviación de los procedimientos existentes debe documentarse y justificarse.
- Cualquier resultado fuera de especificación debe ser investigado y documentado de acuerdo a un procedimiento. El procedimiento debe requerir un análisis de los datos, la evaluación de la existencia de un problema significativo, asignación de acciones correctivas y conclusiones. Cualquier nuevo muestreo y/o análisis después de un resultado fuera de especificación debe realizarse de acuerdo a un procedimiento documentado.
- Los reactivos y soluciones estándar deben prepararse y etiquetarse según procedimientos escritos. Deberán establecerse fechas límites de uso cuando corresponda.
- Para cada lote de IFA se realizarán los análisis de laboratorio pertinentes para determinar su conformidad con las especificaciones.

Certificados de análisis

- Deben emitirse certificados de análisis originales para cada IFA cuando se solicite.
- Los certificados de análisis deben proveer información sobre el nombre del IFA, su grado, el número de lote y fecha de liberación. Para IFAs con fecha de vencimiento, esta constará en la etiqueta y en el certificado de análisis. Para IFAs con fecha de reanálisis, la fecha constará en la etiqueta y/o en el certificado de análisis.
- El certificado de análisis debe incluir cada ensayo realizado de acuerdo con las especificaciones compendiadas o del cliente, incluyendo los límites de aceptación y los resultados numéricos obtenidos (si los resultados del ensayo son numéricos).
- Los certificados de análisis deberán ser fechados y firmados por una persona autorizada de la/s unidad/es de calidad y deben incluir el nombre, dirección y teléfono del elaborador original. Si el análisis se lleva a cabo por un reacondicionador o reprocesador, el certificado deberá mostrar el nombre, dirección y teléfono del mismo y una referencia al nombre del elaborador original.

Monitoreo de la estabilidad

- Debe diseñarse y documentarse un programa de monitoreo para el seguimiento de las características de estabilidad de los IFAs y los resultados den utilizarse para confirmar las condiciones apropiadas de almacenamiento y fechas de reanálisis o vencimiento.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Los métodos de análisis empleados en ensayos de estabilidad deben estar validados y ser indicadores de estabilidad.
- Normalmente se someterán al programa de estabilidad los tres primeros lotes comerciales para confirmar la fecha de vencimiento o reanálisis
- En lo sucesivo, debe incluirse como mínimo un lote de IFA elaborado por el año en el programa de estabilidad (salvo que no se haya elaborado ninguno ese año), y analizarse como mínimo anualmente para confirmar la estabilidad.
- La fecha de vencimiento o de reanálisis de un IFA debe basarse en una evaluación de los datos derivados de los estudios de estabilidad. La práctica común es emplear fechas de reanálisis en lugar de vencimiento.

Muestras de retención

- La toma de muestras de retención tiene como finalidad las posibles evaluaciones futuras de la calidad de los lotes IFAs. No deben utilizarse para futuros análisis de estabilidad.
- Las muestras de retención de cada lote de IFA, debidamente identificadas, se deben guardar hasta un año después de la fecha de vencimiento del lote asignada por el elaborador, o bien, hasta tres años después de la distribución del lote, la que sea más larga. Para IFAs con fecha de reanálisis, deberán guardarse durante tres años después de la completa distribución del lote por parte del elaborador.
- Las muestras de retención deben almacenarse en el mismo sistema de almacenamiento en el cual se almacena el IFA a comercializar, en uno que sea equivalente o que lo proteja aún mejor. La cantidad de muestra retenida será suficiente como para realizar como mínimo, dos análisis completos según se describa en farmacopeas vigentes o, cuando no exista monografía correspondiente codificada, dos análisis completos según las especificaciones.

10.2.10. Rechazo y reutilización de materiales

Rechazo

Los IFAs que no cumplan las especificaciones establecidas deberán identificarse como tales y colocarse en cuarentena. Estos pueden ser reprocesados o retrabajados según se describe a continuación. Debe registrarse el destino final de los materiales rechazados.

Recuperación de materiales y solventes

- La recuperación (p. ej. De aguas madres o filtrados) de reactivos o IFAs se considera aceptable, siempre y cuando existan procedimientos aprobados y los materiales recuperados cumplan con las especificaciones adecuadas para el uso al que estén destinados.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Los solventes pueden recuperarse y reutilizarse en el mismo proceso o en procesos diferentes, siempre que los métodos de recuperación incluyan controles que aseguren que cumplen con los niveles de calidad pertinentes antes de reutilizarse o mezclarse con otros materiales aprobados.
- Los solventes y reactivos nuevos y recuperados se pueden mezclar si el análisis apropiado demuestra que son adecuados para los procesos en los cuales vayan a utilizarse.
- El uso de solventes recuperados, aguas madres u otros materiales recuperados debe documentarse de manera adecuada.

Devoluciones

- Los IFAs devueltos deben ser identificados como tales y colocados en cuarentena.
- Si las condiciones bajo las cuales los IFAs fueron devueltos o almacenados (antes o durante su devolución), o el estado de los contenedores hacen dudar de su calidad, los IFAs devueltos deberán reprocesarse, reelaborarse o destruirse, según convenga.
- Se deben mantener registros de los IFAs devueltos, incluyendo:
 1. Nombre y dirección del consignatario.
 2. Nombre del IFA, número de lote y cantidad devuelta.
 3. Motivo de la devolución.
 4. Uso o disposición del IFA devuelto.

10.2.11. Reclamos y retiros del mercado

- Todos los reclamos relacionados con la calidad, ya se reciban de forma verbal o escrita, deben ser registrados e investigados de acuerdo a un procedimiento escrito.
- Los registros de reclamos deben incluir:
 1. Nombre y dirección del reclamante.
 2. Nombre (y cuando corresponda, título) y número de teléfono de la persona que efectúa el reclamo.
 3. Naturaleza del reclamo (incluyendo nombre y número de lote del IFA).
 4. Fecha de recepción del reclamo.
 5. Acción tomada inicialmente (incluyendo fechas e identificación de la persona que tomó la acción).
 6. Cualquier acción de seguimiento emprendida.
 7. Respuesta dada al reclamante (incluyendo la fecha en que se envió)
 8. Decisión final con respecto al IFA.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Se deberán mantener registros de los reclamos para evaluar tendencias, frecuencias relacionadas con el producto y severidad, con el objeto de tomar medidas adicionales y, si corresponde, medidas correctivas inmediatas.
- Debe existir un procedimiento escrito que defina las circunstancias bajo las cuales debería considerarse un retiro del mercado de un IFA.
- El procedimiento de retiro del mercado debe designar quien será responsable de evaluar la información, como se debe iniciar un retiro, quien debe ser informado sobre el mismo.

10.3. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS DE SANEAMIENTO (POES)

Cada uno de los aspectos de la fabricación debe ir acompañado de un elevado nivel de saneamiento e higiene, el cual abarca al personal, instalaciones, equipos y todo aquello que puede ser fuente de contaminación, es por esto que resulta necesaria la implementación de los procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES). Son requisito fundamental para la ejecución de sistemas que aseguren la calidad de los productos, en concordancia con la disposición 3827/2018: Guía de buenas prácticas de fabricación para elaboradores, importadores/exportadores de medicamentos de uso humano, parte B del ANMAT, estos incluyen:

- Programas escritos de saneamiento que incluyen procedimientos validados de limpieza para las instalaciones y los equipos. Se destaca la importancia de dichos programas en las sesiones de capacitación para poner a conocimiento del personal involucrado y luego ser puestos en práctica.
- Los elementos clave de un programa de limpieza y desinfección que son el calendario general, el programa diario y los procedimientos escritos de limpieza.
- El calendario general de limpieza se utiliza garantiza la realización periódica de las tareas de limpieza no diarias. En el mismo se detallan las distintas tareas de limpieza, como así también la frecuencia y el personal responsable.
- El programa diario de limpieza lista las tareas que deben realizarse rutinariamente en las áreas de producción para garantizar que se mantengan limpias, seguras y ordenadas. Incluye la limpieza durante el turno de trabajo.
- Los procedimientos escritos de limpieza son las instrucciones de trabajo que detallan como se limpia el equipo, que tipos de productos químicos son necesarios y los procedimientos de seguridad que se deben cumplir al manipular productos químicos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Se utilizan códigos de color para los cepillos, escobas, baldes, palas y resto de utensilios utilizados para evitar contaminaciones cruzadas entre las zonas de elaboración del producto final y las de materia prima.

A continuación, se presentan los instructivos de los POES para: la limpieza de un equipo específico, el mezclador M – A01, lavado de paredes y pisos y lavado de manos.

POES Instructivo: I-01-20	Limpieza M – A01	Revisión: 00 Página: 1 de 2
Emitió: Calidad	Revisó: Producción	Aprobó: Gerencia

Propósito:

Definir el procedimiento estandarizado de la limpieza del mezclado M – A01 que forma parte del proceso.

Justificación:

Una correcta limpieza de los equipos garantiza una buena calidad del producto, evitando la contaminación cruzada por residuos remanentes.

Alcance:

El presente procedimiento se aplica a los operarios involucrados en el proceso y responsables de la sección donde se encuentra el equipo.

Responsabilidades:

El operario de producción es el encargado de llevar a cabo la limpieza.

El supervisor de producción es el responsable de controlar la limpieza del equipo.

El jefe de producción es el encargado de establecer las frecuencias de la limpieza del mezclador.

El departamento de calidad y el jefe de producción serán los responsables de la evaluación de la efectividad de este procedimiento.

Procedimiento:

1. Asegurar que el equipo se encuentre apagado y desconectadas las partes eléctricas.
2. Abrir tapa.
3. Retirar el agitador.
4. Retirar elementos de medición para evitar dañarlos.
5. Limpiar interior del tanque, boquillas y entre los pasos del sistema de calefacción con agua a presión, frotando con un cepillo hasta remover los residuos sólidos adheridos. En el caso que se considere necesario, utilizar solución desinfectante y luego enjuagar con agua.
6. Abrir válvula de salida para drenar el agua.
7. Limpiar con paño húmedo el exterior.
8. Enjuagar y cepillar el agitador para retirar sólidos adheridos.
9. Secar todo con papel toalla.
10. Colocar el agitador y elementos del sistema de control.
11. Cerrar tapa y conectar motor.

Frecuencia:

Según se establece en el Esquema de Conformación de los POES del Manual de POES:

1. Pre – operacional: Previo al primer batch.
2. Post – operacional: Luego de cumplir los diez batch semanales.

POES Instructivo: I-01-20	Limpieza M – A01	Revisión: 00 Página: 2 de 2
Emitió: Calidad	Revisó: Producción	Aprobó: Gerencia

Control:

Se evalúa visualmente, controlando que no queden restos de sólidos o agua de enjuague dentro del equipo. En caso que el supervisor de producción lo indique, se realizará un control microbiológico de la superficie interna del equipo.

POES Instructivo: I-02-20	Lavado de pisos y paredes	Revisión: 00 Página: 1 de 2
Emitió: Calidad	Revisó: Producción	Aprobó: Gerencia

Propósito:

Definir el procedimiento estandarizado del lavado y desinfección de pisos y paredes de la planta.

Justificación:

Lavar los pisos y paredes correctamente sirve para evitar la contaminación cruzada, garantizando que no será un peligro o un riesgo de contaminación para el producto que se está elaborando. Los pisos y paredes pueden ser grandes transmisores de contaminantes si no se mantienen limpias y desinfectadas.

Alcance:

El presente procedimiento se aplica para la limpieza post-operacional de pisos y paredes internas de la zona de producción.

Responsabilidades:

Responsable de sanitización de la planta.

El jefe de laboratorio es el encargado de establecer las frecuencias de control del lavado de pisos y paredes, los métodos de control y quién es el responsable de control.

El departamento de calidad y el jefe de producción serán los responsables de la evaluación de la efectividad de este procedimiento.

Procedimiento para pisos y paredes:

1. Retirar todo lo movable de la zona a limpiar.
2. Limpieza de macro residuos en seco.
3. Colocar un aviso de “peligro: limpieza en marcha”, para prevenir accidentes.
4. Aplicación de detergente-desinfectante en todas las zonas.

Nombre del producto: Ucarsan.

Principio activo: amonio cuaternario.

Concentración de uso: 2,5-5 ml/l.

Temperatura: agua entre 20 y 45°C.

Tiempo de actuación: 10 minutos.

5. Fregar y asegurarse que son eliminadas todas las señales y marcas.
6. Enjuagar con abundante agua.
7. Esperar a que seque completamente.
8. Colocar los elementos móviles que fueron quitados en donde se encontraban.
9. Observar que las áreas tratadas estén limpias, secas y sin polvo o suciedad para asegurar los resultados deseados.

POES Instructivo: I-02-20	Lavado de pisos y paredes	Revisión: 00 Página: 2 de 2
Emitió: Calidad	Revisó: Producción	Aprobó: Gerencia

Frecuencia:

Según se establece en el Esquema de Conformación de los POES del Manual de POES:

1. Diario.
2. Una vez terminado el proceso de fabricación.

Control:

Valoración visual y táctil de la limpieza y desinfección.

POES Instructivo: I-03-20	Lavado de manos	Revisión: 00 Página: 1 de 2
Emitió: Calidad	Revisó: Producción	Aprobó: Gerencia

Propósito:

Definir el procedimiento estandarizado del lavado de manos del personal de la empresa.

Justificación:

Lavarse las manos correctamente es asegurarse de que el contacto directo de las manos de los manipuladores no será un peligro o un riesgo de contaminación para el producto que se está elaborando. Las manos son los mayores transmisores de contaminantes si no se mantienen limpias y sanitizadas.

Alcance:

El presente procedimiento se aplica a todo el personal interno de la zona de producción y, cualquier externo que deba ingresar a la misma.

Responsabilidades:

Todo el personal interno de la zona de producción y, cualquier externo que deba ingresar a la misma debe realizar la actividad.

El jefe de laboratorio es el encargado de establecer las frecuencias de control del lavado de manos, los métodos de control y quién es el responsable de control.

El departamento de calidad y el jefe de producción serán los responsables de la evaluación de la efectividad de este procedimiento.

Procedimiento:

12. Humedecer/mojar las manos con agua limpia, potable y caliente, accionando el lavamanos con llave de pedal o sensor.
13. Aplicar jabón líquido.
14. Frotarse ambas manos entre sí por más de 20 segundos, haciendo énfasis en los espacios entre los dedos, en el dorso y uñas.
15. Enjuagarse con abundante agua caliente.
16. Secarse con toalla de papel desechable, cortando la cantidad a usar y desechando en el basurero con tapa el papel usado.
17. Aplicar alcohol en gel.

Frecuencia:

Según se establece en el Esquema de Conformación de los POES del Manual de POES:

1. Antes de iniciar el turno de trabajo.
2. Inmediatamente después de haber hecho uso de los sanitarios.
3. Al ingresar a la zona producción.
4. Después de manipular material contaminado.

POES Instructivo: I-03-20	Lavado de manos	Revisión: 00 Página: 2 de 2
Emitió: Calidad	Revisó: Producción	Aprobó: Gerencia

5. Antes de colocarse o cambiarse los guantes.
6. Luego de toser, estornudar o usar un pañuelo o servilleta.
7. Luego de fumar, comer o beber.
8. Luego de las actividades de limpieza.
9. Luego de manejar basura.
10. Luego de manejar dinero.
11. Todas las veces que sea necesario.

Control:

1. Frotar suavemente sobre la mano un hisopo estéril recorriendo palma, entre los dedos y bajo las uñas.
2. Colocar los hisopos correspondientes a las manos de los operarios en tubos de ensayo con agua peptonada, transportarlos al laboratorio y mantenerlos en condiciones de refrigeración hasta el momento de la siembra, dentro de las 24 horas.
3. En el laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones microbiológicas:
 - Coliformes totales: siembra en superficie en agar VRB (Agar violeta rojo bilis). Incubación a 35°C durante 24 horas.
 - Staphylococcus aureus: siembra en superficie en agar Baird Parker con agregado de telurito de potasio (0,3 ml.) y emulsión de yema de huevo (0,5 ml.). Incubación a 37 °C durante 24 a 48 horas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.4. PLAN DE CONTROL DE CALIDAD

Se desarrolla un plan de control de calidad en el que se detallan todos los controles que deben realizarse en las diferentes etapas del proceso de producción, como así también a las materias primas y al producto final. Se especifican los valores de cada parámetro que se evalúa, la técnica empleada para su análisis, la frecuencia de control, los encargados de tomar las muestras y de realizar los análisis correspondientes. En el caso de que el valor medido no se ajuste al deseado, se deben tomar medidas correctivas al respecto.

Para los métodos de análisis de muestreo y los valores establecidos, se emplea como bibliografía Farmacopea Argentina y Farmacopea Europea. En el Anexo II se explica cada técnica en detalle, listadas de acuerdo con código empleado en el plan de calidad.

10.4.1. Materias primas e insumos

El plan de calidad para las materias primas es importante debido a que afecta directamente en la calidad del producto final y mediante este se puede identificar eventuales desviaciones. Algunas de las materias primas son importadas, por lo tanto, se entiende que si un producto es apto para la exportación debe cumplir con los requisitos establecidos por la reglamentación del país importador, entonces para el fenol y el anhídrido acético no se analizan las propiedades fisicoquímicas, pero si la cantidad adquirida. En esta sección se consideran los controles realizados sobre las materias primas obtenidas de proveedores nacionales y el agua de proceso tratada. En la Tabla 10.1 se detalla el plan de control de calidad, donde se incluyen las técnicas, la frecuencia, responsable, entre otros.

10.4.2. Proceso de producción y producto intermedio

Durante el proceso, el control de las variables operacionales es un punto importante a tener en cuenta debido a que juegan un papel fundamental para la elaboración del producto e influyen en la calidad del mismo, por ello se establecen controles en diferentes puntos del proceso. En la Tabla 10.2 se detalla el plan de control de calidad, donde se especifican los equipos, puntos de control, variables a controlar y frecuencia, es necesario mencionar que gran parte de estos controles se realizan con la implementación de la automatización. También, se muestran los análisis realizados al producto intermedio, el cual es el ácido salicílico previo al ingreso del reactor R – C02. Esto se debe a que sus características obtenidas son fundamentales para obtener el producto final deseado.

10.4.3. Producto terminado

La aplicación de un sistema de control de calidad del producto terminado es necesario para asegurar que se obtenga la calidad buscada, es por ello que dicho sistema se utiliza para

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

determinar principalmente la pureza del mismo. A su vez, el producto terminado debe cumplir con las especificaciones detalladas en Farmacopea Argentina, Segundo Libro. La finalidad de estos controles es detectar las fallas durante su elaboración y erradicarlas para que no sucedan nuevamente, evitando el reproceso y rechazo del producto terminado. En la Tabla 10.3 se detallan los análisis a realizar.

Tabla 10.1 – Plan de control de calidad de materias primas. Elaboración propia.

Etapa	Materia prima	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva/preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Recepción materia prima	Ácido acético glacial	Identificación	-	T – 01/A	Por lote	K - FQ 01	Rechazar lote	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Densidad	1050 kg/m ³	T – 02	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Apariencia	Incoloro y transparente	Inspección visual	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	
		Concentración	Mínimo 99,5%	T – 03/A	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor Rechazar lote	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Cloruro	Sin presentar opalescencia	T – 04	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Sulfato	Sin presentar turbidez	T – 05	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Temperatura de solidificación	15,6 °C	T – 06	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Residuo volátil	Máximo 1,0 mg	T – 07	Por lote	K – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
	Solución de NaOH	Identificación	-	T – 01/B	Por lote	A – FQ 01	Rechazar lote	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Densidad	1310 kg/m ³	T – 02	Por lote	A – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Apariencia	Transparente	Inspección visual	Por lote	A – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	

		Concentración	49 - 51 % p/p	T – 03/B	Por lote	A – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno	
		Carbonatos	1,00 %	T – 08	Por lote	A – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno	
		Metales pesados	0,002 %	T – 09	Por lote	A – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno	
	Solución de ácido sulfúrico	Identificación	-	T – 01/C	Por lote	H – FQ 01	Rechazar lote	Operario de turno	Laboratorista de turno	
		Densidad	1372 kg/m ³	T – 02	Por lote	H – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno	
		Apariencia	Incoloro y transparente	Inspección visual	Por lote	H – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno		
		Concentración	59 – 61 %	T – 03/C	Por lote	H – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno	
		Arsénico	Máx. 1 ppm	T – 10	Por lote	H – FQ 01	Comunicar al proveedor	Operario de turno	Laboratorista de turno	
	Tratamiento de agua	Agua purificada	Carbono orgánico total	Máx. 0,5 mg/litro	T – 11	Cada 8 horas	W – FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno
			Conductividad	1,1 µS/cm a 20 °C	T – 12	Cada 8 horas	W – FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno
Aluminio			10 µg/L	T – 13	Cada 8 horas	W – FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno	
Endotoxinas bacterianas			Máximo 0,25 unidades de endotoxina por mL	T – 14	Cada 8 horas	W – M 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno	

		pH	6,5 – 7,5	T – 15	Cada 8 horas	W – FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Dureza	Máximo 1 ppm	T – 16	Cada 8 horas	W – FQ 01	Revisar sistema de purificación	Operario de turno	Laboratorista de turno

Tabla 10.2 - Plan de control de calidad del proceso. Elaboración propia.

Equipo	Punto de control	Parámetro	Valor deseado	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva/preventiva	Responsable de control
M – A01	Interior del mezclador	Tiempo	30 min	Control automático	Por batch	R / M – A01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Corriente C1	Temperatura	60 ± 0,5°C					
R – A01	Corriente D4	Caudal	6,33 kg/h	Control automático	Por batch	R / R – A01	Verificar condiciones operativas de los equipos y proceso	Panelista de control
		Temperatura	150 ± 0,5°C					
		Presión	5 atm					
	Interior del reactor	Temperatura	150 ± 0,5°C					
		Presión	5 atm					
		Tiempo de reacción	6,5 horas					
I – B02	Corriente W2	Temperatura	44,1 ± 0,5°C	Control automático	Cada 1 hora	R / I – B02	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
		Caudal	29,87 kg/h					
TW – B01	Corriente G2	Temperatura	40 ± 0,5°C	Control automático	Cada 1 hora	R / TW – B01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
		Caudal	55,16 kg/h					
TP – B01	Interior del tanque	Temperatura	90 ± 0,5°C	Control automático	Cada 1 hora	R / TP – B01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
	Corriente I1	Caudal	68,23 kg/h					

S – B01	Corriente I3 / Ácido salicílico	Apariencia	Cristales blancos	Visual	Cada 1 hora	I – FQ 01	Controlar TD – B01	Operario de turno
		Pérdida por secado	Máx. 0,10 %	T – 17			Controlar S – B01	Laboratorista de turno
		Concentración	Mín. 99,0 % en base seca	T – 03/D			Controlar TP – B01	
		Sulfatos	No debe presentar opalescencia	T – 18			Controlar C – B01	
		PHB y 4 - HIF	Máx. 0,10 %	T – 19				
		Fenol	Máx. 0,10 %	T – 19				
	Corriente S1	Temperatura	95 ± 0,5°C	Control automático	Cada 1 hora	R / S – B01 – D02	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
		Caudal	147,05 kg/h					
	Corriente S2	Temperatura	30 ± 0,5°C					
		Caudal	150,59 kg/h					
	S – D02	Corriente S1	Temperatura					
Caudal			326,54 kg/h					
Corriente S2		Temperatura	45 ± 0,5°C					
		Caudal	332,54 kg/h					
R – C02	Interior del reactor	Tiempo	7,5 horas	Control automático	-	R / R – C02	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
		Temperatura	90 ± 0,5°C					
	Corriente M	Caudal	52,464 kg/h		Cada 1 hora			

E – C01	Corriente L2	Temperatura	90 ± 0,5°C	Control automático	Cada 1 hora	R / E – C01 – C02	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control					
		Caudal	21,95 kg/h										
E – C02	Corriente K2	Temperatura	90 ± 0,5°C										
		Caudal	9,224 kg/h										
D – D01	Corriente N	Temperatura	90 ± 0,5°C						Control automático	Cada 1 hora	R / D – D01	Verificar condiciones operativas del equipo	Panelista de control
		Caudal	19,95 kg/h										
	Corriente P1	Temperatura	118,3 ± 0,5°C										
		Caudal	14,38 kg/h										
	Corriente Q1	Temperatura	139,4 ± 0,5°C										
		Caudal	5,56 kg/h										

Tabla 10.3 - Plan de control de calidad del producto terminado. Elaboración propia.

Etapa	Producto	Parámetro	Valor límite	Técnica	Frecuencia	Registro	Acción correctiva/preventiva	Responsable de muestra	Responsable de análisis
Previo al envasado	Ácido acetil salicílico	Apariencia	Cristales o polvo blanco	Visual	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario encargado del envasado	
		Pérdida por secado	Máx. 0,5 %	T – 17	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad Controlar S – D02	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Residuo de ignición/cenizas	Máx. 0,05 %	T – 20	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Sustancias insolubles en carbonato de sodio	Transparente	T – 21	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Sulfato	Máx. 1,25 mL de perclorato de plomo consumido	T – 22	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad Controlar C – B01	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Metales pesados	Máx. 0,001 %	T – 23	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario de turno	Laboratorista de turno
		Ácido salicílico libre	Máx. 0,10%	T – 24	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad Controlar tiempo de	Operario de turno	Laboratorista de turno

							retención en R – C02		
		Impurezas orgánicas volátiles	Máx. 0,05 %	T – 25	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad	Operario de turno	Laboralista de turno
		Concentración	Mín. 99,5 %	T – 03/E	Previo al envasado	AAS – FQ 01	Informar al jefe de calidad Controlar tiempo de retención en R-C02	Operario de turno	Laboralista de turno

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.5. REGISTROS DE CONTROL

Para cada análisis o control realizado se deben registrar de manera ordenada los resultados obtenidos por parte del responsable a cargo, es por ello que se utilizan planillas para organizar la documentación. Los códigos de los registros se conforman de la siguiente manera: MP (materia prima), CP (control de proceso) y P (producto terminado), más un código específico que indica sobre que etapa o producto se realiza el control. Una vez que el registro ha sido realizado se debe enviar al responsable de calidad donde se controla su edición y contenido, para luego llevar a cabo los análisis estadísticos pertinentes. A modo de ejemplo, se muestran en la Tabla 10.4, 10.5 y 10.6 un registro de cada clase.

Tabla 10.4 - Ejemplo de registro de control para materia prima. Elaboración propia

REGISTRO DE MATERIAS PRIMAS				MP – 01	
Solución de ácido sulfúrico				H – FQ 01	
Fecha					
Proveedor					
Número de lote					
Observaciones					
Técnica	Valor límite	Valor obtenido	Analista	Firma	
T – 01/C	-				
T – 02	1372 kg/m ³				
T – 03/C	59 – 61%				
T - 10	1 ppm				
Inspección visual	Incoloro				
Medidas preventivas / correctivas					
Apto (A) / Rechazo (R)					
Aclaraciones					
Firma responsable de calidad					

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.5 - Ejemplo de registro de control de producto terminado. Elaboración propia

REGISTRO DE PRODUCTO TERMINADO				P – 01	
Ácido acetil salicílico				AAS – FQ 01	
Fecha					
Número de lote					
Observaciones					
Técnica	Valor límite	Valor obtenido	Analista	Firma	
Visual	Cristales o polvo blanco				
T – 17	Máx. 0,5 %				
T – 20	Máx. 0,05 %				
T – 21	Transparente				
T – 22	Máx. 1,25 mL de perclorato de plomo consumido				
T – 23	Máx. 0,001 %				
T – 24	Máx. 0,10%				
T – 25	Máx. 0,05 %				
T – 26	Mín. 99,5 %				
Medidas preventivas / correctivas					
Apto (A) / Rechazo (R)					
Aclaraciones					
Firma responsable de calidad					

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 10.6 - Ejemplo de registro de control de proceso. Elaboración propia.

REGISTRO DE CONTROL DE PROCESO		CP – 01
Reactor R – C02		R / R – C02
Fecha		
Hora		
Panelista de turno		
Supervisor de turno		
Parámetro	Valor establecido	Valor obtenido
Tiempo	7,5 horas	
Temperatura	90 ± 0,5°C	
Caudal	52,464 kg/h	
Medidas preventivas / correctivas		
Aclaraciones		
Firma supervisor de turno		
Firma responsable de calidad		

10.6. SALA LIMPIA

Proteger el producto de la posible contaminación exterior es primordial, ya sea del medio ambiente o del personal, especialmente en el área de acondicionamiento. Tal como se indicó en el apartado 10.2, el ANMAT establece en la disposición 3827/2018 que el nivel de exigencia de las BPM en la elaboración de Ingredientes Farmacéuticos Activos (IFAs) debe incrementarse a medida que el proceso evoluciona hacia las etapas finales de acondicionamiento y envasado.

Es por ello que se decide instalar una Sala Limpia, del inglés Clean Room, que incluya los dos últimos equipos de acondicionado, el secador S – D02 y el sistema molino tamiz MT – D01, y la etapa de envasado de la producción.

Una Sala Limpia es un ambiente controlado, es decir, es una sala perfectamente definida y confinada donde se debe controlar los parámetros de temperatura, humedad relativa, sobrepresión, ventilación y nivel de partículas en suspensión en el aire espacial. Muchos procesos de fabricación necesitan las estrictas condiciones ambientales proporcionadas por este tipo de salas, especialmente los farmacéuticos y biofarmacéuticos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

10.6.1. Selección de la Sala Limpia

La parte clave y más crítica de un ambiente controlado es el sistema de ventilación, el cual se basa en el control de dos variables principalmente: la ventilación, que implica el número de movimientos o recambios del aire, y la filtración, relacionada con el número de partículas máximas en suspensión según el diámetro. Este se diseña según la norma ISO 14644 salas blancas y ambientes controlados parte 1: Clasificación de la pureza del aire. En ella se especifica la clasificación del tipo o clase de sala limpia y las características que debe cumplir, en base a la categoría seleccionada se determinan los parámetros del aire que se tiene en el recinto. En la Tabla 10.7 puede apreciarse la clasificación en función del tamaño y la cantidad de partículas.

Tabla 10.7 - Clasificación de salas limpias. Fuente: ISO 14644-1.

	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
	Máximo de partículas / m ³ de aire					
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10.000	2370	1020	352	83	3
ISO 5	1 x 10 ⁵	23.700	10.200	3520	832	29
ISO 6	1 x 10 ⁶	2,37 x 10 ⁵	1,02 x 10 ⁵	35.200	8320	293
ISO 7	1 x 10 ⁷	2,37 x 10 ⁶	1,02 x 10 ⁶	3,52 x 10 ⁵	83.200	2930
ISO 8	1 x 10 ⁸	2,37 x 10 ⁷	1,02 x 10 ⁷	3,52 x 10 ⁶	8,32 x 10 ⁵	29.300
ISO 9	1 x 10 ⁹	2,37 x 10 ⁸	1,02 x 10 ⁸	3,52 x 10 ⁷	8,32 x 10 ⁶	2,93 x 10 ⁵

Por el tipo de industria a la que pertenece el proceso se selecciona una sala limpia de clase ISO 7, recomendada para compuestos farmacéuticos. Para el resto de los espacios de la planta de producción se establece una ISO 9, que posee las características de un aire de habitación convencional. Además, se sigue con la recomendación de que no debe haber más de dos órdenes de diferencia en la clasificación de limpieza entre zonas contiguas.

10.6.2. Características de la Sala Limpia

Es importante evaluar el flujo de personas y materiales dentro de las salas limpias, principalmente porque el personal es la fuente de contaminación más grande en estos recintos. Es por ello que

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

deben tener un acceso único para evitar que el espacio sea un camino hacia otros menos críticos. El acceso a la Sala Limpia es a través de un filtro sanitario exclusivo para el ingreso a la misma. Este posee un sistema de puertas o esclusas de cambio automático, por lo que es imposible abrir una puerta sin estar la anterior perfectamente cerrada.

Como la ropa de los trabajadores tiene partículas grandes que pueden romper con la categoría de la sala, se deben colocar una vestimenta adicional encima de su ropa, la cual consiste en trajes completos para reducir la generación de partículas. También se instala un sistema de ducha de aire para impedir contaminar el medio de la sala con partículas que se hayan podido quedar enganchadas en el traje. Estas duchas de aire constan de bocas impulsoras de chorros de aire ultrafiltrado a alta velocidad, alrededor de los 25 m/s, para la limpieza de partículas de personal y materiales previo al acceso o salida de determinadas zonas.



Imagen 10.1 - Imagen ilustrativa de la vestimenta de trabajo y ducha de aire. Fuente: ESCO.

Otro parámetro a tener en cuenta es la temperatura de la sala, que se establece en $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, debido a que los operarios deben llevar puesta una vestimenta adicional encima de su ropa para reducir la generación de partículas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Una cuestión importante a determinar en un ambiente controlado es la presurización de los compartimientos que la conforman. Mantener una presión positiva del espacio, en relación con las zonas contiguas de clasificación de limpieza más sucias, es esencial para evitar que los contaminantes se infiltren. Es difícil mantener consistente y constantemente la clasificación de limpieza cuando se tiene una presurización neutral o negativa.

Por lo tanto, para este caso se tiene diferencias de presión positivas que en general se encuentran entre 7,5 a 12,5 Pa. En la sala limpia de elaboración, donde se encuentran los equipos, se aplica la diferencia máxima para asegurar de manera fiable que no entran contaminantes, y en el filtro de entrada se tiene una de 10 Pa. Es decir, que el pasillo secundario recibirá el aire del filtro sanitario y este de la sala de producción.

Los diferenciales de presión por encima de 12,5 Pa no proporcionan un control de infiltración de contaminantes sustancialmente mejor que este. Además, un valor más alto tiene un mayor costo de energía, es más difícil de controlar y requiere más fuerza para abrir y cerrar puertas.

El sistema de ventilación y filtración necesario para cumplir con los requerimientos del aire espacial en base a la categoría seleccionada se detalla en el capítulo 9 de Servicios Auxiliares, apartado 9.7. Además, en el capítulo 12 de Obras Civiles se indica todo lo respectivo a las características de construcción de la sala para asegurar las condiciones y el cumplimiento de los parámetros establecidos dentro de la misma.

*CONTROL AUTOMÁTICO
DE PROCESOS*

CAPÍTULO 11

11. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

11.1. INTRODUCCIÓN

Los procesos, en todo tipo de industrias, son de naturaleza dinámica, lo que significa que en ellos siempre ocurren cambios o perturbaciones, y si no se emprenden las acciones pertinentes sobre las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no se cumplirá con las condiciones operacionales. Es aquí cuando se visibiliza la necesidad de implementar un sistema de control automático. Cuyo objetivo es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como: temperatura, presión, caudal y composición (Smith & Corripio, 1991).

En el presente capítulo se describe como se lleva a cabo el control de la sección C del proceso de producción de ácido acetil salicílico por medio de la automatización. También se detallan los lazos de control implementados y las hojas de especificaciones para adquirir los instrumentos de medición y control necesarios.

11.2. FUNDAMENTOS BÁSICOS

Se define el control automático de proceso como una manera de mantener la variable controlada en su punto de control a pesar de las perturbaciones externas y/o internas. Para lograrlo son necesarios los cuatro componentes básicos de todo sistema de control:

1. Sensor: elemento primario.
2. Transmisor: elemento secundario.
3. Controlador: que es el cerebro del sistema de control.
4. Elemento final de control: el cual frecuentemente se trata de una válvula de control, bombas de velocidad variable, transportadores y motores eléctricos.

Es importante definir algunos de los términos que se usan en este campo como: variable controlada, ésta es la variable que se debe mantener dentro de un valor deseado, normalmente denominado set-point. La variable manipulada, que es la que se utiliza para conservar a la variable controlada en el punto de control. Circuito o lazo abierto, que se refiere a la situación en la cual el controlador no realiza ninguna función relativa a mantener la variable controlada dentro de los parámetros. Circuito o lazo cerrado hace mención a que el controlador compara el punto de referencia con la variable controlada y determina la acción correctiva (Smith & Corripio, 1991).

11.3. AUTOMATIZACIÓN SECCIÓN C

A continuación, se describe el procedimiento implementado para el control automático de la sección C del proceso de producción de ácido acetil salicílico. Se incluyen lazos de control para

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

la puesta en marcha, el funcionamiento en continuo y acciones de seguridad ante posibles inconvenientes.

En la secuencia de arranque de la sección, el sinfin Z – B03 ya se encuentra en funcionamiento, notándose un aumento en consumo energético cuando comienza a transportar sólido, que se detecta por el amperímetro A – C01 que posee el motor. Al registrarse el incremento del amperaje, se enciende el motor del alimentador de sólido AS – C01, al cual se le adiciona un variador de frecuencia VF – C03 para poder modificar el caudal de sólido. Este instrumento cuenta con sensores de nivel alto LSH – C01 y bajo LSL – C01, ubicados en la tolva pulmón. Al indicar nivel bajo, comienza a alimentar sólido al reactor R – C02 y se enciende el motor del mismo, también se accionan las bombas B – C03 y B – C04.

La corriente de anhídrido acético L1, proveniente del tanque de almacenamiento T – 003 a 25°C, es impulsada por la bomba B – C03. Al inicio, para elevar la temperatura hasta 90°C se emplea el intercambiador I – C03, el cual utiliza vapor como medio calefactor. A la salida del mismo se cuenta con un sensor de temperatura TT – C01 en la corriente L2, este se encuentra enlazado con la válvula modulante VM – C01 para regular el caudal del vapor en función de la temperatura de salida. Luego de que la torre de destilación D – D01 entra en régimen comienza a salir la corriente de destilado P1. Esta se detecta por un switch de flujo SF – C01 ubicado en la corriente P2 a la salida del economizador E – C01. Cuando marca la presencia de flujo, se cierra la válvula on-off V – C04 y se abre la V – C03 para que entre en funcionamiento el economizador. Una vez sucedido esto, el sensor TT – C01 se enlaza con la VM – C02 ubicado en la línea P1, regulando el caudal de la misma de acuerdo al set-point.

La misma secuencia sigue la corriente de ácido acético K1, proveniente del tanque de almacenamiento T – 004 a 25°C, es impulsada por la bomba B – C04. Al inicio, para elevar la temperatura hasta 90°C se emplea el intercambiador I – C04, el cual utiliza vapor como medio calefactor. A la salida del mismo se cuenta con un sensor de temperatura TT – C02 en la corriente K2, este se encuentra enlazado con la válvula modulante VM – C03 para regular el caudal del vapor en función de la temperatura de salida. Luego de que la torre de destilación D – D01 entra en régimen comienza a salir la corriente de residuo Q1. Esta se detecta por un switch de flujo SF – C02 ubicado en la corriente Q2 a la salida del economizador E – C02. Cuando marca la presencia de flujo, se cierra la válvula on-off V – C08 y se abre la V – C07 para que entre en funcionamiento el economizador. Una vez sucedido esto, el sensor TT – C02 se enlaza con la VM – C04 ubicado en la línea Q1, regulando el caudal de la misma de acuerdo al set-point.

Las bombas B – C03 y B – C04 son bombas dosificadoras debido a los bajos caudales que se manejan. Para variar el suministro de las mismas se emplean los variadores de frecuencia VF –

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

C01 y VF – C02, respectivamente. Debido a que no se encuentran en el mercado caudalímetros para pequeños flujos. Antes de la puesta en marcha de la planta, se realizan pruebas experimentales para poder relacionar el caudal brindado con los diferentes rpm de funcionamiento, obteniendo una función que es cargada en el PLC. Esta se debe verificar cada un cierto tiempo, repitiendo las pruebas experimentales.

Se colocan las válvulas on-off, V – C01, V – C02, V – C05 y V – C06, antes y después de las bombas, con finalidad de realizar tareas de mantenimiento. Estas se deben encontrar abiertas previo al encendido de las mismas.

Cuando el reactor R – C02 se encuentra funcionando en régimen, se precisa de sensores de medición continua para controlar sus parámetros. Cuenta con un sensor de temperatura TT – C03 que se está enlazado a la válvula modulante VM – C05, la cual regula la entrada del agua de enfriamiento en función del set-point que está establecido en 90°C. También posee un sensor de nivel LT – C01 enlazado con la válvula modulante VM – C06, modificando el caudal de la corriente M en función del nivel del contenido dentro del reactor, esto se hace para asegurar el tiempo de retención necesario y lograr una correcta conversión de la reacción.

Por cuestiones de seguridad se instalan los sensores de nivel alto, uno en el reactor, siendo el LSH – C02, que cumple la función de dar alerta cuando el nivel del mismo sobrepasa el máximo aceptable. Esto se hace para evitar que se rebalse el reactor, parando el alimentador AS – C01, y las bombas B – C03 y B – C04. El otro sensor LSH – C01, se ubica en la tolva pulmón del AS – C01, en el caso de detectar nivel alto, se detiene el funcionamiento del sinfín Z – B03 y del proceso aguas arriba. Aparte el motor del reactor cuenta con un amperímetro A – C02, cuya función es controlar el consumo del agitador y detectar posibles eventualidades.

En la Tabla 11.1 se detallan los lazos de control que mantienen las variables del proceso estables cuando está funcionando de manera continua, así como los implementados en el arranque y en acciones preventivas por seguridad. La Imagen 11.1 es un diagrama representativo del P&ID de la sección.

Tabla 11.1 - Lazos de control sección C. Elaboración propia.

Equipo	Lazo de control	Sensor	Variable controlada	Variable manipulada	Elemento final de control	Tipo de lazo	Acción
R – C02	LC – 01	LT – C01	Nivel	Caudal	VM – C06	Cerrado	Control
	LC – 02	TT – C03	Temperatura	Caudal	VM – C05	Cerrado	Control
	LC – 03	LSH – C02	Nivel	Alimentación	AS – C01 B – C03 B – C04	Cerrado	Seguridad
	LC – 04	A – C02	Amperaje	-	-	Abierto	Seguridad
B – C03	LC – 05	VF – C01	Frecuencia	rpm / caudal	-	Abierto	Regulación
B – C04	LC – 06	VF – C02	Frecuencia	rpm / caudal	-	Abierto	Regulación
AS – C01	LC – 07	VF – C03	Frecuencia	rpm / caudal	-	Abierto	Regulación
	LC – 08	LSH – C01	Nivel	Caudales	-	Cerrado	Seguridad
	LC – 09	LSL – C01	Nivel	Alimentación	Compuerta	Cerrado	Arranque
I – C03	LC – 10	TT – C01	Temperatura	Caudal	VM – C01	Cerrado	Control
E – C01	LC – 11	TT – C01	Temperatura	Caudal	VM – C02	Cerrado	Control
	LC – 12	SF – C01	Caudal	Caudal	V – C03 V – C04	Cerrado	Arranque
I – C04	LC – 13	TT – C02	Temperatura	Caudal	VM – C03	Cerrado	Control
E – C02	LC – 14	TT – C02	Temperatura	Caudal	VM – C04	Cerrado	Control
	LC – 15	SF – C02	Caudal	Caudal	V – C07 V – C08	Cerrado	Arranque
Z – B03	LC – 16	A – C01	Amperaje	-	AS – C01	Cerrado	Arranque

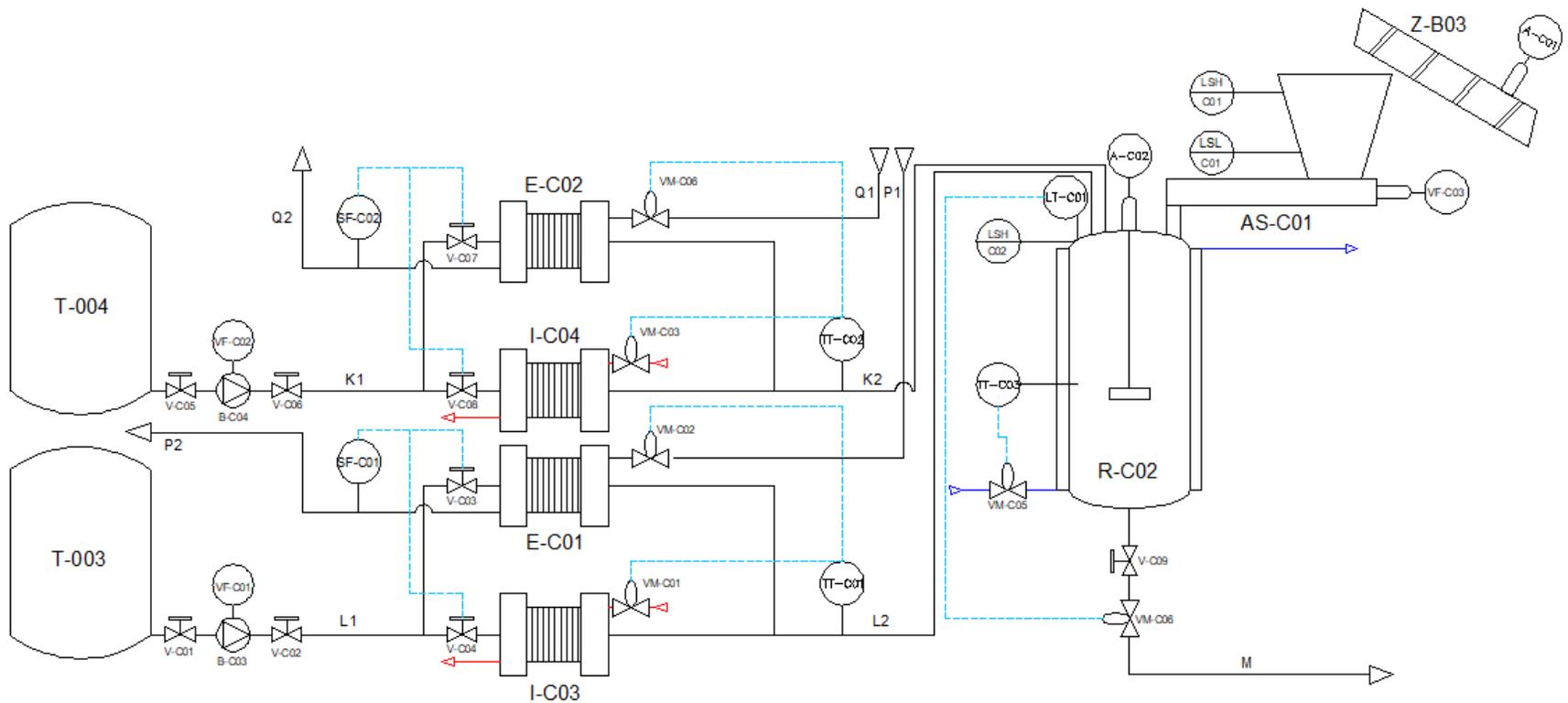


Imagen 11.1 - Diagrama P&ID sección C. Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

11.3.1. Hojas de especificación de los instrumentos

Una vez que se ha confeccionado el plano P&ID de todo el proceso automatizado y se ha determinado los instrumentos de medición y control necesarios, se procede a la compra de los mismos. Para llevar a cabo esta acción se siguen las etapas detalladas en la Tabla 11.2.

Tabla 11.2 - Etapas para la compra de instrumentos de medición y control.

Etapas	Responsable
1. Especificación técnica	Ingeniero de proceso, eléctrico y automatista.
2. Cotización del proveedor	Proveedores
3. Chequeo de la cotización	Ingeniero de proceso, eléctrico y automatista.
4. Compra del instrumento	Responsable de compras
5. Espera del plazo de entrega	-
6. Chequeo de la mercadería recibida	Ingeniero de proceso, eléctrico y automatista.

A continuación, se muestran las hojas de especificaciones construidas con la información técnica del instrumento y del proceso, correspondiente a la etapa 1, para cada tipo de instrumento necesario en la sección C.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>	TRANSMISOR DE NIVEL
Hoja de Especificación	

GENERAL	1	TAG	LT - CO1
	2	SERVICIO	Medición continua
	3	UBICACIÓN	Reactor R - C02
	4	SECTOR	Sección C
	5	FUNCIÓN	Medir el nivel del reactor
SENSOR	6	TIPO DE SENSOR	Electromagnético / De radar
	7	ORIENTACIÓN	Vertical
	8	MATERIAL	Acero inoxidable 316L
	9	LONGITUD DEL SENSOR	Máx 1,31 m
	10	CONEXIÓN A PROCESO	Bridado
	11	VOLTAJE	24 V
TRANSMISOR	12	SEÑAL DE SALIDA	Analógica / Continua
	13	RANGO	4 a 20 mA
SERVICIO	14	FLUIDO	Mezcla reaccionante
	15	DENSIDAD	1106,55 kg/m ³
	16	CALOR ESPECÍFICO	0,458 kcal/kg°C
	17	VICOSIDAD	1,41 cP
	18	PRESION MAX.	1 atm
	19	TEMP. MAX.	90 ± 5 °c
	20	CANTIDAD	1

Imagen 11.2 - Hoja de especificación transmisor de nivel. Elaboración propia.



Imagen 11.3 - Ejemplo transmisor de nivel de radar. Fuente: Siemens.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>	SWITCH DE NIVEL
Hoja de Especificación	

GENERAL	1 TAG	LSH - C02	LSH - C01	LSL - C01	
	2 SERVICIO	Medición discontinua	Medición discontinua	Medición discontinua	
	3 UBICACIÓN	Reactor R - C02	Tolva AS - C01	Tolva AS - C01	
	4 SECTOR	Sección C	Sección C	Sección C	
	5 FUNCIÓN	Indicar nivel alto	Indicar nivel alto	Indicar nivel bajo	
SENSOR	6 TIPO	Capacitivo sin contacto	Pala rotante	Pala rotante	
	7 ORIENTACION	Horizontal	Horizontal	Horizontal	
	8 MATERIAL	Acero inoxidable 316L	Acero inoxidable 316L	Acero inoxidable 316L	
	9 LONGITUD APROXIMADA	A definir por el proveedor	A definir por el proveedor	A definir por el proveedor	
	TRANSMISOR	10 CONEXIÓN A PROCESO	Bridado	Bridado	Bridado
		11 VOLTAJE	24V	24V	24V
		12 SEÑAL DE SALIDA	Digital / Discreta	Digital / Discreta	Digital / Discreta
PROCESO	13 FLUIDO	Mezcla reaccionante	Ácido salicílico	Ácido salicílico	
	14 DENSIDAD	1106,55 kg/m ³	1350,25 kg/m ³	1350,25 kg/m ³	
	15 CALOR ESPECÍFICO	0,458 kcal/kg ^o C	0,411 kcal/kg ^o C	0,411 kcal/kg ^o C	
	16 VISCOSIDAD	1,41 Cp	-	-	
	17 PRESIÓN MÁX.	1 atm	1 atm	1 atm	
	18 TEMPERATURA MÁX.	90 ± 5 °c	90 ± 5 °c	90 ± 5 °c	
	19 CANTIDAD	1	1	1	

Imagen 11.4 - Hoja de especificación switch de nivel. Elaboración propia.



Imagen 11.5 - Ejemplo detector de nivel capacitivo. Fuente: Siemens.



Imagen 11.6 - Ejemplos detectores de nivel pala rotativa. Fuente: Siemens.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Control Automático de Procesos	TRANSMISOR DE TEMPERATURA
Hoja de Especificación	

<p>1. Transmisor <input checked="" type="checkbox"/> Termostato <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">CABEZAL</p> <p>2. Roscado <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/></p> <p>3. Antiexplosivo <input type="checkbox"/> _____ Seguridad Intrínseca <input type="checkbox"/> _____</p> <p>4. Material <u>Acero inoxidable</u></p> <p style="text-align: center;">ELEMENTO DE MEDICION</p> <p>4. Platino <input checked="" type="checkbox"/> Otro _____</p> <p>5. Rango Resistencia <u>0 - 100 Ohm</u></p> <p>6. Temperatura <u>Ver cuadro debajo</u></p> <p>7. Conexión a proceso <u>Bridado</u></p> <p>8. Alimentación 24 V <input checked="" type="checkbox"/> 12 V <input type="checkbox"/></p> <p>9. Conexión Eléctrica 2-Hilos <input type="checkbox"/> 3-Hilos <input type="checkbox"/> 4-Hilos <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p style="text-align: center;">TERMOPOZO - VAINA</p> <p>10. No Incluida <input type="checkbox"/> Incluida <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>11. Material: 304AISI <input type="checkbox"/> 316AISI <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>12. Conexión a proceso: ½ in. <input checked="" type="checkbox"/> ¾ in. <input type="checkbox"/></p> <div style="text-align: center;"> </div>
---	---

TAG	TIPO	UBICACIÓN EN PROCESO	Dimensiones		RANGO T. (°C)	SECTOR	CONTIDAD	OBSERVACIONES
			"U"	"T" + "N"				
TT - C01	PT-100	Corriente L2	3,5 cm	8 cm	50 - 120	Sección C	1	Uso farmaceutico
TT - C02	PT-100	Corriente K2	3,5 cm	8 cm	50 - 120	Sección C	1	Uso farmaceutico
TT - C03	PT-100	R - C02	40 cm	8 cm	50 - 120	Sección C	1	Uso farmaceutico

Imagen 11.7 - Hoja de especificación transmisores de temperatura. Elaboración propia.



Imagen 11.8 - Ejemplo transmisor de temperatura. Fuente: Siemens.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>		VALVULA MODULANTE	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	VM-C06
	2	SERVICIO	Regulación de caudal
	3	UBICACIÓN	REACTOR R - C02
	4	DIAMETRO DE LINEA	1/2 pulg
	5	SECTOR	Sección C
	6	FUNCIÓN	Regular caudal de salida
CUERPO	7	TIPO	Diafragma
	8	CONEXIÓN	Bridada
	9	MATERIAL	Acero inoxidable 316L
ACTUADOR	10	TIPO DE ACTUADOR	Neumático
	11	FLUIDO MOTOR	Aire comprimido
	12	PRESIÓN FLUIDO MOTOR	6 barg
	13	VOLTAJE	24V
	14	SEÑAL DE SALIDA	Analógica
PROCESO	15	FLUÍDO	Mezcla reaccionante
	16	CAUDAL OPERATIVO	52,43 kg/h
	17	TEMPERATURA MÁX.	90 ± 5 °c
	18	DENSIDAD	1106,55 kg/m ³
	19	VISCOSIDAD	1,41 cP
	20	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	49,07 %p/p

Imagen 11.9 - Hoja de especificación válvula modulante. Elaboración propia.



Imagen 11.10 - Ejemplo válvula modulante. Fuente: Spirax Sarco.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>		VÁLVULA ON - OFF	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	V - C03 y V - C04
	2	SERVICIO	Control de caudal
	3	UBICACIÓN	Corriente K1 / E - C01
	4	DIAMETRO DE LINEA	1/4 pulg
	5	SECTOR	Sección C
	6	FUNCIÓN	Interrumpir
CUERPO	7	TIPO	On - Off
	8	CONEXIÓN	Bridada
	9	MATERIAL	Acero inoxidable 316L
ACTUADOR	10	TIPO DE ACTUADOR	Neumático
	11	FLUIDO MOTOR	Aire comprimido
	12	PRESIÓN FLUIDO MOTOR	6 barg
	13	VOLTAJE	24V
	14	SEÑAL DE SALIDA	Analógica
PROCESO	15	FLUIDO	Anhídrido acético
	16	CAUDAL OPERATIVO	21,95 kg/h
	17	TEMPERATURA MÁX.	Ambiente
	18	DENSIDAD	1075,08 kg/m ³
	19	VISCOSIDAD	0,84 cP
	20	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	0%

Imagen 11.11 - Hoja de especificación válvula on-off. Elaboración propia.



Imagen 11.12 - Ejemplo válvula on-off. Fuente: Spirax Sarco.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>	SWITCH FLUJO
Hoja de Especificación	

GENERAL	1	TAG	SF - C01	SF - C02
	2	SERVICIO	Medición discontinua	Medición discontinua
	3	UBICACIÓN	E - C01	E - C02
	4	SECTOR	Sección C	Sección C
	5	FUNCIÓN	Detección de flujo	Detección de flujo
SENSOR TRANSMISOR	6	TIPO	Dispersión térmica	Dispersión térmica
	7	ORIENTACION	Vertical	Vertical
	8	MATERIAL	Acero inoxidable 316L	Acero inoxidable 316L
	9	LONGITUD APROXIMADA	A definir por el proveedor	A definir por el proveedor
	10	CONEXIÓN A PROCESO	Bridado	Bridado
	11	VOLTAJE	24V	24V
	12	SEÑAL DE SALIDA	Digital / Discreta	Digital / Discreta
PROCESO	13	FLUIDO	Ácido acético recuperado	Anhídrido acético recuperado
	14	DENSIDAD	939,22 - 1028,50 kg/m ³	924,85 - 1070,31 kg/m ³
	15	CALOR ESPECÍFICO	0,311 - 0,504 kcal/kg°C	0,447 - 0,579 kcal/kg°C
	16	VICOSIDAD	0,39 - 0,92 cP	0,28 - 0,80 cP
	17	PRESIÓN MÁX.	1 atm	1 atm
	18	TEMPERATURA	120 - 30 °c	140 - 30 °c
	19	CAUDAL DE OPERACIÓN	21,95 kg/h	9,22 kg/h
	20	CANTIDAD	1	1

Imagen 11.13 - Hoja de especificación switch de flujo. Elaboración propia.



Imagen 11.14 - Ejemplo switch de flujo de dispersión térmica. Fuente: FCI.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>		VARIADOR
Hoja de Especificación		
1	TAG	VF - C01; VF - C02; VF - C03
2	TIPO DE VARIADOR	Digital
3	FUNCIÓN	Modificar rpm
4	SERVICIO	Variación de frecuencia
5	UBICACIÓN	AS - C01; B - C03; B - C04
6	SECTOR	Sección C
7	CORRIENTE DE SALIDA	0,9 a 31 A
8	CONEXIÓN DE ENTRADA	220/400 V
9	VOLTAGE DE FUNCIONAMIENTO	220/400 V
10	TIPO DE SALIDA	Triple
11	CANTIDAD	3

Imagen 11.15 - Hoja de especificación variador de frecuencia. Elaboración propia.



Imagen 11.16 - Ejemplo variador de frecuencia. Fuente: Siemens.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

<i>Control Automático de Procesos</i>		AMPERÍMETRO
Hoja de Especificación		
1	TAG	A - C01 y A - C02
2	TIPO DE AMPERIMETRO	Electrónico
3	FUNCIÓN	Arranque/Seguridad
4	UBICACIÓN	Z - B03 y Motor del reactor
5	SECTOR	Sección C
6	CORRIENTE DE TRABAJO	1,6 a 8 A
7	NÚMERO DE POLOS	3
8	MÁXIMA TENSIÓN DE AISLAMIENTO	690 V
9	RESET	MANUAL/AUTOMÁTICO
10	CANTIDAD	2

Imagen 11.17 - Hoja de especificación amperímetro. Elaboración propia.



Imagen 11.18 - Ejemplo amperímetro. Fuente: WEG.

OBRAS CIVILES

CAPÍTULO 12

12. OBRAS CIVILES

12.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza la distribución física de todas las áreas que conforman la instalación de la planta y se describen los detalles constructivos de las mismas. Una buena distribución facilita el flujo de materiales y personal, aumenta la eficiencia en la utilización de mano de obra y equipos, reduce los accidentes laborales y beneficia tanto la limpieza como el mantenimiento de los equipos e instalaciones. Por lo tanto, la distribución física tiene muchas consecuencias prácticas y estratégicas para un adecuado funcionamiento del proceso productivo.

12.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO

Como se mencionó en el capítulo 4 de Localización de la planta, esta se encuentra en el Parque Industrial Campana, el cual está ubicado sobre la Ruta Nacional N°9 km 70,4, Campana, Buenos Aires, Argentina. El predio seleccionado cuenta con una superficie total aproximada de 8.550 m² con 90 m de profundidad por 95 m de frente. El terreno elegido, que se muestra en la Imagen 12.1, se encuentra ubicado sobre la calle interna del parque a la izquierda de la entrada principal por Ruta Nacional N°9, con orientación noroeste, teniendo un único acceso sobre esta calle por donde ingresa el personal y el transporte.

Como primera disposición, se alza para el predio un cerco perimetral con premoldeados de hormigón armado y alambrado olímpico (romboidal) con terminación de tres líneas de alambres de púa. El mismo tiene una altura de 2 m y una extensión de 370 m, teniendo en cuenta las medidas ya mencionadas.

Para el correcto desplazamiento dentro del terreno, se traza una calle interna principal con una rotonda pavimentada y debidamente señalizada, por la que circulan los vehículos de transporte de materiales. Para el desplazamiento del personal a pie existen sendas para tal fin, que también se encuentran pavimentadas y señalizadas.

Además de la luminaria exterior del predio, de las calles internas y de las distintas construcciones, el paisaje se ve afectado por estructuras metálicas que sostienen las tuberías de transporte de agua de proceso y servicios auxiliares, las cuales deben tener una altura suficiente para permitir la circulación interna del personal, la cual se fija entre 4 - 5 m.

En cuanto a las instalaciones edilicias propiamente dichas, con excepción del estacionamiento, la plataforma para los tanques y las torres de enfriamiento, se encuentran bajo techo y paredes de hormigón. Sin embargo, muchas áreas se unifican en espacios comunes para aprovechar y minimizar las zonas cubiertas. En otros casos, por cuestiones de seguridad o particulares de funcionalidad, sugieren que dicho sector se encuentre aislado del resto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 12.1 - Ubicación del terreno seleccionado para la planta en el Parque Industrial Campana.
Fuente: Google Maps.

Antes de determinar el área de cada sector, se fijan los siguientes objetivos:

- Maximizar la funcionalidad de cada sector y de la planta en su totalidad.
- Minimizar el área cubierta y los materiales de construcción.
- Optimizar los desplazamientos de vehículos y personas para evitar contaminaciones cruzadas, garantizando la calidad del producto.
- Tener en cuenta futuras ampliaciones e incorporaciones de equipos.
- Promover una eficiente comunicación entre las áreas y las personas que allí se encuentran.
- Garantizar la seguridad del personal.
- Facilitar el flujo de corrientes y de información.

En la Tabla 12.1 se muestran las construcciones a emplazar divididas en cinco sectores principales, los subsectores dentro de cada una de ellas y la superficie que tendrá cada uno. Por último, en la Imagen 12.2 se exhibe la distribución general de la planta, mientras que en el Anexo III se encuentran los planos correspondientes.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 12.1 - Sectores y subsectores de la planta.

Sector	Subsector	Largo x ancho [m]	Área [m ²]
I	Cabina de ingreso	6 x 4	24
	Oficinas	6 x 15,50	93
	Comedor	10 x 5	50
II	Estacionamiento	16 x 40	640
III	Vestuarios	6 x 3	18
	Pasillo secundario	1,50 x 6	9
	Panel de control	3,50 x 5	17,50
	Oficina de planta	3,50 x 2,50	8,75
	Laboratorio	8 x 3	24
	Pasillo principal	15 x 2	30
	Sala de producción	17,50 x 26	455
	Sala de productos de limpieza	2 x 2	4
	Sala de tableros	3 x 3	9
	Filtro sanitario de la sala limpia	1,50 x 3	4,50
	Sala Limpia	7,50 x 17,40	130,50
	Sala de cuarentena	6 x 2	12
	Sala de producto terminado	7,50 x 5	37,50
	Sala de rechazo	3 x 3	9
	Playa de tanques	4 x 26	104
	Depósito de materia prima	2 x 5	10
Sala del secador	3 x 8	24	
IV	Torres de enfriamiento	3 x 2	6
	Sala de caldera	4 x 5	20
	Sala tratamiento de agua	4 x 5	20
V	Taller de mantenimiento	8 x 12	96

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

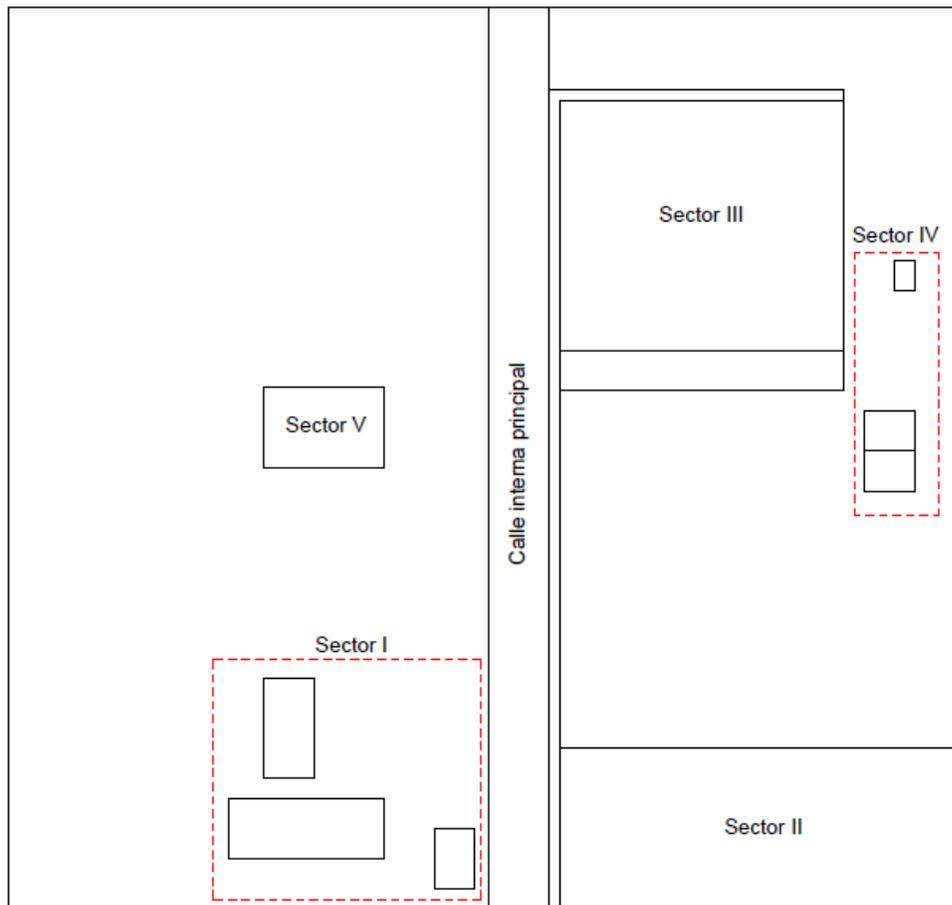


Imagen 12.2 – Distribución general de la planta. Elaboración propia.

12.2.1. Sector I

➤ Cabina de ingreso

La entrada del predio cuenta con un portón corredizo de 6 m de ancho por 2 m de alto y la cabina de ingreso, cuya función es de puesto de seguridad y control interno de la empresa, ya que el parque cuenta con seguridad propia al ingreso. En dicha cabina, se controla la entrada y salida del personal, mediante reloj biométrico, como así también de proveedores, clientes y visitas, según esto se da aviso al personal correspondiente.

Cuenta con un mobiliario conformado por: sillas, escritorio, computadora, armario archivo, teléfono, dispenser de agua y aire frío calor. Las características constructivas de este espacio son:

- Paredes de bloques de hormigón, con terminaciones en ambos lados con revoque grueso, fino y pintura látex.
- Techo a los 2,50 m de hormigón, con revoque y pintura impermeabilizante.
- Piso de microcemento alisado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Puerta de aluminio de 0,90 x 2 m. Tres ventanas con vidrio fijo y una corrediza con dirección a la calle interna principal, todas con marco de aluminio.
- Instalación eléctrica embutida e internet.

➤ Oficinas

El edificio central se encuentra a 5 m a la izquierda de la cabina de ingreso y consta de un ambiente destinado a la realización de las tareas diarias como compra y venta, logísticas y administrativas. Además, cuenta con: la oficina para el gerente de 2,50 m por 3,50 m, la oficina del jefe de calidad de 2 m por 3,50 m, la oficina de recursos humanos de 2 m por 3,50 m, una sala de reuniones de 3,50 m por 6 m, baño de 1,50 m por 1,20 m y recepción de 1,50 m por 5,80 m. Esta distribución se puede apreciar en la Imagen 12.3.

Cuenta con un mobiliario conformado por: sillas, escritorios, computadoras, impresoras, armarios varios, estanterías, mesas, sillones, teléfonos, dispenser de agua y aires frío calor. Las características constructivas de este espacio son:

- Paredes externas de bloques de hormigón, con terminaciones en ambos lados con revoque grueso, fino y pintura látex.
- Paredes internas de paneles durlock de 10 cm pintados al látex.
- Techo a los 2,50 m de hormigón, con revoque y pintura impermeabilizante.
- Piso acabado con baldosas cerámicas esmaltadas antideslizantes.
- Puertas externas de aluminio e internas de madera de 0,90 x 2 m. Ventanas de aluminio.
- Instalación eléctrica embutida, internet y agua corriente.

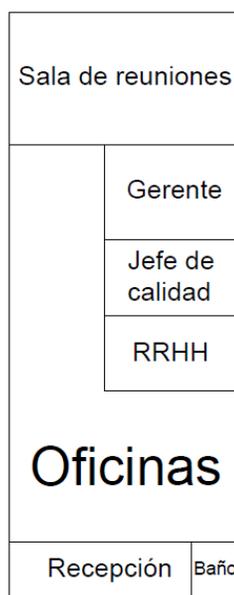


Imagen 12.3 - Distribución de oficinas. Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Comedor

Este espacio se ubica 2 m detrás de las oficinas y está destinado para todo el personal de la planta. No posee servicio diario, pero tiene los electrodomésticos necesarios como heladera, microondas, pava eléctrica, entre otros, para que el personal consuma sus comidas y/o colaciones durante los recreos.

El mobiliario incluye bajo mesada, armarios, dispenser de agua, lockers, mesas y sillas, como así también la totalidad de los utensilios necesarios. Las características constructivas del sector son:

- Paredes externas de bloques de hormigón, con terminaciones en ambos lados con revoque grueso, fino y pintura látex.
- En la parte de la mesada presenta además un recubrimiento con azulejos hasta los 2 m.
- Techo a los 2,50 m con hormigón, revoque y pintura impermeabilizante.
- Piso acabado con baldosas cerámicas esmaltadas antideslizantes.
- Aberturas de aluminio.
- Instalación eléctrica embutida y agua corriente.

12.2.2. Sector II

➤ Estacionamiento

A la derecha del ingreso al establecimiento se encuentra el estacionamiento construido con soportes de estructuras metálicas y toldos para brindar protección a los vehículos. Está compuesto por dos sectores a los costados de un espacio central, el cual está destinado para maniobrar.

Se presenta una sección para bicicletas y motocicletas y otra para automóviles. La primera de ellas se ubica en el sector derecho del estacionamiento y se reserva un espacio de 7,50 m de ancho por 5 m de largo, ocupando un área de 37,50 m².

El área que se destina para los automóviles es 357,50 m², se considera un ancho designado para cada auto de 2,50 m y un largo de 5 m, se designan dos lugares para el uso de personas con discapacidad y embarazadas con un ancho de 3,20 m, como se muestra en la Imagen 12.4. Por lo tanto, dicho estacionamiento tiene capacidad para 28 vehículos con una orientación a 90°. En la Imagen 12.5 se muestra la disposición resultante de este sector.

Las características constructivas del sector son:

- Se encuentra totalmente pavimentado.
- Se encuentra debidamente señalizado.
- Presenta la luminaria adecuada.
- La estructura es de hierro y con el objetivo de proteger a los vehículos se colocan toldos impermeables con media sombra.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

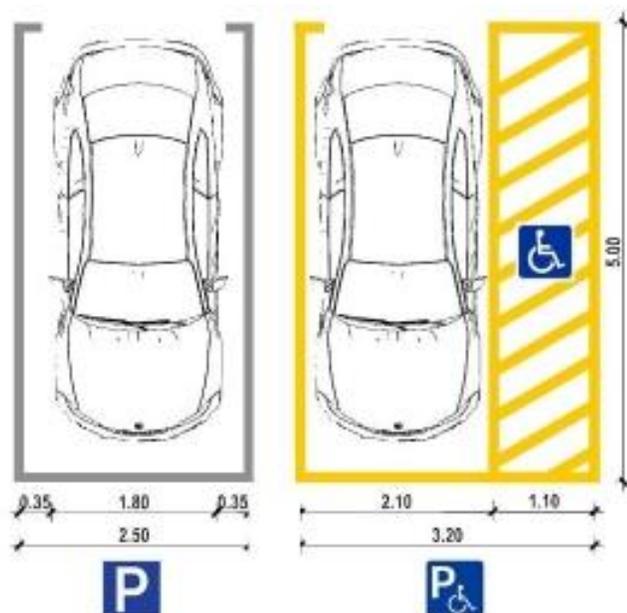


Imagen 12.4 - Medidas de plaza de estacionamiento.

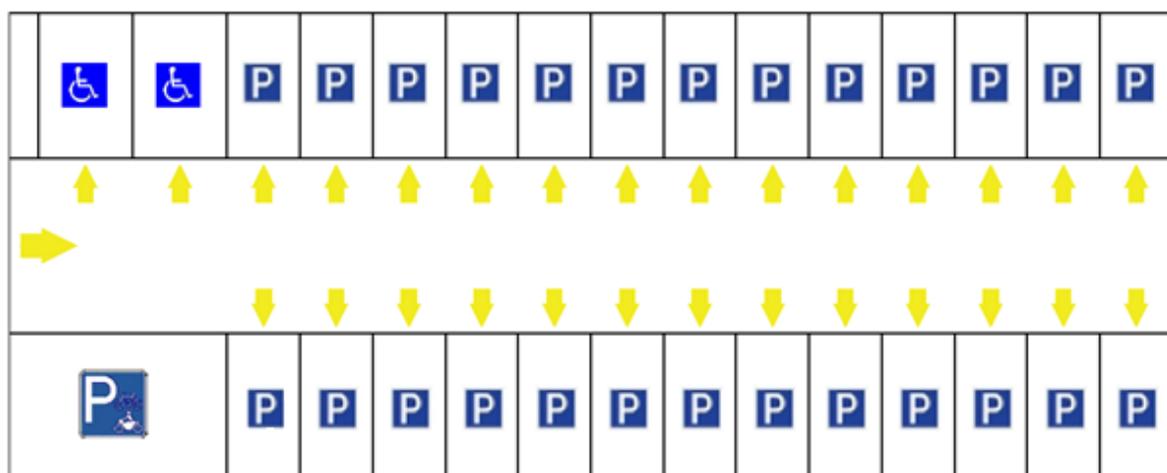


Imagen 12.5 - Distribución de estacionamiento. Elaboración propia.

12.2.3. Sector III

Todo el edificio de producción propiamente dicho consta de 26 m de ancho por 25 m de largo, posee paredes externas de bloques de hormigón con terminación por fuera con revoque grueso, fino y pintura látex, y las divisiones interiores son de paneles de Durlock de 10 cm. El techo se ubica a diferentes alturas dependiendo de la habitación, está construido de hormigón, revoque y pintura impermeabilizante. El piso es de microcemento alisado y revestido con pintura epoxy antideslizante, lavable e impermeable, con las terminaciones redondeadas para evitar la acumulación de suciedad. Todas las aberturas son de aluminio, las puertas son de una hoja de 0,90 m x 2 m y de dos hojas de 2 m x 2 m. Cuenta con la instalación eléctrica completa embutida, la correcta ventilación mediante conductos de aire, ventiladores y extractores.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

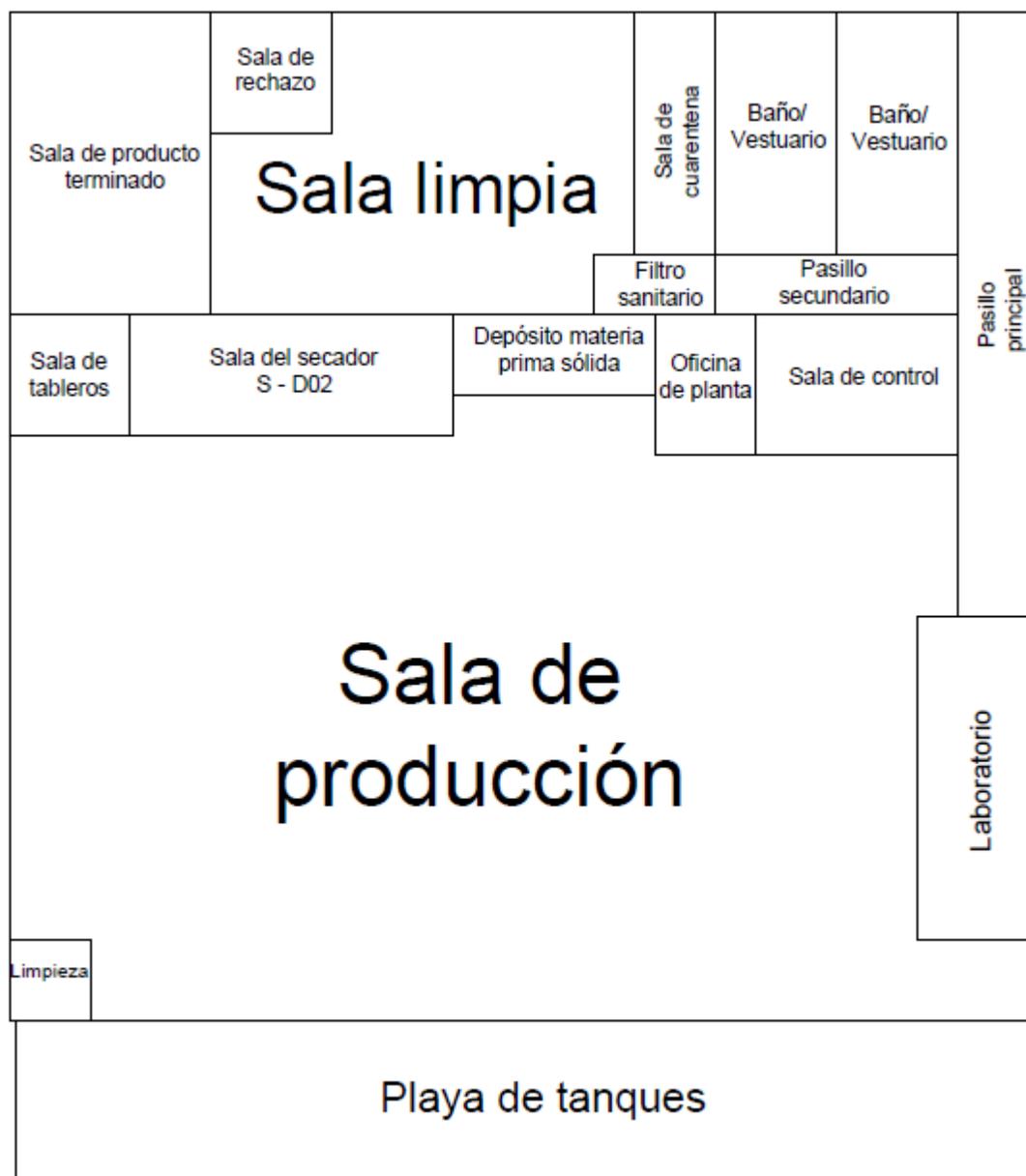


Imagen 12.6 - Distribución general de planta de producción. Elaboración propia.

➤ Vestuarios

El acceso a los vestuarios se encuentra por detrás de la planta, por medio de una senda peatonal que se encuentra en el perímetro de la misma. Son dos vestuarios idénticos de 6 m largo por 3 m ancho, correspondientes para cada sexo, cuentan con lockers individuales y bancos. Además, se instalan ventanas de vidrio fijo en la parte superior para proporcionar una buena iluminación. Cada vestuario tiene su respectivo baño de 3 m por 1,50 m, cuyo piso y paredes están revestidas de cerámico hasta una altura de 2 m, posee el juego de sanitarios completos, duchas y extractores. Cuenta con la conexión de agua corriente completa.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química



Imagen 12.7 - Distribución de baños y vestuarios. Elaboración propia.

➤ Laboratorio

El laboratorio posee 8 m de largo por 3 m ancho y acceso por el pasillo principal. El interior de las paredes está recubierto con pintura epoxi antideslizante, lavable e impermeable. Cuenta con múltiples mesadas para la ubicación de los equipos y para el trabajo diario, taburetes, archivero y computadora. Además, se instalan ventanas de vidrio fijo en la parte superior para proporcionar una buena iluminación.

Cuenta con todos los equipos, instrumentos, utensilios y espacios necesarios para realizar todos los análisis físico-químicos y microbiológicos correspondientes, detallados en el Anexo II. Posee extractores, todos los elementos de seguridad necesarios, conexión de gas natural y de agua corriente para el lavado de instrumentos.

➤ Pasillo principal y secundario

El pasillo secundario es un espacio de 1,50 m por 6 m que comunica a los vestuarios, a la sala limpia y al pasillo principal. Este último posee 15 m por 2 m, proporciona el acceso al laboratorio, sala de control y a la sala de producción, y cuenta con una puerta de salida al exterior.

Las paredes internas de ambos pasillos están recubiertas con paneles autoportantes revestidos con láminas de PRFV, proporcionando superficies lisas y de fácil limpieza. Estos tienen excelentes propiedades estructurales y sanitarias, no generan condensación ni humedad, son anticorrosivos, impermeables, aislantes térmicos y acústicos.

➤ Sala de producción

Se accede a la sala de producción por el pasillo principal y es el área donde se ubican los equipos para llevar a cabo la elaboración del producto. Estos se encuentran bien espaciados entre ellos y las paredes para facilitar el acceso, la circulación y las tareas de mantenimiento y limpieza.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Posee instaladas ventanas de vidrio fijo en la parte superior para proporcionar una buena iluminación y las paredes internas están recubiertas con los mismos paneles autoportantes de PRFV que tienen los pasillos.

➤ Panel de control y oficina de planta

El panel de control y la oficina de planta son sectores a utilizar por el personal encargado de producción, la última es especialmente para el jefe de producción. Ambas están equipadas con todo el mobiliario necesario como escritorios, mesas, sillas, computadoras, dispenser de agua, aire frío-calor. El interior de las paredes está recubierto con pintura epoxi antideslizante, lavable e impermeable.

➤ Filtro de sala limpia

Es importante evaluar el flujo de personas y materiales dentro de las salas limpias, principalmente porque el personal es la fuente de contaminación más grande en estos recintos. Es por ello que deben tener un acceso único para evitar que el espacio sea un camino hacia otros menos críticos. Para llegar a la Sala Limpia se debe pasar a través del filtro sanitario exclusivo para la misma, se accede a este por el pasillo secundario y tiene dimensiones de 1,50 m por 3 m. Posee un sistema de puertas o esclusas de cambio automático, por lo que es imposible abrir una puerta sin estar la anterior perfectamente cerrada.

El interior de las paredes de esta habitación está recubierto con pintura epoxi antideslizante, lavable e impermeable. Allí se encuentran los trajes completos que el personal debe colocarse como vestimenta adicional encima de su ropa y otros elementos como guantes y barbijos. Tiene instalado un sistema de ducha de aire para la limpieza de partículas del personal y materiales. También cuenta con el sistema completo de lavado de manos.

➤ Sala limpia y sala del secador

La sala donde se encuentra el segundo secador es parte de la sala limpia por sí misma. Junto con el recinto donde se encuentra el molino y todo el sistema de envasado, poseen las mismas características constructivas. Las paredes internas de ambas habitaciones están recubiertas con paneles autoportantes revestidos con láminas de PRFV, proporcionando superficies lisas y fácilmente limpiables. Estos tienen excelentes propiedades estructurales y sanitarias, no generan condensación ni humedad, son anticorrosivos, impermeables, aislantes térmicos y acústicos. Además, todas las puertas, ventanas de vidrio fijo, instalaciones de luz, electricidad y ventilación deben estar correctamente colocados y sellados.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Sala de cuarentena, sala de rechazo y sala de producto terminado

Una vez que el producto terminado es envasado se almacena en la sala de cuarentena a la espera de la realización de los análisis del control de calidad correspondientes, detallados en el plan de calidad del capítulo 10. Una vez obtenidos los resultados de los mismos, si el producto es aceptado se destina a la sala de producto terminado, listo para ser despachado. En caso contrario, se almacena en la sala de rechazo para reproceso u otro destino final que se le asigne. Al producto se lo envasa en distintas presentaciones: hasta 5 kg en bolsas de doble película con interior de plástico y exterior de papel de aluminio, como se muestra en la Imagen 12.8; y los envases superiores a 5 kg y hasta 25 kg en contenedor de plástico dentro de tambor de fibra, como se observa en la Imagen 12.9.

Las tres salas poseen características constructivas idénticas, el interior de sus paredes esta recubierto con paneles autoportantes de PRFV, al igual que el resto de la sala limpia. Están provistas de pallets y estantes para colocar los envases y así evitar el contacto con el suelo.



Imagen 12.8 - Envase de presentaciones hasta 5 kg.



Imagen 12.9 - Envase de presentaciones hasta 25 kg.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Depósito de materia prima

El depósito de materia prima es una sala de 2 m por 5 m donde se almacena, principalmente, el fenol sólido, el cual viene envasado en tachos de 200 kg, como se ilustra en la Imagen 12.10. Estos se colocan sobre pallets para evitar el contacto con el suelo. El interior de las paredes de la habitación esta recubierto con pintura epoxi antideslizante, lavable e impermeable.



Imagen 12.10 - Fenol sólido envasado.

➤ Sala de productos limpieza

Es una pequeña habitación de 2 m por 2 m dentro de la sala de producción donde se guardan los elementos y productos de limpieza necesarios para realizar las tareas relacionados con los mismos. Esta provista de estanterías y el interior de sus paredes esta recubierto con pintura epoxi antideslizante, lavable e impermeable.

➤ Sala de tableros

Es una pequeña habitación de 3 m por 3 m dentro de la sala de producción donde, como su nombre lo indica, se ubican los tableros correspondientes a la instalación eléctrica y a los controladores. Esta provista de buena ventilación y el interior de sus paredes esta recubierto con pintura epoxi antideslizante, lavable e impermeable.

➤ Playa de tanques

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

La playa de tanques, ubicada delante de la sala de producción, tiene 4 m por 26 m y está compuesta por una plataforma de cemento alisado donde se ubican los tanques de materias primas, agua y subproductos en sus respectivos soportes.

Al frente de la misma se cuenta con una rotonda pavimentada y espacio suficiente para que circulen los camiones que deben descargar hacia o cargar desde los tanques.

12.2.4. Sector IV

➤ Sala de caldera y sala de tratamiento de agua

Estas salas están ubicadas en el límite derecho del terreno y a 25 m atrás del estacionamiento. Ambas poseen dimensiones de 5 m x 4 m (20 m²) y una altura de 3 m. Las características constructivas de esta sala son idénticas:

- Paredes de bloques de hormigón, con terminaciones en ambos lados con revoque grueso, fino y pintura látex.
- Techo a los 3 m de hormigón, con revoque y pintura impermeabilizante.
- Piso de microcemento alisado.
- Puertas de aluminio de 0,90 x 2 m.
- Instalaciones eléctricas embutidas.
- Conexión de gas natural para la sala de calderas.

➤ Plataforma de torres de enfriamiento

La plataforma de la torre de enfriamiento está construida de cemento alisado y se ubica a 12 m por detrás de la sala de caldera, con el objetivo de que se encuentre alejada para proporcionar una buena circulación de aire y un correcto funcionamiento de las torres.

12.2.5. Sector V

➤ Taller de mantenimiento

Para el taller de mantenimiento se provee un espacio de 8 x 12 m (96 m²), el cual se considera suficiente para ubicar las distintas herramientas, equipos y una correcta circulación del personal. Está ubicado a aproximadamente 20 m atrás del Sector I y a 10,50 m a la izquierda de la calle principal. En su interior cuenta con una pequeña oficina para tareas administrativas correspondientes y un baño para los empleados del sector. El mobiliario está constituido por: mesas, mesadas, estanterías y todas las herramientas necesarias para llevar a cabo las tareas de mantenimiento. Está construido con paredes externas de bloques de hormigón con un tinglado a 5 m de altura y piso de microcemento alisado, cuenta con paredes internas de Durlock de 10 cm para realizar las divisiones.

*ORGANIZACIÓN DE LA
EMPRESA*

CAPÍTULO 13

13. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

13.1. INTRODUCCIÓN

Una empresa se puede definir como una unidad formada por un grupo de personas y bienes materiales y financieros que tienen como objetivo producir un bien o prestar un servicio que cubra una necesidad, y por el que se obtengan beneficios. Para lograr esto es necesario contar con una estructura funcional que permita un desarrollo eficaz de las tareas que deben realizarse. Toda empresa requiere de una razón de ser, una misión, una estrategia, un plan de negocios, objetivos, tácticas y políticas de actuación.

En este capítulo se establece el tipo de sociedad comercial adoptada, se mencionan las diferentes áreas que integran la empresa junto con el personal necesario y se elabora un organigrama donde se da a conocer la distribución jerárquica dentro de la misma. Además de lo mencionado, se detallan las actividades de los diferentes puestos de trabajo, en el cual se destaca que para desarrollar su actividad correspondiente y llevar a cabo los objetivos planteados, la empresa dispone de la tecnología que fuese necesaria para conseguirlo.

Los empleados de esta empresa pertenecen a la industria farmacéutica, esto significa que corresponden al convenio colectivo de la Asociación de Trabajadores de la Sanidad Argentina (ATSA), cuyo convenio colectivo es el CCT 42/89.

13.2. TIPO DE SOCIEDAD COMERCIAL

Se determina la naturaleza jurídica de la empresa en base a las formas establecidas por la Ley de Sociedades Comerciales 19550, que contempla una gran variedad de tipos societarios. No obstante, los más utilizados en nuestro país son la sociedad anónima (S.A.) y la sociedad de responsabilidad limitada (S.R.L.). Los aspectos a tener en cuenta para seleccionar el tipo de empresa son:

- La dimensión de la industria, en base al nivel de producción.
- La responsabilidad que asumen los socios, siempre es preferible un tipo social que no comprometa el patrimonio de los socios como son la S.R.L. y la S.A.
- Los impuestos que deberán afrontar según a qué tipo de sociedad representen.
- De acuerdo a la actividad que se lleve a cabo, disponen de sus respectivas medidas legales y reglamentarias.
- El conocimiento de las virtudes y defectos del mercado en el que opera la sociedad.

La forma jurídica adoptada para esta empresa es la de sociedad anónima, en donde la responsabilidad de cada socio o accionista es proporcional al capital que haya aportado. Esto hace que este tipo de sociedad represente una seguridad financiera bastante alta respecto de las

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

demás, debido a que sus socios deben responder, como máximo, con el capital aportado. Para su conformación se requiere un mínimo de dos accionistas, siendo el máximo ilimitado. Las acciones pueden cotizar, o no, en el mercado de valores local.

En la S.A. el directorio está compuesto por uno o más miembros, que pueden ser o no accionistas, el capitalista no es el director obligado ni la dirección debe ser función privativa del capital. En otras formas societarias se presentan unidos necesariamente el capital y la dirección. A su vez, debe recalcar, que la S.A. es el tipo societario que predomina en el mundo globalizado, es la sociedad capitalista por excelencia, y numerosas empresas prestigiosas, han adoptado esta forma societaria.

13.3. ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

La estructura organizacional de una industria tiene como objetivo alcanzar las metas planteadas, que se logra a través del uso coordinado de recursos. Para ello, debe existir una administración que defina y estructure los roles que los miembros de la organización deben ejecutar. La estructura de una empresa puede ser constituida de diferentes formas, existiendo relaciones tanto jerárquicas (presidente, vicepresidente, directores, gerentes, etc.) como lineales, en donde no existen cargos de mayor importancia que otros, por lo que todos los empleados gozan de los mismos beneficios y son instados a cubrir las mismas obligaciones.

Se considera que la dirección de la empresa es descentralizada, es decir que se caracteriza por la delegación de autoridad y responsabilidad a las diferentes unidades en las que se estructura la organización, con el fin de alcanzar mejor los objetivos.

La representación de una organización se hace a través de un organigrama, el cual expone las áreas funcionales en las que se divide la empresa. Para la organización interna se trabaja con departamentos que se crean en función de las actividades a realizar, donde todos poseen un jefe que responde a la gerencia general. Para lo referido a higiene y seguridad se contrata a un tercero, por lo cual no se considera como departamento.

En la Imagen 13.1 se representa el organigrama de la empresa, donde se muestran los diferentes departamentos o áreas de trabajo.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

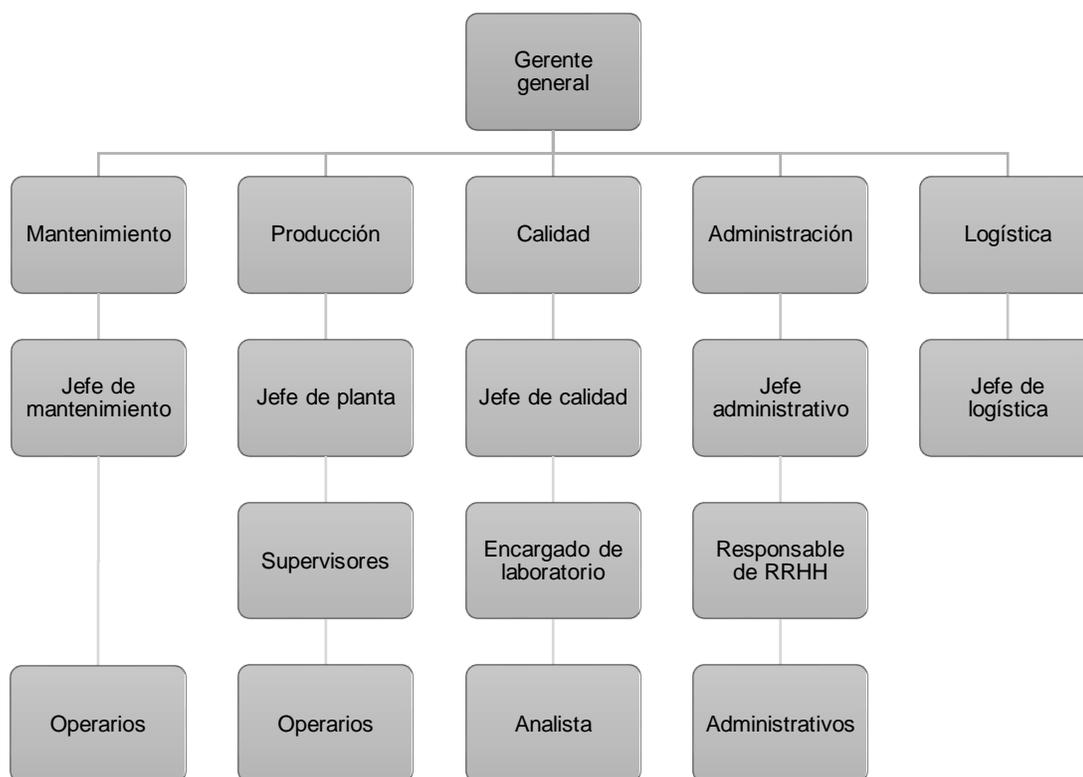


Imagen 13.1 – Organigrama de la empresa.

13.3.1. Descripción de funciones por puesto

A continuación, se detallan las funciones de cada departamento y los miembros que lo componen.

➤ Gerente general

El gerente general es la máxima autoridad de la planta, es quién desarrolla y define los objetivos organizacionales, como así también planifica el crecimiento de la empresa a corto y largo plazo. Desempeña funciones empresariales y de gestión esenciales para la existencia de la empresa. Tiene la función de organizar, decretar las actividades y coordinarlas dentro de una estructura organizada. Debe representar legalmente a la empresa, decide sobre la ejecución de proyectos, dispone de la capacidad operativa, controla los costos y la rentabilidad, determina la política de calidad y recursos humanos. Además, ejerce supervisión directa sobre los gerentes departamentales y responsables de los sectores críticos de la organización, siendo el encargado de designarlos o removerlos cuando sea necesario.

➤ Departamento de mantenimiento

Se encarga de proporcionar, oportuna y eficientemente, los servicios que requiera la empresa en materia de mantenimiento preventivo y correctivo a las instalaciones. Dentro de este

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

departamento se encuentra el jefe de mantenimiento y operarios, cuyas actividades se describen a continuación:

Jefe de mantenimiento

- Es el encargado de la supervisión, mantenimiento y reparación de las instalaciones y equipos.
- Planifica los tiempos de mantenimiento y los pedidos de repuestos.
- Coordina el mantenimiento preventivo con el sistema de producción.
- Controla la correcta ejecución de las tareas de montaje tales como soldaduras, conexiones, fijación, soportes, etc.
- Examina las especificaciones técnicas del equipamiento que se va adquirir, colaborando ante una toma de decisión en la compra del mismo.
- Garantiza que se cumpla con las condiciones de instalación y puesta en marcha.
- Verifica la calidad técnica de los trabajos que se ejecuten y de las personas que los lleven a cabo.

Operarios

- Encargados de ejecutar el plan de mantenimiento definido por el jefe de mantenimiento.
- Reparación física de cualquier avería en equipos, instalaciones, o aparatos en general.

➤ Departamento de producción

Dentro de este departamento se encuentra el jefe de planta, supervisores y operarios, cuyas actividades se describen a continuación.

Jefe de planta

- Es el responsable máximo de la conducción del área.
- Coordina la mano de obra, la organización de los materiales, las instalaciones, las herramientas, servicios y la entrega del producto terminado.
- Es de su total responsabilidad cumplir con los estándares de calidad, higiene y seguridad, con la finalidad de conseguir un producto inocuo acorde a las exigencias del mercado.

Supervisores

- Responde directamente al jefe de producción, e informa ante cualquier tipo de problema o desviación que pueda suceder.
- Es el encargado de la supervisión, ejecución y coordinación de las actividades de producción estableciendo prioridades y manejando efectivamente los recursos disponibles, asegurando de esta manera el cumplimiento de los planes establecidos por el jefe o gerente de producción.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Inspecciona la calidad, las cantidades y las características de los materiales de construcción que tiene en su poder, tales como cañerías, accesorios, válvulas, instrumentación, entre otros, para lograr que cada una de las secciones presentes en la planta funcione correctamente.
- Garantiza que se cumplan con las etapas de instalación, de puesta en marcha y el mantenimiento preventivo de los equipos.
- Supervisa a los operarios, a los cuales debe impartir ordenes claras y precisas, favoreciendo el buen clima laboral y motivándolos para que realicen su tarea correctamente.

Operarios

- Se encargan de manejar los equipos de acuerdo a lo indicado por el supervisor de producción.
- Controla las distintas variables del proceso, manteniendo la planta en orden y en condiciones de limpieza.
- Completa los registros.
- Informa desperfectos o desviaciones a su supervisor.
- Toma de muestras en líneas de proceso que se corresponden con el plan de calidad definido.

➤ Departamento de calidad

Es el área que tiene como objetivo principal el control, para evitar que los productos defectuosos lleguen a los clientes, y que tanto el proceso como los productos cumplan con los requisitos internos y externos, asegurando resultados consistentes. Se ocupa de asegurar el cumplimiento de los objetivos que se han planteado en las etapas previas dentro de los plazos previstos y con los recursos que han sido asignados. Dentro de este departamento se encuentra el jefe de calidad, el encargado de laboratorio y analistas, cuyas actividades se describen a continuación:

Jefe de calidad

- Se encarga de hacer cumplir las especificaciones impuestas del producto.
- Comprende todo lo referido a las funciones de desarrollo de métodos de control, la inspección de los ensayos que se lleven a cabo, los reclamos de clientes y la recuperación de materiales rechazados o fuera de uso.
- Es el encargado de desarrollar e implementar procedimientos internos y de certificación de normas, para lo cual debe trabajar conjuntamente con las áreas vinculadas a esto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Controla que las variables de proceso estén dentro de lo previsto, en caso contrario reporta al jefe de producción.
- Debe garantizar que se estén utilizando las materias primas adecuadas.
- Debe tener registro de todos los procedimientos realizados y de los controles fisicoquímicos que se hagan a materias primas, productos intermedios y productos terminados.
- Solicita la toma de muestras en campo y analiza sus resultados para verificar desvíos en las condiciones de proceso.
- Administra la documentación técnica manteniéndola constantemente actualizada, en especial aquella que este en la base de datos del laboratorio.
- Es el encargado de implementar una política de higiene y seguridad, donde exija el uso de la vestimenta adecuada para realizar el trabajo.
- Controla el despacho del producto terminado.

Encargado de laboratorio

- Controla los análisis que desarrollan los analistas y realiza stock de insumos generales del laboratorio.
- Presenta semanalmente un informe al jefe de calidad con los resultados de los análisis realizados.
- Mantiene la seguridad, el orden y la limpieza del laboratorio.

Analistas

- Realiza los controles fisicoquímicos y microbiológicos de materias primas, productos terminados, corrientes de procesos y equipos.
- Mantiene el orden y la limpieza del laboratorio.
- Toma de muestras que se corresponden con el plan de calidad definido.

➤ Departamento de administración

Se encarga de la planificación, dirección y medición de los resultados de las operaciones monetarias de la empresa. Además, abarca todo lo relacionado a la contabilidad, costos, cobros, pagos, balances, créditos, presupuestos, entre otros. Es el encargado de evaluar continuamente el estado económico financiero de la empresa, manteniendo informada a la gerencia. Dentro de este departamento se encuentra el jefe administrativo, el responsable de recursos humanos y personal administrativo, cuyas actividades se describen a continuación:

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Jefe administrativo

- Su función principal es controlar, coordinar y supervisar que se realicen todos los procedimientos contables y administrativos que comprendan al funcionamiento interno de la organización.
- Lleva a cabo la ejecución de inscripciones y trámites ante organismos oficiales.
- Realiza la evaluación crediticia de clientes.
- Comprende el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados.
- Determina las políticas de ventas, presupuesto y embalajes. Involucra, además, los procesos de compra y recepción de materia prima.
- Garantiza el cumplimiento de los objetivos de ventas del producto elaborado, cumpliendo las políticas de la empresa.
- Verifica el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabaja en conjunto con el área legal de la planta en lo que se refiera a la redacción de contratos y órdenes de compra.

Responsable de recursos humanos

- Se encarga de organizar el personal, esto consiste en planificar las plantillas de acuerdo con la organización de la empresa, diseñar los puestos de trabajo oportunos, definir funciones y responsabilidades, prever las necesidades de personal a medio y largo plazo, analizar los sistemas retributivos y de promoción interna.
- Se encarga del reclutamiento cuando es necesario, a partir de un conjunto de procedimientos encaminados a atraer candidatos competentes para un puesto de trabajo a la empresa.
- Desde recursos humanos han de controlarse aspectos como el absentismo, las horas extraordinarias, los movimientos de plantilla, la pirámide edad o las relaciones laborales, además de corregir los desajustes entre las competencias del trabajador y las exigidas por el puesto.
- Evalúa el desempeño y control del personal.

Personal administrativo

- Es el personal encargado de la atención al público en general, y de ayudar a llevar a cabo las tareas de administración de forma correcta y segura.
- Realiza altas y actualizaciones de cuentas de proveedores y clientes, inscripciones y trámites ante organismos oficiales, evaluación crediticia de clientes.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Departamento de logística

Es el encargado de realizar las compras de materias primas e insumos que se utilizan en las distintas partes de la empresa, fijando las políticas de abastecimiento. Su función está en constante relación con los departamentos de producción y administración, y fundamentalmente con los proveedores de la empresa.

Comprende el planeamiento para comercializar el producto en el lugar, cantidad, tiempo y precios adecuados. Incluye las funciones de determinación de políticas de ventas, presupuesto, embalajes y el movimiento de los productos desde el lugar de almacenamiento hasta el punto de utilización o consumo. Encierra, además, las funciones de almacenamiento de producto, expedición y servicio posventa. Dentro de este departamento se encuentra el jefe de logística, cuyas actividades se describen a continuación:

Jefe de logística

- Cumple con los objetivos de ventas del producto elaborado, alineándose a las políticas de la empresa.
- Crea relaciones comerciales con clientes y/o proveedores.
- Establece la política de precios del producto final.
- Define e implementa planes de acción para reducir costos, los plazos de entrega y mantener los stocks necesarios para responder a las necesidades del cliente.
- Negocia y gestiona la compra y entrega de materias primas e insumos.
- Verifica el abastecimiento en tiempo y forma según el plan de producción.
- Trabaja junto con el área administrativa de la planta en la redacción de órdenes de compra.
- Gestiona el abastecimiento de materiales menores: ropa de trabajo, repuestos para maquinarias, entre otros.
- Realiza el seguimiento de la distribución del producto final.
- Realiza informes de costos.
- Realiza mensualmente el stock de la planta, coordinando información con otros sectores.

➤ Responsable de higiene y seguridad

Es un profesional externo contratado para controlar el cumplimiento de normas de higiene y seguridad, el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Dirige los programas de capacitación en materia de seguridad industrial e higiene ocupacional.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

13.4. ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TURNOS DE TRABAJO

La empresa está en funcionamiento todo el año, excepto por 2 semanas en donde se realiza una parada para mantenimiento general de las instalaciones. Como se menciona en el capítulo 7 la capacidad anual de la planta es de 70010 kg. Se trabaja desde el día lunes a viernes 120 horas por semana, quedando la mayor parte del sábado y los domingos en parada.

A continuación, se detallan los horarios de trabajo para el personal, el cual difiere según al departamento que pertenezca o función a realizar.

- Horario turno fijo: Para las personas que desempeñan sus labores en turno fijo, el horario a cumplir es de 8 a 17 horas, el cual incluye 30 minutos de refrigerio para el almuerzo. Este horario abarca el departamento de administración, logística, recursos humanos, el gerente general y los jefes de departamento.
- Horario rotativo: Se establece turnos de 8 horas con 30 minutos de refrigerio para todo el personal asociado a producción, entre ellos los operarios, el personal de mantenimiento, calderistas, analistas de laboratorio, y el guardia de seguridad. Los turnos rotativos se encuentran distribuidos de la siguiente manera:
 - Turno mañana: de 5:00 a 13:00 h.
 - Turno tarde: de 13:00 a 21:00 h.
 - Turno noche: de 21:00 a 5:00 h.

El sábado a las 5:00 a.m. finaliza la jornada laboral, retomando las actividades el lunes a las 5:00 a.m. Las horas del sábado son aplicables exclusivamente para los trabajadores del turno noche, en cambio para los trabajadores de turno fijo, el descanso comienza el viernes a las 17:00 horas retomando sus actividades el lunes a las 8:00 horas.

En la Tabla 13.1 se detalla la formación requerida para cada puesto, el tipo de horario laboral y la cantidad de personas que se necesitan.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 13.1 – Personal de la planta.

Departamento	Puesto	Formación	Horario	Cantidad
Gerencia	Gerente general	Lic. en administración de empresas	Fijo	1
Producción	Jefe de planta	Ing. Químico	Fijo	1
	Supervisor	Técnico/Ing. Químico	Rotativo	3
	Operario	Bachiller	Rotativo	9
Mantenimiento	Jefe de mantenimiento	Ing. Mecánico	Fijo	1
	Operario	Bachiller, experiencia en talleres	Rotativo	3
	Operario de caldera	Bachiller, con habilitación técnica de calderista	Rotativo	3
Calidad	Jefe de calidad	Ing. Químico	Fijo	1
	Encargado de laboratorio	Lic. en Química	Fijo	1
	Analista	Técnico Químico	Rotativo	3
Administración	Jefe administrativo	Lic. en administración de empresas	Fijo	1
	Responsable de RRHH	Lic. en recursos humanos	Fijo	1
	Administrativo	Estudiantes avanzados en carreras contables/Técnicos administrativos	Fijo	2
Logística	Jefe de logística	Técnico superior en logística	Fijo	1
Externo	Responsable de H y S	Técnico en higiene y seguridad	8 horas/mes	1
Seguridad	Guardia de seguridad	Secundario completo	Rotativo	3

*ESTUDIO ECONÓMICO
FINANCIERO*

CAPÍTULO 14

14. ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

14.1. INTRODUCCIÓN

La evaluación económica financiera es un método de análisis que permite conocer la viabilidad concreta de un proyecto a lo largo de un período determinado y su rentabilidad real en el mediano y largo plazo.

Al concretar un proyecto debe invertirse un capital significativo, que se espera recuperar junto con ganancias propias de la actividad. El rendimiento de este debe ser sustancial, de lo contrario sería más sencillo invertir en otras opciones menos riesgosas del mercado.

El análisis realizado en los capítulos anteriores permitió determinar la existencia de un mercado potencial por cubrir y la viabilidad técnica del proyecto en cuestión. En el presente capítulo, por su parte, se va a analizar la posible rentabilidad del mismo, en especial, su viabilidad. A continuación, se mencionan los objetivos propuestos:

- La estimación de la inversión y sus componentes principales, para establecer el valor del crédito necesario para cubrirla.
- Estimar los ingresos anuales por venta del ácido acetil salicílico y el subproducto (ácido acético).
- El cálculo y análisis de los costos fijos y variables, entre los que se encuentran factores determinantes para la producción, como lo son: costos de materias primas e insumos, mano de obra, servicios, financieros, entre otros.
- La determinación del estado de resultados que permite conocer si la empresa luego de cancelar los costos totales e impuestos obtiene utilidades netas positivas.
- El cálculo de los indicadores económicos más utilizados para determinar la rentabilidad de un proyecto. Estos son el VAN, la TIR y el PRI.
- Realizar un análisis de sensibilidad que permita deducir las condiciones en las que la empresa sigue siendo rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo.
- Establecer si el proyecto es viable analizando los ítems anteriores.
- Redactar conclusiones y brindar sugerencias para los aspectos más débiles del proyecto.

El proyecto se evalúa en un período de 10 años y todos los montos de dinero están expresados en pesos argentinos, utilizando una relación de cambio respecto al dólar de 77,00 \$/USD (Banco Nación, 2020).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.2. INVERSIÓN

Se entiende como inversión al capital necesario para hacer frente al proyecto, el cual está compuesto por activos fijos, activos nominales y capital de trabajo. Se necesita calcular el monto total de la inversión a realizar. En la Imagen 14.1 se detallan los componentes de la inversión y las categorías más importantes de estos.

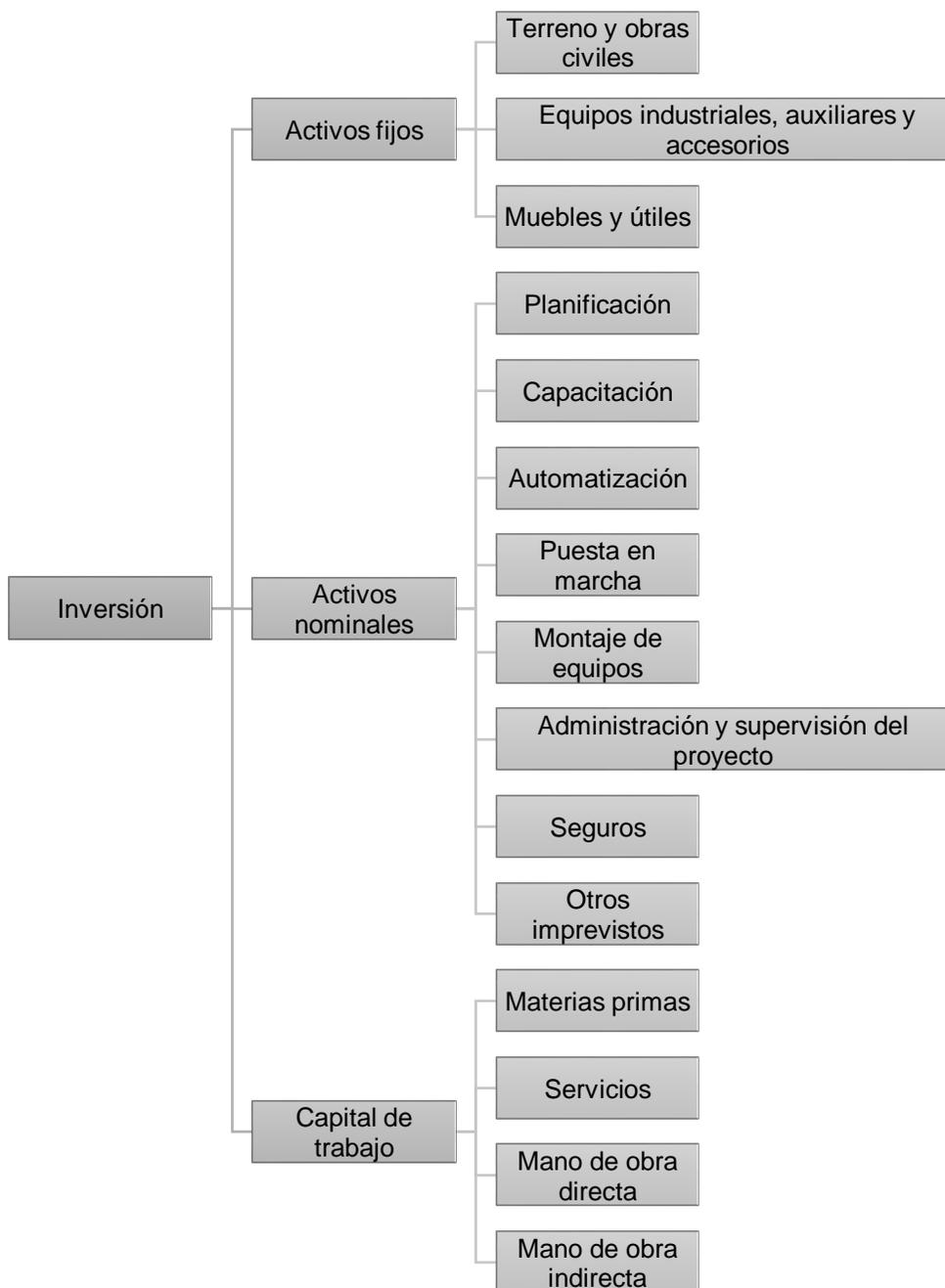


Imagen 14.1 - Componentes de la inversión. Elaboración propia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.2.1. Activos fijos

Se denominan activos fijos a aquellos bienes que son de naturaleza permanente en el período de actividad de la compañía, ya que se consideran indispensables para el normal desarrollo de la misma. Esto supone que no serán vendidos ni desechados en el corto plazo.

Los activos fijos incluyen las instalaciones civiles, equipos industriales y adicionales, bombas, tuberías, accesorios y los mobiliarios necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto en el período establecido. A efectos contables están sujetos a depreciación, debido a que estos pierden su valor por el desgaste provocado a causa del uso.

En la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 12/08/2020 del Banco de la Nación Argentina fue de \$77,00.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en el país perciben el 21% de impuesto al valor agregado, pero los bienes de capital están gravados con un 10,5%.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor del 1%.

➤ Terreno y obras civiles

En este apartado se detallan aquellas cuestiones inherentes a la infraestructura de la planta y su terreno. Los importes se determinaron de acuerdo a la información obtenida mediante relevamiento por internet, en la página web Soluciones Especiales y por colaboración del Ing. Civil Gustavo Alberto Bonetto. El precio del terreno se estima por consulta a la Inmobiliaria Cadema S.A. Los montos se resumen en la Tabla 14.1.

Tabla 14.1 - Terreno y obras civiles.

Rubro	Superficie (m ²)	Monto (\$/m ²)	Total (\$)
Terreno	8.550	4.620	39.501.000
Estacionamiento	640	4.020	2.572.800
Cabina de seguridad	24	22.580	541.920
Oficinas	93	21.500	1.999.500
Comedor	50	29.335	1.466.750
Sala de caldera	20	29.940	598.800
Sala de agua	20	22.580	451.600

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Taller de mantenimiento	96	22.580	2.167.680
Laboratorio	24	29.940	718.560
Baños y vestuarios	36	31.945	1.150.020
Planta de producción	543	28.000	15.204.000
Sala limpia	217,50	28.000	6.090.000
Playa de tanques	104	3.620	376.480
Parquización	-	197.505	197.505
Cerco perimetral (m)	1.221.000	3.300	1.221.000
Calle interna	1.636.200	3.030	1.636.200
Total obras civiles sin IVA			75.893.815
Total obras civiles con IVA			91.831.516

➤ Equipos industriales, auxiliares y accesorios

En esta sección se especifican los bienes de capital relacionados directamente a la producción del ácido acetil salicílico, donde se incluyen a los equipos principales, bombas, tuberías con sus accesorios y elementos necesarios para el control automático del proceso. Se considera el costo del flete del 1% en base al costo total del equipo, en cuanto al IVA se establece el 10,5% para los equipos, ya que son bienes de capital, y el 21% para su transporte. En la Tabla 14.2 se resumen los valores.

Tabla 14.2 - Equipos industriales, auxiliares y accesorios.

Equipo	Cantidad	Precio unitario (\$/u)	Flete (\$)	Precio final (\$)
Mezclador M – A01	1	238.700	2.387	241.087
Reactor R – A01	2	2.400.420	48.008	4.848.848
Tolva TV – A01	1	1.400.000	14.000	1.414.000
Tanque TW – B01	1	402.941	4.029	406.970
Torre TD – B01	1	462.000	4.620	466.620
Tanque TP – B01	1	247.940	2.479	250.419
Centrífuga C – B01	1	4.015.000	40.150	4.055.150
Secador S – B01	1	6.160.000	61.600	6.221.600

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Reactor R – C02	1	788.095	7.881	795.976
Filtro F – D01	1	2.044.000	20.440	2.064.440
Torre D – D01	1	540.000	5.400	545.400
Secador S – D02	1	6.400.000	64.000	6.464.000
Molino MT – D01	1	1.771.000	17.710	1.788.710
Tolva TV – D02	1	961.900	9.619	971.519
Envasadora N – D01	1	4.840.000	48.400	4.888.400
I – A01	2	271.502	5.430	548.434
I – B02	1	130.900	1.309	132.209
I – C03	1	161.700	1.617	163.317
I – C04	1	119.350	1.194	120.544
E – C01	1	150.150	1.502	151.652
E – C02	1	119.350	1.194	120.544
I – D05	1	190.190	1.902	192.092
I – D06	1	219.065	2.191	221.256
T – 001	1	955.000	9.550	964.550
T – 002	1	940.000	9.400	949.400
T – 003	1	1.355.000	13.550	1.368.550
T – 004/005	2	790.000	15.800	1.595.800
T – 006/007	2	61.000	1.220	123.220
T – 008/009/010 CIP	3	700.000	21.000	2.121.000
Tanque agua cruda	1	99.500	995	100.495
Caldera W – 001	1	1.773.900	17.739	1.791.639
Torre de enfriamiento TE – 001/002	2	123.200	2.464	248.864
Equipo ósmosis inversa OI – 001	1	770.000	7.700	777.700
Compresor K – A01	2	462.000	9.240	933.240
B – A01/B08	2	192.500	3.850	388.850
B – B02/B04/D11/D12	4	184.800	7.392	746.592

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

B – B03	1	188.650	1.887	190.537
B – B05	1	184.030	1.840	185.870
B – 006	1	115.900	1.159	117.059
B – A07	1	200.200	2.002	202.202
B – 009	1	125.679	1.257	126.936
B – 010	1	188.085	1.881	189.966
B – 013	1	105.685	1.057	106.742
Motor B34R(E) – 63 – 4P	4	8.008	320	32.352
Motor B34R(E) – 63 – 6P	1	9.394	94	9.488
Motor B34R(E) – 71 – 8P	1	10.703	107	10.810
Motor B14R(E) – 160L – 6P	2	69.300	1.386	139.986
Caja reductora FD – 35 – R1:10	4	9.300	372	37.572
Caja reductora FD – 170 – R1:10	2	90.000	1.800	181.800
Caja reductora FD – 63 – R1:60	2	15.200	304	30.704
Cañerías (m)	850	560	4.760	480.760
Válvulas	48	6.140	2.947	297.667
Sensor de temperatura	16	18.900	3.024	305.424
Transmisor de nivel	1	230.000	2.300	232.300
Sensor de nivel on – off líquidos	10	75.000	7.500	757.500
Sensor de nivel on – off sólidos	4	72.000	2.880	290.880
Variador de frecuencia	13	7.900	1.027	103.727
Amperímetro	14	1.825	256	25.806
Switch de flujo	2	6.100	122	12.322

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Luz Philips MasterConect	56	150	84	8.484
Luz Philips Essential	98	332	325	32.861
Luz Philips UrbanPlus	16	277	44	4.476
Total equipamiento sin IVA				53.297.317
Total equipamiento con IVA				58.948.944

➤ Muebles y útiles

Se tienen en cuenta los elementos que no se encuentran involucrados directamente con la producción, pero son necesarios para efectuar las actividades cotidianas y administrativas, además de generar las condiciones adecuadas para el trabajo. En la Tabla 14.3 se detallan los muebles y útiles.

Tabla 14.3 - Muebles y útiles.

Mobiliario	Cantidad	Precio unitario (\$/u)	Flete (\$)	Precio final (\$)
Escritorio	8	7.800	624	63.024
Sillas escritorio	8	8.000	640	64.640
Sillas	15	1.500	225	22.725
Computadora	8	39.000	3.120	315.120
Mesa	1	15.000	150	15.150
Microondas	1	20.000	200	20.200
Heladera	1	35.000	350	35.350
Pava eléctrica	2	3.500	70	7.070
Aire acondicionado	5	42.000	2.100	212.100
Armario	5	16.000	800	80.800
Archivero	4	16.000	640	64.640
Lockers	2	24.000	480	48.480
Banco para vestuario	2	2.000	40	4.040
Impresora	3	40.000	1.200	121.200
Total muebles y útiles sin IVA				1.074.539
Total muebles y útiles con IVA				1.300.192

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Resumen de activos fijos

En la Tabla 14.4 se resumen los montos de las diferentes categorías de los activos fijos, y además se calcula la participación porcentual sobre el total de la inversión de los bienes. En la Imagen 14.2 se observan los resultados

Tabla 14.4 - Resumen de activos fijos.

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Terreno y obras civiles	91.831.516	60,38 %
Equipos industriales y accesorios	58.948.944	38,76 %
Muebles y útiles	1.300.192	0,85 %
Total activos fijos	152.080.652	100 %

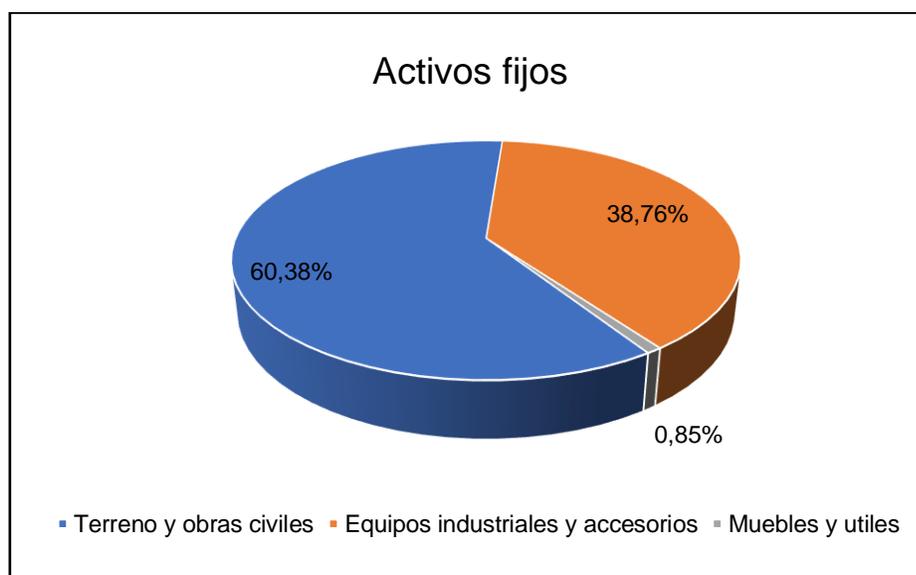


Imagen 14.2 – Resumen de activos fijos.

Como se muestra en la Imagen 14.2, aproximadamente el 60% de los activos fijos corresponden al terreno y obras civiles, el 38,76% representa a los equipos industriales mientras que el mobiliario no influye considerablemente en la inversión de los activos fijos.

14.2.2. Activos nominales

Son el conjunto de bienes inmateriales, representados en derechos, privilegios o ventajas de competencia, que contribuyen a un aumento en ingresos o utilidades por medio de su empleo en el curso normal de los negocios. Son inversiones que se realizan previo a la puesta en marcha

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

del proyecto, las cuales no se recuperan, pero deben ser amortizadas durante el período correspondiente. Para el cálculo de los mismos se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Planificación: corresponde al 5% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.
- Capacitación: corresponde al 1% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.
- Automatización: se estima que su costo es del 1% en base al monto total de maquinarias, sin tener en cuenta el flete y el IVA.
- Puesta en marcha: corresponde al 5% del monto total de los equipos, sin tener en cuenta el flete y el IVA.
- Montaje de equipos: corresponde al 2% del monto total de los equipos, sin tener en cuenta el flete y el IVA.
- Administración y supervisión del proyecto: corresponde al 2% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.
- Seguros: corresponde al 2% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.
- Otros imprevistos: se estima que su costo es del 1% en base al monto total de maquinarias, sin tener en cuenta el flete y el IVA.

En la Tabla 14.5 se detallan los montos sin IVA, y en la Imagen 14.3 se representan con la finalidad de una mejor visualización.

Tabla 14.5- Activos nominales.

Categoría	Costo (\$)	Porcentaje (%)
Planificación	6.513.284	25,08%
Capacitación	1.302.657	5,02%
Automatización	527.696	2,03%
Administración y supervisión del proyecto	2.605.313	10,03%
Montaje de equipos	10.553.924	40,64%
Gastos de puesta en marcha	2.638.481	10,16%
Seguros	1.302.657	5,02%
Otros imprevistos	527.696	2,03%
Total activos nominales	25.971.708	100%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

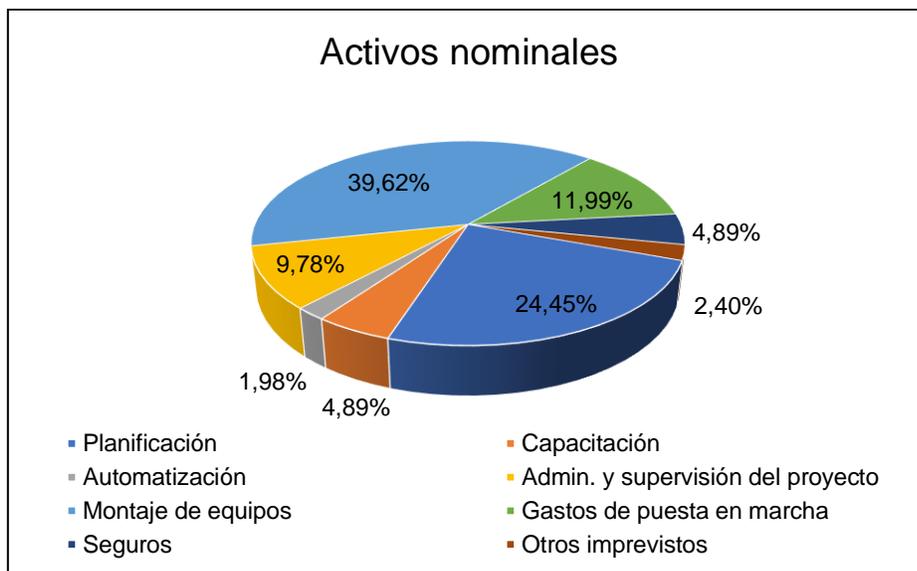


Imagen 14.3 - Participación de activos nominales.

14.2.3. Capital de trabajo

Desde el punto de vista práctico, el capital trabajo está representado por el capital adicional (distinto de la inversión en activo fijo y nominal) con que hay que contar para que empiece a funcionar una empresa. Esto significa que hay que financiar la primera producción antes de recibir ingresos, entonces, debe comprarse materia prima, pagar mano de obra directa que la transforme, otorgar crédito en las primeras ventas y contar con cierta cantidad en efectivo para los gastos diarios de la empresa. (Baca Urbina, 2010)

Una vez puesta en marcha la planta, se debe contar con un capital inicial para poder comenzar la producción, que corresponde al primer mes. En la Tabla 14.6 se resumen los montos, mientras que en la Imagen 14.4 se muestra el porcentaje de participación.

Tabla 14.6 - Capital de trabajo.

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Servicios	34.287	1,08%
Mano de obra directa	1.403.345	44,02%
Mano de obra indirecta	1.046.779	32,83%
Materia prima	703.763	22,07%
Total capital de trabajo	3.188.174	100%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

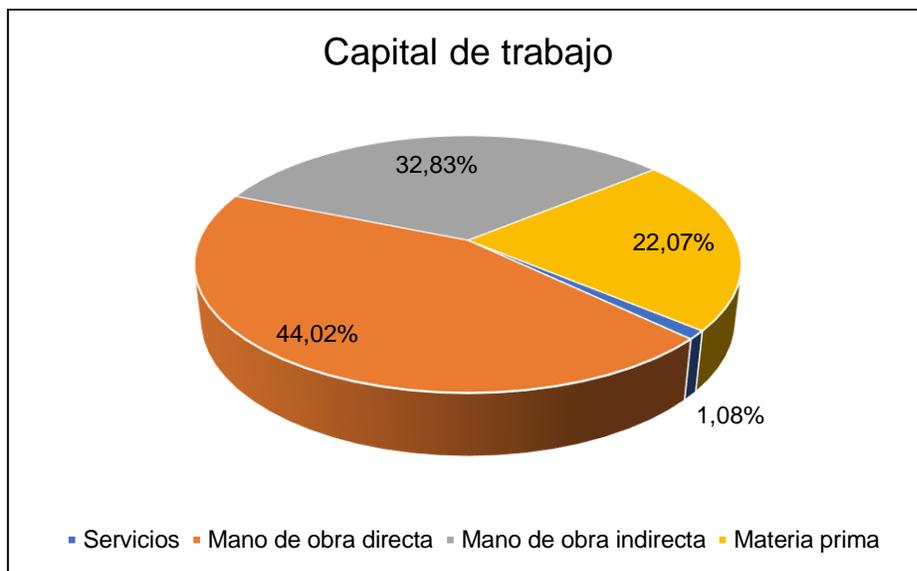


Imagen 14.4 - Participación del capital de trabajo.

14.2.4. Inversión total del proyecto

Conociendo los montos individuales de los activos fijos, nominales y capital de trabajo, se realiza la suma de estos con la finalidad de conocer el costo total de la inversión. En la Tabla 14.7 se puede observar el total a financiar y en la Imagen 14.5 la participación de cada uno de los rubros.

Tabla 14.7 - Inversión total del proyecto

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Activos fijos	152.080.652	83,60%
Activos nominales	26.636.605	14,64%
Capital de trabajo	3.188.174	1,75%
Total de la inversión	181.905.431	100%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

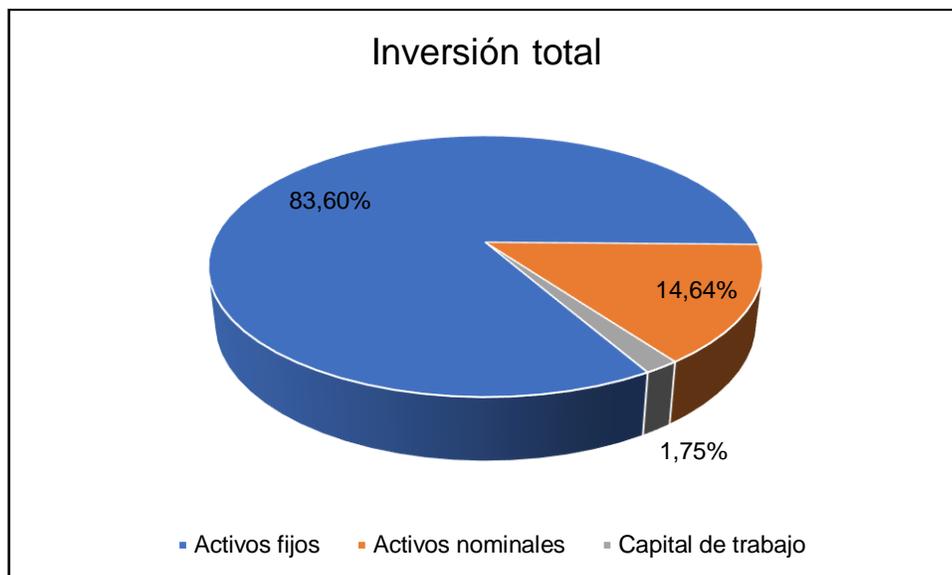


Imagen 14.5 - Inversión total del proyecto.

Como se observa en la Imagen 14.5, los activos fijos resultan los más significativos de la inversión, representando más del 80%, seguidos en menor medida por los activos nominales y capital de trabajo.

14.3. INGRESO POR VENTAS

Los ingresos por ventas se definen como la cantidad de dinero que la empresa percibe en concepto de venta de producción, siendo estos ingresos debido a la venta, principalmente, del producto final que es el ácido acetilsalicílico (AAS) y del subproducto excedente que es el ácido acético glacial (AA).

De acuerdo al estudio de mercado y a la consulta a fabricantes se obtiene el precio del AAS de pureza mayor a 99,75% a un valor de 22 U\$D por kilogramo. Este valor se considera constante a lo largo del ciclo económico de 10 años debido a que las cantidades producidas y vendidas no varían demasiado en el mismo período. Además, se considera la venta del AA sobrante del proceso de destilación luego de la segunda reacción, con un valor establecido en 0,40 U\$D por kilogramo. En la Tabla 14.8 se muestran los ingresos por ventas de dichos productos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.8 - Ingresos por ventas.

Año	Cantidad (t)		Ingreso por ventas (\$)		
	AAS	AA	AAS	AA	Total
1	62,52	12,50	105.902.795	385.101	106.287.896
2	63,31	12,66	107.243.337	389.976	107.633.313
3	64,11	12,82	108.600.847	394.912	108.995.760
4	64,92	12,98	109.975.542	399.911	110.375.453
5	65,74	13,15	111.367.637	404.973	111.772.610
6	66,57	13,31	112.777.354	410.099	113.187.453
7	67,42	13,48	114.204.915	415.291	114.620.206
8	68,27	13,65	115.650.547	420.547	116.071.095
9	69,13	13,83	117.114.478	425.871	117.540.349
10	70,01	14,00	118.596.940	431.262	119.028.202

14.4. COSTOS DE PRODUCCIÓN

El sostenimiento de la actividad de una empresa genera un conjunto de costos, denominados costos de producción. Estos son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento para fabricar un bien o generar un servicio. Pueden dividirse en dos grandes categorías:

- Costos variables o directos: son proporcionales a la producción.
- Costos fijos o indirectos: son independientes de la producción.

En la Imagen 14.6 se muestra la clasificación detallada de los costos fijos y variables del proyecto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

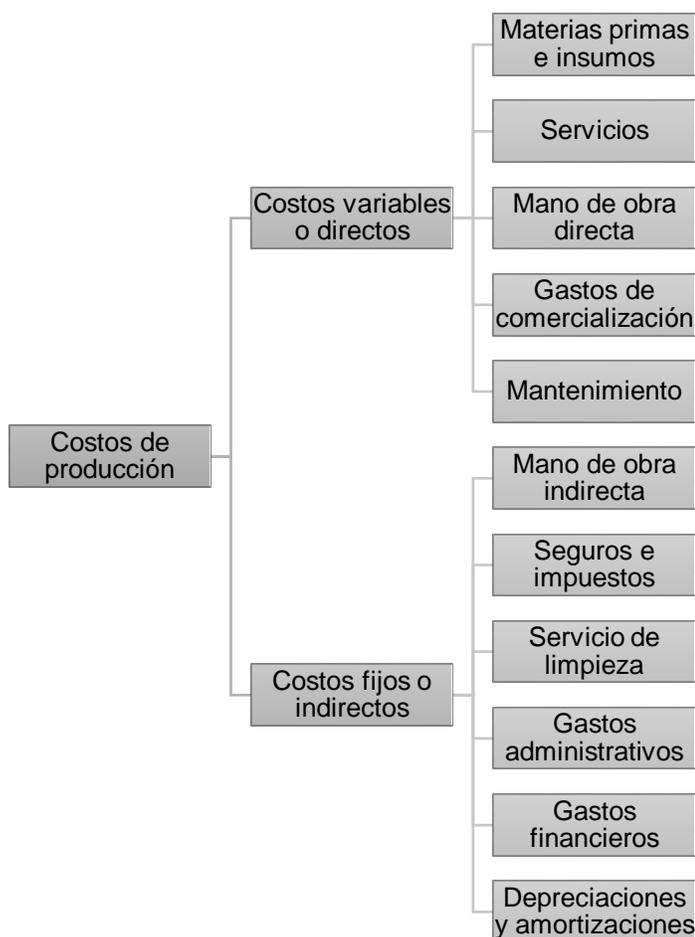


Imagen 14.6 - Clasificación de los costos de producción. Elaboración propia.

14.4.1. Costos variables

➤ Materias primas e insumos

Las materias primas representan un porcentaje significativo de los costos variables de producción debido a la gran variedad de ellas que se necesita. La mayoría se obtienen de proveedores nacionales ubicados en las cercanías de la planta, y otras como el anhídrido acético y el fenol se adquieren por importación, siendo este último el de mayor costo unitario. Se estima un flete del 1% del valor de la materia prima, que ya se encuentra incluido en el costo final de la misma. Se exceptúa del costo del flete al dióxido de carbono, debido a que el proveedor se encuentra en el mismo parque industrial que el proveedor. En la Tabla 14.9 se aprecian estos costos para el primer año del proyecto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.9 - Costo de materias primas.

Materia prima	Cantidad (t/año)	Precio (\$/t)	Flete (\$)	Costo (\$)
Fenol	36,26	109.500	39.704	4.010.121
Anhidrido acético	39,68	32.850	13.035	1.316.495
Ácido sulfúrico	31,88	32.340	10.311	1.041.419
Hidróxido de sodio	31,26	50.050	15.645	1.580.118
Dióxido de carbono	16,57	30.000	0	497.005
Total materias primas				8.445.159

➤ Servicios

Para el caso de los servicios agua, gas natural y electricidad se los considera como vinculados directamente al proceso. La tarifa correspondiente al gas natural fue obtenida de la empresa prestadora del servicio Gas Natural Ban S.A., actualmente llamada Naturgy Ban S.A. Respecto al costo de la energía eléctrica se tomó del último cuadro tarifario publicado correspondiente a Empresa Distribuidora de Energía Norte S.A. (EDEN S.A.) para la provincia de Buenos Aires.

Para el caso del agua, se considera sin costo alguno ya que el abastecimiento dentro del Parque Industrial Campana se realiza por medio de una perforación por cada parcela. Por lo tanto, en la Tabla 14.10 se muestra el consumo máximo anual y costo total de los mismos.

Tabla 14.10 - Costo de servicios.

Servicio	Consumo anual	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Energía eléctrica	158.813,80	kWh	2,33	370.036
Gas natural	54.000	m ³	1,68	90.720
Total servicios				460.756

➤ Mano de obra directa

La mano de obra directa incluye aquellas personas que trabajan en relación inmediata con la producción. El importe que se paga por hora se determina en base al convenio para junio 2020 CCT 42/89 del gremio que agrupa a los trabajadores de la industria farmacéutica FASTA, el cual se observa en la Tabla 14.11. El valor del costo total anual de mano de obra directa incluye las

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

cargas sociales, consideradas como un 45% del gasto nominal. Las horas de trabajo anual son 2000, resultando 2160 al considerar el mes de aguinaldo.

Tabla 14.11 - Costo de mano de obra directa.

Sector	Cargo	Cant.	Jornal por hora (\$)	Gasto anual nominal (\$)	Carga social (\$)	Gasto total anual (\$)
Calidad	Encargado	1	279,2	603.072	271.382	874.454
	Analista	3	227,6	1.474.848	663.682	2.138.530
Producción	Supervisor	3	308,6	1.999.728	899.878	2.899.606
	Operario	9	227,6	4.424.544	1.991.045	6.415.589
Mantenimiento	Operario	3	227,6	1.474.848	663.682	2.138.530
	Calderista	3	252,6	1.636.848	736.582	2.373.430
Total mano de obra directa						16.840.138

➤ Gastos de comercialización

Los gastos de comercialización se los estima como el 0,1% de los costos de producción, representando un valor de \$26.224 para el primer año.

➤ Mantenimiento

Como mantenimiento se consideran los costos de carácter preventivo que se realizan sobre los equipos que intervienen en el proceso de producción, referidos a materiales y refacciones sin considerar en este apartado los sueldos del personal de mantenimiento. Este se define como el 1% sobre el costo de equipos industriales y accesorios, arrojando un valor de \$527.696 para el primer año.

➤ Resumen de costos variables

En la Tabla 14.12 se observan los resultados del total de costos directos o variables involucrados en el proyecto para el primer año, además para su mayor comprensión se confecciona el gráfico de la Imagen 14.7.

Tabla 14.12 - Resumen de costos variables para el primer año.

Categoría	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Materia prima e insumos	8.445.159	32,17%
Servicios	411.439	1,57%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Mano de obra directa	16.840.138	64,15%
Gastos de comercialización	26.224	0,10%
Mantenimiento	527.696	2,01%
Total costos variables	26.250.656	100%

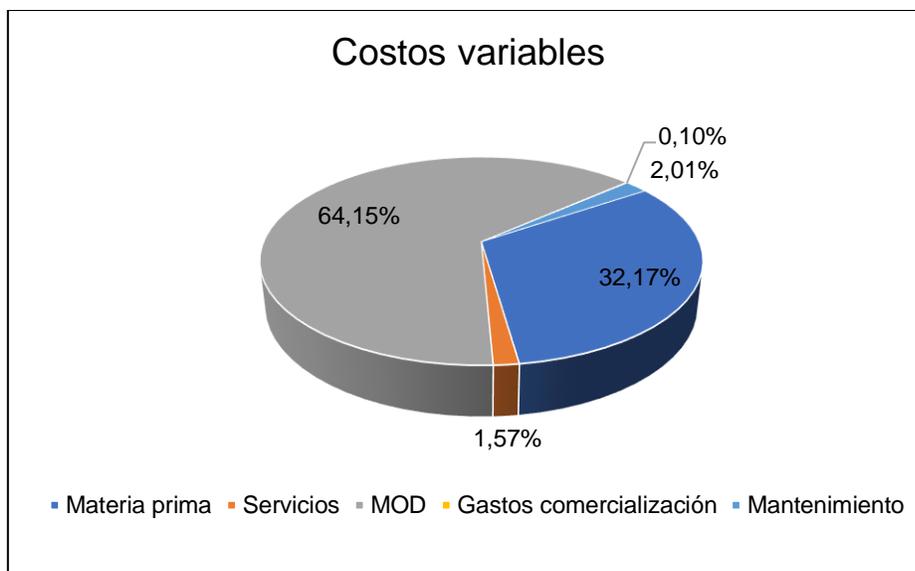


Imagen 14.7 – Resumen de costos variables.

Como se puede observar en la Imagen 14.7, más del 64% de los costos variables corresponden a la mano de obra directa, mientras que más del 32% a las materias primas. Las categorías restantes no tienen peso significativo sobre el total, por lo que las labores de optimización se basarán en estos rubros de más relevancia. Cabe destacar que un incremento de éstos impactará sobre los costos de producción y, en consecuencia, sobre los resultados o utilidades.

14.4.2. Costos fijos

➤ Mano de obra indirecta

Hace referencia al personal que realiza tareas complementarias que no afectan directamente a la producción pero que, sin embargo, son imprescindibles para la actividad económica de la empresa. Se emplea el mismo convenio colectivo que para la mano de obra directa. Las cargas sociales se calculan como el 28% de la remuneración mensual para administrativos y cargos jerárquicos, mientras que, para el gasto total anual se utilizan 13 meses para considerar el aguinaldo. Los costos se encuentran detallados en la Tabla 14.13.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.13 - Costo de mano de obra indirecta.

Cargo	Cant.	Sueldo (\$/mes)	Gasto anual nominal (\$)	Carga social (\$)	Gasto total anual (\$)
Gerente	1	82.864,70	1.077.241	301.628	1.378.869
Jefe de Calidad	1	78.425,60	1.019.533	285.469	1.305.002
Jefe de Producción	1	78.425,60	1.019.533	285.469	1.305.002
Jefe de Mantenimiento	1	78.425,60	1.019.533	285.469	1.305.002
Jefe Administrativo	1	78.425,60	1.019.533	285.469	1.305.002
Jefe de Logística	1	78.425,60	1.019.533	285.469	1.305.002
Responsable de RRHH	1	55.824,42	725.717	203.201	928.918
Administrativo	2	45.515,90	1.183.413	331.356	1.514.769
Seguridad e higiene	1	2.960,00	38.480	10.774	49.254
Guardia	3	43.360,04	1.691.042	473.492	2.164.533
Total mano de obra indirecta					12.561.354

➤ Seguros e impuestos

A los costos de seguros e impuestos se los estima como el 1% de la inversión de los activos fijos, por lo tanto, arroja un valor de \$1.302.657 al año.

➤ Servicio de limpieza

El costo del servicio de limpieza se estima como el 1% de las obras civiles, arrojando un valor de \$363.928 al año.

➤ Gastos administrativos

Para los gastos administrativos referidos a los relacionados a las actividades administrativas globales de la empresa (gastos de papelería y suministros de oficina, por ejemplo), se lo estima como el 0,1% del costo de producción, arrojando un valor de \$93.962 para el primer año.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

➤ Gastos financieros

La inversión inicial que debe realizar la empresa para comenzar con la actividad productiva, calculada anteriormente en el apartado 14.2.4, es obtenida a través de financiamiento externo o crédito. Todos los créditos tienen un costo financiero, el cual es materializado principalmente como intereses.

El crédito es otorgado por el Banco Nación, mediante una línea crediticia del Programa Nacional de Desarrollo de Proveedores (PRODEPRO), que tiene por objetivo desarrollar empresas locales a fin de contribuir al impulso de una mayor y más profunda industrialización, diversificación de la matriz productiva interna y promoción de la productividad y competitividad. Este tiene una bonificación de hasta 12 puntos porcentuales para este tipo de industrias, obteniéndose una tasa de interés final del 30%, un plazo de 120 meses para su cancelación, de cuotas fijas en pesos. De acuerdo a esto, se solicita un préstamo por un monto de \$181.905.431,32 a cancelar en 10 años.

Este tipo de créditos emplea el sistema de amortización francés, el cual es frecuente en este tipo de préstamos, y se utiliza para el cálculo de las cuotas anuales. El sistema francés, se caracteriza por ser un sistema de amortización de cuotas constantes y debido a esto, cada mes el banco recibe intereses en función del capital pendiente de amortizar. Por ello, durante los primeros años del préstamo, se paga una cantidad mayor de intereses que de capital y, en cambio, durante el período final del préstamo, más capital e intereses menores. En la Tabla 14.14 se detallan las características del préstamo solicitado.

Tabla 14.14 - Características del préstamo solicitado.

Detalles del crédito	
Monto	181.905.431,32
Tasa	30%
Plazo	10 años / 120 meses
Valor de la cuota mensual (\$/mes)	4.740.228,18
Sistema de amortización	Francés

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Detalle de las cuotas anuales			
Año	Intereses (\$/año)	Capital (\$/año)	Saldo (\$/año)
1	54.225.819,54	2.656.918,65	179.248.512,68
2	53.309.477,99	3.573.260,20	175.675.252,48
3	52.077.100,49	4.805.637,71	170.869.614,77
4	50.419.689,75	6.463.048,44	164.406.566,33
5	48.190.656,57	8.692.081,62	155.714.484,70
6	45.192.854,76	11.689.883,43	144.024.601,27
7	41.161.144,60	15.721.593,59	128.303.007,68
8	35.738.942,68	21.143.795,52	107.159.212,17
9	28.446.683,90	28.436.054,29	78.723.157,88
10	18.639.406,57	38.243.331,62	40.479.826,26

➤ Depreciaciones y amortizaciones

Tanto la depreciación como la amortización hacen referencia al desgaste o agotamiento que sufre un activo en la medida de que, con su utilización, contribuye a la generación de los ingresos de la empresa. La misma puede deberse a tres razones principales, el desgaste debido al uso (física), al paso del tiempo (funcional) o a la vejez (obsolescencia). La principal diferencia entre ellas es que la amortización hace referencia a los gastos diferidos e intangibles, y la depreciación a los activos fijos. Se estiman los costos de amortización considerando la ley tributaria, donde se encuentra fija la vida útil de los bienes.

- Obras civiles: 50 años
- Maquinaria y equipos nuevos: 20 años
- Muebles y útiles: 10 años

Una vez determinada la vida útil de cada uno de los rubros analizados, puede extraerse de este valor la tasa lineal de depreciación de un bien. De esto se desprende que al finalizar el proyecto (a los diez años), algunos de los bienes tendrán un valor nulo o residual. El terreno es una excepción, no está sujeto a depreciación, se diferencia de los demás activos por su vida ilimitada. En la Tabla 14.15 se detallan los costos referidos a la depreciación y amortización.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.15 - Costo de depreciaciones y amortizaciones

Categoría	Inversión (\$)	Tasa (%)	Depreciación anual (\$)
Obras civiles	36.392.815	5	1.819.641
Equipos y accesorios	52.769.621	5	2.638.481
Muebles y útiles	1.063.900	10	106.390
Total amortizaciones			4.564.512

➤ Resumen de costos fijos

En la Tabla 14.16 se detallan los montos correspondientes a cada uno de los costos indirectos o fijos involucrados en el proyecto para el primer año, además para su mayor comprensión se confecciona el gráfico de la Imagen 14.8.

Tabla 14.16 - Resumen de costos fijos para el primer año.

Categoría	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Mano de obra indirecta	12.561.354	13,57%
Seguros e impuestos	1.302.657	1,41%
Servicio de limpieza	363.928	0,39%
Gastos administrativos	93.962	0,10%
Gastos financieros	73.692.742	79,60%
Depreciaciones y amortizaciones	4.564.512	4,93%
Total costos fijos	92.579.155	100%

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

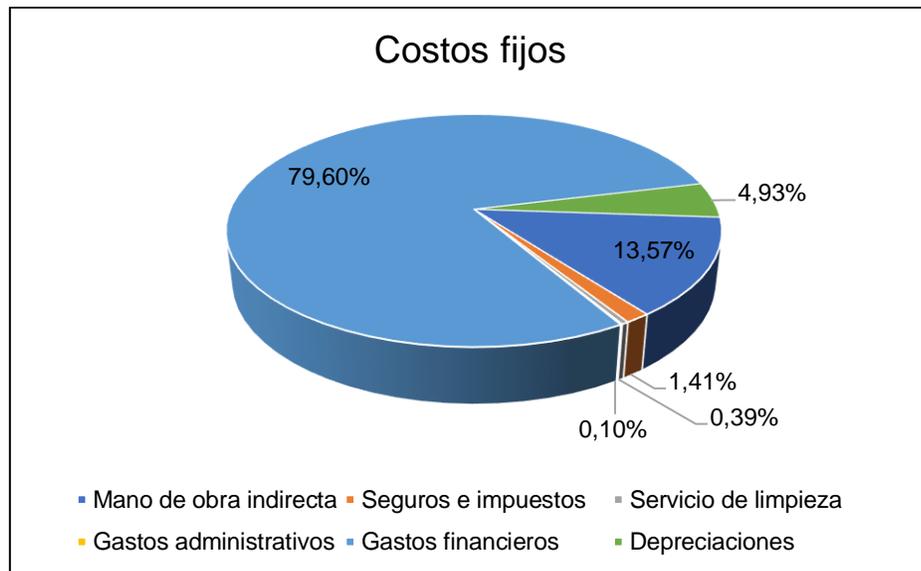


Imagen 14.8 - Resumen de costos fijos.

De acuerdo a la Imagen 14.8, se puede concluir que el costo financiero es el gasto más relevante de los costos fijos representando aproximadamente el 80% de los mismos.

14.5. COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN

Los costos totales de producción surgen de la suma de costos variables y costos fijos. Los cuales otorgan una visión general de la producción, permitiendo ser la base de la toma de decisiones de la empresa, ya que un incremento de estos produce una disminución en los beneficios percibidos. Otro factor interesante de estimar y analizar es el costo unitario de producción, el cual representa el costo total necesario para producir una unidad mínima de producto terminado. Para el ácido acetil salicílico se calcula por tonelada de producto vendido mediante la Ecuación 14.1.

$$C_U = \frac{C_F + C_V}{U}$$

Ecuación 14.1 - Cálculo del costo unitario.

Donde:

C_U : costo unitario total [\$/t].

C_F : costo fijo anual [\$/].

C_V : costo variable anual [\$/].

U : cantidad anual producida [t].

En la Tabla 14.17 se estima el costo total de producción y los costos unitarios calculados para cada año de actividad del proyecto.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.17 - Cálculo del costo unitario.

Año	Costo fijo (\$)	Costo variable (\$)	Costo total de producción (\$)	Cantidad anual producida (t)	Costo unitario (\$/t)
1	92.579.155	26.250.656	118.829.811	62,52	1.900.777,96
2	92.295.089	26.362.877	118.657.966	63,31	1.874.303,80
3	91.913.052	26.476.518	118.389.570	64,11	1.846.688,46
4	91.399.255	26.591.598	117.990.853	64,92	1.817.463,24
5	90.708.254	26.708.135	117.416.389	65,74	1.786.006,85
6	89.778.936	27.354.370	117.133.306	66,57	1.759.429,65
7	88.529.106	27.473.876	116.002.982	67,42	1.720.670,69
8	86.848.223	27.594.894	114.443.117	68,27	1.676.314,08
9	84.587.623	27.717.445	112.305.067	69,13	1.624.434,38
10	81.547.367	27.841.546	109.388.913	70,01	1.562.475,55

El precio por tonelada de ácido acetil salicílico es de \$1.694.000, a partir de este y el costo unitario del producto, se puede determinar el margen de beneficio, que representa los ingresos brutos por tonelada de fármaco vendido, sin considerar al subproducto. Con los resultados obtenidos para este índice, detallados en la Tabla 14.18, se puede concluir que a partir del año 8 se comienza a obtener pequeñas ganancias, ya que en los años anteriores el costo supera al precio de venta.

Tabla 14.18 - Cálculo del margen de beneficio.

Año	Margen de beneficio (\$/t)	Porcentaje (%)
1	-206777,96	-12,21%
2	-180303,80	-10,64%
3	-152688,46	-9,01%
4	-123463,24	-7,29%
5	-92006,85	-5,43%
6	-65429,65	-3,86%
7	-26670,69	-1,57%
8	17685,92	1,04%
9	69565,62	4,11%
10	131524,45	7,76%

14.6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Para todo proyecto es necesario evaluar la viabilidad y rentabilidad, ya que en el momento en que se forma una empresa se debe invertir un capital financiero elevado que se pretende recuperar luego de un tiempo preestablecido. El estudio de la evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto.

Para evaluar dichos aspectos se emplean diferentes indicadores, dentro de los que destacan el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Se entiende por VAN como el valor actual de los flujos efectivos netos de una propuesta particular, entendiendo por flujo efectivo neto a la diferencia entre los ingresos y los gastos netos. La TIR es la medida geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión. Ambos indicadores se basan en el mismo concepto, que es la estimación de los flujos de caja futuros de la empresa.

Antes de proceder a la estimación de estos índices, se necesita calcular previamente el estado de resultados de la empresa, ya que permite obtener los flujos netos de efectivo (FNE), que sirven para realizar la evaluación económica.

14.6.1. Estado de resultados

El estado de resultados es un reporte financiero que en base a un período determinado muestra de manera detallada los ingresos obtenidos y los gastos en el momento en que se producen. El objetivo del análisis del estado de resultado es determinar la utilidad neta y los FNE del proyecto, los cuales representan el beneficio real de la operación de la planta, y que se obtienen restando a los ingresos todos los costos en los que se incurra y los impuestos que se deben pagar. Mientras mayores sean los FNE, mayor será la rentabilidad económica del proyecto.

Con estos datos se posibilita el análisis y la toma de decisiones. Entre los componentes del estado de resultados se encuentran:

- Ventas netas: ingresos por ventas en el período considerado para los productos que genera la empresa.
- Costos de producción de lo vendido: en esta parte se consideran los costos de materias primas, mano de obra directa e indirecta y servicios directos.
- Resultado operativo: la diferencia entre los ingresos por ventas y los costos totales de producción.
- Gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- Depreciación y amortización: las cuales fueron estimados en la sección correspondiente.
- Resultado antes de impuestos: lo que resulta de sustraerle a la utilidad operativa las depreciaciones y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Impuestos: se considera principalmente el impuesto a las ganancias, el cual es el 35% de la utilidad antes de impuestos más la depreciación y amortización (dado que no suponen desembolso de dinero, se reincorporan para determinar el flujo neto efectivo).
- Resultado neto o flujo neto efectivo (FNE): es la ganancia o pérdida final que la empresa obtiene después de la actividad, y que resulta de adicionarle los impuestos al resultado antes de impuestos.

En la Tabla 14.19 se detalla el estado de resultados para el período de actividad del proyecto, y en la Imagen 14.9 se representan los flujos netos efectivos y su evolución.

Tabla 14.19 - Cuadro de resultados.

Ejercicios	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas Netas	106.287.896	107.633.313	108.995.760	110.375.453	111.772.610
Costo de producción de lo vendido	45.016.882	45.128.990	45.242.518	45.357.483	45.473.904
RESULTADO OPERATIVO	61.271.014	62.504.322	63.753.241	65.017.969	66.298.707
Gastos de Administración	93.962	93.962	93.962	93.962	93.962
Gastos de Comercialización	26.224	26.337	26.450	26.565	26.681
Gastos de Financiación	73.692.742	73.408.676	73.026.639	72.512.842	71.821.842
Depreciación-Amortización	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512
RESULT. ANTES DE IMPUESTOS	-17.106.426	-11.024.653	-9.393.811	-7.615.400	-5.643.779
Depreciación-Amortización	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512
Impuesto a las Ganancias	0	0	0	0	0
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-12.541.914	-11.024.653	-9.393.811	-7.615.400	-5.643.779

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Tabla 14.20 - Cuadro de resultados (continuación).

Ejercicios	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas Netas	113.187.453	114.620.206	116.071.095	117.540.349	119.028.202
Costo de producción de lo vendido	46.119.494	46.238.880	46.359.777	46.482.205	46.606.183
RESULTADO OPERATIVO	67.067.960	68.381.326	69.711.317	71.058.144	72.422.019
Gastos de Administración	93.962	93.962	93.962	93.962	93.962
Gastos de Comercialización	27.327	27.446	27.567	27.690	27.814
Gastos de Financiación	70.892.523	69.642.693	67.961.810	65.701.210	62.660.954
Depreciación-Amortización	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512
RESULT. ANTES DE IMPUESTOS	-3.945.853	-1.382.776	1.627.977	5.235.282	9.639.289
Depreciación-Amortización	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512	4.564.512
Impuesto a las Ganancias	0	0	2.167.371	3.429.928	4.971.330
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-3.945.853	-1.382.776	-539.394	1.805.354	4.667.958

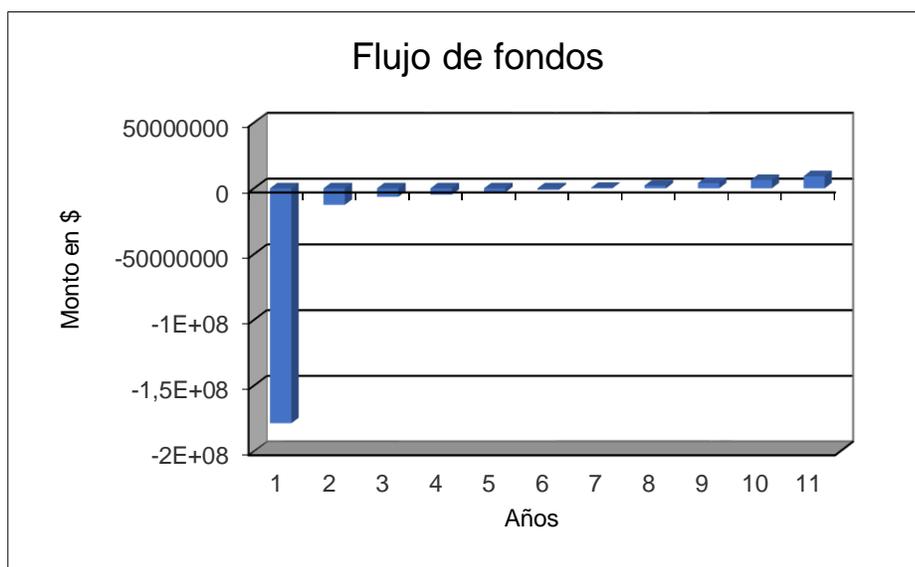


Imagen 14.9 - Flujo de fondos.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.6.2. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, se percibe alguna ganancia.

- VAN > 0: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- VAN = 0: el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, por lo que no aumenta el patrimonio de la empresa, siendo su realización indiferente.
- VAN < 0: el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

El valor del VAN para el presente proyecto es de \$ -193.567.744, el resultado negativo de este monto indica que el proyecto no es viable.

14.6.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa porcentual que hace que el VAN sea igual a cero, es decir, es la tasa que iguala la inversión inicial a la suma de los flujos futuros actualizados al tiempo presente. Indica la tasa de interés máxima a la que se debe contraer préstamos sin incurrir en futuros fracasos financieros.

El valor de la TIR para el presente proyecto es del -23%. Dado que el valor obtenido como TIR es menor a la tasa de interés (TMAR) propuesta por el banco prestador y además negativa, debe rechazarse el proyecto, ya que es posible que existan mejores opciones en el mercado para invertir.

14.6.4. Período de recupero de la inversión (PRI)

Este indicador permite medir el plazo, en años, que se tarda en recuperar la inversión inicial realizada con las utilidades netas, suponiendo que se utiliza la totalidad de estas últimas únicamente para saldar dicha inversión. Cabe señalar que este indicador no considera el valor del dinero en el tiempo.

El valor del PRI para el presente proyecto es de 37,6 años. Analizando este resultado, se destaca que la inversión se recuperaría en un período demasiado largo, comparado con los diez años previstos de actividad. A la señal negativa que le brindaron el VAN y la TIR al proyecto, se le suma entonces el de este indicador.

14.7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad determina los márgenes de rentabilidad de un proyecto desde otra perspectiva, que es el aumento o reducción de un indicador económico como la TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo a esto,

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

se analiza la variación de la TIR con la desviación del precio de venta, la tasa de interés del banco prestador, el volumen de ventas y de los costos de mano de obra, que son las principales variables que influyen en las utilidades.

Este análisis se realiza de forma gráfica, representando la variación de la TIR con la fluctuación de las variables antes mencionadas y comparándola con la función constante TMAR, dado que si la primera se encuentra sobre esta última el proyecto es rentable, caso contrario deja de serlo.

14.7.1. Variación de la TIR con el precio de venta

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el precio de venta del producto. Se observa en la Imagen 14.10 que el valor de la TIR aumenta con el aumento del precio de venta, lo que resulta lógico, siendo el proyecto rentable cuando se supera el valor de la TMAR, para que esto suceda debe ocurrir un aumento mayor al 60% en el precio de venta.

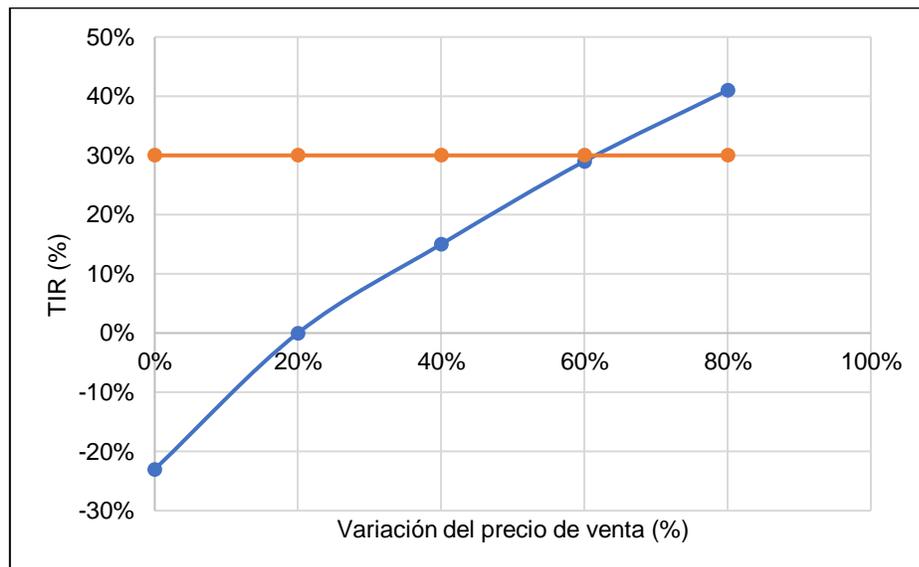


Imagen 14.10 - Variación de la TIR con el precio de venta.

14.7.2. Variación de la TIR con el precio de mano de obra

Se analiza la sensibilidad de la tasa interna de retorno a los costos de mano de obra, tanto directa como indirecta. Para este caso, se observa en la Imagen 14.11 que ni siquiera con una reducción elevada en la variación de la TIR se logra superar el valor de la TMAR, por ello esta variable no tiene gran influencia.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

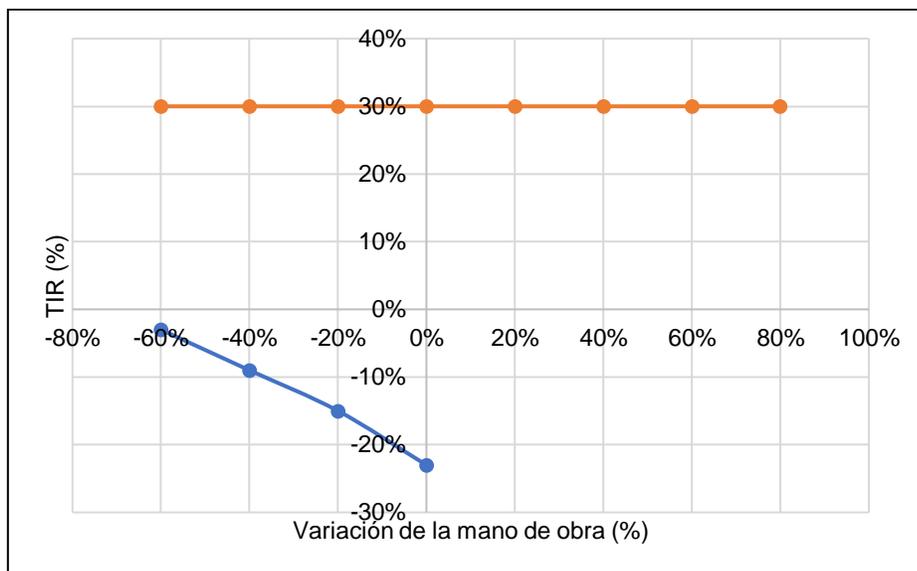


Imagen 14.11 - Variación de la TIR con la mano de obra.

14.7.3. Variación de la TIR con el volumen de ventas

En este caso se analiza cómo varía la TIR con la fluctuación del volumen de ventas de producción. En este punto debe hacerse una salvedad, dado que los costos fijos se consignaron como si continuaran estáticos, aun sabiendo que el nivel de producción potencial está íntimamente asociado con las instalaciones, y, por lo tanto, con estos costos. Los costos variables si se tuvieron en cuenta y se modificaron de acuerdo al porcentaje de aumento del volumen de ventas. Como se observa en la Imagen 14.12 el valor de la TIR supera el de la TMAR cuando la variación del volumen de ventas es mayor al 60%.

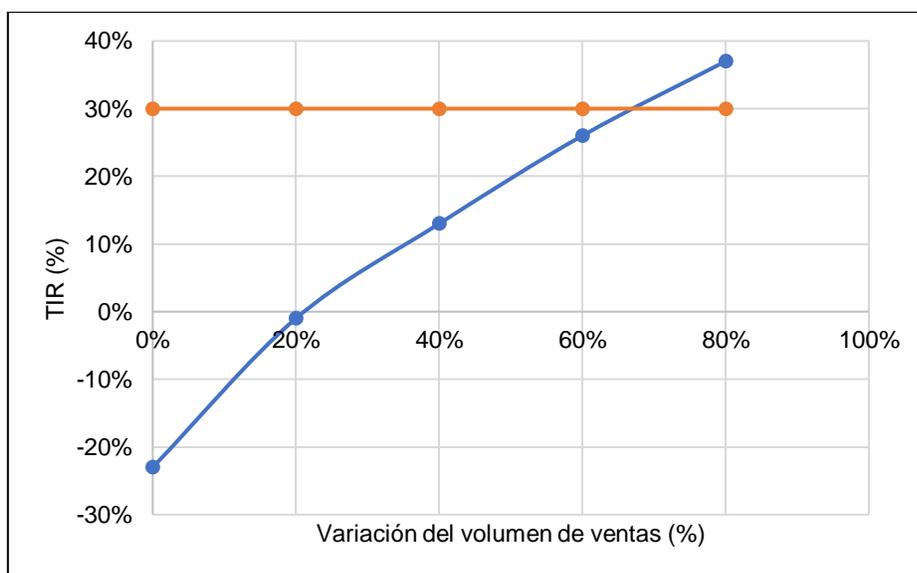


Imagen 14.12 - Variación de la TIR con el volumen de ventas.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

14.7.4. Variación de la TIR con la TMAR

Uno de los factores que más afectan al rendimiento del proyecto, medido a través de la TIR, es el valor de la tasa de interés que se usa en la financiación (TMAR). En la Imagen 14.13 se observa que con una tasa de interés del 6%, que equivale a una reducción del 80% de la TMAR inicial (30%), la TIR sería de un 14%. Por lo tanto, al ser superior que la tasa de interés, el proyecto sería rentable.

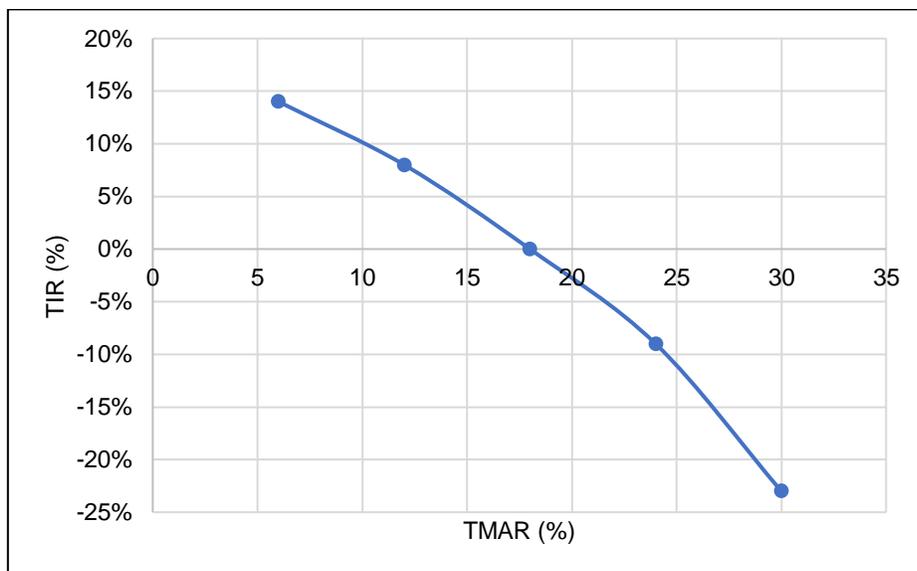


Imagen 14.13 - Variación de la TIR con la disminución de la TMAR.

14.8. CONCLUSIONES

El análisis económico financiero realizado permite concluir que la puesta en marcha de la planta de AAS requiere de una inversión inicial de \$181.905.431, que es financiado por crédito del Banco Nación, con una tasa nominal anual fija del 30% y un plazo de pago de 10 años.

De acuerdo a los resultados vistos a partir del análisis de los indicadores económicos, como el VAN, TIR y PRI, se observa la inviabilidad económica del proyecto y su nula rentabilidad, manteniendo los volúmenes y precios establecidos para el producto.

Respecto a los indicadores, se obtuvo una TIR de -23%, un VAN negativo de \$ -193.567.744 y un PRI de 37,6 años los que demuestran numéricamente que la rentabilidad del proyecto no es posible.

A pesar de cubrir con los costos de producción, al momento de hacer frente al pago del interés del préstamo el resultado es negativo, siendo el costo financiero el mayor obstáculo. Por lo tanto, con la situación económica actual del país donde las tasas son elevadas, el proyecto no es económicamente viable a pesar de tener factibilidad técnica. Una disminución de las mismas en

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

el tiempo y/o un aumento en la demanda del AAS por parte del mercado nacional, permitirían la rentabilidad de la puesta en marcha de la empresa.

Basados en los análisis de sensibilidad se concluye que la variable más influyente en la rentabilidad del proyecto es la tasa de interés (TMAR), cuyo margen de disminución debe ser superior al 80% aproximadamente, lo que nos indica una TMAR del 6%, para que la TIR sea superior a esta. Para el caso del precio de venta y los volúmenes fabricados de AAS, se requiere un aumento superior al 60% para obtener un resultado favorable del proyecto.

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 15

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

15. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados en el capítulo 1 de la presente tesis se llega a las siguientes conclusiones:

- Se utilizaron los conocimientos adquiridos en la carrera para realizar los capítulos, a la vez que, se adquirieron nuevos conocimientos necesarios para poder desarrollar este proyecto en específico.
- Se logró confeccionar una descripción detallada del ácido acetilsalicílico (AAS), que permitió conocer en profundidad sus características fisicoquímicas, su gran abanico de aplicaciones en el campo de la medicina y la variedad de medicamentos que lo emplean.
- Se analizó el mercado potencial del AAS, obteniendo como resultado que, Bayer es el principal productor a nivel mundial con una gran presencia e influencia sobre el mercado, siendo muy difícil competir con él. Resultando conveniente reemplazar las importaciones de la Argentina que no provienen de dicha empresa y cubrir esta porción reducida de la demanda.
- Gracias al estudio de mercado realizado sobre las materias primas se determinó que dos de ellas, que son el fenol y el anhídrido acético, no se producen en el país, siendo necesario depender de las importaciones para su abastecimiento.
- La ubicación óptima de la planta resulta en el Parque Industrial Campana, provincia de Buenos Aires. Es conveniente desde los puntos de vista logísticos y económicos, debido a la cercanía de las materias primas, de los potenciales clientes y al puerto.
- En base a la demanda insatisfecha se establece una capacidad de producción máxima de 70010 kg/año.
- Se determinó que existe un único proceso industrial para la producción de AAS, que surge de la acetilación del ácido salicílico con anhídrido acético. Se presentan variaciones en la obtención del ácido salicílico, siendo el más conveniente por su sencillez y mayor rendimiento el que resulta de la reacción entre fenol e hidróxido de sodio.
- Se efectuó el análisis del proceso y de los balances de masa y energía realizados, necesarios para el dimensionamiento y adopción de los equipos requeridos.
- Se determinaron los servicios auxiliares necesarios para la producción programada.
- Se desarrolló un sistema de gestión de calidad que garantiza la seguridad y calidad del producto terminado y de las materias primas, conforme a las especificaciones brindadas por Farmacopea Argentina. Además, se implementaron las Buenas Prácticas de Manufactura de productos farmacéuticos, siendo necesaria la instalación de una sala

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

limpia, con estrictos parámetros ambientales, para la etapa final de acondicionamiento del producto terminado.

- Se aplicó el conocimiento básico del control automático para realizar la automatización del proceso, aplicándolo únicamente a la Sección C, garantizando así el correcto funcionamiento de éste dentro de los parámetros de operación.
- Se adoptó el tipo de empresa, se describen las diferentes áreas que integran la misma, el tipo de personal necesario y las funciones de cada puesto de trabajo. Además, se elaboró un organigrama donde se especifican los niveles de jerarquía dentro de la empresa.
- Se llegó a la conclusión de que, en las condiciones planteadas, el proyecto no es viable económicamente ya que los indicadores financieros VAN y TIR dieron negativos y menor a la TMAR, y el PRI muy por encima del período de financiación del proyecto. Con el análisis de sensibilidad se pudo obtener, que es necesario aumentar el precio del producto o el volumen de producción por encima del 60%, o que disminuya en un 80% la tasa de interés o TMAR, para que el proyecto sea rentable.

BIBLIOGRAFÍA

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

BIBLIOGRAFÍA

- Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP)*. (2019). Obtenido de <http://www.afip.gov.ar/aduana/arancelintegrado/>
- Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT)*. (2020). Obtenido de <http://www.anmat.gov.ar/>
- Agenda de puertos*. (s.f.). Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/puertos-vias-navegables-y-marina-mercante/informacion-portuaria>
- Albaugh - ATANOR*. (2019). Obtenido de <https://albaugh.com.ar/negocios-e-industrias/quimicos-y-petroquimicos/>
- Aleu, R., Espinoza, A., & Sánchez, C. (2019). *Planta de producción de aspirina (API)*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- American Petroleum Institute (API). (2013). *API STANDARD 650 - Welded Tanks for Oil Storage*.
- ANMAT. (2003). *Farmacopea Argentina* (Séptima ed., Vol. IV).
- ANMAT. (2003). *Farmacopea Argentina* (Séptima ed., Vol. III).
- ANMAT. (2003). *Farmacopea Argentina* (Séptima ed., Vol. II).
- ANMAT. (2003). *Farmacopea Argentina* (Séptima ed., Vol. I).
- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). (2007). *Guía técnica de torres de refrigeración*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (Sexta ed.). McGraw-Hill.
- Banco de la Nación Argentina*. (2020). Obtenido de <http://www.bna.com.ar/>
- Cámara de la Industria Química y Petroquímica - Argentina*. (2019). Obtenido de <http://www.ciqyp.org.ar/>
- Cámara de Puertos Privados Comerciales (CPPC)*. (s.f.). Obtenido de <http://www.camarapuertos.com.ar>
- Cámara Industrial de Laboratorios Farmacéuticos Argentinos (CILFA). (2018). *ESCENARIO Y PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA NACIONAL 2018-2021*.
- Cámara Industrial de Laboratorios Farmacéuticos Argentinos (CILFA). (2018). *LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA ARGENTINA: SU CARÁCTER ESTRATÉGICO Y PERSPECTIVAS*. Buenos Aires.
- Cámara Industrial de Laboratorios Farmacéuticos Argentinos (CILFA)*. (2019). Obtenido de <http://cilfa.org.ar/>
- Cao, E. (1983). *Intercambiadores de calor*.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Carrasco Asensi, M. J. (2018). *CIP Cleaning In Place*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- Castillo Uribe, V. (2013). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS*. Universidad del BÍO-BÍO, Facultad de Ingeniería, Concepción, Chile.
- Cavin, L. (2002). *A systematic approach for multi-objective process design in multi-purpose batch plants*.
- Ceballos, J., Segura García, C., & Peraza, A. (2014). DISEÑO DE COLUMNAS DE DESTILACIÓN PARA SISTEMAS BINARIOS. ENFOQUES TRADICIONAL E INTEGRADO. *Interciencia*, 39(8), 547-553.
- Celanese Acetyl Intermediates. (2011). *Product Description and Handling Guide: Acetic Anhydride*.
- Centanaro Landívar, G., & Vareles Villagómez, M. (2017). *Diseño de un sistema de limpieza CIP utilizando tensoactivos de origen microbiano para una línea de producción de leche evaporada*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador.
- Centro de Estudios para el Cambio Estructural (CECE). (2017). *El mercado de los medicamentos en la Argentina*.
- Chain, N. S., & Chain, R. S. (1989). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO S.A.
- CHEMCAD versión 6, *Software de simulación de procesos*.
- Collantes Acuña, W. (2006). *Handbook of Distillation Unit In Steady State using Chemcad*. Obtenido de <https://vdocuments.mx/manual-chemcad-3-equipos-de-destilacion.html>
- Cuellar, L., Sehtman, A., & Donatti, L. (2008). Ácido Salicílico. En *ANTIGUOS Y VIGENTES* (págs. 108-112). Buenos Aires.
- Cunill, F., Iborra, M., & Tejero, J. (2010). *Reactores Químicos. Apuntes*. Universidad de Barcelona.
- Díaz del Castillo Rodriguez, F. (2018). *Recipientes a presión*. Universidad Nacional Autónoma de México. Departamento de Ingeniería .
- Ehuletche, A. B. (20 de Septiembre de 2018). *Industria farmacéutica: un sector estratégico para la Argentina*. Obtenido de <https://www.lanacion.com.ar/economia/comercio-exterior/industria-farmaceutica-sector-estrategico-argentina-nid2173590>
- Estrada, J. (2001). *Diseño y cálculo de recipientes a presión*.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Grau Vilalta, D. (1999). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE REACTORES DISCONTINUOS Y SEMICONTINUOS: MODELIZACIÓN Y COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Hardy, W., & Snell, F. (1957). Salicylic Acid. *Industrial and engineering chemistry*, 49(6), 55-56.
- Illanes, R., & Baccifava, R. (s.f.). *Apuntes de Integración V. Balances de masa y energía*.
- Illanes, R., & Baccifava, R. (s.f.). *Apuntes de Integración V. Estudio de Mercado*.
- Illanes, R., & Baccifava, R. (s.f.). *Apuntes de Integración V. Localización de la planta*.
- Illanes, R., & Baccifava, R. (s.f.). *Apuntes de Integración V. Selección y descripción del proceso*.
- Illanes, R., & Baccifava, R. (s.f.). *Apuntes de Integración V. Servicios Auxiliares*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2018). *Industria farmacéutica en la Argentina. Primer trimestre de 2018. Informes Técnicos. Vol. 2, nº 106*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2018). *Industria farmacéutica en la Argentina. Segundo trimestre de 2018. Informes Técnicos. Vol. 2, nº 167*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2018). *Industria farmacéutica en la Argentina. Tercer trimestre de 2018. Informes Técnicos. Vol. 2, nº 227*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2019). *Industria farmacéutica en la Argentina. Cuarto trimestre de 2018. Informes Técnicos. Vol. 3, nº 42*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2019). *Industria farmacéutica en la Argentina. Primer trimestre de 2019. Informes Técnicos. Vol. 3, nº 107*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos República Argentina (INDEC). (2019). Obtenido de <https://www.indec.gob.ar/>
- Instituto Petroquímico Argentino (IPA). (2016). *Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina*.
- Jimenez López, M., & Sandoval Garcia, J. (1986). *Obtención de ácido salicílico a partir de fenol e hidróxido de sodio*. México.
- Joiner, D. (2012). *Kinetic Modeling of Batch Reaction Processes*. East Carolina University, Department of Chemistry.
- Kakac, S., & Liu, H. (2002). *Heat exchangers, selection, rating and thermal design* (Segunda ed.).
- Kern, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor* (Primera ed.). CECSA.
- KPMG. (2017). *Industria Farmacéutica Argentina. Situación y perspectivas. Laboratorios*.
- Levenspiel, O. (1998). *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. (Segunda ed.). Reverté S.A.
- (1972). *LEY 19.587 SOBRE MEDICINA, HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*.
- Lindsey, A., & Jeskey, H. (1957). The Kolbe-Schmitt Reaction. *Chemical Reviews*, 57(4), 583–620.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Ludwig, E. E. (1999). *APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS* (Tercera ed., Vol. I).
- MAGNER, L. N. (2019). *Aspirin*. Obtenido de <https://www.encyclopedia.com/medicine/drugs/pharmacology/aspirin>
- Mapa de puertos argentinos*. (s.f.). Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/puertos-vias-navegables-y-marina-mercante/Mapa-de-Puertos-Argentinos>
- Martinez, J., & Barrios, F. (2016). *La aspirina*. Faculta de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA* (Séptima ed.). McGraw-Hill.
- McKetta, J. J. (s.f.). *Heat Transfer Design Methods*.
- Ministerio de Agroindustria de la República Argentina. (s.f.). *Guía POES: Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento*.
- Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de Argetina. (2015). *COMPLEJO FARMACÉUTICO. SERIE “COMPLEJOS PRODUCTIVOS”*.
- Moncada, L. (s.f.). *Simulación de Procesos. Chemcad*. Obtenido de <http://simprocess.blogspot.com/2012/02/chemcad.html>
- Montinaria, M., Minellib, S., & De Caterinac, R. (2019). The first 3500 years of aspirin history from its roots – A concise summary. *Vascular Pharmacology*, 1-8.
- Norma ISO 14644-1*. (s.f.). Obtenido de <http://www.infiltrо.es/index.php/norma-iso-14644-1>
- Ocon, J., & Tojo, G. (1982). *Problemas de Ingeniería Química. Operaciones Básicas. Tomo I-II*.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna* (Tercera ed.).
- Olin Corporation. (2016). *PHENOL PRODUCT STEWARDSHIP MANUAL*.
- Parque Industrial Campana*. (s.f.). Obtenido de <http://www.parqueindustrialcampana.com.ar/>
- Perry, R. (1984). *Manual del Ingeniero Químico. Tomos I-V*. McGraw-Hill.
- Puertos comerciales de Argentina. La enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina*. (2017). Obtenido de https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Puertos_comerciales_de_Argentina
- Puestos Argentinos. (s.f.). En *Intereses Marítimos Nacionales* (págs. 49-64).
- Red Parques* . (s.f.). Obtenido de <http://www.redparques.com.ar/>
- Rosen, A. (2014). *Reactor Design*.
- Salazar, J. R., & Soler, G. S. (s.f.). *Antiinflamatorios no esteroideos*.
- Sanjurjo, M. (1996). *La aspirina, legado de la medicina tradicional* .

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

- Santana Castellano, D. (2010). *Simulación de una columna de destilación simple para una mezcla binaria de compuestos utilizados como biodiesel. Comparación entre un nuevo modelo propuesto y simuladores comerciales de ingeniería química.*
- Schrör, K. (2016). *Acetylsalicylic Acid.* Obtenido de <https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=vZlgCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=acetylsalicylic+acid+synthesis&ots=pcYehlxh9S&sig=u-3bToP7O24pqBMD3E7y49jUksl#v=onepage&q=acetylsalicylic%20acid%20synthesis&f=false>
- Selección adecuada de un motor eléctrico asíncrono.* (s.f.). Obtenido de <https://www.roydisa.es/archivos/3012>
- Selección de filtros según aplicación.* (s.f.). Obtenido de <http://www.infiltro.es/index.php/seleccion-de-filtros-segun-aplicacion>
- Shell Chemicals. (s.f.). *Phenol Product Information Bulletin.*
- Smith, C., & Corripio, A. (1991). *Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica* (Primera ed.). Limusa.
- Speight, J. G. (2002). *CHEMICAL AND PROCESS DESIGN HANDBOOK.* McGraw-Hill.
- Sper, J., & Torres, I. (2009). *Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano usando Secador Rotatorio.* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil.
- Stanescu, I., & Achenie, L. (2006). Atheoretical study of solvent effects on Kolbe–Schmitt reaction kinetics. *Chemical Engineering Science*, 6199 – 6212.
- Tirenti, J. (s.f.). *API 650 - TANQUES DE ALMACENAMIENTO, Parte I: Código, Materiales, Diseño, Pared, Fondo, Placa Anular. Notas de Estudio.*
- Treybal, R. E. (1997). *Operaciones de transferencia de masa.*
- Ullmann, F. (2016). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Séptima ed.). WILEY-VCH.
- Valsecia, & Malgor. (s.f.). *ANALGÉSICOS ANTIPIRÉTICOS Y ANTIINFLAMATORIOS NO ESTEROIDES.* Drogas tipo aspirina.
- Viruega Sevilla, D. (2018). *Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de cerveza.* Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, Valladolid.
- Visos, B. G. (26 de Abril de 2019). *Aspirina: 120 años del primer medicamento 'milagro'.* Obtenido de <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/investigacion/aspirina-120-anos-del-primer-medicamento-milagro/>
- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. (s.f.). *Manual del alumbrado* (Cuarta ed.). DOSSAT S.A.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Williamson, K., & Masters, K. M. (2011). *Macroscale and Microscale Organic Experiments* (Sexta ed.).

World Health Organization. (1994). *PHENOL HEALTH AND SAFETY GUIDE. Health and Safety Guide No. 88*. Geneva.

*FICHAS DE DATOS DE
SEGURIDAD*

ANEXO I

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ANEXO I: FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

ANHÍDRIDO ACÉTICO		ICSC: 0209	
		Abril 2006	
<p style="text-align: center;">Ácido acético, anhídrido Anhídrido etanoico</p>	<p style="text-align: center;">Óxido acético Óxido de acetilo</p>		
<p>CAS: 108-24-7 C₄H₆O₃/(CH₃CO)₂O</p> <p>RTECS: AK1925000 Masa molecular: 102,1</p> <p>NU: 1715</p> <p>CE Índice Anexo I: 607-008-00-9</p> <p>CE / EINECS: 203-564-8</p>			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono (ver Notas).
EXPLOSIÓN	Por encima de 49 °C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 49 °C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor. Ampollas. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Lacrimógeno. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: respirador de filtro para gases ácidos. Traje de protección química. Utilizar pantalla facial. Consultar a un experto. Ventilar. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 10-20/22-34; S: (1/2-)26-36/37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro. Líquidos y vapores inflamables. Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Provoca lesiones oculares graves.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1715. Código NFPA: H2; F2; R1; W		A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos y de sustancias incompatibles (ver Peligros Químicos). Mantener en lugar seco.	
<p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p>			
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2006			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ANHÍDRIDO ACÉTICO

ICSC: 0209

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro de olor acre.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al arder, produciendo gases y humos tóxicos, incluyendo vapores de ácido acético. Reacciona violentamente con alcoholes, aminas, oxidantes, bases fuertes y agua. Ataca a muchos metales en presencia de agua o en seco.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 5 ppm como TWA; (ACGIH 2006).
MAK: 5 ppm 21 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I (I);
Riesgo para el embarazo: grupo D; (DFG 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

Lacrimógeno. La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación de esta sustancia puede originar reacciones asmáticas (ver Notas).

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

La inhalación puede causar reacciones parecidas al asma.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 139°C
Punto de fusión: -73°C
Densidad relativa (agua = 1): 1,08
Solubilidad en agua: reacciona
Presión de vapor, kPa a 20°C: 0,5
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,5

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,01
Punto de inflamación: 49°C c.c.
Temperatura de autoignición: 316°C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2,7-10,3
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0,27

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Cuando se mezcla con agua se forma ácido acético. Los incendios importantes deben apagarse con grandes cantidades de agua y a distancia. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en Julio 2007: ver Límites de Exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 5 ppm; 21 mg/m³

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2006

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

FENOL		ICSC: 0070 Octubre 2001	
CAS: 108-95-2 RTECS: SJ3325000 NU: 1671 CE Índice Anexo I: 604-001-00-2 CE / EINECS: 203-632-7	Ácido carbónico Ácido fénico Hidróxidobenceno C_6H_6O / C_6H_5OH Masa molecular: 94.1		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas. NO poner en contacto con strong oxidantes.	Espuma resistente al alcohol, polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 79°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 79°C, sistema cerrado, ventilación.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Tos. Vértigo. Dolor de cabeza. Náuseas. Vómitos. Jadeo. Dificultad respiratoria. Pérdida del conocimiento. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).	Evitar la inhalación de polvo fino y niebla. Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica.
Piel	FÁCIL ABSORCIÓN. Quemaduras cutáneas graves. Efecto anestésico local, convulsiones, colapso, coma, muerte.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Para eliminar la sustancia, utilizar polietilenglicol 300 o aceite vegetal. Proporcionar asistencia médica. Utilizar guantes protectores cuando se presten primeros auxilios.
Ojos	Dolor. Enrojecimiento. Pérdida de visión permanente. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Convulsiones. Diarrea. Shock o colapso. Dolor de garganta. Coloración oscura de la orina.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente precintable; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: T, C R: 23/24/25-34-48/20/21/22-68 S: (1/2-)24/25-26-28-36/37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61S1671 Código NFPA: H 3; F 2; R 0;		Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de oxidantes fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Mantener en lugar bien ventilado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005 			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

FENOL		ICSC: 0070
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Cristales de incoloro a amarillo o ligeramente rosados, de olor característico.	VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber rápidamente por inhalación del vapor a través de la piel y por ingestión.	
PELIGROS QUÍMICOS Por calentamiento intenso se producen humos tóxicos. La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión.	RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 5 ppm (como TWA) (piel), A4 (no clasificable como cancerígeno humano); BEI establecido (ACGIH 2004). MAK: H (absorción dérmica). Cancerígeno: categoría 3B. Mutágeno: categoría 3B (DFG 2009).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia y el vapor son corrosivos para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, corazón y riñón, dando lugar a convulsiones, alteraciones cardíacas, fallo respiratorio, colapso y coma. La exposición puede producir muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.	
	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al hígado y riñón.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 182°C Punto de fusión: 43°C Densidad: 1.06 g/cm ³	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,001 Punto de inflamación: 79°C c.c. Temperatura de autoignición: 715°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1,36-10 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,46	
Solubilidad en agua: moderada Presión de vapor, Pa a 20°C: 47 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,2		
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Otros números NU: 2312 (fundido); 2821 (solución). El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Clasificación UE, y en abril de 2010: ver Límites de exposición, Ingestión- Primeros Auxilios, Almacenamiento.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2013): VLA-ED: 2 ppm; 8 mg/m ³ VLA-EC: 4 ppm; 16 mg/m ³ Notas: vía dérmica. Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE. VLB: 120 mg/g creatinina en orina. Notas F, I, con hidrólisis.		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2005		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICSC: 0360 Mayo 2010	
CAS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	1310-73-2 1823 011-002-00-6 215-185-5	Sosa caústica Hidrato de sodio Sosa NaOH Masa molecular: 40.0	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F0; R1		Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010			
			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICSC: 0360
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas	VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves	RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.
PELIGROS QUÍMICOS La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISQ:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoniaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 2 mg/m ³ (Valor techo) (ACGIH 2010). MAK: Ilb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).		
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 1388°C Punto de fusión: 318°C Densidad: 2.1 g/cm ³ Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).		
DATOS AMBIENTALES		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otro n° NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 2 mg/m ³		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2010		

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

DIÓXIDO DE CARBONO		ICSC: 0021	
		Octubre 2006	
Gas ácido carbónico		Anhídrido carbónico	
CAS:	124-38-9	CO₂	
RTECS:	FF6400000	Masa molecular: 44,0	
NU:	1013		
CE / EINECS:	204-696-9		

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	¡Los envases pueden arder en un incendio!		En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Vértigo. Dolor de cabeza. Presión sanguínea elevada. Ritmo cardíaco acelerado. Asfixia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	En contacto con líquido: congelación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: equipo autónomo de respiración. Ventilar. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido.	Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.2 Clasificación GHS Atención Puede ser nocivo si se inhala. Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1013 o 20G2A	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo.
<p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p>       <p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2007</p>	

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

DIÓXIDO DE CARBONO

ICSC: 0021

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Gas licuado comprimido, incoloro e inodoro.

PELIGROS FÍSICOS:

El gas es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. A velocidades elevadas pueden generarse cargas electrostáticas y puede inflamarse cualquier mezcla explosiva presente. Las pérdidas de líquido condensan formando hielo seco extremadamente frío.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, por encima 2000 °C produciendo monóxido de carbono tóxico.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 5000 ppm como TWA, 30000 ppm como STEL; (ACGIH 2006).

MAK: 5000 ppm, 9100 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2); (DFG 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación a niveles elevados puede originar pérdida de conciencia. Asfixia.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

La sustancia puede afectar al metabolismo.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de sublimación: -79°C
Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 88
Presión de vapor, kPa a 20°C: 5720
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,5

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0,83

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

El dióxido de carbono se libera en muchos procesos de fermentación (vino, cerveza, etc.) y es un componente mayoritario en los gases de combustión. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Otros números de clasificación NU para el transporte son: NU 1845 dióxido de carbono, sólido (Hielo seco); NU 2187 dióxido de carbono líquido refrigerado.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m³

Notas: Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2007

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ÁCIDO SULFÚRICO		ICSC: 0362 Febrero 2000	
CAS:	7664-93-9	Ácido sulfúrico 100%	
RTECS:	WS5600000	Aceite de vitriolo	
NU:	1830	H₂SO₄	
CE Índice Anexo I:	016-020-00-8	Masa molecular: 98.1	
CE / EINECS:	231-639-5		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Consultar a un experto. ¡Evacuar la zona de peligro! NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1830 o 80GC1-II+III Código NFPA: H3; F0; R2; W		Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.	
<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005</p> 			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ÁCIDO SULFÚRICO		ICSC: 0362
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido higroscópico incoloro, aceitoso e inodoro.	VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.	
PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).	RIESGO DE INHALACIÓN La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0.2 mg/m ³ , Fracción torácica, A2 (sospechoso de ser cancerígeno humano); (ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes) (ACGIH 2005). MAK: (Fracción inhalable) 0.1 mg/m ³ ; Categoría de limitación de pico: I(1); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas).	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son carcinógenas para los seres humanos.	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otros números NU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico agotado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver Límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2014): VLA-ED (niebla): 0,05 mg/m ³ Notas: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que pueden surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida. Véase UNE EN 481: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2005		

*TÉCNICAS PARA ANÁLISIS
Y CONTROL DE CALIDAD*

ANEXO II

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

ANEXO II: TÉCNICAS PARA ANÁLISIS Y CONTROL DE CALIDAD

Técnica T – 01: N° 410 Farmacopea Argentina “Ensayos generales de identificación”

Ensayos realizados para la identificación de productos oficiales. Su objeto es confirmar que el producto se ajusta a la descripción dada en el rótulo del envase. Cuando un producto no satisface los requisitos de un ensayo de identificación descripto, indica que el mismo no cumple con las especificaciones.

Procedimiento

A) Acetato: Cuando el ácido acético o los acetatos se calientan con unas gotas de ácido sulfúrico concentrado y alcohol, se forma acetato de etilo que puede identificarse por su olor característico. Con soluciones neutras de acetatos, el cloruro férrico (SR) produce un intenso color rojo que desaparece con el agregado de ácidos minerales.

B) Sodio: Preparar una solución que contenga 0,1 g de compuesto de sodio en 2 ml de agua, agregar 2 ml de carbonato de potasio al 15 % y calentar hasta ebullición: no se forma precipitado. Agregar 4 ml de piroantimoniato de potasio (SR) y calentar hasta ebullición. Dejar enfriar en agua con hielo y, si fuera necesario, raspar las paredes internas del tubo con una varilla de vidrio: se forma un precipitado denso. Las sales de sodio confieren un intenso color amarillo a la llama.

C) Sulfato: Las soluciones de sulfatos en presencia de cloruro de bario (SR) producen un precipitado blanco insoluble en ácido clorhídrico y ácido nítrico. Con acetato de plomo (SR) forman un precipitado blanco soluble en solución de acetato de amonio. El ácido clorhídrico no produce precipitado cuando se agrega a las soluciones de sulfatos (diferencia con tiosulfatos).

Técnica T – 02: N° 160 Farmacopea Argentina “Determinación de la densidad”

A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, la determinación de la densidad relativa se realiza a 20 °C.

Procedimiento

Emplear un picnómetro perfectamente seco. Determinar el peso del picnómetro vacío y el peso de agua contenida en el picnómetro, recientemente hervida y enfriada a 20 °C. Al peso obtenido, sustraer el peso del picnómetro vacío. Llenar el picnómetro con la sustancia a ensayar a 20 °C. Ajustar la temperatura del picnómetro lleno a la misma temperatura, eliminar el exceso de líquido y pesar. Al peso obtenido, sustraer el peso del picnómetro vacío.

A menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, la densidad relativa de la sustancia es el cociente entre el peso de la sustancia contenida en el picnómetro menos el peso del picnómetro vacío y el peso de agua contenida en el mismo menos el peso del picnómetro vacío.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Técnica T – 03: Farmacopea Argentina “Valoración”

Se emplean dos tipos de valoraciones volumétricas: titulación directa y residual. La primera se utiliza para la determinación de sustancias en solución, con un titulante apropiado. El punto final se determina instrumentalmente o visualmente con un indicador apropiado. El titulante se agrega desde una bureta de capacidad apropiada elegida de acuerdo a la concentración del titulante (normalidad), de modo tal que el volumen consumido sea entre 30 y 100 % de su capacidad nominal. La aproximación al punto final se hace en forma directa agregando gota a gota el titulante con la precaución de que la última gota agregada no sobrepase el punto final. La cantidad de muestra titulada se calcula a partir del volumen consumido, la normalidad o factor de molaridad del titulante y el factor de equivalencia especificado.

En la segunda, se agrega un volumen medido de un titulante, mayor al necesario para reaccionar con la muestra. El exceso de esta solución es titulado posteriormente con un segundo titulante. La cantidad de muestra titulada se calcula a partir de la diferencia entre el volumen de titulante originalmente agregado y el volumen consumido por el segundo titulante en la titulación por retorno, las normalidades o los factores de molaridad y el factor de equivalencia especificado.

A) Ácido acético glacial: Transferir aproximadamente 1 ml de ácido acético glacial a un erlenmeyer con tapón de vidrio, previamente pesado, que contenga 20 ml de agua. Pesar nuevamente para obtener el peso de la sustancia a valorar. Agregar 20 ml de agua, luego agregar fenolftaleína (SR) y titular con hidróxido de sodio 1 N (SV). Cada ml de hidróxido de sodio 1 N equivale a 60,1 mg de $C_2H_4O_2$.

B) Hidróxido de sodio: Medir 1 ml de la solución de NaOH 50 %p/p y diluir con 40 mL de agua destilada libre de CO_2 . Agregar fenolftaleína (SR) y titular con ácido sulfúrico 1 N (SV). Registrar el volumen de ácido consumido hasta la desaparición del color rosado del indicador, agregar naranja de metilo (SR) y continuar la titulación hasta un color rosado persistente. Realizar una determinación con un blanco y hacer las correcciones necesarias. Cada ml de ácido sulfúrico 1 N equivale a 40,00 mg de álcali total, calculado como NaOH y cada ml de ácido consumido en la titulación con naranja de metilo equivale a 106,0 mg de Na_2CO_3 .

C) Ácido sulfúrico: Transferir 20 ml de agua a un erlenmeyer con tapón de vidrio. Pesar el erlenmeyer y agregar aproximadamente 1 ml de ácido sulfúrico. Pesar nuevamente para obtener el peso de la muestra, agregar 25 ml de agua, enfriar, agregar rojo de metilo (SR) y titular con hidróxido de sodio 1 N (SV). Cada ml de hidróxido de sodio 1 N equivale a 49,04 mg de H_2SO_4 .

D) Ácido salicílico: Pesar exactamente alrededor de 500 mg de ácido salicílico, disolver en 25 ml de alcohol diluido previamente neutralizado con hidróxido de sodio 0,1 N, agregar fenolftaleína

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

(SR) y titular con hidróxido de sodio 0,1 N (SV). Realizar una determinación con un blanco y hacer las correcciones necesarias. Cada ml de hidróxido de sodio 0,1 N equivale a 13,81 mg de $C_7H_6O_3$.
E) Ácido acetilsalicílico: Valoración volumétrica residual. Pesar exactamente alrededor de 1,5 g de ácido acetilsalicílico, transferir a un erlenmeyer, agregar 50,0 ml de hidróxido de sodio 0,5 N (SV) y calentar a ebullición suavemente la mezcla durante 10 minutos. Agregar fenolftaleína (SR) y titular el hidróxido de sodio en exceso con ácido sulfúrico 0,5 N (SV). Realizar una determinación con un blanco y hacer las correcciones necesarias. Cada ml de hidróxido de sodio 0,5 N equivale a 45,04 mg de $C_9H_8O_4$.

Técnica T – 04: Farmacopea Argentina “Cloruro en ácido acético glacial”

Procedimiento

Diluir 1,0 ml de ácido acético glacial con 20 ml de agua y agregar 5 gotas de nitrato de plata (SR): no debe producir opalescencia. La solución de nitrato de plata es 0,1 N.

Preparación y estandarización de solución nitrato de plata 0,1 N

Disolver aproximadamente 17,5 g de nitrato de plata en 1 litro de agua y estandarizar la solución del siguiente modo. Transferir aproximadamente 100 mg, exactamente pesados, de cloruro de sodio grado reactivo, previamente secado a 110 °C durante 2 horas, a un vaso de precipitados de 150 ml, disolver en 5 ml de agua y agregar 5 ml de ácido acético, 50 ml de metanol y 0,5ml gotas de eosina (SR). Agitar, preferentemente con un agitador magnético y titular con solución de nitrato de plata. Calcular la normalidad.

Técnica T – 05: Farmacopea Argentina “Sulfato en ácido acético glacial”

Procedimiento

Diluir 1,0 ml de ácido acético glacial con 10 ml de agua y agregar 1 ml de cloruro de bario (SR): no debe producir turbidez.

Preparación y estandarización de solución cloruro de bario

Disolver 12 g de cloruro de bario en agua para obtener 100 ml.

Técnica T – 06: N° 180 Farmacopea Argentina “Temperatura de solidificación del ácido acético glacial”

Aparato

Consta de un tubo de ensayo de 25 mm x 150 mm colocado dentro de un tubo de ensayo de 40 mm x 160 mm; el tubo interior está cerrado con un tapón que sostiene el termómetro y un agitador. El bulbo del termómetro se encuentra a aproximadamente 15 mm del fondo del tubo. El conjunto

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

se coloca dentro de un vaso de precipitados que contiene un líquido refrigerante apropiado y un termómetro para controlar la temperatura del mismo.

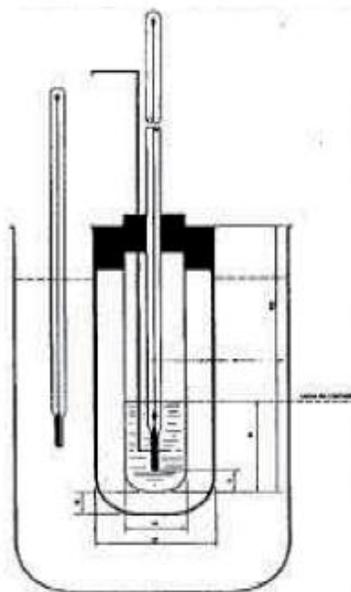


Imagen 14 - Aparato para determinar temperatura de solidificación.

Fuente: Farmacopea Argentina, Libro primero.

Procedimiento

Emplear un termómetro que se ajuste a experiencia. Transferir una cantidad de muestra, previamente fundida si fuera necesario, al tubo interno, de manera que el bulbo del termómetro quede totalmente cubierto. Determinar el punto de solidificación aproximado enfriando rápidamente. Colocar el tubo interno en un baño a una temperatura 5 °C por encima del punto de solidificación de la sustancia hasta que prácticamente toda la muestra se funda y sólo queden trazas de cristales.

Llenar el vaso de precipitados con el líquido refrigerante a una temperatura 5 °C por debajo del punto de solidificación de la sustancia. Insertar el tubo interno dentro del tubo externo, asegurándose que la muestra presente algunos cristales y agitar, moviendo el agitador verticalmente, hasta que se produzca la solidificación. La mayor temperatura observada corresponde a la temperatura de solidificación.

En el caso en que la muestra se encuentre en estado líquido a temperatura ambiente, llevar a cabo la determinación empleando un baño a una temperatura aproximadamente 15 °C por debajo del punto de solidificación esperado.

Cuando la muestra se enfría cerca de 5 °C por encima del punto de solidificación esperado, ajustar el baño a una temperatura entre 7 y 8 °C debajo del punto de solidificación esperado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Agitar la muestra hasta terminar el ensayo a una velocidad regular de 20 ciclos completos por minuto.

Técnica T – 07: Farmacopea Argentina “Residuo no volátil en ácido acético glacial”

Transferir 50 ml de Ácido Acético a una cápsula de porcelana previamente pesada, evaporar en un baño de vapor bajo campana y secar a 105 °C durante 1 hora: el residuo no debe ser mayor de 1,0 mg (0,005 %).

Técnica T – 08: Farmacopea Argentina “Carbonato en hidróxido de sodio”

A continuación de la titulación de la solución de hidróxido de sodio utilizando fenolftaleína como indicador, se debe agregar naranja de metilo y continuar valorando hasta alcanzar un color rosado persistente. Cada ml de ácido consumido en la titulación con naranja de metilo equivale a 106,0 mg de Na₂CO₃.

Técnica T – 09 N° 590 Farmacopea Argentina “Metales pesados en hidróxido de sodio”

Disolver 0,67 g de hidróxido de sodio en una mezcla de 5 ml de agua y 7 ml de ácido clorhídrico 3 N. Calentar a ebullición, enfriar y diluir con agua a 25 ml. El límite es 0,002%.

Este ensayo se emplea para establecer que el contenido de impurezas metálicas que reaccionan con el ión sulfuro, bajo las condiciones especificadas, no excede el límite de metales pesados especificado en la monografía correspondiente, expresado como porcentaje (en peso) de plomo en la sustancia en ensayo, determinado mediante comparación visual.

Técnica T – 10: N° 540 Farmacopea Argentina “Arsénico en ácido sulfúrico”

Transferir 1,6 ml de ácido sulfúrico, equivalente a 3,0 g, a una cápsula de porcelana que contenga 3 ml de ácido nítrico y 20 ml de agua. Evaporar hasta formación de gases densos de trióxido de azufre, enfriar y transferir cuidadosamente el remanente a un matraz generador de arsina. Lavar la cápsula con 50 ml de agua y reunir los lavados en el matraz generador de arsina. Límite de arsénico, excepto que se debe omitir el agregado de 20 ml de ácido sulfúrico 7 N. El límite es 1 ppm.

Procedimiento

Este procedimiento se diseñó para determinar la presencia de trazas de arsénico transformándolo en arsina, la cual forma un complejo de color rojo al pasar a través de una solución de dietilditiocarbamato de plata. El color rojo producido se compara visualmente, contra un control que tiene una cantidad de arsénico equivalente al límite especificado.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Existen dos métodos que difieren en el tratamiento preliminar de la muestra a ensayar y del estándar, siendo el método I de la técnica 540 de Farmacopea Argentina la que se emplea generalmente para sustancias inorgánicas.

Aparato

Consta de un generador de arsina A, al que se le adapta una unidad depuradora C, y un tubo de absorción E, con juntas estándar o esféricas B y D, colocadas entre las unidades. Se puede emplear cualquier otro aparato que tenga características similares.

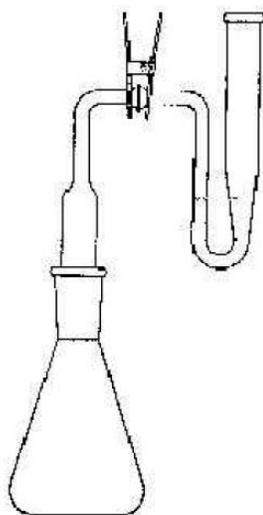


Imagen 15 - Aparato para la determinación de arsénico.
Fuente: Farmacopea Argentina, libro primero.

Técnica T – 11: Nº 40 Farmacopea Argentina “Carbono orgánico total en agua purificada”

Este ensayo se emplea para determinar la cantidad de carbono que forma parte de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Normalmente, el carbono orgánico es oxidado a dióxido de carbono por combustión, por radiación ultravioleta o por la adición de agentes oxidantes. La cantidad de dióxido de carbono generada en el proceso de descomposición es medida empleando un método apropiado, como por ej., por medio de un analizador infrarrojo de gases, por medición de la conductividad eléctrica o de la resistividad. No debe contener más de 0,5 mg por litro.

El carbono presente en el agua puede tener dos orígenes: carbono orgánico y carbono inorgánico. La cantidad de carbono orgánico se mide por dos métodos: uno se basa en medir la cantidad de carbono total en el agua, a la cual finalmente se le resta la cantidad de carbono inorgánico; el otro se basa en extraer el carbono inorgánico del agua a ensayar, quedando finalmente una cantidad remanente de carbono que representa el carbono orgánico.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Aparato

Consta de un inyector para la muestra, un dispositivo de descomposición, un sistema de separación del dióxido de carbono, un detector y un procesador de datos o un registrador. Debe calibrarse según las instrucciones del fabricante y debe ser capaz de medir cantidades de carbono orgánico por debajo de 0,050 mg por litro.

Procedimiento

Emplear el método, analítico apropiado según el aparato. Sumergir el recipiente para la muestra, antes de ser empleado en una mezcla de peróxido de hidrógeno al 30 % y ácido nítrico diluido (1:1), lavando finalmente con agua. Lavar la microjeringa con una mezcla constituida por una solución de hidróxido de sodio (1 en 20) y etanol anhidro (1:1) o ácido clorhídrico diluido (1 en 4), lavando finalmente con agua.

Calibrar el aparato con la Solución estándar de biftalato de potasio o la recomendada por el fabricante del aparato, emplear el procedimiento sugerido por el fabricante. Es recomendable que el aparato se instale en la línea de producción del agua a ensayar. De no ser así, llevar a cabo este ensayo en un área libre de solventes orgánico u otras sustancias que afecten el resultado del ensayo.

A) Medición del carbono orgánico por sustracción del carbono inorgánico del carbono total: De acuerdo con los procedimientos del ensayo establecidos por el fabricante del aparato, inyectar en el dispositivo de inyección un volumen de muestra apropiado en relación con la cantidad de carbono a determinar y descomponer el carbono orgánico e inorgánico presentes en la muestra. Detectar el dióxido de carbono generado y calcular la cantidad de carbono total, emplear para ello un procesador de datos o un registrador. Determinar exclusivamente la cantidad de carbono inorgánico del mismo modo en que se realizó la determinación de carbono total, modificando la configuración del aparato si fuera necesario. La cantidad de carbono orgánico se obtiene restando la cantidad de carbono inorgánico de la cantidad de carbono total.

B) Medición del carbono orgánico después de la extracción del carbono inorgánico: Extraer el carbono inorgánico de la muestra por adición de ácido para eliminar el carbono inorgánico seguido por el burbujeo del gas transportador (como por ej., nitrógeno) si fuera necesario. De acuerdo con los procedimientos del ensayo establecidos por el fabricante del aparato, inyectar en el dispositivo de inyección un volumen de muestra apropiado en relación con la cantidad de carbono a determinar y descomponer la muestra. Detectar el dióxido de carbono generado por medio del detector y calcular la cantidad de carbono orgánico, empleando un procesador de datos o un registrador.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Para el caso de los aparatos que directamente extraen el carbono inorgánico, inyectar primero en el dispositivo de inyección un volumen de muestra apropiado en relación con la cantidad de carbono a determinar, de acuerdo con los procedimientos del ensayo establecidos por el fabricante del aparato. Extraer de la muestra el carbono inorgánico por adición de ácido para eliminar el carbono inorgánico en el dispositivo de descomposición y burbujear con gas transportador para eliminar el carbono inorgánico.

Descomponer el carbono orgánico, detectar el dióxido de carbono generado y calcular la cantidad de carbono orgánico, empleando un procesador de datos o un registrador.

Técnica T – 12: N° 75 Farmacopea Argentina “Conductividad en agua purificada”

En este ensayo se incluyen dos etapas preliminares. Si las condiciones de ensayo y los límites de conductividad se cumplen en cualquiera de las etapas preliminares, el Agua Calidad Farmacéutica cumple con los requisitos del ensayo cuando se especifique en la monografía. En estas circunstancias es innecesario proceder con la tercera etapa. La muestra no cumple con los requisitos del ensayo sólo si no cumple con la tercera etapa.

Procedimiento

Etapa 1

1. Determinar la temperatura y la conductividad del agua realizando una lectura de conductividad no compensada por temperatura. La medida puede llevarse a cabo en un recipiente apropiado o como una medida en línea.
2. Empleando la Imagen 3, encontrar el valor de temperatura inmediata inferior a la temperatura medida. El valor de conductividad correspondiente es el límite a esa temperatura.
3. Si la conductividad medida no es mayor que el valor de la Imagen 3, el agua cumple los requisitos del ensayo de conductividad. Si la conductividad es mayor que el valor indicado en la Imagen 3, proceder con la Etapa 2.

Etapa 2

4. Transferir una cantidad suficiente de agua (100 ml o más) a un envase apropiado y agitar. Ajustar la temperatura, si fuera necesario, y mientras se la mantiene a 25 ± 1 °C, comenzar a agitar vigorosamente la muestra y observar periódicamente la conductividad. Cuando el cambio en la conductividad (debido a la captación del dióxido de carbono atmosférico) es menor que el valor neto de 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante 5 minutos, registrar la conductividad.
5. Si la conductividad no es mayor que 2,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el agua cumple con los requisitos del ensayo de conductividad.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Temperatura (°C)	Requisito de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)*
0	0,6
5	0,8
10	0,9
15	1,0
20	1,1
25	1,3
30	1,4

Imagen 16 - Requisitos de conductividad y temperatura para la Etapa 1.

Fuente: Farmacopea Argentina, libro cuarto.

Técnica T – 13: Nº 140 Farmacopea Argentina “Aluminio en agua purificada”

Soluciones utilizadas

A) Ácido nítrico diluido: Transferir 40 ml de ácido nítrico a un matraz aforado de 1 litro y completar a volumen con agua.

B) Soluciones estándar: Transferir 2,0 g de aluminio metálico a un matraz aforado de 1 litro, agregar 50 ml de ácido clorhídrico 6 N, agitar por rotación y dejar que reaccione hasta que todo el aluminio se haya disuelto. Completar con agua a volumen y mezclar. Transferir 5,0 ml de esta solución a un matraz aforado de 1 litro, completar a volumen con agua y mezclar. Transferir 10,0 ml de esta solución a un matraz aforado de 100 ml, completar a volumen con ácido nítrico diluido y mezclar. Transferir porciones de 1,0; 2,0 y 4,0 ml de esta solución a sendos matraces aforados de 100 ml, completar a volumen con Ácido nítrico diluido y mezclar. Estas soluciones contienen 0,01; 0,02 y 0,04 μg por ml, respectivamente.

C) Solución muestra: Transferir una cantidad de muestra, en g, exactamente pesada, a un matraz aforado de plástico de 100 ml. Agregar 50 ml de agua y sonicar durante 30 minutos. Agregar 4 ml de ácido nítrico, completar con agua a volumen y mezclar.

Procedimiento

Determinar las absorbancias de las soluciones estándar y la solución muestra en la línea de emisión del aluminio a 309,3 nm con un espectrofotómetro de absorción atómica apropiado el cual debe estar equipado con una lámpara de aluminio de cátodo hueco y un horno eléctrico sin llama, empleando ácido nítrico diluido como blanco. Graficar las absorbancias de las soluciones estándar en función del contenido de Al, en mg cada por ml, y trazar la línea que mejor se ajuste. A partir del gráfico obtenido, determinar la cantidad, en mg, de Al en cada ml de la Solución muestra. Calcular la cantidad de Al en la muestra, en mg por g, multiplicando este valor por 100/P, donde P es el peso, en g, de la sustancia tomada para preparar la solución muestra.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Técnica T – 14: N° 330 Farmacopea Argentina “Endotoxinas en agua purificada”

El ensayo de endotoxinas bacterianas se aplica a la determinación o cuantificación de endotoxinas provenientes de las bacterias Gram negativas, empleando como reactivo, lisados de amebocitos circulantes del cangrejo herradura de *Limulus polyphemus* (ensayo LAL), de *Tachypleus tridentatus*, etc. Cuando se enfrenta el reactivo a soluciones que contienen endotoxinas produce gelificación. Como resultado final, la proteína coagulable (coagulígeno) se transforma en un gel (coagulina), siendo la base del método de gel en tubo.

Técnica T – 15: N° 250 Farmacopea Argentina “Medición de pH”

El pH es un índice numérico que se emplea para expresar el grado de acidez o alcalinidad de una solución. La determinación del pH se realiza empleando un medidor del pH, calibrado y capaz de reproducir valores de pH con variaciones menores a 0,02 unidades de pH, empleando un electrodo indicador sensible a la actividad del ion hidrógeno, como el electrodo de vidrio, y un electrodo de referencia apropiado, como por ej., calomel o plata-cloruro de plata. La determinación del pH se realiza mediante la medición de la diferencia de potencial entre el par de electrodos. Las mediciones se hacen a 25 ± 2 °C.

Técnica T – 16: N° 10603 Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes “Determinación de dureza total”

La dureza total se define como la suma de concentración de iones calcio y magnesio, expresados como carbonato de calcio, en mg/L. Los iones calcio y magnesio forman complejos estables con etilendiaminotetra-acetato disódico. El punto final de la titulación es detectado por el indicador Negro de Eriocromo-T, el cual posee rosado en la presencia de calcio y magnesio y un color azul cuando los cationes están formando complejo con EDTA.

Procedimiento

Titulación de la muestra:

1. Seleccionar un volumen de muestra que requiera un gasto de EDTA menor a 15 mL. Diluir la muestra a 50 mL con agua destilada. Agregar 1 o 2 mL de solución buffer. El pH deberá ser 10.0 ± 0.1 , en caso contrario descartar la solución buffer.
2. Agregar una punta de espátula de reactivo indicador. Titular con solución de EDTA lentamente y agitando continuamente hasta viraje de color de la solución de rosado a azul. Completar la titulación dentro de los cinco minutos siguiente al agregado de la solución buffer.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Técnica T – 17: N° 680 Farmacopea Argentina “Pérdida por secado”

Homogeneizar y pesar exactamente la muestra y, a menos que se especifique de otro modo en la monografía correspondiente, llevar a cabo la determinación sobre 1 a 2 g de la misma. Pesar un pesafiltro previamente secado durante 30 minutos y colocar la muestra en el mismo. Distribuir la muestra lo más uniformemente posible, agitando suavemente el pesafiltro de modo que se forme una capa de 5 mm de espesor aproximadamente y no más de 10 mm en el caso de materiales voluminosos. Tapar y colocar el pesafiltro en la cámara de secado. Secar la muestra a la temperatura y durante el tiempo especificado.

Para muestras que fundan a una temperatura inferior a la especificada para la determinación de Pérdida por secado, mantener el pesafiltro con su contenido durante 1 o 2 horas a una temperatura 5 a 10 °C por debajo de la temperatura de fusión y luego secar a la temperatura especificada.

Esta técnica se aplica para el ácido salicílico, se debe secar sobre gel de sílice durante 3 horas: no debe perder más de 0,5 % de su peso, mientras que para el ácido acetil salicílico es durante 5 horas: no debe perder más de 0,5 % de su peso.

Técnica T – 18: N° Farmacopea Argentina “Sulfato en Ácido Salicílico”

Disolver 1,0 g de ácido salicílico en 5 ml de dimetilformamida, agregar 4 ml de agua y mezclar. Agregar 0,2 ml de ácido clorhídrico diluido y 0,5 ml de una solución de cloruro de bario 1 en 4. Luego de 15 minutos, cualquier opalescencia de la solución no debe ser más intensa que la de una solución estándar preparada del siguiente modo: a 2 ml de una solución patrón de sulfato de potasio con una concentración de 181 µg por ml, equivalente a 100 µg de sulfato por ml, agregar 0,2 ml de ácido clorhídrico diluido, 0,5 ml de solución de cloruro de bario 1 en 4, 3 ml de agua y 5 ml de dimetilformamida (0,02 %).

Técnica T – 19: N° Farmacopea Argentina “Determinación de sustancias relacionadas”

Esta técnica es utilizada para la determinación de ácidos p-hidroxibenceno, 4-hidroxiisofalico y fenol, para ello es necesario utilizar un equipo para cromatografía de líquidos con un detector ultravioleta ajustado a 270 nm y una columna de 15 cm x 4,6 mm con fase estacionaria constituida por octadecilsilano químicamente unido a partículas porosas de sílice de 5 µm de diámetro. El caudal debe ser aproximadamente 0,5 ml por minuto. Como fase móvil se emplea una mezcla de agua, metanol y ácido acético glacial (60:40:1).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Preparación de soluciones

Solución estándar A: Preparar una solución de fenol en fase móvil de aproximadamente 0,1 mg por ml.

Solución estándar B: Preparar una solución de ácido 4 – hidroxiiisoftálico en fase móvil de aproximadamente 0,25 mg por ml.

Solución estándar C: Preparar una solución de ácido p – hidroxibenzoico en fase móvil de aproximadamente 0,5 mg por ml.

Solución estándar D: Diluir 1,0 ml de la Solución estándar A a 10,0 ml con fase móvil.

Solución estándar E: Diluir una mezcla de 1,0 ml de cada una de las Soluciones estándar A, B y C a 10,0 ml con fase móvil.

Solución estándar F: Diluir una mezcla de 0,1 ml de cada una de las Soluciones estándar A, B y C a 10,0 ml con fase móvil.

Solución muestra: Preparar una solución de ácido salicílico en fase móvil de aproximadamente 5 mg por ml.

Procedimiento

Inyectar por separado en el cromatógrafo volúmenes iguales (aproximadamente 10 μ l) de la solución muestra y la solución estándar F. Registrar los cromatogramas y medir las respuestas de los picos principales. En el cromatograma obtenido con la solución muestra las respuestas de los picos debidos al ácido p – hidroxibenzoico, ácido 4 – hidroxiiisoftálico y fenol no deben ser mayores que las respuestas de los picos correspondientes en el cromatograma obtenido con la solución estándar F.

Técnica T – 20: N° 270 Farmacopea Argentina “Determinación del residuo de ignición”

Pesar exactamente entre 1 y 2 g de muestra o la cantidad especificada en un crisol apropiado, previamente sometido a ignición, enfriado y pesado. Calentar con un mechero, suavemente al principio y luego con mayor intensidad, hasta que la muestra se carbonice totalmente, evitando proyecciones y enfriar. Humedecer el residuo con 1 ml de ácido sulfúrico.

Calentar suavemente hasta que no se desprendan más vapores blancos y someter a ignición a 800 ± 50 °C, hasta que el residuo carbonoso se consuma. Enfriar en un desecador, pesar y calcular el porcentaje del residuo. Si la cantidad de residuo obtenido es mayor al límite especificado en la monografía correspondiente, humedecer nuevamente el residuo con 1 ml de ácido sulfúrico, calentar y someter a ignición como se indicó anteriormente y nuevamente calcular el porcentaje del residuo. Continuar la ignición hasta peso constante.

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Técnica T – 21: N° 590 Farmacopea Argentina “Sustancias insolubles en carbonato de sodio”

Una solución de 500 mg de ácido acetilsalicílico en 10 ml de carbonato de sodio (SR) caliente debe ser transparente. Para la preparación de la solución necesaria disolver 10,6 g de carbonato de sodio anhidro en agua para obtener 100ml.

Técnica T – 22: N° Farmacopea Argentina “Límite de sulfato en ácido acetyl salicílico”

Disolver 6,0 g de ácido acetilsalicílico en 37 ml de acetona y agregar 3 ml de agua. Titular potenciométricamente con perclorato de plomo 0,02 M, preparado mediante la disolución de 9,20 g de perclorato de plomo en agua hasta obtener 1 litro, empleando un medidor de pH capaz de tener una reproducibilidad mínima de $\pm 0,1$ mV. Emplear un sistema de electrodos formado por un electrodo específico para plomo y un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata con manga de vidrio que contenga una cantidad suficiente de una solución de perclorato de tetraetilamonio en ácido acético glacial (1 en 44).

Técnica T – 23: N° 590 Farmacopea Argentina “Metales pesados en ácido acetyl salicílico”

Disolver 2,0 g de ácido acetilsalicílico en 25 ml de acetona y agregar 1 ml de agua. Agregar 1,2 ml de tioacetamida- glicerina básica (SR) y 2 ml de solución reguladora de acetato pH 3,5 y dejar en reposo durante 5 minutos: el color producido no debe ser más oscuro que el de un control preparado con 25 ml de acetona y 2 ml de solución estándar de plomo (10 ppm) tratado de la misma manera (0,001 %).

Técnica T – 24 N° Farmacopea Argentina “Limite de ácido salicílico libre”

Preparar 25 ml de una solución al 10 % de ácido acetilsalicílico en alcohol. Tomar dos tubos de Nessler, y a cada uno agregar 48 ml de agua y 1 ml de una solución diluida de sulfato férrico amónico recientemente preparada mediante el agregado de 1 ml de ácido clorhídrico 1 N a 2 ml de sulfato férrico amónico (SR) y diluida con agua a 100 ml. Transferir a un tubo 1 ml de una solución estándar de ácido salicílico en agua de aproximadamente 0,10 mg de ácido salicílico por ml. Transferir al segundo tubo 1 ml de la solución de ácido acetilsalicílico al 10 %. Mezclar el contenido de cada tubo: luego de 30 segundos el color en el segundo tubo no debe ser más intenso que el que presenta el primer tubo que contiene ácido salicílico (0,1 %).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

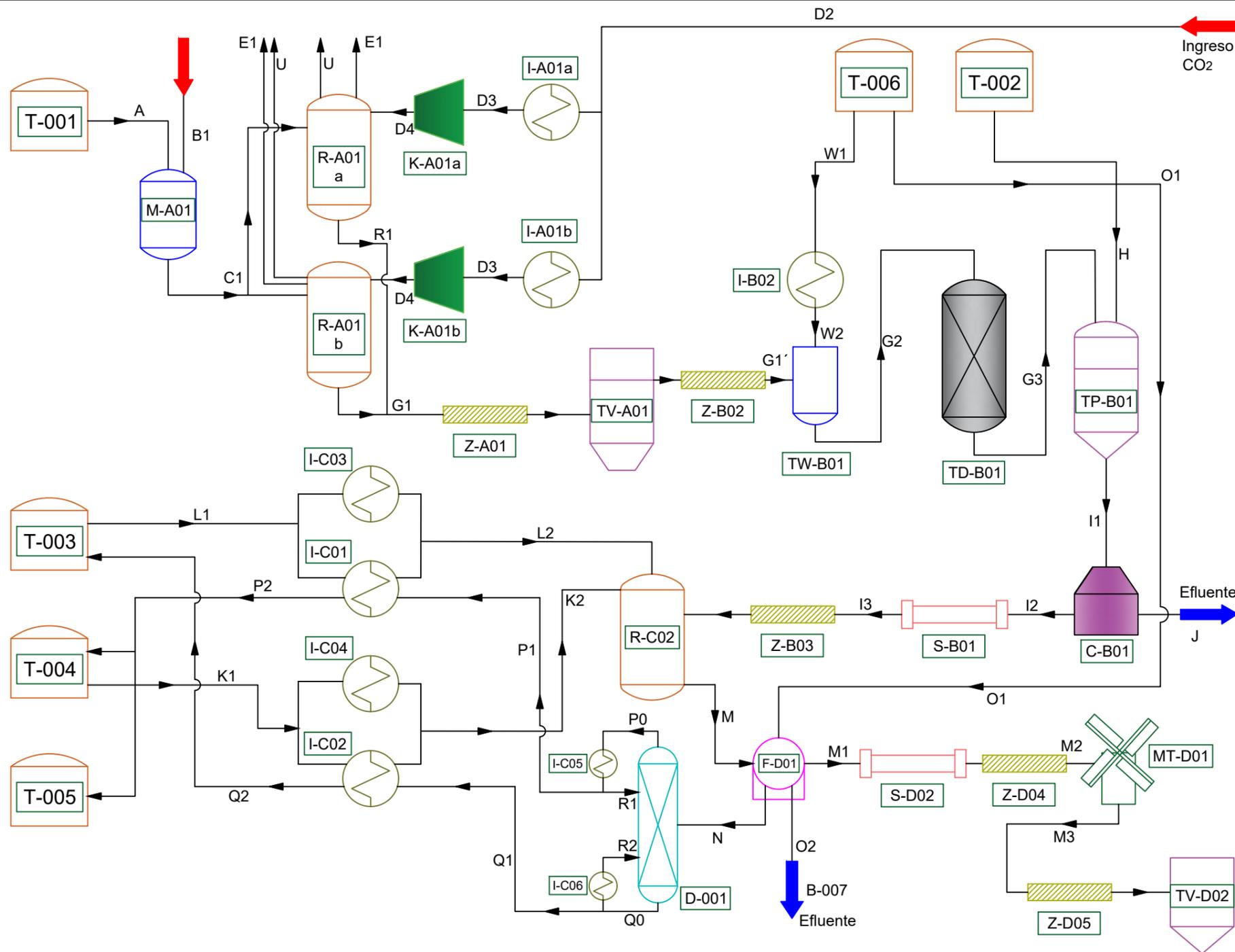
Proyecto final de grado – Ingeniería Química

Técnica T – 25: N°520 Farmacopea Argentina “Impurezas orgánicas en ácido acetil salicílico”

Emplear un equipo para cromatografía de gases con un detector de ionización a la llama, una precolumna de sílice de 5 m x 0,53 mm desactivada con fenilmetilsiloxano y una columna de sílice fundida de 30 m x 0,53 mm recubierta con una fase estacionaria constituida por 94 % de dimetilpolisiloxano y 6 % de cianopropilfenil polisiloxano (los porcentajes se refieren a la sustitución molar), de 3,0 μm de espesor, empleando una jeringa hermética para gases previamente calentada y 1 ml del espacio libre superior. Mantener el inyector y el detector a aproximadamente 140 y 260 °C, respectivamente. Programar la temperatura de la columna del siguiente modo: mantener a 40 °C durante 20 minutos, aumentar rápidamente hasta 240 °C y mantener a esta temperatura durante 20 minutos. Se emplea helio como gas transportador con una velocidad lineal de aproximadamente 35 cm por segundo.

PLANOS

ANEXO III



Listado de equipos	
M-A01	Mezclador
R-A01	Reactor batch
TV-A01	Tolva
TW-B01	Tanque de disolución
TD-B01	Torre de decoloración
TP-B01	Tanque de precipitación
C-B01	Centrífuga
S-B01	Secador
R-C02	Reactor continuo
F-D01	Filtro
S-D02	Secador
MT-D01	Molino
TV-D02	Tolva
K-A01	Compresor
I-A01	Intercambiador de calor
I-B02	Intercambiador de calor
I-C03	Intercambiador de calor
I-C04	Intercambiador de calor
I-C05	Intercambiador de calor
I-C06	Intercambiador de calor
E-C01	Economizador
E-C02	Economizador
D-D01	Torre de destilación
I-D05	Condensador D-D01
I-D06	Rehervidor D-D01
T-001	Tanque de NaOH
T-002	Tanque de H2SO4
T-003	Tanque de Anhídrido
T-004	Tanque de Ácido Acético 1
T-005	Tanque de Ácido Acético 2
T-006/007	Tanque de agua de proceso
Z-A01	Tornillo sin fin
Z-B02	Tornillo sin fin
Z-B03	Tornillo sin fin
Z-D04	Tornillo sin fin
Z-D05	Tornillo sin fin

Trabajo final de grado:
Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
 Facultad Regional Villa María



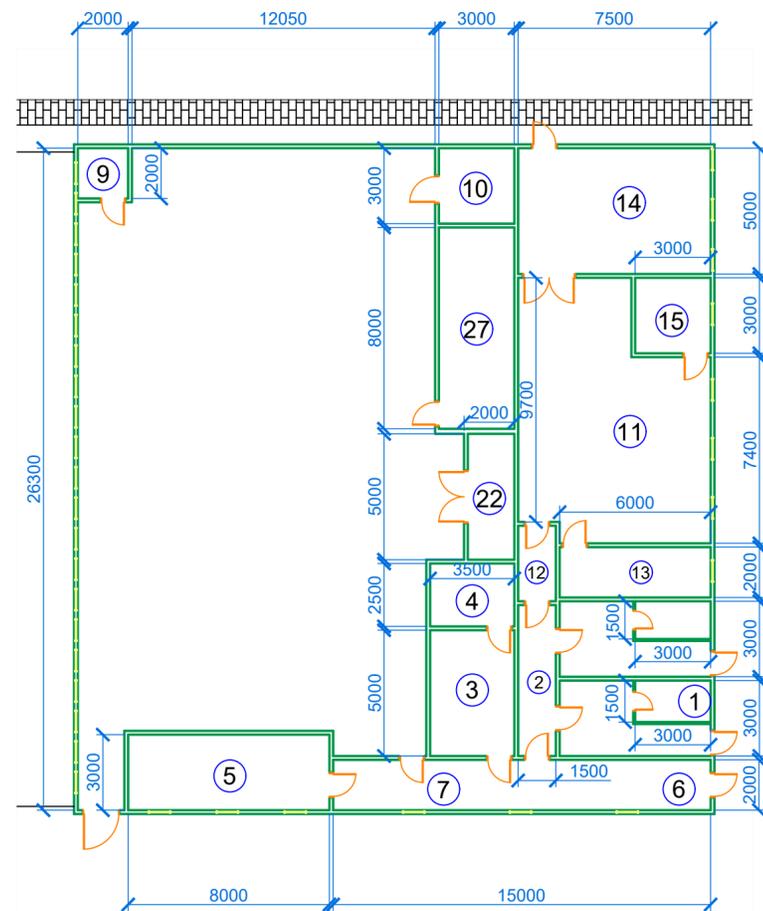
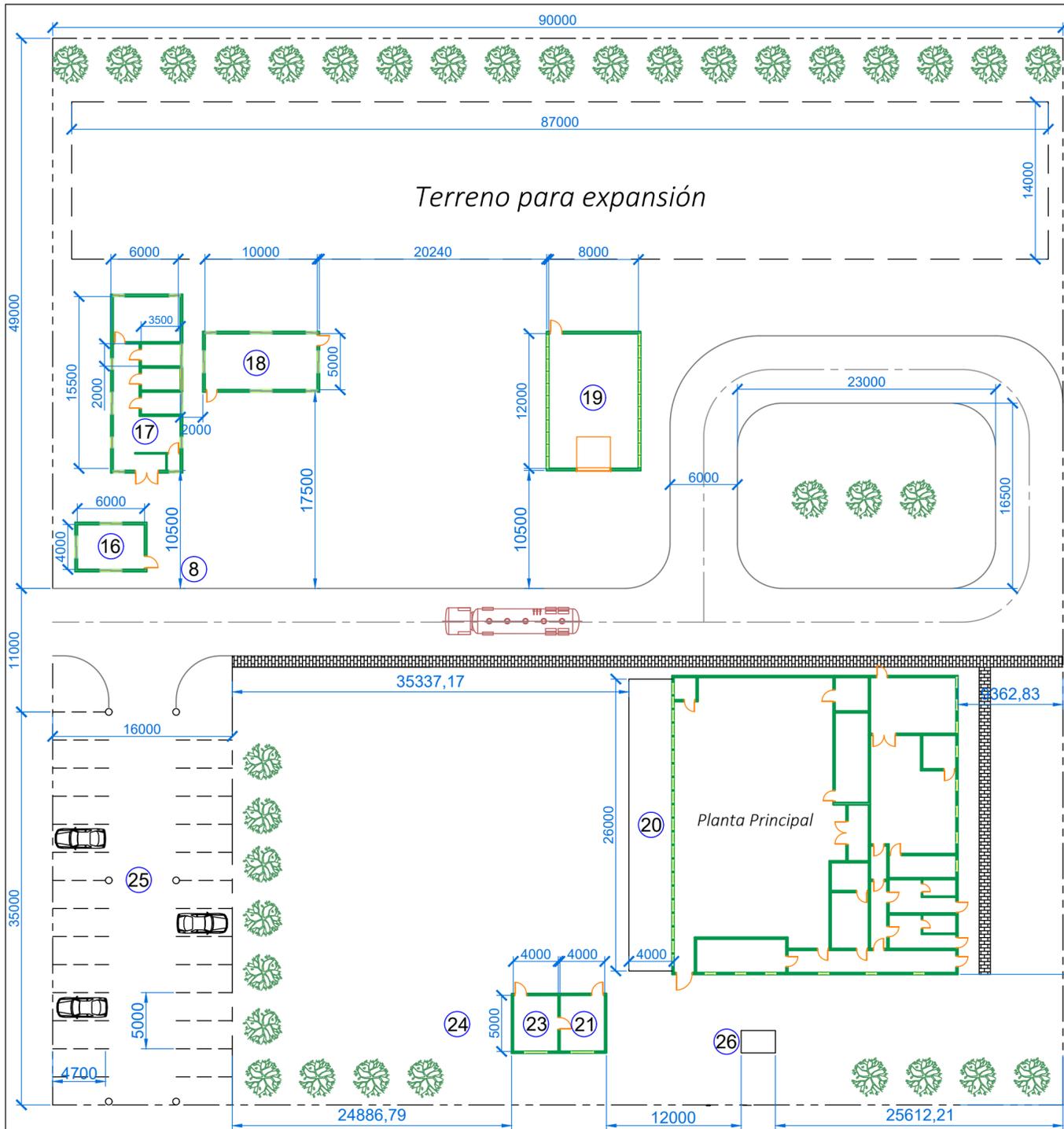
Ingeniería
 Química

Listado de Corrientes del Proceso

Corriente	Referencia	Caudal (Kg/h)	Presión (atm)	Temperatura (°C)
A	NaOH 50%	71,62	1	25
B1	Fenol Sólido	83,44	-	25
C1	Fenóxido de Sodio	155,06	1	60
D2	CO ₂ descomprimido	50,73	1	-87,93
D3	CO ₂ descomprimido caliente	50,73	1	26
D4	CO ₂ comprimido	50,73	5	150
U	Vapor de agua	50,73	1	100
E1	Mezcla gaseosa	13,43	1	150
G1	Salicilato de Sodio	141,63	-	30
G1'	Salicilato de Sodio	25,29	-	25
W1	Agua de proceso	29,87	1	25
W2	Agua de proceso	29,87	1	44,1
G2	Salicilato de Sodio	55,16	1	40
G3	Salicilato de Sodio decolorado	55,16	1	40
H	H ₂ SO ₄ 60%	13,07	1	25
I1	Ácido Salicílico	68,23	1	40
I2	Ácido Salicílico	24,81	1	40
I3	Ácido Salicílico	21,29	-	90
M	Ácido Acetil - Salicílico (A.A.S)	52,464	1	90
K1	Ácido Acético	9,224	1	25
K2	Ácido Acético	9,224	1	90
L1	Anhídrido Acético	21,95	1	25
L2	Anhídrido Acético	21,95	1	90
Q1	Anhídrido Acético recuperado	5,56	1	28,9
Q2	Anhídrido Acético recuperado	5,56	1	28,9
Q0	Corriente del fondo	58,49	1	139,4
R1	Reflujo del condensador	33,82	1	118,3
R2	Reflujo del rehervidor	52,93	1	139,4
P2	Ácido Acético recuperado	14,39	1	30,8
M2	A.A.S	25,79	-	34,5
M3	A.A.S	25,79	-	34,5
O2	Agua de lavado	31,32	1	42,5
N	Mezcla de Anhídrido y Ácido Acético	19,95	1	90
M1	A.A.S	31,79	-	30
P0	Vapor del destilado	48,21	1	118,3
P1	Anhídrido Acético recuperado	14,39	1	118,3
R1	Reflujo del condensador	33,82	1	118,3
Q0	Corriente del fondo	58,49	1	139,4
O1	Anhídrido Acético recuperado	5,56	1	139,4
R2	Reflujo del rehervidor	52,93	1	139,4
P2	Ácido Acético recuperado	14,39	1	30,8
Q2	Anhídrido Acético recuperado	5,56	1	28,9
M2	A.A.S	25,79	-	34,5
M3	A.A.S	25,79	-	34,5

	Fecha	Nombre	Autores:		Observaciones:
Dibujó:			- Bonetto, Tomás		
Revisó:			- Vico, Ana Paula		
Aprobó:			- Zanatta, María Paz		
Escala:	No aplica				Número de Plano:
					
A3	Flowsheet			Plano 1 de 10	

VISTA SUPERIOR
Esc 1:350



Localización de la planta

Localización del proyecto

Granix S.A

Siderco S.A

Ruta Nacional 9 - Km 70,4
Campana, Buenos Aires, Argentina

Trabajo final de grado:
Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María

Ingeniería Química

Distribución de áreas	
Sector 1	Vestuarios
Sector 2	Pasillo uno
Sector 3	Panel de control
Sector 4	Oficinas de planta
Sector 5	Laboratorio
Sector 6	Pasillo dos
Sector 7	Filtro Sanitario
Sector 8	Sala de producción
Sector 9	Sala de productos de limpieza

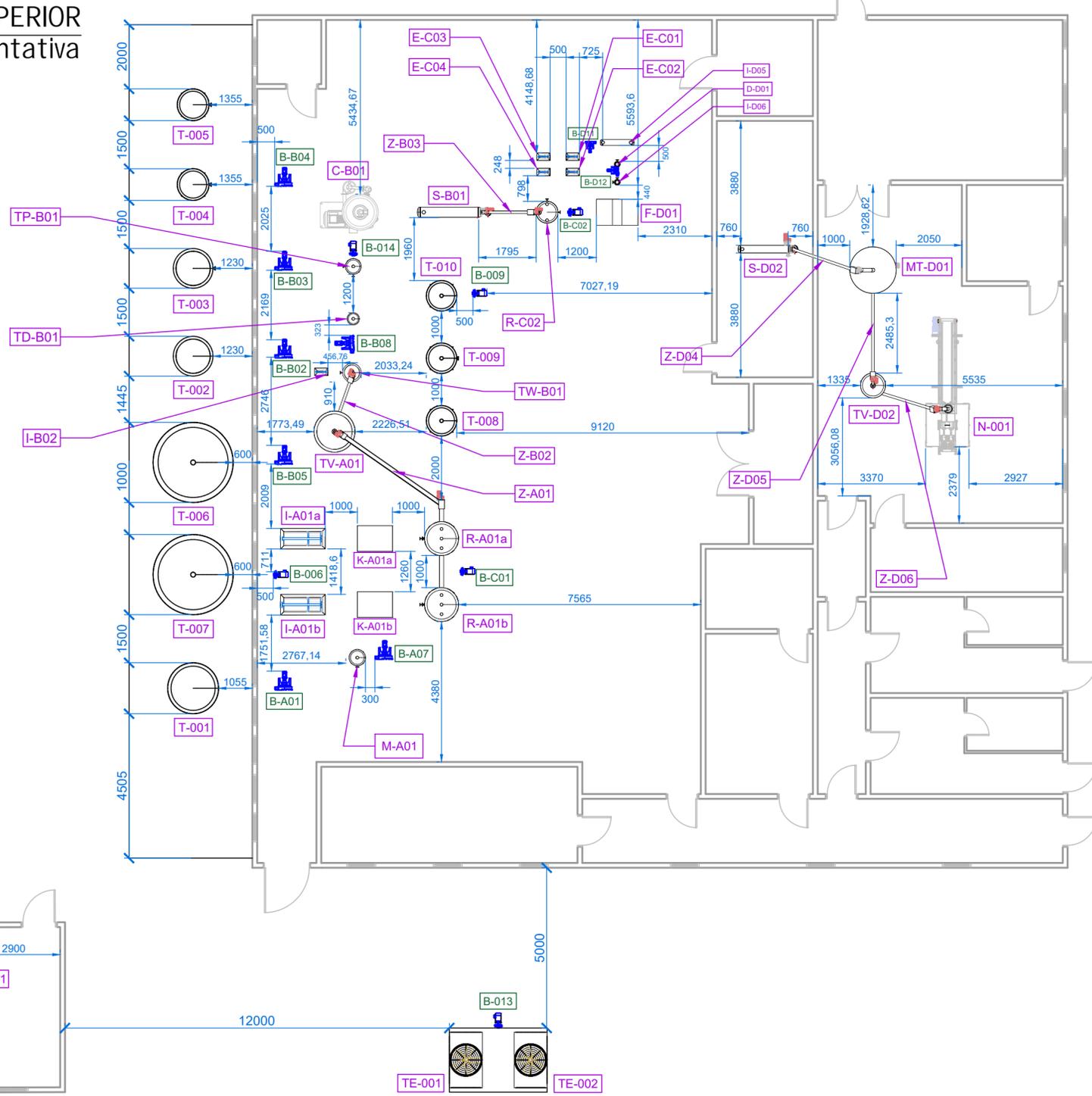
Sector 10	Sala de tableros
Sector 11	Sala limpia
Sector 12	Filtro sanitario
Sector 13	Sala de cuarentena
Sector 14	Sala de producto terminado
Sector 15	Sala de rechazo
Sector 16	Cabina de ingreso
Sector 17	Oficinas
Sector 18	Comedor
Sector 19	Taller de mantenimiento

Sector 20	Playa de tanques
Sector 21	Sala de caldera
Sector 22	Déposito de materia prima sólida
Sector 23	Sala de tratamiento
Sector 24	Tanque de agua cruda
Sector 25	Estacionamiento
Sector 26	Plataforma de torres de enfriamiento
Sector 27	Sala del secador

Fecha	Nombre	Autores:		Observaciones:
		- Bonetto, Tomás		
		- Vico, Ana Paula		
		- Zanatta, María Paz		
Dibujó: Revisó: Aprobó: Escala: 1:350				Las cotas se encuentran en mm Número de Plano: Plano 2 de 10
A2				

Distribución general de la planta con cotas principales

VISTA SUPERIOR
Esc: Representativa



Listado de bombas de proceso

Referencia	Conexión	Tipo
B-A01	T-001 a M-A01	Peristáltica
B-B02	T-002 a TP-B01	Peristáltica
B-B03	T-003 a I-C03/E-C01 hasta R-C02	Peristáltica
B-B04	T-004 a I-C04/E-C02 hasta R-C02	Peristáltica
B-B05	T-006 a I-B02/TW-B01	Peristáltica
B-A07	M-A01 a R-A01 (a y b)	Peristáltica
B-B08	TW-B01 a TP-B01 hasta TD-B01	Peristáltica
B-D11	I-D05 a E-C01 hasta T-004 y T-005	Peristáltica
B-D12	I-D06 a E-C02 hasta T-003	Peristáltica
B-006	T-007 a T-009	Centrífuga
B-009	CIP a R-A01, R-C02 e Intercambiadores	Centrífuga
B-010	OI-001 a T-006 y T-007	Centrífuga
B-013	TE-001 y TE-002 a R-A01, TP-B01, R-C02, I-D05	Centrífuga
B-014	TP-B01 a C-B01	Centrífuga
B-C01	R-A01 (a y b) a Sistema de CIP	Centrífuga
B-C02	R-C02 a Sistema de CIP	Centrífuga

Trabajo final de grado:

Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María

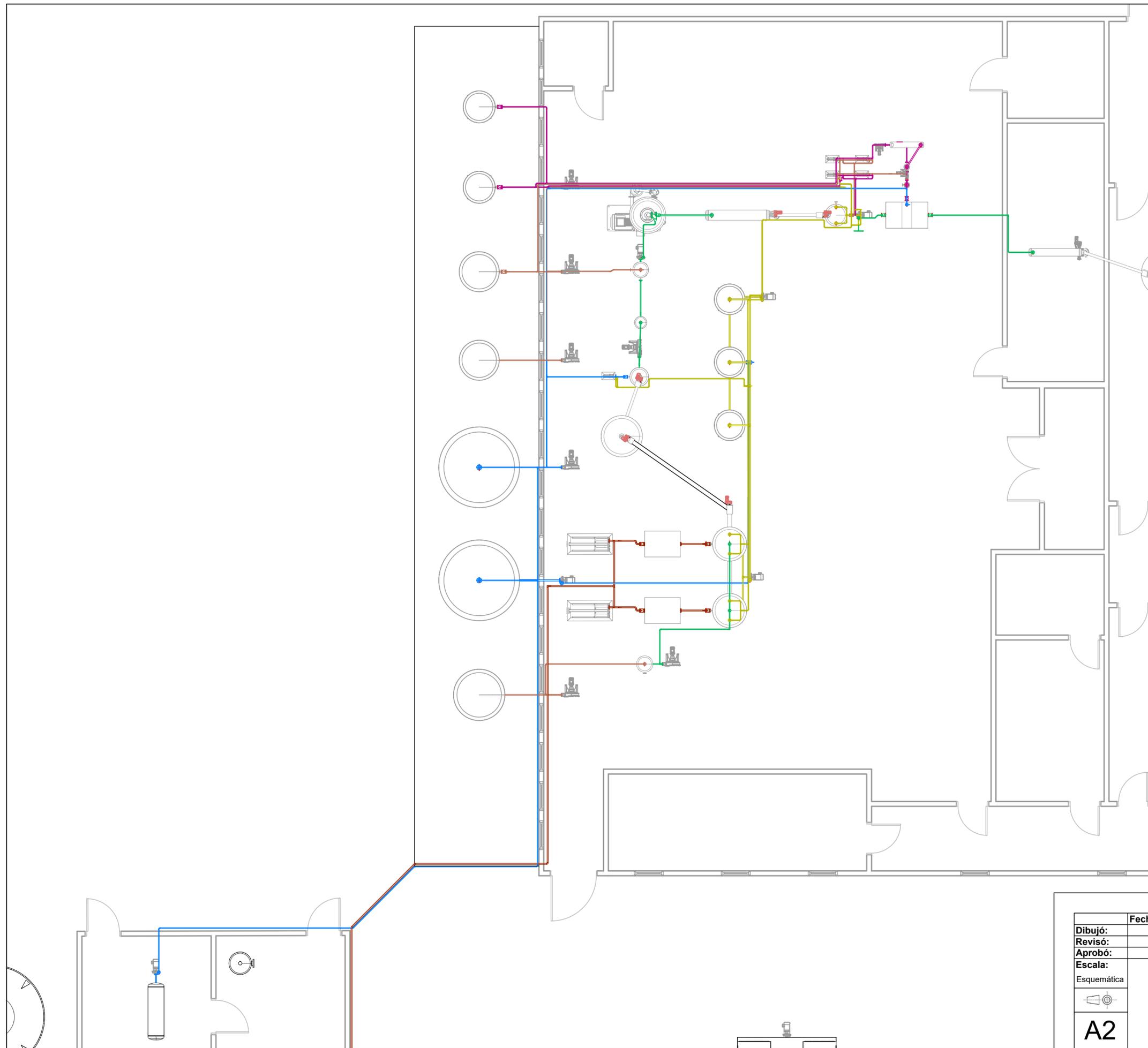


Ingeniería
Química

Listado de equipos de la planta

TA-001	Mezclador	MT-D01	Molino	I-D06	Rehervidor D-D01	Z-B02	Tornillo sin fin
TP-B01	Reactor batch	TV-D02	Tolva	T-001	Tanque de NaOH	Z-B03	Tornillo sin fin
TV-A01	Tolva	K-A01	Compresor	T-002	Tanque de H2SO4	Z-D04	Tornillo sin fin
TW-B01	Tanque de disolución	I-A01	Intercambiador de calor	T-003	Tanque de Anhídrido	Z-D05	Tornillo sin fin
TD-B01	Torre de decoloración	I-B02	Intercambiador de calor	T-004	Tanque de Ácido Acético 1	Z-D06	Tornillo sin fin
TP-B01	Tanque de precipitación	I-C03	Intercambiador de calor	T-005	Tanque de Ácido Acético 2	N-001	Envasadora
C-B01	Centrífuga	I-C04	Intercambiador de calor	T-006/007	Tanque de agua de proceso	TA-001	Tanque de agua de red
S-B01	Secador	E-C01	Economizador	T-008	Tanque de Cip de agua recuperada	TE-001/002	Torres de enfriamiento
R-C02	Reactor continuo	E-C02	Economizador	T-009	Tanque de CIP de agua de red	OI-001	Equipo de osmosis inversa
F-D01	Filtro	D-D01	Torre de destilación	T-010	Tanque de CIP de NaOH	W-001	Caldera
S-D02	Secador	I-D05	Condensador D-D01	Z-A01	Tornillo sin fin		

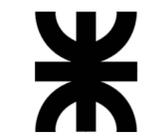
Dibujó:	Fecha	Nombre	Autores:	Observaciones:
Revisó:			- Bonetto, Tomás	Las cotas se encuentran en mm
Aprobó:			- Vico, Ana Paula	
Esquemática			- Zanatta, María Paz	
Distribución general de los equipos con cotas principales				Número de Plano:
A2				Plano 3 de 10



Referencias de cañerías de proceso	
	Cañería de Proceso Principal
	Cañería de Ácido Acético
	Cañería de Insumos
	Cañería de Dióxido de Carbono
	Cañería de agua de proceso
	Cañería de CIP

Trabajo final de grado:
Producción de Ácido Acetilsalicílico

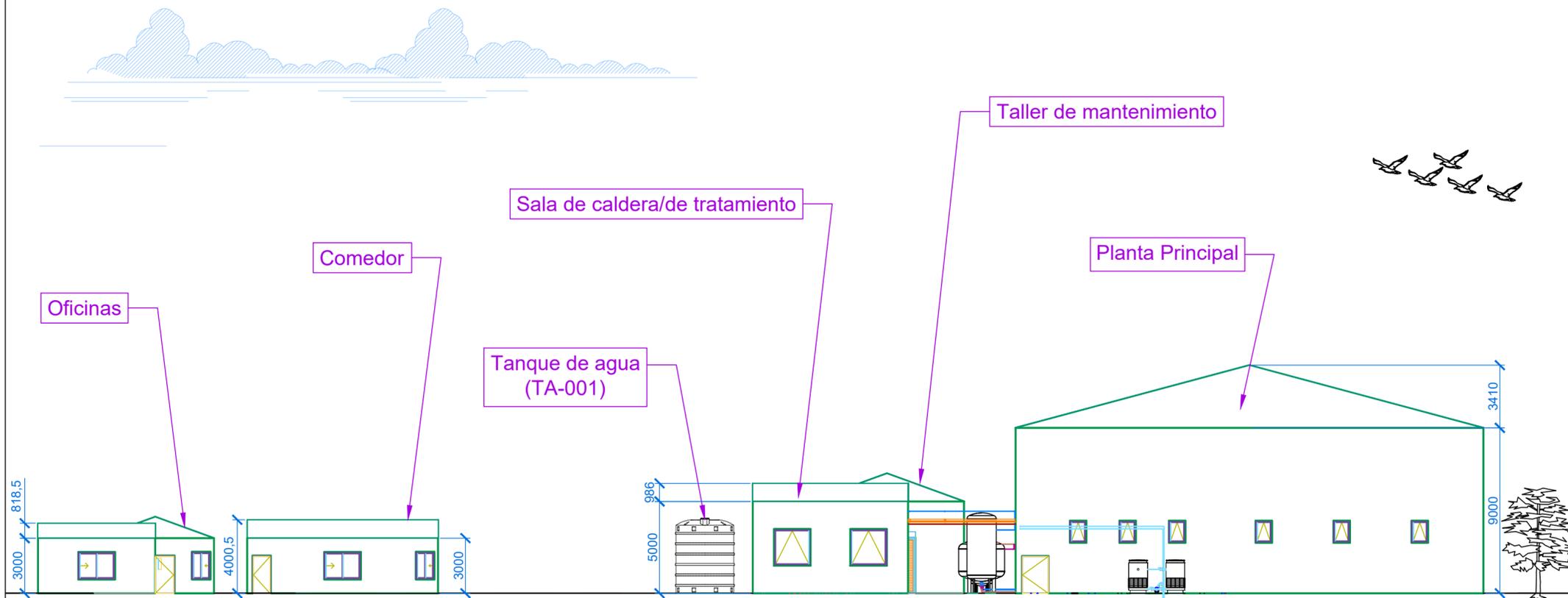
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María



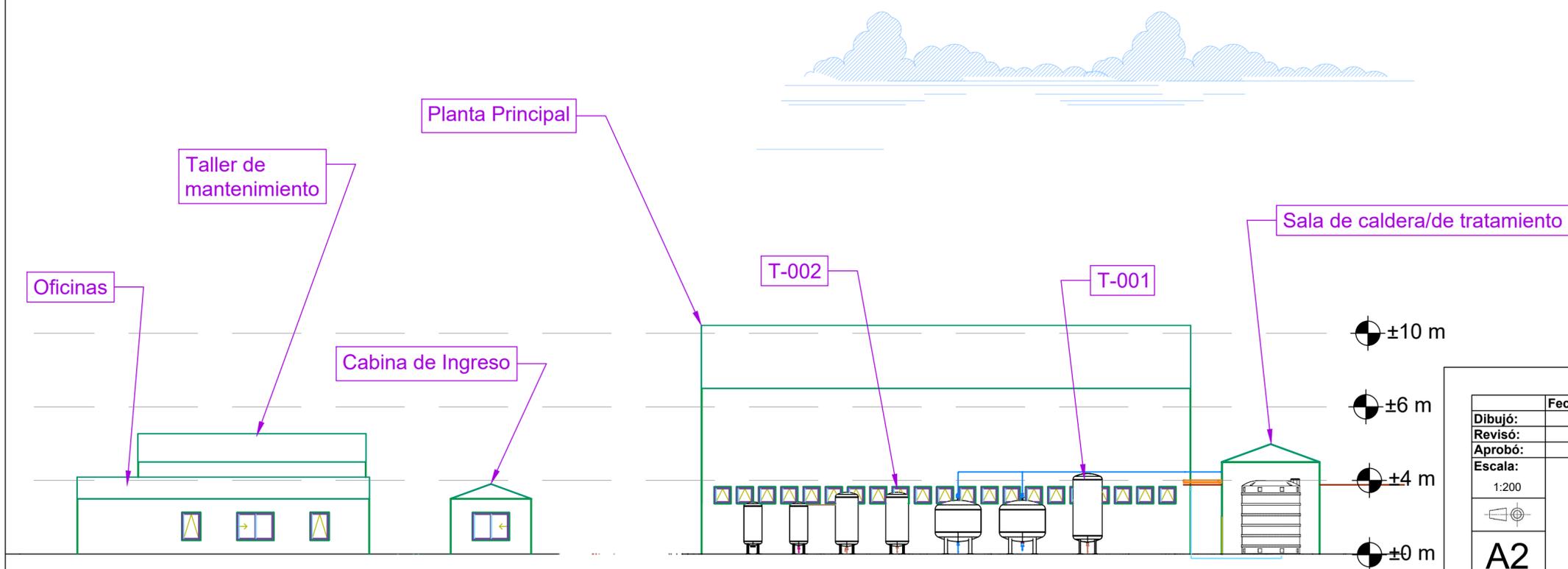
Ingeniería
Química

	Fecha	Nombre	Autores:	Observaciones:
Dibujó:			- Bonetto, Tomás	
Revisó:			- Vico, Ana Paula	
Aprobó:			- Zanatta, María Paz	
Esquema:				Número de Plano:
Esquemática				Plano 4 de 10
	Distribución general de las cañerías de proceso			
A2				

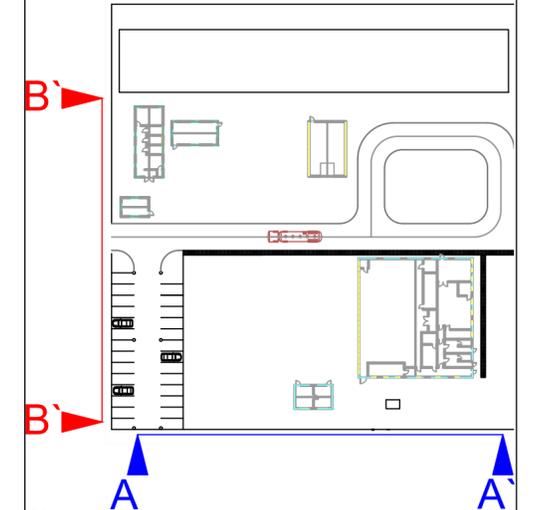
Corte A - A'
Esc 1:200



Corte B - B'
Esc 1:200



Referencias



Notas:

- No se consideran los desniveles del terreno para esta visualización
- Se remueven estructuras para mejorar la visualización
- No se dibujan las cotas de los equipos para mejorar la presentación

Trabajo final de grado:

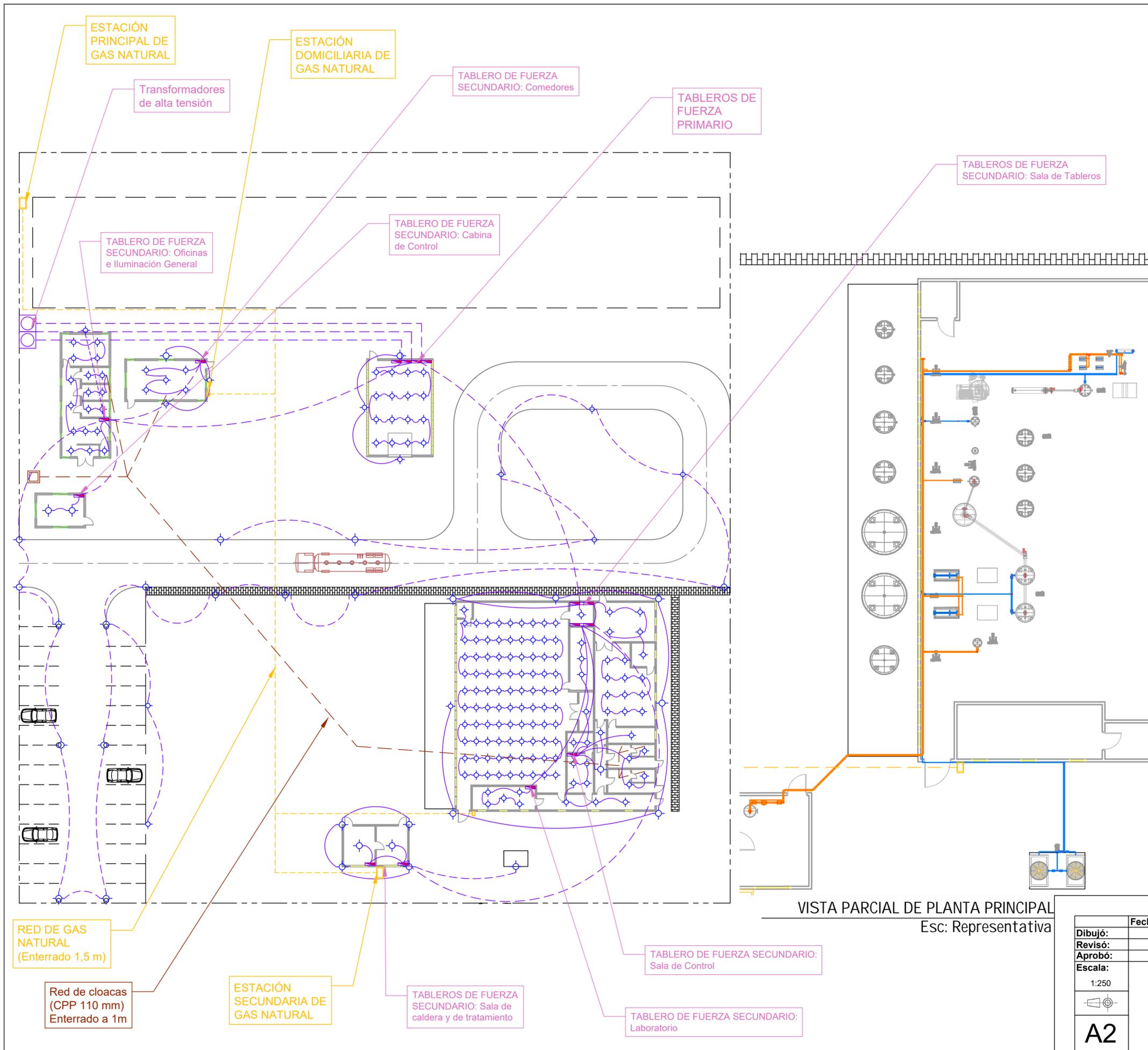
Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María



Ingeniería
Química

	Fecha	Nombre	Autores:	Observaciones:
Dibujó:			- Bonetto, Tomás	Las cotas se encuentran en mm
Revisó:			- Vico, Ana Paula	
Aprobó:			- Zanatta, María Paz	
Escala:	1:200			Número de Plano:
A2	Cortes A - B			Plano 5 de 10



Referencias	
	Cable empotrado en techo, pasante por portacable o por bandeja
	Cable enterrado
	Lamparas
	Tableros eléctricos
	Red de cloacas (enterrada)
	Cañería de gas natural (enterrada)
	Cañería de agua enfriamiento
	Cañería de vapor saturado

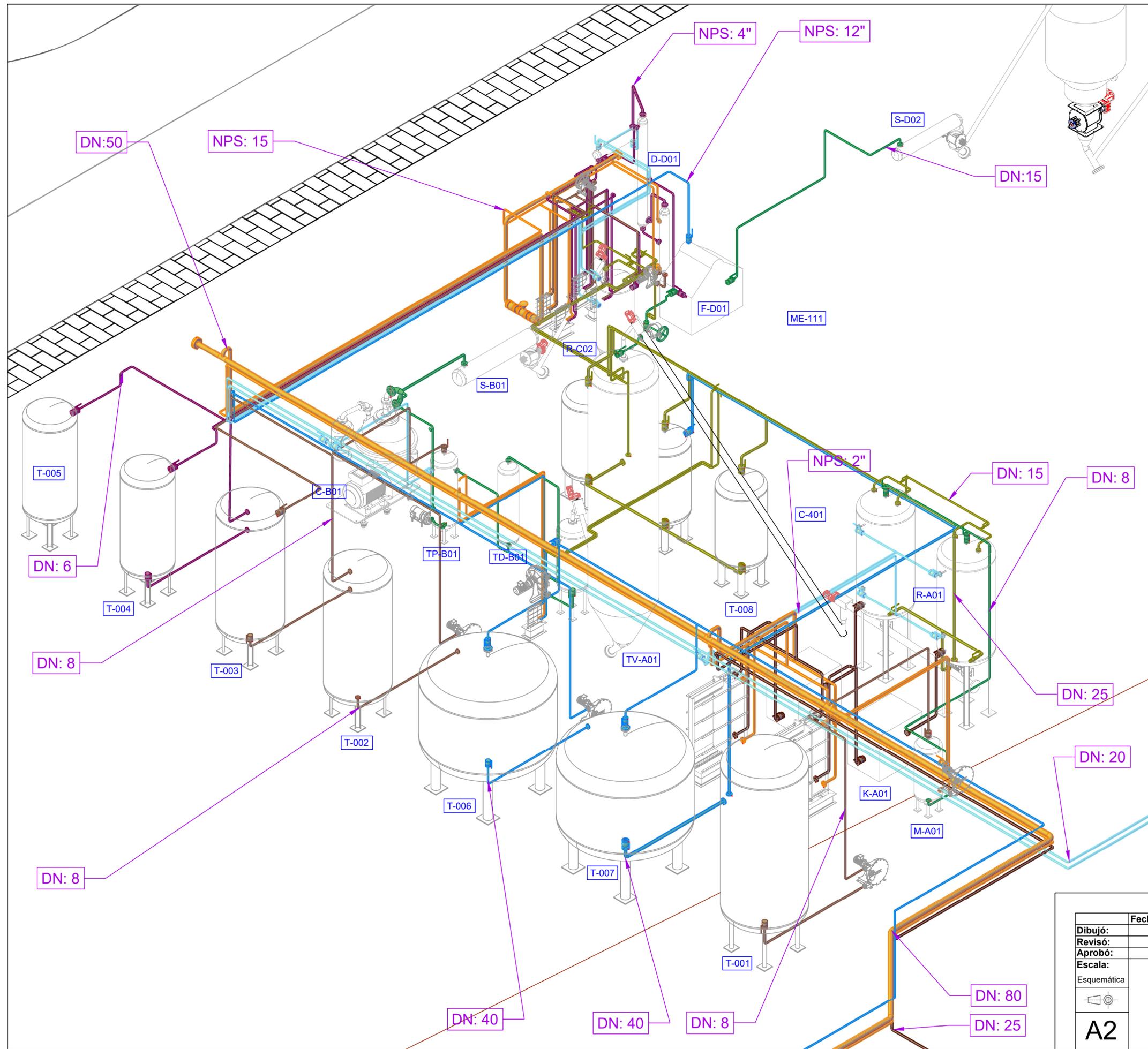
Trabajo final de grado:
Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
 Facultad Regional Villa María



Ingeniería
 Química

	Fecha	Nombre	Autores:		Observaciones:
Dibujó:			- Bonetto, Tomás		
Revisó:			- Vico, Ana Paula		
Aprobó:			- Zanatta, María Paz		
Escala:	Número de Plano:				
1:250	Plano 6 de 10				
	Servicios Auxiliares e instalación eléctrica básica				
A2					



Referencias	
	Cañería de Proceso Principal
	Cañería de Ácido Acético
	Cañería de Insumos
	Cañería de Dióxido de Carbono
	Cañería de agua de proceso
	Cañería de CIP
	Cañería de Vapor
	Cañería de agua de enfriamiento

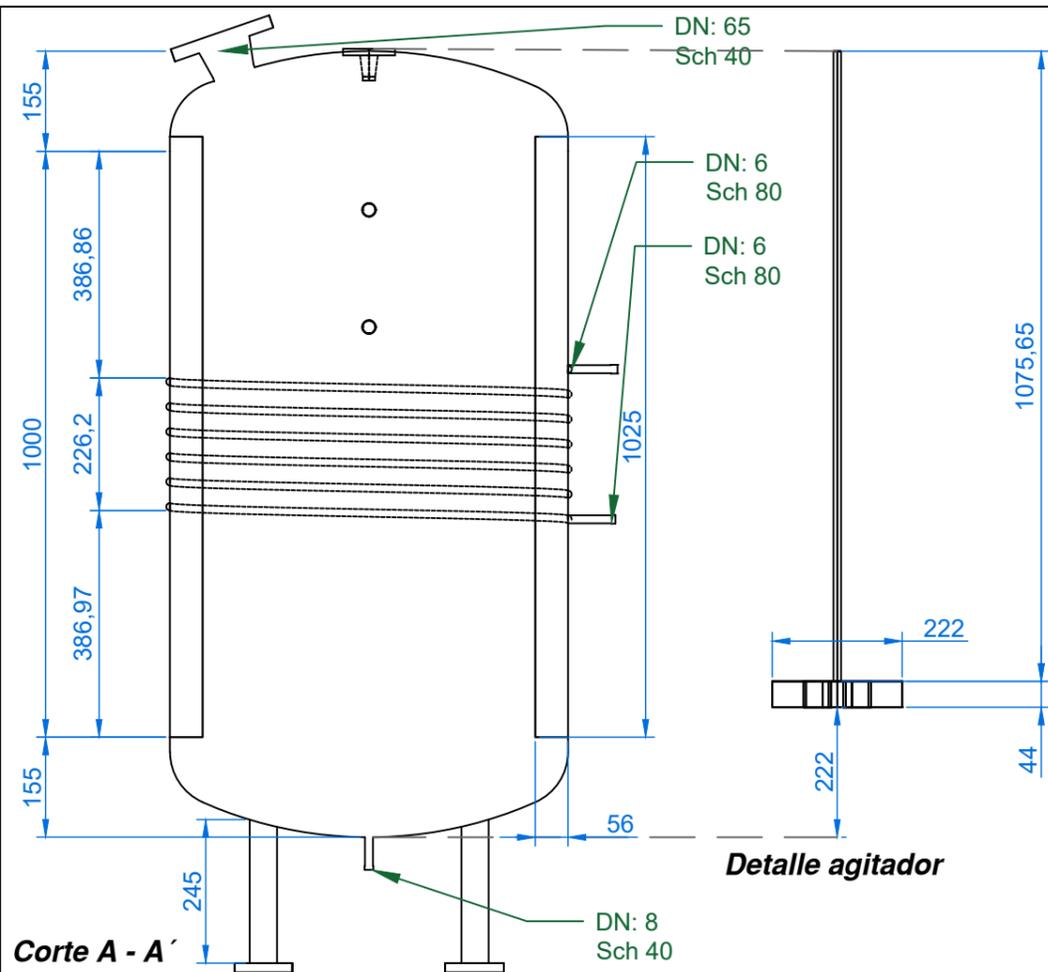
Trabajo final de grado:
Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
 Facultad Regional Villa María

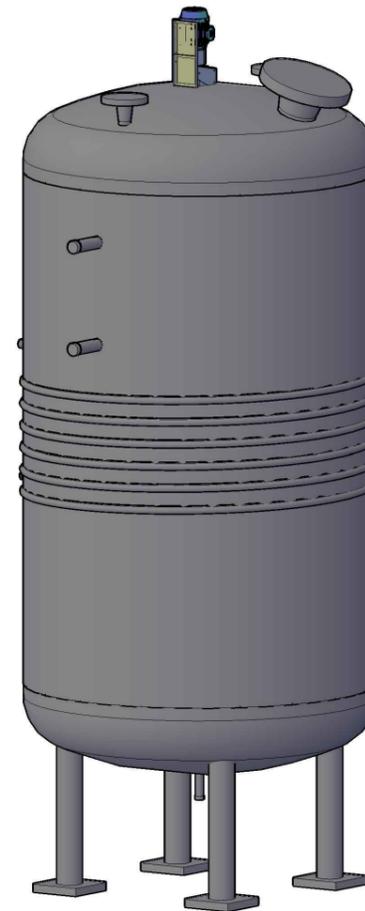


Ingeniería
 Química

Fecha	Nombre	Autores:		Observaciones:
Dibujó:		- Bonetto, Tomás		
Revisó:		- Vico, Ana Paula		
Aprobó:		- Zanatta, María Paz		
Esquema:	Esquemática			Número de Plano:
	A2	Isométrico de cañerías		Plano 7 de 10



Modelado 3D



Características

Material de construcción:
ASTM A240 (Acero inoxidable - AISI 304 L)

Estándar de construcción:
ASME Boiler and Pressure Vessels Code - Section VIII Division I

Boquillas:

Tubería: ASME BPE ASTM A-270 AISI 304 L

Unión: ASME BPE DT-4.1.4-1 (Unión Clamp)

Brida: ASME A-182 B16.5

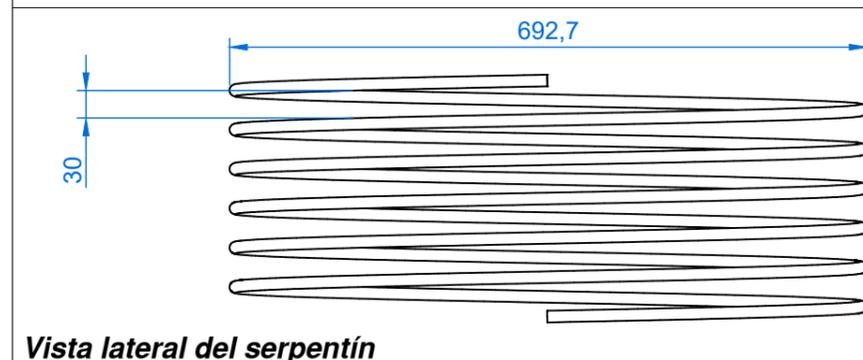
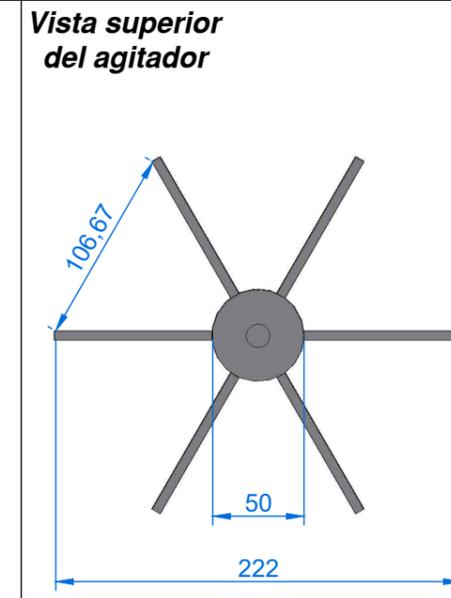
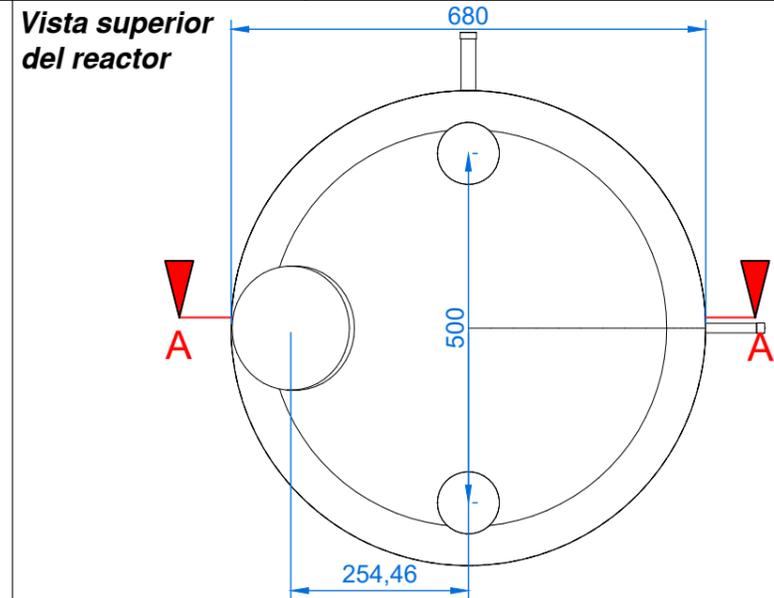
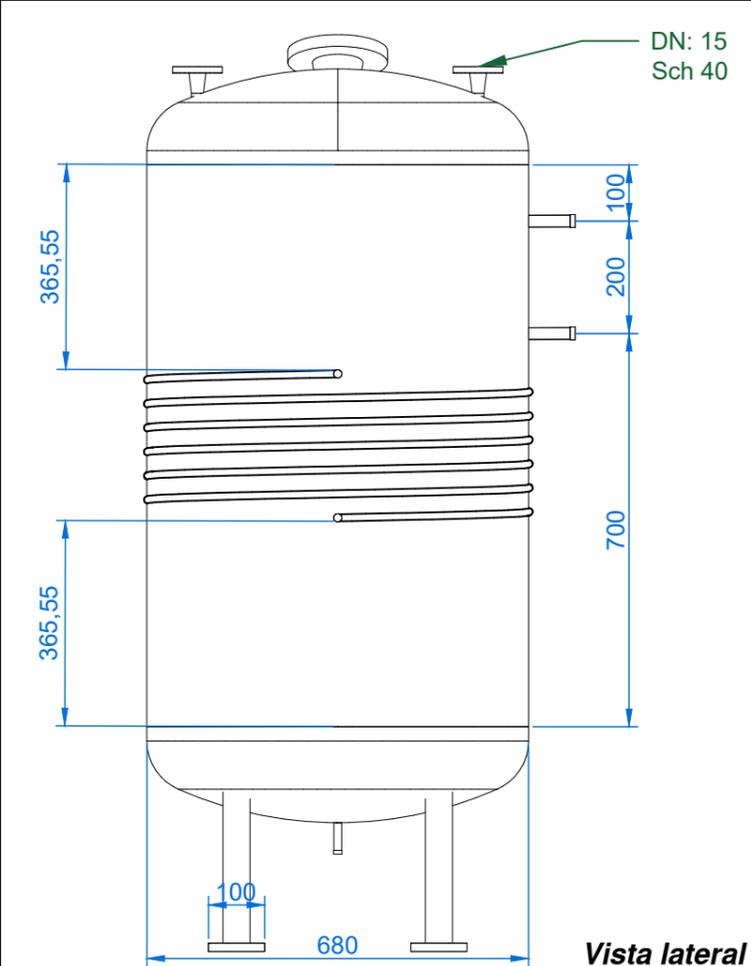
Agitación:

6 palas rectas

Serpentín:

Vueltas: 6

Longitud: 6,38 m



Trabajo final de grado:

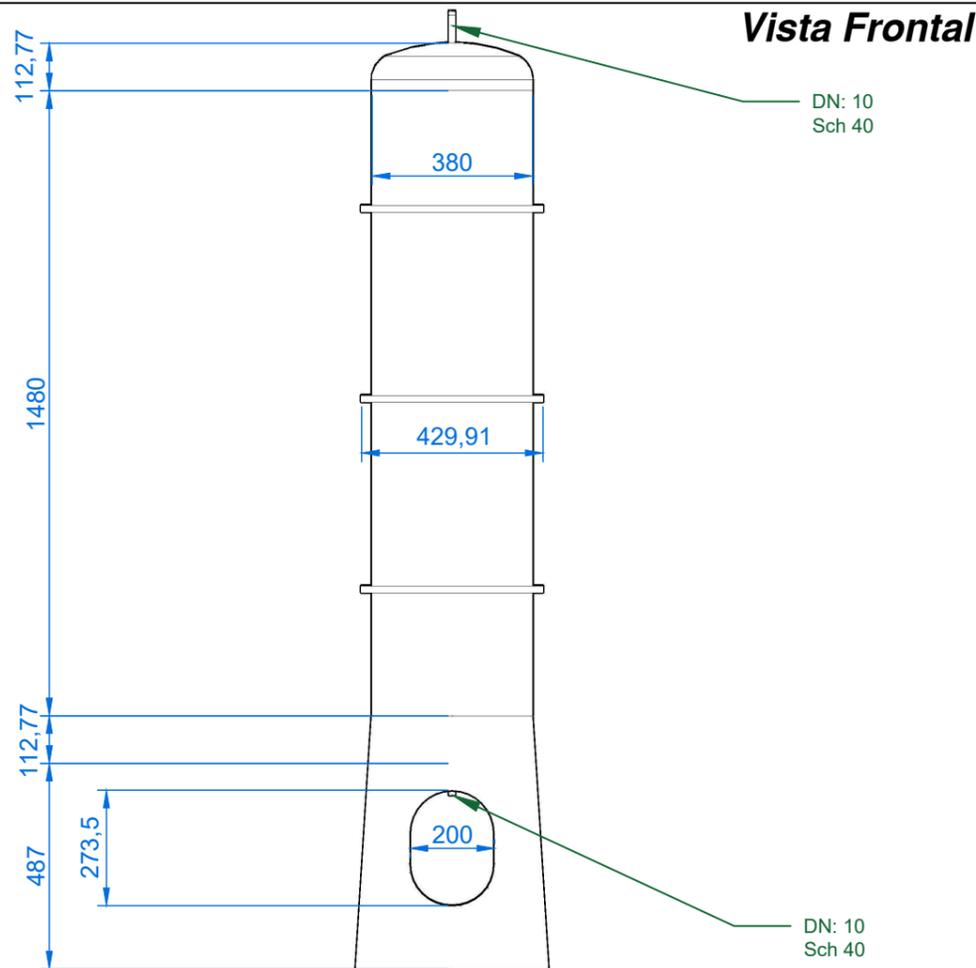
Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María

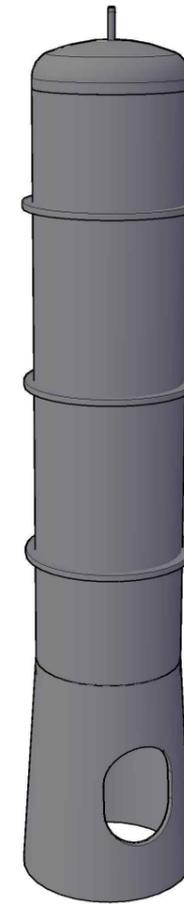


Ingeniería
Química

	Fecha	Nombre	Autores:	Observaciones:
Dibujó:			- Bonetto, Tomás	Las cotas se encuentran en mm
Revisó:			- Vico, Ana Paula	
Aprobó:			- Zanatta, María Paz	
Escala:	Esquemática			Número de Plano:
A3	Plano del Reactor (R-C02)			Plano 8 de 10



Modelado 3D

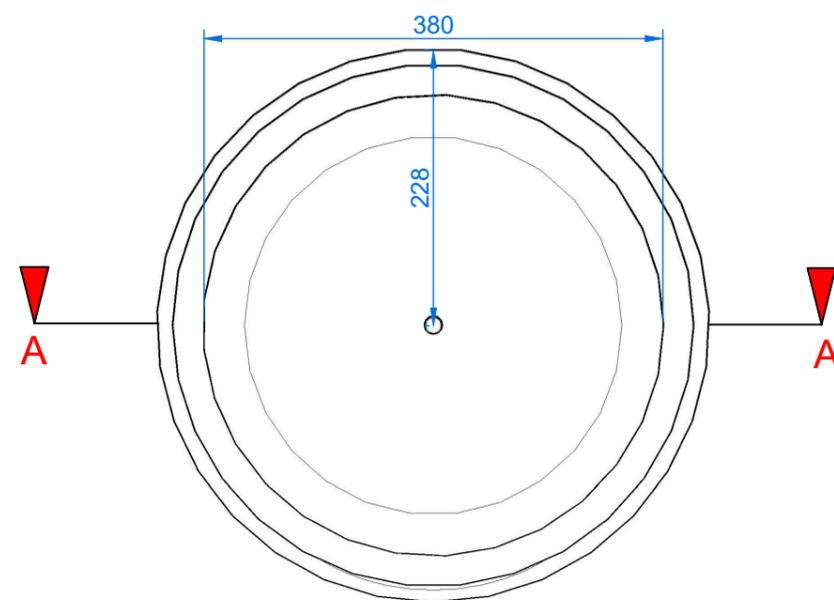
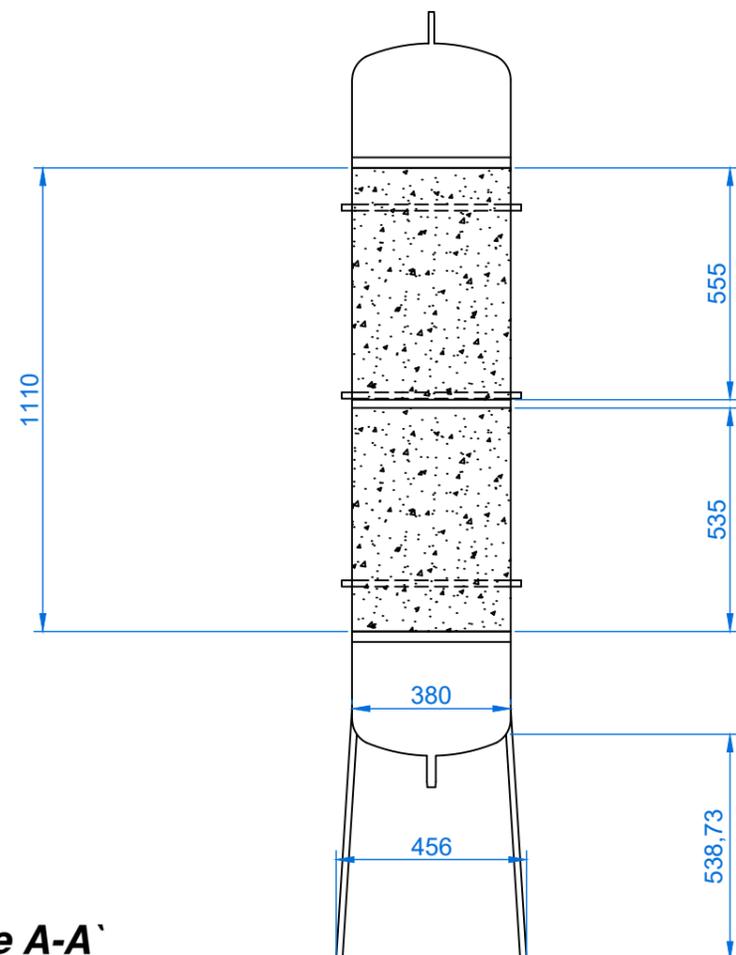


Características

Material de construcción:
ASTM A240 (Acero inoxidable - AISI 304 L)

Estándar de construcción:
ASME Boiler and Pressure Vessels Code - Section VIII Division I

Boquillas:
Tubería: ASME BPE
ASTM A-270 AISI 304 L
Unión: ASME BPE
DT-4.1.4-1 (Unión Clamp)



Trabajo final de grado:

Producción de Ácido Acetilsalicílico

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María



Ingeniería
Química

	Fecha	Nombre	Autores:	Observaciones:
Dibujó:			- Bonetto, Tomás - Vico, Ana Paula - Zanatta, María Paz	Las cotas se encuentran en mm
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: Esquemática				Número de Plano:
A3				

