

Proyecto Final: Producción de furfural a partir de cáscara de arroz

Castillo, Santiago

Ferreyra, Nicolás

Gherardi, Tomás

Proyecto final de la carrera de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. FACULTAD REGIONAL AVELLANEDA

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. Materia prima y producto

Capítulo 2. Estudio de mercado

Capítulo 3. Ubicación

Capítulo 4. Laboratorio

Capítulo 5. Elección de proceso

Capítulo 6. Descripción del proceso

Capítulo 7. Balance de masa

Capítulo 8. Balance de energía

Capítulo 9. Diseño de equipos

Capítulo 10. Diseño de un sistema de control automático de procesos

Capítulo 11. Evaluación de impacto

Capítulo 12. Layout de planta

Capítulo 13. Seguridad e higiene

Capítulo 14. Servicios auxiliares

Capítulo 15. Sistema de gestión

Capítulo 16. Evaluación económica

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se evalúa la realización de una planta de procesamiento de un desecho de la industria agrícola de alimentos, como lo es la cáscara de arroz, para obtener un producto comercializable: el furfural.

La idea de generar emprendimientos de este estilo tiene dos ventajas principales. Por un lado, el aprovechamiento de un residuo, fundamental para reducir la contaminación que tan negativa resulta para el ambiente. En un país de tanta producción agrícola como el nuestro la cantidad de estos desechos es muy grande, y bajarla resulta un importante beneficio. Por otro lado, el siguiente factor es el desarrollo de una empresa nacional, que no solo aportaría al crecimiento económico de la Argentina, sino que además, lo más importante, podría dar trabajo a muchos de sus ciudadanos.

El proyecto plantea el problema desde sus fundamentos, desarrollando de a poco todas las temáticas necesarias para llegar a tener una evaluación lo suficientemente completa de las implicancias y posibles resultados implicados al instalar una planta de producción de furfural a partir de cáscara de arroz.

INTRODUCTION

This work evaluates the production of a waste processing plant of the agricultural food industry, such as the rice husk, to obtain a marketable product: the furfural.

The idea of generating ventures of this style has two main advantages. First, the use of a waste, fundamental to reduce the pollution that is so negative for the environment. In a country of as much agricultural production as ours, the amount of these wastes is very large, and lowering it is an important benefit. Furthermore, the other factor is the development of a national company, which would not only contribute to Argentina's economic growth, but also, most importantly, could give a job to many of its citizens.

The project raises the problem from its foundations, gradually developing all the necessary themes to have a sufficiently complete assessment of the implications and possible results involved when installing a production plant of furfural from rice husk.

INTRODUÇÃO

Este trabalho avalia a realização de uma planta de processamento de resíduos da indústria de alimentos agrícolas, como a casca de arroz, para obter um produto comercializável: furfural.

A ideia de gerar empreendimentos desse estilo tem duas vantagens principais. Por um lado, o uso de um resíduo, essencial para reduzir a poluição que é tão negativa para o meio ambiente. Em um país com tanta produção agrícola quanto a nossa, a quantidade desse resíduo é muito grande e reduzi-lo é um benefício importante. Por outro lado, o próximo fator é o desenvolvimento de uma empresa nacional, que não apenas contribuiria para o crescimento econômico da Argentina, mas também, o mais importante, poderia dar trabalho a muitos de seus cidadãos.

O projeto levanta o problema desde suas fundações, desenvolvendo gradualmente todos os temas necessários para obter uma avaliação suficientemente completa das

implicações e dos possíveis resultados envolvidos na instalação de uma fábrica de furfural a partir da casca de arroz.

EINLEITUNG

Diese Arbeit bewertet die Realisierung einer Aufbereitungsanlage für Abfälle aus der landwirtschaftlichen Lebensmittelindustrie wie Reisschalen, um ein marktfähiges Produkt zu erhalten: Furfural.

Die Idee, Unternehmen dieses Stils zu gründen, hat zwei Hauptvorteile. Einerseits ist die Verwendung eines Abfalls unerlässlich, um die Umweltbelastung so gering zu halten. In einem Land mit so viel landwirtschaftlicher Produktion wie unserer ist die Summe dieser Abfälle sehr groß, und es ist ein wichtiger Vorteil, sie zu senken. Auf der anderen Seite ist der nächste Faktor die Entwicklung einer nationalen Gesellschaft, die nicht nur zum Wirtschaftswachstum Argentiniens beitragen würde, sondern vor allem auch vielen Bürgern Arbeit geben könnte.

Das Projekt wirft das Problem von Grund auf und entwickelt schrittweise alle erforderlichen Themen, um eine hinreichend vollständige Bewertung der Auswirkungen und möglichen Ergebnisse der Installation einer Furfural-Produktionsanlage aus Reishülsen zu erhalten.

INTRODUZIONE

Questo lavoro valuta la realizzazione di un impianto di trasformazione di rifiuti dell'industria agroalimentare, com'è la buccia del riso, per ottenere un prodotto commercializzabile: furfurale.

L'idea di generare iniziative di questo tipo presenta due vantaggi principali. Da un lato, l'uso di uno spreco, essenziale per ridurre l'inquinamento che è così negativo per l'ambiente. In un paese con una produzione agricola come la nostra, la quantità di questi rifiuti è molto grande e l'abbassamento è un vantaggio importante. D'altra parte, il seguente fattore è lo sviluppo di una società nazionale, che non solo contribuirebbe alla crescita economica dell'Argentina, ma anche, soprattutto, potrebbe dare lavoro a molti dei suoi cittadini.

Il progetto solleva il problema dalle sue basi, sviluppando gradualmente tutti i temi necessari per arrivare a una valutazione sufficientemente completa delle implicazioni e dei possibili risultati coinvolti quando si installa un impianto di produzione furfurale dalla buccia di riso.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 1: Materia prima y producto

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
1. MATERIA PRIMA: CÁSCARA DE ARROZ.....	3
1.1 SELECCIÓN	3
1.2 GENERALIDADES.....	3
1.3 PLANTA DE ARROZ: <i>Oryza Sativa</i>	3
1.3.1 CICLO DE VIDA	4
1.4 ASPECTOS AGRONÓMICOS.....	5
1.4.1 CULTIVO.....	5
1.4.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS	6
1.4.3 COSECHA	6
2. PROCESAMIENTO DEL ARROZ	8
2.1 RECEPCIÓN Y PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA	8
2.2 MOLIENDA.....	8
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ARROZ	9
2.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA	9
2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS.....	10
2.4 USOS ACTUALES DE LA CÁSCARA DE ARROZ.....	10
3. PRODUCTO: FURFURAL	10
3.1 SELECCIÓN DEL PRODUCTO.....	10
3.2 GENERALIDADES.....	11
3.3 USOS DEL FURFURAL.....	11
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL FURFURAL	12
3.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.....	12
3.5 FORMA DE PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO	12
4. BIBLIOGRAFÍA.....	14

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los interesantes aspectos del presente proyecto es el hecho de haber seleccionado la materia prima a utilizar, y recién luego se inició la búsqueda del producto que obtendríamos, sabiendo que en base a la composición aproximada de dicha materia prima podríamos contar con diferentes alternativas.

Esto se debe al importante problema ambiental que presenta la cáscara de arroz como desecho de la industria arroceras en nuestro país, principalmente en las provincias de Entre Ríos, Santa Fe y Corrientes, donde se encuentran la mayoría de los cultivos de este cereal, como así también los molinos donde se procesan los mismos.

Para combatir esta problemática, se decidió seleccionar como materia prima un desecho para convertirlo en un producto elaborado, dándole un importante valor agregado. De esta forma, no sólo se plantea el desafío del diseño de una planta elaboradora de un producto químico, sino que el mismo será una solución para gran parte del volumen desechado de cáscara de arroz.

1. MATERIA PRIMA: CÁSCARA DE ARROZ

1.1 SELECCIÓN

El enfoque ecológico que se le dio al presente proyecto de investigación está vinculado a la utilización de un residuo de la agroindustria como materia prima para nuestro proceso. En Argentina se cosecha una gran cantidad de arroz paddy (con cáscara), que luego en el tratamiento en los molinos arroceros da como desecho la cáscara. Actualmente se utiliza una parte del mismo para fabricación de cama de pollos, como aditivo de alimento balanceado para animales o se quema como combustible, pero el mayor porcentaje debe disponerse, lo que significa consecuencias negativas sobre el medio ambiente.

Siendo conscientes de la gravedad de las problemáticas ambientales, comenzamos la búsqueda del producto a desarrollar teniendo como condición necesaria lograr un beneficio ambiental en algún aspecto. Es por ello que hicimos énfasis en la materia prima, la cual debería ser un residuo proveniente de otra industria, a fin de no sólo no consumir recursos naturales para abastecernos sino también de colaborar en una disposición positiva del residuo de otra empresa.

Luego de una intensa búsqueda, se optó por la cáscara de arroz al tomar conciencia de la problemática ambiental con respecto a ésta existente en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe, que poseen la mayor producción de arroz del país, y donde cerca del 22,5% de todo el arroz trabajado produce los mencionados desechos. Cabe destacar que cuando hablamos de producción nos referimos al descascarado y molienda del producto, no a su cosecha.

El desecho de la cáscara que no puede ser aprovechado (cerca del 65%) es quemado a cielo abierto, circunstancia que produce gases tóxicos y material particulado, influyendo en la fauna y la flora del lugar y en la calidad del aire. Partiendo de este punto, nuestro objetivo fue encontrar un producto que pudiera ser sintetizado a partir de la cáscara de arroz, de manera tal de reducir el porcentaje de este desecho y beneficiando a las zonas aledañas a los lugares donde se dispone.

1.2 GENERALIDADES

El arroz es el segundo cereal más consumido a nivel mundial, detrás del trigo. Es una fuente alimenticia básica para más de la mitad de la población mundial (aproximadamente 3500 millones de personas). Es un cultivo que se adapta fácilmente a diferentes condiciones climáticas y del suelo, lo que permite cultivarlo diferentes regiones del planeta, teniendo cada una de estas regiones una variedad específica. Este trabajo estará basado en la variedad de arroz paddy, mayormente conocido como arroz con cáscara. La cáscara que se utilizará como materia prima tiene actualmente destino para fabricación de cama de aves, adobes y alimentos para animales.

1.3 PLANTA DE ARROZ: *Oryza Sativa*

La planta de arroz, cuyo nombre científico es *oryza sativa*, pertenece a la familia de las gramíneas, plantas herbáceas con raíces fasciculadas (que no poseen una raíz principal, sino raíces secundarias de contextura similar) de tipo fibroso. Su tallo está compuesto de nudos y entrenudos, donde los primeros llevan una hoja y una yema que puede desarrollarse, y los segundos son huecos, finamente estriados y de longitud

variable. Las hojas se disponen en ángulo con el tallo, en dos hileras, ubicadas en los nudos del mismo. En cuanto a las flores, son hermafroditas, de color verde blanquecino, y se disponen en espiguillas, donde cada espiguilla es la unidad de una panícula que se localiza en el vástago terminal. El grano de arroz es el ovario maduro.



Ilustración 1: Planta *Oryza Sativa*. Fuente: www.ecured.cu

1.3.1 CICLO DE VIDA

El ciclo de vida de la planta de arroz puede dividirse en tres fases: fase vegetativa, fase reproductiva y fase de maduración. Cada una de estas se subdivide en tres etapas. Las mismas pueden describirse de la siguiente forma:

1. Fase vegetativa: involucra las primeras tres etapas en la vida de la planta. La primera es la etapa de germinación, desde la siembra hasta la aparición del coleoptile de la semilla. La siguiente etapa se denomina plántula, que comienza con la aparición del coleoptile hasta la aparición de la quinta hoja (suponiendo la primera hoja aquella sin lámina). La última subetapa de esta fase es el macollaje, desde la aparición del primer macollo hasta la iniciación de la panoja.
2. Fase reproductiva: comienza con la sub etapa de elongación y engrosamiento de la vaina. Abarca desde la iniciación de la panoja hasta su desarrollo íntegro dentro de la vaina de la hoja banera. La siguiente sub etapa es denominada espigazón, comenzando con la aparición de la punta de la panoja fuera de la vaina de la hoja bandera hasta un 90% de su aparición. Por último, la floración es la etapa donde sucede la primera floración hasta que se complete la misma en toda la panoja.
3. Fase de maduración: en esta etapa se forma el grano de arroz propiamente dicho. En la primer sub etapa se transforma un carióspeide de estado acuso a

estado lechoso. En la segunda sub etapa el cariósipide migra de un estado de masa blanca a un estado de masa dura. La última sub etapa (y última etapa del ciclo de vida) es aquella donde maduran más del 80% de las espiguillas de la panoja, con un cariósipide completamente desarrollado, duro y sin tonalidades verdes.

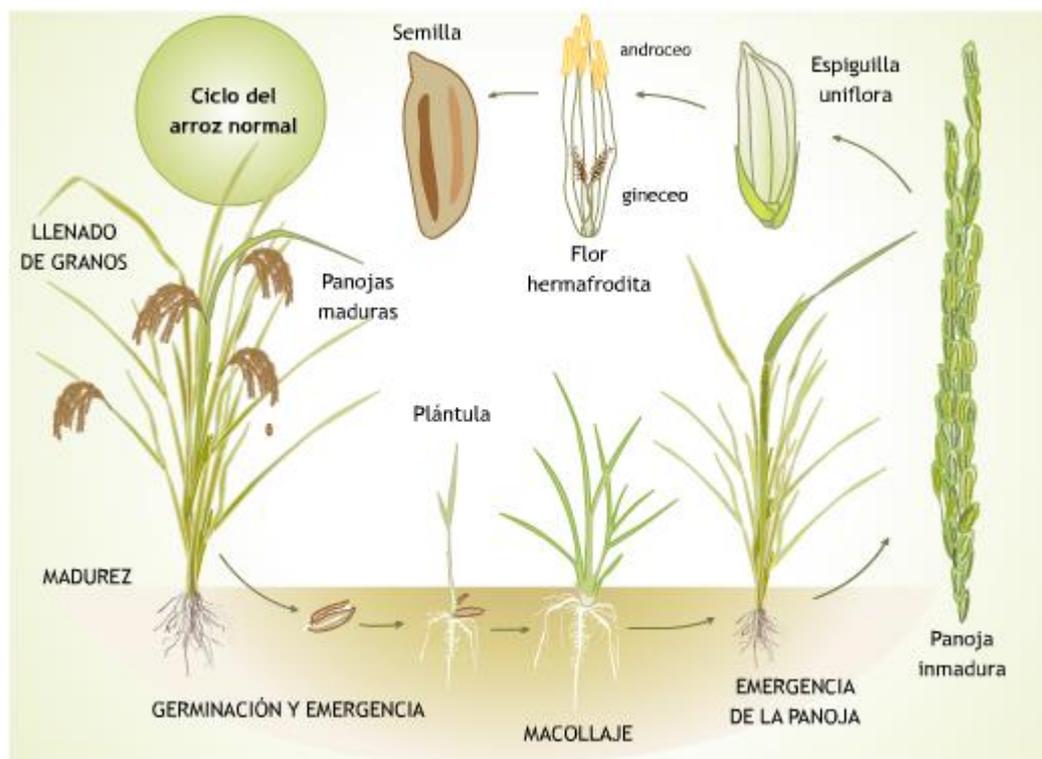


Ilustración 2: Ciclo de vida de plantaciones de arroz. Fuente: www.biologia.edu.ar

1.4 ASPECTOS AGRONÓMICOS

1.4.1 CULTIVO

Al preparar la tierra para la siembra, es importante realizar correctamente la nivelación del terreno. Luego, debe verificarse la presencia de malezas, y en caso de encontrarse presentes, deben eliminarse mediante la utilización de herbicidas apropiados. Una semana posterior a este proceso (plazo de tiempo en que las malezas se habrán descompuestos) se procede a fertilizar el terreno, ya que el cultivo de arroz es altamente demandante de nutrientes como fósforo, nitrógeno y potasio.

La dosis media de semilla para la siembra está alrededor de 140-180 kg de semillas por hectárea.

La siembra puede hacerse de varias formas, con máquina, avión, a voleo o a mano. Se realiza sobre suelos inundados, aproximadamente con 5 cm de altura de agua.

En el proceso de riego, debe ponerse especial atención a la altura de agua en el suelo. En los primeros días, ésta debe ser alta para proteger a la plántula del frío e impedir el desarrollo de malezas y malas hierbas. Luego, cuando la planta ya alcanzó un tamaño

Existen dos categorías de cosechadoras:

Cosechadoras a mata entera: consisten en segadoras que cortan las matas, forman mazos y las descargan lateralmente.

Cosechadoras trilladoras: son maquinarias más sofisticadas, que realizan más que sólo cortar las matas. Separan los granos de las impurezas (como pueden ser la paja, trozos de tallo, entre otras), y pueden contar con una tolva para almacenar el grano limpio y un dispositivo para entregarlo al medio de transporte.



Ilustración 4: Cosechadora trilladora. Fuente: www.ecured.cu



Ilustración 5: Segadora. Fuente: www.ecured.cu

Una vez terminada la cosecha, el arroz se transporta hacia los molinos, donde tendrá lugar el tratamiento previo al envasado como producto final.

2. PROCESAMIENTO DEL ARROZ

2.1 RECEPCIÓN Y PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

A) Muestreo y análisis de calidad

Se sacan muestras de la materia prima proveniente de la cosecha, y se realizan los análisis fisicoquímicos correspondientes. Si los resultados son satisfactorios, se procede a la aceptación de la mercadería y su ingreso al circuito productivo.

B) Prelimpieza de la materia prima

El arroz sufre un proceso de prelimpieza inicial, donde se separan cuerpos extraños (malezas, tallos, entre otros) que pudiera no haber separado la cosechadora.

C) Secado

Una vez atravesada la etapa de prelimpieza, el arroz cáscara húmedo se introduce en torres de secado para llevarlo a la humedad óptima de almacenamiento (12-13%). Previamente a esta etapa, la materia prima proveniente de la cosecha puede contener entre un 18% y 30% de humedad.

D) Almacenamiento de la materia prima seca

Cuando la materia prima ya está seca, se la almacena en silos para que repose hasta que sea procesada. Éstos cuentan con sistemas de aireación para evitar la condensación de humedad que pudiera empobrecer la calidad del arroz para ser tratado en las próximas etapas.

2.2 MOLIENDA

A) Prelimpieza

La materia prima seca almacenada en los silos pasa por una máquina de limpieza, con el objetivo de remover las impurezas y cuerpos extraños que pudieran haber quedado posteriormente a las etapas de pre-tratamiento

B) Descascarillado

Es la etapa en la que se separa el grano de arroz de la cáscara mediante el uso de una máquina denominada descascaradora. La que es más utilizada es la descascaradora de rodillos de caucho. Se obtienen entonces la cascarilla, que utilizaremos como materia prima en este proyecto, y los granos, que continúan en el proceso de tratamiento.

C) Blanqueo

Luego del descascarillado, el arroz (pardo) pasa por un proceso de blanqueo, que eliminan todas las capas que envuelven al arroz. Esto se logra mediante máquinas ubicadas verticalmente, que son llamadas blanqueadoras.

D) Clasificación por tamaño

El arroz blanco ingresa al proceso de clasificación por tamaño que se lleva a cabo mediante zarandas a estándares ya establecidos (en número de granos por onza).

E) Embolsado del producto final

El proceso de envasado se realiza en big-bags (300 kg), el cual suele hacerse por acción de la gravedad. También pueden envasarse bolsas de 25 o 50 kg.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ARROZ

2.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición de la cáscara de arroz varía según la bibliografía consultada. En forma general, podemos decir que la composición se aproxima a la indicada a continuación:

Composición	Porcentaje en base seca (%)
Celulosa	30
Pentosanas	20
Lignina	20
Cenizas	20
Otros inertes	4
Proteínas	3
Grasas	2
Vitaminas	1

Tabla 1: Composición Química según Patricia Cárdenas Toro (2004)

El porcentaje de humedad en la cáscara es aproximadamente un 10%, con lógicas variaciones dependientes del clima y la estación del año.

Por supuesto, estas composiciones pueden variar dependiendo los lugares de cosecha, variedades de arroz, factores climáticos, entre otros. Para nuestro proyecto utilizaremos los datos de la Tabla 1, donde el componente de interés es el porcentaje de pentosanas, que serán las que sufrirán las transformaciones para sintetizar furfural.

2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Propiedad	Descripción	
Color	Amarillo pajizo	
Longitud	Distribuciones entre 5-9 mm	
Humedad	8-12%	
Densidad	Real	738 kg/m ³
	Aparente	100 kg/m ³
	Compactada	400 kg/m ³
Poder calorífico	3300 kcal/kg	

Tabla 2: Propiedades físicas



Ilustración 6: Cáscara de arroz. Fuente: Abe V. Rotor

2.4 USOS ACTUALES DE LA CÁSCARA DE ARROZ

Actualmente, en nuestro país la mayor parte de la cáscara de arroz que se genera como subproducto en la molienda es quemada a cielo abierto y sólo una pequeña parte es aprovechada para otros fines.

Los usos más importantes que ha tenido hasta el momento son para la fabricación de camas de pollos y ganado bovino, como aditivo en la formulación de alimentos balanceados de baja calidad y como combustible en calderas de vapor.

Aun así, en un país exportador de arroz como lo es Argentina, la cantidad de cáscara generada es tan grande que el mayor porcentaje no es utilizado.

Cabe destacar que las cenizas de la cascarilla de arroz poseen un alto contenido de sílice, con lo cual es una potencial fuente de materia prima para la producción de silicio.

3. PRODUCTO: FURFURAL

3.1 SELECCIÓN DEL PRODUCTO

La elección del producto surgió como consecuencia de la búsqueda de aquellos compuestos que se podrían sintetizar a partir de los principales componentes de la cáscara de arroz: lignina, celulosa y pentosanas. Durante esta búsqueda, nos encontramos con el furfural, el cual es producido por una única empresa en el país y mediante un proceso a partir de combustibles fósiles, por lo cual la alternativa de utilizar un subproducto de la actividad agrícola se volvió de interés.

3.2 GENERALIDADES

El furfural fue aislado por primera vez por el químico alemán Johann Wolfgang Dobereiner en 1832, cuando lo obtuvo como subproducto en la síntesis de ácido fórmico. Más adelante, el químico escocés John Stenhouse lo obtuvo a partir de destilación de desechos agrarios en medio ácido y determinó una fórmula empírica. Sin embargo, el furfural tomó importancia en el año 1921 cuando la empresa Quaker Oats Company comenzó su producción industrial principalmente por dos motivos: tenían ollas a presión

en desuso y cantidad enormes de cascarilla de avena, producida como desecho en la obtención hojuelas de avena. Cabe destacar entonces que esta planta no fue producto de un diseño y optimización del proceso (para esa época, la cinética que rige la síntesis de furfural no había sido hallada aún). A partir de esta primera aproximación, la producción del furfural y de sus subproductos ha evolucionado enormemente. Se trata de un aldehído aromático, con una estructura en anillo, cuya masa molar es 96.09 g/mol. Su fórmula química es $C_5H_4O_2$ y su fórmula molecular es la siguiente:

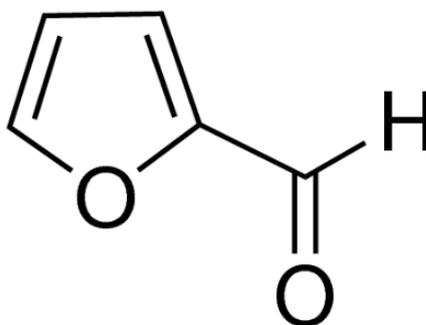


Ilustración 7: Fórmula molecular del furfural

3.3 USOS DEL FURFURAL

El furfural tiene diversos usos dentro de la industria química, pero principalmente se utiliza como producto químico intermedio en la producción de otros productos químicos finos. Algunos de éstos son: furano, alcohol furfurílico, nitrofurfural, ácido succínico, ácido maleico y furfurilamina.

Además, también se lo utiliza como solvente en la industria de refinación de aceites lubricantes, como materia prima en la fabricación de resinas y en la fabricación de plásticos.

Finalmente, también es utilizado en la industria de los pesticidas, aunque no es su principal función dentro de la industria química.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL FURFURAL

3.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico	Líquido
Color	Marrón claro
Olor	Almendras amargas
pH	No hay información disponible
Punto de fusión	-37°C
Punto de ebullición	162°C
Punto de inflamación	60°C
Tasa de evaporación	No hay información disponible
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay información disponible
Presión de vapor	1 hPa (20°C)
Densidad	1.16 g/cm ³ (20°C)
Solubilidad en agua	83 g/L (20°C)
Temperatura de descomposición	No hay información disponible
Viscosidad dinámica	No hay información disponible

Temperatura de ignición	315°C
Propiedades explosivas	No clasificado como explosivo

Tabla 3: Propiedades físicas y químicas del Furfural. Fuente: Ficha de seguridad Merck de Furfural

3.5 FORMA DE PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

Industrialmente, se presenta como un líquido de color marrón claro, con una pureza mínima del 98.5% y una humedad menor al 0.2%, que suele presentarse de la siguiente forma:

- **Tambores de hierro:** de capacidad de 230 kg, 240 kg y 250 kg.
- **Tambores de acero inoxidable:** de capacidad de 25 kg y 50 kg.

Esta información fue obtenida de páginas de internet donde se vende el furfural, principalmente vendedores provenientes de China. Esto no implica que los tamaños propuestos sean los únicos disponibles, pero sí implica que son los más utilizados comercialmente. Los tambores de acero inoxidable suelen usarse para Furfural de alta pureza (>99%).

Dado que nuestro producto no es de alta pureza, optaremos por comercializarlo en tambores de 250 kg de hierro.



Ilustración 8: Tambor de hierro

4. BIBLIOGRAFÍA

Enciclopedia colaborativa en la red cubana. Página Web:

https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana [Fecha de consulta: 20/09/2018]

Universidad de los Llanos (Colombia). Página Web:

<http://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/103/539> [Fecha de consulta: 21/09/2018]

Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. Página Web:

<http://www.sinavimo.gov.ar> [Fecha de consulta: 21/08/2018]

Olmos, Sofía: “Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz”. Cátedra de Cultivos II, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, Corrientes, 2006.

Cárdenas Toro, Fiorella Patricia: “Obtención de Furfural a Partir de Cáscaras de Arroz”. Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima, Perú, 2004.

Valverde G. Agustín, Sarria L. Bienvenido, Monteagudo Y. José P: “Análisis Comparativo de las Características Fisicoquímicas de la Cascarella de Arroz”. Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XIII, No 37, 2007.

Alibaba. Catálogo de Fabricantes de Furfural. Página Web:

<https://spanish.alibaba.com/g/furfural.html> [Fecha de consulta: 22/04/2018]

Tatyana Germanovna Korotkova, Svetlana Jurevna Ksandopulo, Aleksandr Pavlovich Donenko, Svyatoslav Andreevich Bushumov, Aleksandra Sargeevna Danilchenko: “Physical Properties and Chemical Composition of the Rice Husk and Dust”, Kuban State Technological University, Russian Federation, 350072, Krasdonar, Moskovskaya Street, 2, 2016.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 2: Estudio de mercado

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
1. MERCADO LOCAL DEL FURFURAL	3
1.1 MERCADO DEL FURFURAL: COMERCIO EXTERIOR.....	3
2. CONSUMO INTERNO FURFURAL	5
2.1 MERCADO DEL FURFURAL EN BRASIL	5
3. PRODUCCIÓN TOTAL.....	8
4. MATERIA PRIMA.....	8
4.1 DISPONIBILIDAD	8
4.2 PRECIO.....	9
5. GANANCIA ANUAL.....	9
6. CONCLUSIONES.....	10

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentará un análisis de los distintos aspectos de interés del mercado del furfural, el cual servirá de cimiento a la hora de realizar el presente proyecto.

Como principales tópicos, se realizará una evaluación del mercado local del furfural, en el cual interesan volúmenes producidos, empresas productoras y precio. Luego se evaluarán importaciones y exportaciones del producto, y el consumo interno, datos que ayudarán a determinar la porción del mercado a abarcar, un precio estimado del producto y, por lo tanto, la factibilidad de la producción industrial del furfural en el país.

Además, se evaluará la materia prima necesaria para la obtención de furfural, su disponibilidad en el país y se determinará un precio para la misma, a partir de distintas estimaciones.

Por último, habiendo obtenido la producción anual a abarcar, se calculará la ganancia neta anual esperada.

1. MERCADO LOCAL DEL FURFURAL

Para realizar el estudio de mercado del furfural, se comenzó buscando la posición arancelaria del mismo. Ésta es un código numérico de ordenamiento establecido según una clasificación de mercadería (Nomenclador Común del Mercosur), que se utiliza en la nomenclatura arancelaria para representar un producto o mercadería a la hora de realizar declaraciones aduaneras.

En cuanto al furfural, su posición arancelaria es: 29.32.12.00.

- 29: representa los compuestos químicos orgánicos;
- 32: compuestos heterocíclicos con heteroátomos únicamente de oxígeno;
- 12: furfural o 2-furfuraldehído.

Investigando en la Cámara de la Industria Química y Petroquímica Argentina se encontró que el furfural es producido en el país únicamente por la empresa Silvateam del grupo Indunor S.A. en una planta ubicada en el Chaco, a partir de quebracho. Dicha empresa produce 4.000 toneladas al año.

1.1 MERCADO DEL FURFURAL: COMERCIO EXTERIOR

En cuanto al comercio exterior, hay que destacar dos factores. En primer lugar, no existen importaciones de furfural al país en cifras significativas (las pocas toneladas que se importan son luego exportadas a países limítrofes, como Uruguay). Por otro lado, aproximadamente el 97% de las exportaciones que se producen son destinadas a Brasil.

Para realizar un análisis de cómo variarán las exportaciones y el precio de las mismas del furfural en los próximos años, datos valiosos para el proyecto y para entender qué porción del mercado se podrá abarcar, se obtuvieron datos de exportaciones a lo largo del período de años 2004-2016. Para esto, se utilizó la base de datos del NOSIS, utilizando como criterio de búsqueda a la empresa Indunor, dado que es la única fabricante en el país.

Aclaración: al momento de analizar transacciones de comercio exterior, se utilizará el término FOB (Free on board), que es una cláusula de compraventa vía marítima, en la cual el valor del transporte y el seguro es cubierto por el comprador. El vendedor solo debe cumplir con la obligación de entregar la mercadería.

Año	Exportaciones [kg]	U\$\$ FOB	U\$\$ FOB/kg
2004	896.500	799.946	0,89
2005	1.250.500	1.328.094	1,06
2006	1.526.000	1.478.250	0,97
2007	1.143.000	1.230.475	1,08
2008	2.016.000	3.206.747	1,59
2009	1.731.000	2.671.437	1,54
2010	2.021.000	3.077.606	1,52
2011	1.927.000	3.598.819	1,87
2012	1.040.500	2.265.526	2,18
2013	1.722.140	3.595.594	2,09
2014	1.250.640	2.187.455	1,75
2015	1.067.380	1.773.479	1,66
2016	1.265.760	2.071.047	1,64
Promedio	1.450.571	2.252.652	1,55
Total	19.106.100	29.718.983	-

Figura 1: Exportaciones de Furfural. Fuente: NOSIS

Puede notarse que el precio promedio a lo largo de los últimos años es de 1,55 U\$\$ FOB/kg, concordante con el precio internacional actual (a mayo del 2018).

Estos mismos datos pueden observarse en las próximas figuras, junto con la tendencia que se estima para los próximos 5 años, es decir, hasta el año 2023.



Figura 2: Exportaciones de Indunor en kg. Fuente: NOSIS

En este gráfico puede observarse que las cantidades exportadas a lo largo de los últimos años presentan una oscilación en torno a las 1500 toneladas. Si se observa la tendencia que siguen estos datos, puede notarse que la demanda del producto permanecerá constante durante el período analizado.

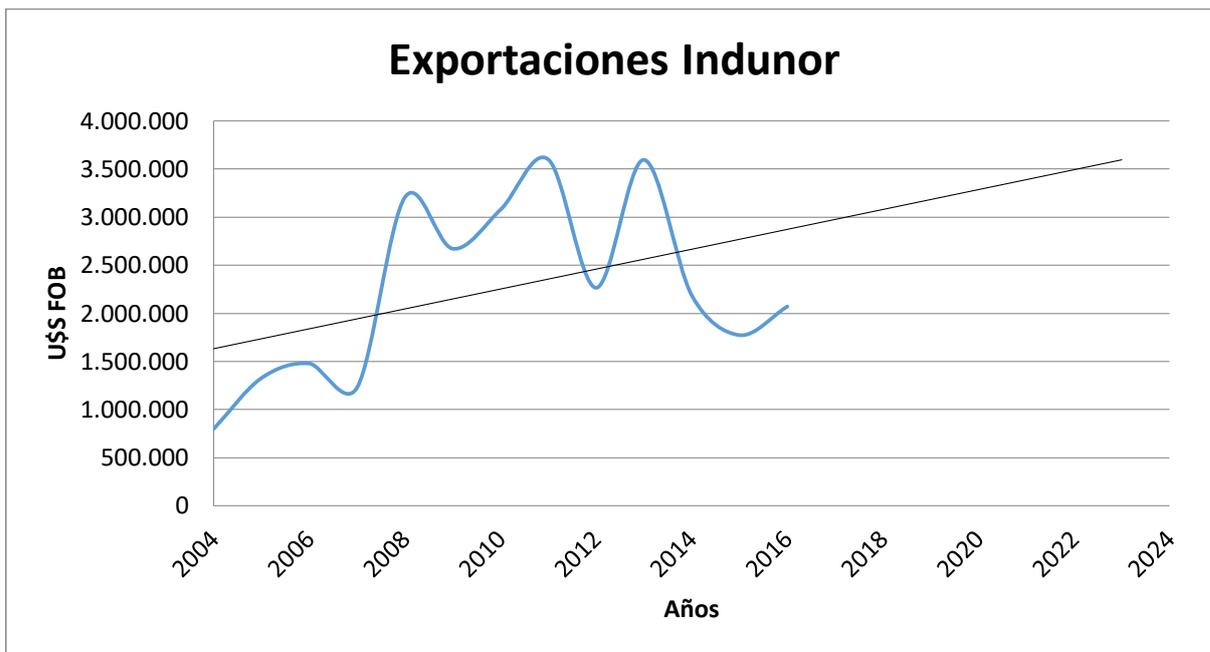


Gráfico 3: Exportaciones de Indunor en U\$\$ FOB. Fuente: NOSIS

En cambio, las exportaciones en dólares FOB presenta una tendencia creciente hacia el año 2023. Esto significa que el precio por kilogramo exportado seguirá ascendiendo a lo largo de los años, lo cual representa una ventaja para nuestro proyecto.

Hacia el año 2023, las exportaciones en dinero serán de 3.500.000 U\$\$ FOB por un total de 1.500.000 kg de furfural, lo que se traducirá en un precio promedio de 2,33 U\$\$ FOB/kg. Si se lo compara con el precio actual, esto significa un aumento del 50% en el precio de venta del furfural.

2. CONSUMO INTERNO FURFURAL

Por otra parte, para determinar el consumo interno de furfural se realizó la suposición de que al ser una única empresa la productora en el país y no existir importaciones, la diferencia entre lo que se produce y lo que se exporta en promedio, está destinada al consumo dentro del país. Es decir, si Indunor produce alrededor de 4000 toneladas por año y exporta un promedio (en el período 2004-2016) de 1450 toneladas por año, significa que las 2650 toneladas restantes se destinan a consumo dentro del país.

En este punto, fue necesario estimar la fracción de mercado a la que aspiraremos ocupar, es decir, el porcentaje del mercado existente actual que abarcaremos con nuestra producción.

Dado que en nuestro país solo existe un productor, lo que podría ser considerado un monopolio, estimamos poder abarcar el 30% del consumo interno de furfural: 795 toneladas/año.

2.1 MERCADO DEL FURFURAL EN BRASIL

Brasil no es un país productor de furfural, por lo tanto lo importa desde distintos países. Argentina, desde la empresa Indunor, ocupa el mayor porcentaje de esas importaciones, pero Brasil también importa furfural desde Bélgica y China en cantidades considerables.

Los porcentajes de la procedencia de las importaciones de furfural de Brasil (del año 2013) pueden verse en la figura 4, que continúa.

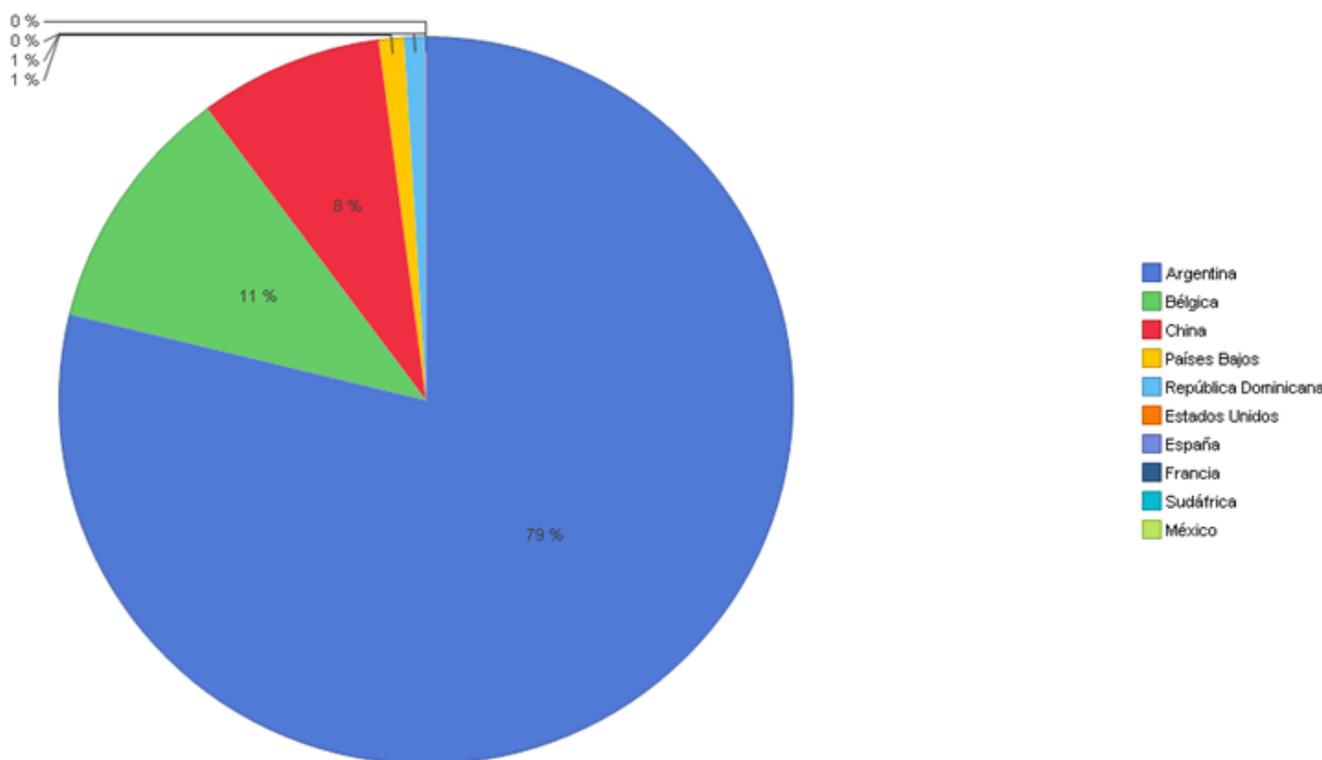


Figura 4: Porcentajes de importaciones de Furfural de Brasil (por país)

Si bien los porcentajes varían año a año, oscilan entre los valores presentados en el gráfico anterior: Brasil importa un 79% de furfural desde Argentina, un 11% desde Bélgica y un 8% desde China.

En las siguientes dos figuras puede observarse la tendencia de las importaciones de Brasil para el período analizado anteriormente (hasta el 2023), desde el punto de vista de cantidades importadas y de U\$\$ FOB:

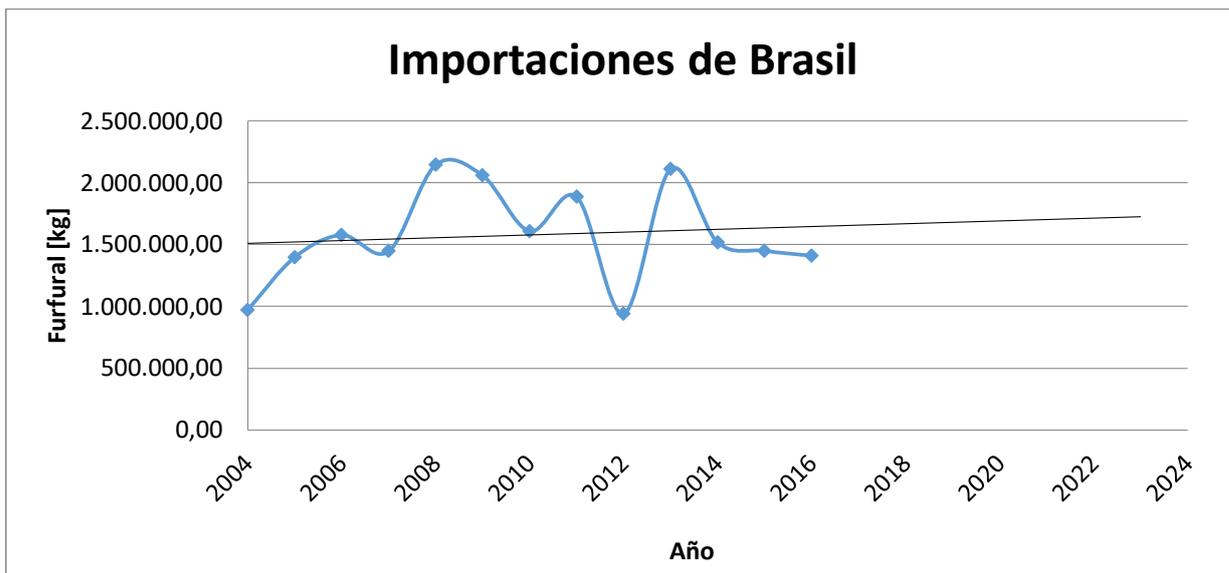


Figura 5: Importaciones de Brasil en kg. Fuente: NOSIS



Figura 6: Importaciones de Brasil en U\$S. Fuente: NOSIS

En ambos se nota una tendencia creciente para las importaciones, tanto en volúmenes como en flujos monetarios, lo que es favorable para nuestro proyecto, ya que implica que a futuro se podrán aumentar las exportaciones hacia este país.

Entonces, se abarcará un porcentaje de las exportaciones que se realizan anualmente hacia Brasil desde nuestro país, teniendo en cuenta las facilidades que nuestra producción podrá brindarle a las empresas importadoras del país limítrofe, dadas principalmente por la cercanía a los puertos y a los pasos fronterizos del sur de Brasil (ver Capítulo 3: Localización). Existiendo un promedio de 1450 toneladas por año de exportaciones, estimaremos cubrir un 30% de este valor, es decir, 435 toneladas/año.

Por último, abarcaremos una fracción de las importaciones de furfural que Brasil realiza desde China y Bélgica. En este punto, se enfatizan las facilidades que tendremos frente a las importaciones realizadas desde estos países, dadas por la cercanía y una logística más sencilla. Estimamos abarcar un 30% de las importaciones que Brasil realiza desde

ambos países. Siendo sus importaciones de 1600 toneladas/año en promedio en el período de 2004-2016, Brasil importa:

- 11% desde Bélgica: 176 toneladas/año;
- 8% desde China: 128 toneladas/año.

Es decir, 304 toneladas/año entre ambos países, de las cuales abarcaremos 91 toneladas/año.

3. PRODUCCIÓN TOTAL

Realizando una sumatoria entre los valores que estimamos abarcar del mercado local, de las exportaciones a Brasil realizadas desde nuestro país y de las importaciones que Brasil realiza desde Bélgica y China, se obtuvieron las toneladas por año que producirá la planta:

$$\text{Producción anual} = 795 + 435 + 91 = 1321 \text{ toneladas/año}$$

4. MATERIA PRIMA

4.1 DISPONIBILIDAD

La producción de furfural será realizada a partir de la cáscara del arroz, desecho agrícola rico en pentosas. Argentina es un país productor de arroz, donde se destacan las provincias de Entre Ríos, Santa Fe y Corrientes.

El cultivo de arroz paddy (arroz con cáscara) se ha extendido ampliamente en la región del litoral principalmente por abundancia de agua, características del suelo y capacidades técnicas y recursos humanos en aumento, habiéndose producido más de 1.200.000 toneladas en la campaña 2015/2016, por lo que la materia prima se encuentra en gran disponibilidad.

El proceso arrocero comienza con la producción primaria, que consiste en el cultivo y la cosecha de los distintos tipos de arroz (en la región, el más utilizado es el arroz del tipo largo). Luego, este arroz con cáscara atraviesa la etapa industrial que puede estar formada por dos pasos: la obtención del arroz integral (etapa donde se obtiene la cáscara necesaria para la producción del furfural), mediante un proceso de secado y descascarillado; y luego, una segunda etapa, en la que por medio de la extracción del salvado y germen, se obtiene el arroz blanco. Si bien el cultivo de arroz se da principalmente en las tres provincias antes nombradas, el 79% de la etapa industrial ocurre en Entre Ríos y el 15% en Santa Fe.

La cáscara de arroz representa un desecho problemático para los molinos arroceros, dado que, por su composición, resulta difícil de degradar. Además, es un residuo que ocupa mucho volumen, lo que genera problemas para su disposición final. Se estima que la cáscara de arroz representa un 22,5% de la cantidad de arroz procesada (es decir, cada tonelada de arroz que ingresa en la etapa industrial genera 255 kg de cáscara). Por lo tanto, por ejemplo, se produjeron aproximadamente 242.000 y 46.000 toneladas de cáscara en Entre Ríos y Santa Fe en el año 2016, respectivamente.

4.2 PRECIO

La cáscara de arroz, que se obtiene del proceso de obtención del arroz integral, es un desecho de gran volumen, el cual no es casi aprovechado posterior a su disposición. Se lo utiliza en la construcción de camas para pollos, como aditivo para alimento de animales de cría (principalmente para dar volumen al alimento y no por su valor nutritivo) o como complemento en la producción de ladrillos (también para dar volumen). Sin embargo, para estos tres usos se utiliza una baja proporción de cáscara de arroz, lo que no implica una cantidad considerable frente a las toneladas que se generan por año.

Para establecer el precio de la materia prima, se realizó una estimación entre el precio en que se vende el kilogramo de una cama de pollos (producto que requiere un proceso industrial, tanto físico como químico, para su obtención, lo cual lo encarece frente a la cáscara sin tratar) de USD 25/ton y el precio de venta de la cáscara de maní brindado por productores locales, de USD 9/ton (asumiendo la similitud que existe entre ambos desechos).

De esta forma establecimos un precio de materia prima de USD 15/tonelada, es decir, de USD 0,015/kg. Este precio se encuentra sobrestimado por dos motivos: en primer lugar, para ser competitivos frente a los productores de camas de pollos, que también compran la cáscara de arroz a los molinos arroceros; y en segundo lugar, para tener un margen económico a futuro, por si es necesario disminuir costos.

5. GANANCIA ANUAL

Una vez obtenido el volumen de producción anual que se realizará, junto con el precio de venta promedio del furfural, el precio de la cáscara de arroz y el rendimiento que se obtiene en la producción del producto (ver Capítulo 5: Elección del Proceso), puede obtenerse una estimación de la ganancia anual que presentará el proyecto. Para este análisis, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Producción anual de furfural: 1321 toneladas/año;
- ✓ Precio de venta furfural: 1500 U\$S/tonelada
- ✓ Precio de la cáscara de arroz: 15 U\$S/tonelada;
- ✓ Rendimiento de furfural/cáscara de arroz en base a las condiciones de reacción elegidas (% p/p): 8,66 %;
- ✓ Porcentaje de humedad promedio en la cáscara del arroz: 10%.

Ventas totales: 1321 toneladas/año x 1500 U\$S/tonelada: 1981500 U\$S/año.

Materia prima a utilizar: 1321 ton furfural/año x 11,547 ton cáscara de arroz seca/ton furfural x 1 ton cáscara de arroz/0,9 ton cáscara de arroz seca: 16949 ton cáscara de arroz/año.

Costo de la materia prima principal: 16949 ton/año x 15 U\$S/ton: 254235 U\$S/año.

A fin de poder estimar en forma preliminar la factibilidad del proyecto, calculamos la diferencia entre las ventas y el costo de la materia prima principal (cáscara de arroz):

Ventas – Materia prima: 1.981.500 U\$S/año – 254.235 U\$S/año = 1.727.265 U\$S/año

Es un número interesante, por lo que se decide avanzar con el proyecto. La factibilidad definitiva se verá en el capítulo de balance económico, una vez desarrollado todo el proyecto de planta.

Según estas ventas, y tomando un tipo de cambio 1 USD = \$ 63 (noviembre de 2019), el valor total será \$125.000.000. La industria entraría en la clasificación de Pequeña Empresa, según la Resolución 220/2019 de la Secretaría de Emprendedores y de la Pequeña y Mediana Empresa:

CATEGORÍA	CONSTRUCCIÓN	SERVICIOS	COMERCIO	INDUSTRIA Y MINERÍA	AGROPECUARIO
MICRO	12.710.000	6.740.000	23.560.000	21.990.000	10.150.000
PEQUEÑA	75.380.000	40.410.000	141.680.000	157.740.000	38.180.000
MEDIANA Tramo 1	420.570.000	337.200.000	1.190.400.000	986.080.000	272.020.000
MEDIANA Tramo 2	630.790.000	481.570.000	1.700.590.000	1.441.090.000	431.450.000

Figura 7: Categorización de industria. Fuente: www.argentina.gob.ar

6. CONCLUSIONES

Resumiendo, con el presente proyecto pretendemos obtener una producción de furfural a partir del consumo de cáscara de arroz (materia prima), siendo los valores en base anual, los que se presentan a continuación:

- Cantidad de materia prima: 16.949 toneladas/año;
- Precio materia prima: 15 U\$S/tonelada;
- Cantidad de furfural: 1321 toneladas/año;
- Precio furfural: 1500 U\$S/tonelada.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 3: Ubicación

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MACROUBICACIÓN	1
2.1. PROVINCIAS	1
2.2. MATRIZ DE MACROUBICACIÓN	3
2.3. MATERIA PRIMA	4
2.4. SERVICIOS	5
2.4.1. COSTOS	5
2.4.2. DISPONIBILIDAD ELÉCTRICA	6
2.4.3. DISPONIBILIDAD DE AGUA	8
2.4.4. DISPONIBILIDAD DE GAS	8
2.4.5. TOTALES	9
2.5. POBLACIÓN	9
2.6. COMERCIO	10
2.7. CLIMA	12
2.8. PARQUES INDUSTRIALES	12
2.9. LEGISLACIÓN	13
2.10. TOTALES DE MACROUBICACIÓN	13
3. MICROUBICACIÓN	14
3.1. CIUDADES	14
3.2. MATRIZ DE MICROUBICACIÓN	15
3.3. MATERIA PRIMA	16
3.4. POBLACIÓN	18
3.5. COMERCIO	21
3.6. SERVICIOS	22
3.6.1. DISPONIBILIDAD ELÉCTRICA	22
3.6.2. DISPONIBILIDAD DE GAS	24
3.6.3. TOTALES	25
3.7. PARQUES INDUSTRIALES	25
3.8. CLIMA	25
3.9. LEGISLACIÓN	26
3.10. TOTALES	26
4. CONCLUSIONES	27
5. BIBLIOGRAFÍA	29

1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo desarrolla el proceso de selección de la zona de ubicación de la planta de producción de furfural. El análisis incluye en primera instancia una etapa de selección de la región a gran escala, decidiendo entre tres provincias. Se trata de la fase de estudio de la macroubicación. Posteriormente, la evaluación se traslada a extensiones más reducidas, discerniendo entre ciudades dentro de la provincia para elegir la más conveniente. Esta es la etapa de selección de la microubicación.

Ambas fases incluyen el desarrollo de una matriz donde se incluyen varios factores, con un peso determinado en puntos. Según la conveniencia de cada región analizada según cada factor, el número que la misma obtenga será cada vez mayor, y aquella que logre una mayor valoración será en cada uno de los dos casos la elegida para instalar la empresa.

2. MACROUBICACIÓN

El estudio primario de esta etapa del proyecto se basó en discernir, entre las provincias de mayor producción de arroz, la más conveniente para nuestra planta particular.

2.1. PROVINCIAS

Por lo visto en capítulos anteriores de este trabajo se sabe que en Entre Ríos y Corrientes se desarrolla el cultivo de arroz con mayor intensidad que en el resto del país, pero la elaboración industrial de los productos derivados de lo cosechado se centra en Entre Ríos y Santa Fe, con poca participación de Corrientes.

Según datos del informe de cadena de valor del arroz de 2017, ofrecido por el Ministerio de Hacienda de la Nación, en 2016 el 45% de arroz cáscara se llevó a cabo en Corrientes, mientras que el 36% fue en Entre Ríos y solo el 14% en Santa Fe. Para ilustrar mejor la situación, se incluye como figura 1 un mapa con las principales cosechas arroceras para la campaña 2015/16.

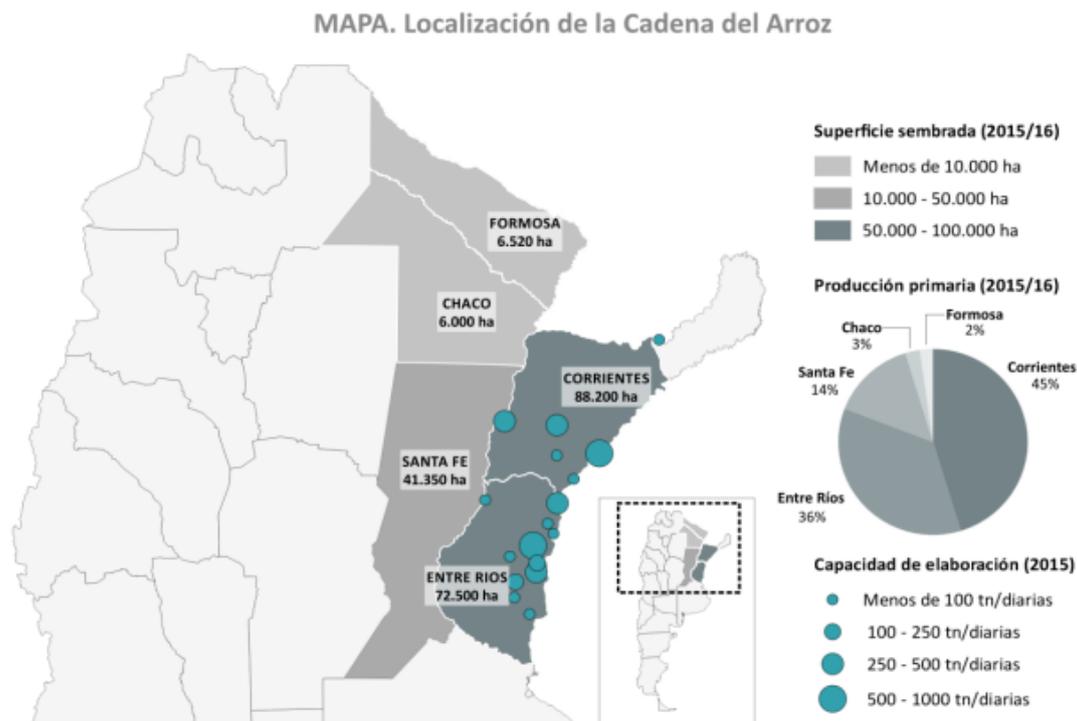


Figura 1. Localización de la cosecha de arroz.

Pero considerando que la materia prima a usar para producir furfural será la cáscara de arroz, lo más conveniente sería ubicarse en las cercanías de las zonas de procesamiento del mismo, ya que es en los molinos donde se separa y desecha la cáscara.

En cuanto a la etapa industrial de tratamiento del cereal, el 83% corresponde a la provincia del norte de Buenos Aires, mientras que muy de lejos la siguen Santa Fe con 15% y Corrientes, con un 2%. Puede verse reflejado esto en la gráfica sobre la evolución de la producción industrial arrocera, visible en la figura 2.

En base a estos datos, se ha decidido que entre estas tres provincias se ubicará la planta en cuestión.

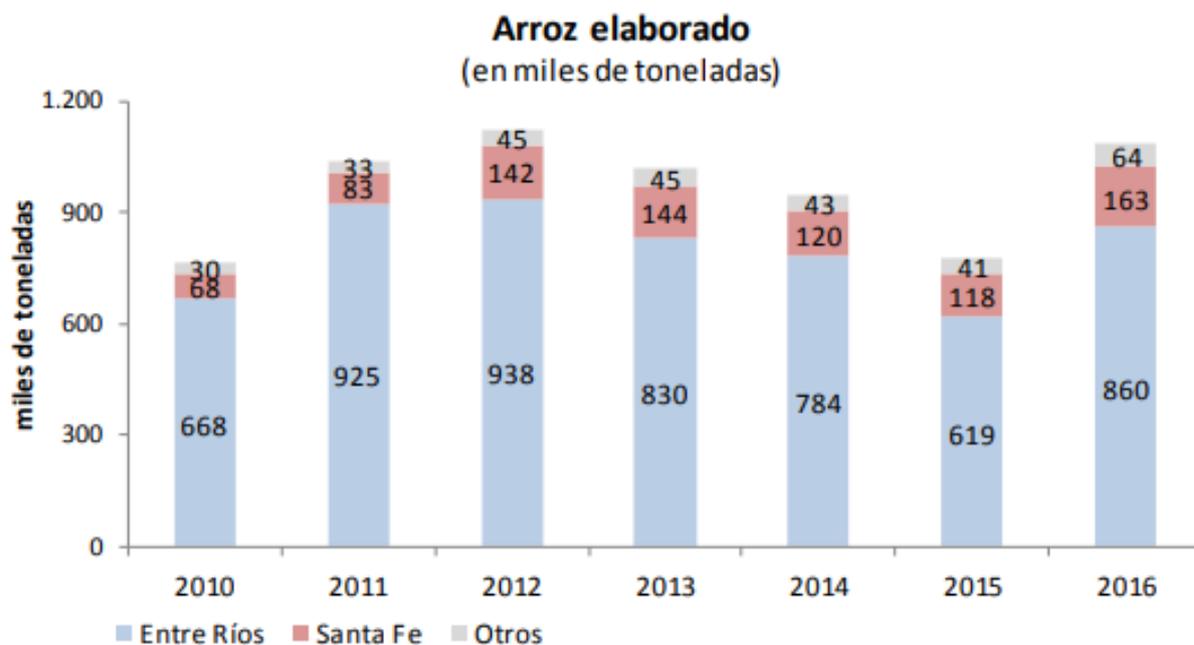


Figura 2. Producción industrial de arroz.

2.2. MATRIZ DE MACROUBICACIÓN.

Para el diseño de la matriz, se han seleccionado los factores de mayor importancia, a los que se les asignó un puntaje según su peso, y se los dividió en sub temas, cada uno también con un valor según su aporte al desarrollo del proyecto en cada zona. A continuación se describen cada uno de los ítems, y el porqué de su puntuación.

- **Materia prima:** 24 puntos. El factor considerado como más importante. Sin la materia prima, no puede llevarse a cabo el proceso, y la cantidad debe ser suficiente como para abastecer toda la producción esperada, teniendo en cuenta los peores rendimientos posibles. Se decidió dividirlo en disponibilidad y transporte. Al primero se le adjudicaron 16 puntos, por lo dicho anteriormente. En cuanto al transporte, por la necesidad de facilitar y abaratar la llegada de la cáscara al lugar de trabajo, se otorgaron 8 puntos.
- **Servicios:** 21 puntos. También un tema de suma importancia. Sin el agua para agregar a las corrientes de proceso o la energía para llevar a cabo cada una de las operaciones, no se podría generar el furfural. Se distribuyeron los puntos en cuatro sub ítems: 4 para costos, 5 para disponibilidad de electricidad, 7 para disponibilidad de agua y 5 para la disponibilidad de gas.
- **Población:** 17 puntos. Este elemento adquiere importancia por la obvia necesidad del recurso humano para las operaciones del proceso y demás cuestiones administrativas de la empresa, pero pierde algo de peso por la cantidad no tan alta de trabajadores que se esperaría para una planta de tamaño pyme, como la que se presenta para este proyecto. Los costos de este recurso, como los de los otros, también tuvieron su peso. Entonces, quedaron 7 puntos para la cantidad de mano de obra regular, 4 para aquella con estudios universitarios y 6 para la comparación de salarios promedio.
- **Comercio:** 15 puntos. Ninguna empresa podría persistir en el tiempo sin afianzarse en el mercado económico. Los valores de adjudicaron según la

necesidad de transportar el producto (7 puntos) y la cercanía de los lugares donde se pueda comercializarlo (8 puntos).

- Clima: 9 puntos. La importancia de este factor no es muy alta, se tuvo en cuenta que para almacenar materias primas y producto se requiere de temperaturas moderadas y una humedad no demasiado elevada. En base a eso, 4 puntos fueron para la temperatura y 5 para la comparación de humedades.
- Parques industriales: 7 puntos. Este tema se trabajó sin división en sub ítems. Solo la cantidad de parques por provincia fue considerada.
- Legislación: 7 puntos. Otro factor sin subdivisiones. Cada provincia tiene su legislación, y en este caso se hizo énfasis en las restricciones al vertido de residuos por parte de las empresas para determinar conveniencias.

En total, se tiene ya una primera aproximación de la matriz, tal como se aprecia en la figura 3.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos
Materia Prima	24	Disponibilidad	16
		Transporte	8
		Subtotal	
Servicios	21	Costos	4
		Disponibilidad Eléctrica	5
		Disponibilidad Agua	7
		Disponibilidad Gas	5
		Subtotal	
Población	17	Mano de obra regular	7
		Mano de obra universitaria	4
		Salario promedio	6
		Subtotal	
Comercio	15	Transporte producto	7
		Distancia puntos de venta	8
		Subtotal	
Clima	9	Temperatura	4
		Humedad	5
		Subtotal	
Parques industriales	7	Cantidad	7
		Subtotal	
Legislación	7	Legislación	7
		Subtotal	
Total	100		

Figura 3. Temas y puntajes para la matriz de macroubicación.

2.3. MATERIA PRIMA.

El factor más importante de toda la matriz. Los temas evaluados dentro del mismo fueron la disponibilidad de la cáscara de arroz y el transporte a realizar.

En cuanto a la cantidad para usar, el dato es que alrededor de un 22,5% en peso del arroz le corresponde a su cáscara. Tomando nuevamente como referencia el informe de cadena de valor de 2017, pueden usarse los datos del desempeño de los molinos en 2016. Entonces, la producción anual de arroz elaborado fue de 860 mil toneladas en Entre Ríos, 163 mil en Santa Fe y cerca de 22 mil en Corrientes. Tomando en cuenta el porcentaje adjudicado a nuestra materia prima, los números anuales finales son 193 500 toneladas desde la primera provincia, 36 675 de Santa Fe y apenas 4950 toneladas de cáscara de Corrientes. Con estos valores se puntuó a cada opción.

Para el transporte, se tuvo en cuenta principalmente la cantidad de rutas principales y su estado. Con estas consideraciones y las anteriores se terminaron de determinar los puntajes, que se pueden ver en la figura 4.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Materia Prima	24	Disponibilidad	16	3	48	5	80	9	144
		Transporte	8	5	40	8	64	7	56
		Subtotal			88		144		200

Figura 4. Puntajes para materia prima (macroubicación).

Puede notarse cómo Entre Ríos sale como la más beneficiada por este factor.

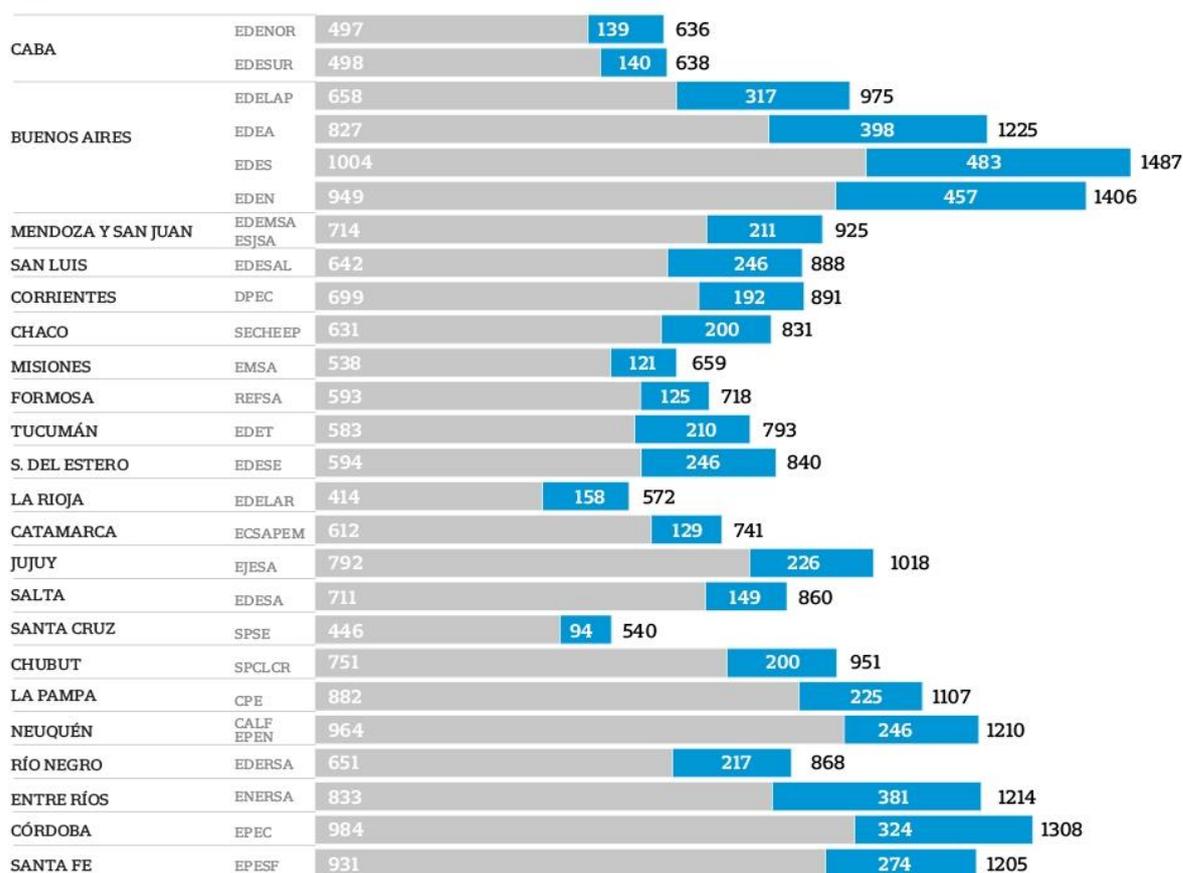
2.4. SERVICIOS.

Para este tema, el segundo en importancia, se han hecho estudios en base a la cantidad y calidad de los servicios ofrecidos, como así también a su costo en cada una de las provincias analizadas. El agua es el más necesitado por el consumo requerido durante el proceso, y es por eso que ha recibido la mayor consideración en puntaje. En cuanto a la electricidad y el gas, ambas formas de energía son importantes, por lo que se les ha calificado igual.

2.4.1. COSTOS.

De las fuentes consultadas, se citan dos gráficas de las más simples y representativas. En la figura 5 se observa un mapa con los costos del servicio eléctrico en colores de la gama del anaranjado. Puede concluirse de él que en Santa Fe se tiene los precios menos favorables, mientras que en Corrientes están los más.

Carga impositiva por provincia, en pesos por mes. Residencial con consumo de 300 kWh/mes



Fuente: Ministerio de Energía y Minería

Figura 6. Comparación precios de la energía por provincias.

Entre las dos figuras anteriores se confirma la misma conclusión, Corrientes resulta la provincia más barata, mientras que Santa Fe y Entre Ríos tienen un costo similar. El puntaje para la primera fue 8, y 6 para cada una de las restantes.

2.4.2. DISPONIBILIDAD ELÉCTRICA.

Para este caso también se incluyen dos figuras, pero esta vez ambas son mapas. En la número 7 puede verse la densidad de potencia eléctrica instalada por zonas, como así también la presencia de centrales térmicas (círculos rojos), hidráulicas (triángulos celestes) y nucleares (círculos violeta), entre otras.

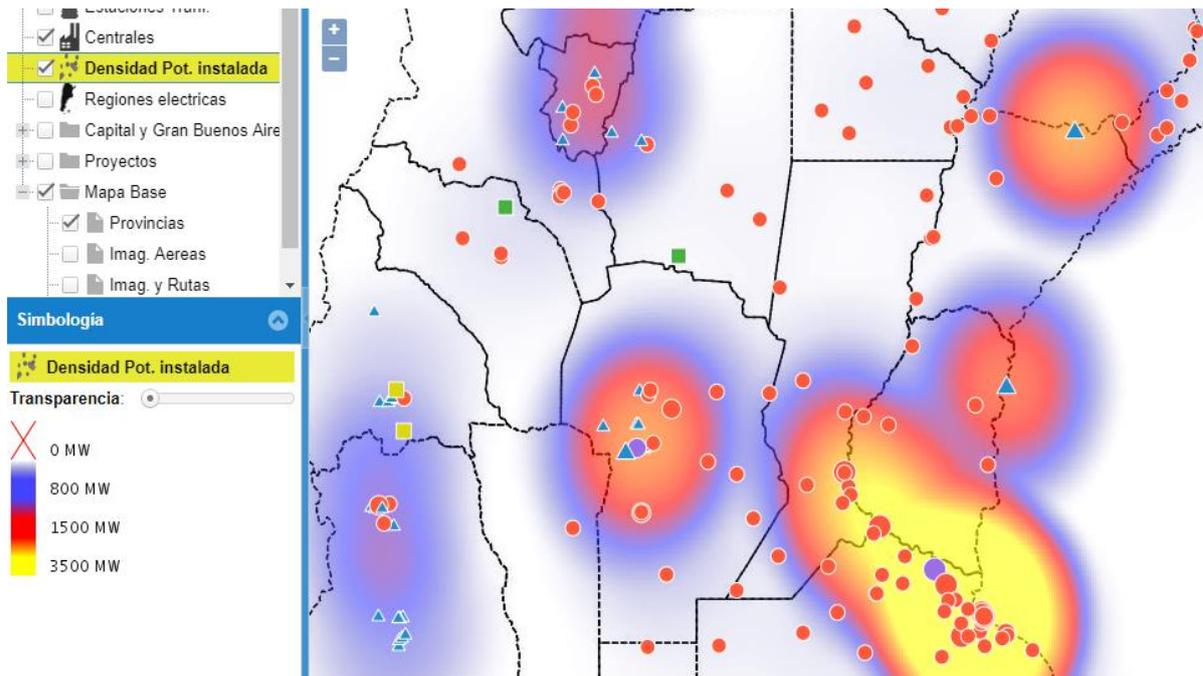


Figura 7. Mapa de densidad de potencia eléctrica instalada.

Para complementar el estudio, en la figura 8 puede apreciarse un mapa con las principales líneas de distribución eléctrica del país, a la vez que aparecen los nombres de algunas de las centrales antes mencionadas.

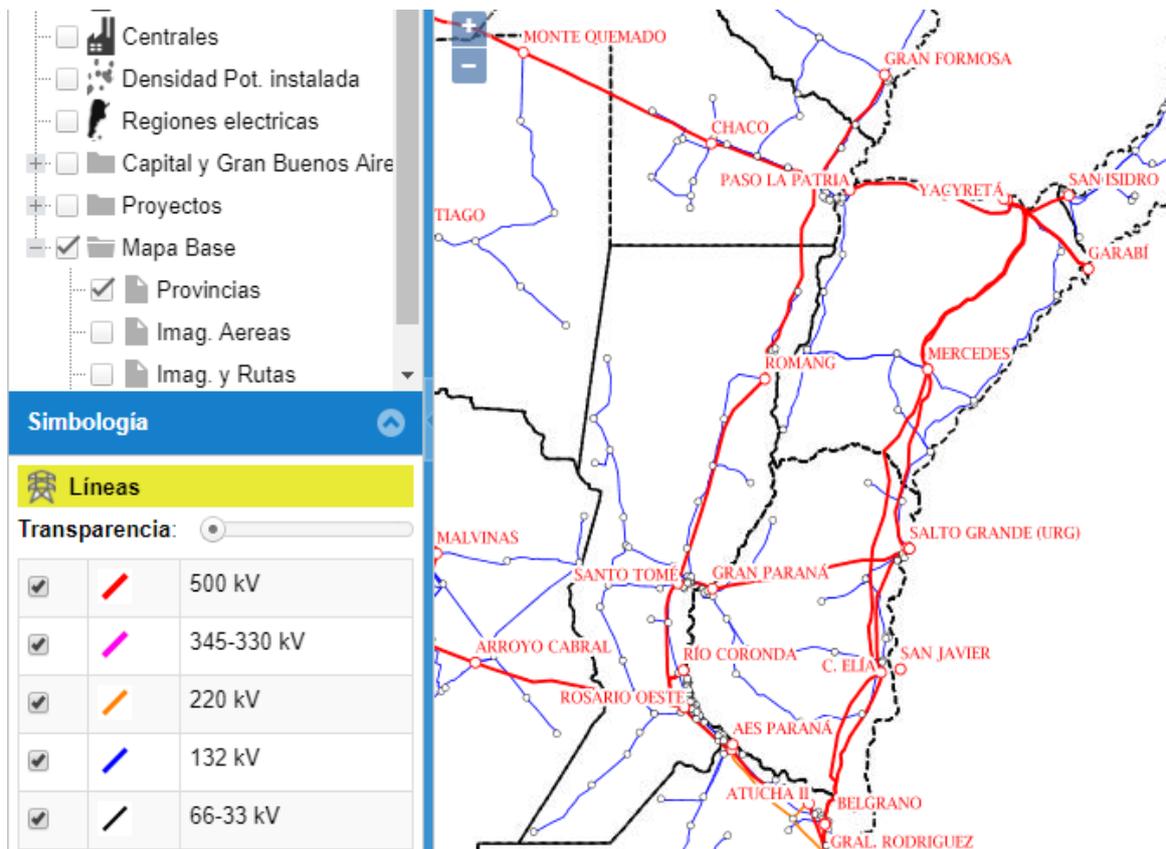


Figura 8. Mapa de líneas de distribución eléctrica en el país.

La conclusión del análisis de ambos mapas es que Entre Ríos es la provincia con mejor disponibilidad. Se le otorgó un 7. A Santa Fe, un 5, y a Corrientes, la menos favorecida, un 4.

2.4.3. DISPONIBILIDAD DE AGUA.

En este caso también se incluye un par de mapas. En el primero (figura 9) se ve los principales cursos de agua superficiales de las tres provincias. En cuanto al agua subterránea, las tres están en zona del Acuífero Guaraní. Claramente Entre Ríos es la de mejor resultado, con un 9. A Corrientes, bastante menos favorecida, se le otorgó un 6, y a Santa Fe, un 7.

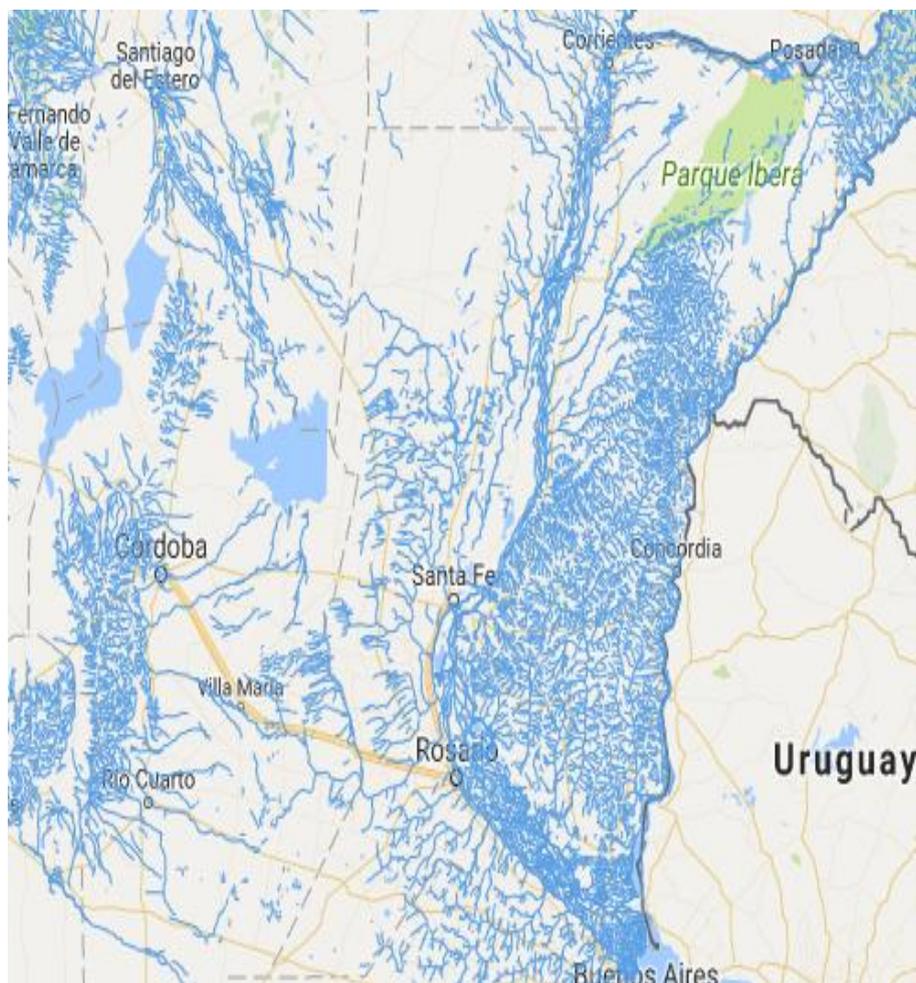


Figura 9. Cursos de agua en el Litoral argentino.

2.4.4. DISPONIBILIDAD DE GAS.

Para el análisis de la disponibilidad de gas, lo que se analizó es un mapa con las cuerdas con gas de línea instalado. El mismo se adjunta como figura 10, y deja ver una ventaja de Santa Fe sobre Entre Ríos, y un panorama muy desfavorable para Corrientes. A la primera se le anotó un 7, 5 a la segunda y 3 a la última.

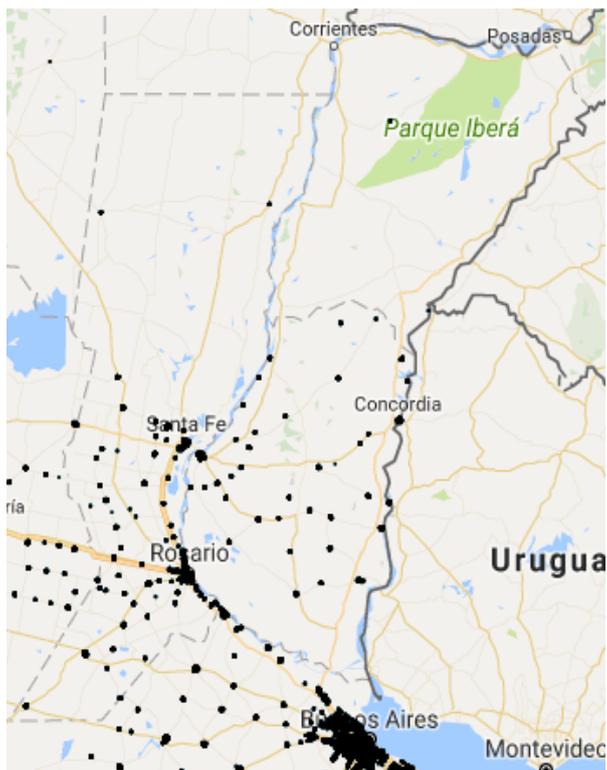


Figura 10. Cuadras con gas de red.

2.4.5. TOTALES.

Tal como se aprecia en la figura 11, que sigue a continuación, Entre Ríos resultó la más favorecida, con 147 puntos. Le sigue Santa Fe, con 126. Corrientes, a pesar de haber sido la de menores costos, quedó última por la disponibilidad, con 116 puntos.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Servicios	21	Costos	4	8	32	6	24	6	24
		Disponibilidad Eléctrica	5	4	20	5	25	7	35
		Disponibilidad Agua	7	7	49	6	42	9	63
		Disponibilidad Gas	5	3	15	7	35	5	25
		Subtotal				116		126	

Figura 11. Puntajes para factor servicios.

2.5. POBLACIÓN.

La mano de obra es fundamental para cualquier planta de procesos químicos. En el caso que se trata ahora, la empresa resulta ser no demasiado grande, por lo que no se requiere demasiado personal, y es por eso que este factor resulta ser el tercero en importancia. Los datos usados para la evaluación de cada caso fueron extraídos de los resultados del Censo Nacional del 2010, que aparecen en la página oficial del INDEC. En la figura 12 pueden verse dichos datos, de manera de ofrecer una fácil comparación.

De los valores se nota cómo Santa Fe tiene mucha más población activa que las otras dos, ambas con valores similares. En cuanto a personas con secundario completo, ésta duplica prácticamente a Entre Ríos y aún más a Corrientes, por lo que se mantiene la ventaja.

Analizando la cantidad de gente que se graduó de la universidad, la diferencia de Santa Fe con las demás es todavía más notoria.

	Entre Ríos	Santa Fe	Corrientes
Población (2010)	1.235.994	2.046.709	992.595
Total pob activa (18-70)	757.792	1.609.601	591.580
Primario completo	231.500	359.292	153.825
Secundario completo	155.581	326.635	116.857
Superior no universitario completo	52.034	112.782	34.474
Universitario completo	39.172	112.059	24.883
Post universitario completo	2.688	4.924	1.614

Figura 12. Datos del Censo Nacional 2010 por provincias.

Para completar los comentarios sobre este factor, se agrega a continuación la figura 13, donde se reflejan los salarios privados medios por provincia, durante el tercer trimestre del 2017.



Figura 13. Salarios privados promedio del tercer trimestre de 2017.

De manera de tener en cuenta la labor social de la empresa, se ha decidido calificar con mayor puntaje a aquellas provincias que mejor pagan a sus empleados. De esta manera, Santa Fe queda primera, seguida por Entre Ríos y luego Corrientes.

Con lo dicho, se otorgaron las puntuaciones, dejando como resultados los valores que se ven en la figura 14.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Población	17	Mano de obra regular	7	6	42	9	63	7	49
		Mano de obra universitaria	4	5	20	9	36	6	24
		Salario promedio	6	6	36	9	54	8	48
		Subtotal			98		153		121

Figura 14. Puntajes para el factor población.

2.6. COMERCIO.

Como el precio de la materia prima se consideró el mismo para cualquiera de las tres provincias, y su transporte hasta la planta se evaluó en el factor materia prima, lo que se incluyó para el presente tema es un análisis sobre las condiciones referidas al producto. Particularmente, la aparente facilidad de distribución del mismo y cercanía a los puntos de venta para su comercialización.

En cuanto a lo primero, se ve en la figura 15 las principales rutas del país. Santa Fe es la que mejor resulta por este ítem, seguida claramente por Entre Ríos, y última Corrientes.

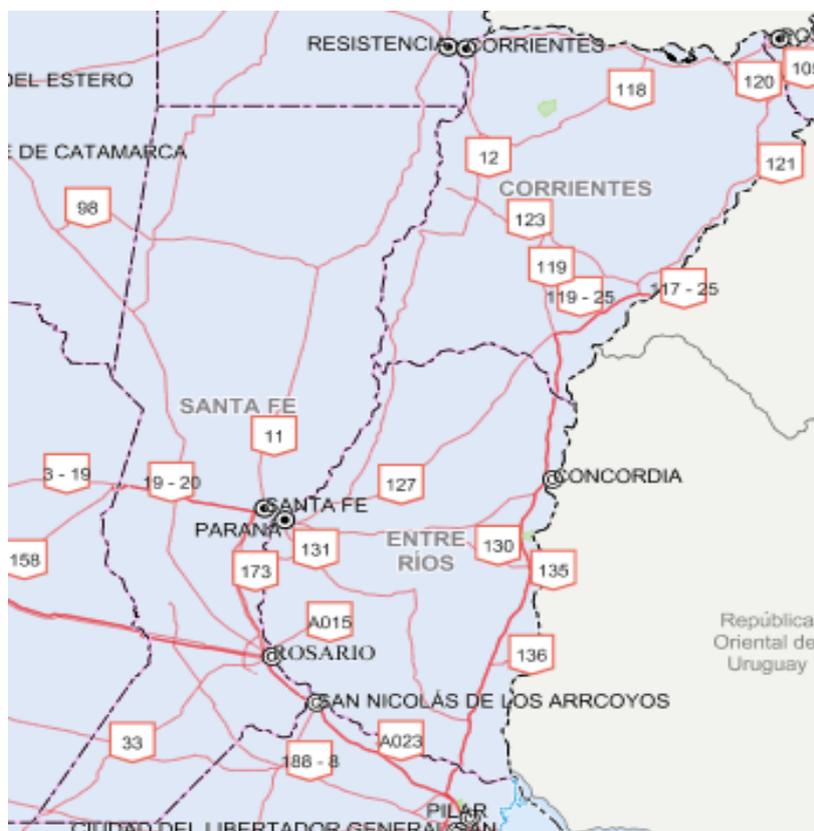


Figura 15. Principales rutas del Litoral argentino.

Para valorar según la cercanía a los puntos de venta, se investigó la cantidad de puertos comerciales, así como también la cercanía aparente a Buenos Aires o Brasil. Se

encontraron seis puertos en Santa Fe, cuatro en Entre Ríos y uno en Corrientes. La cercanía obviamente favorece a la del norte de Capital Federal, aunque la distancia de Corrientes a Brasil también le permitió sumar.

Los resultados del presente factor se detallan en la figura 16, y se ve cómo Entre Ríos resultó también en esto la provincia más beneficiada.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Comercio	15	Transporte producto	7	5	35	9	63	7	49
		Distancia puntos de venta	8	7	56	6	48	9	72
					91		111		121

Figura 16. Puntajes para el factor Comercio.

2.7. CLIMA.

Como se dijo anteriormente, los factores climáticos tienen injerencia sobre todo por cuestiones de facilitar el almacenamiento de materia prima y producto. Además, condiciones extremas perjudicarían también el desarrollo de las operaciones del proceso industrial. En base a esto, se analizó la temperatura y humedad de las provincias, tomando como referencia el archivo histórico de ciudades representativas: Concordia para Entre Ríos y las capitales de Corrientes y Santa Fe.

Los resultados de la investigación, detallados en la figura 17, indican que para las temperaturas, las más cálidas se hallaron en Corrientes, aunque sin mucha diferencia con las demás. En cuanto a la humedad, Santa Fe resultó menos beneficiada que las demás, que no tuvieron entre sí demasiada diferencia.

Provincia	Humedad promedio	Humedad más alta	Temperatura promedio cálido (°C)	Temperatura promedio frío (°C)
Santa Fe	80,50	86% (junio)	31,13	7,50
Corrientes	74,33	83% (junio)	32,33	10,87
Entre Ríos	74,75	80% (junio)	30,80	6,47

Figura 17. Comparación de las condiciones climáticas de las provincias.

Según el análisis expuesto, los resultados en puntajes para el factor clima fueron los que se muestran en la figura 18.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Clima	9	Temperatura	4	5	20	7	28	6	24
		Humedad	5	7	35	4	20	7	35
		Subtotal			55		48		59

Figura 18. Puntajes para el factor clima.

2.8. PARQUES INDUSTRIALES.

La ventaja de instalar la planta en un parque o área industrial en vez de cualquier otra zona es que éstos están pensados para favorecer el desarrollo de las empresas, por lo que suelen incluir tanto beneficios impositivos como legales, además de facilidades para adquirir el terreno donde ubicarse.

Para decidir cuál provincia resulta más beneficiosa en este aspecto, se averiguó la cantidad de parques o áreas industriales en cada una, obteniendo lo siguiente:

- Corrientes tiene tres parques en funcionamiento, cinco en etapa de proceso y una zona de actividades económicas (en Goya).
- Entre Ríos cuenta con seis parques y 19 áreas industriales.

- Santa Fé llega a 29 entre parques y áreas.

Sabiendo estos valores, con la ventaja de Santa Fe, se puntuó a las provincias tal como se observa en la figura 19.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Parques industriales	7	Cantidad	7	3	21	9	63	7	49
		Subtotal				21		63	

Figura 19. Puntajes para el factor parques industriales.

2.9. LEGISLACIÓN.

La importancia de estudiar y comparar los temas legales subyace en el hecho de que cuanto menos permisivo sea el gobierno de una provincia respecto a la cantidad de efluentes que pueden liberarse, y su calidad, representará un mejor cuidado del ambiente y los recursos, cuidando así también de la calidad de vida de la población. Entonces, cuanto más estricto sea cada gobierno respecto a las concentraciones en los vuelcos, mejor puntaje se le dio.

A partir de los datos de las principales leyes sobre desechos permitidos de las tres provincias, se llegó a la tabla de la figura 20, que se diseñó evaluando los posibles tipos de efluentes residuales que la planta del presente proyecto produciría.

Condición	Corrientes	Entre Ríos	Santa Fe
Aceites y grasas	100mg/L	<100 mg/L	<50mg/L
Temperatura	<45°C	<45°C	45°C o 10°C más que la fuente
pH	5,5 a 10	5,5 a 10	8 a 7,5
Fenólicos	0,5mg/L	0,5mg/L	50 ug/fenol

Figura 20. Desechos permitidos por provincia.

Cabe destacar que los valores expuestos corresponden a lo permitido para verter en cursos de agua superficiales. Los puntajes, que se exponen en la figura 21, exponen la ventaja para Santa Fe sobre Corrientes y Entre Ríos, cuyas políticas parecieron ser menos restrictivas.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Legislación	7	Legislación	7	5	35	7	49	5	35
		Subtotal				35		49	

Figura 21. Puntajes para el factor legislación.

2.10. TOTALES DE MACROUBICACIÓN.

La suma de los factores descritos, con los puntajes mostrados para cada una de las tres provincias ofrece como resultado que Entre Ríos es la provincia más conveniente. Tal como se detalla en la tabla final, en la figura 22, consiguió 38 puntos más que Santa Fe y 228 más que Corrientes.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Corrientes	Parcial	Santa Fe	Parcial	Entre Ríos	Parcial
Materia Prima	24	Disponibilidad	16	3	48	5	80	9	144
		Transporte	8	5	40	8	64	7	56
		Subtotal			88		144		200
Servicios	21	Costos	4	8	32	6	24	6	24
		Disponibilidad Eléctrica	5	4	20	5	25	7	35
		Disponibilidad Agua	7	7	49	6	42	9	63
		Disponibilidad Gas	5	3	15	7	35	5	25
		Subtotal			116		126		147
Población	17	Mano de obra regular	7	6	42	9	63	7	49
		Mano de obra universitaria	4	5	20	9	36	6	24
		Salario promedio	6	6	36	9	54	8	48
		Subtotal			98		153		121
Comercio	15	Transporte producto	7	5	35	9	63	7	49
		Distancia puntos de venta	8	7	56	6	48	9	72
		Subtotal			91		111		121
Clima	9	Temperatura	4	5	20	7	28	6	24
		Humedad	5	7	35	4	20	7	35
		Subtotal			55		48		59
Parques industriales	7	Cantidad	7	3	21	9	63	7	49
		Subtotal			21		63		49
Legislación	7	Legislación	7	5	35	7	49	5	35
		Subtotal			35		49		35
Total	100				504		694		732

Figura 22. Tabla final de puntajes para macroubicación.

La mayor ventaja se registró en el primer factor estudiado, la materia prima, donde la gran cantidad de arroz procesado en Entre Ríos le resultó muy beneficiosa.

3. MICROUBICACIÓN.

Ya decidida la provincia, lo siguiente fue analizar en qué localidad de la misma resultaría más conveniente poner la planta. Para ello, se averiguó primeramente cuáles molinos registran la mayor elaboración arrocera de cada lugar.

3.1. CIUDADES.

A partir de la producción y el rendimiento estimados para la planta, se concluyó una necesidad de aproximadamente 54,5 toneladas de cáscara de arroz por día, considerando 280 días hábiles.

En base a este resultado, cuatro molinos fueron tenidos en cuenta como capaces de ofrecer una cantidad que supere la demanda:

- Pilagá S.R.L., perteneciente al grupo Adecoagro, en San Salvador, con producción estimada de 79,55 tn cáscara por día.
- Molinos Libres, de Glencore, en Chajarí, que puede ofrecer cerca de 74,25 tn cáscara por día.
- Cooperativa de Arroceros de Villa Elisa, de esa ciudad, con cerca de 68,95 tn de cáscara al día.

- Molinos Río de la Plata, que se estima que genera cerca de 57,86 tn de cáscara por día. Se ubica en Concepción del Uruguay.

Cabe destacar que para los cálculos se utilizó el dato aproximado de 22,5% de cáscara por kilogramo de arroz procesado.

Los datos de las tres primeras ciudades se consiguieron mediante un informe de la Confederación Intercooperativa Agropecuaria Limitada (Coninagro), mientras que para la última fue necesaria una estimación. La planta de Molinos Río de la Plata fue instalada con la idea de llegar a 321,43 toneladas de arroz por día, lo que representaría cerca de 72,32 toneladas de cáscara. Ahora bien, suponiendo un caso no beneficioso, que sería que la planta opere al 80% de su capacidad, el número es 57,86 toneladas. Todavía podría ser útil. Además, esta condición desfavorable es bastante poco probable, ya que la empresa domina prácticamente un tercio del mercado del arroz, y las instalaciones de Concepción del Uruguay fueron desarrolladas para abaratar el traslado a puerto para exportar, por lo que también produce para el mercado externo. Por todo esto, se toma también como válida la opción de Molinos Río de la Plata.

3.2. MATRIZ DE MICROUBICACIÓN.

El diseño de esta matriz, al igual que el de la anterior, se basó en los factores considerados como más influyentes, cada uno con un peso asignado en puntaje y subdividido en otros ítems. En sí, los temas son prácticamente los mismos que para la macroubicación, pero el orden varió por cambiar la importancia de alguno en cuanto a la comparación de las ciudades, de las diferencias que puedan existir entre ellas, no respecto a la importancia real de cada factor para el desarrollo de la planta. El listado de cada uno de ellos, justificando sus puntos, se detalla a continuación.

- Materia prima: 24 puntos. Nuevamente, resulta el tema preponderante. En este caso se analizó su disponibilidad según la producción de los molinos, antes mencionada, y el transporte que debería efectuarse para llevar la cáscara de arroz hasta la planta. Para el primer sub ítem se asignaron 16 puntos, y 8 para el segundo.
- Población: 19 puntos. En este caso este factor resulta de mayor peso que para la macroubicación, y la división cambió a mano de obra activa regular (8 puntos), y distancia de personal a planta (11 puntos).
- Comercio: 17 puntos. La importancia de poder vender el producto fácil y en cantidad sigue siendo la misma, pero ante la necesidad de hacer un análisis más minucioso, las cantidades otorgadas han variado. Ahora, 8 puntos se destinaron al transporte del mismo y 9 a la distancia a los lugares de venta.
- Servicios: 12 puntos. El grado de significancia de la disponibilidad de servicios para la planta sigue siendo la misma, pero ciertas consideraciones como los costos o la cantidad de agua se supusieron prácticamente iguales para las cuatro ciudades, por lo que el puntaje varió. Ahora, 5 puntos se refieren a la disponibilidad de energía eléctrica y 7 a la de gas.
- Parques industriales: 11 puntos. Todo el peso de este tema se asignó a la presencia y cercanía de los parques o áreas industriales al molino arrocerero. De

haber un parque industrial, por tener más beneficios, recibirá una cantidad de puntos mayor que un área.

- Clima: 9 puntos. Nuevamente, 4 puntos para la temperatura y 5 para la humedad. Las razones y tipo de estudio son los mismos que para la macroubicación.
- Legislación: 8 puntos. Sin subdivisiones, para este factor se consideró como de mayor valor la presencia de un parque industrial, por los beneficios que suele incluir, y como término medio la existencia de un área.

3.3. MATERIA PRIMA.

Para este tema, el de mayor peso, se analizó la cantidad disponible y facilidad de traslado.

En cuanto a la cantidad, los valores se mencionaron en la introducción de la microubicación: 79,55 tn de cáscara en San Salvador, 74, 25 tn en Chajarí, 68,95 tn en Villa Elisa y 57,86 tn en Concepción del Uruguay. Obviamente, el orden de los puntajes fue el mismo que el de la cantidad producida.

El transporte se estudió a partir de los mapas de las zonas, verificando los posibles lugares de instalación de la planta. En la figura 23, se puede ver el mapa del sector de Villa Elisa. Encerrada en un óvalo celeste está el sitio donde estaría la fábrica, y en amarillo la ubicación del molino. La distancia, calculada mediante Google Maps, es de cerca de 4,5km.



Figura 23. Distancia de planta a molino en Villa Elisa.

La distancia en Chajarí se aprecia en la figura 24. Según el sitio de Internet, la distancia es de un kilómetro. Nuevamente, el parque industrial se ve encerrado en un óvalo celeste, mientras que el molino en uno amarillento.

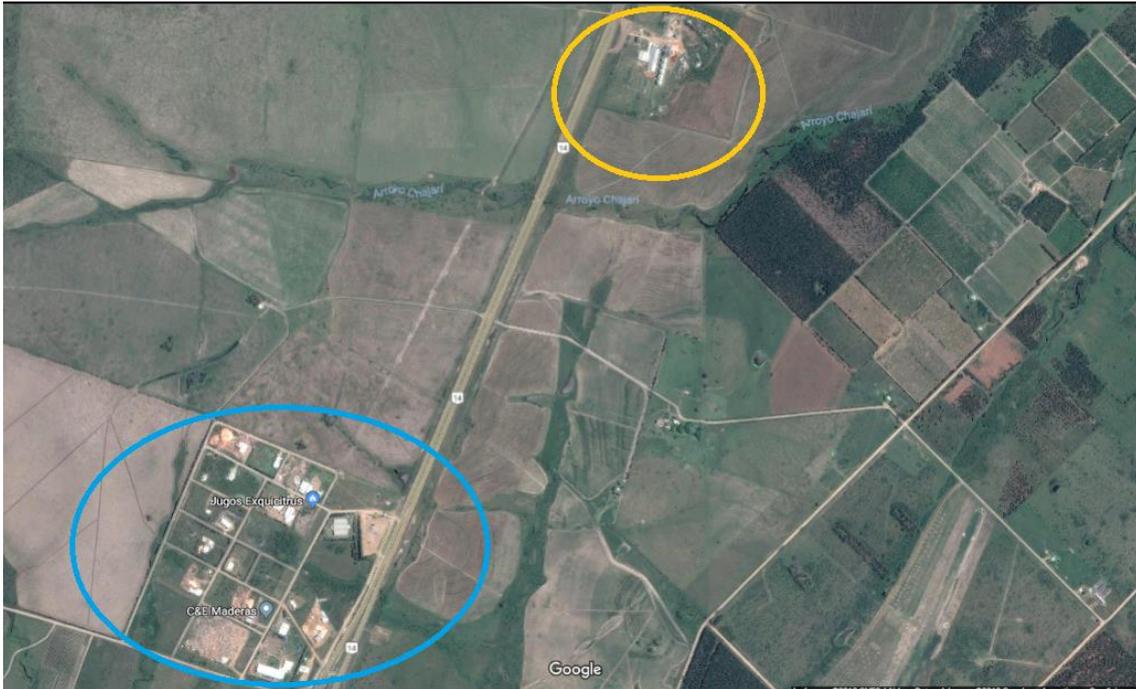


Figura 24. Distancia de planta a molino en Chajarí.

Las figuras 25 y 26 muestran la zona de ubicación en San Salvador y Concepción del Uruguay, respectivamente, ambos en un círculo celeste. Para estos dos casos la distancia se supone nula, ya que existe la posibilidad de instalarse al lado del molino, abaratando enormemente los costos de traslado.



Figura 25. Distancia de planta a molino en San Salvador.

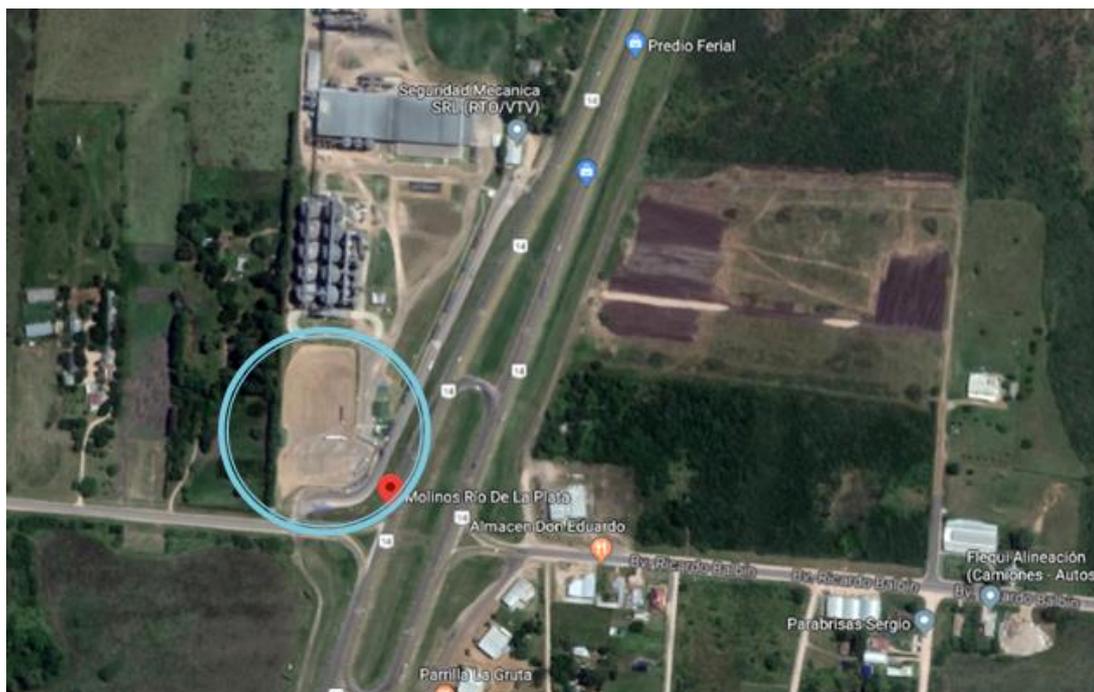


Figura 26. Distancia de planta a molino en Concepción del Uruguay.

Naturalmente, estas dos últimas localizaciones sacan la mayor ventaja para el sub ítem de transporte, mientras que Chajarí y San Salvador salen beneficiadas por la cantidad de materia prima disponible. Los totales, observables en la figura 27, muestran una ventaja de San Salvador por sobre el resto.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Materia Prima	24	Disponibilidad	16	9	144	8	128	9	144	7	112
		Transporte	8	7	56	4	32	9	72	9	72
		Subtotal			200		160		216		184

Figura 27. Totales para materia prima en microubicación.

3.4. POBLACIÓN.

A diferencia de lo analizado para este factor en la macroubicación, ahora no se tuvo en cuenta la mano de obra universitaria, ya que en los datos del Censo Nacional 2010 no se los menciona. Tampoco se valoró los costos de los recursos humanos en este caso ya que el salario privado promedio suele informarse por provincia o área industrial, pero no por localidad. Comparar el factor para microubicación carecería de trascendencia.

Los datos se obtuvieron a partir de la información del Censo Nacional 2010. El INDEC no informa los valores para cada localidad, por lo que se incluyen los registrados para los departamentos que las incluyen. Los totales para la población activa (de 15 a 69 años) se muestran en la figura 28.

Población total			
San Salvador		Hombres	Mujeres
Total activo	9.727	4.918	4.809
Chajarí (Federación)		Hombres	Mujeres
Total activo	39.980	20.329	19.651
Concepción (Dep. Uruguay)		Hombres	Mujeres
Total activo	59.403	29.571	29.832
Villa Elisa (Dep. Colón)		Hombres	Mujeres
Total activo	36.715	18.530	18.185

Figura 28. Población activa por ciudades.

Concepción del Uruguay cuenta con la mayor cantidad de población, seguida por Chajarí y Villa Elisa, cuyos departamentos presentan cantidades similares. San Salvador tiene los menores valores.

La distancia de los trabajadores a la planta se midió mediante Google Maps, y los resultados se exponen a continuación. El centro de aglomeración de la mano de obra se consideró en las municipalidades de cada localidad.

El primer mapa, el de la figura 29, muestra la distancia de la Municipalidad de San Salvador a la hipotética zona de instalación de la planta. El total es de aproximadamente 3,35km, siendo la ciudad más favorecida.

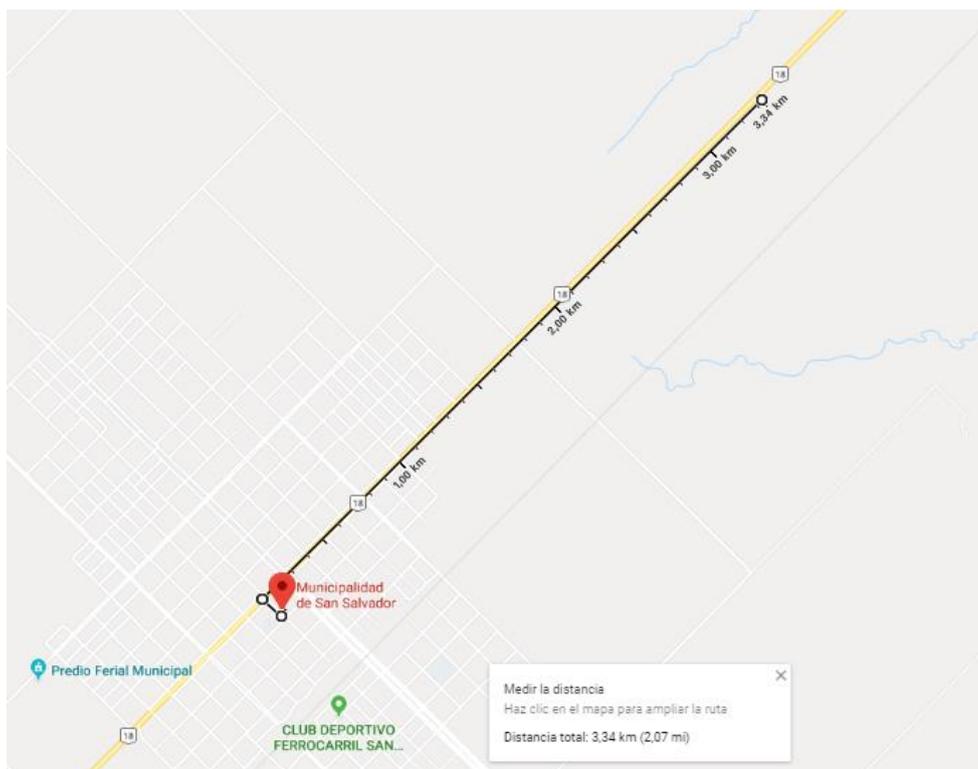


Figura 29. Distancia de mano de obra a planta, en San Salvador.

La segunda localidad con menor distancia es Villa Elisa. Se observa en la figura 30 que la lejanía de los empleados es de cerca de 4,6km.

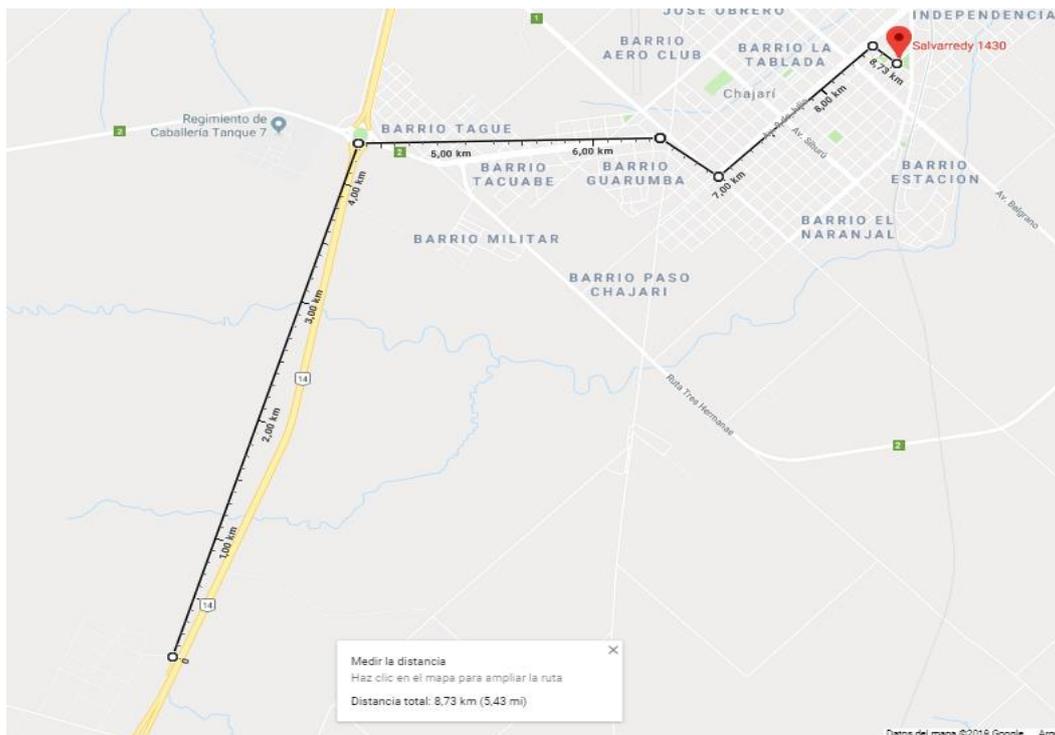


Figura 32. Distancia de mano de obra a planta en Chajarí.

Los totales, que se visualizan en la figura 33, muestran cómo la ventaja que San Salvador logra por la cercanía de la mano de obra se diluye por los valores ampliamente desfavorables de cantidad de población. Finalmente, Concepción del Uruguay resulta la ciudad más favorecida.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Población	19	Mano de obra regular	8	6	48	5	40	2	16	9	72
		Distancia a planta	11	3	33	7	77	9	99	4	44
		Subtotal			81		117		115		116

Figura 33. Totales para población, en microubicación.

3.5. COMERCIO.

Para evaluar este factor, lo estudiado fue la distancia a los puntos de venta, medida básicamente como la distancia a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y la facilidad de transporte de los productos, evaluada según la distancia de cada zona a cada uno de los puertos comerciales de Entre Ríos. Éstos son el de La Paz, al noroeste de la provincia, Ibicuy, al sur, Diamante, al sur de Paraná, y Concepción del Uruguay.

Tal como se ve en la figura 34, la ciudad más beneficiada, tanto por cercanía a Capital Federal como a un puerto comercial, es, por amplio margen, Concepción del Uruguay. En el mapa, las ciudades en consideración se hallan encerradas en un óvalo celeste, y los puertos por uno amarillo.

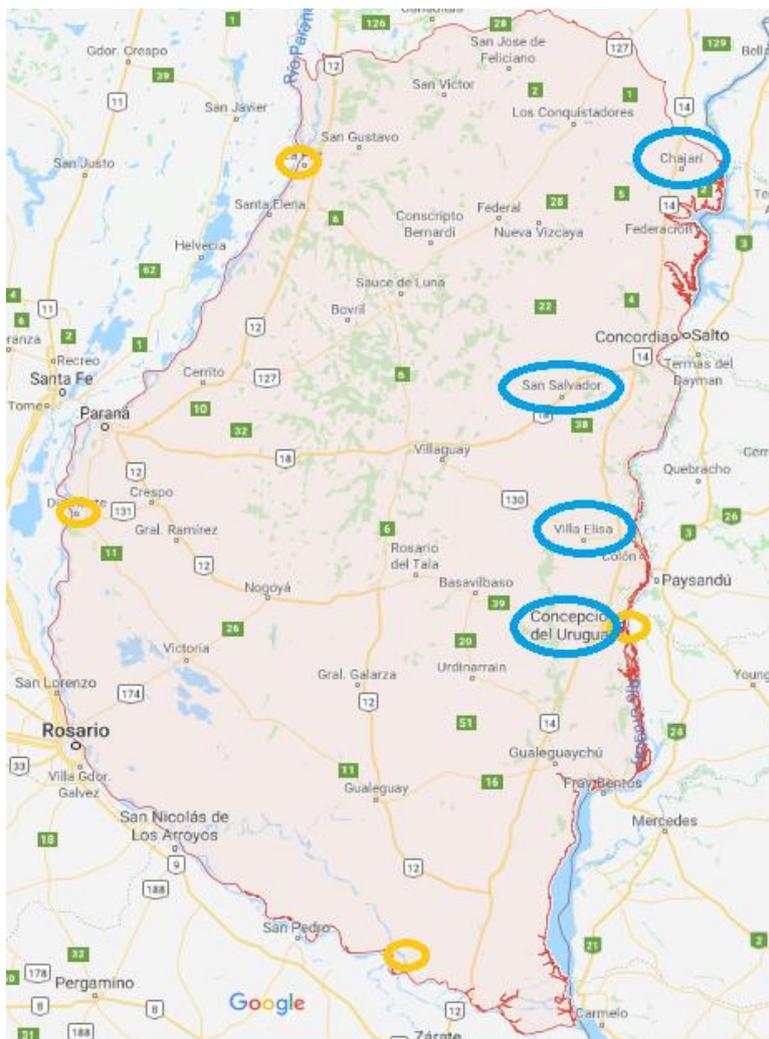


Figura 34. Mapa de Entre Ríos con puertos remarcados.

Por lo mencionado, y lo visible en el mapa, se ha decidido otorgar un 9 a Concepción en materia de transporte del producto y 8 por la distancia a los puntos de venta. Por lo tanto, esta ciudad resultó la más beneficiada. Como se ve en la tabla de la figura 35, le siguen Villa Elisa y San Salvador en los totales, mientras que Chajarí fue la menos favorecida en este factor.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Comercio	17	Transporte producto	8	4	32	8	64	6	48	9	72
		Distancia puntos de venta	9	4	36	7	63	6	54	8	72
					68		127		102		144

Figura 35. Totales para comercio, en microubicación.

3.6. SERVICIOS.

Al informarse respecto de este tema, se ha visualizado una razonable paridad en cuanto a los costos y disponibilidad de agua para toda la provincia entrerriana en general, por lo que se ha obviado el análisis de estos dos sub ítems incluidos en la matriz de macroubicación, estimando que no existirían demasiadas diferencias entre las ciudades. Sí se ha estudiado la disponibilidad de energía eléctrica y de gas.

3.6.1. DISPONIBILIDAD ELÉCTRICA.

Para este sub ítem, se han recopilado imágenes de las ciudades con el tendido eléctrico existente. En ellos, las líneas de media tensión (13,2kV) se ven en color rojo, mientras que las de alta (33kV), en verde. En la primer figura (la 36) se observa el mapa de Villa Elisa, con el área de instalación de la planta encerrado en un círculo azulado.

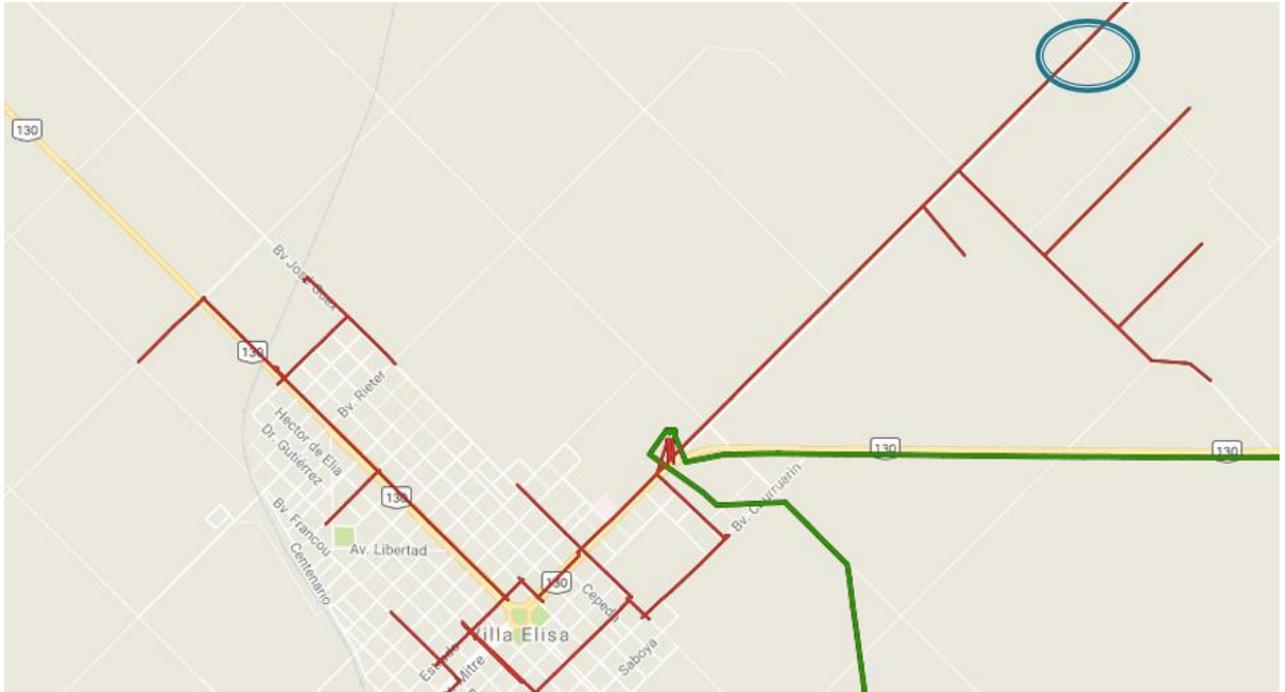


Figura 36. Mapa de Villa Elisa con su red de abastecimiento eléctrico.

Lo más conveniente resultaría tener acceso a una red de media, porque es más fácil adaptarla al uso en la planta. Si se tuviera solo de alta, el costo en transformadores para recibir a una tensión de trabajo sería seguramente mayor.

En la figura 37, se ve que en Chajarí también se dispone de una línea de media tensión atravesando el parque industrial de instalación. Nuevamente se observa en un círculo azulado el lugar donde estaría la planta.

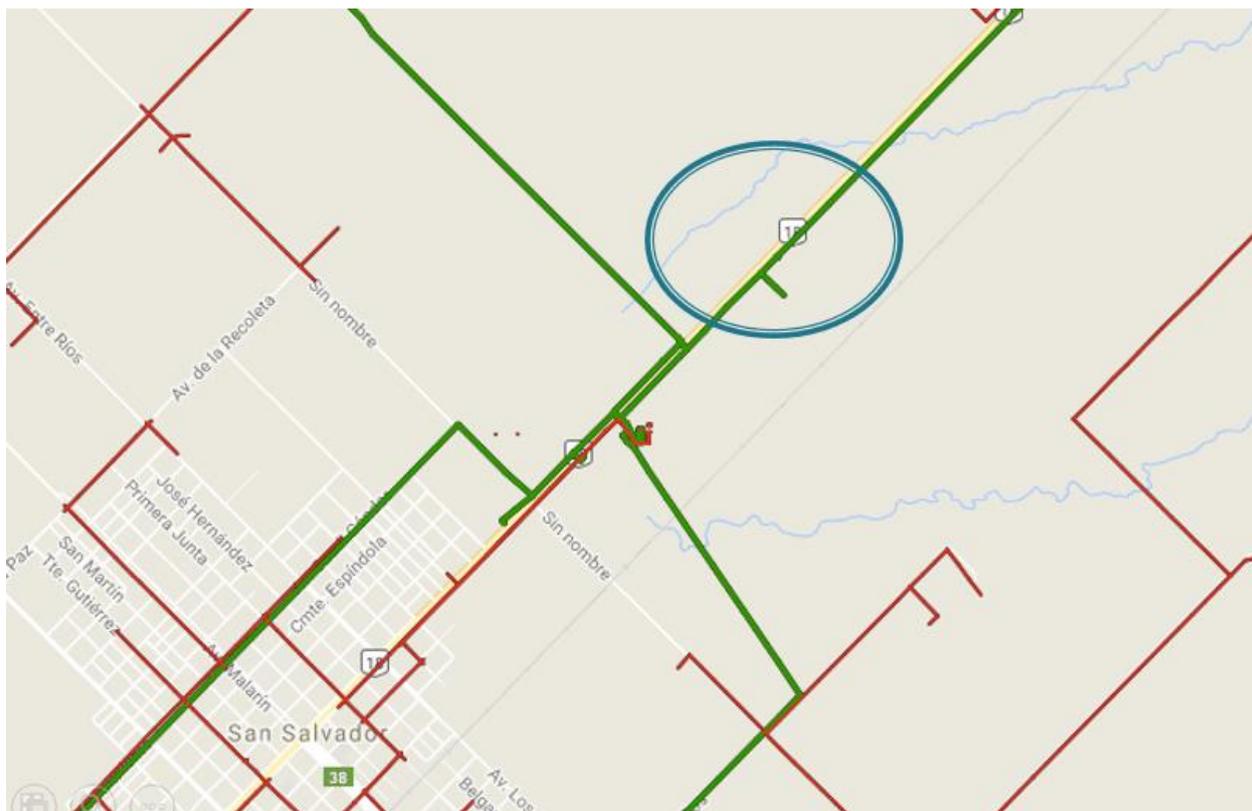


Figura 39. Mapa de San Salvador con su red de abastecimiento eléctrico.

3.6.2. DISPONIBILIDAD DE GAS.

Para esta parte del estudio de los servicios, se decidió puntuar con 9 a los parques industriales que informan tener abastecimiento del recurso, que son el de Chajarí y Concepción del Uruguay. El área industrial de Villa Elisa y San Salvador reciben ambos un 4 por no tener red de gas.

3.6.3. TOTALES.

Concepción del Uruguay y Chajarí consiguieron los mejores valoraciones, por tener buena disponibilidad tanto de energía eléctrica como de gas. Villa Elisa tuvo buen puntaje para el primero pero decayó en el segundo, y San Salvador fue el de peor puntuación en ambos sub ítems. Los resultados se observan en la tabla de la figura 40.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Servicios	12	Disponibilidad Eléctrica	5	8	40	8	40	4	20	8	40
		Disponibilidad Gas	7	9	63	4	28	4	28	9	63
		Subtotal			103		68		48		103

Figura 40. Totales para el factor servicios, en microubicación.

3.7. PARQUES INDUSTRIALES.

En este caso analizado fue la presencia o no de un parque en la zona a instalarse, y la cercanía del mismo al molino de donde se obtiene la cáscara de arroz. De haber uno, los beneficios fiscales e impositivos facilitan el emplazamiento y posterior funcionamiento de la planta, resultando más conveniente que ubicarse en otro lugar. Un

área industrial es un arreglo similar al parque, pero con menos beneficios y facilidades, careciendo por ejemplo de un sistema de servicios comunes a todas las empresas.

Como en Chajarí y Concepción del Uruguay hay parques, en Villa Elisa, área industrial, y en San Salvador ninguno de los dos, se decidieron los puntajes tal como se los ve en la figura 41. En concepción el molino está dentro del parque, pero en Chajarí está a 1km.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Parques industriales	11	Presencia y cercanía	11	8	88	5	55	1	11	10	110
		Subtotal			88		55		11		110

Figura 41. Totales para el factor parques industriales, en microubicación.

3.8. CLIMA.

Tal como se explicó para la macroubicación, la humedad y temperaturas excesivas resultan perjudiciales para el correcto funcionamiento del proceso y el almacenamiento del producto, por lo que conviene evitarlos.

Para evaluar cada zona, se verificaron las medias mensuales de temperaturas para todas en los últimos diez años, con lo que se obtuvo un promedio anual. En cuanto a las precipitaciones, se sumó cada promedio mensual (hechos considerando los milímetros de agua caídos en la última década). Como se ve en la tabla de la figura 42, se registró también la diferencia máxima entre los promedios mensuales más extremos y la media final, de manera de saber qué tanto pueden alejarse los datos de la misma para los meses más cálidos o fríos.

	Anual		Diferencia extremos	
	Temperatura media	Promedio de precip.	Dif. Temp.	Dif. Precip.
Chajarí	19,2	1276mm	13,1	91mm
Villa Elisa	26,7	857mm	4,4	74mm
San Salvador	23,5	1833mm	2,6	345mm
Concepción	18,3	1122mm	13,6	73mm

Figura 42. Datos climatológicos de las cuatro ciudades.

Como se ve, sobre todo por una cuestión de amplitudes, Villa Elisa y San Salvador resultan las más convenientes por temperatura. En cuanto a las lluvias, Villa Elisa es nuevamente la de mejores resultados, seguida por Concepción y Chajarí. San Salvador resultó la más húmeda. Los resultados se ven en la tabla de la figura 43.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Clima	9	Temperatura	4	6	24	8	32	9	36	5	20
		Humedad	5	6	30	9	45	4	20	7	35
		Subtotal			54		77		56		55

Figura 43. Totales para el factor clima, en microubicación.

3.9. LEGISLACIÓN.

Como las normativas provinciales sobre efluentes rigen para las cuatro ciudades, lo evaluado para este caso es si existen o no las facilidades legales que conllevan los parques industriales, o, en menor medida, las áreas. Por lo tanto, los resultados que se ven en la figura 44 se relacionan directamente con la presencia o no de parques o áreas.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Legislación	8	Legislación	8	10	80	7	56	4	32	10	80
		Subtotal			80	56	32	80			

Figura 44. Totales para el factor legislación, en microubicación.

3.10. TOTALES.

Para concluir la microubicación se realizó la suma de los factores antes descriptos, que llevó a la tabla de la figura 45. Concepción del Uruguay resultó ser la más beneficiada, con 792 puntos. Chajarí, con 674 y Villa Elisa, con 660 la escoltan. San Salvador resultó la peor opción, con un total de 580 puntos. Las diferencias a favor de la elegida fueron de 118 y 132 con las primeras escoltas y de 212 con la última ciudad.

Es notorio que no haya resultado elegida la zona con mejor puntaje en el elemento de mayor peso, la materia prima, pero para el resto de los temas de importancia se visualiza cómo Concepción del Uruguay fue resultando cada vez más conveniente.

La mayor diferencia se registró para el factor parques industriales, y luego para el comercio.

Factor	Puntos	Subítem	Subpuntos	Chajarí	Parcial	Villa Elisa	Parcial	San Salvador	Parcial	Concepción	Parcial
Materia Prima	24	Disponibilidad	16	9	144	8	128	9	144	7	112
		Transporte	8	7	56	4	32	9	72	9	72
		Subtotal			200	160	216	184			
Población	19	Mano de obra regular	8	6	48	5	40	2	16	9	72
		Distancia a planta	11	3	33	7	77	9	99	4	44
		Subtotal			81	117	115	116			
Comercio	17	Transporte producto	8	4	32	8	64	6	48	9	72
		Distancia puntos de venta	9	4	36	7	63	6	54	8	72
		Subtotal			68	127	102	144			
Servicios	12	Disponibilidad Eléctrica	5	8	40	8	40	4	20	8	40
		Disponibilidad Gas	7	9	63	4	28	4	28	9	63
		Subtotal			103	68	48	103			
Parques industriales	11	Presencia y cercanía	11	8	88	5	55	1	11	10	110
		Subtotal			88	55	11	110			
Clima	9	Temperatura	4	6	24	8	32	9	36	5	20
		Humedad	5	6	30	9	45	4	20	7	35
		Subtotal			54	77	56	55			
Legislación	8	Legislación	8	10	80	7	56	4	32	10	80
		Subtotal			80	56	32	80			
Total	100				674	660	580	792			

Figura 45. Tabla de puntajes para microubicación.

4. CONCLUSIONES.

La ubicación a instalarse es el Parque Industrial de Concepción del Uruguay, en la ciudad homónima, Provincia de Entre Ríos. El lugar concreto, tal como se ve en la imagen satelital de la figura 46, es en las cercanías de la empresa Molinos Río de la Plata (dentro del círculo celeste). Se trata de un sitio conveniente no solo por la presencia del molino, sino también por estar junto a la Ruta Nacional 14, que une los polos industriales de Buenos Aires y San Pablo, y junto al Boulevard Ricardo Balbín, el principal acceso a la ciudad, y por lo tanto una vía rápida para llegar al puerto.

El parque cuenta con provisión de agua mediante perforación, gas natural con presión de 4 kgf/cm², y disponibilidad de líneas telefónicas gracias a un anillo de fibra óptica interurbano. Hay líneas de energía eléctrica de 133kV, 33kV y 13,2kV, con una regularidad confiable dado que la de 132kV se alimenta directamente del anillo del Sistema Interconectado Argentino-Uruguayo de 500kV, originado en Salto Grande. También existe una cisterna móvil de 7000 L con motobomba de 10000 L/h, en caso de incendios.

El terreno se entrega con 10 años de exención impositiva municipal, pudiendo extenderse el plazo a 20 años. Además, puede lograrse del 30% al 100% de reducciones en los impuestos inmobiliario, de ingresos brutos y automotores.

Se ha comprobado que la zona no corre gran peligro de inundación, estando a más de 20m de altura desde el nivel del mar, y que el agua del lugar es potable.

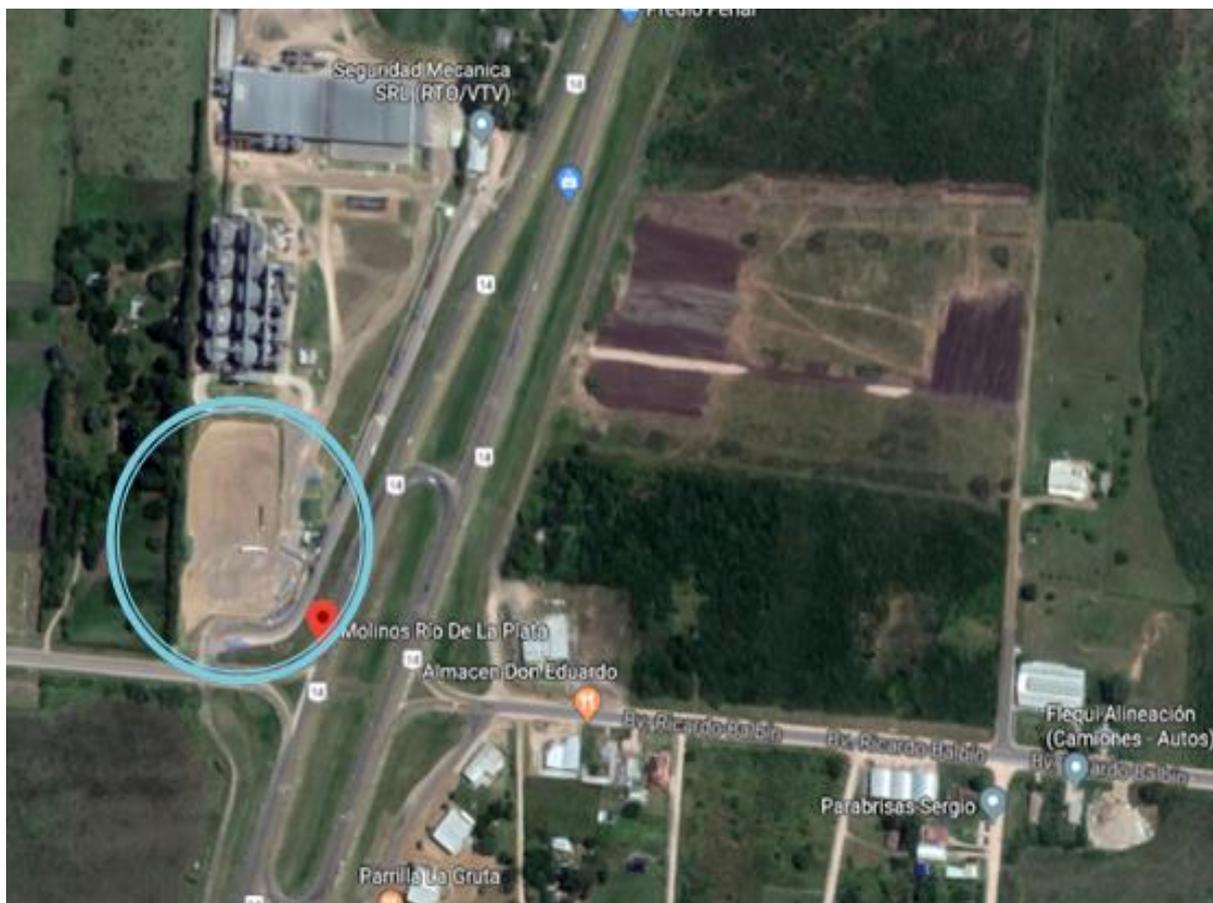


Figura 46. Ubicación de la planta de producción de furfural.

5. BIBLIOGRAFÍA

Informe de cadena de valor del arroz, Ministerio de Hacienda de la Nación. Página web:

https://www.economia.gob.ar/peconomica/docs/SSPMicro_Cadenas_de_valor_Arroz.pdf [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Informe del mercado del arroz, Ministerio de Agroindustria. Página web:

<https://www.agroindustria.gob.ar/new/0-0/programas/dma/granos/Perfil%20de%20Mercado%20de%20Arroz%202017.pdf> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Visor SADI, mapa online sobre la Red Eléctrica Argentina. Página web:

<https://aplic.cammesa.com/geosadi/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Mapas del Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Página web:

<https://sig.se.gob.ar/geoportal/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Mapa topográfico de Argentina. Página web:

<http://es-ar.topographic-map.com/places/Argentina-970094/> [Fecha de consulta: 04/10/2018]

Entre Ríos Total, sitio con información sobre la provincia, sobre la disponibilidad eléctrica. Página web:

<http://www.entreriostotal.com.ar/infraestructura/electricidad/distribucion.htm> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Entre Ríos Total, sitio con información sobre la provincia, sobre el Parque Industrial del Concepción del Uruguay. Página web:

<http://www.entreriostotal.com.ar/industria/parques/parque-industrial-uruguay.htm> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Entre Ríos Turismo, sitio para fomento de la actividad en la provincia. Página web:

<https://www.entrieriosturismo.com.ar/clima-temperaturas.php> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Diario La Nación. Página web:

<https://www.lanacion.com.ar/2128540-cuales-son-las-provincias-que-mas-impuestos-cobran-en-las-boletas-de-luz-y-gas> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Chequedo.com, sitio periodístico sobre política. Página web:

<http://chequedo.com/el-explicador/el-mapa-de-las-tarifas-electricas-en-el-pais/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Análisis digital, sitio periodístico sobre Entre Ríos y Santa Fe. Página web:

<http:// analisisdigital.com.ar/noticias.php?ed=1&di=0&no=152171> [Fecha de consulta: 04/10/2018]

INDEC, datos del Censo Nacional del 2010. Página web:

https://www.indec.gob.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135 [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Weather-arg, sitio con datos climatológicos de zonas del país. Página web:

<https://www.weather-arg.com/es/argentina/santa-fe-clima> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Climate-data, otra fuente de datos sobre el clima. Página web:

<https://es.climate-data.org/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Google Maps. Página web:

<https://maps.google.com/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Sitio oficial del Gobierno de Entre Ríos, sobre sus puertos. Página web:

<https://www.entrerios.gov.ar/portuario/index.php?codigo=1&codsubmenu=55&menu=menu&modulo=> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Sitio oficial del Gobierno de Entre Ríos, sobre sus parques industriales. Página web:

<https://www.entrerios.gov.ar/industria/index.php?codigo=20&codsubmenu=83&menu=menu&modulo=> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Sitio oficial del Gobierno de Entre Ríos, sobre los parques y áreas industriales en general. Página web:

http://www.entrerios.gov.ar/minpro/userfiles/file/INDUSTRIAS%20Y%20PYMES/PARQUES%20INDUSTRIALES%20%28Definicion%29/DEFINICIN_2.pdf [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Asociación para el Desarrollo de Villa Elisa. Página web:

<https://adesarrollo.com.ar/areas/barrio-industrial/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Dirección de Producción de la Municipalidad de Concepción del Uruguay. Página web:

<https://dirproduccioncdelu.wordpress.com/parque-industrial-2/> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Impulso Negocios, sitio de información económica. Página web:

http://www.impulsonegocios.com/contenidos/2011/08/29/Editorial_15157.php [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Normasambientales.com. Página web:

<http://normasambientales.com/index.php> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Estrucplan, consultora ambiental, sobre la legislación correntina referida a cuestiones ambientales. Página web:

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2954> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Resolución 687 de Corrientes. Página web:

http://www.icaa.gov.ar/Documentos/Ges_Ambiental/res687_13.pdf [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Gobierno de Entre Ríos, resolución nº 6260. Página web:

https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/d_gestion_ambiental/legislacion/provincial/_archivos//000002-Aves%20y%20Porcinos/000008-Entre%20R%C3%ADos/006260-Ley_6260%20industrias%20+%20dec%20reglamentario%205837-91.pdf [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Gobierno de Santa Fé, resolución nº 1089, de 1982. Página web:

https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/d_gestion_ambiental/legislacion/provincial/_archivos//000002-Aves%20y%20Porcinos/000008-Entre%20R%C3%ADos/006260-Ley_6260%20industrias%20+%20dec%20reglamentario%205837-91.pdf [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Elentreríos, sitio periodístico provincial, sobre los salarios privados a nivel país. Página web:

<https://www.elentrerios.com/actualidad/ranking-de-salarios-aen-qua-lugar-esta-entre-raos.htm> [Fecha de consulta: 24/09/2018]

Enciclopedia de Ciencias y Tecnologías en Argentina, sobre los puertos del país. Página web:

https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Puertos_comerciales_de_Argentina [Fecha de consulta: 24/09/2018]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 4: Laboratorio

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	2
2. MATERIALES EMPLEADOS	2
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	2
3.1 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	2
3.2 PROCEDIMIENTO	5
3.3 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO.....	7
3.3.1 PREPARACIÓN DEL REACTIVO DE TOLLENS	7
3.3.2 REACCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DEL FURFURAL	7
4. CONCLUSIONES.....	9

1. RESUMEN

Se investigó la síntesis del furfural a partir de las pentosanas presentes en la cáscara de arroz, fuente de materia prima para el desarrollo del presente proyecto de diseño de planta. Se realizó la reacción de hidrólisis ácida en laboratorio, teniendo en cuenta la diferencia de condiciones (ausencia de vapor de alta presión y de un tren separador apropiado) con el fin de lograr la síntesis del compuesto, y su posterior reacción de identificación.

2. MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales y equipos empleados en este ensayo fueron los siguientes:

- ✓ Molinillo de café
- ✓ Balón de destilación
- ✓ Mechero Bunsen
- ✓ Vaso de precipitados de 500 mL
- ✓ Tubos de ensayo
- ✓ Soporte universal
- ✓ Equipo de reflujo
- ✓ Ampolla de decantación
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Probeta de 25 mL
- ✓ Tamiz Zonytest malla N°20 A.S.T.M
- ✓ Colector tamiz Zonytest
- ✓ Nuez de laboratorio
- ✓ Tapón con tubo de desprendimiento
- ✓ Tapón de balón
- ✓ Pinza de laboratorio

Los reactantes utilizados fueron los que se dictan a continuación.

- ✓ Cáscara de arroz.
- ✓ Ácido sulfúrico (2M).
- ✓ Nitrato de plata (5% m/m).
- ✓ Hidróxido de sodio (5% m/m).
- ✓ Amoníaco en solución.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La preparación de la materia prima para realizar la reacción consistió en una reducción de tamaño, con el fin de aumentar la superficie específica y que esté más íntimamente en contacto con el catalizador líquido. Para ello, se llevó a cabo la trituración de la cáscara mediante un molinillo de café, ya que no contábamos con un molino de bolas de pequeña escala. Cabe destacar que no se generó polvo, lo cual es importante para evitar posibles explosiones.

Una vez realizada la molienda, se la sometió a un tamizado utilizando un tamiz de malla N°20 A.S.T.M, cuya abertura es de 840 micrones. Dado que en nuestra operación industrial utilizaremos un molino de otras características, no profundizaremos en un análisis de tamaño de partícula, ni de porcentajes de cernido y rechazo. Sí debe considerarse que 0,8mm es la dimensión a la que hemos decidido hacer trabajar al molino industrial para lograr una buena efectividad en el reactor, por lo que este proceso de laboratorio resulta representativo desde esa perspectiva.



Ilustración 9: Proceso de molienda en molinillo



Ilustración 10: Tamiz utilizado durante la operación de tamizado



Ilustración 3: Cáscara de arroz luego del tamizado

En la ilustración 3 puede apreciarse a la izquierda aquella fracción de materia prima que travesó la abertura de 840 micrones, que fue la utilizada en la reacción posterior.

3.2 PROCEDIMIENTO

Una vez acondicionada la materia prima, se la sometió a la reacción de hidrólisis ácida. Para ello se colocaron 10 gramos de la misma en un balón de destilación, donde luego se incorporaron 75 mL de H_2SO_4 2M. Se decidió trabajar a una concentración mayor que la recomendada para el proceso industrial porque, al no contar con el vapor a alta presión y temperatura, resultó conveniente aumentar la acción del catalizador a partir de una mayor concentración.

Ya introducidos los reactivos, se colocó el balón en un soporte universal mediante una nuez, y se lo acopló al aparato de reflujo como muestra la ilustración 4. A la salida de este último se colocó un tubo de desprendimiento, con el objetivo de evitar lo máximo posible la oxidación de nuestro producto a medida que iba recogiéndose. Sin embargo, el bajo caudal de producto no fue suficiente para que logre atravesar el tubo, por lo tanto fue retirado el tapón y el líquido se recogió de forma directa desde el reflujo a la ampolla de decantación.

Se realizó un calentamiento suave, para que no se quemara y desnaturalice nuestra materia prima. Luego de una hora, detuvimos el calentamiento, obteniendo 25 mL de producto final.

Es importante remarcar que el objetivo del ensayo no fue determinar un rendimiento de reacción, para ello se utilizaron como base publicaciones donde las condiciones fueron las apropiadas. La meta propuesta fue lograr la síntesis de nuestro producto, lo cual verificamos en el paso posterior mediante una reacción de identificación.

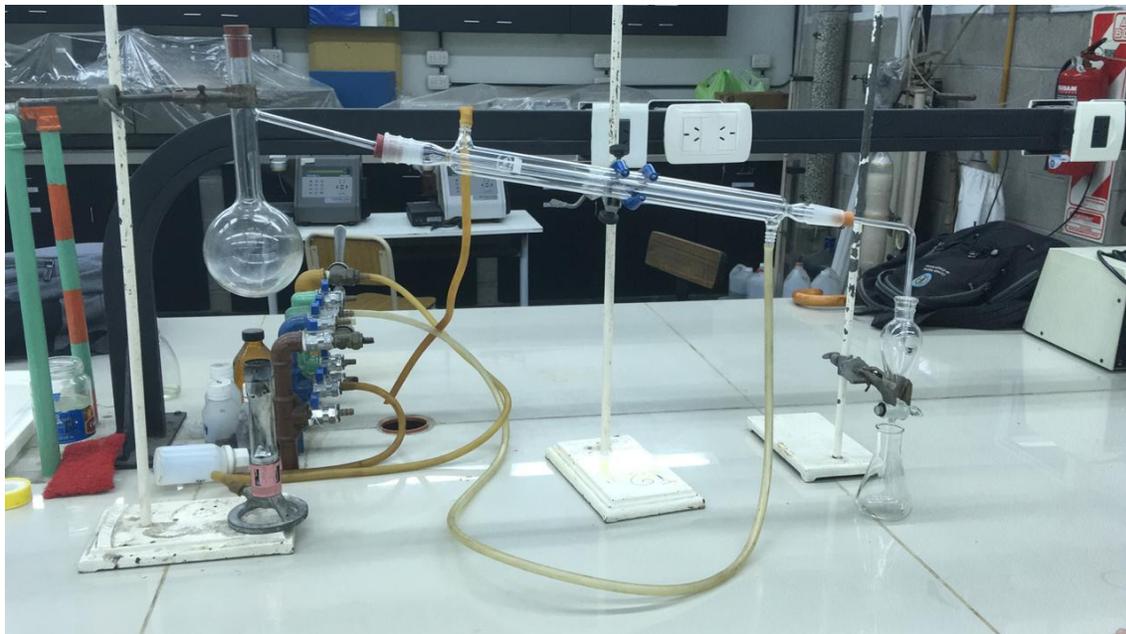


Ilustración 4: Equipo de reacción y destilación

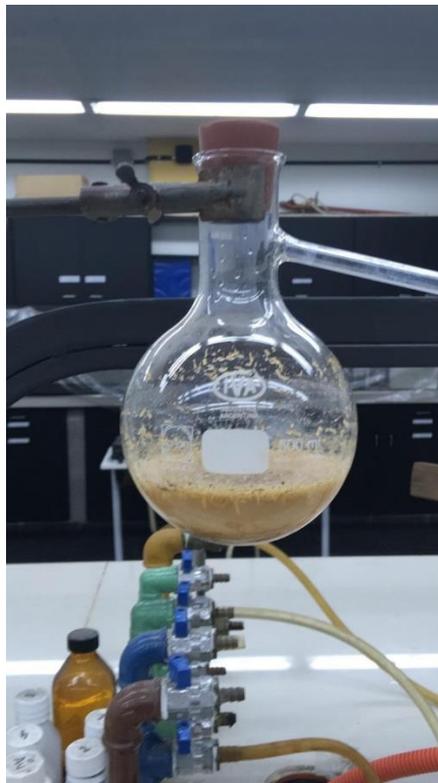


Ilustración 5: Balón de destilación cargado con reactivos



Ilustración 6: Proceso de carga de reactivos

3.3 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO

Una vez concluida la etapa de reacción, se procedió a verificar que efectivamente se formó furfural. Para ello, preparamos el reactivo de Tollens para utilizarlo como indicador.

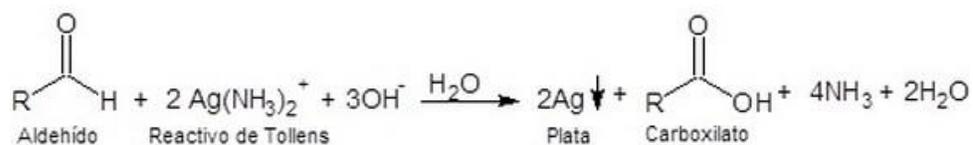
3.3.1 PREPARACIÓN DEL REACTIVO DE TOLLENS

El reactivo de Tollens consiste en un complejo diamín-plata(I), que debe ser preparado a la hora de ser utilizado, y funciona como un agente oxidante. Es selectivo de los aldehídos, que son oxidados a ácidos carboxílicos, mientras la plata (I) se reduce a su estado base, apareciendo el conocido espejo de plata.

Para su preparación, partimos de una solución de AgNO_3 , a la cual le agregamos un par de gotas de NaOH hasta la aparición de un precipitado marrón oscuro, que se trata del óxido de plata. A continuación, agregamos NH_3 en solución, hasta disolución del precipitado. Obtuvimos como producto, incoloro, $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ (nitrato de plata amoniacal, conocido como reactivo de Tollens).

3.3.2 REACCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DEL FURFURAL

Como ya se ha mencionado anteriormente, nuestro producto es un aldehído, por lo cual reaccionará en presencia del reactivo de Tollens para formar un espejo de plata. La reacción es la siguiente:



En nuestro caso, colocamos en un tubo de ensayo una muestra del producto que obtuvimos, y en otro, un blanco (compuesto por el ácido sulfúrico). Agregamos en ambos tubos unas gotas del reactivo de Tollens, y visualizamos la aparición del espejo de plata en el tubo que contenía furfural, mientras que en el tubo que contenía el ácido sulfúrico no sucedió nada.

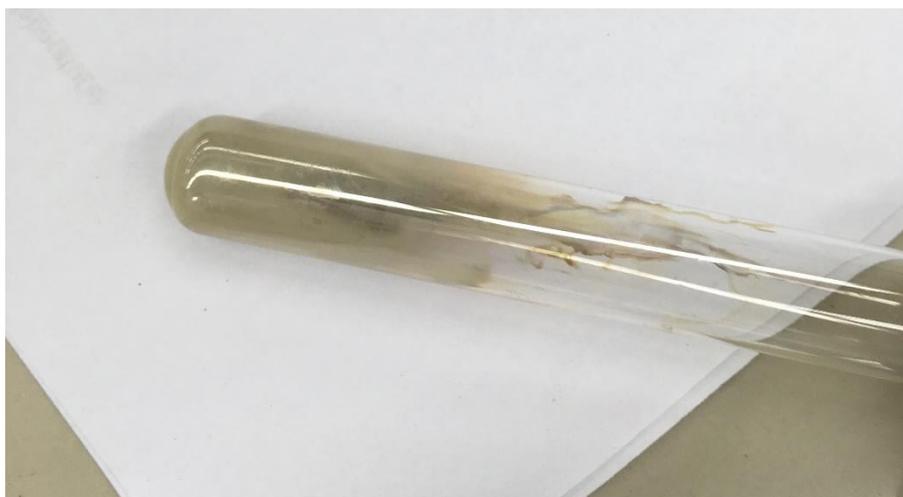


Ilustración 7: Espejo de plata luego de añadir reactivo de Tollens al producto de reacción



Ilustración 8: Solución de ácido sulfúrico luego de añadir reactivo de Tollens

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas durante este ensayo de laboratorio fueron las siguientes:

- ✓ La molienda de la cáscara de arroz al tamaño de partícula deseado no presenta formación de polvo que pueda resultar explosivo.
- ✓ Se pudo obtener un producto de reacción a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de arroz.
- ✓ Pudo detectarse presencia de furfural en el producto obtenido a partir de la reacción con el reactivo de Tollens.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 5: Elección de proceso

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
1. PROCESOS PRODUCTIVOS	3
1.1 PROCESO BATCH DE QUAKER	3
1.2 PROCESO BATCH CHINO	4
1.3 PROCESO CONTINUO DE QUAKER	5
1.4 PROCESO CONTINUO DE ROSENLEW.....	6
1.5 SELECCIÓN MÉTODO.....	7
2. CINÉTICA DE LA REACCIÓN	8
3. PATENTES/PAPERS	10
3.1 PUBLICACIÓN 1.....	10
3.2 PUBLICACIÓN 2.....	11
4. SELECCIÓN DE CONDICIONES OPERATIVAS	11
5. CONCLUSIONES.....	12
6. BIBLIOGRAFÍA.....	13

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se discutirá acerca de los distintos métodos de producción de furfural a partir de cáscara de arroz conocidos en la industria, junto con variaciones en las condiciones de reacción propuestas por diversas patentes, a fin de mejorar rendimientos.

El criterio que se utilizó para seleccionar un proceso productivo con el cual continuar el proyecto involucró varios matices, dentro de las cuales puede destacarse la variable económica. Esto se debe a que la viabilidad del proyecto está basada en su rentabilidad económica. A su vez, también se tuvieron en cuenta factores fisicoquímicos de la reacción, cuestiones energéticas (condiciones de presión y temperatura), utilización (o no) de catalizadores, factores medioambientales (disposición final de efluentes) y de seguridad.

A partir de una breve descripción de los procesos populares en la industria del furfural, se explica el porqué de la elección, junto con las condiciones de reacción seleccionadas.

1. PROCESOS PRODUCTIVOS

Desde el comienzo de la manufactura industrial del furfural a partir de materia prima orgánica, se desarrollaron fundamentalmente dos métodos de producción batch o discontinuos y continuos.

En los métodos continuos, existe una entrada de materia prima (en este caso, cáscara de arroz embebida en el catalizador ácido) y de vapor de agua constantes en el reactor, mientras que también hay una salida continua de producto (furfural arrastrado por el vapor). Además, la cáscara de arroz agotada se retira periódicamente, sin necesidad de parar la operación.

En cambio, los métodos discontinuos o batch presentan otra operatoria. Estrictamente hablando, son métodos semicontinuos, dado que el reactor se carga con la cáscara de arroz y el catalizador, y una vez cerrado, esto es atravesado continuamente por vapor de agua durante el tiempo de operación definido, retirándose el furfural arrastrado por el vapor constantemente. Una vez cumplido el tiempo de residencia establecido, se frena el consumo de vapor y se vacía el reactor. A pesar de su operatoria semicontinua, la bibliografía denomina estos métodos como batch.

1.1 PROCESO BATCH DE QUAKER

Fue el primer método concebido para la producción de furfural y sigue siendo utilizado hoy en día, aunque con mejoras significantes. Nació en 1921 a partir de la necesidad de utilizar dos reactores preexistentes y en desuso que poseía la compañía. El proceso comenzaba con la carga en los reactores de la mezcla de la materia prima (en este caso, cáscara de avena) junto con el catalizador de ácido sulfúrico, donde una vez ubicado, era atravesado por vapor durante 5 horas a una temperatura de 153 °C. Se buscaba mantener esa temperatura, dado que era la que podían soportar los reactores ya existentes. Un esquema general del proceso se presenta a continuación:

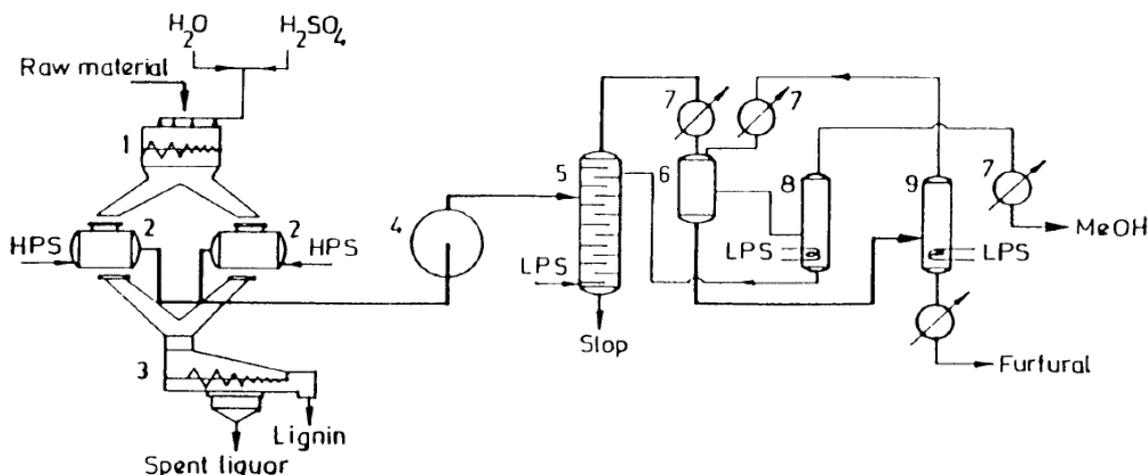


Figura 1: Esquema Proceso Batch Quaker. Fuente: The chemistry and technology of furfural and its many products (2000).

Se utilizaba una concentración de catalizador de 6,05 % en peso, obteniendo un rendimiento de furfural de casi 63%, no obstante, de los cuales casi el 10% se perdía como residuo.

El vapor saliente de los reactores era calentado nuevamente e ingresado a una columna de destilación azeotrópica. De allí, mediante una serie de destilaciones y condensaciones, se obtenía el furfural al 98,5%.

Si bien fue muy utilizado, el proceso presentaba serias desventajas, a saber:

- gran tiempo de residencia, debido a la baja temperatura de reacción;
- concentración alta de catalizador ácido, por el mismo motivo, que ocasionaba problemas de corrosión;
- se generaba un residuo extremadamente ácido.

1.2 PROCESO BATCH CHINO

Similar al proceso de Quaker, utiliza reactores de acero dulce de paredes gruesas para soportar la corrosión. En este caso, la materia prima, que son mazorcas de maíz, son rociadas con solución de ácido sulfúrico hasta alcanzar una concentración de 1,5 % en peso y luego ingresan al reactor. Allí, se hace pasar de 1 a 1,5 toneladas de vapor a una presión de 7 bar durante un período de 4 o 5 horas.

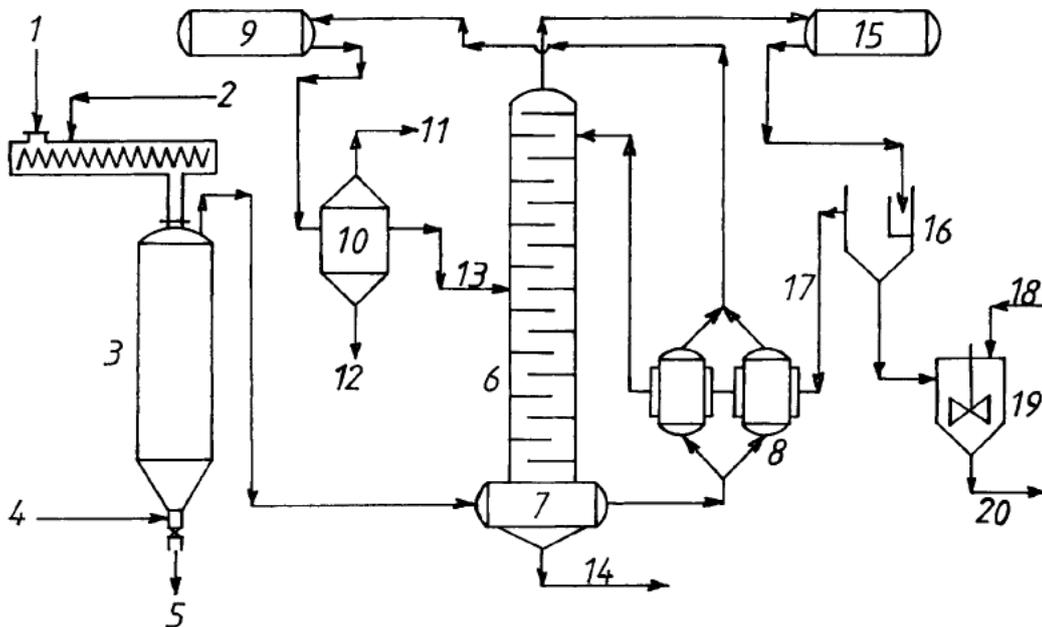


Figura 2: Esquema Proceso Batch chino. Fuente: The chemistry and technology of furfural and its many products (2000).

Como diferencia con el proceso Quaker, puede observarse que se utiliza una sola columna de destilación, mientras que los compuestos más volátiles son separados mediante un separador flash (señalado como el 10 en la imagen).

1.3 PROCESO CONTINUO DE QUAKER

Luego de 40 años utilizando el proceso batch, la empresa Quaker revolucionó la industria del furfural al diseñar la primera planta de producción continua a partir de bagazo de azúcar.

Consistía (fue cerrada en el año 1997) en tres trenes productivos, de los cuales siempre funcionaban dos a la vez y el tercero era de reserva o se encontraba bajo mantenimiento. Luego de una etapa de pretratamiento del bagazo (se lo trataba con

vapor y pasaba por prensas), éste era transportado por una cinta, dentro de las cuales era inyectado a través de múltiples nodos la solución de ácido sulfúrico catalizadora y vapor sobrecalentado a 650 °C y casi 11 bares. El vapor en estas condiciones generaba un efecto de secado, a fin de que, a pesar del agregado de agua, el residuo saliente del reactor tuviera una humedad inferior al 40%.

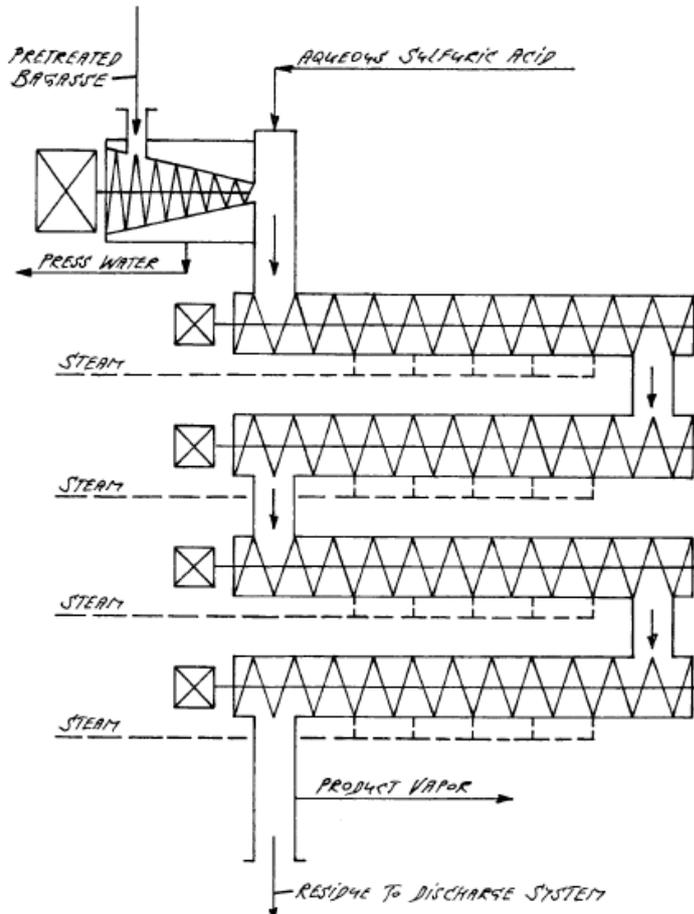


Figura 3: Esquema Proceso Continuo Quaker. Fuente: The chemistry and technology of furfural and its many products (2000).

El residuo era retirado y atravesaba un ciclón, donde los sólidos eran separados del vapor, que luego atravesaba el tren de separación similar al proceso batch de Quaker.

El proceso continuo tenía un rendimiento aproximado del 55%, pero presentaba algunos problemas operativos debidos en gran parte a la falta de mejores sistemas de control. Esto, sumado a problemas entre Quaker y los productores locales de azúcar, y a grandes problemas de mantenimiento de las prensas del pretatamiento, ocasionó el cierre de la planta.

1.4 PROCESO CONTINUO DE ROSENLEW

Utilizado para bagazo de azúcar, consiste en un reactor al cual es inyectada por la parte superior la materia prima mientras que por la parte inferior el residuo es retirado periódicamente. Junto con esto, existe un ingreso constante de vapor sobrecalentado a 10 bares por la parte inferior, fluyendo hacia arriba, reaccionando con la materia prima cruda, arrastrando los compuestos volátiles y evacuando por la parte superior, formando así un flujo contracorriente.

No utiliza adición de ácido sulfúrico como catalizador, dado que la catálisis se produce por una mezcla de ácido acético, ácido fórmico y un porcentaje menor de otros ácidos orgánicos que se forman en la reacción. Esto es llamado autocatálisis o catálisis innata.

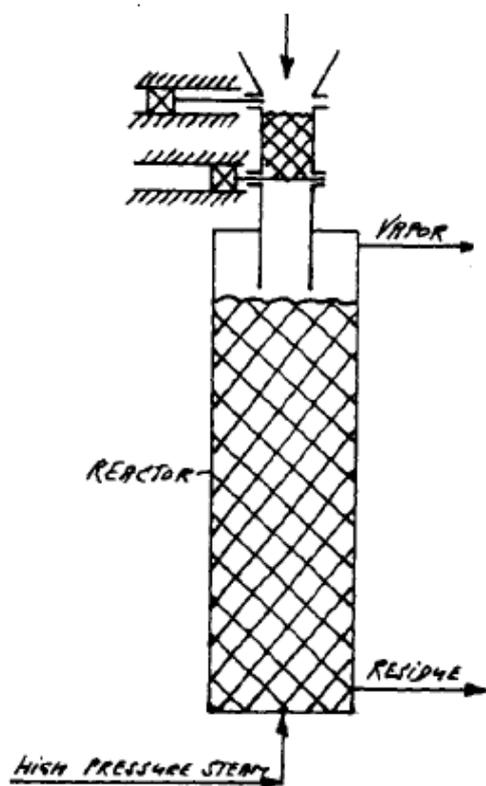


Figura 4: Esquema Proceso Continuo Rosenlew. Fuente: The chemistry and technology of furfural and its many products (2000).

Presenta grandes problemas relacionados con el transporte, dado que se generan perfiles de concentración verticales, tanto de los catalizadores ácidos como de furfural formado, además de un gradiente de temperatura. Además, presenta problemas para el arranque de la reacción, dado que los ácidos orgánicos necesarios para la catálisis aparecen una vez comenzada la reacción, por lo que se debe utilizar catalizador externo para esta etapa.

1.5 SELECCIÓN MÉTODO

A partir de los métodos vistos, se optó por trabajar con un proceso batch. Si bien los procesos continuos son los más desarrollados actualmente, los cuales son estudiados día a día para intentar mejorar sus condiciones de operación y rendimientos, estos son especialmente útiles cuando se trata de producciones a gran escala, es decir, cuando se busca procesar y producir una gran cantidad de toneladas por día.

En el presente proyecto, la cantidad de furfural a producir no es significativa como para seleccionar un proceso continuo, junto con las problemáticas que estos acarrearán. En cambio, los procesos batch son más fáciles de controlar, necesitan de una inversión inicial y operativa menor (el sistema de control automático necesario para un proceso continuo es costoso y complicado) y son aún más confiables que los continuos.

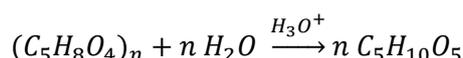
Cabe destacar que el tren de separación posterior a la reacción es prácticamente el mismo para todos los métodos, por lo que no fue un factor a tener en cuenta al momento de la selección.

2. CINÉTICA DE LA REACCIÓN

La reacción de formación del furfural que describimos en este proceso consiste de dos etapas: una etapa de formación de pentosas a partir de las pentosanas (hidrólisis), y la posterior formación del furfural a partir de la deshidratación de las pentosas. La etapa lenta (controladora de la velocidad) es la segunda, siendo entonces ésta en la que debemos focalizar nuestro análisis.

A continuación, presentamos ambas reacciones:

- Primera etapa: Hidrólisis de las pentosanas para formar las pentosas.

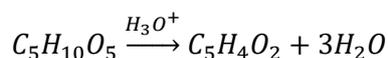


Donde:

$(C_5H_8O_4)_n$: Pentosanas

$(C_5H_{10}O_5)$: Pentosas

- Segunda etapa: Deshidratación de las pentosas y formación del furfural.



Donde:

$(C_5H_{10}O_5)$: Pentosas

$(C_5H_4O_2)$: Furfural

Para la descripción de la cinética, se hará la consideración de que las pentosas formadas son en su totalidad moléculas de Xilosa, lo cual si bien no es totalmente cierto (hay un pequeño porcentaje de arabinosa), no se cometen grandes errores y simplifica el análisis, además de contar con una serie de datos bibliográficos de dicho caso.

La velocidad de desaparición de la Xilosa será el parámetro clave para el cálculo del tiempo de residencia del reactor con el cual se realizará el diseño. Ésta se describe de la siguiente forma:

$$-\frac{d[X]}{dt} = k_R * [X] \quad (1.1)$$

Donde:

$[X]$ = concentración molar de Xilosa

k_R : constante de reacción

t: tiempo en minutos

$$k_R = 9.306 \times 10^{15} \frac{L}{mol * min} * [H_3O^+] * e^{\frac{-16894 K}{T}} \quad (1.2)$$

Integrando la expresión 1.1, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{[X]}{[X_0]}\right) = -k_R * t \quad (1.3)$$

$$\frac{[X]}{[X_0]} = \exp\left(-9.306 \times 10^{15} \frac{L}{\text{mol} * \text{min}} * [H_3O^+] * e^{\frac{-16894 K}{T}} * t\right)$$

Suponiendo un valor de $\frac{[X]}{[X_0]} = 0.01$, que equivale a un 99% de pentosas que reaccionaron, se presenta un gráfico de Tiempo [minutos] vs $[H_2SO_4]$:

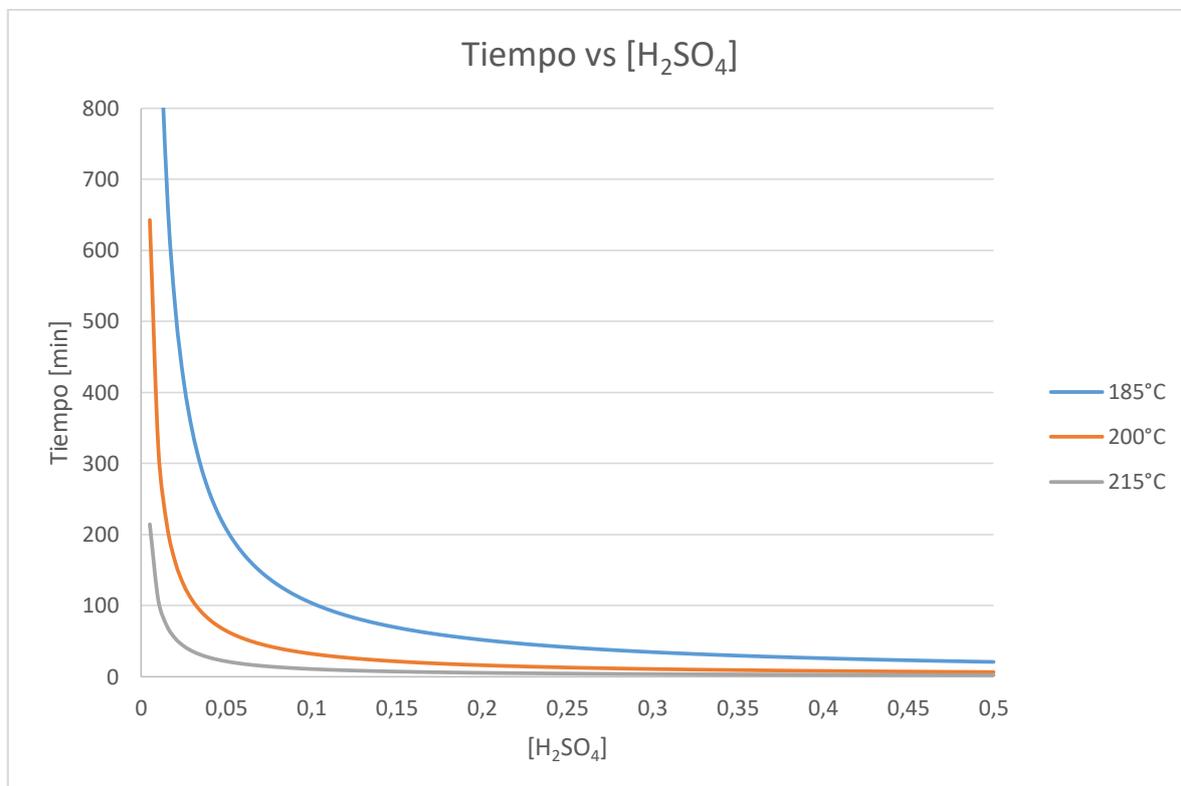


Figura 5: Tiempo vs $[H_2SO_4]$

Puede apreciarse que a mayor concentración de catalizador y a mayor, menor tiempo de reacción. Sin embargo, debemos buscar un equilibrio entre el costo que conlleva el tiempo de reacción y el costo operativo de trabajar a altas temperaturas y con mayores concentraciones de catalizador. En el siguiente apartado se desarrolla este aspecto.

3. PATENTES/PUBLICACIONES

Una vez definido que se utilizará un método batch, se investigó en distintas patentes o papers cuáles son las mejores condiciones operativas para la reacción. Éstas son las que definen la cantidad de catalizador ácido a utilizar, el tiempo de residencia de los reactantes en el reactor y el rendimiento que se espera obtener.

3.1 PUBLICACIÓN 1

En primer lugar se verá como fuente la publicación "*Production of Furfural from Agricultural Wastes by Using Pressurised Water in a Batch Reactor*" de Durlubh K. Sharma y Prakash N. Sahga (ver en Bibliografía), en el cual se estudia la obtención de furfural a partir de cáscara de arroz (también a partir de aserrín, no considerado en este proyecto) utilizando vapor de agua a una temperatura de 185 °C y una presión de 1,1165 MPa (11,165 bar). A partir de estas condiciones de reacción y variando la concentración de ácido sulfúrico y el tiempo de operación, que en este

caso es el tiempo de residencia en el reactor, se obtuvo la siguiente tabla de resultados de rendimientos:

Sample run no.	H ₂ SO ₄ (M)	Operating time (h)	Yield of furfural (g 100 g ⁻¹ of husk or sawdust)	Yield of acetic acid (g 100 g ⁻¹ of husk)
Rice husk				
1	0.05	0.75	6.75	—
2	0.05	2	6.04	—
3	0.125	2	7.91	—
4	0.5	2	8.08	—
5	2.5	6	0	—
6	5	6	0	—
7	0.05	0.75	8.66	—
8	0.05	2	7.74	—
9	0.5	2	9.00	1.10

Figura 6: Cuadro comparativo de rendimientos de hidrólisis bajo distintas condiciones. Fuente: Publicación 1

De esta figura puede observarse cómo varía el rendimiento para la obtención de furfural a partir de distintas concentraciones del catalizador y distintos tiempos de operación. Además, el rendimiento de producción de ácido acético es despreciable para la mayoría de las condiciones estudiadas.

3.2 PUBLICACIÓN 2

En segundo lugar, se estudió la publicación "*Production of Xylose, Furfural, Fermentable Sugars and Ethanol from Agricultural Residues*" de Amar Singh, Kumudswar Das y Durlubh K. Sharma (ver en Bibliografía). En este caso, se realizó la hidrólisis de cáscara de arroz (y de bagazo de la caña de azúcar, no aplicable para este proyecto) a 15,54 bares variando temperatura, concentración de catalizador y tiempo de residencia, obteniéndose distintos rendimientos que se presentan a continuación:

Acid conc. (%)	Temperature (K)	Reaction time (min)	Bagasse (B)		Rice husk (RH)	
			Xylose (g/g dry wt. of B)	Furfural (g/g dry wt. of B)	Xylose (g/g dry wt. of RH)	Furfural (g/g dry wt. of RH)
0.4	453	115.0	0.052	0.1088	0.030	0.1000
	473	115.0	—	0.1150	—	0.1090
	483	85.0	0.025	0.1100	—	0.1090
	493	85.0	0.015	0.1135	—	0.1080
0.8	453	84.0	0.020	0.1100	0.020	0.1050
	473	75.5	0.025	0.1045	0.015	0.0998
	483	54.5	0.005	0.1007	0.038	0.0900
	493	45.0	—	0.0980	—	0.0880
1.0	453	54.8	0.088	0.0978	0.005	0.0900
	473	45.5	0.005	0.0900	—	0.0940
	483	34.5	—	0.0880	—	0.0900
	493	24.5	—	0.0688	—	0.0765

Figura 7: Cuadro comparativo de rendimientos de hidrólisis bajo distintas condiciones. Fuente: Publicación 2

4. SELECCIÓN DE CONDICIONES OPERATIVAS

Como se explicó anteriormente, el principal criterio tomado para la selección del proceso es el económico. Éste estará dado por una suma de variables tales como:

- Concentración de catalizador necesaria;
- Tiempo de operación;
- Temperatura y presión de reacción (del vapor circulante);
- Rendimiento de furfural obtenido.

Se optó por elegir 3 condiciones operativas de las estudiadas en los paper, a fin de realizar una comparación, para luego seleccionar una final con la que se diseñará nuestro proceso.

Tabla	Temperatura [°C]	Presión [bar]	Concentración H ₂ SO ₄ [M]	Tiempo de operación [minutos]	Rendimiento [g/100 g de materia prima]
1	185	11,165	0,05	45	8,66
1	185	11,165	0,5	120	9
2	200	15,54	0,04	115	10,9

Figura 8: Cuadro comparativo de posibles condiciones de reacción

Las tres opciones son similares en cuanto a presión y temperatura de operación, variando considerablemente la concentración de catalizador entre las opciones 1 y 3 con la opción 2. En cambio, los tiempos de operación varían entre la opción 1 con las opciones 2 y 3. Por el lado de los rendimientos, son similares, aumentando progresivamente desde la opción 1 hacia la 3.

Tomando en cuenta el criterio económico, la opción más rentable resultó ser la opción 1, que es aquella que se traducirá en menor gasto energético para generar el vapor en las condiciones indicadas y menor consumo de catalizador ácido. Es la opción que presenta menor rendimiento para la obtención de furfural en relación a la cantidad de materia prima consumido. Sin embargo, necesita un tiempo de operación considerablemente menor que las otras dos opciones para alcanzar un rendimiento levemente inferior, lo que a su vez se traducirá en posibilidad de realizar mayor cantidad de ciclos de reacción por día, optimización del tiempo en la planta y la posibilidad de agrandar la producción en caso de ser necesario.

5. CONCLUSIONES

Se decidió que el proceso para desarrollar furfural a partir de cáscara de arroz forme parte de los llamados métodos batch o discontinuos, aunque como ya se explicó anteriormente en este capítulo se trate en verdad de uno semicontinuo. A su vez, luego de considerar distintas publicaciones y aplicando un criterio en base a la variable económica, se decidió que la reacción ocurra bajo las siguientes condiciones y obteniéndose los siguientes parámetros:

- Temperatura: 185 °C
- Presión: 11,165 bar
- Concentración de ácido sulfúrico: 0,05 N
- Tiempo de operación: 45 minutos
- Rendimiento: 0,0866 g furfural/g cáscara de arroz

6. BIBLIOGRAFÍA

K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000.

Durlubh K. Sharma y Prakash N. Sahga: "Production of Furfural from Agricultural Wastes by Using Pressurised Water in a Batch Reactor". Centre of Energy Studies and Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, New Delhi, India, 1982.

Amar Singh, Kumudeswar Das y Durlubh K. Sharma: "Production of Xylose, Furfural, Fermentable Sugars and Ethanol from Agricultural Residues". Centre of Energy Studies and Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, New Delhi, India, 1983.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 6: Descripción del proceso

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	2
2. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	3
3. TRANSPORTE DE LA MATERIA PRIMA	3
4. MOLIENDA.....	4
5. HIDRÓLISIS/DESHIDRATACIÓN	6
6. DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA.....	9
7. DECANTACIÓN	9
8. NEUTRALIZACIÓN.....	9
9. DESTILACIÓN SECUNDARIA (DESHIDRATACIÓN)	10
10. ESQUEMA GENERAL.....	11
11.BIBLIOGRAFÍA.....	13

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El proceso de obtención del furfural a partir de la cáscara de arroz consiste en tres etapas principales, que son:

- a) Etapa de acondicionamiento de la materia prima
- b) Etapa de reacción, donde mediante una hidrólisis ácida se transforman las pentosanas en pentosas y posteriormente la deshidratación de éstas para formar furfural
- c) Etapa de separación y purificación del furfural formado.

El proceso completo, desde la llegada de la cáscara a la planta, puede verse en el diagrama de bloques del proceso en la página siguiente.

Etapa de acondicionamiento de la materia prima:

Lo primero en realizarse es la molienda de la cáscara, que llega en longitudes aproximadas de 5mm a 9mm y ancho de 2,5mm a 5mm. Lo decidido es instalar un molino de bolas para llegar a 0,8mm. A la salida del mismo se tiene una tolva que descarga mediante un tornillo helicoidal a un silo, donde se acumulará la materia prima hasta el momento de la reacción.

Etapa de reacción:

Una vez en el reactor, la materia prima entrará en contacto con una solución al 0,05M de ácido sulfúrico y vapor de agua a 185°C, durante 45 minutos. Manteniendo una presión de 11,165 bar, se espera que un 8,66% de la masa ingresada reaccione. Una corriente gaseosa, de vapor de agua, arrastrará el furfural formado hasta la siguiente operación unitaria, la destilación primaria.

Etapa de separación y purificación:

En la columna de destilación primaria, no logra obtenerse el furfural en la concentración requerida, por lo que debe realizarse un tratamiento posterior. La corriente del producto que sale de la torre consiste en una mezcla de agua y furfural, ya más enriquecida en nuestro producto de interés.

Esta corriente pasa por un condensador y luego ingresa a un decantador donde se separa la fase orgánica de la fase acuosa. Ésta última es recirculada a la columna de destilación primaria. La fase orgánica es transportada hacia una nueva columna, previa neutralización con hidróxido de sodio, para trabajar a pH neutro y así evitar reacciones secundarias.

La última etapa del proceso consiste en una última destilación, cuyo objetivo es concentrar la corriente rica en furfural hasta el porcentaje requerido en la especificación técnica (98,5% m/m).

2. DIAGRAMA DE BLOQUES



3. TRANSPORTE DE LA MATERIA PRIMA

Se explicó en el capítulo de ubicación que nuestra planta se localiza en las proximidades de la empresa Molinos Río de La Plata, al lado de sus instalaciones en Concepción del Uruguay. De ellos se obtiene la materia prima principal: la cáscara de arroz. La opción aceptada para lograr el menor costo posible es transportar el material directamente con una cadena del tipo Redler. De esta manera, todos los costos y complicaciones que traería aparejada la contratación de camiones de transporte quedan anulados, usando un solo equipo, cuyo gasto es mucho menor.

Se supone cerca de 30m de transporte desde los productores hasta nuestro edificio, por lo que las cadenas resultan más baratas que el uso de otros medios como tornillos, por ejemplo. Además, permiten sobrecargas de gran magnitud y no son tan sensibles a factores como la humedad y el polvo.

El tipo de sistema a instalar será uno inclinado, de manera de llegar a la altura necesaria para entrar directamente al molino. Un equipo cerrado resulta lo más conveniente, por

todo el polvo que puede escapar de las cáscaras. El tipo de cadena elegido es el transportador de flujo continuo, Redler. La cadena va en una caja rectangular completamente cerrada, y lleva incorporadas barras transversales en sus eslabones, que son las que empujan el material. El sistema se mueve por una rueda dentada en un extremo, acompañada por otra sin dientes en el otro, que gira en forma solidaria a la primera. Todo el transporte se realiza dentro de una caja cerrada, tal como se ve en la ilustración 1, evitando así que se esparza el polvo que llevan las cáscaras.

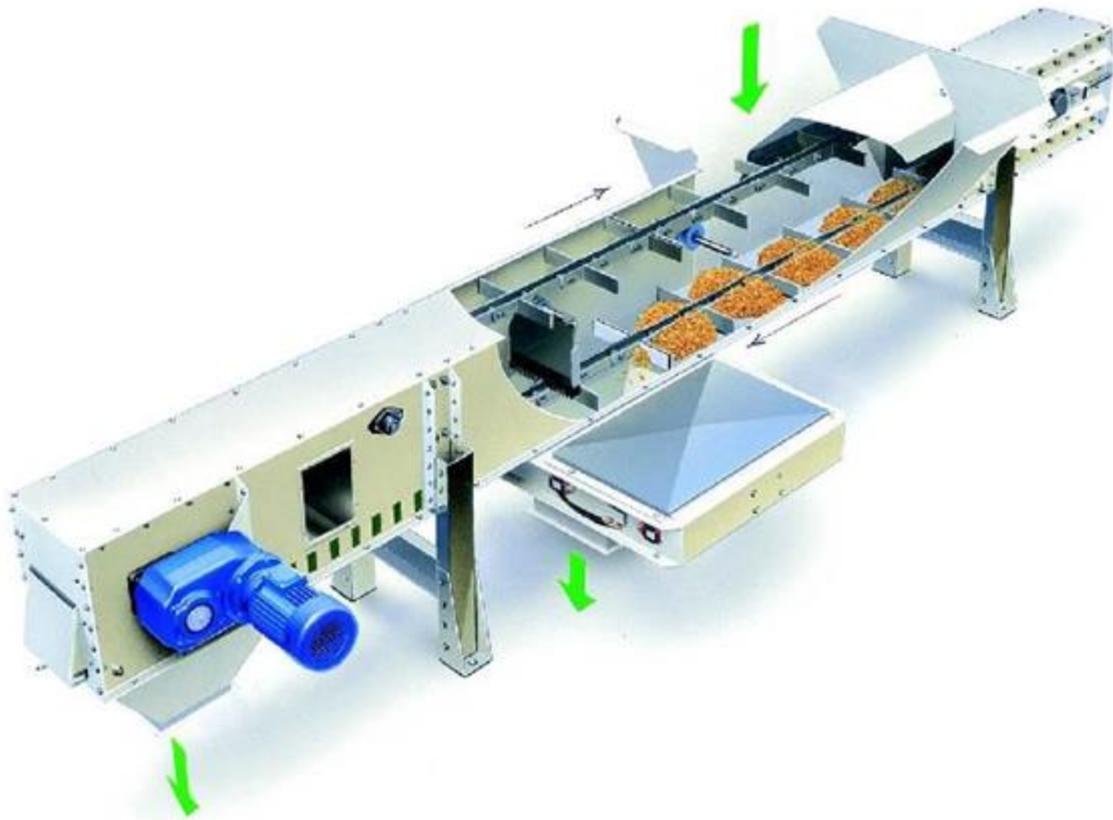


Ilustración 1. Esquema de un transportador Redler.

4. MOLIENDA

Ya se mencionó que el tamaño en el que se puede esperar que llegue la materia prima es de 5mm a 10mm de largo por 2,5mm a 5mm de ancho, y se espera reducir hasta 0,8mm antes de entrar al reactor. Este tamaño final resulta del análisis del gráfico 1, donde se compara el rendimiento obtenido (en base a azúcares reductores totales, en nuestro caso Xilosa) versus el tamaño de partícula. Puede verse que a partir de 800 μm , se hace prácticamente asintótico, por lo que no sería conveniente invertir energía en reducir aún más el tamaño.

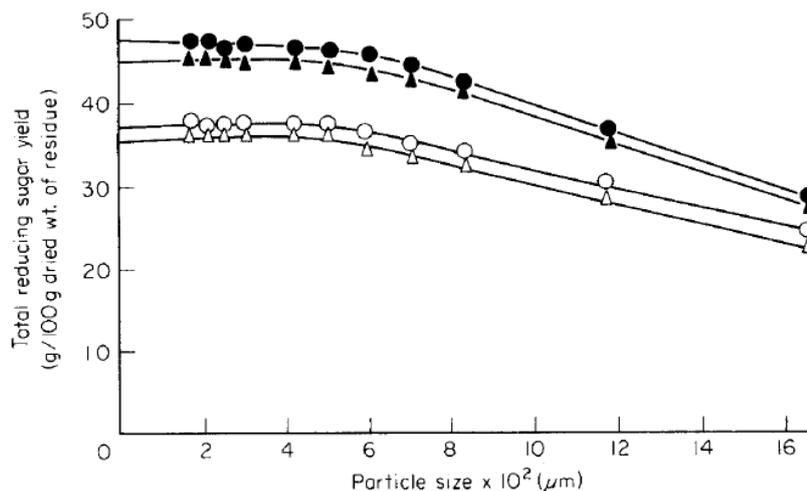


Figure 1. The effect of particle size on hydrolysis (acid concentration=0.6%). ○, Bagasse at 473 K for 30 min; △, rice husk at 473 K for 30 min; ●, bagasse at 493 K for 5 min; ▲, rice husk at 493 K for 5 min.

Gráfico 1: Rendimiento de hidrólisis en función del tamaño de partícula. Fuente: Production of Xylose, Furfural, Fermentable Sugars and Ethanol from Agricultural Residues

El equipo seleccionado para esta operación es un molino de bolas. Este tipo de molino resulta el más conveniente para materiales de estructura como la cáscara de arroz, que son muy duros para el impacto y además generan mucho polvillo al aplicársele este tipo de desintegración.

El sistema consta de un cilindro que en general tiene una sección cónica en un extremo. El equipo gira, haciendo que las esferas rompan el material en cuestión, en este caso la cáscara. Con el tiempo, las bolas metálicas se desgastan, teniendo cada vez menos diámetro, hasta que se debe cambiarlas para no ver reducida la efectividad del proceso. De tenerla, la sección cónica se ubica necesariamente al final del molino, porque en ella se ubicarán naturalmente las esferas que van quedando con menor tamaño, y conviene que éstas trabajen sobre el material más pequeño. Una imagen de este tipo de equipos se observa en la ilustración 2.



Ilustración 2. Imagen de un molino de bolas.

El molino de bolas rompe por dos efectos principalmente: el denominado efecto cascada, cuando el roce del material con las esferas lleva al rompimiento, y el efecto

catarata, cuando el golpe de la caída de las bolas sobre la cáscara acelera la rotura. Para que ambos se apliquen, es necesario operar a una velocidad de giro moderada, si se va lento las esferas no suben. Pero de ir muy rápido, no llegan a caer. La velocidad límite se conoce como crítica (aquella en la que el peso de la bola es igual a la fuerza centrífuga producida), y se suele operar al 75% de la misma.

Se sabe que estos equipos tienen dos problemas para un proceso continuo: primero, no puede instalarse un tamiz de luz de malla muy pequeña a su salida, porque se produciría acumulación dentro del equipo, perjudicando la eficiencia; y segundo, que generan un caudal de producto molido con bastante discontinuidad, así que debería trabajarse con una ecualización antes de seguir con el proceso. Para solucionar lo primero, se instalará una mesa vibratoria a la salida del molino, que tamice a tamaño de 0,8mm. El rechazo se acumulará en un tanque para recircularlo periódicamente. En cuanto al cernido, que aún es un caudal muy discontinuo para enviar al proceso productivo directamente, se ha decidido instalar un silo que la contenga y almacene, y que desde el mismo se transporte las cantidades requeridas a los reactores cuando sea necesario.

Entonces, a la salida del molino se instalaría una tolva, que conecta a un tornillo helicoidal inclinado como el que se observa en la ilustración 3. Este transportador consiste en una carcasa circular con un tornillo giratorio. El movimiento del mismo traslada el material de un extremo a otro. Para este caso, en que se tiene una distancia más corta que cuando se movía la cáscara desde la empresa vecina, conviene antes este tipo de sistema que una cadena. Además, resulta más fácil ganar altura en una distancia corta. Debe instalarse una carcasa cerrada, porque el material de 0,8mm puede difundir fácilmente en el aire, y además instalar un tornillo de "paso corto", para reducir el trabajo para subir la cáscara, reduciendo los desbordes.

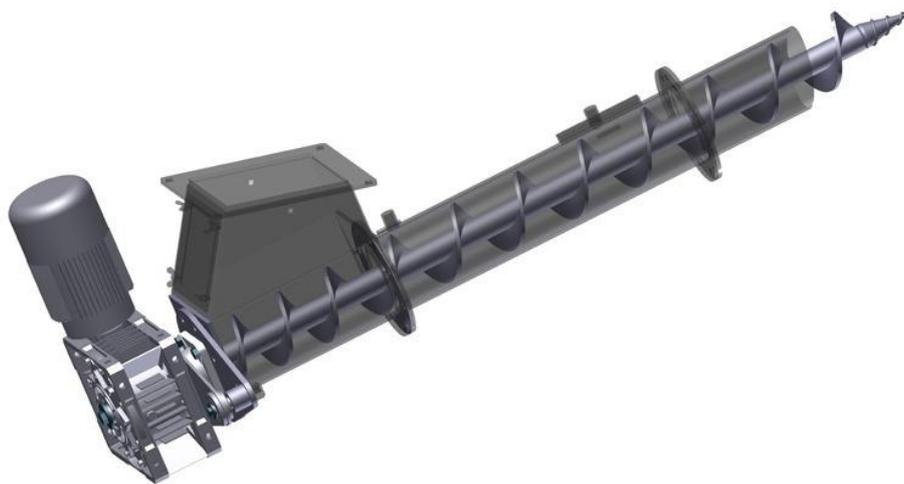


Ilustración 3. Esquema de un tornillo helicoidal inclinado.

5. HIDRÓLISIS/DESHIDRATACIÓN

Como fue mencionado en varias oportunidades, la reacción de formación del furfural consiste en dos etapas: una etapa de hidrólisis ácida y la subsiguiente etapa de deshidratación. Si bien se ha desarrollado un análisis de condiciones de operación y rendimientos en el capítulo 5, profundizaremos a continuación en el mecanismo de reacción.

Las pentosanas están compuestas principalmente por anillos enlazados entre sí mediante puentes de oxígeno (puentes éter) como puede apreciarse en la ilustración 4. Se trata de un poliacetal.

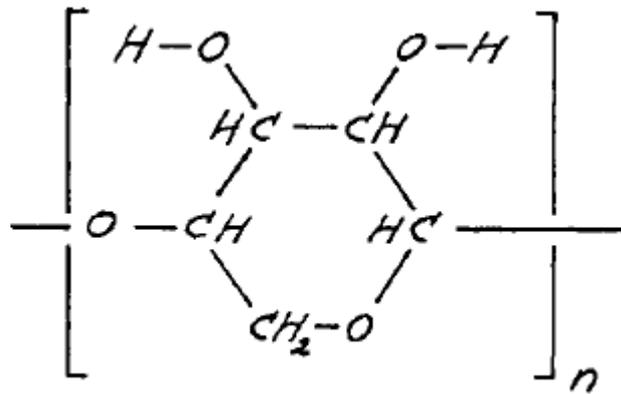


Ilustración 4: Estructura de las pentosanas. Fuente: *The chemistry and technology of furfural and its many products* (2000).

Cabe mencionar que las moléculas no son planas, sino que responden a una conformación tipo silla.

El mecanismo de reacción para la hidrólisis ácida consiste de las siguientes etapas:

- 1) Protonación de un oxígeno enlazante, formando un oxígeno trivalente
- 2) Ruptura de un enlace C-O dando lugar a la formación de un carbocatión y a una molécula de pentosa (cada uno de un lado del enlace puente éter en el cual se produjo la ruptura)
- 3) Incorporación de una molécula de agua al carbocatión, donde vuelve a formarse un oxígeno trivalente (con carga positiva)
- 4) Pérdida de un protón por parte del oxígeno trivalente, formando la molécula de pentosa.

Este mecanismo se repite en cada uno de los enlaces puente éter hasta que éstos desaparecen y quedan formadas las moléculas de pentosa individuales.

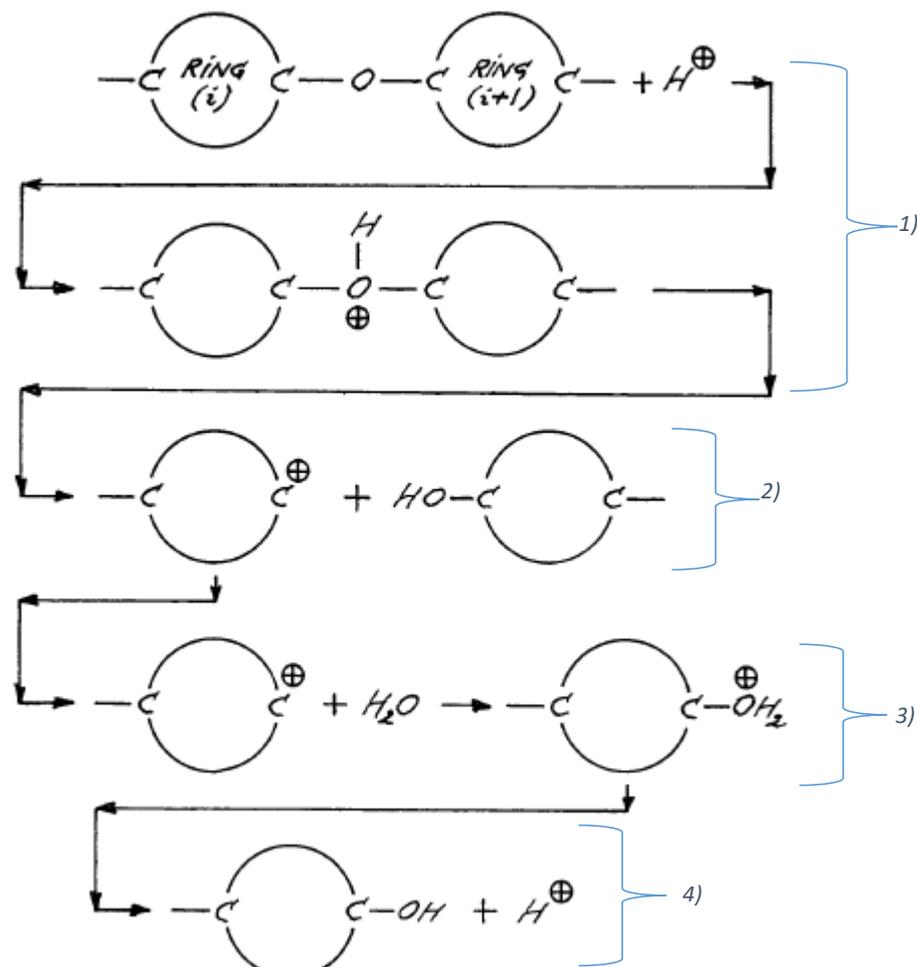


Ilustración 5: Mecanismo de reacción. Fuente: *The chemistry and technology of furfural and its many products* (2000).

La segunda etapa de la reacción es la deshidratación de las moléculas de pentosas formadas. Específicamente, tres moléculas de agua son perdidas para dejar lugar a nuestro producto de interés. De igual manera que en el caso anterior, esto no sucede en una etapa, sino que tiene lugar en varios pasos.

La molécula de pentosa tiene la siguiente estructura (hemiacetálica):

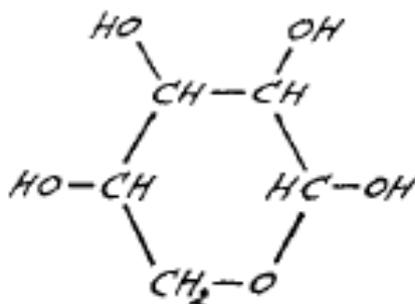


Ilustración 6: Estructura de la molécula de pentosa. Fuente: *The chemistry and technology of furfural and its many products* (2000).

Estas pérdidas de agua tienen lugar mediante reacciones de eliminación del tipo E1. Los protones provenientes del catalizador ácido se enlazan a cada uno de los tres oxígenos de los grupos oxhidrilos (no sobre el oxígeno que actúa como enlace dentro de la estructura cíclica), formando oxígenos trivalentes que luego romperán su enlace formando agua y un enlace doble dentro del anillo. Estas reacciones suceden de una a la vez, como puede verse en la siguiente ilustración:

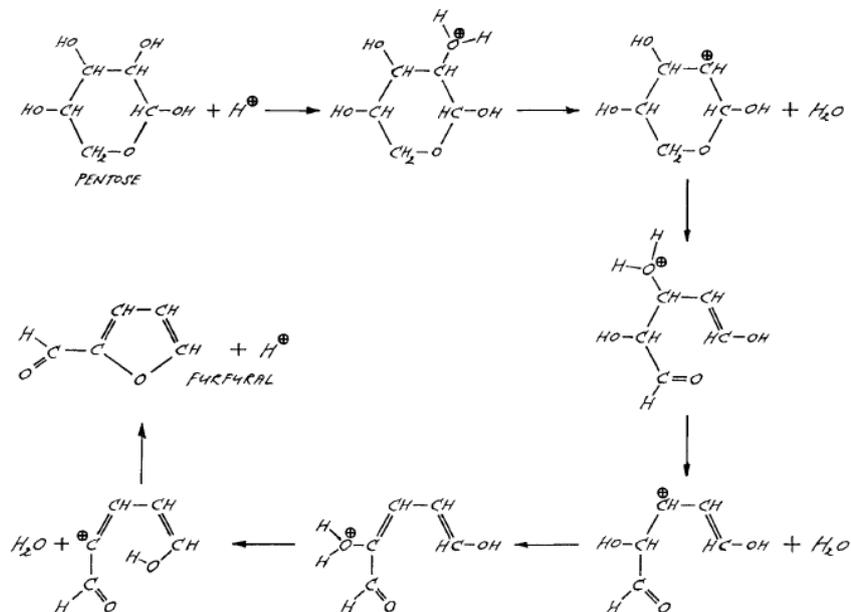


Ilustración 7: Mecanismo de reacción de la reacción de deshidratación.

En cuanto al rendimiento de reacción, los mismos ya fueron estimados en el capítulo anterior, siendo éste de 0,0866 g de furfural por cada gramo de cáscara de arroz húmeda.

Este proceso se lleva a cabo en un reactor tipo Batch, el cual se carga con la materia prima proveniente del silo de acumulación. Para transportarla se usa nuevamente un tornillo helicoidal inclinado cerrado, con paso corto.

Allí se rocía el catalizador (H_2SO_4) y una vez que el sistema está listo, comienza un flujo de vapor de agua (a 11 bar de presión) que arrastra al furfural que se va formando conforme transcurre el tiempo de reacción. Esta corriente vaporizada pasará después por un juego de válvulas reductoras de presión, llegando a 1 atm a la torre de destilación azeotrópica, donde se produce la primera etapa de separación del producto.

En cuanto a la cáscara, primero se lava in situ con agua para reducir la acidez (mientras tanto, ya estaría conectado el otro reactor, por lo que el proceso se mantiene continuo). Posteriormente se vaciará el tanque y el residuo con agua pasa a una centrífuga tipo decanter, como la de la ilustración 8. Ésta consiste en un nuevo tornillo que se mueve en forma helicoidal, pero en una carcasa que también rota a velocidad. Así, la fuerza centrífuga mueve los sólidos hacia las paredes, donde el tornillo los capta y lleva hacia una zona de sección transversal decreciente, que permite escurrir. Así, la cáscara sale y se lleva a una cadena de transporte nueva, mientras que el líquido sale a presión y se dirige hacia la zona de tratamiento.

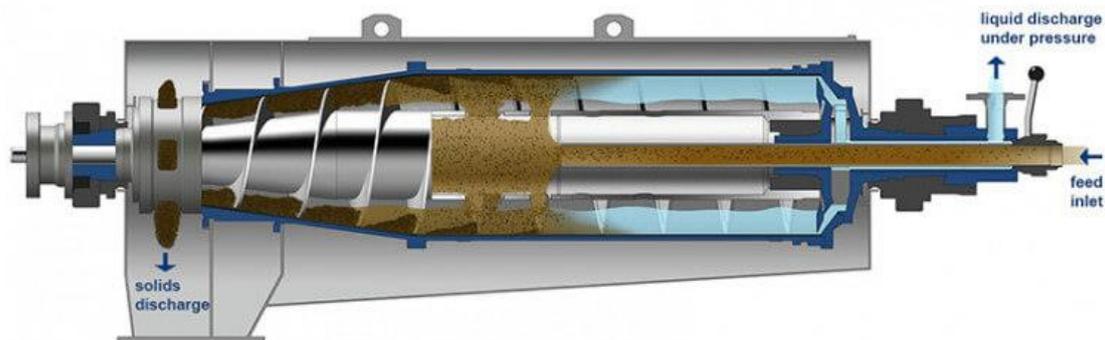


Ilustración 8. Esquema de una centrifuga de tornillo o decanter.

El sólido se someterá a la acción de una corriente de aire caliente durante el transporte, para secarlo, y se enviará a la sala de calderas, para usar como combustible.

6. DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA

La corriente que sale del reactor pasa por un juego de válvulas reductoras de presión e ingresa totalmente vaporizada a una torre de destilación primaria (de platos). La composición aproximada de esta corriente se muestra en la tabla 1:

Compuesto	%
H ₂ O	90
Furfural	6
Otros (Metanol, ácido acético, otros ácidos orgánicos)	4

Tabla 4: Composición de la corriente de ingreso a la torre

Se encuentra presente un azeótropo furfural/agua de punto de ebullición (a presión atmosférica) de 97.85°C, con un contenido de agua del 65%. La operación se realiza a presión atmosférica.

De este equipo obtendremos tres corrientes:

- ❖ Una corriente gaseosa correspondiente al azeótropo, que egresa lateralmente de la columna.
- ❖ Por la parte superior egresa una corriente gaseosa rica en compuestos volátiles (principalmente metanol, aunque también contiene parte de furfural y agua).
- ❖ Por la parte inferior egresa una mezcla de agua y ácidos carboxílicos, principalmente ácido acético.

La corriente que contiene al azeótropo (donde se encuentra nuestro producto de interés), es condensada y bombeada a un decantador.

La corriente rica en compuestos volátiles se condensa, y se almacena en tanques pulmón, para ser inyectada semanalmente en una torre de destilación nueva, que permita separar y aprovechar el metanol, que podrá ser comercializado o utilizado como combustible.

La corriente que egresa por el fondo de la columna se tratará y luego será volcada al curso de agua correspondiente.

7. DECANTACIÓN

El flujo que contiene al azeótropo, una vez condensado, ingresa al decantador. Allí, se separa para formar dos fases: una fase acuosa y una fase orgánica.

La fase orgánica contiene un 86% de furfural, y es bombeada a un tanque de neutralización. La acuosa, que aún posee un pequeño porcentaje de furfural, se recircula a la torre destilación, con el ingreso por debajo de la salida de la corriente azeotrópica.

8. NEUTRALIZACIÓN

La corriente rica en furfural, que proviene del tanque decantador, debe ser llevada a un pH más neutro para evitar las posibles reacciones secundarias de polimerización, que transformarían al furfural en compuestos orgánicos de mayor peso molecular. Para ello, se instala un sistema de control automático, de modo de dosificar soda cáustica en las cantidades necesarias para que el potencial de hidrógeno se mantenga en valores aceptables.

9. DESTILACIÓN SECUNDARIA (DESHIDRATACIÓN)

La corriente proveniente del tanque de neutralización tiene un porcentaje de furfural del 86%. La especificación técnica definida tiene un requerimiento de pureza del 98.5%, y, por lo tanto, debe realizarse una etapa adicional de purificación.

Esta etapa consiste en una destilación en una torre de platos, que operará en condiciones de presión análogas a la columna de destilación azeotrópica (presión atmosférica). De ella saldrán dos corrientes:

- ❖ Una corriente que consistirá en nuestro producto final con una pureza del 98.5%, que una vez condensado está listo para ser envasado.
- ❖ Una corriente que sale por la parte superior de la columna, compuesta principalmente por agua, con un pequeño contenido de furfural y de otros compuestos que no se hayan separado en la primera columna, como el ácido fórmico, pero en concentraciones muy bajas.

10. ESQUEMA GENERAL

A continuación, se verifica en la ilustración 9 el diagrama de flujo final del proceso.

Resumiendo, la cáscara que llega de Molinos Río de La Plata (CA-1) es molida en un molino de bolas, transportada por tornillo y llevada a un silo. Al momento de la reacción, se la lleva con otro tornillo a un reactor (CA-2). El producto se va como corriente gaseosa (MGAF-1) y comienza a verse un proceso continuo. Primero, una expansión con un juego de válvulas reductoras de presión para la corriente de producto (MLAF-1). Luego la destilación azeotrópica en la columna CDA, de donde sale una corriente de volátiles (MV-1), nuevamente destilada para obtener metanol comercializable (ME). El azeótropo (MGAF-2) sale por el medio de la CDA y se condensa y envía a un decantador. Allí se concentra la fase orgánica (MLFA-1) para seguir el proceso y se recircula otra fase (MLAF-3), más rica en agua, a la primera columna. La corriente con furfural se neutraliza agregando soda cáustica (HS) y se destila (MLFA-2) por última vez para obtener un producto al 98,5% (FG), que se condensa (FL) y lleva a 25°C en un intercambiador.

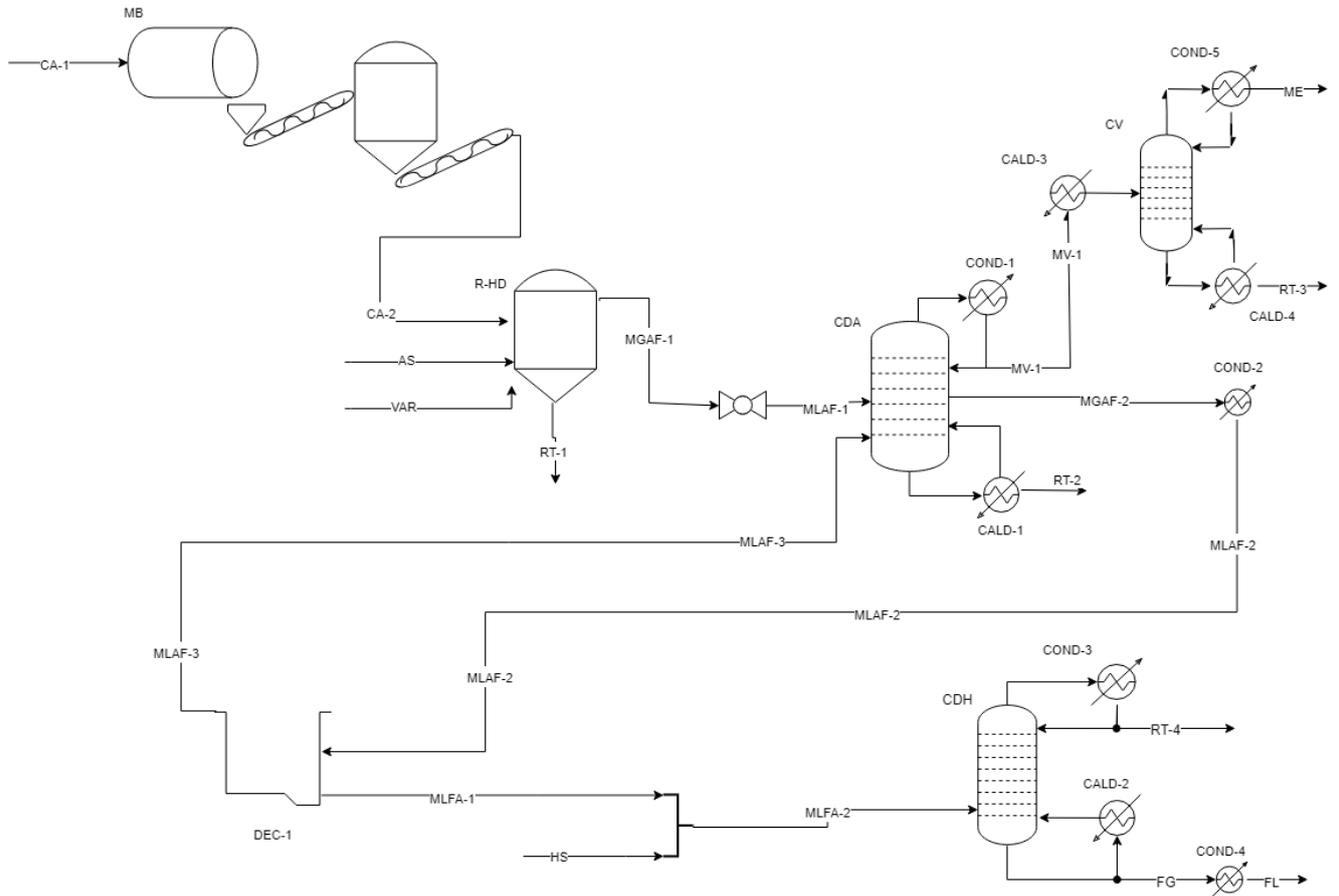


Ilustración 9. Esquema general del proceso.

11. BIBLIOGRAFÍA

Perry, Robert H. and Chilton, Cecil H. (1986). "Biblioteca del Ingeniero Químico" (Quinta Edición). Editorial McGraw-Hill

Lescano Bocanegra, Leslie Cristina (1998) "Obtención y Caracterización de Furfural a partir de Coronta de Maíz en la Región San Martín", Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

Harris, J.F and Smuk, J.M. (1958) "Engineering Calculations for the Distillation of the Furfural-Water System", Forest Products Laboratory, Forest Service U.S. Department of Agriculture

K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000.

Amar Singh, Kumudeswar Das y Durlubh K. Sharma: "Production of Xylose, Furfural, Fermentable Sugars and Ethanol from Agricultural Residues". Centre of Energy Studies and Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, New Delhi, India, 1983.

Hayelom Gebre, Kiros Fisha, Tsegalaul Kindeya, Tsigeiwot Gebremichal: "Synthesis of Furfural from Bagasse". Department of Chemical Engineering, Adama Science and Technology University, Adama, Etiopia, 2015.

Colombi, A. (2017). Material de cátedra de Operaciones Unitarias I. U.T.N. F.R.A.

Sitio web de Flottweg, proveedor de equipos para la industria, sobre las características de la centrífuga de tornillo. Página web:

<https://www.directindustry.es/prod/huber-technology/product-69228-825059.html>

[Fecha de consulta: 02/09/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 7: Balance de masa

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. GENERALIDADES	3
2. BALANCE DE MASA	3
2.1 Molino de bolas	3
2.2 Reactor	4
2.3 Primera columna de destilación	7
2.4 Torre de destilación auxiliar	9
2.5 Decantador	10
2.6 Neutralización	10
2.7 Columna de deshidratación	12
3 CORRIENTES AUXILIARES	13
3.1 RT-1	13
3.2 RT-2	14
3.3 RT-3 y RT-4	15
4. CONCLUSIONES	15

1. GENERALIDADES

Para realizar el balance de masa correspondiente al proceso productivo, se partió de la producción anual deseada (obtenida en el Capítulo 2: Estudio de mercado), de 1321 toneladas de furfural por año. Sin embargo, la unidad de producción escogida para una mejor visualización fue de kilogramos por día.

Para hacer el cambio de escala de la producción de anual a diaria, fue necesario tener en cuenta que, dado a la existencia de torres de destilación dentro del proceso, la planta trabajará las 24 horas del día, todos los días del año, exceptuando paradas programadas para mantenimientos preventivos.

$$\text{Producción diaria} = \frac{1321 \text{ toneladas/año}}{365 \text{ días/año}} = 3,62 \text{ toneladas/día} = 3620 \text{ kg/día}$$

El balance se desarrollará bloque por bloque, explicando en cada uno las consideraciones que realizamos y los datos utilizados.

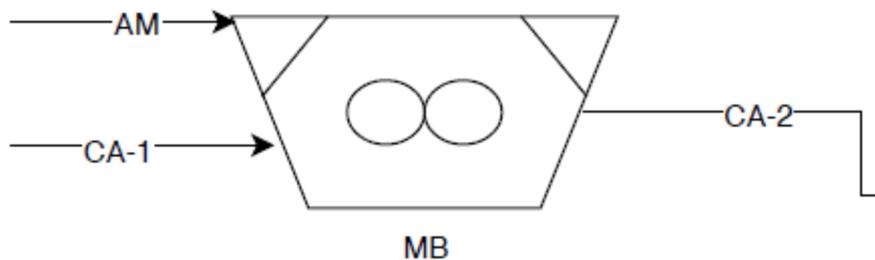
2. BALANCE DE MASA

2.1 Molino de bolas

Como ya se explicó, el proceso parte desde cáscara de arroz. Aquí, luego de revisar estudios (Fuente: Valverde G. Agustín, Sarria L. Bienvenido, Monteagudo Y. José P: "Análisis Comparativo de las Características Fisicoquímicas de la Cascarilla de Arroz". Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XIII, No 37, 2007), se decidió establecer una humedad promedio del 10% que acompaña la cáscara en la corriente denominada CA-1.

La corriente de entrada AM corresponde a un flujo de agua, que, en primera instancia, se decidió que sea nulo.

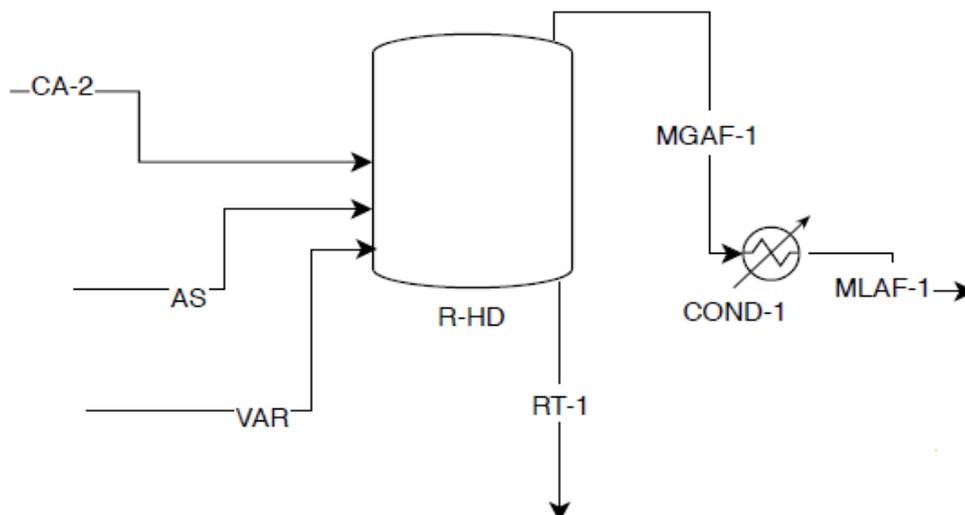
Por lo tanto, la corriente CA-2 representa la cáscara junto a su humedad con un tamaño menor que en la CA-1. Aquí se consideró que no existirán acumulaciones dentro del molino, ni pérdidas significativas de masa en polvillo.



CA-1	Agua	9,09%	4.200	kg/día
	Cáscara	90,91%	42.000	kg/día
Total		100,00%	46.200	kg/día

CA-2	Agua	9,09%	4.200	kg/día
	Cáscara	90,91%	42.000	kg/día
Total		100,00%	46.200	kg/día

2.2 Reactor



Junto con la corriente proveniente del molino, ingresará al reactor una corriente AS, formada por solución al 0.5% en peso de ácido sulfúrico utilizada para catalizar la hidrólisis posterior, en una relación de 1.5 kg de solución por cada 100 kg de alimentación (K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000.)

AS	Agua	99.50%	689.5	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0.50%	3.5	kg/día
Total		100.00%	693.0	kg/día

Luego, para calcular la corriente MGAF-1 se utilizó el dato de rendimiento de la reacción según las condiciones elegidas (explicado su elección en capítulos previos) de 8.66 kg de furfural por cada 100 kg de cáscara. Por otro lado, se realizó la consideración de que el 90% del ácido sulfúrico ingresado saldrá del reactor junto con la corriente de residuo RT-1, por lo que el 10% restante formará parte de MGAF-1.

De bibliografía (P. Steingaszner, A. Bálint and M. Kojnok: "Improvement of a Furfural Distillation Plant". Department of Chemical Technology, Technical University Budapest, 1976.), se sabe que el agua y el furfural de salida del reactor ronda el 90 y el 6% en peso, respectivamente, y que el resto corresponde a ácido acético, metanol (subproductos) y al ácido residual. En este punto es importante destacar que dentro del reactor también se forman otros subproductos, generalizados como "otros" (ácidos carboxílicos, principalmente ácido fórmico y variaciones del furfural), en cantidades despreciables cuando el valor de la corriente total es de 60.620 kg/día.

MGAF-1	Agua	91,20%	55.285,4	kg/día
	Furfural	6,00%	3.637,2	kg/día
	Ácido Acético	2,00%	1.212,4	kg/día
	Metanol	0,80%	484,6	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,00%	0,4	kg/día
	Otros	-	-	kg/día
Total		100,00%	60.620,0	kg/día

En este punto es necesario mirar los principales mecanismos de reacción participantes (K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000), el que da lugar a la formación de furfural (primera imagen) y aquel por el que se obtiene ácido acético (segunda imagen):

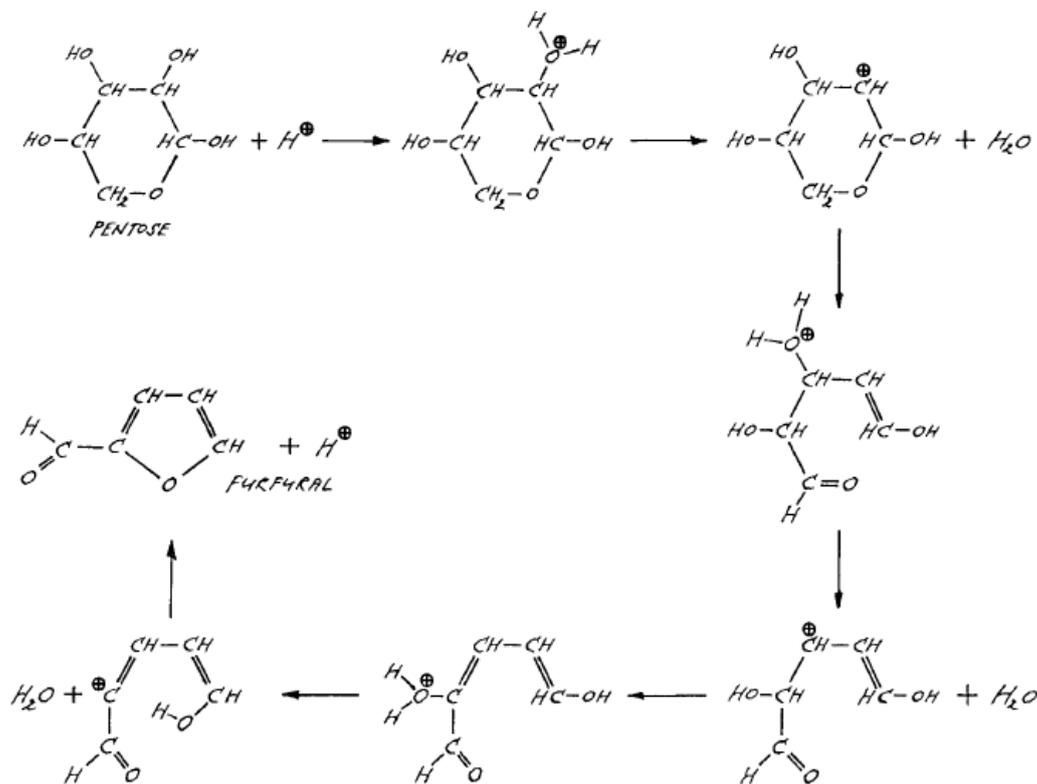


Ilustración 11: Mecanismo de reacción de formación de furfural a partir de pentosa. Fuente: K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000

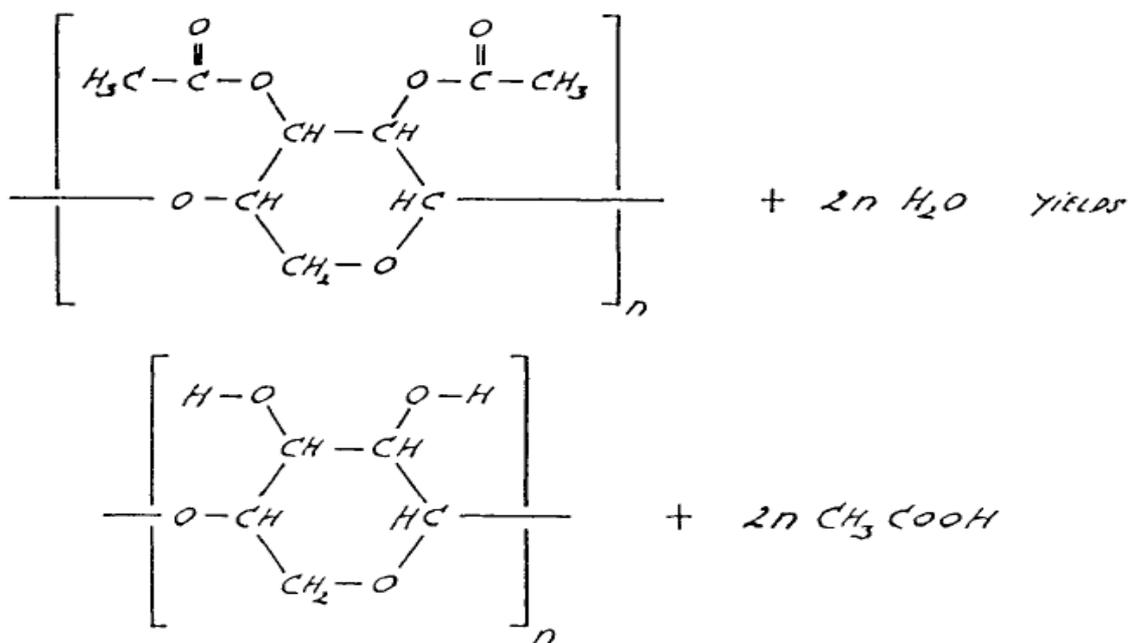


Ilustración 2: Mecanismo de reacción de formación de ácido acético a partir de pentosa. Fuente: K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000

En el primer mecanismo, se consume una pentosa para obtener los productos: una molécula de furfural y tres moléculas de agua; mientras que, en el segundo se consumen dos de agua para generar dos de acético. En este último mecanismo, las pentosas consumidas son una variación de las pentosas (doble acetiladas, PM: 216) que se encuentran en distintas proporciones dependiendo la materia prima, mientras que las pentosas generadas son las ya mencionadas anteriormente (en su forma polimérica, PM: 132).

La formación de metanol se da por una reacción de hidrólisis de la lignina que existe en un bajo porcentaje en la cáscara de arroz (Knut Lundquist y Lennart Ericsson: "Acid degradation of lignin", Capítulo VI: "Formation of methanol". Department of Organic Chemistry, University of Technology and University of Goteborg, 1971).

	kg/día	kmol/día
Cáscara ingresante	42000	
Pentosas ingresantes	9.450	63
Furfural producido	3.637	38
Agua generada	2.046	114
Pentosas consumidas	5.683	38
Ácido acético producido	1.212	20
Pentosas producidas	1.334	10
Pentosas consumidas	2.182	10
Agua consumida	364	20
Agua neta	1.682	93
Lignina consumida	485	
Cáscara agotada	34.983,235	

El cuadro anterior se explica de la siguiente forma: de la cáscara total ingresada al sistema, un 22,5% corresponde a las pentosas que pueden reaccionar. De los datos de salida del reactor más el rendimiento en base a la cáscara ingresante, se conoce cuánto furfural y ácido acético se forma. Por lo tanto, sabiendo que la reacción principal se da en relación 1:1 en moles, las pentosas consumidas son iguales al furfural generado (38 kmol/día). Además, se sabe que se producen 3 moles de agua por cada uno de furfural, por lo que se calcula el agua generada (38×3). Por otro lado, en la reacción secundaria se consume un mol de pentosa doble acetilada (PM=216) y dos de agua y se producen 2 moles de acético y uno de pentosa (PM=132). De esta forma, conociendo el acético formado, se calculan las pentosas consumidas 3 ($20/2$), el agua consumida (relación 1:1 con acético) y las pentosas producidas 2 ($20/2$). El agua neta es la resta entre el agua generada y consumida. La lignina consumida es igual a la cantidad de metanol generado (que se obtiene por los porcentajes de salida del reactor). Finalmente, la cáscara agotada surge de operar con las pentosas ingresantes, las producidas y las consumidas, y la lignina que se consumió.

De esta forma, es posible calcular la corriente de salida RT-1. Como se dijo anteriormente, se decidió que el 90% del ácido ingresante salga junto a esta corriente residual. Además, se decidió que la cáscara agotada abandone el reactor con casi un 15% de humedad.

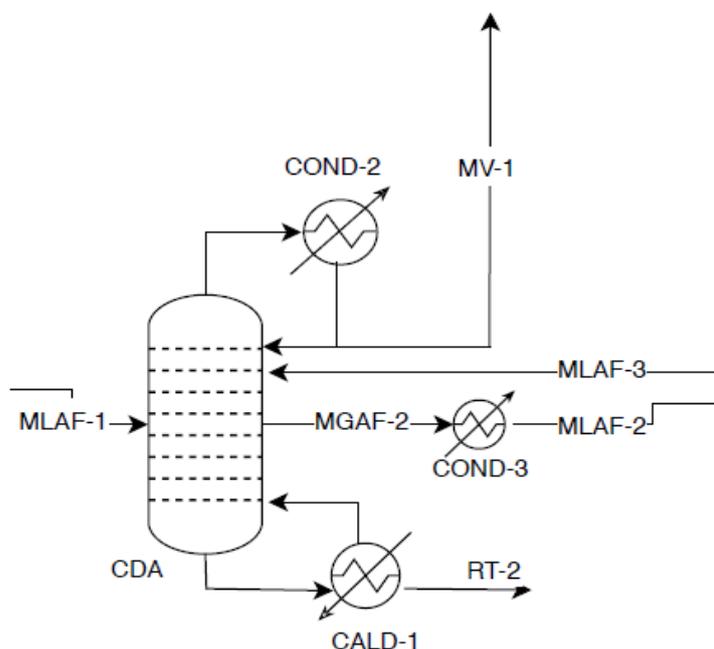
RT-1	Cáscara agotada	86,95%	34.983,2	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,01%	3,1	kg/día
	Agua	13,04%	5.247,5	kg/día
Total		100,00%	40.233,8	kg/día

Posteriormente, en otra sección de este capítulo, se explicará cómo se tratará este residuo.

Finalmente, realizando un balance de entradas más generado, menos salidas y consumos del agua, se obtiene la cantidad de vapor necesaria:

VAR	Agua	100,00%	53.961,2	kg/día
Total				kg/día

2.3 Primera columna de destilación



En esta primera columna, se encontrarán las siguientes corrientes:

- Alimentación: MLAF-1;
- Reciclo: MLAF-3, proveniente del decantador DEC-1, equipo que se encuentra aguas abajo de la torre;
- Residuo de tope de torre: MV-1
- Residuo de fondo de torre: RT-2
- Salida del producto: MGAF-2

Empezando por la corriente del producto deseado, de bibliografía se conoce que las composiciones de furfural y agua son de 35 y 65%, respectivamente. Se realizó la

consideración que todo el furfural que ingresa a la torre sale por esta corriente de producto deseado.

En esta corriente, se sigue despreciando la presencia de otros subproductos, por presentar valores muy chicos en comparación.

MGAF-2	Agua	65,0%	7.430	Tn/día
	Furfural	35,0%	4.001	Tn/día
	Ácido Sulfúrico	0,0%	0,00	Tn/día
	Otros	0,0%	0,00	Tn/día
Total		100,0%	11.431	Tn/día

Esta corriente pasa luego por un intercambiador de calor, nombrándose MLAF-2. Tanto en esta corriente, como en la anterior, se despreció también el ácido sulfúrico restante de la catálisis ácida. Sin embargo, se consideró que el pH de esta corriente está dado por la concentración de sulfúrico de la corriente MLAF-1:

$$pH = -\log_{10}(0,000057 * 2) = 3,9431$$

En cuanto a la corriente RT-2, se consideró que en ella sale el total del ácido acético entrante a la columna con una concentración del 3% en peso (K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000), junto al ácido sulfúrico ingresante y el resto agua:

RT-2	Agua	97,0%	39.201	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,0%	0,4	kg/día
	Ácido acético	3,0%	1.212	kg/día
Total		100,0%	40.413	kg/día

En la sección de corrientes auxiliares, se verá cómo se hace para neutralizar esta corriente.

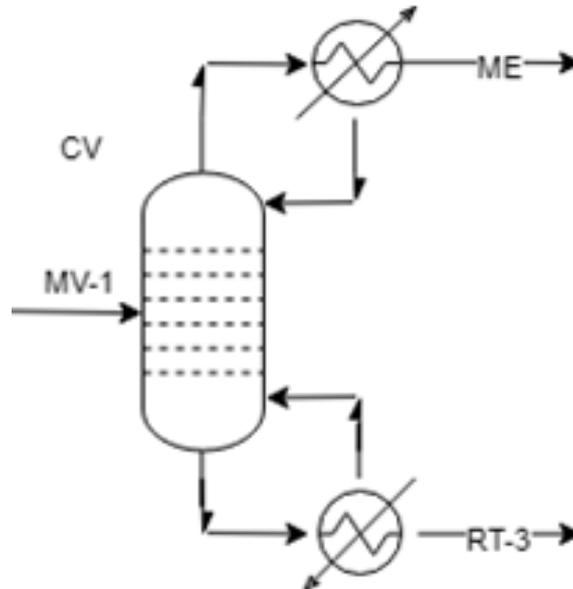
Pasando a la corriente MV-1, se consideró que todo el metanol sale por la misma. Aquí sí se discriminan los volátiles. Del metanol proveniente de la corriente MLAF-1, un 90% corresponde al alcohol, mientras que un 10% serán otros compuestos volátiles. Además, saldrá el agua restante.

MV-1	Metanol	2,7%	436	kg/día
	Otros volátiles	0,3%	48	kg/día
	Agua	97,0%	15.443	kg/día
Total		100,0%	15.928	kg/día

La corriente del reciclo MLFA-3 se explicará más adelante, pero ahora se mostrará para entender el balance:

MLFA-3	Agua	94,9%	6.788	Tn/día
	Furfural	5,1%	364	Tn/día
Total		100,0%	7.152	Tn/día

2.4 Torre de destilación auxiliar



A este equipo ingresa la corriente MV-1.

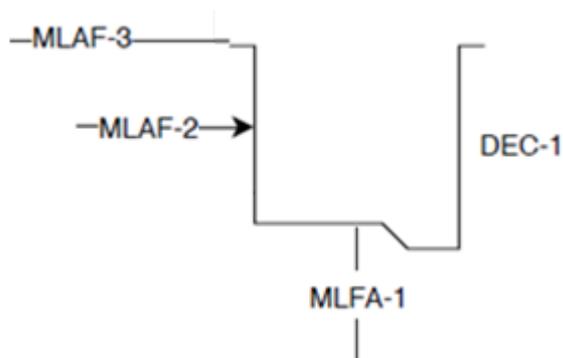
MV-1	Metanol	2,7%	436	kg/día
	Otros volátiles	0,3%	48	kg/día
	Agua	97,0%	15.443	kg/día
Total		100,0%	15.928	kg/día

En esta instancia, se consideró que la totalidad del metanol se obtiene en la corriente ME por el tope de la torre, con una concentración del 95% y el resto agua, mientras que el agua restante y los volátiles egresan por el fondo, con el nombre de la corriente RT-3.

RT-3	Otros volátiles	0,3%	48	kg/día
	Agua	99,7%	15.420	kg/día
Total		100,0%	15.469	kg/día

ME	Metanol	95,0%	436	kg/día
	Agua	5,0%	23	kg/día
Total		100,0%	459	kg/día

2.5 Decantador



En este equipo ingresa la corriente con el producto deseado que salió de la primera columna, MLAF-2.

MLAF-2	Agua	65,0%	7.430	kg/día
	Furfural	35,0%	4.001	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,0%	0,00	kg/día
	Otros	0,0%	0,00	kg/día
Total		100,0%	11.431	kg/día

Se produce la decantación y la consecuente concentración del furfural en una fase orgánica MLFA-1, alcanzando el 85% del total de esta corriente. Además, contiene una pequeña proporción de otros compuestos (ácidos orgánicos y variaciones de furfural) del 0,005% de la cantidad de furfural obtenida y el resto será agua.

MLFA-1	Agua	15,0%	642	kg/día
	Furfural	85,0%	3.637	kg/día
	Otros	0,004%	0,18	kg/día
Total		100,0%	4.279	kg/día

La corriente acuosa, MLAF-3 se recircula a la primera columna, teniendo un 10% del furfural original que entraba a este equipo, y el agua restante para cerrar el balance general del decantador.

MLAF-3	Agua	94,9%	6.788	kg/día
	Furfural	5,1%	364	kg/día
Total		100,0%	7.152	kg/día

2.6 Neutralización

Si bien, como se explicó anteriormente, en la corriente rica en furfural proveniente del decantador se despreció el ácido sulfúrico remanente de la reacción, se consideró que tiene un pH bajo, por lo que deberá neutralizarse, a fin de evitar reacciones secundarias e indeseadas. Este pH se calculó a partir de la concentración de ácido sulfúrico de la corriente MLFA-1 (la que entra a la columna de destilación azeotrópica), que es de 0,00057 % en peso:

MLFA-1	Agua	15,0%	642	kg/día
	Furfural	85,0%	3.637	kg/día
	Otros	0,004%	0,18	kg/día
Total		100,0%	4.279	kg/día

$$pH = -\log\left(\frac{0,00057 \text{ g } H_2SO_4}{100 \text{ g sc}} \frac{1 \text{ g sc}}{1 \text{ cm}^3 \text{ sc}} \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \frac{1 \text{ mol } H_2SO_4}{98 \text{ g } H_2SO_4} \frac{2 \text{ mol } H^+}{1 \text{ mol } H_2SO_4}\right) = 3,9431$$

$$pH = 3,9431 \rightarrow [H^+] = 10^{(-3,9431)} = 0,000114 \text{ mol/L} = [OH^-]$$

Calculando una densidad promedio de la mezcla MLFA-1:

$$0,85 \times 1,16 \frac{\text{kg}}{\text{L}} + 0,15 \times \frac{1 \text{ kg}}{\text{L}} = 1,136 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Por lo tanto, la cantidad de hidróxido de sodio a agregar es de:

$$NaOH = 0,000114 \frac{\text{mol } NaOH}{L_{MLFA-1}} \times \frac{1 L_{MLFA-1}}{1,136 \text{ kg}_{MLFA-1}} \times \frac{40 \text{ g } NaOH}{\text{mol } NaOH} \times \frac{1 \text{ kg } NaOH}{1000 \text{ g } NaOH} \\ \times \frac{4279 \text{ kg}_{MLFA-1}}{\text{día}} = 17 \text{ kg/día}$$

Por lo que la corriente de neutralización, teniendo en cuenta la concentración de venta del hidróxido de sodio, será:

HS	Agua	90,0%	155	kg/día
	NaOH	10,0%	17	kg/día
Total		100,0%	172	kg/día

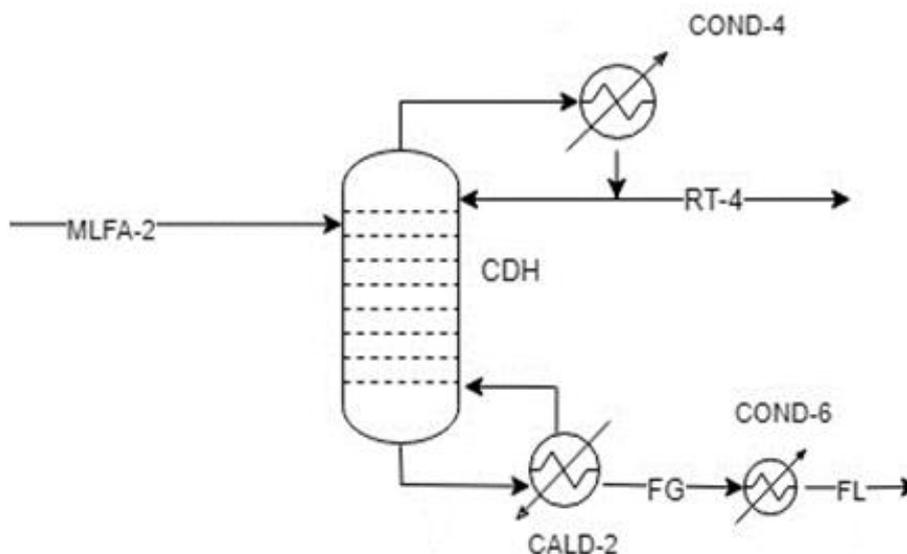
En primera instancia se había considerado realizar esta operación en un tanque de neutralización. Sin embargo, la corriente de soda a agregar es pequeña, por lo que se decidió realizar una neutralización en línea con un dosificador controlado mediante un medidor de pH continuo.

De esta forma, luego de la inyección de soda cáustica, se obtuvo una corriente con las siguientes características:

MLFA-2	Agua	18,3%	813	kg/día
	Furfural	81,7%	3.637	kg/día

	Polímeros	0,004%	0,18	kg/día
Total		100,0%	4.451	kg/día

2.7 Columna de deshidratación



En esta torre ingresan y salen las siguientes corrientes:

- Una corriente de alimentación MLFA-2 proveniente del tanque de neutralización;
- Una corriente residual de tope de torre RT-4;
- Una corriente FG con el producto deseado a la concentración final.

La corriente de alimentación ingresa a la columna a fin de obtener el furfural purificado con una concentración comercial de 98,5%. Las corrientes residuales acuosas de todo el proceso pueden tener hasta 500 ppm de furfural (K. J. Zeitsch: "The chemistry and technology of furfural and its many products". Elsevier, 2000). Por lo tanto, realizando el cálculo para encontrar que por la corriente RT-4 salga una cantidad de furfural, tal que sea de 500 ppm de todas las corrientes acuosas residuales, se obtuvo que se recuperará un 99,22% del furfural ingresante en la torre.

Por otro lado, en esta corriente también saldrán algunos compuestos, variaciones del furfural, que se producen a baja escala como reacciones secundarias (tales como furilmetil cetona o 5-metil furfural):

FG	Agua	1,50%	55	kg/día
	Otros	0,0%	0,09	kg/día
	Furfural	98,5%	3.609	kg/día
Total		100,0%	3.664	kg/día

Finalmente, la corriente que sale por el tope de la torre RT-4 estará formada por los ácidos carboxílicos (tales como el ácido fórmico) arrastrados junto con el agua restante y el furfural no recuperado:

RT-4	Otros	0,0%	0,09	kg/día
	Furfural	3,6%	28	kg/día
	Agua	96,4%	759	kg/día
Total		100,0%	787	kg/día

3. CORRIENTES AUXILIARES

En el proceso existen 4 corrientes de residuos, 3 de las cuales son acuosas y la restante es un residuo sólido. Será necesario tratar estas corrientes de alguna forma con el objetivo de mitigar los impactos ambientales que pueden generar.

Por esta razón, se calcularán determinadas corrientes auxiliares que ayudarán con este objetivo y no intervendrán en el proceso principal del sistema.

3.1 RT-1

Recordando la composición de esta corriente:

RT-1	Cáscara agotada	86,95%	34.983	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,01%	3	kg/día
	Agua	13,04%	5.247	kg/día
Total		100,00%	40.234	kg/día

Está formada por cáscara húmeda impregnada en ácido sulfúrico, por lo que será necesario lavarla y luego neutralizar el agua de lavado. Este proceso de lavado de la cáscara podrá darse en el mismo reactor una vez concluida la reacción y previo a la evacuación de la cáscara.

Para el lavado de la cáscara se utilizará agua en una relación de 2 litros por cada kg de cáscara agotada, despreciando el agua que la acompaña:

LRT-1	Agua	100%	69.966	kg/día
Total		100%	69.966	kg/día

Asumiendo que todo el ácido se irá con el agua de lavado y que la cáscara quedará con un 30% de humedad una vez escurrida, se obtendrán las siguientes corrientes de salida:

CA-3	Cáscara agotada	77%	34.983	kg/día
	Agua	23%	10.495	kg/día
Total		100%	45.478	kg/día

ALRT-1	Ácido Sulfúrico	0,005%	3	kg/día
	Agua	99,995%	64.719	kg/día
Total		100,00%	64.722	kg/día

El pH de esta corriente estará dado por:

$$pH = -\log\left(\frac{0,005 \text{ kg } \acute{a}c * 1 \text{ kg } sc * 1 \text{ kmol } \acute{a}c * 1000 \text{ mol } \acute{a}c * 2 \text{ mol } H^+}{100 \text{ kg } sc * 1 \text{ lt } sc * 98 \text{ kg } \acute{a}c * 1 \text{ kmol } \acute{a}c * 1 \text{ mol } + ac}\right) = 2,99 \rightarrow [H^+] = 10^{(-2,99)} = 0,00102$$

Por lo que la concentración de $[OH^-]$ a agregar es de 0,00102 M. Esto, llevado a términos de soda cáustica será:

$$NaOH = 0,00102 \frac{\text{mol } NaOH}{L_{ALRT-1}} \times \frac{1 L_{ALRT-1}}{1. \text{kg}_{ALRT-1}} \times \frac{40 \text{g } NaOH}{\text{mol } NaOH} \times \frac{1 \text{ kg } NaOH}{1000 \text{ g } NaOH} \times \frac{64.722 \text{ kg}_{ALRT-1}}{\text{día}} = 3 \text{ kg/día}$$

Por lo tanto, la solución comercial a utilizar será:

HS-2	NaOH	10,000%	3	kg/día
	Agua	90,000%	24	kg/día
Total		100,00%	27	kg/día

El agua de lavado será acumulada en una pileta y neutralizada mediante el ingreso de la corriente HS-2. Suponiendo ambas entradas constantes y un mezclado perfecto dentro de la misma, la corriente de salida será:

AL-1	Agua	100%	64.749	kg/día
Total		100%	64.749	kg/día

La corriente con la cáscara agotada y limpia podrá ser utilizada para quemar como fuente combustible para la caldera del proceso.

3.2 RT-2

RT-2	Agua	97,0%	39.201	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,0%	0,4	kg/día
	Ácido acético	3,0%	1.212	kg/día
Total		100,0%	40.413	kg/día

El pH de esta corriente se calculó despreciando al ácido sulfúrico, solo teniendo en cuenta al acético:

$$pH = \left(\frac{1212 \text{ kg } \acute{a}c * 1 \text{ kg } sc * 1 \text{ kmol } \acute{a}c * 1000 \text{ mol } \acute{a}c * 1 \text{ mol } H^+}{40.413 \text{ kg } sc * 1 \text{ lt } sc * 60 \text{ kg } \acute{a}c * 1 \text{ kmol } \acute{a}c * 1 \text{ mol } \acute{a}c} \right) = 0,5 \rightarrow [H^+] = 0,32$$

Por lo que la concentración de $[OH^-]$ a agregar es de 0,32 M. Esto, llevado a términos de soda cáustica será:

$$NaOH = 0,32 \frac{\text{mol } NaOH}{L_{RT-2}} \times \frac{1 L_{RT-2}}{1 \text{ kg}_{RT-2}} \times \frac{40 \text{ g } NaOH}{\text{mol } NaOH} \times \frac{1 \text{ kg } NaOH}{1000 \text{ g } NaOH} \times \frac{40.413 \text{ kg}_{RT-2}}{\text{día}}$$

$$= 511 \text{ kg/día}$$

Por lo tanto, la solución comercial a utilizar será:

HS-3	NaOH	10,000%	511	kg/día
	Agua	90,000%	4.601	kg/día
Total		100,00%	5.112	kg/día

Al igual que RT-1, la corriente RT-2 se acumulará en una pileta y se neutralizará con el ingreso de soda cáustica de la corriente HS-3. Si las entradas son constantes y el mezclado perfecto, la salida será de:

AL-2	Agua	100%	45.525	kg/día
Total		100%	45.525	kg/día

3.3 RT-3 y RT-4

Estas dos corrientes se acumularán en una pileta homogeneizadora, junto a las corrientes de agua de lavado provenientes de las dos neutralizaciones anteriores (AL-1 y AL-2) para su mezcla.

RT-3	Otros volátiles	0%	48	kg/día
	Agua	100%	15420	kg/día
Total		100%	15469	kg/día

RT-4	Otros	0,01%	0	kg/día
	Furfural	4,59%	28,3	kg/día
	Agua	95,39%	759	kg/día
Total		100,00%	787	kg/día

Suponiendo que las entradas y la salida son constantes, y la mezcla dentro de la pileta es perfecta, se obtendrá una corriente de salida igual a:

Vuelco	Otros (ác orgánicos)	0,0%	0,09	kg/día
	Furfural	0,0%	28,3	kg/día
	Agua	99,9%	126452	kg/día
	Otros volátiles	0,0%	48	kg/día
Total		100%	126529	kg/día

Esta corriente estará dentro de los parámetros permitidos para su vuelco en cursos de agua según la legislación vigente en la provincia de Entre Ríos. Tal como se indica en los capítulos de ubicación y estudio de impacto ambiental, esto se ve en la ley N° 6260, “de Prevención y Control de la Contaminación por parte de las Industrias”.

4. CONCLUSIONES

Para obtener la producción deseada, se necesita el ingreso de las siguientes corrientes:

- 42.000 kg/día de cáscara seca junto a 4.200 kg/día de humedad
- 693 kg/día de solución de ácido sulfúrico al 0,50%
- 53.961 kg/día de vapor en las condiciones enunciadas en el capítulo anterior
- Un total de 5.310 kg/día de solución de NaOH al 10%, de los cuales 172 kg/día son para el proceso principal y el restante para tratamiento de efluentes.
- 69.966 kg/día de agua de lavado

Obteniéndose de esta manera, las siguientes corrientes de salida:

- 3.664 kg/día de solución de furfural al 98,5%
- 45.748 kg/día de cáscara agotada acompañada de 23% de humedad
- 459 kg/día de solución de metanol al 95%
- 126.529 kg/día de agua tratada para su vuelco



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 8: Balance de energía

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

0. GENERALIDADES	2
1.1 Datos utilizados	2
2. BALANCE DE ENERGÍA	3
2.1. Molino de bolas	3
2.2. Reactor	3
2.3. Expansión y condensación	5
2.4. Primera columna de destilación	6
2.5. Columna de destilación de metanol	11
2.6. Decantador	14
2.7. Neutralización	14
2.8. Segunda columna (de deshidratación)	15
2.9. Fluidos de intercambio	18
3. CONCLUSIONES	21
4. BIBLIOGRAFÍA	22

Para tener a disposición toda esta información, se recurrió a la base de datos del programa Aspen HYSYS, y los resultados obtenidos se grafican en la tabla 1, a continuación.

Sustancia	T. ebullición (°C)	C. esp. líq. (Kcal/kg·°C)	Calor de vap. (Kcal/kg)	C. esp. vap. (Kcal/kg·°C)
Agua	100,00	1,00	539,36	0,49
Furfural	162	0,41	110,49	0,33
Acético	117,22	0,53	146,94	0,34
Fórmico	94,21	0,41	171,56	0,27
Metanol	68,18	1,24	304,36	0,36
Etanol	78,26	0,81	205,06	0,39

Tabla 1. Propiedades térmicas de las sustancias involucradas, a presión atmosférica.

La excepción es el calor específico de la cáscara de arroz, que se obtuvo de bibliografía, por no estar presente en la mencionada base de datos. El valor es de 0,52 kcal/kg·°C, aunque varía al pasar a ser el residuo de la reacción, ya que se reduce la cantidad de pentosas presentes en la misma. Para estimar el nuevo calor, se restó el porcentaje consumido y se tomó el nuevo como el total, según la siguiente fórmula:

$$C_{cáscara\ agotada} = \frac{(C_{cáscara} - \%_{pentosas\ consumidas} \cdot C_{pentosas})}{1 - \%_{pentosas\ consumidas}}$$

Así, el calor específico resultante fue de 0,55 kcal/kg·°C.

6. BALANCE DE ENERGÍA

6.1 Molino de bolas

La cáscara se transporta mediante cadenas Redler desde la empresa vecina, Molinos Río de La Plata. Por llegar desde el almacenamiento, se considera que entra al molino a temperatura ambiente. Al desprejar el calor agregado por el trabajo del equipo, la corriente CA-2 también saldrá a 25°C. Por lo tanto, se despreja la diferencia de entalpías, y no hay balance térmico a realizar para esta operación. Como se espera una producción discontinua en el molino, se envía la cáscara de tamaño reducido a un silo que la almacena, y desde allí se lleva a cada reactor al ser necesaria. Se explicó en el capítulo de balance de masa que se piensa almacenar hasta dos días de reserva de materia prima en este tanque de cerca de 125 m³. Entonces, es esperable que llegue a temperatura ambiente a la siguiente operación.

6.2 Reactor

Para el análisis del reactor se ven las llegadas de AS y CA-2, ambas a temperatura ambiente, porque el ácido y la cáscara llegan desde el almacenamiento. Por otro lado, entra el vapor a 11,165 bar, la presión requerida para el proceso. Aunque su temperatura de saturación en tales condiciones sea de cerca de 185°C, se ha decidido sobrecalentar hasta 190°C para evitar pérdidas por condensación. Las corrientes se visualizan en la figura 2, junto al equipo en cuestión, considerado adiabático.

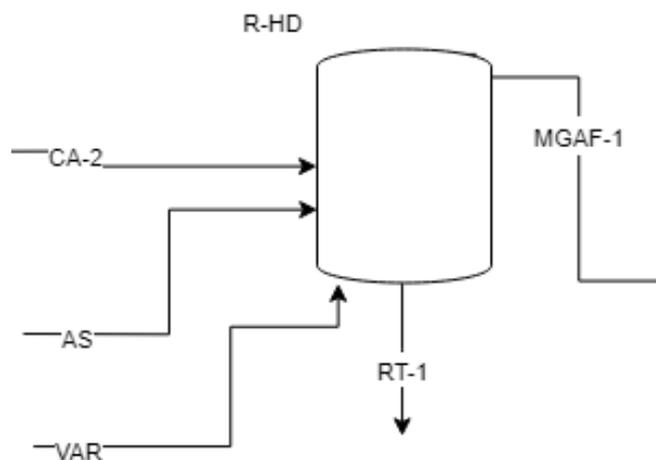


Figura 2. Reactor del proceso.

Como la planta a diseñar debe operar en forma continua, pero los reactores trabajan como semi-batch (el vapor sale continuamente, pero el sólido no), se ha decidido instalar dos equipos idénticos, que alternen en el funcionamiento. De esta manera, por preverse tiempos de reacción de 45 minutos para conseguir los resultados esperados, se deben realizar 32 ciclos por día. Además, se instalará otro reactor igual, para tener de reserva.

Bajo esta premisa, como el caudal de vapor según el balance de masa es de 53.961 kg/día, esto significa unos 1686 kg/ciclo y 37,47 kg/min. A 11,165 bar y 185°C, el volumen específico del vapor es de 0,17 m³/kg, por lo que el caudal volumétrico resulta en 6,55 m³/min.

Por otro lado, la cantidad de cáscara a trabajar por cada ciclo es de 1444 kg/ciclo (1465 contando el sulfúrico). De bibliografía, la densidad de esta materia prima es de 738 kg/m³, por lo que el volumen de reactor requerido sería de 1,985 m³. Para tener en cuenta accesorios y vapor se agregó un 30% del volumen por los primeros y 50% por el segundo, arrojando un volumen requerido final de 3,57 m³.

Según lo dicho, el tiempo de residencia del vapor sería de 0,15 minutos, llegando entonces a haber hasta 1 m³ dentro del reactor, lo que equivale a 5,68 kg. Como el fluido es sobrecalentado para evitar pérdidas por condensación, se considera que el calor que llega a entregar durante su estadía en el equipo es la diferencia entre la entalpía en este estado y en el punto de saturación, siendo éste el límite para evitar el pasaje a fase líquida. Entonces, el vapor puede aportar 3,70 kcal/kg, que se traduce en 21,02 kcal si todo el fluido que llega a estar dentro del reactor aporta todo este calor.

Por otro lado se presentan las reacciones químicas, siendo la de producción de furfural y de acético las más sobresalientes. Como no se pudo encontrar en bibliografía los datos de los calores involucrados en cada proceso químico, se decidió asociar cada uno a la hidrólisis de otro carbohidrato: la sacarosa. Cada hidrólisis libera 3,44 kcal/mol. Por lo tanto, en la formación de furfural, cuando se produce tres veces este proceso para generar 1,18 kmol/ciclo, se ve un calor de reacción de 12.218 kcal/ciclo. En cuanto al acético, la hidrólisis se produce en dos oportunidades, pero por cada mol de pentosa consumido aparecen dos del ácido. Entonces, se divide a la mitad el total, resultando en la liberación de 2.172 kcal/ciclo para la generación de los 0,68 kmol/ciclo de acético.

Aplicando el balance general de calor para el reactor:

$$H_{CA-2} + H_{AS} + H_{VAR} + Q_{Reacciones} = H_{RT-1} + H_{MGAF-1} + Q_{Perdido}$$

Los primeros dos términos se desprecian, porque, como se dijo, llegan a temperatura ambiente al equipo. El calor perdido también se considera nulo, y la diferencia entre la entalpía de VAR y de MGAF-1 es el calor que el vapor puede llegar a entregar. Resulta entonces:

$$H_{VAPOR} + Q_{Reacciones} = H_{RT-1}$$

$$H_{VAPOR} + Q_{Reacciones} = m_{ciclo} \cdot c_{RT-1} \cdot \Delta T$$

$$c_{RT-1} = c_{Cáscara\ agotada} \cdot \%Cáscara\ húmeda + c_{AS} \cdot \%AS + c_{Agua} \cdot \%Agua$$

$$c_{RT-1} = (0,55 \cdot 86,95\% + 0,7874 \cdot 0,01\% + 1 \cdot 13,04\%) \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} = 0,609 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$21,32\ kcal + 12.218\ kcal + 2.172\ kcal = (T - 25^\circ C) \cdot 1.465 \frac{kg}{ciclo} \cdot 0,609 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$T = 41,16^\circ C$$

Sumando los valores antes mencionados (21,32 kcal del vapor, 12.218 kcal por el furfural y 2.172 kcal por el acético) se tiene el calor total entregado. En cuanto a la entalpía de RT-1, se tomó las condiciones iniciales, cuando todavía no se tiene agotada la cáscara, para abarcar el máximo posible desde el primer momento de reacción. La temperatura de salida de esta corriente residual resultó ser de 41,16°C.

6.3 Expansión

Se mencionó que el vapor sale a 185°C y 11,165 bar, pero la columna opera a presión atmosférica. Por lo tanto, es necesario hacerlo pasar por un juego de válvulas reductoras de presión, que permitan una pérdida de carga suficiente como para llegar a este valor.

Por efecto de la expansión, es esperable que baje la temperatura de la corriente gaseosa, evaporando además algunas trazas líquidas que puedan haber llegado a este punto por el arrastre. Para calcular las condiciones se hizo uso del programa HYSYS, y el resultado obtenido es una disminución de la temperatura de 185°C a 169,1°C.

El esquema de este procedimiento se observa en la figura 3. El hecho de que el nombre de la corriente pase a ser MLAF-1 es una cuestión meramente de comodidad. Se trata de la corriente MGAF-1, que llega totalmente vaporizada a la torre de destilación.

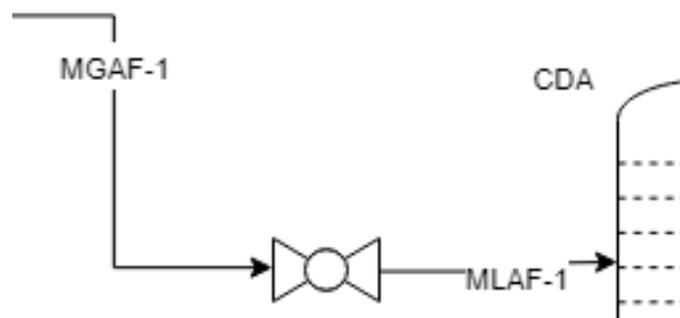


Figura 3. Salida del reactor, COND-1 y entrada a la torre de destilación CDA.

6.4 Primera columna de destilación

Para poder desarrollar el estudio de esta operación se consideraron dos condiciones relevantes: que tanto el condensador como el calderín trabajan en forma total. Esto es, que cada uno condensa o evapora toda la corriente que le llega. Para un equipo condensador de una torre de destilación esto es algo común, pero en el caso del calderín se trata de un claro sobredimensionamiento de la situación.

Aplicando un balance de energía para la operación, según lo que se aprecia en la figura 4, se tiene:

$$H_{MLAF-1} + H_{MLAF-3} + Q_{Calderín} = H_{RT-2} + H_{MV-1} + H_{MGAF-2} + Q_{Condensador}$$

Por lo mencionado antes, se sabe que MV-1 es completamente líquido, así que saldrá a la temperatura media de ebullición, y los calores de las sustancias son datos sabidos. Para RT-2 ocurre algo semejante, solo que además hay que agregar los calores de evaporación involucrados. Ambas entalpías pueden calcularse.

De MLAF-3 se sabe la composición, y se explicará en la siguiente operación por qué, pero la temperatura a la que llega es de 97,85°C.

Las condiciones de MLAF-1 ya se describieron al calcular la expansión.

Y de MGAF-2 se tienen las composiciones, y debe salir a la temperatura del azeótropo, 97,85°C.

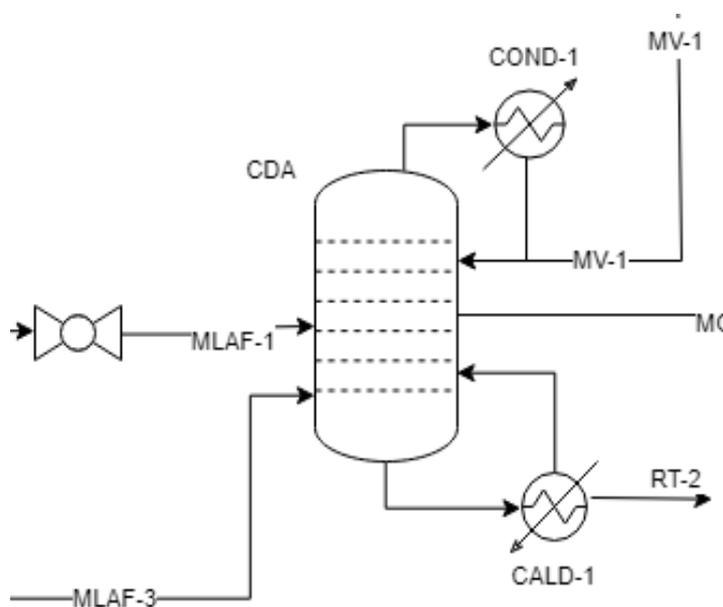


Figura 4. Torre de destilación azeotrópica.

El calor extraído en COND-1 es fácilmente calculable, ya que le llega una corriente totalmente vaporizada. Pero para CALD-1 no se puede saber en qué estado le llega el caudal de trabajo sin recurrir a un diseño estricto de la torre, por lo que el calor que este equipo debe aportar será la incógnita a despejar del balance energético.

De acuerdo a lo desarrollado en el balance de masa, las composiciones de MV-1 y RT-2 son las que se observan en la tabla 2.

MV-1	Metanol	2,74%	436,15	kg/día
	Otros volátiles	0,30%	48,46	kg/día
	Agua	96,96%	15.443	kg/día
Total		100,00%	15.928	kg/día
RT-2	Agua	97,00%	39,201	kg/día
	Ácido Sulfúrico	0,00%	0,351	kg/día
	Ácido acético	3,00%	1.212	kg/día
Total		100,00%	40.413	kg/día

Tabla 2. Composiciones de las salidas de tope y fondo de la torre CDA.

Para poder encontrar todos los datos precisados, se asoció la proporción de “otros volátiles” en la corriente de tope a etanol, uno de los “low boilers” (compuestos de bajo punto de ebullición) más abundantes en las operaciones de destilación primaria al producir furfural, según la bibliografía.

También se debió tener en cuenta que se generan otros ácidos carboxílicos además del acético, siendo el fórmico el más abundante con cerca de 10% del primero en cantidad. Así, el caudal de ácido en RT-2 se tomó como un 90% de acético y el resto del otro carboxílico.

Por lo tanto, las medias de ebullición fueron de 99,06°C para MV-1 y 100,44°C para RT-2. Y así se tienen ya todos los datos para obtener los valores del condensador y los flujos, despejando entonces el calor a aplicar en el calderín.

El cálculo entálpico se mostrará a continuación. Es necesario tener en cuenta que aplica los datos incluidos en la tabla 1 del presente capítulo y los caudales y porcentajes obtenidos del balance de masa. Para facilitar la comprensión, primeramente se mostrará un ejemplo con una corriente *i* tipo, cuya temperatura supera la de ebullición de sus componentes, *a*, *b* y *c*. Luego, se incluirán los cálculos para las corrientes reales, basados en este modelo.

$$\begin{aligned}
 H_i = Q_i \cdot & \left(\%_a \cdot \left(c_{esp_a} \cdot (T_{ebullición_a} - 25)^{\circ}C + \lambda_{vap_a} + c_{esp_{vapor a}} \right. \right. \\
 & \cdot (T_i - T_{ebullición_a}) \Big) + \%_b \\
 & \cdot \left(c_{esp_b} \cdot (T_{ebullición_b} - 25)^{\circ}C + \lambda_{vap_b} + c_{esp_{vapor b}} \right. \\
 & \cdot (T_i - T_{ebullición_b}) \Big) + \%_c \\
 & \cdot \left(c_{esp_c} \cdot (T_{ebullición_c} - 25)^{\circ}C + \lambda_{vap_c} + c_{esp_{vapor c}} \right. \\
 & \cdot (T_i - T_{ebullición_c}) \Big) \Big)
 \end{aligned}$$

Ahora bien, teniendo temperaturas de ebullición de 100°C para el agua, 169,1°C para el furfural, 117,22°C para el acético, 68,18°C para el metanol, 94,21°C para el fórmico y 78,26°C para el etanol, las fórmulas quedan como sigue.

$$\begin{aligned}
 H_{MLAF-1} = & 60.620 \frac{kg}{día} \\
 & \cdot \left(91,2\%_{agua} \right. \\
 & \cdot \left(c_{esp_{agua}} \cdot (100 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{agua}} + c_{esp_{vapor}} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 100^{\circ C}) \right) + 6\%_{furfural} \\
 & \cdot \left(c_{esp_{furfural}} \cdot (162 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{furfural}} + c_{esp_{vapor\ furf.}} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 162^{\circ C}) \right) + 2\%_{acético} \\
 & \cdot \left(c_{esp_{acético}} \cdot (117,22 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{acético}} + c_{esp_{vapor\ ac.}} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 117,22^{\circ C}) \right) + 0,8\%_{metanol} \\
 & \cdot \left(c_{esp_{metanol}} \cdot (68,18 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{metanol}} + c_{esp_{vapor\ met.}} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 68,18^{\circ C}) \right) \left. \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{MLAF-1} = & 60.620 \frac{kg}{día} \\
 & \cdot \left(91,2\%_{agua} \right. \\
 & \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (100 - 25)^{\circ C} + 539,36 \frac{kcal}{kg} + 0,49 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 100^{\circ C}) \right) + 6\%_{furfural} \\
 & \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (162 - 25)^{\circ C} + 110,49 \frac{kcal}{kg} + 0,33 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 162^{\circ C}) \right) + 2\%_{acético} \\
 & \cdot \left(0,53 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (117,22 - 25)^{\circ C} + 146,94 \frac{kcal}{kg} + 0,34 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 117,22^{\circ C}) \right) + 0,8\%_{metanol} \\
 & \cdot \left(1,24 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (68,18 - 25)^{\circ C} + 304,36 \frac{kcal}{kg} + 0,36 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right. \\
 & \cdot \left. (169,1^{\circ C} - 68,18^{\circ C}) \right) \left. \right)
 \end{aligned}$$

$$H_{MLAF-1} = 36.895.927 \frac{kcal}{día}$$

Se explicará cuando se desarrolle el decantador, pero se sabe que la temperatura de MLAF-3 es de 97,85°C.

$$H_{MLAF-3} = 7.152 \frac{kg}{día} \cdot \left(94,9\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (97,85 - 25)^{\circ C}) + 5,1\%_{furfural} \cdot (c_{esp_{furfural}} \cdot (97,85 - 25)^{\circ C}) \right)$$

$$H_{MLAF-3} = 7.152 \frac{kg}{día} \cdot \left(94,9\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (97,85 - 25)^{\circ C} \right) + 5,1\%_{furfural} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (97,85 - 25)^{\circ C} \right) \right)$$

$$H_{MLAF-3} = 505.419 \frac{kcal}{día}$$

Para el residuo, cabe recordar que la temperatura que adquiere es de 100,44°C.

$$H_{RT-2} = 40.413 \frac{kg}{día} \cdot \left(97\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (100,44 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{agua}}) + 2,7\%_{acético} \cdot (c_{esp_{acético}} \cdot (100,44 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{acético}}) + 0,3\%_{fórmico} \cdot (c_{esp_{fórmico}} \cdot (100,44 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{fórmico}}) \right)$$

$$H_{RT-2} = 40.413 \frac{kg}{día} \cdot \left(97\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (100,44 - 25)^{\circ C} + 539,36 \frac{kcal}{kg} \right) + 2,7\%_{acético} \cdot \left(0,53 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (100,44 - 25)^{\circ C} + 146,94 \frac{kcal}{kg} \right) + 0,3\%_{fórmico} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (100,44 - 25)^{\circ C} + 171,56 \frac{kcal}{kg} \right) \right)$$

$$H_{RT-2} = 24.329.239 \frac{kcal}{día}$$

En cuanto a la corriente de volátiles, se dijo que salen condensados a 99,06°C.

$$H_{MV-1} = 15.928 \frac{kg}{día} \cdot \left(97\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (99,06 - 25)^{\circ C}) + 2,7\%_{metanol} \cdot (c_{esp_{metanol}} \cdot (99,06 - 25)^{\circ C}) + 2,7\%_{etanol} \cdot (c_{esp_{etanol}} \cdot (99,06 - 25)^{\circ C}) \right)$$

$$\begin{aligned}
 H_{MV-1} &= 15.928 \frac{kg}{día} \\
 &\cdot \left(97\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (99,06 - 25)^\circ C \right) + 2,7\%_{metanol} \right. \\
 &\cdot \left(1,24 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (99,06 - 25)^\circ C \right) + 0,3\%_{etanol} \\
 &\cdot \left. \left(0,81 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (99,06 - 25)^\circ C \right) \right) \\
 H_{MV-1} &= 1.186.856 \frac{kcal}{día}
 \end{aligned}$$

Recordando que el azeótropo se forma a los 97,85°C, se tiene para su corriente la entalpía como sigue:

$$\begin{aligned}
 H_{MGAF-2} &= 11.431 \frac{kg}{día} \\
 &\cdot \left(65\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (97,85 - 25)^\circ C + \lambda_{vap_{agua}}) + 35\%_{furfural} \right. \\
 &\cdot \left. (c_{esp_{furfural}} \cdot (97,85 - 25)^\circ C + \lambda_{vap_{furfural}}) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{MGAF-2} &= 11.431 \frac{kg}{día} \\
 &\cdot \left(65\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (97,85 - 25)^\circ C + 539,36 \frac{kcal}{kg} \right) + 35\%_{furfural} \right. \\
 &\cdot \left. \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (97,85 - 25)^\circ C + 110,49 \frac{kcal}{kg} \right) \right) \\
 H_{MGAF-2} &= 5.110.601 \frac{kcal}{día}
 \end{aligned}$$

En lo que refiere al condensador que trabaja sobre MV-1, se toma como que trabaja en forma total, condensando todo, así que resulta:

$$\begin{aligned}
 Q_{COND-1} &= 15.928 \frac{kg}{día} \cdot (97\% \cdot \lambda_{vap_{agua}} + 2,7\% \cdot \lambda_{vap_{metanol}} + 0,3\% \cdot \lambda_{vap_{etanol}}) \\
 Q_{COND-1} &= 15.928 \frac{kg}{día} \cdot \left(97\% \cdot 539,36 \frac{kcal}{kg} + 2,7\% \cdot 304,36 \frac{kcal}{kg} + 0,3\% \cdot 205,06 \frac{kcal}{kg} \right) \\
 Q_{COND-1} &= 8.472.005 \text{ kcal/día}
 \end{aligned}$$

Finalmente, puede resolverse el balance para esta columna de destilación.

$$\begin{aligned}
 Q_{calderín} &= H_{RT-2} + H_{MV-1} + H_{MGAF-2} + Q_{Condensador} - (H_{MLAF-1} + H_{MLAF-3}) \\
 Q_{calderín} &= 24.329.239 \frac{kcal}{día} + 1.186.856 \frac{kcal}{día} + 5.110.601 \frac{kcal}{día} + 8.472.005 \frac{kcal}{día} \\
 &\quad - \left(36.895.927 \frac{kcal}{día} + 505.419 \frac{kcal}{día} \right) \\
 Q_{CALD-1} &= 1.697.354 \text{ kcal/día}
 \end{aligned}$$

También, en el equipo usado para condensar la corriente azeotrópica se tiene:

$$Q_{COND-2} = 11.431 \frac{kg}{día} \cdot (65\% \cdot \lambda_{vap_{agua}} + 35\% \cdot \lambda_{vap_{furfural}})$$

$$Q_{COND-2} = 11.431 \frac{kg}{día} \cdot \left(65\% \cdot 539,36 \frac{kcal}{kg} + 35\% \cdot 110,49 \frac{kcal}{kg} \right)$$

$$Q_{COND-2} = 4.449.658 \text{ kcal/día}$$

6.5 Columna de destilación de metanol

La corriente de tope de la torre CDA contiene una cantidad apreciable de metanol, por lo que se ha decidido separarlo del resto del flujo mediante una destilación, para poder comercializarlo.

Sin entrar demasiado en detalle en el diseño de este equipo, se ha decidido que opere durante dos días de la semana, ya que resulta más rentable que tener una operación continua toda la semana, de acuerdo al caudal que se trabaja. Por esto, se necesita acumular el caudal MV-1 que va llegando en tanques pulmón. Esto significa que el líquido quedará estancado por unos días hasta que llegue el momento de su paso por la torre. Por lo tanto, llegaría a enfriarse hasta la temperatura ambiente (25°C).

Pero la idea es que la corriente de entrada llegue en su punto de rocío a la operación, por lo que se vuelve necesario instalar un nuevo calderín, CALD-3 como se ve en la figura 5, para vaporizar el contenido de los tanques pulmón.

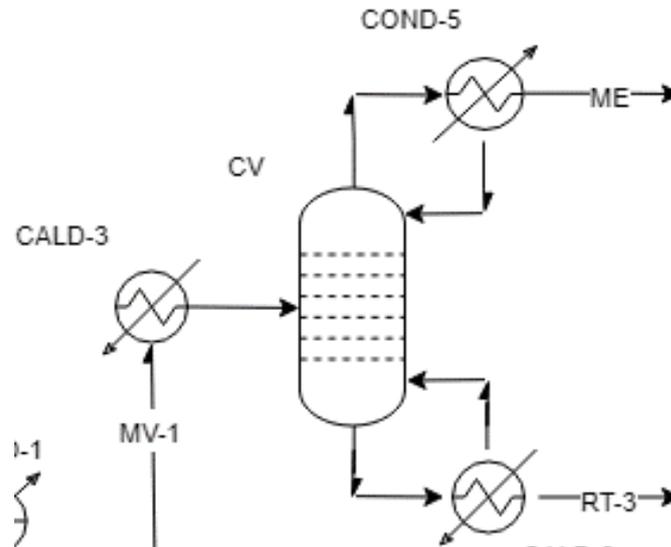


Figura 5. Destilador para separar el metanol.

Entonces, los caudales y composiciones con las que opera la columna de volátiles (CV) quedarían como se observa en la tabla 3.

MV-1	Metanol	2,7%	436	kg/día
	Otros volátiles	0,3%	48	kg/día
	Agua	97%	15.443	kg/día
Total		100%	15.928	kg/día

ME	Metanol	95%	436	kg/día
	Agua	5%	23	kg/día
Total		100%	459	kg/día
RT-3	Metanol	0,0%	0	kg/día
	Otros volátiles	0,3%	49	kg/día
	Agua	99,7%	15.420	kg/día
Total		1,000	15.469	kg/día

Tabla 3. Composiciones de las salidas de tope y fondo de la torre CV.

Para saber el calor a intercambiar en el calentador de los fluidos de los tanques pulmón, se verificó lo requerido para llevar a punto de rocío la corriente completa, cuyo punto de ebullición por promedio ponderado resulta en 99°C.

$$\begin{aligned}
 Q_{CALD-3} = 15.928 \frac{kg}{día} & \cdot \left(97\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (99 - 25)^{\circ}C + \lambda_{vap_{agua}}) + 0,3\%_{etanol} \right. \\
 & \cdot (c_{esp_{etanol}} \cdot (78,26 - 25)^{\circ}C + \lambda_{vap_{etanol}} + c_{esp_{vapor\ met.}} \\
 & \cdot (99^{\circ}C - 78,26^{\circ}C)) + 2,7\%_{metanol} \\
 & \cdot (c_{esp_{metanol}} \cdot (68,18 - 25)^{\circ}C + \lambda_{vap_{metanol}} + c_{esp_{vapor\ met.}} \\
 & \cdot (99^{\circ}C - 68,18^{\circ}C)) \left. \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{CALD-3} = 15.928 \frac{kg}{día} & \cdot \left(97\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (99 - 25)^{\circ}C + 539,36 \frac{kcal}{kg} \right) + 0,3\%_{etanol} \right. \\
 & \cdot \left(0,81 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (78,26 - 25)^{\circ}C + 205,06 \frac{kcal}{kg} + 0,39 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right. \\
 & \cdot (99^{\circ}C - 78,26^{\circ}C) \left. \right) + 2,7\%_{metanol} \\
 & \cdot \left(1,24 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (68,18 - 25)^{\circ}C + 304,36 \frac{kcal}{kg} + 0,36 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right. \\
 & \cdot (99^{\circ}C - 68,18^{\circ}C) \left. \right) \left. \right)
 \end{aligned}$$

$$Q_{CALD-3} = 9.646.516 \frac{kcal}{día}$$

Ahora bien, en forma análoga a lo hecho en la columna anterior, se realizaron los balances de energía para calcular el calor necesario en los equipos de intercambio involucrados.

$$H_{MV-1} + Q_{Calderín} = H_{RT-3} + H_{ME} + Q_{Condensador}$$

Para la entalpía de MV-1, se llevó desde la referencia, los 25°C de temperatura ambiente, hasta el punto de rocío. Por lo tanto, su entalpía será igual al calor entregado en el calentador CALD-3.

$$H_{MV-1} = Q_{CALD-3} = 9.646.516 \frac{kcal}{día}$$

Por promedio ponderado, la temperatura de RT-3 resulta en 99,93°C, mientras que la de ME, en 69,77°C.

$$H_{RT-3} = 15.469 \frac{kg}{día} \cdot \left(99,7\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (99,93 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{agua}}) + 0,3\%_{etanol} \cdot (c_{esp_{etanol}} \cdot (78,26 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{etanol}} + c_{esp_{vapor\ et.}} \cdot (99,93^{\circ C} - 78,26^{\circ C})) \right)$$

$$H_{RT-3} = 15.469 \frac{kg}{día} \cdot \left(99,7\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (99,93 - 25)^{\circ C} + 539,36 \frac{kcal}{kg} \right) + 0,3\%_{etanol} \cdot \left(0,81 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (78,26 - 25)^{\circ C} + 205,06 \frac{kcal}{kg} + 0,39 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (99,93^{\circ C} - 78,26^{\circ C}) \right) \right)$$

$$H_{RT-3} = 9.484.821 \frac{kcal}{día}$$

$$H_{ME} = 459 \frac{kg}{día} \cdot \left(5\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (69,77 - 25)^{\circ C}) + 95\%_{metanol} \cdot (c_{esp_{metanol}} \cdot (69,77 - 25)^{\circ C}) \right)$$

$$H_{ME} = 459 \frac{kg}{día} \cdot \left(5\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (69,77 - 25)^{\circ C} \right) + 95\%_{metanol} \cdot \left(1,24 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (69,77 - 25)^{\circ C} \right) \right)$$

$$H_{ME} = 25.339 \frac{kcal}{día}$$

En cuanto al equipo COND-5:

$$Q_{Condensador} = 459 \frac{kg}{día} \cdot (95\% \cdot \lambda_{vap_{metanol}} + 5\% \cdot \lambda_{vap_{agua}})$$

$$Q_{\text{Condensador}} = 459 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot \left(95\% \cdot 304,36 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 5\% \cdot 539,36 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)$$

$$Q_{\text{Condensador}} = 145.151 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

Y así se tienen todos los datos para resolver el balance de energía de la columna de destilación CV.

$$Q_{\text{Calderín}} = H_{RT-3} + H_{ME} + Q_{\text{Condensador}} - (H_{MV-1})$$

$$Q_{\text{Calderín}} = 9.484.821 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} + 25.339 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} + 145.151 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} - \left(9.646.516 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} \right)$$

$$Q_{\text{Calderín}} = Q_{\text{CALD-4}} = 8.796 \text{ kcal/día}$$

6.6 Decantador

Para esta operación no tiene mucho sentido realizar un balance de energía. Tal como se observa en la figura 6, entra solo una corriente a un equipo tomado como adiabático, por lo que no hay variación de temperatura. Por lo tanto, tanto MLAF-3 como MLFA-1 salen a 97,85°C, la temperatura del azeótropo, que es con la que llega MLAF-2.

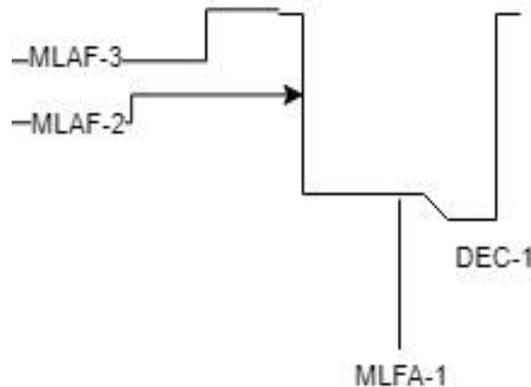


Figura 6. Esquema del decantador.

Así queda explicado por qué se dijo que MLAF-3 llegaba a 97,85°C a la torre de destilación anterior (CDA).

6.7 Neutralización

Como puede notarse en la figura 7, se ha prescindido de la aplicación de un tanque de neutralización por las pequeñas cantidades de solución de soda cáustica comercial que deben aplicarse (cerca de 0,2 kg/día), por lo que se representa el agregado directo de ésta (HS) a la corriente MLFA-1, que pasa a ser MLFA-2.



Figura 7. Agregado de la solución de soda cáustica a la corriente de proceso.

El caudal tan bajo que se agrega logra modificar apenas la temperatura inicial ($97,85^{\circ}\text{C}$), justamente por lo grande que es la corriente principal en comparación (4.279 kg/día). La soda llega desde el almacenamiento, a temperatura ambiente, por lo que se torna despreciable su entalpía.

$$H_{MLFA-1} + H_{HS} = H_{MLFA-2}$$

$$m_{MLFA-1} \cdot c_{MLFA-1} \cdot \Delta T + 0 = m_{MLFA-2} \cdot c_{MLFA-2} \cdot \Delta T$$

$$4.279 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot 0,49890 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (97,85^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) + 0 = 4.279 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot 0,49892 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (T_{MLFA-2} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$T_{MLFA-2} = 97,844^{\circ}\text{C}$$

6.8 Segunda columna (de deshidratación)

Este caso, apreciable en la figura 8, es similar al de la primera columna: se considera condensador y calderín totales, por lo que las temperaturas de salida de fondo y tope son las medias de ebullición en cada caso.

$$H_{MLFA-2} + Q_{Calderín} = H_{RT-4} + H_{FG} + Q_{Condensador}$$

Aunque de nuevo existen proporciones en ambas corrientes que merecen un análisis especial. Como se ve en la tabla 4, en RT-4 y FG se presenta una fracción de "otros". En el primer caso, se trata de las trazas remanentes de ácido fórmico que podrían llegar hasta este punto del proceso. En caso de presentarse, se irían como residuo. También se aprecia que algo de furfural necesariamente se elimina con el agua como residuo, ya que no se puede separar en forma perfecta.

Para FG, "otros" incluye dos variantes del furfural: el 5-metil furfural y la furil metil cetona. Según datos bibliográficos, es muy difícil encontrar el producto comercialmente sin la presencia de estas especies, así que lo que se hace es asegurar que la concentración de la sustancia no baje del 98,5%.

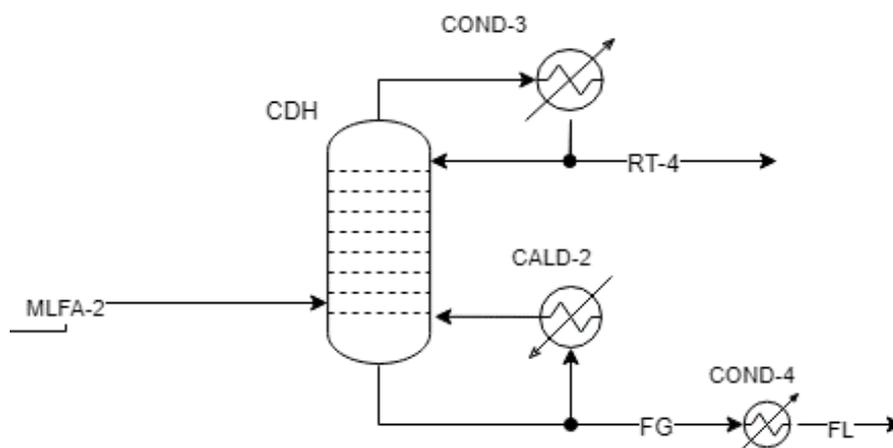


Figura 8. Torre de deshidratación, CDH.

RT-4	Otros	0,0148%	0,091	kg/día
	Furfural	4,5926%	28,26	kg/día
	Agua	95,39%	587	kg/día
Total		100%	615,36	kg/día
FG	Agua	1,4975%	54,87	kg/día
	Otros	0,0025%	0,091	kg/día
	Furfural	98,5%	3.609	kg/día
Total		100%	3.664	kg/día

Tabla 4. Composiciones de las salidas de tope y fondo de la torre.

Aplicando los datos conocidos, la temperatura media de ebullición de RT-4 es de 102,85°C, y de FG, de 161,07°C. Con el procedimiento ya indicado, se tiene:

$$H_{MLFA-2} + Q_{Calderín} = H_{RT-4} + H_{FG} + Q_{Condensador}$$

Así que se debe proceder a los cálculos entálpicos tal como se hizo para las otras columnas. La primera corriente llegaba desde el decantador, a 97,84°C.

$$H_{MLFA-2} = 4.279 \frac{kg}{día} \cdot \left(15\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (97,84 - 25)^{\circ C}) + 85\%_{furfural} \cdot (c_{esp_{furfural}} \cdot (97,84 - 25)^{\circ C}) + 0,004\%_{fórmico} \cdot (c_{esp_{fórmico}} \cdot (97,84 - 25)^{\circ C}) \right)$$

$$H_{MLFA-2} = 4.279 \frac{kg}{día} \cdot \left(15\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (97,84 - 25)^{\circ C} \right) + 85\%_{furfural} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (97,84 - 25)^{\circ C} \right) + 0,004\%_{fórmico} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (97,84 - 25)^{\circ C} \right) \right)$$

$$H_{MLFA-2} = 155.521 \frac{kcal}{día}$$

Para RT-4 y FG se usan sus medias de ebullición, saliendo el primero condensado y el segundo evaporado, por haber pasado por COND-3 y CALD-2, respectivamente.

$$H_{RT-4} = 615 \frac{kg}{día} \cdot \left(95,3926\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (102,85 - 25)^{\circ C}) + 4,5926\%_{furfural} \cdot (c_{esp_{furfural}} \cdot (102,85 - 25)^{\circ C}) + 0,0148\%_{fórmico} \cdot (c_{esp_{fórmico}} \cdot (102,85 - 25)^{\circ C}) \right)$$

$$H_{RT-4} = 615 \frac{kg}{día} \cdot \left(95,3926\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (102,85 - 25)^{\circ C} \right) + 4,5926\%_{furfural} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (102,85 - 25)^{\circ C} \right) + 0,0148\%_{fórmico} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (102,85 - 25)^{\circ C} \right) \right)$$

$$H_{RT-4} = 46.602 \frac{kcal}{día}$$

$$H_{FG} = 3.664 \frac{kg}{día} \cdot \left(1,5\%_{agua} \cdot (c_{esp_{agua}} \cdot (100 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{agua}} + c_{esp_{vapor}} \cdot (161,07 - 100)) + 98,5\%_{furfural} \cdot (c_{esp_{furfural}} \cdot (161,07 - 25)^{\circ C} + \lambda_{vap_{furfural}}) \right)$$

$$H_{FG} = 3.664 \frac{kg}{día} \cdot \left(1,5\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (100 - 25)^{\circ C} + 539,36 \frac{kcal}{kg} + 0,49 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (161,07 - 100)^{\circ C} \right) + 98,5\%_{furfural} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (161,07 - 25)^{\circ C} + 110,49 \frac{kcal}{kg} \right) \right)$$

$$H_{FG} = 635.680 \frac{kcal}{día}$$

Ahora, para el condensador que trabaja con RT-4 el calor se ve así:

$$Q_{COND-3} = 615 \frac{kg}{día} \cdot (95,3926\% \cdot \lambda_{vap_{agua}} + 4,5926\% \cdot \lambda_{vap_{furfural}} + 0,0148\% \cdot \lambda_{vap_{fórmico}})$$

$$Q_{COND-3} = 615 \frac{kg}{día} \cdot \left(95,3926\% \cdot 539,36 \frac{kcal}{kg} + 4,5926\% \cdot 110,49 \frac{kcal}{kg} + 0,0148\% \cdot 171,56 \frac{kcal}{kg} \right)$$

$$Q_{COND-3} = 319.745 \frac{kcal}{día}$$

Entonces ya no falta ningún calor para resolver el balance y saber lo intercambiado en el calderín.

$$Q_{Calderín} = H_{RT-4} + H_{FG} + Q_{Condensador} - H_{MLFA-2}$$

$$Q_{Calderín} = 46.602 \frac{kcal}{día} + 635.690 \frac{kcal}{día} + 319.745 \frac{kcal}{día} - \left(155.521 \frac{kcal}{día} \right)$$

$$Q_{CALDERÍN} = 846.515 \text{ kcal/día}$$

Por último, en el equipo COND-4 se buscará llevar el furfural a fase líquida para almacenarlo así, pero además se llevará a 25°C para aprovechar su energía para calentar agua, ahorrando combustible (esto se explicará mejor cuando se detallen los cálculos de fluidos de intercambio). En este enfriador, el calor extraído es:

$$Q_{COND-4} = 3663,9 \frac{kg}{día} \cdot \left(1,5\%_{agua} \cdot \left(1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (100 - 25)^\circ C + 539,36 \frac{kcal}{kg} + 0,49 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (161,07 - 100)^\circ C \right) + 98,5\%_{furfural} \cdot \left(0,41 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (161,07 - 25)^\circ C + 110,49 \frac{kcal}{kg} \right) \right)$$

$$Q_{COND-4} = 635.680 \text{ kcal/día}$$

6.9 Fluidos de intercambio

Se ha decidido usar agua a 25°C como refrigerante, que se llevará hasta distintos puntos, de acuerdo a la temperatura y condiciones de la corriente a enfriar. Para calentar el fluido elegido es vapor de agua a presión atmosférica. El calor que podrá entregar es en cada caso todo el disponible hasta llegar al punto de burbuja: 539,36 kcal/kg.

La energía requerida por cada equipo y las condiciones se verifican en la tabla 5, que sigue. En ella se ve los casos de calderines y condensadores, que se suponen que trabajan a una temperatura constante, por buscar meramente cambios de fase, y los casos de los intercambiadores COND-4, que enfría el furfural final para que quede a temperatura ambiente, y CALD-3, que calienta el contenido de los tanques pulmón, hasta evaporarlos completamente (punto de rocío). Las filas de color azulado indican un enfriamiento o condensación, las de color cálido, un calentamiento o evaporación de las corrientes de proceso.

Etapa	Equipo	Calor requerido (kcal/día)	Temperatura (°C)
Columna CDA	COND-1	8.472.005	99,06
	CALD-1	1.697.354	100,45
	COND-2	4.449.658	121,70
Columna de deshidratación	COND-3	319.744	102,85
	CALD-2	846.506	161,07
	COND-4	635.680	De 161,07 a 25
Columna de volátiles	COND-5	145.152	69,77
	CALD-4	8.796	99,93
	CALD-3	9.646.516	De 25 a 99,06

Tabla 5. Condiciones de intercambio de calor.

El calor extraído por cada kilogramo de agua refrigerante dependerá de hasta qué punto pueda llevarse este fluido. En caso de que la temperatura de la corriente a enfriarse lo permita, se llevará el agua hasta 90°C, considerando también que debe luego enfriarse si se quiere disponerla a menos de 45°C (lo exigido por la ley de Entre Ríos para las corrientes a temperatura).

$$\dot{m}_{agua} = \frac{Q_{equipo}}{Q_{tomado}}$$

El primer condensador, de la torre azeotrópica, es COND-1.

$$\dot{m}_{agua\ COND-1} = \frac{8.472.005\ kcal/día}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (90 - 25)^\circ C} = 130.339 \frac{kg}{día}$$

Para el condensador que trabaja con el azeótropo se usó el término COND-2.

$$\dot{m}_{agua\ COND-2} = \frac{4.449.658\ kcal/día}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (90 - 25)^\circ C} = 68.456 \frac{kg}{día}$$

Siguiendo se ve el equipo de la torre de deshidratación de furfural, el COND-3.

$$\dot{m}_{agua\ COND-3} = \frac{319.744\ kcal/día}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (90 - 25)^\circ C} = 4.919 \frac{kg}{día}$$

El siguiente es el equipo que enfría el producto final, conocido como COND-4.

$$\dot{m}_{agua\ COND-4} = \frac{635.680\ kcal/día}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (90 - 25)^\circ C} = 9.780 \frac{kg}{día}$$

Por último está el equipo que trabaja con la torre de volátiles, COND-5, que llega a calentar hasta 69,77°C, la temperatura de condensación de la corriente con que trabaja.

$$\dot{m}_{agua\ COND-5} = \frac{145.152\ kcal/día}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (69,77 - 25)^\circ C} = 3.242 \frac{kg}{día}$$

Para los calentamientos, el caudal de vapor necesario se obtiene según:

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{Q_{requerido \text{ por el equipo}}}{539,36 \frac{kcal}{kg}}$$

Así, para cada uno de los calentadores usados se requiere un caudal de vapor como se detalla a continuación.

$$\dot{m}_{vapor \text{ CALD-1}} = \frac{1.697.354 \text{ kcal/día}}{539,36 \frac{kcal}{kg}} = 3.147 \frac{kg}{día}$$

$$\dot{m}_{vapor \text{ CALD-2}} = \frac{846.506 \text{ kcal/día}}{539,36 \frac{kcal}{kg}} = 1.569 \frac{kg}{día}$$

$$\dot{m}_{vapor \text{ CALD-3}} = \frac{9.646.516 \text{ kcal/día}}{539,36 \frac{kcal}{kg}} = 17.885 \text{ kg/día}$$

$$\dot{m}_{vapor \text{ CALD-4}} = \frac{8.796 \text{ kcal/día}}{539,36 \frac{kcal}{kg}} = 16 \text{ kg/día}$$

Entonces, los caudales finales requeridos quedan tal como se muestra en la tabla 6. De nuevo, las filas azuladas indican un consumo de agua fría y las de color cálido uno de vapor saturado.

Equipo	Caudal requerido (kg/día)
COND-1	130.339
CALD-1	3.147
COND-2	68.456
COND-3	4.919
CALD-2	1.569
COND-4	9.780
COND-5	3.242
CALD-4	57
CALD-3	17.885

Tabla 6. Caudales de agua y vapor a usarse en los equipos de intercambio.

Dadas las grandes cantidades requeridas tanto para COND-1 como para CALD-3, se ha decidido implementar un cruce de corrientes para precalentar el contenido de los tanques pulmón. Se implementará una válvula de tres vías, de manera que el condensador se alimente de agua a 25°C los días que no se opere con la torre CV y con el líquido de los tanques cuando sí se use la columna. Así, todo el calor liberado en el equipo condensador esos días será absorbido por el caudal a destilar para obtener metanol, y las exigencias para el calentador serán menores. Claro que ambos equipos estarán igualmente preparados para trabajar con agua y vapor, respectivamente, en el caso de que el cruce no logre los resultados esperados.

$$Q_{CALD-3} = Q_{inicial} - Q_{COND-1} = 9.646.516 \frac{kcal}{día} - 8.472.005 \frac{kcal}{día} = 1.174.511 \frac{kcal}{día}$$

Recordando que se calienta con vapor saturado hasta el punto de burbuja a presión atmosférica, el nuevo caudal requerido es:

$$\dot{m}_{vapor\ CALD-3} = \frac{1.174.511 \frac{kcal}{día}}{539,36 \frac{kcal}{kg}} = 2.178 \frac{kg}{día}$$

El sistema permite usar unas 15,7 toneladas menos de vapor por día.

7. CONCLUSIONES

Se verifica en la tabla 7 las temperaturas de las corrientes de salida, donde cada RT- representa un caudal residual, que debe ser tratado antes de la disposición.

Corriente	Temperatura (°C)
RT-1	41,93
RT-2	101,09
RT-3	91,33
ME	91,33
RT-4	102,85
FL	161,07

Tabla 7. Temperaturas de las corrientes de salida.

Además, todas las corrientes que ingresan al proceso lo hacen a temperatura ambiente, excepto por el vapor (VAR), que llega a 190°C y 11,165 bar.

El consumo total de vapor para calentamiento es de 4.716 kg/día cuando la columna de metanol no opera y de 6.910 kg/día cuando ésta sí lo hace.

El consumo de agua refrigerante total es de 213.494 kg/día cuando no se destila metanol y de 83.397 kg/día cuando sí se hace (el consumo baja por el cruce de corrientes antes mencionado).

Si bien son caudales grandes, se debe tener en cuenta en primer medida que los cálculos son sobreestimativos, para los casos en que todos los condensadores y calderines de las torres operen cambiando de fase la totalidad de las corrientes con las que operan. En la realidad puede que las cantidades necesitadas sean mucho menores, pero para evitar inconvenientes conviene tener las instalaciones listas para cualquier eventualidad.

También se debe ver que, para reducir los costos, se aprovecharía la energía extraída en los condensadores para generar vapor o calentar agua, reduciendo mucho las exigencias energéticas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Zeitsch, K. J. (2000). The chemistry and technology of furfural and its many products, Elsevier.

Biblioteca de datos del programa Aspen HYSYS. Versión 7.3 (25.0.4.7337). Copyright (c) 1997-2011 Aspen Technology, Inc.

SciELO (Scientific Electronic Library Online), sobre las propiedades de la cáscara de arroz. Página web:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000100006

[Fecha de consulta: 05/06/2019]

Definicion.de, sitio sobre información general, sobre las características de los polisacáridos. Página web:

<https://definicion.de/polisacaridos/> [Fecha de consulta: 05/06/2019]

Tombari, E. (2007). Kinetics and thermodynamics of sucrose hydrolysis from real-time enthalpy and heat capacity measurements, American Chemical Society. DOI: 10.1021/jp067061p.

TLV, Compañía Especialista en Vapor, sobre las propiedades del vapor de agua en distintas condiciones. Página web:

<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/superheated-steam-table.html> [Fecha de consulta: 05/06/2019]

Chemical book, sitio informativo sobre productos químicos, sobre las propiedades de la 2-furil metil cetona. Página web:

https://www.chemicalbook.com/ProductMSDSDetailCB2397274_EN.htm [Fecha de consulta: 05/06/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 9: Diseño de equipos

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN	2
1. TORRE DE DESTILACIÓN	2
1.1 Termodinámica y equilibrio	2
1.2 Diseño de la torre – Método de McCabe-Thiele	5
1.3 Diseño de la torre - Dimensionamiento	10
2. REACTOR	21
2.1. Proceso	22
2.2. Dimensiones	23
2.3. Material	24
2.4. Aislación	26
2.5. Complementos	27
3. TANQUES PULMÓN	29
4. CONDENSADOR	30
5. OTROS DISEÑOS	38
5.1. Silo de cáscara molida	38
5.2. Decantador	39
5.3. Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico	40
5.4. Tanque de almacenamiento de agua	41
5.5. Tanque de almacenamiento de metanol	42
5.6. Tanque de almacenamiento de furfural	42
5.7. Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio	43
5.8. Tanques de tratamiento biológico	43
6. BIBLIOGRAFÍA	46

0. INTRODUCCIÓN

Partiendo desde los capítulos anteriores del presente proyecto, se procedió a diseñar tres equipos, seleccionados en conjunto con los profesores de la cátedra. Estos son el reactor del proceso (si bien existirán tres, su diseño es común), la torre de destilación que concentra el metanol y un condensador. Además, se incluyen los cálculos estimativos de los tanques pulmón a instalar, complementarios al funcionamiento de la mencionada torre.

1. TORRE DE DESTILACIÓN

En este equipo ingresa la corriente que sale del tope de la torre azeotrópica, que presenta la siguiente composición:

MV-1	Metanol	2,7%	436	kg/día
	Otros volátiles	0,3%	48	kg/día
	Agua	97,0%	15.443	kg/día
Total		100,0%	15.928	kg/día

El objetivo de la torre será separar el metanol, obteniendo así una corriente concentrada que luego podrá ser utilizada. Por su bajo contenido, para el diseño de este equipo se despreció la presencia de otros volátiles, que fueron considerados como metanol. De esta forma, la corriente que ingresa tiene la siguiente composición:

MV-1	Metanol	3%	484	kg/día
	Agua	97%	15443	kg/día
Total		100%	15927	kg/día

1.1 Termodinámica y equilibrio

Antes de empezar con el diseño del equipo, fue necesario obtener los datos termodinámicos de los dos compuestos que intervienen (metanol y agua) y generar las curvas de equilibrio líquido-vapor y de temperatura vs composición para la mezcla. Todos los datos utilizados a continuación fueron obtenidos del Web Book de NIST (<https://webbook.nist.gov/>).

La construcción de estas curvas fue posible gracias a la ecuación de Antoine (relaciona la presión de vapor de un compuesto con su temperatura mediante una serie de coeficientes distintos para cada componente), la ley de Raoult (establece que la presión de vapor parcial para un componente en una mezcla ideal de líquidos equivale a la presión de vapor del componente puro multiplicado por la fracción molar en la mezcla), la ley de Dalton (para mezcla de gases ideales, la presión parcial de un gas es igual a la presión total de la mezcla multiplicado por la fracción molar del gas) y la combinación entre estas dos últimas (en el equilibrio, la presión de vapor total de la solución es la suma de las presiones de vapor parciales de cada componente):

Ecuación de Antoine:

$$\log Pv = A - \frac{B}{C + T}$$

Donde Pv es la presión de vapor del elemento en bares, A, B y C son coeficientes específicos para cada compuesto y T es la temperatura en Kelvin.

Valores de los coeficientes:

Coeficiente	Metanol	Agua
A	5,15853	4,6543
B	1569,613	1435,264
C	-34,846	-64,848

Ley de Raoult:

$$Pv = x_a \cdot Pv_a + x_b \cdot Pv_b$$

Donde Pv es la presión de vapor del componente a en la mezcla, Pva es la presión de vapor del componente a puro y xa es la fracción molar del componente a.

Ley de Dalton:

$$P' = P \cdot y_a$$

Donde P' es la presión parcial del gas en la mezcla, ya es la fracción molar del gas y P es la presión total de la mezcla.

Combinación entre Ley de Raoult y Ley de Dalton:

$$y_a = \frac{P_a}{P} = \frac{x_a \cdot Pv_a}{P}$$

A partir de estas expresiones y mediante un método de prueba y error (que fue resuelto por el complemento Solver del Excel para mayor precisión), se calculó la temperatura a la cual la presión de vapor de la mezcla fuera igual a la presión atmosférica para distintas composiciones de la mezcla, es decir, el punto de burbuja.

El procedimiento para hacerlo mediante prueba y error es el siguiente:

- Se propone una temperatura y mediante la ecuación de Antoine se calculan las presiones de vapor de metanol y agua;
- Con estas presiones y las fracciones molares se calcula la presión de mezcla total. Si es igual a presión atmosférica, la temperatura propuesta corresponde al punto de burbuja para dicha concentración. Si no lo es, se vuelve al primer paso.

x met	x agua	Temp. p. burbuja [K]	Pv met [bar]	Pv agua [bar]	Pv total [bar]
0	1	373,21	3,31	1,00	1,00
0,05	0,95	370,06	2,99	0,89	1,00
0,1	0,9	367,19	2,73	0,81	1,00
0,15	0,85	364,60	2,50	0,73	1,00
0,2	0,8	362,20	2,31	0,67	1,00
0,25	0,75	359,98	2,14	0,62	1,00
0,3	0,7	357,95	2,00	0,57	1,00

Producción de furfural a partir de cáscara de arroz. Capítulo 10: Diseño de un sistema de control automático de procesos

0,35	0,65	356,04	1,87	0,53	1,00
0,4	0,6	354,27	1,76	0,50	1,00
0,45	0,55	352,60	1,66	0,46	1,00
0,5	0,5	351,03	1,56	0,44	1,00
0,55	0,45	349,58	1,48	0,41	1,00
0,6	0,4	348,16	1,41	0,39	1,00
0,65	0,35	346,83	1,34	0,37	1,00
0,7	0,3	345,57	1,28	0,35	1,00
0,75	0,25	344,38	1,22	0,33	1,00
0,8	0,2	343,23	1,17	0,32	1,00
0,85	0,15	342,14	1,12	0,30	1,00
0,9	0,1	341,11	1,08	0,29	1,00
0,95	0,05	340,08	1,04	0,28	1,00
1	0	339,13	1,00	0,26	1,00

Por otro lado, operando con la combinación entre las dos leyes se obtuvieron los datos de equilibrio líquido-vapor para la mezcla metanol-agua, que se volcaron en la siguiente tabla:

P total [bar]	xmet	y_{met}
1,00	0	0
1,00	0,05	0,15
1,00	0,1	0,27
1,00	0,15	0,38
1,00	0,2	0,46
1,00	0,25	0,54
1,00	0,3	0,60
1,00	0,35	0,65
1,00	0,4	0,70
1,00	0,45	0,74
1,00	0,5	0,78
1,00	0,55	0,82
1,00	0,6	0,85
1,00	0,65	0,87
1,00	0,7	0,90
1,00	0,75	0,92
1,00	0,8	0,94
1,00	0,85	0,95
1,00	0,9	0,97
1,00	0,95	0,99
1,00	1	1

Mediante estos datos, se obtuvieron los siguientes gráficos:

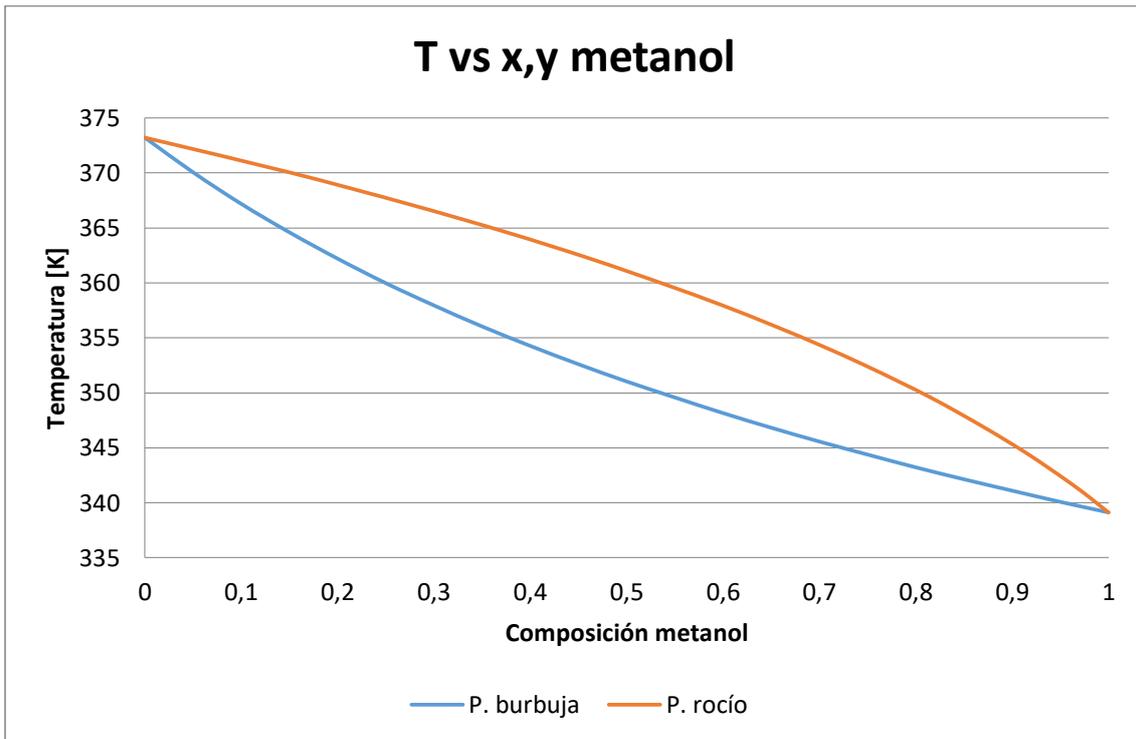


Figura 1: Curvas de punto de burbuja y rocío para la mezcla metanol-agua. Fuente: cálculos propios.

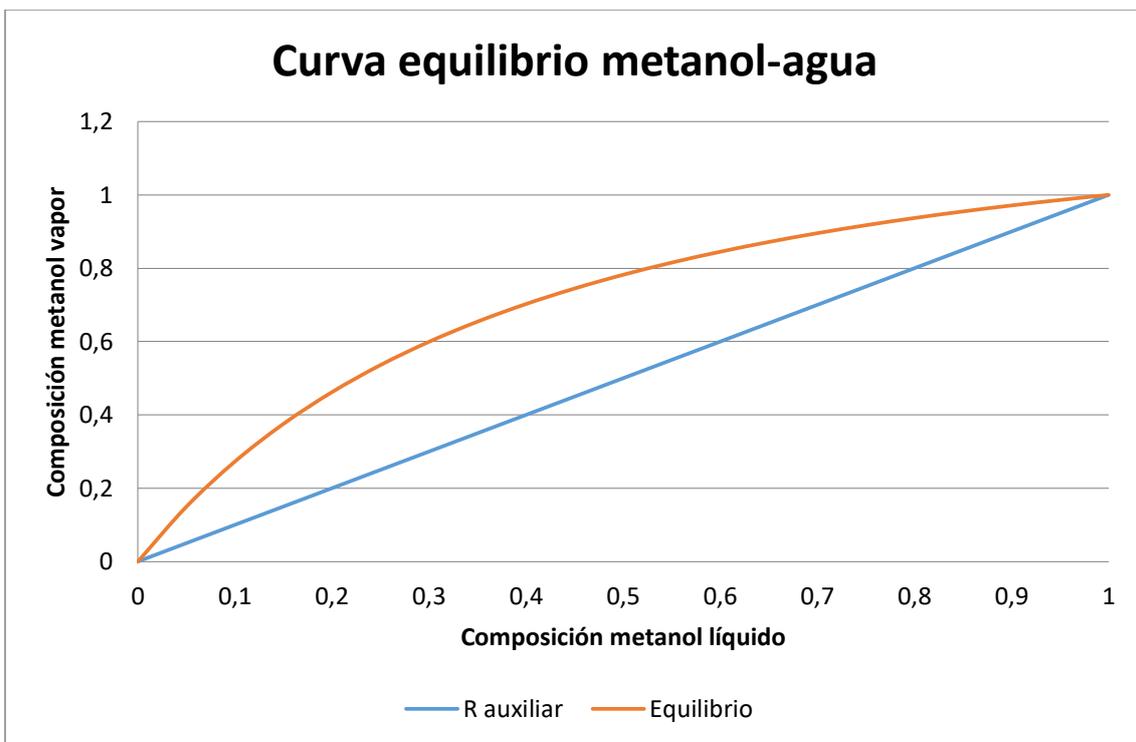


Figura 2: Curva de equilibrio líquido-vapor para la mezcla metanol-agua. Fuente: cálculos propios.

1.2 Diseño de la torre – Método de McCabe-Thiele

En cuanto a la operatoria de la torre, al ser una mezcla binaria sencilla, se decidió que ésta opere solamente dos días a la semana. De esta forma, como la alimentación

proviene de forma continua de la torre de destilación azeotrópica, deberán construirse tanques pulmón que almacenen la carga durante los días en que la torre no se encuentra operativa.

La alimentación F es de 15.928 kg/día, es decir, 111.496 kg/semana, por lo que la torre deberá procesar una carga de 55.748 kg/día durante los dos días de operación. Quedando, por lo tanto, las corrientes:

F	Metanol	3%	1694	kg/día
	Agua	97%	54054	kg/día
Total		100%	55748	kg/día

W	Metanol	0%	168	kg/día
	Agua	100%	53973,5	kg/día
Total		100%	54141,5	kg/día

D	Metanol	95%	1526	kg/día
	Agua	5%	80,5	kg/día
Total		100%	1606,5	kg/día

Para el diseño de la torre y el trazado de platos se utilizó el Método de McCabe-Thiele, que parte de las siguientes tres hipótesis:

- Calor de vaporización molar de la mezcla constante
- Sistema adiabático
- Calor de mezcla igual a cero

A continuación, se presentan las ecuaciones de diseño del método que se utilizaron, teniendo en cuenta la notación:

- D: corriente de destilado por tope de torre [kmol/día]
- F: corriente de alimentación [kmol/día]
- W: corriente de residuo por fondo de torre [kmol/día]
- L: líquido en zona de enriquecimiento [kmol/día]
- L': líquido en zona de agotamiento [kmol/día]
- V: vapor en zona de enriquecimiento [kmol/día]
- V': vapor en zona de agotamiento [kmol/día]
- R: relación de reflujo L/D [kmol/día]

$$\text{Balance global} \rightarrow F = D + W$$

$$\text{Balance zona de enriquecimiento} \rightarrow V = L + D$$

$$\text{Balance zona de agotamiento} \rightarrow L' = V' + W$$

$$\text{Recta de operación superior} \rightarrow y = \frac{L}{V}x + \frac{D}{V}x_D$$

$$\text{R. O. S.} \rightarrow y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

$$\text{Recta de operación inferior} \rightarrow y = \frac{L'}{V'}x - \frac{W}{V'}x_W$$

$$\text{Punto } q \rightarrow q = \frac{L' - L}{F}$$

$$\text{Recta de alimentación} \rightarrow y = \frac{q}{q-1}x + \frac{x_F}{1-q}$$

Para la realización del método, fue necesario tener los datos de las corrientes en base molar:

F	Metanol	1,7%	53	kmol/día
	Agua	98,3%	3003	kmol/día
Total		100%	3056	kmol/día

W	Metanol	0,2%	5	kmol/día
	Agua	99,8%	2999	kmol/día
Total		100%	3004	kmol/día

D	Metanol	91,4%	48	kmol/día
	Agua	8,6%	4	kmol/día
Total		100%	52	kmol/día

Se decidió que la alimentación ingrese en su punto de rocío, como vapor saturado. Por lo tanto, la recta de la alimentación será una horizontal ($q=0$) que irá desde la recta auxiliar en el punto (0.017; 0.017) hasta la curva de equilibrio. A partir de esta recta y conociendo las composiciones de salida deseadas (en este caso, $x_D=0.914$), se trazó la recta de operación superior mínima:

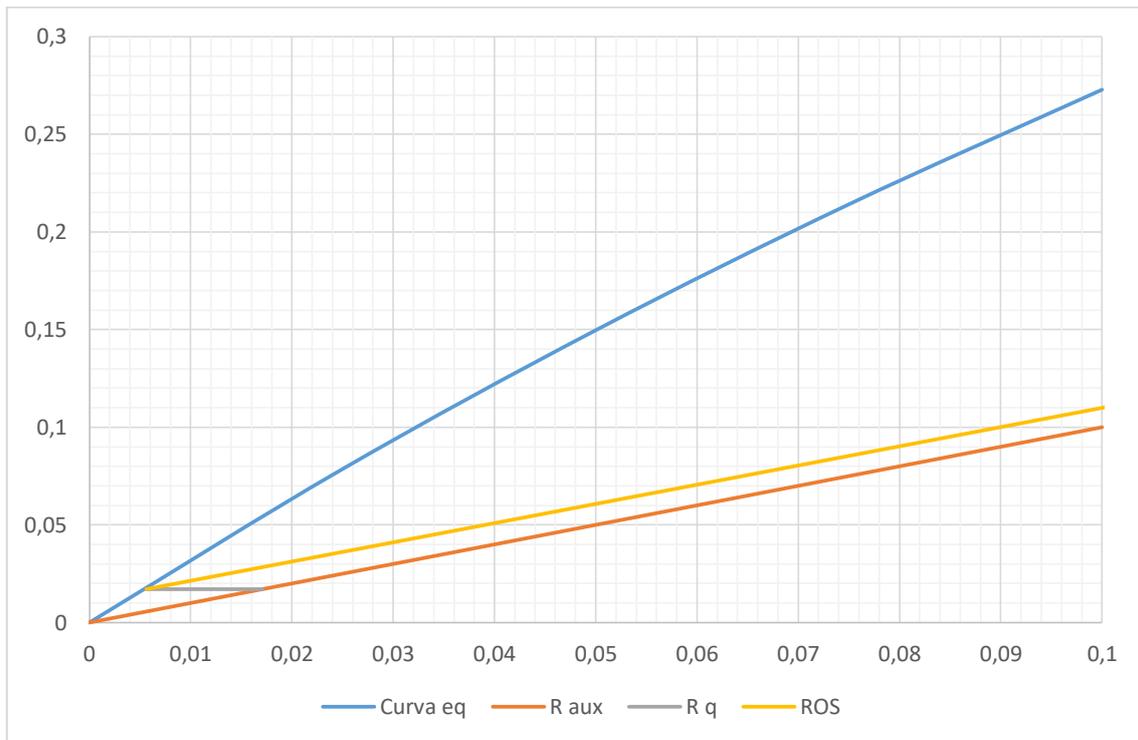


Figura 3: recta q de alimentación y recta de operación superior en la curva de equilibrio. Fuente: cálculos propios

Calculando la pendiente de la ROS mínima, se obtuvo el valor del reflujo mínimo para estas condiciones dadas:

$$\left(\frac{R}{R+1}\right)_{\min} = 0,987$$

$$R_{\min} = 78,27$$

De bibliografía, se sabe que el valor de reflujo óptimo se encuentra entre 1,2 y 1,5 veces el reflujo mínimo. Se escogió utilizar el factor 1,2.

$$R_{\text{óptimo}} = 1,2 \cdot R_{\min} = 94$$

Con este dato, pueden resolverse todos los balances restantes:

$$R = \frac{L}{D} = 94 \rightarrow L = 94 \cdot 52 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} = 4.888 \text{ kmol/día}$$

$$q = \frac{L' - L}{F} = 0 \rightarrow L' = L = 4.888 \text{ kmol/día}$$

$$V' = L' - W = 4.888 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} - 3004 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} \rightarrow V' = 1.884 \text{ kmol/día}$$

$$V = D + L \rightarrow V = 52 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} + 4.888 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} \rightarrow V = 4.940 \text{ kmol/día}$$

$$R.O.S. \rightarrow y = 0,989x + 0,009935$$

La recta de operación inferior no se obtuvo por ecuación, sino que se trazó directamente en el gráfico uniendo el punto (0,002;0,002) correspondiente a x_w y la ROS. A partir de estas dos rectas, puede realizarse el trazado de platos. Dada la baja concentración de

alimentación y de salida del residuo, se muestra el gráfico en dos escalas distintas, para que el trazado de platos sea visible:



Figura 4: trazado de platos en curva de equilibrio ampliada. Fuente: cálculos propios.

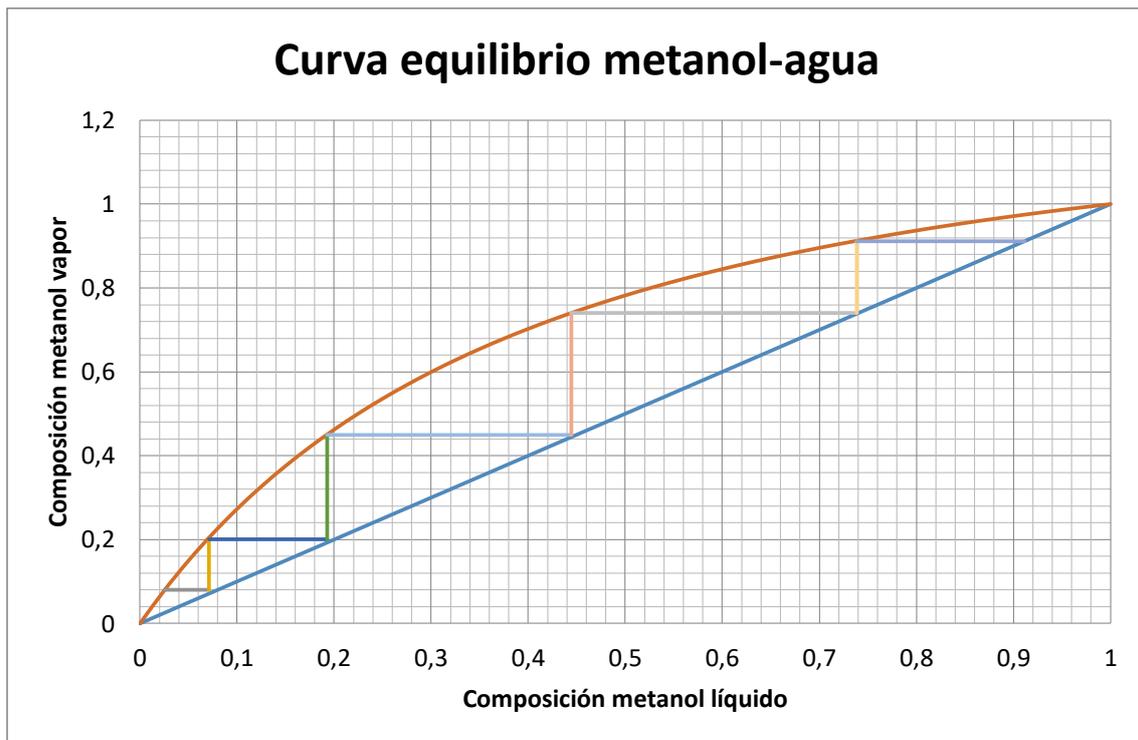


Figura 5: trazado de platos en curva de equilibrio completa. Fuente: cálculos propios.

La primera línea horizontal que se observa en el segundo gráfico corresponde al mismo plato que la última línea horizontal trazada en el primer gráfico.

Así, se obtuvieron 11 etapas ideales, y teniendo en cuenta que el calderín forma una etapa, 10 platos ideales. Las composiciones en los platos son las siguientes:

Plato 1		Plato 2		Plato 3		Plato 4	
x	y	x	y	x	y	x	y
0,002	0,006	0,003	0,010	0,004	0,013	0,006	0,017
Plato 5		Plato 6		Plato 7		Plato 8	
x	y	x	y	x	y	x	y
0,007	0,021	0,011	0,035	0,026	0,080	0,071	0,201
Plato 9		Plato 10		Plato 11			
x	y	x	y	x	y		
0,193	0,450	0,444	0,740	0,739	0,911		

1.3 Diseño de la torre - Dimensionamiento

Una vez obtenido el número de platos ideales, se procedió a calcular las dimensiones de la torre. Esto se realiza a partir del diseño de los platos. Para esta torre, se decidió utilizar platos perforados soportados por anillos, como el que se muestra en la siguiente figura:

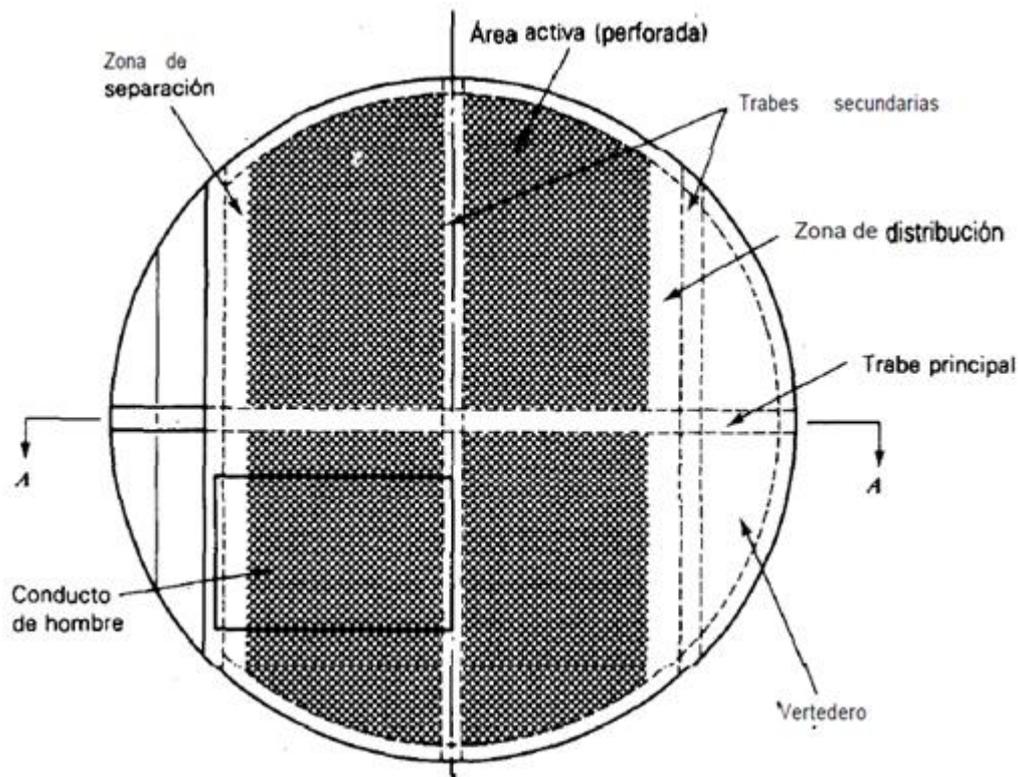


Ilustración 1: Vista superior de un plato perforado. Fuente: Operaciones de transferencia de masa, Robert E. Treybal.

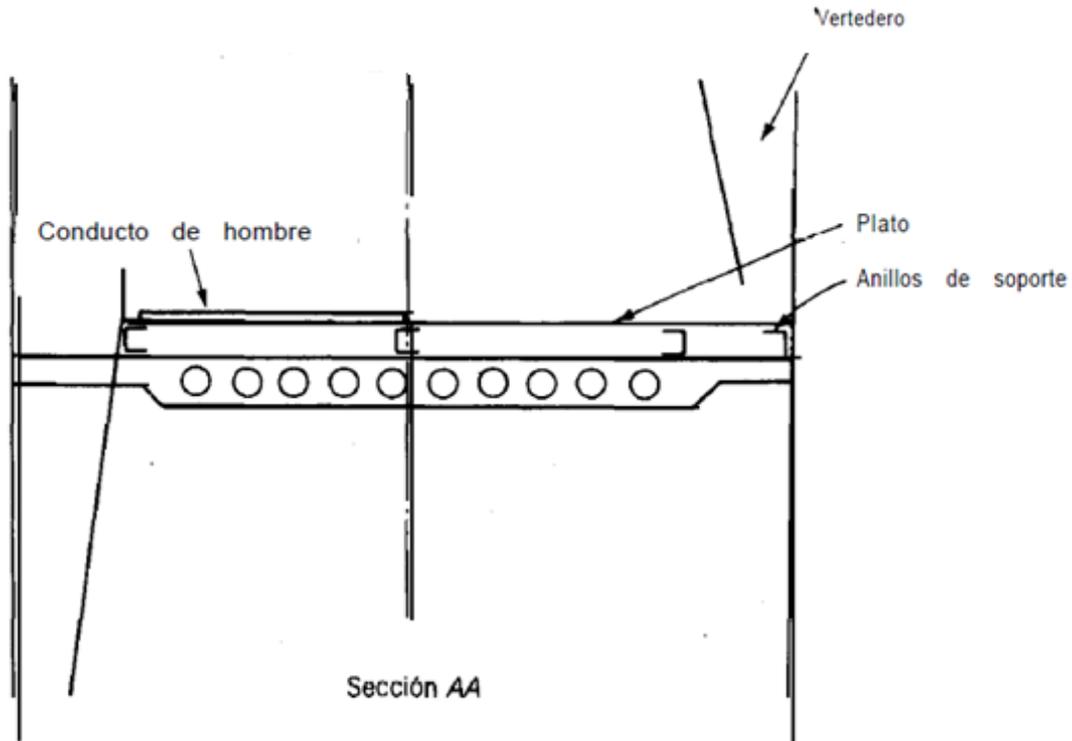


Ilustración 2: Vista lateral de plato perforado. Fuente: Operaciones con transferencia de masa. Robert

La parte principal del plato es una hoja metálica perforada transversal al flujo. El gas pasa en forma ascendente a través de las perforaciones, expandiendo el líquido en una espuma turbulenta, lo que genera una gran superficie de transferencia de masa. El diseño de estos platos implica tener en cuenta algunas consideraciones con respecto a los flujos de líquido y gas. Con una elevada velocidad de vapor, se producirá arrastre de gotas de líquido en la corriente ascendente; en cambio si esta es muy baja, gotas de líquido pueden caer a través de las perforaciones, lo que se conoce como lloriqueo. Si la velocidad del líquido es muy alta, puede producirse una caída de presión elevada, inundando la columna.

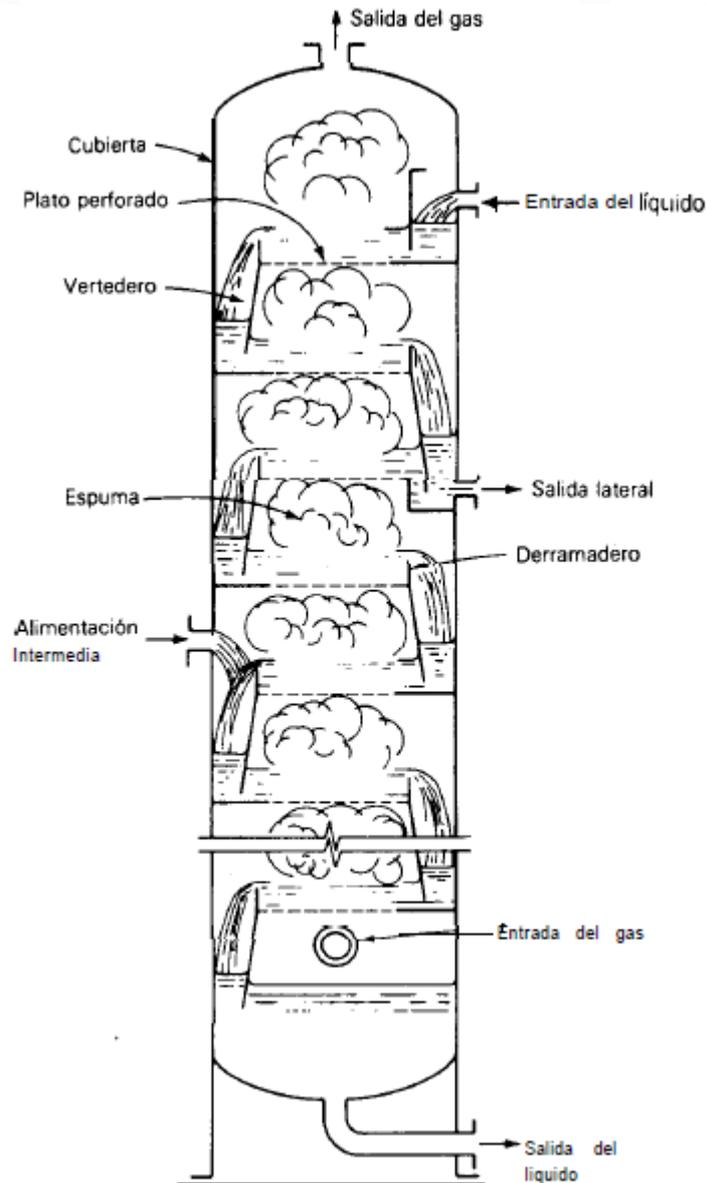


Ilustración 3: Ejemplo de torre de destilación con platos perforados y sus elementos básicos. Fuente: Operaciones con transferencia de masa, Robert E. Treybal

El diseño de platos se realizó en base a la bibliografía recomendada por los docentes de la cátedra de Operaciones Unitarias II (Robert E. Treybal: “Operaciones de transferencia de masa”. McGraw-Hill, Segunda Edición). A su vez, todas las imágenes y tablas aquí expuestas provienen del mismo libro.

La torre será de acero inoxidable (es lo más frecuente, incluso si no hay sustancias corrosivas presentes) y operará a presión atmosférica.

Se tomó el plato 6 para ser diseñado. Por lo tanto, las corrientes a considerar serán L y V (de la zona de enriquecimiento) y las siguientes composiciones:

Plato 6	
x	y
0,011	0,035

$$L = 4.888 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} \cdot \frac{\text{día}}{24\text{h}} \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{seg}} = 0,0566 \frac{\text{kmol}}{\text{seg}}$$

$$V = 4.940 \frac{\text{kmol}}{\text{día}} \cdot \frac{\text{día}}{24\text{h}} \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{seg}} = 0,057 \frac{\text{kmol}}{\text{seg}}$$

Con las composiciones molares, se calcula el peso promedio ponderado del vapor:

$$PM_{\text{vapor}} = 0,035 \cdot 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} + 0,965 \cdot 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 18,49 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

Teniendo en cuenta que la temperatura promedio a la que opera la torre es de 352,73 K:

$$\rho_{\text{vapor}} = \frac{18,49 \text{ kmol/kg}}{22,41 \text{ m}^3/\text{kmol}} \cdot \frac{273 \text{ K}}{352,73 \text{ K}} = 0,6386 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto, el caudal volumétrico del vapor es:

$$Q_{\text{vap}} = 0,057 \frac{\text{kmol}}{\text{seg}} \cdot 22,41 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \cdot \frac{352,73 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 1,65 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Para calcular la densidad del líquido, se necesita la composición en peso de este:

L	Metanol	2%	1739	kg/día
	Agua	98%	87942	kg/día
Total		100%	89681	kg/día

$$\rho_{\text{líquido}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,98 + 791,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,02 = 995,836 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Calculando de esta forma el peso molecular ponderado del líquido:

$$PM_{\text{líquido}} = \frac{100}{\frac{98}{18 \text{ kg/kmol}} + \frac{2}{32 \text{ kg/kmol}}} = 18,16 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

Dando un caudal volumétrico de líquido:

$$q_{\text{liq}} = \frac{0,0566 \frac{\text{kmol}}{\text{seg}} \cdot 18,16 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{995,836 \text{ kg/m}^3} = 1,032 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Tal y como se afirma en la bibliografía, se decidió utilizar el diámetro de orificio de platos d_o más frecuente de 4,5 mm, en un arreglo de triángulo equilátero con una separación p' de 12 mm entre centros y con un espesor de hoja metálica de 2 mm, según la siguiente tabla:

2. Diámetro el orificio, espesor del plato

Diámetro del orificio		Espesor del plato/diam. orif.		
m m	in	Acero inoxidable	acero al carbón	
3.0	$\frac{1}{8}$	0.65		
4.5	$\frac{1}{16}$	0.43		
6.0	$\frac{1}{4}$	0.32		
9.0	$\frac{3}{8}$	0.22		0.5
12.0	$\frac{1}{2}$	0.16		0.38
15.0	$\frac{5}{8}$	0.17		0.3
18.0	$\frac{3}{4}$	0.11		0.25

Con estos datos, se calcula la relación entre el área del orificio y el área activa para este tipo de arreglo:

$$\frac{A_o}{A_a} = 0,907 \cdot \left(\frac{d_o}{p'}\right)^2 = 0,907 \cdot \left(\frac{4,5}{12}\right)^2 = 0,1275$$

Luego es necesario calcular la denominada constante de inundación C_F , a partir de la siguiente ecuación:

$$C_F = \left[\alpha \cdot \log \frac{1}{\left(\frac{L}{V}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{vap}}{\rho_{liq}}\right)^{0,5}} + \beta \right] \left(\frac{\sigma}{0,02}\right)^{0,2}$$

Donde α y β son parámetros que dependen de la distancia entre platos y la relación entre áreas, y σ es la tensión superficial del líquido.

$$\begin{aligned} \left(\frac{L}{V}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{vap}}{\rho_{liq}}\right)^{0,5} &= \frac{q \rho_{liq}}{Q \rho_{vap}} \left(\frac{\rho_{vap}}{\rho_{liq}}\right)^{0,5} = \frac{q}{Q} \left(\frac{\rho_{liq}}{\rho_{vap}}\right)^{0,5} = \frac{1,032 \times 10^{-3} \frac{m^3}{seg}}{1,65 \frac{m^3}{seg}} \left(\frac{995,836 \frac{kg}{m^3}}{0,6386 \frac{kg}{m^3}}\right)^{0,5} \\ &= 0,0247 \end{aligned}$$

Sin embargo, según bibliografía (ver tabla a continuación), al ser este valor menor a 0,1, se utilizará dicho valor.

Para obtener el valor de la tensión superficial de la mezcla líquida metanol-agua, se recurrió a interpolar una serie de mediciones de esta propiedad para distintas composiciones de mezcla y luego buscar el valor para la composición deseada (H. Ghahremani, A. Moradi, J. Abedini-Torghabeh, S. M. Hassani: "Measuring surface tension of binary mixtures of water alcohols from the diffraction patterns of surface ripples". Islamic Azad University, 2011).

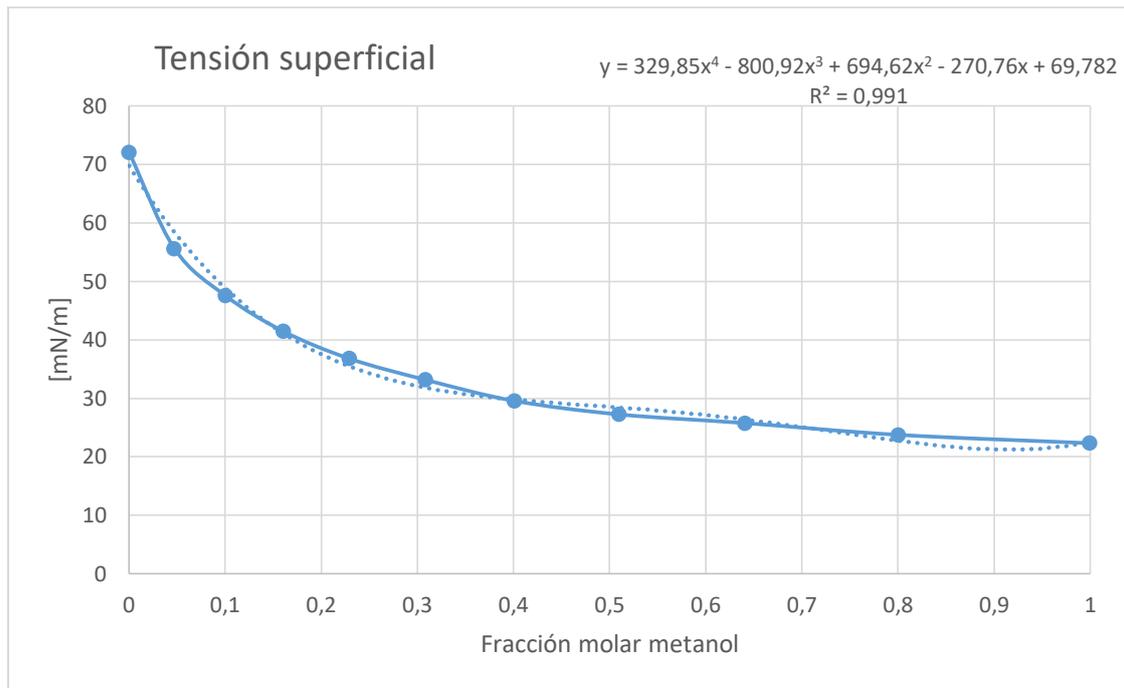


Figura 5: tensión superficial para la mezcla metanol-agua a distintas concentraciones. Fuente: Measuring surface tension of binary mixtures of water alcohols from the diffraction patterns of surface ripples, H. Ghahremani, A. Moradi, J. Abedini-Torghabeh, S. M. Hassani

Obteniéndose así, para una fracción molar de 0,011, una tensión superficial de 66,88 mN/m, es decir, 0,066 N/m.

1. Constantes de inundación C_F [Eqs. (6.29) and (6.30)], $d_o < 6 \text{ mm}$ ($\frac{1}{4} \text{ in}$)

Rango de $\frac{A_o}{A_a}$	Rango de $\frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0,5}$	Unidades de t	Unidades de α	Unidades de β	Unidades α, β de V_F
> 0.1	0.01–0.1, utilizar valores en 0.1				
	0.1–1.0	m	N/m	m/s	$\alpha = 0.0744t + 0.01173$ $\beta = 0.0304t + 0.015$
		en	dinas/cm $\times 10^{-3}$	ft/s	$\alpha = 0.0062t + 0.0385$ $\beta = 0.00253t + 0.050$
< 0.1	Multiplicar α y β por $5A_o/A_a + 0.5$				

Se escoge para probar 0,3 metros para la separación entre platos, debiéndose verificar posteriormente que las velocidades de flujo no generen inundación o arrastre.

Siguiendo los datos de la tabla anterior, los valores de alfa y beta serán los siguientes:

$$\alpha = 0,0744 \cdot 0,3 + 0,01173 = 0,03405$$

$$\beta = 0,0304 \cdot 0,3 + 0,015 = 0,02412$$

Con estos valores, se calcula la constante de inundación:

$$C_F = \left(0,03405 \cdot \log \left[\frac{1}{0,1} \right] + 0,02412 \right) \left(\frac{0,066}{0,02} \right)^{0,2} = 0,07386$$

Con esta constante, es posible calcular la velocidad superficial del gas en la inundación (flujo volumétrico de gas por sección transversal neta para el flujo), es decir, la condición límite. Luego, utilizando una velocidad del 80% de la de inundación, es posible calcular el área neta de flujo:

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_{líq} - \rho_{vap}}{\rho_{vap}} \right)^{1/2} = 0,07386 \left(\frac{995,836 \frac{kg}{m^3} - 0,6386 \frac{kg}{m^3}}{0,6386 \frac{kg}{m^3}} \right)^{1/2}$$

$$= 2,916 \frac{m}{seg} \text{ durante la inundación}$$

Por lo tanto, la velocidad del gas es:

$$V = 0,8 \cdot V_F = 0,8 \cdot 2,916 \frac{m}{seg} = 2,33 \frac{m}{seg}$$

Y el área neta de flujo:

$$A_n = \frac{Q}{V} = \frac{1,65 \frac{m^3}{seg}}{2,33 \frac{m}{seg}} = 0,71 m^2$$

Para calcular el área total, es necesario sumar el porcentaje que ocupará el derramadero. Para esto, se utilizaron los valores de la siguiente tabla:

4. Longitud del derramadero para derramaderos rectangulares rectos, platos de flujo transversal, 0.6T a 0.8T, 0.7T típica

Longitud del derramadero W	Distancia desde centro de la torre	Porcentaje del brea de la torre utilizada por un vertedero %
0.55 T	0.4181 T	3.877
0.60 T	0.3993 T	5.257
0.65 T	0.25167	6.899
0.70 T	0.3562 T	8.808
0.75 T	0.32% T	11.255
0.80 T	0.1991 T	14.145

Donde T es el diámetro de la torre.

Por lo tanto, el área es:

$$A = \frac{0,71 m^2}{1 - 0,088} = 0,78 m^2$$

Y de esta forma, se puede calcular el diámetro de la torre:

$$T = \left[4 \cdot \frac{0,78 m^2}{\pi} \right]^{0,5} = 0,9965 m = 1 m$$

Por lo tanto, el área queda igual a:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (1 \text{ m})^2 = 0.785 \text{ m}^2$$

Quedando una longitud y un área de derramadero:

$$W = 0,7 \cdot 1 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

$$Ad = 0,088 \cdot 0,785 \text{ m}^2 = 0,069 \text{ m}^2$$

Una vez obtenido el diámetro de la torre, se debe verificar que no se generen flujos demasiado altos o bajos. Por ejemplo, se verifica el flujo del líquido según la siguiente tabla:

2. Flujo del líquido

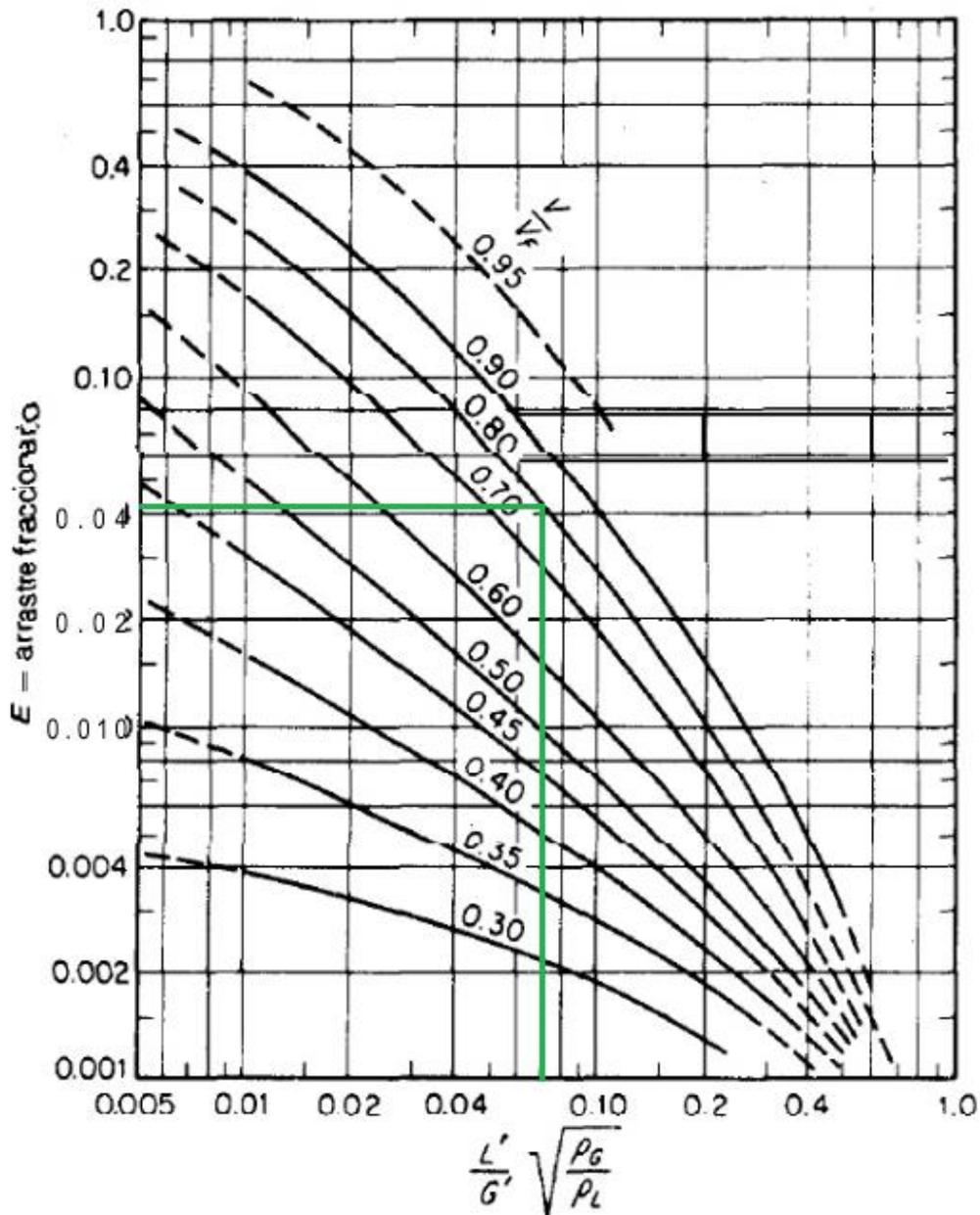
- | |
|---|
| <p>a. No superior a $0.015 \text{ m}^3/(\text{m diam}) \cdot \text{s}$ ($0.165 \text{ ft}^3/\text{ft} \cdot \text{s}$) para platos de flujo transversal de un solo paso</p> <p>b. No superior a $0.032 \text{ m}^3/$ longitud de derramadero ($0.35 \text{ ft}^3/\text{ft} \cdot \text{s}$) para otros.</p> |
|---|

Por lo tanto, el flujo del líquido no debe ser mayor a:

$$q_{\text{líq}} = 0,015 \frac{\text{m}^3}{(\text{m diámetro}) \text{ seg}} \cdot 1 \text{ m} = 0,015 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Dado que el flujo de líquido calculado es de $1,032 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$, se verifica esta condición.

Además, es necesario verificar el grado de arrastre que se generará. Para esto, se utiliza una relación que representa la fracción de líquido que es arrastrada al plato siguiente (n) al ingresar a un plato (n+1). Para determinar el arrastre fraccional, se utiliza el siguiente gráfico:



Con los datos previamente calculados, se obtiene que se genera un arrastre fraccional de 0,04, valor que puede ser despreciable.

Por último, es necesario calcular la eficiencia global de platos, que queda definida como:

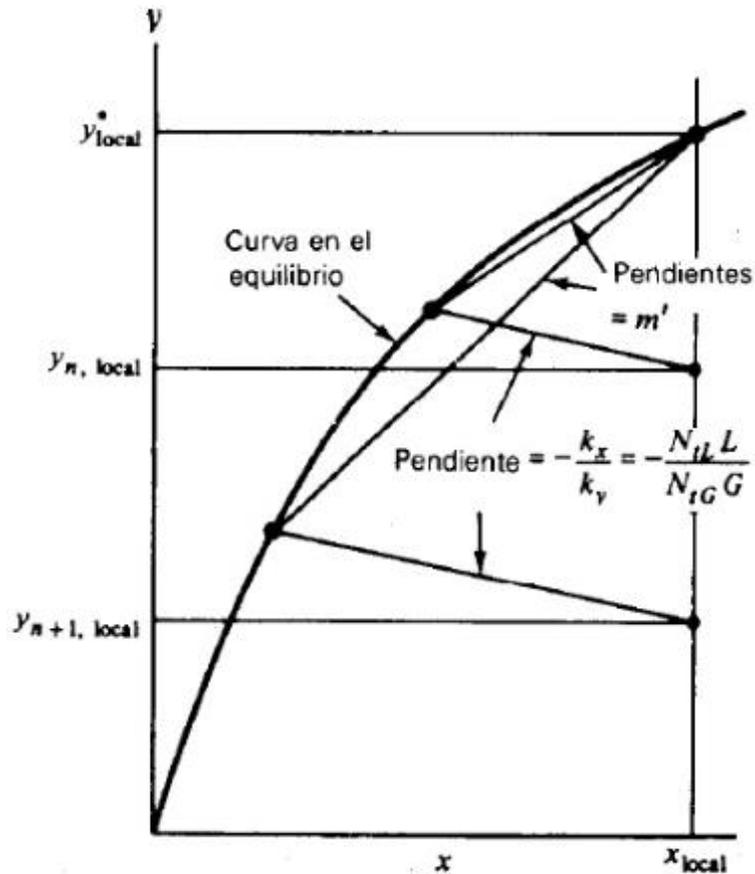
$$E_o = \frac{Nt}{Nr} = \frac{\text{número de etapas ideales}}{\text{número de etapas reales}}$$

Para calcularla, se utiliza la fórmula de la eficiencia de plato de Murphree:

$$E_M = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$$

Donde y_n es la composición molar del vapor del plato n , y_{n+1} es la del plato $n+1$, es decir, el plato inferior (los platos de las torres suelen numerarse desde el tope hacia el fondo), y por último, y_n^* es la composición de vapor que está en equilibrio con el líquido del plato

n , de composición x_n . En el siguiente gráfico se muestra como se obtienen gráficamente estos valores de composiciones:



De esta forma, se calcularon las eficiencias para cada plato (excepto el primero y el último), obteniéndose los siguientes valores y finalmente se hizo un promedio entre ellos para determinar la eficiencia global de la torre:

Plato	Eficiencia
2	0,49
3	0,49
4	0,49
5	0,22
6	0,24
7	0,27
8	0,33
9	0,46
10	0,63
Promedio	0,40

Una vez calculada la eficiencia de la torre, se obtiene el número de etapas reales necesarias:

$$\begin{aligned} \text{Número de etapas reales} &= \frac{\text{Número de etapas ideales}}{E_M} = \frac{11}{0,4} = 27,5 \\ &= 28 \text{ etapas reales} \end{aligned}$$

De estas 28 etapas reales, una corresponderá al calderín mientras que las otras 27 serán platos de la torre. Con este número de platos y la separación entre los mismos, se calcula la longitud de la torre:

$$L = N^\circ \text{ de platos} \times \text{Separación entre platos} = 27 \text{ platos} \times 0,3 \frac{\text{m}}{\text{plato}} = 8,1 \text{ m}$$

Sumándole a esta longitud la separación entre el plato superior y el tope de la torre (se toma 0,3 m, al igual que la separación), queda una longitud total de 8,4 metros. Por lo tanto, las medidas de la torre se resumen en el siguiente cuadro:

Característica	
Longitud de torre	8,4 m
Diámetro de torre	1 m
Diámetro de perforaciones de platos	4,5 mm
Separación entre platos	0,3 m
Espesor de plato	2 mm
Separación entre perforaciones	12 mm
Distribución de las perforaciones	Triángulo equilátero
Longitud derramadero	0,7 m

Finalmente, la torre se construirá con chapas de acero inoxidable tipo 304, resistente a la corrosión y al desgaste, pero más barato que otros usados para tratamientos extremos. Por cuestiones de seguridad, el cuerpo de la misma se diseñará como si fuera un tanque sometido a presión, utilizando para el espesor de chapa la fórmula dada por la normativa ASME para equipos de este tipo:

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

Donde P es la presión de diseño, S la tensión de rotura de diseño, E la eficiencia de soldadura y R el radio de la columna. Aunque se trabaja a presión atmosférica, por seguridad se usa un 10% más del valor en el diseño. Por el mismo motivo, se usa un cuarto de la tensión de rotura real del material, que es de 500 N/mm². Así, el espesor final resultaría de 0,172 pulgadas. Por lo tanto, se usará acero de grosor normalizado de 3/16" (0,1875 pulgadas).

Como se venden tamaños estandarizados, se usará cuatro chapas de 2000 x 1000 mm, dispuestas en forma vertical, más otra cortada para completar la altura necesaria. Por lo tanto, el peso del cuerpo exterior de la columna sería, en principio, de 994,35 kg.

En cuanto a la aislación, se ha decidido usar lana de vidrio, de conductividad de 0,035 J/(s·m·K) como material. Para saber el espesor a instalar, se ha calculado el flujo de calor para distintos valores, a modo de verificar la variación. Para un cuerpo cilíndrico:

$$Q = k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{\Delta T}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Donde k es la conductividad, L el largo de la torre, ΔT la diferencia de temperaturas entre las superficies interna y externa de la pared y r1 y r2 los radios en cada uno de esos dos puntos. La temperatura interna se tomó como la media de la torre, unos 79,58°C; la externa, como el máximo que puede tocar una persona sintiendo una sensación agradable y no teniendo quemaduras, 44°C. Esto último para cuidar la salud de aquellos que puedan trabajar cerca de la columna. El r1 es el de la torre, 0,5m, y el r2 es el mismo sumándole cada espesor de aislante calculado.

Tomando una serie de espesores de lana de vidrio factibles, fue posible realizar el gráfico de la siguiente figura:

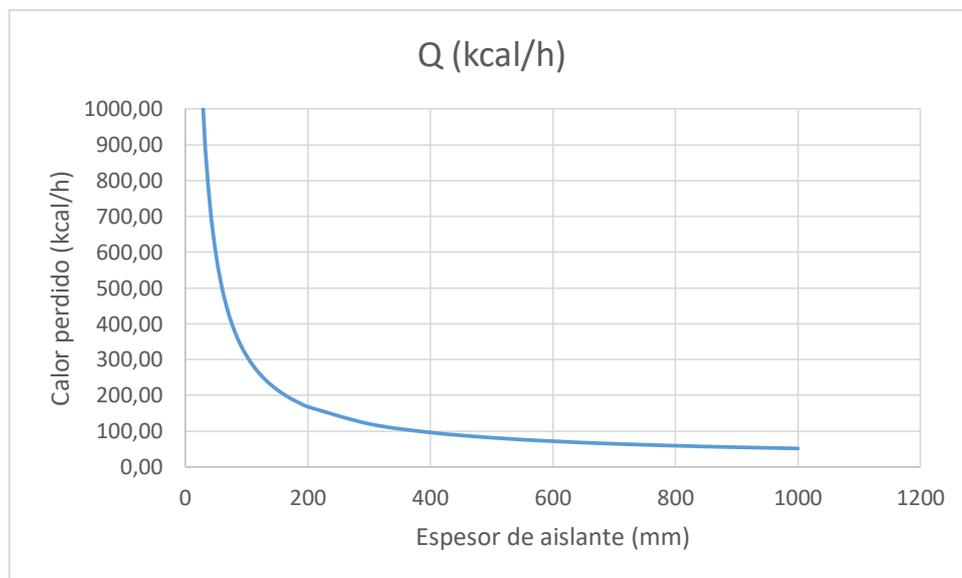


Figura 6: Variación del calor perdido para la columna según el espesor de aislante usado. Fuente: cálculos propios

Como puede verse, hay una caída notable hasta los 100 mm, y a partir de allí empieza a volverse una curva asintótica. Para tener mayor seguridad, se ha decidido instalarle a la columna 300 mm de espesor de lana de vidrio aislante.

2. REACTOR

Como se mencionó en capítulos anteriores, se plantea operar los reactores de manera semi continua. Esto es, con una corriente de entrada y salida constantes, que son aquellas en forma vaporizada, y una entrada de cáscara de arroz acidulada que se realiza una sola vez. Este material se mantiene en el equipo todo el tiempo de reacción y posteriormente es expulsado al terminar la operación. Se instalarán tres reactores

idénticos, de manera que dos operen alternadamente, para tener un caudal productivo constante, y uno quede de reserva.

2.1. Proceso

En resumen, se pueden considerar tres entradas: en forma continua, el vapor de agua a 11,165 bar y 190°C (VAR). Se requiere un caudal de 53.961 kg/día. El ácido sulfúrico (AS) entra con la cáscara (CA-2) una vez al iniciar el procedimiento, y representan 46.893 kg/día. En forma continua se obtiene la corriente con el producto arrastrado por el vapor y otras impurezas (MGAF-1), 60.620 kg/día. Y una vez finalizada la operación sale la corriente residual de cáscara agotada y otros subproductos, de 40.234 kg/día (RT-1). Todo esto se representa en la figura 7, que sigue:

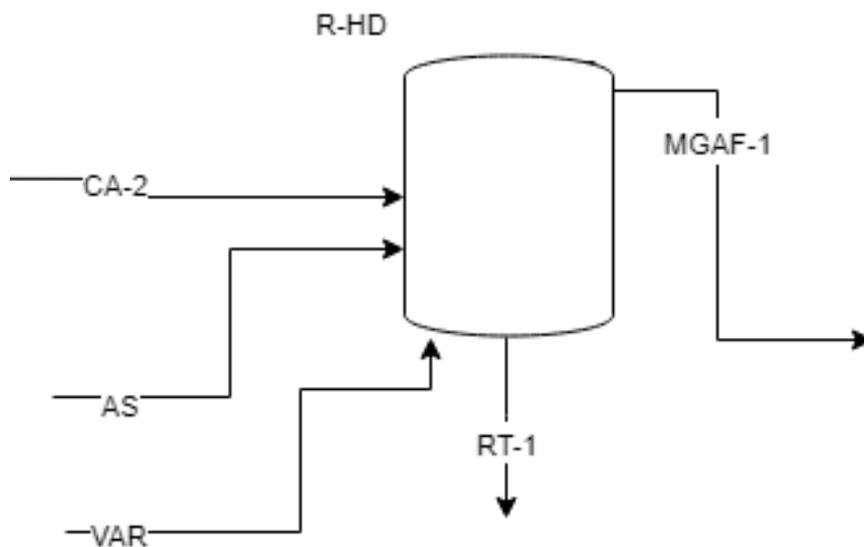


Figura 7. Diagrama de flujo del reactor.

Los caudales mencionados corresponden a 24 horas de trabajo, pero cada ciclo de cada reactor requiere 45 minutos para obtener el rendimiento esperado. Por lo tanto, podrán completarse 32 ciclos diarios. Así, se aprovecharían 1.465 kg de cáscara acidulada en cada uno, requiriendo un total de 1.686 kg de vapor para producir furfural. Sabiendo que el volumen específico del vapor de agua es de 0,175 m³/kg en las mencionadas condiciones, puede verse el caudal volumétrico mediante el cálculo que continúa:

$$Q_{vol. vapor} = 1686 \frac{kg}{ciclo} \cdot \frac{1 ciclo}{45 minutos} \cdot 0,175 \frac{m^3}{kg} = 6,56 m^3/min$$

Por otro lado, la densidad de la cáscara es de 738 kg/m³. El volumen de equipo requerido podría obtenerse de estos datos, pero además se ha decidido contemplar un 50% del espacio para ser ocupado por el vapor durante la operación y un 30% por los accesorios necesarios y cuestiones de seguridad.

$$V_{tanque} = 1465 \frac{kg}{ciclo} \cdot \frac{1 m^3}{738 kg} \cdot (100\% + 50\% + 30\%) = 3,57 m^3 de reactor$$

Fácilmente puede saberse el tiempo que permanecerá el vapor dentro del tanque.

$$t_{residencia\ del\ vapor} = \frac{3,57\ m^3}{6,56\ m^3/min} = 0,151\ min \equiv 9,087\ segundos$$

Este dato adquirirá una mayor importancia al tocar el tema de la aislación del reactor.

2.2. Dimensiones

Ahora que se sabe el volumen del equipo, lo siguiente será conocer las precisiones necesarias para su fabricación. En primer lugar, se ha decidido que su forma sea cilíndrica pero con fondo toricónico. El techo asimismo tendrá forma elíptica. La relación L/D elegida es de 0,75, para asegurar un correcto contacto del vapor con la cáscara y facilitar el posterior vaciado.

Para determinar el valor de cada variable, se realizó primeramente una iteración suponiendo un diámetro determinado y calculando los volúmenes de cuerpo, fondo y techo de forma que el volumen total sea igual o mayor al mencionado. Pero dado que los resultados arrojaron un largo de 1,31m, conviniendo tener hasta 1,25m por una cuestión de largo normalizado de chapas (se explicará más adelante), se decidió ajustar esa variable a tal valor, comprobando que el volumen todavía alcance. El cambio resulta en que ahora la relación L/D sería de 0,71, pero es algo despreciable. Las ecuaciones usadas para el cálculo se detallan a continuación.

$$V_{total} = V_{fondo} + V_{cuerpo} + V_{techo}$$

$$V_{fondo} = \pi \cdot \frac{r^2}{3} \cdot h_{cono} = \pi \cdot \frac{r^2}{3} \cdot \left(\frac{r}{\tan(\alpha)} \right)$$

$$V_{cuerpo} = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

$$V_{techo} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{h_{techo}}{2}$$

h{techo}: la altura del elipsoide. Se ha decidido prefijarlo en 0,1m.

_r: radio del cilindro principal.

h{cono}: altura del cono, por trigonometría puede calcularse, ya que la tangente del ángulo es igual al cociente entre el lado opuesto y el adyacente al mismo.

_α: es el ángulo del lado del fondo respecto al eje del cilindro. Puede apreciárselo en la figura 8. Se ha decidido que sea de 60°.

Con estos datos, los resultados finales fueron un diámetro de 1,75m (radio de 0,876m), largo del cilindro principal de 1,25m, altura del cono de 0,5m, ángulo de 60° y generatriz de 2m, y altura del techo de 0,1m. El volumen final resulta en 3,58 m³, siendo 3,57 m³ lo necesitado.

$$V_{fondo} = \pi \cdot \frac{r^2}{3} \cdot h_{cono} = \pi \cdot \frac{(0,876\ m)^2}{3} \cdot 0,5\ m = 0,406\ m^3$$

$$V_{cuerpo} = \pi \cdot r^2 \cdot L = \pi \cdot (0,876\ m)^2 \cdot 1,25\ m = 3,013\ m^3$$

$$V_{techo} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{h_{techo}}{2} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (0,876\ m)^2 \cdot \frac{0,1\ m}{2} = 0,161\ m^3$$

$$V_{total} = V_{fondo} + V_{cuerpo} + V_{techo}$$

$$V_{total} = 0,406 m^3 + 3,013 m^3 + 0,161 m^3$$

$$V_{total} = 3,58 m^3$$

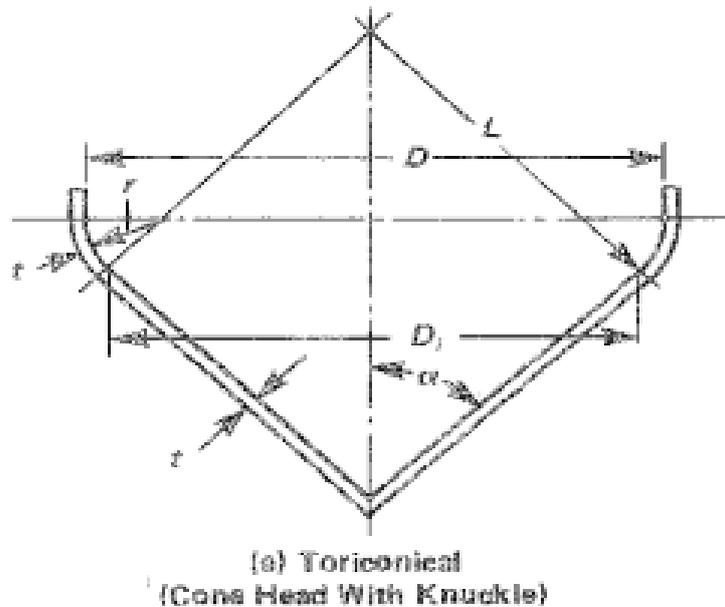


Figura 8: Variables implicadas en el fondo toricónico. Fuente: apuntes de la cátedra Mecánica-Eléctrica-Industrial

2.3. Material

El material de fabricación resulta un tema importante a tratar. Como se dijo, el trabajo incluye cáscara rociada con ácido sulfúrico, de modo que las condiciones de corrosión pueden ser graves para un metal poco preparado, a pesar de la poca cantidad del ácido que es requerida. Es por esto que se ha decidido trabajar con acero inoxidable del tipo 316 L. Este material tiene la particularidad de tener una resistencia a la corrosión y la temperatura que es todavía mayor que en los inoxidables comunes. Además se prepara especialmente para evitar las posibles “picaduras” por sustancias que afecten al metal, y en el caso de la forma “L”, se evita también que aparezcan carburos indeseables y dañinos durante la soldadura. Las propiedades superlativas de este material derivan de su alto contenido de molibdeno, tal como se aprecia en la tabla que sigue, con su composición.

Elemento	Proporción
Carbono	hasta 0,08%
Níquel	10% a 14%
Cromo	16% a 18%
Molibdeno	2% a 3%

Otros aceros inoxidables carecen de este último componente, y de ahí que su resistencia sea inferior.

Lo siguiente es determinar el espesor de las planchas metálicas usadas para formar el equipo. El mismo se determina bajo las normas del Código ASME, sección VIII, división I, referidas a tanques sometidos a presión interna. Según la reglamentación, los espesores en cuerpo, techo y fondo se calculan en forma distinta, y según las fórmulas que se dictan a continuación.

Para el espesor del techo elíptico:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P}$$

Para el cuerpo cilíndrico:

$$t = \frac{P \cdot (0,5 \cdot D)}{S \cdot E - 0,6 \cdot P}$$

Y para el fondo toricónico:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot (S \cdot E - 0,6 \cdot P)}$$

En cada ecuación las variables involucradas son:

_t: espesor de las chapas metálicas a instalar.

_P: presión de diseño. Se trabaja con un 10% más de la de trabajo por cuestiones de seguridad. En este caso sería el 110% de 11,165 bar, lo que es 12,2815 bar.

_D: diámetro del cilindro principal.

_S: tensión de diseño. Se basa en la tensión de rotura del material, pero por cuestiones de seguridad se la divide por 4 para considerar un material más débil del que se usará en realidad. Para el acero inoxidable 316 L la tensión de rotura es de 520 N/mm², así que se diseña con 130 N/mm².

_E: la eficiencia de soldadura. Refiere a la calidad del trabajo de unión de las chapas para formar el tanque. Depende del tipo de soldadura usada y la forma de verificar su desempeño. En este caso, se ha decidido realizar las juntas más eficaces; a tope hechas por doble soldadura. Además, se verificará que estén bien realizadas mediante radiografiado industrial, lo más preciso. Así, por norma, puede tomarse E=1.

Calculando, los valores obtenidos fueron 0,655" para el fondo, 0,328" para el cuerpo y 0,326" para el techo. Teniendo en cuenta los espesores normalizados en los que se venden las chapas de acero, los tamaños más cercanos son de 3/8" para techo y cuerpo y 3/4" para el fondo.

Se debe tener en cuenta la manera de armar el equipo, de forma de usar la menor cantidad posible de chapas, realizando también los mínimos cortes y ensambles que sean necesarios. Los tamaños en que se venden son (en mm): 2000*1000, 2500*1250, 3000*1250, 3000*1500.

El perímetro del área transversal principal es de 5,5m. Así, para el fondo, un cono de generatriz de 2m, se usan tres chapas de 3000*1500 de lado (cortando para que no lleguen a ser 3000m de generatriz) y una de 2000*1000 para completar. El área total es de 5,57 m², lo que con un peso del acero de 150 kg/m² en este espesor significa un total de cerca de 839 kg. En cuanto al cuerpo, es un cilindro con el mencionado perímetro y 1,25m de largo. Por lo tanto, basta con una chapa de 3000*1250 y otra de 2500*1250.

El área total es de 6,875 m², con peso de 75,36 kg/m² (menos espesor que en el fondo). Y pesaría unos 518 kg. Por último, el techo requiere cubrir un área de cerca de 5 m², con diámetro de 1,75m. Cortando una chapa de 3000*1250 y otra de 2000*1000 alcanzaría. El peso alcanza los 377 kg.

En total, cada reactor pesaría 1734 kg.

2.4. Aislación

Pasando al tema de la aislación, se ha calculado la cantidad necesaria según el calor que se perdería con cada espesor. El material elegido es lana de vidrio, por su baja conductividad térmica, facilidad de adaptación a las condiciones de trabajo, precio barato y facilidad para conseguirla. Recordando las ecuaciones de transferencia de energía térmica:

$$Q = A \cdot k \cdot \frac{dT}{dx}$$

Siendo k la conductividad térmica, y donde el área (A) es el parámetro que varía para cada figura geométrica, y que altera la integración.

$$r_1 = r_{cilindro}$$

$$r_2 = r_1 + \text{espesor}_{aislante}$$

$$Q_{cilindro} = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot r \cdot k \cdot \frac{dT}{dx} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k}{\ln(r_2/r_1)} \cdot \Delta T$$

$$Q_{cono} = \pi \cdot \text{gen}_{cono} \cdot r \cdot k \cdot \frac{dT}{dx} = \frac{\pi \cdot \text{gen}_{cono} \cdot k \cdot \Delta T}{\ln(r_2/r_1)}$$

$$Q_{elipse} = 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot \Delta T}{r_1 - r_2}$$

$$\text{Flujo calórico total} = Q_{cilindro} + Q_{cono} + Q_{elipse}$$

La temperatura en el interior se supone en la peor condición, 180°C, que sería si el vapor lograra calentar todo el metal. Esto ya demuestra un claro sobredimensionamiento. La temperatura de pared buscada es de 44°C, el límite de temperatura agradable al tacto humano sin llegar a las quemaduras. La lana de vidrio tiene una conductividad de 0,035 j/(m·K·seg), el radio considerado es de (0,5·1,75m= 0,875m) y la generatriz del cono de 2m.

El vapor fue ingresado al reactor en una condición de sobrecalentamiento, para evitar la condensación. La energía que puede llegar a perder hasta llegar a la condensación es de 3,703 kcal/kg. Se había mencionado antes que el tiempo de residencia en el reactor es de 9,087 segundos. Entonces, para obtener una referencia, se tomará la condición en que todo el vapor puede perder todo el calor posible hasta la saturación:

$$Q_{vapor} = 3,703 \frac{kcal}{kg} \cdot 0,6246 \frac{kg}{seg} \cdot 9,087 seg = 21,017 kcal$$

En la tabla a continuación se muestran los resultados finales para cada espesor de lana de vidrio, teniendo el flujo calórico sumado de cada una de las tres partes del equipo, el total de energía que se transmite en los 9,087 segundos y la relación con todo lo que podría perder el vapor, según lo calculado.

Esp. Aislante	Flujo (kcal/s)	Calor perdido (kcal)	Relación
50 mm	0,407	3,699	18%
100 mm	0,211	1,914	9%
150 mm	0,145	1,318	6%
200 mm	0,112	1,020	5%
300 mm	0,079	0,722	3%
400 mm	0,063	0,572	3%
500 mm	0,053	0,482	2%
600 mm	0,046	0,421	2%
700 mm	0,042	0,378	2%
800 mm	0,038	0,345	2%
900 mm	0,035	0,320	2%
1000 mm	0,033	0,300	1%

Como a los 100 mm se observa ya una importante caída en el flujo calórico, se ha decidido usar este espesor de aislante de lana de vidrio.

2.5. Complementos

Las especificaciones finales de cada uno de los tres reactores se verifican en la siguiente tabla.

Característica	Detalles
Material	Acero inoxidable 316 L
Techo	Elíptico
Diámetro	1,75 m
Altura del elipsoide	0,1 m
Cuerpo	Cilíndrico
Diámetro	1,75 m
Largo	1,25 m
Fondo	Toricónico
Diámetro	1,75 m
Altura del cono	0,5 m
Generatriz	2 m
Volumen final	3,58 m³
Peso total	1734 kg
Soldadura	Juntas a tope por doble soldadura
Aislante	Lana de vidrio
Espesor	100 mm (0,1 m)

En cuanto a los accesorios, se debe destacar en primer lugar que es posible prescindir de un agitador mecánico para la homogeneización, el vapor ingresante puede cumplir tal propósito tranquilamente. Se incluirá este flujo desde el fondo del tanque mediante una araña, de manera que entre en contacto con cuanta cáscara sea posible, logrado

además su mezclado por la violencia con que entra. Además, se conectará al tanque a un sistema de control de presión por disco de ruptura, para asegurar que no exista peligro por las condiciones de trabajo.

Las conexiones de cada entrada se realizarán sobre el cilindro, y la de la salida de vapor sobre el techo, todas con un tamaño de 3", el máximo posible para instalar sin necesidad de agregar refuerzos mecánicos. Todas serán circulares, de manera de evitar ángulos vivos, que acumularían tensiones innecesarias. Se conectarán mediante bridas a las cañerías externas.

En cuanto a la salida de la cáscara agotada por el fondo del equipo, se ha decidido instalar una abertura de 6" sobre el vértice inferior del cono, además de un sistema autolimpiante "Clean In Place" (CIP), para facilitar el vaciado luego de cada operación. Por tener este tamaño, no puede obviarse la instalación de un refuerzo, ya que puede presentar un problema de concentración de tensiones por la discontinuidad que el orificio representa. Según la norma, puede calcularse el área de "restitución" que deberá presentar el refuerzo (superficie que se agrega de esta manera para suplementar la faltante del cuerpo principal, debida a la abertura), con la fórmula que sigue.

$$A = d \cdot tr \cdot F$$

Donde el área (A) representa la superficie del refuerzo marcada con una trama orientada a la izquierda en la figura 9. F es un factor de corrección que aplica en el caso que la apertura no sea concéntrica con el eje principal del cuerpo. Como no es el caso, adquiere valor unitario para este cálculo. El espesor tr es el que se usará para el cono, $3/4"$, y d es el diámetro del orificio, $6"$.

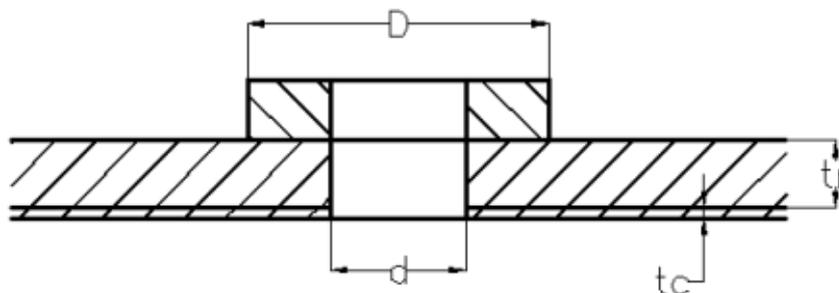


Figura 9: Esquema de los refuerzos para orificios mayores a lo permisible. Fuente: apuntes de la cátedra Mecánica- Eléctrica- Industrial.

Así;

$$A = 6" \cdot 0,75" \cdot 1 = 0,1524 \text{ m} \cdot 0,019 \text{ m} = 0,0029 \text{ m}^2$$

En cualquier plano por donde se corte al refuerzo, debe verificarse un área mínima de $0,0029 \text{ m}^2$. En cuanto al diámetro necesario (D), se ve también en el código ASME que debe ser:

$$D = 2 \cdot d = 2 \cdot 6" = 12"$$

El diámetro del refuerzo debe ser de $12"$, o bien $0,3048 \text{ m}$.

Se instalará una conexión bridada y una válvula rotativa para el control de la salida.

3. TANQUES PULMÓN

Como se mencionó previamente, al operar la torre dos días a la semana, se deberá almacenar la carga continua proveniente de la torre azeotrópica aguas abajo. Para ello, se deberán construir dos tanques pulmón capaces de contener la carga semanal.

La carga semanal es de 111.496 kg con una concentración de 3% metanol. Calculando la densidad ponderada de esa carga, se obtiene el volumen necesario a almacenar:

$$\text{Densidad ponderada} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,97 + 791,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,03 = 993,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$\text{Volumen a almacenar} = \frac{111.496 \text{ kg}}{993,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 112,2 \text{ m}^3$$

Es decir, que se necesitarán dos tanques de 56,1 m³. Por cuestiones de seguridad, se agregará un 25% a cada tanque, para tener un 50% de capacidad extra. Por lo tanto, se necesitarán dos tanques de 70,125 m³.

El material elegido para ambos es acero inoxidable tipo 304, que permite una buena durabilidad y resistencia, pero a un precio más accesible que otros usados para sustancias más peligrosas o corrosivas. Si para el cuerpo de cada tanque se escogen chapas de acero de 3000 x 1250 mm, se necesitarán 20 chapas por tanque, 4 columnas y 5 filas:

$$\text{Perímetro} = 4 \cdot 3 \text{ m} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro de tanque} = \frac{\text{Perímetro}}{\pi} = \frac{12 \text{ m}}{\pi} = 3,82 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} (3,82 \text{ m})^2 = 11,46 \text{ m}^2$$

$$\text{Largo} = 5 \cdot 1,25 \text{ m} = 6,25 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = A \cdot L = 11,46 \text{ m}^2 \cdot 6,25 \text{ m} = 72,62 \text{ m}^3$$

Para el cálculo de espesor se utiliza la siguiente fórmula, para tanques de almacenamiento no sometidos a presión.

$$t = \gamma \cdot D \cdot \frac{L - 0,3 \text{ m}}{2 \cdot E \cdot S}$$

La resistencia a la tracción de este material es de 500 N/mm². Por cuestiones de seguridad se adapta un tercio de este valor, por lo tanto, S= 166,67 N/mm². Para las uniones se ha elegido, al igual que para el reactor, usar juntas a tope por doble soldadura, las más eficientes, y analizarlas por radiografiado. Por lo tanto, E= 1. Por último, para el peso específico es necesario aplicar un promedio ponderado de las sustancias presentes: 97% de agua y 3% de metanol. Así, queda un valor de $\gamma= 9741 \text{ N/m}^3$. El espesor en este caso quedaría en un valor menor a 3/16", el mínimo admisible, así que se usará este valor límite. El peso estimado para el cuerpo es de 2826 kg.

Los techos serán de chapas de 3/16", el mínimo aceptable por normas ASME, y de forma cónica, la más barata. Doce chapas de 2000 x 1000 mm serán necesarias, cortándolas en forma triangular. Por lo tanto, pesará 456,16 kg.

El fondo tendrá forma circular, usando nuevamente las doce chapas de ese tamaño. El área en este caso es de 11,46 m². Como se usará nuevamente el espesor mínimo, el peso asignado es de 431,84 kg.

Así, cada tanque de almacenamiento pesará en total 3710 kg.

4. CONDENSADOR

Otro equipo para diseñar es el condensador de la torre de destilación binaria metanol-agua. A este equipo de intercambio térmico ingresa la corriente de vapor enriquecida en metanol:

V	Metanol	91,4%	4.515	kmol/día
	Agua	8,6%	425	kmol/día
Total		100%	4.940	kmol/día

V	Metanol	95,0%	144.485	kg/día
	Agua	5,0%	7.647	kg/día
Total		100%	152.132	kg/día

Esta corriente atraviesa un cambio de estado, cediendo energía térmica a una corriente de agua de refrigeración. Luego, una vez condensada, una fracción del líquido se recircula a la torre mientras que el resto forma el destilado.

Al ser una mezcla binaria y no un compuesto puro, la condensación no es isotérmica, sino que lo hace en un intervalo de temperaturas. De esta forma, la temperatura de la mezcla se irá reduciendo a medida que va condensando dentro del equipo. En primer lugar, condensan en mayor proporción los componentes de mayor temperatura de ebullición, los componentes pesados (en este caso, el agua). Y a medida que la condensación avanza, condensan los componentes livianos (metanol). Por este motivo, no se puede utilizar la diferencia de temperaturas media logarítmica en la ecuación global de diseño del equipo térmico, ya que se estaría incurriendo en un error.

Es por ello que resulta necesario obtener en primer lugar la curva de condensación de la mezcla. Esta representa la evolución termodinámica de la corriente a medida que su temperatura se va reduciendo. Para ello, se divide el rango de condensación en intervalos (siendo 4 o 5 lo usual), y para cada temperatura intermedia es necesario conocer la entalpía de la corriente, su título (kg de vapor/kg total) y el peso molecular del vapor. Luego, con estos datos, se calcula el caudal de vapor en esa parte del equipo (caudal total por título) y el calor cedido por este en cada intervalo. Todos estos datos fueron obtenidos mediante el HYSYS para la mezcla antes mencionada. Por último, conociendo la temperatura de entrada del agua refrigerante (ambiente), puede calcularse para cada intervalo la temperatura, la diferencia media logarítmica:

INTERVALO		I		II		III		IV	
------------------	--	----------	--	-----------	--	------------	--	-----------	--

Temp. vapor	K	344,4		343,5		342,6		341,7		340,8
Título	kg vap/kg total	1		0,766		0,519		0,262		0
Entalpía vapor	kJ/kg	-		-		-		-		-7742
PM vapor	kg/kmol	30,84		31,35		31,72		31,93		31,93
Caudal de vapor	kg/seg	1,76		1,35		0,91		0,46		0
Q	kW		241,2		265,7		278,7		242,6	
Temp. Agua	K	314,5		310,7		306,5		302		298,15
DTML	K		31,45		34,59		38,03		41,3	

Una vez obtenido el rango de condensación, es necesario conocer ciertas propiedades de la mezcla, tanto en su estado líquido como gaseoso, que fueron también obtenidas del HYSYS:

Propiedades Físicas	Vapor		Líquido	
Densidad			746,9	kg/m ³
Viscosidad	0,006992	cp	0,3173	cp
Conductividad térmica	0,01707	W/m·K	0,1869	W/m·K
Calor específico a P cte.	1537,822	J/kg·K	5212,46	J/kg·K
Factor Z	0,9819			
Prandtl	0,6299		8,8491	

Además, se escoge un caudal de agua de refrigeración tentativo, que luego debe verificarse, así como la presión de entrada del vapor a condensar, datos que se resumen en la siguiente tabla:

Característica		
Caudal fluido caliente Wv	1,76	kg/s
Caudal del agua Wo	15	kg/s
Presión entrada vapor	101.3	kPa

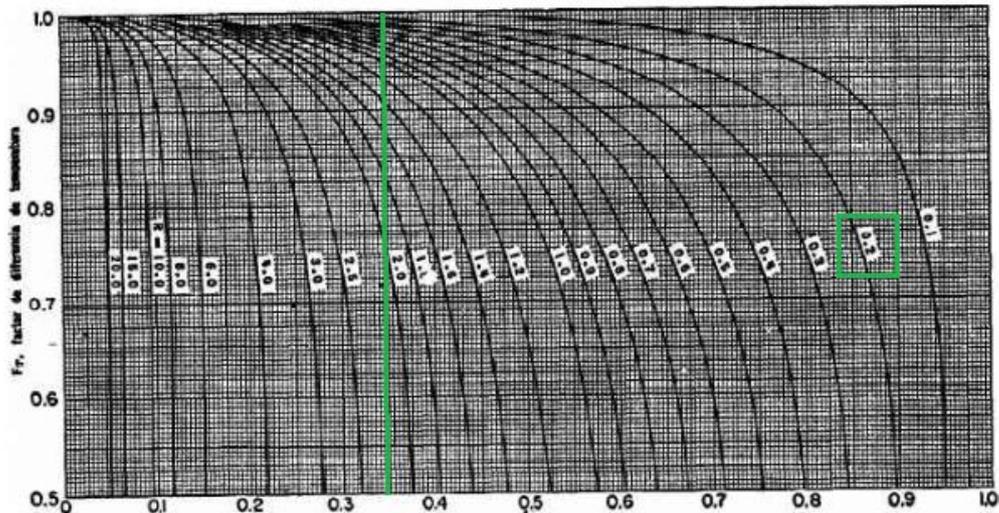
Luego, para el diseño del condensador, se establecen sus parámetros geométricos y se verifica que el área del equipo sea mayor a la requerida y que las caídas de presión de ambos fluidos (el producto y el agua de refrigeración) no sean excesivas.

El condensador será un intercambiador de calor horizontal de casco (por donde circulará la corriente a condensar) y tubos (agua de refrigeración), con una disposición 1-2 (es decir, un paso por casco y dos por tubos).

Para este tipo de equipo y por las temperaturas con las que se trabaja (T representa temperatura del fluido caliente y t del fluido frío), se calculan los parámetros R y S, que permitirán, mediante un gráfico, obtener el factor de corrección para la diferencia de temperaturas media logarítmica:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{71,4 \text{ } ^\circ\text{C} - 67,8 \text{ } ^\circ\text{C}}{41,4 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,22$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{41,4\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}}{71,4\text{ }^\circ\text{C} - 25\text{ }^\circ\text{C}} = 0,35$$



Factores de corrección MLDT para intercambiadores 1-2. (Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949)

Figura 10: factores de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica para un intercambiador 1-2. Fuente: Procesos de transferencia de calor, Donald Q. Kern.

Como puede verse en el gráfico obtenido del libro “Procesos de transferencia de calor” de Donald Q. Kern, el factor de corrección será de 1.

Para el diseño del equipo, se deben seleccionar los datos geométricos del mismo. Para ello, se utilizaron datos y tablas del mismo libro mencionado anteriormente:

Número de tubos N	82	Arreglo	Triangular	
Número de paso por tubo n	2			
Diámetro interno tubo Di	0,0165	metros	0,65	pulgadas
Diámetro externo tubo Do	0,01905	metros	0,75	pulgadas
Diámetro coraza Ds	0,3048	metros	12	pulgadas
Separación entre bafles B	0,3048	metros	12	pulgadas
Separación entre tubos (Pt)	0,0254	metros	1	pulgadas
Longitud tubos L	5,486	metros	18	pies
Claro entre tubos c	0,0048	metros	0,19	pulgadas

Tubos de 3/4" DE, arreglo triangular de 1 plg

Coraza DI, plg	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
8	37	30	24	24	
10	61	52	40	36	
12	92	82	76	74	70
13 1/4	109	106	86	82	74
15 1/4	151	138	122	118	110
17 1/4	203	196	178	172	166
19 1/4	262	250	226	216	210
21 1/4	316	302	278	272	260
23 1/4	384	376	352	342	328
25	470	452	422	394	382
27	559	534	488	474	464
29	630	604	556	538	508
31	745	728	678	666	640
33	856	830	774	760	732
35	970	938	882	864	848
37	1074	1044	1012	986	870
39	1206	1176	128	1100	078

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared,	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg ²	Superficie por pie lin. pies ²		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
1/2	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
3/4	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401

Figura 11: datos de tubos para intercambiadores. Fuente: Procesos de transferencia de calor, Donald Q. Kern.

Con estas dos tablas, se explica de dónde salen los valores de diámetro interno, externo, el número de tubos, el diámetro de coraza y la separación entre tubos.

Además, para el diseño se consideraron una resistencia de ensuciamiento de 0,0001 m²K/W para el lado de la corriente a condensar y de 0,0003 m²K/W para el lado agua.

En primera instancia se calcula el área de flujo de tubos y la velocidad dentro de los mismos, y junto a la temperatura media del agua ($t=33,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), se obtiene el coeficiente de transferencia del lado tubos:

$$at = \frac{\pi}{4} Di^2 \frac{N}{n} = \frac{\pi}{4} \times (0,0165\text{ m})^2 \times \frac{82}{2} = 0,0087\text{ m}^2$$

$$G'' = \frac{W_o}{\rho \times at} = \frac{15\text{ kg/seg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0087\text{ m}^2} = 1,71\text{ m/seg}$$

$$\begin{aligned} h_{io} &= 1423 \times (1 + 0,0146 \times t) \times \frac{G''^{0,8}}{Di^{0,2}} \times \frac{Di}{Do} \\ &= 1423 \times (1 + 0,0146 \times 33,2) \times \frac{1,71^{0,8}}{0,0165^{0,2}} \times \frac{0,0165}{0,01905} = 6393 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \end{aligned}$$

Esta fórmula está dada para obtener el coeficiente de transferencia para agua circulando por tubos (Eduardo Cao: "Transferencia de calor en procesos de ingeniería") y ya está referenciada al área externa.

El cálculo del coeficiente para el lado del vapor condensante implica mayores complicaciones. En primer lugar, se debe obtener el coeficiente debido a la película de condensado $h'f$. Para ello, se calculará un h_f para todo el equipo mediante el método de condensación de Nusselt, que no tiene en cuenta el efecto del arrastre del vapor, y luego se corregirá este coeficiente para cada uno de los intervalos en los que se dividió el equipo por la velocidad del vapor:

$$\begin{aligned} h_f &= 1,51 \left(\frac{4 \times G'}{\mu_L} \right)^{-1/3} \left(\frac{\mu_L^2}{k_L^3 \rho_L^2 g} \right)^{-1/3} \\ &= 1,51 \left(\frac{4 \times 0,0175}{0,0003173} \right)^{-1/3} \left(\frac{0,0003173^2}{0,1869^3 \times 746,9^2 \times 9,8} \right)^{-1/3} = 1636 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \end{aligned}$$

Donde G' se calcula como:

$$G' = \frac{Wv}{L \times N^{0,66}} = \frac{1,76}{5,486 \times 82^{0,66}} = 0,0175 \frac{\text{kg}}{\text{m seg}}$$

Ahora se calculará el coeficiente de película corregido $h'f$ para cada intervalo mediante la resolución de las siguientes ecuaciones para cada etapa:

$$Nu_f = \frac{h_f \times D_o}{k_L} = 166,8$$

$$Nu'_f = \frac{h'f \times D}{k_L} = (X^4 Re^2 + Nu_f^4)^{1/4}$$

$$Re = \frac{D_o \times G \times \rho_G}{\mu_L \rho_G}$$

$$G = \frac{Wv \times \text{título vapor}}{\text{Área de flujo en carcasa}} = \frac{1,76 \times \text{título vapor} \times Pt}{Ds \times B \times c}$$

$$\rho_G = \frac{PM \text{ vapor} \times \text{Presión vap}}{0,082 \times \text{Factor } z \times \text{Temp vap}}$$

$$X = 0,9 \left(1 + \frac{1}{R \times H} \right)^{1/3}$$

$$R = \frac{\rho_L \mu_L}{\rho_G \mu_G}$$

$$H = \frac{cp_L(T_{sat} - T_w)}{Pr_L \lambda}$$

El calor de condensación se estima como el cociente entre el calor latente y el caudal condensado:

$$\lambda = \frac{Q - W_v cp_G(T_1 - T_2)}{W_v} = 578,16 \text{ kJ/kg}$$

Además, para aplicar el método es necesario iterar en el cálculo de T_w (temperatura de pared). Para cada intervalo se supone un valor para T_w y luego se verifica en:

$$T_w = \frac{h_o \times T - U (T - t)}{h_o}$$

Luego, una vez calculada h'_f , se calcula el coeficiente total del lado del vapor h_o mediante:

$$h_o = \left(\frac{1}{h'_f} + \frac{\gamma}{h_G} \right)^{-1}$$

Para obtener el valor del coeficiente de fase vapor h_G se utiliza el método de Kern:

$$Re_K = \frac{Deq \times G}{\mu_G}$$

$$h_G = \frac{0,36 Re_K^{0,55} Pr_G^{0,33} k_G}{Deq}$$

El diámetro equivalente para esta geometría según el método se calcula:

$$Deq = \frac{4(0,5 \times B \times 0,86 \times B - 0,5 \times \pi \times \frac{Do^2}{4})}{0,5 \times \pi \times Do} = 0,0181 \text{ m}$$

Mientras que γ , que es la relación entre el calor sensible y el calor total de cada intervalo, se calcula de la siguiente forma:

$$\gamma = \frac{W_v \times \text{título vapor} \times cp_G \times (T_i - T_{i+1})}{1000 \times Qi}$$

Finalmente, el coeficiente U para cada intervalo será:

$$U = \left(\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{io}} + Rfi + Rfo \right)^{-1}$$

Y el área requerida para cada intervalo:

$$A = \frac{Qi}{U \Delta T}$$

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de todas las ecuaciones descriptas, una vez que la iteración ya se encuentra cerrada:

INTERVALO		I	II	III	IV		
Nu'f	1.814,4		1.572,6		1.284,8	908,4	166,8
Re	4.043.779		3.039.181		2.029.832	1.015.280	0
Caudal vapor G [kg/s]	1,761		1,349		0,914	0,461	0,000
Densidad vapor [kg/m ³]	1,112		1,134		1,150	1,161	1,164
X	0,902		0,902		0,902	0,901	0,900
R	30.476		29.902		29.476	29.205	29.128
Tw propuesta [°C]	67,12		65,73		63,94	61,06	45,40
H	0,004		0,005		0,006	0,008	0,023
h'f [W/m ² K]	17.801		15.429		12.606	8.913	1.637
Re [Kern]	258.942		198.349		134.391	67.843	0
hg [W/m ² K]	277,3		239,5		193,4	132,8	0,0
gamma	0,010		0,007		0,005	0,003	0,003
ho [m ² K/W]	10.799		10.622		9.728	7.575	1.637
Tw verificada [°C]	67,12		65,73		63,94	61,06	45,40
U [W/m ² K]	1.541		1.537		1.517	1.453	857
Área intervalo [m ²]		4,98		5,03		4,94	5,09

Por lo tanto, la sumatoria del área de cada intervalo corresponde al área total requerida para el equipo:

$$\text{Área requerida} = 4,98 \text{ m}^2 + 5,03 \text{ m}^2 + 4,94 \text{ m}^2 + 5,09 \text{ m}^2 = 20,04 \text{ m}^2$$

El área del equipo de intercambio con la geometría escogida es de:

$$\text{Área equipo} = \pi \times Do \times L \times N = \pi \times 0,01905 \text{ m} \times 5,486 \text{ m} \times 82 = 26,91 \text{ m}^2$$

Es decir, que el equipo presenta un exceso de área de más del 25%, lo cual es útil dado que, a mayor uso del equipo, se producirá un ensuciamiento (por ejemplo, debido al agua en el lado tubos), lo que disminuirá el coeficiente global U, haciendo que se necesite un mayor área para lograr la condensación deseada.

Una vez obtenidas la geometría y las dimensiones del equipo (y, por lo tanto, su área), es necesario verificar las caídas de presión tanto por tubos como por la carcasa.

Para el lado tubos, se utiliza la siguiente fórmula para la parte recta, que surge a partir de la ecuación de Fanning:

$$\Delta P_t = 4 \times f \times n \times \rho \times \frac{L}{Di} \frac{G^{n2}}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14}$$

La viscosidad del numerador corresponde a la temperatura media del agua en el equipo (33,2 °C) y la del denominador es la viscosidad a la temperatura media de la pared de los tubos (55,5 °C). Ambos datos fueron obtenidos del HYSYS.

Dado que se trabaja en régimen turbulento (de ahí surge el exponente -0.14), el factor de fricción f puede calcularse mediante:

$$f = 0,0014 + 0,125 Re^{-0.32} = 0,0014 + 0,125 \left(\frac{Di \times G'' \times \rho}{\mu} \right)^{-0.32}$$

$$= 0,0014 + 0,125 \left(\frac{0,0165 \text{ m} \times 1,71 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,000749 \frac{\text{kg}}{\text{m seg}}} \right)^{-0.32} = 0,0055$$

Por lo tanto, la caída de presión dentro de los tubos será:

$$\Delta P_t = 4 \times 0,0055 \times 2 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{5,486 \text{ m}}{0,0165 \text{ m}} \times \frac{(1,71 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{2} \times \left(\frac{0,000749 \frac{\text{kg}}{\text{m seg}}}{0,000504 \frac{\text{kg}}{\text{m seg}}} \right)^{-0.14}$$

$$= 20.268 \text{ Pa} = 20,3 \text{ kPa}$$

Para los extremos del mazo, la caída de presión se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta P_r = 4 \times n \times \rho \times \frac{G''^2}{2} = 4 \times 2 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{(1,71 \text{ m/seg})^2}{2} = 11.722 \text{ Pa} = 11,7 \text{ kPa}$$

Por lo tanto, la caída de presión total para el agua dentro de los tubos será de:

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r = 20,3 \text{ kPa} + 11,7 \text{ kPa} = 32 \text{ kPa}$$

Lo que representa una caída de presión acorde a los valores normales.

Para calcular la caída de presión del lado carcasa, se utiliza el método de Kern. Según él, la pérdida de carga es proporcional al número de veces que el fluido cruza el haz de tubos entre los baffles ($N_B + 1$), siendo N_B el número de baffles en el equipo (que se calcula mediante el cociente entre la longitud del equipo y la separación entre baffles):

$$\Delta P_s = f \frac{(N_B + 1) \times D_s \times G_s^2 \times \rho}{2 \times Deq}$$

Donde G_s es la velocidad del fluido que circula por el equipo, que se calcula:

$$G_s = \frac{G}{as \times \rho}$$

Siendo as el área de flujo de la carcasa ($D_s \times B \times c/Pt$), ya calculada previamente y G el caudal del vapor.

En tanto que el factor de fricción f , para flujo turbulento, se calcula como:

$$f = 1,728 \times Re_K^{-0.188}$$

Previamente, para el cálculo del área necesaria para el equipo, se calcularon los valores de velocidad y densidad del vapor, y el Re de Kern para cada intervalo con el que se trabajó. En esta instancia, se utilizarán valores promedios de aquellos calculados anteriormente, quedando así:

- $G=0,9 \text{ kg/seg}$
- $\rho=1,14 \text{ kg/m}^3$

- Re (Kern)= 131.905

Entonces, el factor de fricción f , la velocidad del fluido G_s y la caída de presión en la carcasa serán:

$$f = 1,728 \times 131.905^{-0.188} = 0,19$$

$$G_s = \frac{0,9 \text{ kg/seg}}{1,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0175 \text{ m}^2} = 44,66 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$\Delta P_s = 0,19 \frac{\left(\frac{5,486 \text{ m}}{0,3048 \text{ m}} + 1\right) \times 0,3048 \text{ m} \times (44,66 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2 \times 1,14 \text{ kg/m}^3}{2 \times 0,0181 \text{ m}} = 68.922 \text{ Pa}$$

$$= 69 \text{ kPa}$$

Teniendo en cuenta que el fluido de carcasa entra al equipo a presión atmosférica, tras atravesarlo, saldrá con una presión aproximada de 30 kPa.

Por lo general, los condensadores que se ubican a la salida de la parte superior de las torres de destilación pueden funcionar por gravedad, aprovechando la ubicación alta del equipo. Sin embargo, al ser esta torre muy elevada (8,4 metros, según su diseño), es más conveniente colocar el condensador a la altura del suelo y que el reflujo hacia la torre llegue mediante la aplicación de presión dada por una bomba.

Por lo tanto, a la salida del condensador será necesario tener una bomba que lleve al líquido condensado hacia la parte superior de la torre a una presión cercana a la atmosférica.

5. OTROS DISEÑOS

Para continuar con el proyecto, existe una serie de equipos cuyas dimensiones son necesarias para conocer la manera en que se dispondrá el tren productivo en la planta. Por lo tanto, se ha decidido desarrollarlos de manera breve.

5.1. Silo de cáscara molida

Se sabe que el molino de bolas puede producir un caudal de sólidos en el tamaño buscado, pero en forma demasiado discontinua. En busca de asegurar el funcionamiento continuo de la planta se ha decidido instalar un tanque que acumule la materia prima del reactor, para que su operación corra menos riesgo de tener que ser detenida. Se ha decidido mantener una reserva de dos días de producción, por lo que el volumen necesario se verifica con los cálculos que siguen.

$$Vol_{silo} = \dot{V}_{cáscara} \cdot t_{reserva} = \frac{\dot{m}_{cáscara}}{\delta_{cáscara}} \cdot t_{reserva}$$

Recordando lo expuesto en el balance de masa, el caudal de materia prima necesario era de 46.208 kg/día, y su densidad, de 738 kg/m³. Por lo tanto:

$$Vol_{silo} = \frac{46.208 \text{ kg/día}}{738 \text{ kg/m}^3} \cdot 2 \text{ días} = 125,22 \text{ m}^3$$

Para conocer las dimensiones, se partió de lo ya mencionado varias veces en este capítulo: las dimensiones de chapas. Los tamaños en que se venden son (en mm): 2000*1000, 2500*1250, 3000*1250, 3000*1500.

Aplicando múltiplos de 3m para el perímetro del tanque, pudieron calcularse el diámetro y alto del equipo. Tras varias iteraciones, se ha llegado a la conclusión de que el más aceptable para combinar las planchas de acero con los menores cortes y uniones posibles es el de 15m. Los cálculos requirieron tomar el volumen de tanque obtenido y determinar, para cada perímetro propuesto, primero el diámetro y luego la altura.

$$\begin{aligned} \text{Perímetro} &= 15m = \pi \cdot D \\ D &= 4,78m \\ V &= \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \\ h &= \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{125,22 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 4,77m} = 6,99m \end{aligned}$$

Con esto quedan definidas las dimensiones del equipo, utilizando cinco chapas de 3000mm por fila (15m de perímetro), en cada una de cinco filas. Las primeras cuatro serán con planchas de 1500mm y la más alta con unas de 1250mm, completando así 7,25m de altura.

5.2. Decantador

Este es el equipo propuesto como DEC-1, al cual ingresa la corriente MLAF-2, separándose en una fase acuosa superior, que se va como MLAF-3, y otra inferior orgánica, que forma MLFA-1.

MLAF-2	Agua	65,0%	7.430	kg/día
	Furfural	35,0%	4.001	kg/día
Total		100,0%	11.431	kg/día
<hr/>				
MLAF-3	Agua	94,9%	6.788	kg/día
	Furfural	5,1%	364	kg/día
Total		100,0%	7.152	kg/día
<hr/>				
MLFA-1	Agua	15,0%	642	kg/día
	Furfural	85,0%	3.637	kg/día
Total		100,0%	4.279	kg/día

El diseño presenta la enorme dificultad de falta de datos sobre el sistema; no fue posible encontrar en bibliografía estudios que especifiquen la manera en que las dos fases se separan, ni información acerca del tiempo de retención utilizado en las plantas de producción de furfural.

La idea que surgió entonces fue estudiar un sistema de separación del agua de una fase orgánica por medios propios. Por cuestiones de comodidad, el sistema agua-aceite vegetal fue el elegido. Se colocó los líquidos en un tubo de ensayos de 20mL en proporciones similares a las de trabajo (65% de agua, 35% de furfural –o aceite, en este

caso-). Tras una fuerte agitación, se observó una separación de fases adecuada a las proporciones buscadas para las salidas a los 90 segundos.

Dado que el sistema real puede diferir bastante del ensayado, estos datos pueden llevar a errores importantes. Por lo tanto, en busca de sobredimensionar lo suficiente como para evitar inconvenientes, se ha decidido usar un tiempo de retención cien veces mayor al visto: 9000 segundos. Recordando, la planta tendrá operación continua, por lo que este lapso de estadía mayor no ralentiza la producción. Además, asegurando una correcta aislación, se mantiene la idea planteada en el balance de masa, de una variación prácticamente nula de la temperatura.

El tanque a usar se puede determinar con los cálculos que continúan.

$$\delta = 65\% \cdot \delta_{agua} + 35\% \cdot \delta_{furfural} = 65\% \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} + 35\% \cdot 1112,5 \frac{kg}{m^3} = 1039,375 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\delta} = \frac{11431 \frac{kg}{día}}{1039,375 \frac{kg}{m^3}} = 10,998 \frac{m^3}{día}$$

$$\dot{V} = 10,998 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 día}{24 \cdot 60 \cdot 60 seg} = 0,000127 \frac{m^3}{seg}$$

$$V_{tanque} = \dot{V} \cdot t = 0,000127 \frac{m^3}{seg} \cdot 9000 seg = 1,146 m^3$$

Ya teniendo el volumen, se realizó la misma iteración que para el silo, de acuerdo a los tamaños de chapa. En este caso, resultó lo más conveniente usar dos de 2000*1000, teniendo un perímetro de 4m.

$$Perímetro = 4m = \pi \cdot D$$

$$D = 1,273 m$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{1,146 m^3 \cdot 4}{\pi \cdot 1,273m} = 0,9m$$

5.3. Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico

Este es uno de los equipos que menor volumen requieren, dada la escasa cantidad de ácido necesitada para el proceso. Según lo especificado en capítulos anteriores de este proyecto, el consumo ronda los 3,5 kg/día. Se ha decidido tener un mes de reserva del ácido, cuya densidad se estima en 1840 kg/m³ (solución acuosa al 98% m/m, comercial). Por lo tanto, puede saberse el volumen.

$$V = \frac{\dot{m}_{ácido}}{\delta_{ácido}} \cdot t_{reserva} = \frac{3,5 \frac{kg}{día}}{1840 \frac{kg}{m^3}} \cdot 30 días = 0,057 m^3$$

Por este valor tan bajo no fue necesario iterar mucho, porque se usará un material especial y no acero inoxidable, ya que aún con el mejor de éstos existe un enorme riesgo

de corrosión interna. Así que se diseñó con una relación L/D de 0,75, y el volumen permitió obtener el valor de las dimensiones.

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 0,75 \cdot D$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,75}}$$

$$D = 0,46m$$

$$L = D \cdot 0,75 = 0,34m$$

Por las dimensiones menores, se ha decidido instalar directamente un envase de plástico en los que se comercializa el ácido y conectarlo directamente al bombeo.

5.4. Tanque de almacenamiento de agua

Este equipo será uno de los más grandes, dado el alto consumo que se tiene del líquido en la planta. Si bien éste puede obtenerse en grandes cantidades a partir de la provisión del parque industrial, se ha decidido tener una reserva para tener mayor seguridad y un acceso más fácil al recurso.

La reserva buscada es la cantidad que complete un día de proceso normal. Para cubrir cualquier eventualidad, se decidió guardar un 50% más (un día y medio de consumo).

Entonces, lo primero es hacer un recuento de todas las operaciones que implican un uso considerable del recurso. Para el proceso se tiene la corriente VAR, el vapor que ingresa al reactor, y AS, la corriente de sulfúrico diluido. Todos los otros son consumos asociados a los intercambiadores de calor, y se detallan en la tabla que sigue.

CONSUMO DE AGUA (kg/día)	
VAR	53.961
AS	690
Lavado de cáscara	17.492
COND-1	130.339
CALD-1	3.147
COND-2	68.456
COND-3	4.919
CALD-2	1.569
COND-4	9.780
COND-5	3.242
CALD-4	16
CALD-3	17.885

Al sumar todos debe recordarse los cruces de corrientes explicados en el balance de energía, que permitan un ahorro de 15700 kg de agua. Pero también hay que sumar el consumo por lavado de cáscara, estimado en 0,5 kg/kg cáscara. Así, se agregan 17.491,5 kg/día, llegando a 295.796 kg/día. El volumen necesario puede ya saberse:

$$V = \frac{\dot{m}_{agua}}{\delta_{agua}} \cdot t_{reserva} = \frac{295.796 \frac{kg}{día}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \cdot 1,5 \text{ días} = 443,7 \text{ m}^3$$

De nuevo se procedió a la iteración con el tamaño de chapas, llegando a un perímetro óptimo de 24m:

$$\text{Perímetro} = 24m = \pi \cdot D$$

$$D = 7,639 \text{ m}$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{443,7 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 7,639m} = 9,68 \text{ m}$$

Lo mínimo requerido es usar chapas de 3000*1500 y 3000*1250, con ocho por fila (8·3m=24m) y cuatro filas de 1500mm (4·1,5m=6m) seguidas por tres de 1250mm (3·1,25m=3,75m).

5.5. Tanque de almacenamiento de metanol

Este producto se produce de una torre de destilación que opera dos días a la semana, por lo que se diseñó un equipo que pudiera contener todo el metanol logrado hasta por tres semanas (6 días operativos). La corriente involucrada sale de la columna de volátiles, y recibe el nombre de ME.

ME	Metanol	94,99%	436	kg/día
	Agua	5,01%	23	kg/día
Total		100,00%	459	kg/día

La densidad de esta mezcla es de 794,76 kg/m³, por lo que el volumen resulta:

$$V = \frac{\dot{m}_{ME}}{\delta_{ME}} \cdot \text{producción semanal} = \frac{459 \frac{kg}{día}}{794,76 \frac{kg}{m^3}} \cdot 6 \text{ días} = 3,465 \text{ m}^3$$

Con un perímetro de seis metros es suficiente.

$$\text{Perímetro} = 6m = \pi \cdot D$$

$$D = 1,91m$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{3,465 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 1,91m} = 1,21 \text{ m}$$

Dos chapas de 3000*1250, dispuestas en forma horizontal (2*3m=6m) son suficientes.

5.6. Tanque de almacenamiento de furfural

Para este, el almacenaje del producto principal, se decidió tener una reserva de 14 días. La densidad para la mezcla, que llega como corriente FL, es de 1121,33 kg/m³.

FL	Agua	1,498%	54,87	kg/día
	Otros	0,002%	0,09	kg/día
	Furfural	98,500%	3608,94	kg/día
Total		100,000%	3663,90	kg/día

$$V = \frac{\dot{m}_{FL}}{\delta_{FL}} \cdot t_{reserva} = \frac{3.663,9 \frac{kg}{día}}{1121,33 \frac{kg}{m^3}} \cdot 14 \text{ días} = 45,744 \text{ m}^3$$

El mejor perímetro resulta en 12m:

$$\text{Perímetro} = 12m = \pi \cdot D$$

$$D = 3,82m$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{45,744 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 3,82m^2} = 3,992m$$

Cuatro chapas de 3000*1500 en dos filas y una tercera de 3000*1250 completan el tanque (4*3m=12m, 3*1,5m+1,25m=4,25m).

5.7. Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio

Lo necesario para la neutralización de la corriente de proceso es tan solo 0,2 kg/día de la solución de soda al 10% m/m (lo más común comercialmente), pero a esto debe sumársele también lo necesario para la neutralización de los residuos. De acuerdo al balance de masa, el consumo total es de 5310 kg/día.

Si bien se mencionó en otras partes del proceso que se usaba una corriente al 10% m/m, el almacenamiento es de la solución comercial, al 50% m/m (luego se diluye en línea). Como su densidad es de 1530 kg/m³ y se quiere tener una reserva de 30 días, se puede saber el volumen de tanque.

$$\text{Consumo sc. NaOH } 50\%_{m/m} = 5310 \text{ kg/día}$$

$$V = \frac{\dot{m}_{NaOH}}{\delta_{NaOH}} \cdot t_{reserva} = \frac{5310 \frac{kg}{día}}{1530 \frac{kg}{m^3}} \cdot 30 \text{ días} = 104,12 \text{ m}^3$$

Con la repetida iteración, se decidió usar un perímetro de 15m.

$$\text{Perímetro} = 15m = \pi \cdot D$$

$$D = 4,775m$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{104,12 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 4,775^2 m} = 5,815 \text{ m}$$

Cinco chapas de 3m completarán cada fila, y dos filas de alto de 1,5m formarán el equipo.

5.8. Tanques de tratamiento biológico

Al desechar los residuos líquidos en los cursos naturales de agua, su alto contenido de sustancias biodegradables hace que las bacterias de la zona realicen una descomposición aeróbica sobre las mismas, consumiendo oxígeno del medio. Al producirse estas reacciones, el contenido del gas disuelto en el agua se reduce, dificultando el correcto desarrollo de la vida. Para evitar que esto suceda y ajustar las corrientes residuales a los parámetros de vuelco de las normativas regentes, se instalará un tanque de tratamiento biológico de efluentes. Así, la descomposición se producirá en él y con el aire proveído artificialmente, aminorando el consumo al ser volcados los efluentes en el medio.

Como se dijo anteriormente, el objetivo de estos diseños no es entrar demasiado en detalle sobre la operación, tal como se realizó para los tres primeros equipos, sino tener una idea de las dimensiones de los tanques presentes. Por eso, para estimar el tamaño del tanque de tratamiento biológico se supondrá un tiempo de residencia de 3 días en el mismo, considerándolo un tiempo usual requerido para lograr un procedimiento correcto en una descomposición aeróbica.

Aunque antes de llegar al tanque principal, se debe instalar un equipo conocido como ecualizador. El mismo trabaja mezclando corrientes afluentes que llegan del proceso con otras que llegaron antes, para lograr una buena homogeneización, y reducir considerablemente la variabilidad de los parámetros en las corrientes que serán trabajadas en el tratamiento principal. La importancia de la instalación de un ecualizador yace en que los organismos encargados de la descomposición de la materia orgánica necesitan condiciones estables de trabajo, porque son sensibles a las variaciones de los parámetros, pudiendo encontrarse en distintos estados metabólicos según las concentraciones de cada sustancia, el pH, la temperatura, o algún otro.

Para asegurar un correcto mezclado, se decidió instalar un tanque que mezcle las corrientes de hasta 4 ciclos productivos (la producción es continua, se habla de 4 ciclos de reactor para tener una medida del caudal de trabajo). El caudal a trabajar es la suma de todos los residuales y el NaOH de neutralización, y la densidad se evaluará para cada uno.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{RT-1}}{\delta_{RT-1}} + \frac{\dot{m}_{RT-2}}{\delta_{RT-2}} + \frac{\dot{m}_{RT-3}}{\delta_{RT-3}} + \frac{\dot{m}_{RT-4}}{\delta_{RT-4}} + \frac{\dot{m}_{NaOH}}{\delta_{NaOH}}$$

$$\dot{V} = \frac{3,1 \frac{kg}{día} + 5.247,5 \frac{kg}{día}}{1.067,68 \frac{kg}{m^3}} + \frac{40.413 \frac{kg}{día}}{1.008,44 \frac{kg}{m^3}} + \frac{15.468,5 \frac{kg}{día}}{1.006,97 \frac{kg}{m^3}} + \frac{615,4 \frac{kg}{día}}{1.013,59 \frac{kg}{m^3}} + \frac{5310 \frac{kg}{día}}{1.530 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{V} = 65,76 \text{ m}^3/\text{día}$$

Este caudal es común para ambos tanques, pero a partir del tiempo de retención nace la diferencia. Para el ecualizador será:

$$V = \dot{V} \cdot t_{reserva} = 65,76 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 4 \text{ ciclos} \cdot \frac{1 \text{ día}}{32 \text{ ciclos}} = 8,22 \text{ m}^3$$

Las dimensiones se terminan de conocer mediante la iteración tan repetida, que en este caso resultó óptima a los 6m de perímetro.

$$\text{Perímetro} = 6m = \pi \cdot D$$

$$D = 1,91m$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{8,22 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 1,91 \text{ m}} = 2,87 \text{ m}$$

Con dos filas de 1,5m se logra la altura. Cada fila debe tener dos chapas de 3m de largo.

Por último, se pueden conocer las dimensiones del tanque de tratamiento biológico usando los 3 días de residencia estipulados.

$$V = \dot{V} \cdot t_{reserva} = 65,76 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 3 \text{ días} = 197,29 \text{ m}^3$$

Para esta última iteración se encontró el mejor valor en 18m.

$$\text{Perímetro} = 18m = \pi \cdot D$$

$$D = 5,73m$$

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{186,88 \text{ m}^3 \cdot 4}{\pi \cdot 5,73 \text{ m}} = 7,652 \text{ m}$$

Cada fila de chapas debe tener seis unidades de 3m de largo. Se necesitan cuatro filas de 1,5m de alto y dos de 1,25m para completar el tanque, quedando un sobrante suficiente para accesorios y demás necesarios para una reacción de degradación biológica.

6. BIBLIOGRAFÍA

Libro del Web de Química del National Institute of Standards and Technology (NIST), sobre las propiedades termodinámicas de las sustancias estudiadas. Página web:

<https://webbook.nist.gov/> [Fecha de consulta: 21/08/2019]

Treybal, Robert E. (1997). Operaciones de transferencia de masa, McGraw-Hill, Segunda Edición.

Kern, Donald Q. (1999). Procesos de transferencia de calor, McGraw-Hill, Trigésimo primera reimpresión.

Cao, Eduardo (2004). Transferencia de calor en procesos de ingeniería, Primera Edición.

Ghahremani, H., Moradi, A., Abedini-Torghabeh, J., Hassani, S. M. (2011). Measuring surface tension of binary mixtures of water alcohols from the diffraction patterns of surface ripples, Islamic Azad University.

Caciavillani, F. (2012). Material de cátedra de Mecánica Eléctrica Industrial. U.T.N. F.R.A.

Speltini, C. (2016). Material de cátedra de Tecnología de la Energía Térmica. U.T.N. F.R.A.

Sitio web de National Kwik metal Service (NKS), empresa proveedora de aceros, sobre los tipos de aceros inoxidables y sus características. Página web:

<https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/aceros-inoxidables-316/>
[Fecha de consulta: 21/08/2019]

Sitio web de Irestal Group, empresa multinacional que trabaja con aceros, sobre las propiedades de distintos inoxidables. Página web:

<http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf> [Fecha de consulta: 21/08/2019]

Guía online del Código ASME Sección VIII, División I, tomo I, sobre normativas de diseño incluidos en la norma. Página web:

https://www.academia.edu/30592647/GUIA_DEL_CODIGO_ASME_SECCION_VIII_DIVISION_1_TOMO_1 [Fecha de consulta: 21/08/2019]

Inoxidable.com, sitio web de la empresa Acerind, sobre las características de las chapas comercializables de acero inoxidable. Página web:

<http://www.inoxidable.com/chapas.htm> [Fecha de consulta: 21/08/2019]

Sitio web de la empresa Hierro Cort, sobre los espesores de chapa normalizados y su peso por unidad de área. Página web:

<http://www.hierrocortsrl.com.ar/chapas.html> [Fecha de consulta: 21/08/2019]

Seguridad-laboral.es, sitio web sobre información de seguridad laboral, sobre las temperaturas aceptables para el tacto humano. Página web:

Producción de furfural a partir de cáscara de arroz. Capítulo 10: Diseño de un sistema de control automático de procesos

<http://www.seguridad-laboral.es/prevencion/manos/el-riesgo-termico-y-la-proteccion-de-las-manos> [Fecha de consulta: 21/08/2019]

Biblioteca de datos del programa Aspen HYSYS. Versión 7.3 (25.0.4.7337).
Copyright (c) 1997-2011 Aspen Technology, Inc.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 10: Diseño de un sistema de control automático de procesos

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO (LAZO CERRADO).....	3
2.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO EN TORRES DE DESTILACIÓN.....	3
2.2 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA DE LA ALIMENTACIÓN	4
3. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA	5
3.1 ELEMENTO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA: TRANSMISOR DE TEMPERATURA	5
3.2 ELEMENTO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN: TRANSMISOR DE PRESIÓN	6
3.3 CONTROLADORES	7
3.4 VÁLVULA DE CONTROL: VÁLVULA GLOBO	7
4. CONCLUSIONES.....	10
BIBLIOGRAFÍA.....	11

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control automático de procesos son de fundamental importancia para lograr la estabilidad de este y la calidad de los productos que se fabrican. Las variables más comunes que se controlan son temperatura, presión, caudal, pH y nivel.

En el proceso descrito en este proyecto, una de las etapas clave es el control de pH a la salida del decantador (previo al ingreso a la columna de deshidratación). Este control se hará en línea, mediante un sistema de control automático de pH.

2. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO (LAZO CERRADO)

Un sistema de control por lazo cerrado está compuesto por tres instrumentos fundamentales:

Un elemento de medición, que mide la variable deseada y transforma esa medición en una señal eléctrica que envía al controlador.

Un controlador, que compara la señal recibida con el set point ingresado por el usuario. Una diferencia entre estos valores se conoce como perturbación. En base a esta diferencia, envía una señal eléctrica de respuesta al elemento final de control.

Un elemento final de control que recibe la indicación del controlador y actúa en función de eliminar la perturbación.

A su vez, puede haber presente un elemento registrador.

A continuación, presentamos un esquema básico de control por lazo cerrado:

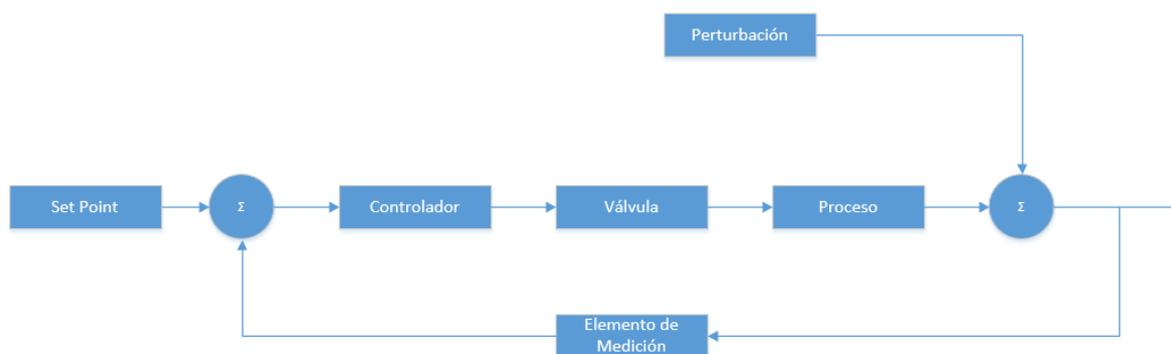


Imagen 1: Esquema básico de control por lazo cerrado. Fuente: Autor

Los símbolos Σ representan una sumatoria, una comparación de señales.

2.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO EN TORRES DE DESTILACIÓN

Son varias las variables controladas en una torre de destilación: presión en la cabeza de la columna, caudal, composición y temperatura de la alimentación, calor añadido y calorías extraídas, caudales de destilado y de producto extraídos.

En nuestro proyecto, desarrollaremos el diseño de un sistema de control automático para la temperatura de la alimentación de ingreso a la columna de destilación de metanol. Ésta se regula en cascada con el caudal de vapor.

2.2 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA DE LA ALIMENTACIÓN

Un sistema de control automático por cascada está basado en dos lazos de control. Un lazo de control de temperatura y un lazo de control de la presión del vapor circulante por la cañería de ingreso al intercambiador de calor.

El esquema es el siguiente:

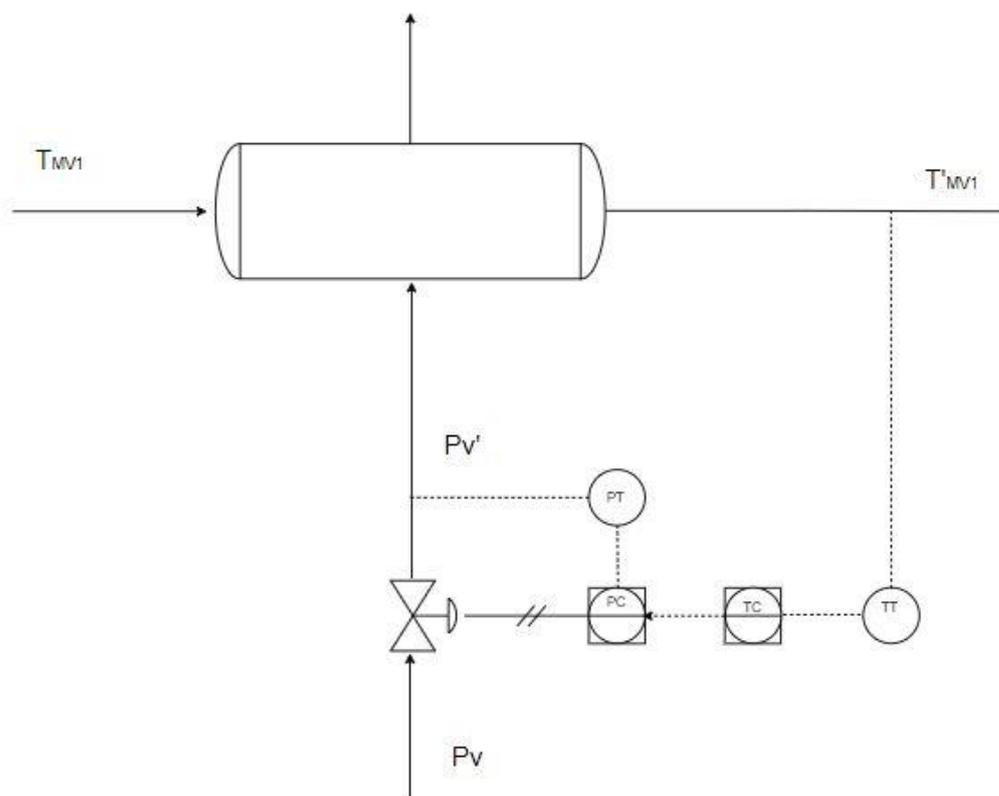


Imagen 2: Esquema de control en cascada. Fuente: Autor

A partir del balance de energía (capítulo 8) las temperaturas son las siguientes:

TMV_1 : 25°C

TMV_1' : 99°C

El calor intercambiado es 33.762.807 kcal/día

El caudal de vapor necesario es de 46.890 kg/día, que equivale a 0.543 kg/s. Este caudal se corresponde con una presión (si aumenta el caudal, aumenta la presión, y viceversa). Si la temperatura desciende, el transmisor de temperatura le envía una señal al controlador de temperatura. Luego, éste le envía una señal al controlador de presión, para indicarle que debe aumentarla. En consecuencia, se abrirá la válvula, la presión aumentará a la vez que lo hace el caudal, y por lo tanto aumentará la transmisión de calor del vapor hacia la mezcla. Consideramos que todas las señales son eléctricas, con la excepción de la señal que envía el controlador de presión a la válvula, la cual es neumática.

A su vez, el control en cascada permite determinar perturbaciones incluso antes que sean detectadas por el transmisor de temperatura.

Si la presión del vapor circulante sube o baja, es detectada por el transmisor de presión. El mismo envía una señal al controlador, el cual acciona sobre la válvula para corregir la perturbación sin que llegue a repercutir en la temperatura a la salida del intercambiador.

3. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA

3.1 ELEMENTO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA: TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Utilizaremos un sensor de temperatura que utiliza un resistor de platino. Su principio de funcionamiento se basa en la variación de una resistencia de platino como consecuencia de la variación de temperatura.

La ecuación que describe este proceso es la siguiente:

$$R = R_0 * (1 + \alpha \Delta T)$$

Donde R_0 es la resistencia del conductor a la temperatura de referencia T_0 , R es la resistencia a temperatura T , $\Delta T = T - T_0$ y α es un coeficiente de temperatura (especificado a 0°C).

El transmisor que utilizaremos será el modelo TR1 de la marca TLV®. La especificación técnica del mismo puede encontrarse en el siguiente link: https://www.tlv.com/global_pdf/tii/e-tr100-hp.pdf



Imagen 3: Sensor de temperatura. Fuente: <https://www.tlv.com/global/LA/download.html>

3.2 ELEMENTO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN: TRANSMISOR DE PRESIÓN

Utilizaremos un sensor de presión del tipo piezorresistivo. Estos sensores basan su principio de medición en el cambio de la resistividad cuando son sometidos a una tensión mecánica.

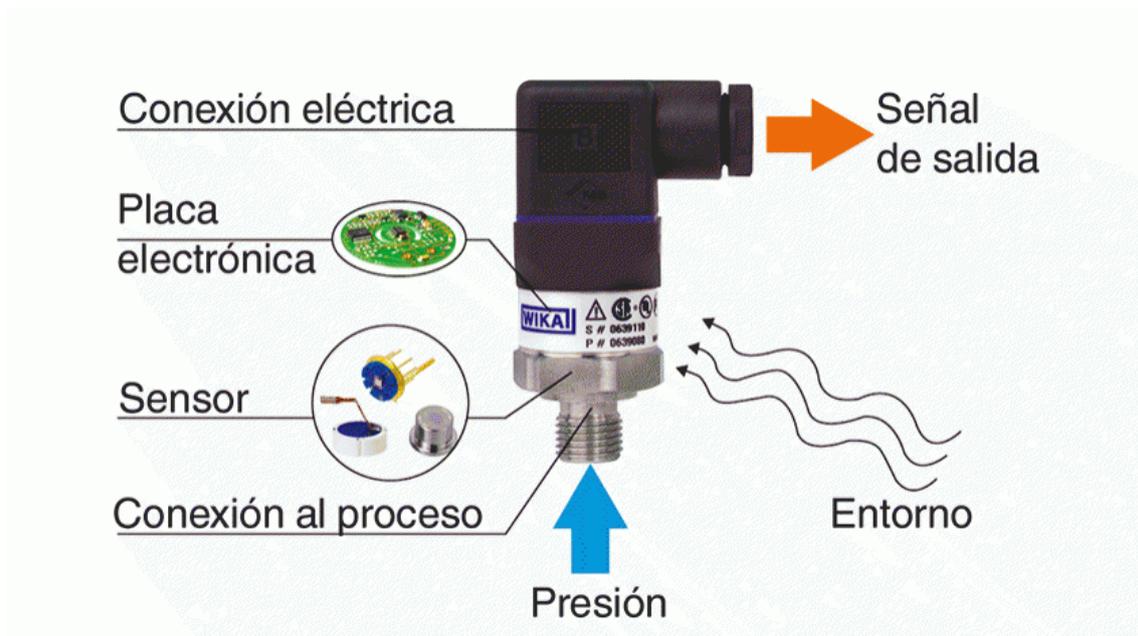


Imagen 4: Esquema de un sensor-transmisor de presión. Fuente: <https://www.bloginstrumentacion.com>

Utilizaremos un sensor de la marca Sendo Sensor, modelo SS301, GPS 311. La especificación técnica se encuentra en el siguiente link:

<http://www.pressuresensorsuppliers.com/uploads/file/20180124/SS301.Q12.19.E05.pdf>



Imagen 5: Transmisor de presión. Fuente: <http://www.pressuresensorsuppliers.com>

3.3 CONTROLADORES

En ambos casos se utilizarán controladores PID

En el caso del controlador de temperatura, se utilizará el modelo N3010 de la empresa Novus Automation ® la especificación técnica se encuentra en el siguiente link:

https://www.novusautomation.com/downloads/Archivos/controlador%20de%20temperatura%20pid%20n1030_folleto%20comercial_esp.pdf



Imagen 6: Controlador de temperatura

En el caso del controlador de presión, utilizaremos el modelo **SYL-2342Y** de la empresa Auber Instruments. La especificación técnica se encuentra en el siguiente link: https://www.auberins.com/index.php?main_page=product_info&cPath=38&products_id=319



Imagen 7: Controlador de presión

3.4 VÁLVULA DE CONTROL: VÁLVULA GLOBO

La válvula globo es la válvula de control utilizada por excelencia, debido a su buena capacidad de regulación “rangeabilidad” y a su bajo costo.

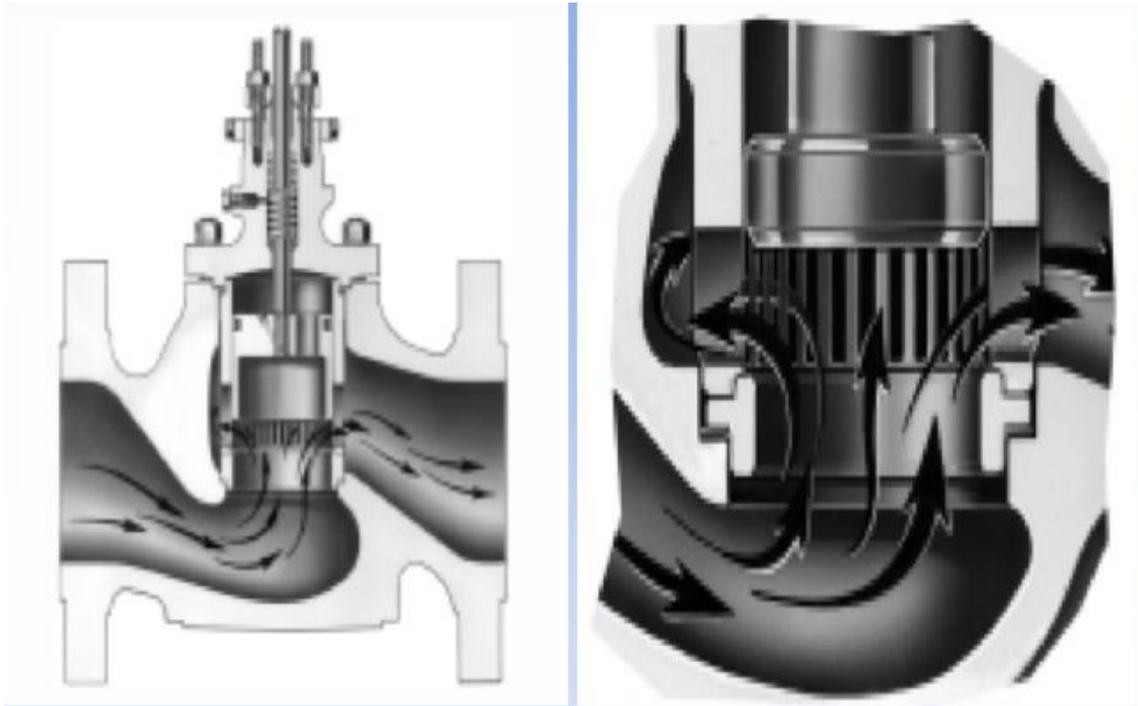


Imagen 8: Válvula globo . Fuente: Apunte de Control Automático de Procesos UTN FRA

Para el dimensionamiento debemos conocer el diámetro de la cañería en que se colocará la válvula.

Sabiendo que el volumen específico del vapor de agua saturado a 100°C es 1.6733 m³/kg, el caudal volumétrico de vapor es 0.909 m³/s.

Tomando una velocidad de 30 m/s, y utilizando una ecuación básica de fluidodinámica:

$$\dot{v} = A * v$$

Donde \dot{v} es el caudal volumétrico, A la sección transversal de la cañería y v la velocidad, calculamos el área transversal de la cañería:

$$A = 302.87 \text{ cm}^2$$

Entonces el diámetro será 19.63 cm, que lo aproximaremos con una cañería de diámetro ¾" (19.05 cm). Recalculando la velocidad, nos queda $v = 31.9 \text{ m/s}$

Uno de los parámetros de diseño de la válvula es la capacidad (Cv). Se define como el número de galones estadounidenses, a 15.5°C, que fluyen a través de la válvula en 1 minuto cuando la diferencia de presión es 1PSI. La fórmula aplicable para calcularlo en caso de vapores es:

$$C_v = 0.25 * Q_s * \sqrt{\frac{T}{\Delta P * P_2}}$$

Donde:

Cv: capacidad

Qs: Caudal de vapor [kg/h]

T: Temperatura [K]

ΔP : Pérdida de carga generada en la válvula [kPa]

P_2 : Presión a la salida de la válvula [kPa]

Para una válvula globo totalmente abierta, la longitud equivalente la estimamos en 6.71 m (<http://www.rotorump.com/pdf/tabla-perdidas-por-friccion.pdf>)

Primero, calculamos la viscosidad dinámica del vapor mediante la siguiente fórmula:

$$\mu = (0.00894 + 3.6 \times 10^{-5} * t) * 3.6$$

t= temperatura del fluido [°C]

μ = viscosidad dinámica del vapor [kg/m h]

$$\mu = (0.00894 + 3.6 \times 10^{-5} * 100^\circ C) * 3.6 = 0.04514 \frac{kg}{m h}$$

Luego, calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{0.3536776 * \dot{m}}{D * \mu} = \frac{0.3536776 * 1953.75 \frac{kg}{h}}{0.01905 m * 0.04514 \frac{kg}{m h}} = 803563$$

El flujo es turbulento.

La fórmula para el cálculo de la resistencia local en accesorios es la siguiente:

$$Ki = \frac{K1}{Re} + K\infty * \left(1 + \frac{0.0254}{D}\right)$$

Para válvulas globo $K1=1500$ y $K\infty=4$

Entonces:

$$Ki = \frac{1500}{803563} + 4 * \left(1 + \frac{0.0254}{0.01905}\right) = 9.34$$

Las pérdidas totales se calculan con la siguiente ecuación:

$$Hfi = Ki * \left(\frac{Ve * \dot{m}}{3600}\right)$$

Donde Ve es el volumen específico. Hfi es la pérdida total en el accesorio, en metros de columna de agua.

$$Hfi = 9.34 * \frac{1.6733 \frac{m^3}{kg} * 1953.75 \frac{kg}{h}}{3600} = 8.48 m. c. a$$

Convirtiendo este valor a kPa, nos queda: 83.1 kPa.

Volviendo a la ecuación del cálculo del C_v :

$$C_v = 0.25 * Q_s * \sqrt{\frac{T}{\Delta P * P_2}} = 0.25 * 1953.75 \frac{kg}{h} * \sqrt{\frac{373.15 K}{83.1 kPa * 101.3 kPa}} = 102.8$$

Este valor corresponde a la válvula totalmente abierta.

La selección de la válvula se hará a partir del catálogo de la empresa TLV ® (<https://www.tlv.com>)

Escogeremos la válvula tipo CV-COS, ya que es apta y posee una trampa de vapor.



Imagen 9: Válvula de control tipo Globo

La selección se hace a partir del Cv obtenido en los cálculos anteriores. El gráfico del fabricante es el siguiente:

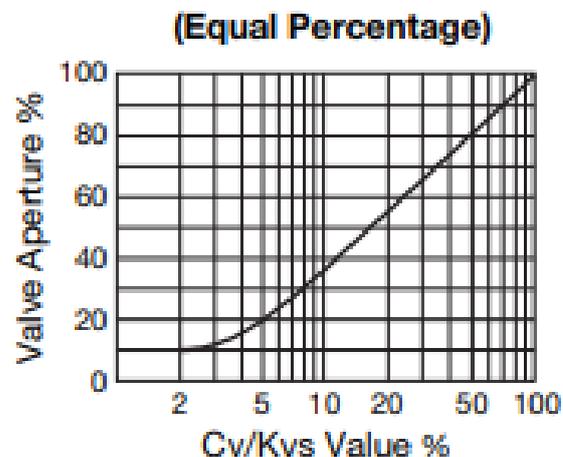


Imagen 10: Gráfico característico de la válvula

Donde puede verse que para un porcentaje de 100% de apertura, el valor del Cv es prácticamente 100 (coincidente con el obtenido en los cálculos)

4. CONCLUSIONES

Como conclusión, presentamos un resumen de todos los componentes que formarán parte del sistema de control de temperatura por cascada:

- Elemento de medición de temperatura: transmisor de temperatura TR1 (TRL ®)
- Elemento de medición de presión: transmisor de presión SS301 (Sendo Sensor ®)
- Controlador de temperatura N1030 (Novus Automation ®)
- Controlador de presión: SYL-2342Y (Auber Instruments ®)
- Válvula de control: Válvula globo modelo CV-COS (TLV ®)

BIBLIOGRAFÍA

Sanchez José Acedo (2003) "Control Avanzado de Procesos". Ediciones Díaz de Santos S.A, Madrid, España

Creus Antonio (2010) "Instrumentación Industrial", Octava Edición. Alfaomega Grupo Editor, México

Vega Peña Luis Enrique, Rodriguez Gonzalez Luis Enrique (2007) "Pérdidas de Presión en Tuberías de Vapor", Ciencias Holguín Revista Trimestral, Cuba

Sitio web de TLV, compañía especialista en vapor. Página web: <https://www.tlv.com/global/LA/> [Fecha de consulta: 01/10/2019]

Sitio web de Sendo Sensor, compañía comercializadora de sensores de presión. Página web: <http://www.pressuresensorsuppliers.com/> [Fecha de consulta: 01/10/2019]

Sitio web de Auberin Instruments. Página web: <https://www.auberins.com/> [Fecha de consulta: 01/10/2019]

Sitio web de EPTA, compañía comercializadora de válvulas. Página web: <http://epta.com.ar/> [Fecha de consulta: 01/10/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 11: Evaluación de impacto

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO LEGAL	1
3. EVALUACIÓN DEL ENTORNO	3
3.1. SOCIEDAD	3
3.2. FLORA Y FAUNA	3
3.3. TOPOGRAFÍA E HIDROLOGÍA	4
4. ASPECTOS E IMPACTOS	5
4.1. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	5
4.2. ETAPA DE OPERACIÓN	6
4.3. ETAPA DE CIERRE	8
5. MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL	9
6. MEDIDAS MITIGATORIAS	10
7. BIBLIOGRAFÍA	12

INTRODUCCIÓN

Este capítulo del proyecto evalúa las modificaciones en el ambiente realizadas como consecuencia de la instalación de la planta de producción de furfural.

Con motivo de entender las exigencias a las que se deberá atarse, se incluye primeramente un resumen de las normas ambientales que aplican con jurisdicción nacional, provincial y municipal. Posteriormente, para entender sobre qué ambiente se realizarán los cambios, se ha desarrollado brevemente algunas características del mismo, en lo que refiere a la sociedad, fauna y flora, topografía e hidrografía del lugar.

Ya incluidos estos análisis previos, se pasó al estudio de los aspectos del proceso que interactuarían con el medio, con los impactos que producirían. Todos se encuentran posteriormente resumidos en una matriz de impacto ambiental.

Para finalizar, se marcan las medidas a tomar para que el daño de cada factor negativo sea reducido al mínimo posible.

1. MARCO LEGAL

A continuación se incluye un listado de las principales normativas involucradas en la relación del desarrollo total del proyecto con el ambiente que lo rodea. Las categorías a considerar son las jurisdicciones nacional (República Argentina), provincial (Provincia de Entre Ríos) y departamental (Departamento de Uruguay).

En cuanto a lo nacional, lo principal es, obviamente, consultar la Constitución Nacional. En ella, los siguientes artículos son de relevancia:

_El artículo 41, que expresa el derecho de los ciudadanos a un ambiente sano, protegido por el gobierno, y dicta la obligación de recomponer el daño ambiental causado.

_El artículo 124, en el que se alienta a las provincias a crear zonas para el desarrollo económico y social, y a organizar la explotación de los recursos naturales de los que cada una dispone.

Lo próximo a evaluar son las leyes de carácter nacional que se ven relacionadas con el proyecto. A continuación se encuentran listadas.

_Ley 25675. La Ley General del Ambiente de Argentina. Establece los principios de la política ambiental, así como los presupuestos mínimos, instrumentos de la política y gestión, competencias judiciales, entre otros.

_Ley 25688. Régimen de Gestión Ambiental de Aguas. Reglamenta la explotación del recurso hídrico, estableciendo los presupuestos mínimos para su uso racional y preservación, así como también la creación de los comités de cuencas hídricas, para asesorar a las autoridades.

_Ley 25612. Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios. Establece los presupuestos mínimos para la gestión de desechos provenientes de la actividad económica, para asegurar la protección ambiental. Además explica, entre otros factores, las autoridades de aplicación y jurisdicciones sobre la temática.

_Ley 24051, reglamentada por el decreto 831/93. Trata sobre los residuos peligrosos. Resulta relevante para el proceso por las cantidades de polímeros no

aprovechables que se produzcan, además de aquellos resultantes del uso de la maquinaria.

Siguiendo el orden jerárquico de las legislaciones, lo siguiente a analizar son las normativas provinciales. En un principio, los artículos constitucionales involucrados son los que se listan a continuación.

_El artículo 22, en el que se expresa el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano, con actividades económicas sustentables, y teniendo la obligación de preservarlo y mejorarlo, como patrimonio común.

_Los artículos 83, 84 y 85 se aplican sobre la política ambiental provincial, el ente encargado de su ejecución y la gestión de los recursos naturales entrerrianos.

_El artículo 240, en la sección “g” de su 21º inciso, donde se garantiza a los municipios la competencia de ejercer sus funciones respecto al cuidado del ambiente y paisaje.

Continuando, lo siguiente a mencionar son las normativas particulares provinciales en consideración. Las involucradas son las siguientes:

_La ley 8880, que indica adherencia de la provincia a la mencionada ley 24051, nacional, sobre el manejo de residuos peligrosos.

_La ley provincial 6260, de prevención y control de contaminación por parte de las industrias. Ésta reglamenta el funcionamiento de las empresas, incluyendo los procedimientos necesarios para su radicación y correcto funcionamiento desde el punto de vista legal, el manejo de sus efluentes y las concentraciones permitidas para verter, las sanciones aplicables, entre otros.

_El decreto 5837/91, donde se establecen las disposiciones comunes para las industrias, de acuerdo a la mencionada ley.

_El decreto 2687/15 establece los aranceles a pagar por parte de las empresas a la Secretaría de Ambiente de la provincia, por los distintos motivos posibles, tales como habilitación sanitaria o certificación de funcionamiento, entre otros.

_El decreto 664/17, en el que son establecidas condiciones similares al anterior, pero para los generadores de residuos peligrosos.

_El decreto 4977/09 (actualizado mediante el decreto 3237/10 y modificado luego por el 3498/16) reglamenta los estudios de impacto y describe las actividades desde criterios ambientales.

_El decreto 831/93, que reglamenta la aplicación de la ley 24051 en Entre Ríos.

_La resolución 096/11, donde se agregan algunas condiciones para los generadores de residuos peligrosos (en el artículo 3º).

_La resolución 214/16, que indica algunas medidas a instalar para la correcta toma de muestras al momento de controlar efluentes gaseosos.

Por último, la Municipalidad de Concepción del Uruguay ha dictado una serie de ordenanzas que se deben tener en cuenta para el presente desarrollo. A continuación se las menciona.

_La ordenanza 3126, que define la política del municipio respecto de los recursos naturales y el ambiente humano, marca normas para la actividad industrial, establece a la Dirección de Salud Pública y Medio Ambiente como órgano de aplicación y define y normaliza las posibles infracciones a esta legislación.

_Las ordenanzas 4527 y 6424 establecen el Código de Ordenamiento Urbano, reglamentando las características permitidas para los edificios a construirse, según sus funciones y la zona del departamento donde se ubiquen.

_La ordenanza 6495 define la evaluación de impacto ambiental para el municipio y aclara las condiciones necesarias para su correcto desarrollo y obtención del Certificado de Licencia Ambiental.

Con este recuento, se adquiere conciencia de las normativas a cumplir y de las condiciones de trabajo a mantener durante el desarrollo de la planta, para lograr una operación siempre concordante con lo exigido por las autoridades.

2. EVALUACIÓN DEL ENTORNO

Lo siguiente a estudiar fue el medio en el que se desarrollaría la planta. Es decir, el Departamento de Uruguay, centrándose en su cabecera: el Municipio de Concepción del Uruguay, con sus características sobresalientes de acuerdo a los factores que puedan ser relevantes. Con este lineamiento, esta sección se divide en tres partes fundamentales: sociedad, fauna y flora, topografía e hidrología.

3.1. Sociedad

Según el Censo Nacional 2010, el departamento cuenta con una población de 100728 habitantes, repartidos entre 49321 varones y 51407 mujeres. Del total, 99455 son argentinos y 55379 se hallaban en edad activa al momento de censarlos. En cuanto al municipio, se trata de una de las ciudades más grandes y emblemáticas de la provincia de Entre Ríos, por lo que cuenta con muchas facilidades para la instalación de la planta que otras más pequeñas posiblemente no tengan. Algunas son la presencia de un parque industrial, un muelle comercial, una estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (la cercanía permite obtener más datos, rápidos y más fidedignos), entre otras.

Forma parte del corredor del Río Uruguay, un aglomerado de tres sistemas urbanos que actúan complementándose, siendo las cabeceras Gualeguaychú, Colón y Concepción.

3.2. Fauna y flora

La zona donde se instalará la planta se encuentra dentro del bioma conocido como bosque en galería. Se desarrolla sobre los ríos Uruguay y Paraná y sus afluentes más importantes.

Concepción del Uruguay se ubica en la Provincia Pampeana, según la clasificación por especies vegetales presentes. Se trata de una región de llanuras suavemente onduladas y con algunas serranías, donde naturalmente predominan las estepas o pseudoestepas de gramíneas; plantas medianas, de tallo cilíndrico, por lo general hueco (como se observa en el ejemplo de la figura 1), dentro de las que se encuentran, por ejemplo, el arroz, trigo y maíz. Particularmente, dentro del Distrito Uruguayensis, el más húmedo de la mencionada provincia.



Figura 1. Cortaderia selloana, o plumero, un ejemplo de gramínea.

La vegetación se vuelve más densa al acercarse al río, pudiendo encontrar arbustos como las chilchas y enredaderas como el clavel de aire, además de helechos y líquenes. También se encuentran árboles en galería y plantaciones de algarrobo, espinillo y lapacho, y varios frutales como el limonero, naranjo y mandarino.

Dentro de la fauna local se encuentran comadrejas y roedores tales como el cuis, la vizcacha y el carpincho. Además, puede llegar a encontrarse zorros del monte o de la pampa. Existe una gran variedad de aves: el martín pescador, la paloma común, el pato sirirí, el cardenal y la garza son algunos.

En el río y sus afluentes hay especies como bagres, dorados, anguilas y mojarras.

Entre los insectos son visibles moscas, mosquitos, mosquitos gigantes, tábanos, alacranes, mantis, alguaciles verdes, luciérnagas, polillas, picudas, chicharras y chinches, entre otros.

3.3. Topografía e hidrología

La ciudad se ubica sobre el Río Uruguay, atravesada por los arroyos Molino (o Curro) y De La China y por el riacho Itapé. Se trata de una llanura de pequeñas ondulaciones, por lo que es susceptible a sufrir inundaciones. Sin embargo, la zona de instalación de la planta se encuentra a una altura considerable del nivel del río (más de 20 metros), tal como se aprecia en la figura 2, a continuación. En ella, se ha encerrado la zona en una figura circular negra, para facilitar la comprensión.

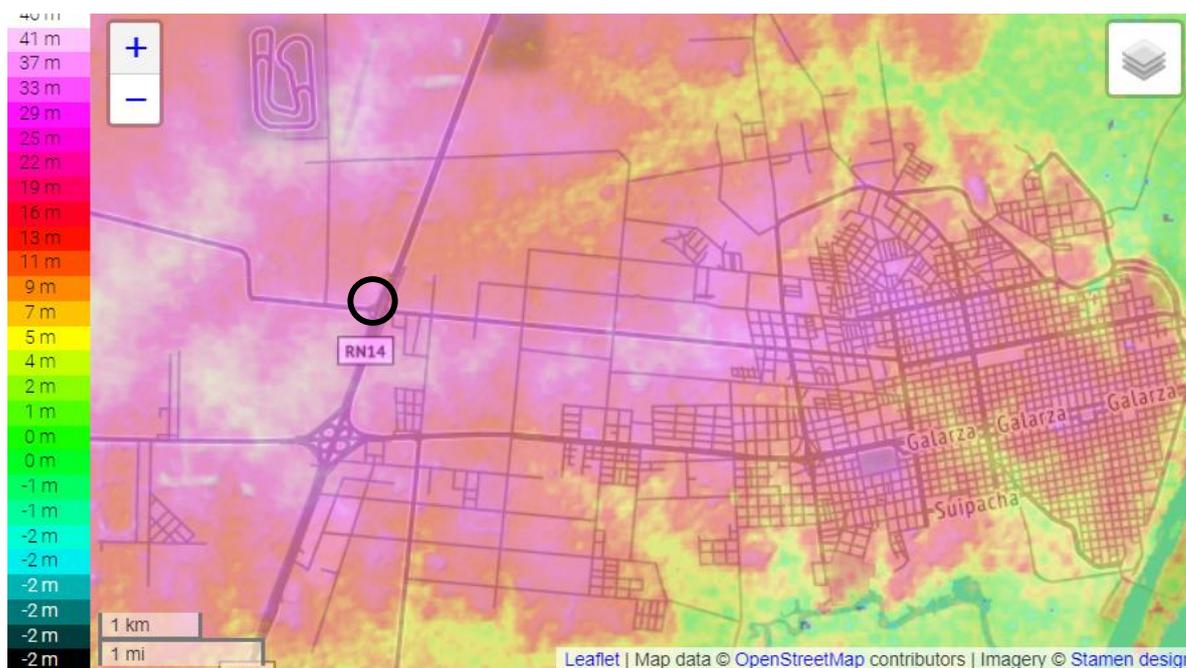


Figura 2. Mapa topográfico de Concepción del Uruguay.

Estudiando la geomorfología de la zona, puede concluirse que se encuentra en la región denominada por el INTA como “faja arenosa del Río Uruguay”.

Según el Ministerio del Interior, existe una amenaza de contaminación de aguas superficiales y subterráneas por aporte de aguas servidas y filtraciones de los sistemas cloacales y basurales en Concepción del Uruguay.

3. ASPECTOS E IMPACTOS

Para analizar el total de elementos del proyecto relacionados con el medio en el que será desarrollado se ha decidido trabajar en tres periodos bien definidos: etapa de construcción, operación y cierre. Durante cada uno de éstos existirán distintos factores que interactuarán con el medio de forma positiva o negativa, reversible o irreversible, con un menor o mayor grado de intensidad. Entonces, para clasificarlos se los ha dividido en dos grupos fundamentales: aquellos que se afectan al ambiente y los sociales, económicos y culturales. El primer grupo se reparte entre los que se relacionan con el aire (sonoros, olfativos o que alteren la calidad), con el suelo (contaminantes), con el paisaje o con el agua (superficial, subterránea o alterando el balance hídrico). En cuanto al segundo grupo, se subdivide a su vez en aspectos socio-culturales (capacitación, generación de empleo y calidad de vida en los alrededores) y económicos (uso del suelo, desarrollo industrial local, contratos a terceros y desarrollo de la economía local).

La intensidad de cada impacto se evaluará considerando también las medidas mitigatorias correspondientes a implementar, por lo que no deberían visualizarse valores muy graves en la matriz (siendo que se apliquen medidas adecuadas).

4.1. Etapa de construcción

Existen cinco aspectos principales: la contratación de mano de obra y el emplazamiento de estructuras, la generación de residuos sólidos, la preparación del terreno y el uso de maquinaria.

El primer aspecto resulta de la necesidad de conseguir recursos humanos para efectuar las tareas de construcción y diseño de la planta. Con las contrataciones, hay un impacto positivo por la generación de empleo y capacitaciones. En ambos casos son reversibles y medianamente positivos, ya que se trata de trabajos temporarios, hasta que se finalice la construcción, y no demandarían una cantidad muy importante de personal. También se tendría un impacto positivo mediano por el desarrollo de la economía local y otro más leve por las contrataciones a terceros para diseño y asesoramiento. Los dos son impactos reversibles.

El emplazamiento de estructuras es un aspecto que tiene su impacto sobre el paisaje, con una alteración negativa, pero reversible (considerando que se desmantela al final del proyecto) y leve (en un parque industrial el paisaje ya luce una cantidad de edificios). También sería un aporte medianamente positivo al desarrollo industrial local, por la instalación de la empresa, pero reversible, ya que en algún momento se cerrarán sus puertas. Se produce un impacto negativo leve sobre la calidad de vida de los locales. Nuevamente, es reversible.

Para el aspecto de generación de residuos sólidos, se debe considerar tanto los pesados, como escombros, como los que pueden llegar al aire por ser partículas de menor tamaño, como el polvo o la tierra que vuelan por las excavaciones o el trabajo sobre las estructuras. Por lo tanto, se tendrá un impacto negativo sobre la calidad del aire, de intensidad mediana por cantidades, pero reversible, ya que caerán por gravedad. De esta manera, se incluye perjuicios al agua superficial cercana, al suelo y por consiguiente al agua subterránea (por filtraciones), leves pero irreversibles. Este factor implica también un efecto negativo reversible por los olores generados, pero leve, no son olores demasiado intensos. También debemos considerar un impacto levemente positivo por contrataciones a otros para que se hagan cargo de algunos de los desechos, pero otro medianamente negativo para la calidad de vida de los locales.

Lo próximo a analizar es la preparación del terreno. Este aspecto afecta de forma medianamente negativa (no es algo tan intenso porque ya es un terreno dedicado a un parque industrial) pero reversible sobre la calidad del suelo, así como también puede resultar en levantamiento de particulados que causen perjuicios leves y reversibles de carácter olfativo y sobre la calidad del aire, además de impactos sobre las aguas similares a los descritos para el aspecto anterior. Bajo el mismo razonamiento, se incluye un perjuicio mínimo sobre la calidad de vida en los alrededores. Otro impacto es sobre el factor económico del uso del terreno. Es medianamente positivo y reversible.

El último aspecto en la etapa de construcción es el del uso de la maquinaria necesaria. Esto produce vibraciones que alteran la tranquilidad, generando contaminación sonora, mediana y reversible. Además se tiene una contaminación del aire por el funcionamiento de los motores. Por todo esto, la calidad de vida se ve perjudicada medianamente, también de forma temporaria. Y los otros dos impactos apreciables son medianamente positivos: la contratación a terceros para correcta operación de las máquinas y el desarrollo de la economía local por los aportes monetarios a realizar para adquirir estos servicios. Son ambos reversibles.

4.2. Etapa de operación

Para esta parte del proyecto, los aspectos tendrán que ver con cada una de las etapas del proceso productivo. Entonces, a cada una de las principales le

correspondería un aspecto. Aunque pueden agruparse algunos. Se debe considerar también el uso de equipos de bombeo e intercambio de calor, los recursos humanos y el movimiento vehicular que la operación de la planta conlleva.

En cada etapa del proceso se tiene una serie de impactos medianamente positivos comunes a todos los aspectos, sobre la generación de empleo, calidad de vida y desarrollo de la economía local, como obvias consecuencias de otorgarle a la población local la posibilidad de un empleo digno. Se los ha calificado como medianamente positivos y no altamente solo por la cantidad reducida de trabajadores que se espera contratar (se trata de una Pyme). También se considera un impacto positivo por la capacitación, pero más leve, por lo que puede aprender el personal desarrollándose como profesionales en la empresa. Todos estos son impactos reversibles.

Para el transporte y molienda se debe considerar un impacto levemente positivo por contratos a terceros (para que carguen el material en la cinta de transporte) y otro medianamente negativo por contaminación sonora. Los levantamientos de polvo confieren a este proceso leves perjuicios respecto de los factores de calidad de aire y de olores, pero reversibles.

El sistema de reacción constituye otro aspecto ambiental. A partir del mismo, se denota un impacto negativo sobre la calidad del suelo, por la generación de residuos de cáscara agotada y polímeros. Sin embargo, al disponer de una manera segura y con una empresa autorizada, se considerará reversible y de poca intensidad. Se detallará junto con las medidas mitigatorias sobre el final de este capítulo. Además, la toma de agua en grandes cantidades para producir vapor afecta de manera medianamente negativa (leve aunque el caudal sea alto, porque se devuelve tras tratamiento, en parámetros aceptables) pero reversible al balance hídrico.

Acerca del aspecto de las torres de destilación lo que se debe agregar es un impacto negativo sobre las aguas superficiales, aunque se considera reversible y leve por verse en cantidades y concentraciones apropiadas para evitar perjuicios mayúsculos sobre el ecosistema, según los parámetros permitidos por las normas vigentes. Además, suponen una alteración negativa leve al balance hídrico y al factor olfativo del aire, por los posibles vapores. Son también reversibles.

El decantador no presenta ninguna corriente que se libere al exterior. Los únicos impactos a tener en cuenta son aquellos comunes a todo el proceso.

Por parte de las bombas e intercambiadores, se requiere contrataciones a terceros para tareas de control periódicas y/o reparación, así que se tiene con esto un impacto medianamente positivo y reversible. Se supone medianamente intenso por la cantidad de equipos que posiblemente necesiten ser controlados o arreglados. Además, por la necesidad de usar agua para los intercambiadores, se consigue un impacto negativo sobre las aguas superficiales, más por contaminación física (distintas temperaturas) que química (posibles impurezas). Es leve y reversible, porque deben volcarse los caudales residuales en condiciones que la ley avale.

En cuanto al uso de las calderas, deben tenerse en cuenta la que funcionaría a base de cáscara de arroz como combustible y la que usaría gas de línea. Por el mismo motivo que para los intercambiadores, se tiene un impacto sobre las aguas superficiales. Además, su funcionamiento conlleva la contaminación del aire por generación de gases en la combustión y liberación de material particulado en el caso de aquella que usa cáscara. Este impacto es más intenso que el anterior e

irreversible. Como se requiere un control periódico de estos equipos, es considerable un impacto positivo en contrataciones a terceros.

Los recursos humanos representan otro aspecto ambiental analizable. Los impactos comunes al proceso se perciben también para este tema, pero además se suman dos efectos leves y reversibles: uno negativo por la contaminación sonora esperable para el ambiente de trabajo a desarrollarse y otro por las contrataciones a terceros para cursos o eventos especiales de la empresa.

Por último, el movimiento vehicular necesario de la planta en producción representa un aspecto al que no se le pueden adjuntar aquellos impactos considerados comunes a la planta, pero que tiene otros efectos. Por empezar, genera un perjuicio irreversible sobre la calidad del aire, por la contaminación propia de los vehículos, aunque leve, por la pequeña cantidad esperada. Otros impactos perjudiciales leves (y reversibles) son los relacionados con olores y contaminación sonora. Además, se altera de manera negativa leve (y reversible) al paisaje y la calidad de vida de los locales. Y se tiene también un impacto levemente positivo sobre el desarrollo de la economía local: más gente requiere autos (comprarlos, cuidarlos, repararlos) o usar el transporte público.

4.3. Etapa de cierre

En esta última etapa, se considera el cese de funcionamiento de la planta, que conlleva pérdida de mano de obra, desmantelamiento de equipos y estructuras, máquinas para dicho proceso, transporte de las piezas restantes, disposición de residuos sólidos y una necesaria remediación del terreno restante. A diferencia de la etapa de construcción, en ésta no se incluye las contrataciones como un factor aparte. Ocurre que en aquella etapa el personal contratado se ocupaba de funciones prácticamente comunes, relacionadas con la construcción y emplazamientos para la planta. En cambio, ahora son actividades muy distintas para las que se requiere de los recursos humanos, tales como hacerse cargo de desechos o usar maquinaria para desmantelar. Por lo tanto, se ha decidido evaluar las contrataciones a realizar para cada actividad dentro del aspecto que la engloba, siendo el de mano de obra referido a lo que ocurre con los empleados efectivos de la planta al cesar su funcionamiento.

Entonces, el primer factor de estudio es la pérdida de puestos de trabajo por el cierre de las instalaciones. Esto conlleva impactos negativos sobre la generación de empleo, la calidad de vida de la población local y el desarrollo de la economía. Para los primeros dos se trata de un grave perjuicio, ya que ni con las indemnizaciones correspondientes se llega a reemplazar el beneficio de un sueldo digno y estable. En cuanto a la economía local, se trata de intensidades medias, ya que, como ya se explicó, no se espera requerir muchos trabajadores durante el proceso.

Continuando, el aspecto de desmantelamiento incluye posibles desprendimientos de polvo y escombros, por lo que se consideran impactos leves negativos para la calidad del aire, suelo, agua superficial y subterránea. En caso del aire y suelo es algo reversible, pero no para las aguas, aunque sí es leve. Otro efecto, esta vez positivo, es para el factor de alteración del paisaje. Al desmantelar, vuelve a su forma original, así que se trata de un impacto medianamente positivo y reversible. En cuanto al uso del suelo económicamente evaluado, se tiene un impacto medianamente negativo, ya que se deja de utilizarlo. Asimismo, se debe registrar otro igual para el factor de desarrollo industrial local; una empresa se retira.

El aspecto referido al uso de maquinaria incluye claramente un perjuicio leve sobre el factor sonoro del aire. Pero también se tiene tres impactos positivos, aunque leves: por capacitación, generación de empleo y contratos a terceros. Los primeros para hacer uso de las máquinas y el último para adquirirlas por el tiempo que se las use. En todos los casos, se habla de alteraciones reversibles.

Otro aspecto se refiere al transporte de los sobrantes. Aunque no se observa generación de empleos o capacitación, sí debe registrarse un efecto levemente positivo por la contratación a terceros, los transportistas. También, fomentar el uso de los vehículos provoca impactos negativos (leves, por la cantidad escasa) sobre la calidad del aire (irreversible), el factor olfativo y sonoro (reversibles) y la calidad del suelo (irreversible). Otro impacto del mismo tipo puede verse sobre la cotidianidad de la población local.

Continuando se llega al aspecto de disposición de residuos. En éste se puede registrar un efecto medianamente negativo para la calidad de los suelos, aunque reversible. Además, se ve otro levemente positivo en contratos a terceros, que serán los que dispongan estos desechos.

Por último se analiza la remediación que debe hacerse sobre el suelo. Obviamente hay un impacto muy positivo sobre la calidad del suelo y otro mediano sobre la calidad de vida de los locales. También se registran impactos levemente positivos sobre la generación de empleo, capacitación y contratos a terceros. A diferencia de los dos efectos anteriores, para la remediación se espera un tiempo de trabajo mayor, tal como se dijo para el uso de maquinaria. Entonces, no se trata solo de contratar recursos humanos para una actividad corta, sino que se genera empleo, por requerirlos para realizar una serie de tareas en un tiempo que se espera que sea algo más prolongado. En cada caso, se trata de impactos reversibles.

4. MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL

Con lo anteriormente descrito, la matriz queda como se detalla en la figura 3, a continuación. En ella se observan como columnas cada uno de los aspectos ambientales de las tres etapas del proyecto, en el orden en que fueron desarrollados anteriormente. Las filas se completan con los factores del medio que se ven afectados, subdivididos según se indicó anteriormente (ambientales y sociales, económicos y culturales, de agua, aire, suelo, etc.). La figura 4 muestra una reseña en la que se demuestra los colores que cada impacto adquiere según su intensidad sobre el factor al que alteran. Los casilleros fueron completados con una letra "R" mayúscula en caso de ser reversibles, o una "I" mayúscula, si no lo son.

		Actividad	Construcción					Operación					Cierre							
			Contrataciones	Emplazamientos	Generación de residuos	Preparación del terreno	Uso de maquinaria	Transporte y molienda	Reacción	Torres de destilación	Decantador	Bombas e intercambiadores	Calderas	Mano de obra	Movimiento vehicular	Mano de obra	Desmantelamientos	Uso de maquinaria	Transporte de sobrantes	Disposición de residuos
Aspectos ambientales	Agua	Subterránea			I	I											I			
		Superficial			I	I				R		R	R				I			
		Balance hídrico							R	R										
	Aire	Calidad			R	R	R	R					I	I		R	I			
		Olfativos			R	R		R		R					R				R	
		Sonoros					R	R						R	R			R	R	
	Suelo	Calidad			I	R			R							R	I	R	R	
Paisajísticos	Alteración		R											R		R				
Aspectos sociales, económicos y culturales	Socio - culturales	Capacitación	R					R	R	R	R	R	R	R			R			R
		Gen. empleo	R					R	R	R	R	R	R	R		R		R		R
		Cal. de vida			R	R	R		R	R	R	R	R	R	R	R			R	
	Económicos	Uso del suelo				R											R			
		Des. Industrial		R													R			
		Contratos a 3º	R		R		R	R				R	R	R			R	R	R	R
Des. economía		R				R	R	R	R	R	R	R	R	R	R					

Figura 3. Matriz de impacto ambiental.

Referencias	
	Muy positivo
	Medianamente positivo
	Levemente positivo
	Levemente negativo
	Medianamente negativo
	Muy negativo
R	Reversible
I	Irreversible

Figura 4. Referencias de la matriz de impacto.

5. MEDIDAS MITIGATORIAS

Con el fin de reducir el impacto producido por aquellos factores que resultarían más perjudiciales para el ambiente en el que se instalará la planta, se ha decidido implementar una serie de medidas que permitan a la empresa ser más favorable para el entorno en que se instalará.

Los aspectos sobre los que se debe trabajar son aquellos mostrados en la tabla como “medianamente negativos” o “muy negativos”.

El primero en presentarse es la alteración del paisaje durante la construcción, por el emplazamiento de edificios. La medida tomada es parte de la misma matriz, y constituye el aspecto de “desmantelamiento”, en la etapa de cierre. Al quitar los edificios construidos, el impacto queda neutralizado.

Continuando, aparece la generación de residuos, afectando sobre todo en la calidad del aire. Los polvos liberados, sin embargo, caen por gravedad. Entonces, la medida será contratar a una empresa especial para la limpieza y recolección de los desechos en los alrededores.

El impacto que sigue es uno medianamente negativo sobre el suelo por la preparación del terreno. Para contrarrestarlo, se debe hacer una remediación en la etapa de cierre.

Pasando ya a la operación, lo primero en notarse es el inconveniente sonoro del transporte y molienda de cáscara de arroz. En este caso, se puede entregar al personal encargado de trabajar con los equipos la protección auditiva que corresponda, tanto para los que formen parte de esta planta como para los de la empresa vecina, que deban usar el transportador.

El uso de reactores constituye dos problemas fundamentales, por la generación de residuos y el desbalance hídrico. En cuanto al primero, se mitiga mediante el uso de cáscaras agotadas (luego de la neutralización del ácido) como combustible para generar calor. Posteriormente se enviaría un volumen mucho menor a disposición final. En cuanto al balance hídrico, la mitigación es simplemente devolver el agua luego de su uso, en condiciones aceptables según la legislación pertinente.

Las columnas de destilación también alteran al balance hídrico. La medida es la misma que para el consumo del reactor.

En cuanto a las calderas, se nota un perjuicio importante a la calidad del aire. La solución sería colocar filtros en las chimeneas, para atrapar la mayor cantidad de material particulado (en el caso de la que quema cáscara) y de gases contaminantes. Éstos deben cambiarse periódicamente para asegurar su efectividad.

También se ven efectos adversos relacionados al movimiento vehicular de los trabajadores. Para reducir los impactos sobre la calidad del aire, sonoros, de vida y demás se instalará un servicio de chárter, para transporte de la mano de obra. Y como agregado se exigirá a los empleados que usen un vehículo particular que cumplan con los requisitos de revisión técnica periódicos exigidos por el estado, para comprobar que sus autos no contaminen demás.

Ya en la etapa de cierre, se ven los principales perjuicios al despedir a los trabajadores. Las indemnizaciones debidas constituyen las medidas mitigatorias para éstos.

Los desmantelamientos, transporte de sobrantes y disposición de residuos representan impactos negativos sobre el suelo. Para reducirlos, se plantea aprovechar y comercializar para su reúso todo material en buen estado, para tener una menor cantidad de desechos. También se puede exigir vehículos con

verificación técnica aprobada a las empresas transportistas, para que la contaminación vehicular sea mínima.

6. BIBLIOGRAFÍA

Sitio oficial del gobierno de Entre Ríos, sobre las normativas ambientales aplicables en la provincia. Página web:

<http://www.entrerios.gov.ar/ambiente/index.php?codigo=95&codsubmenu=102&menu=menu&modulo=> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Sitio del colegio de arquitectos de Entre Ríos, sobre la ordenanza 6424. Página web:

www.colegioarqeste.com.ar/Presentaciones/uruquay/6424.doc [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Sitio del colegio de arquitectos de Entre Ríos, sobre la ordenanza 6495. Página web:

www.colegioarqeste.com.ar/Presentaciones/uruquay/6495.doc [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Sitio de la Dirección de producción de Concepción del Uruguay, sobre la ordenanza municipal 3126. Página web:

<https://dirproducciondelu.files.wordpress.com/2011/07/ord-3126.pdf> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Entre Ríos Total, sitio de promoción y guía turística de la provincia, sobre las características ambientales de Concepción del Uruguay. Página web:

<http://www.entreriostotal.com.ar/cdeluruguay/caracteristicas.php> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Sitio de la agencia de noticias Télam, sobre el ambiente y la biota en Concepción del Uruguay. Página web:

<http://www.telam.com.ar/notas/201410/83717-concepcion-del-uruguay-tiene-todos-los-condimentos-para-el-turismo-de-aventura-y-el-contacto-con-la-naturaleza.html> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Sitio oficial del gobierno de Entre Ríos, sobre las características geológicas y biológicas de la provincia. Página web:

<https://www.entrerios.gov.ar/ambiente/userfiles/files/archivos/Plan%20Girsu/A%20-%20Area%20de%20Estudio/2-%20Aspectos%20Biof%C3%ADsicos/Capitulo%202%20-%20Aspectos%20Biofisicos.pdf> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Ecoregistros, sitio sobre las especies presentes en distintas zonas, sobre aquellas visibles en Entre Ríos. Página web:

<http://www.ecoregistros.org/site/provincia.php?id=8&idgrupoclase=2&page=2> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

El Hogar Natural, sitio sobre la flora y sus características, sobre la familia de las gramíneas. Página web:

<http://www.elhogarnatural.com/gramineas.htm> [Fecha de consulta: 14/08/2019]

Topographic-map, sitio sobre las características topográficas de la región, sobre las condiciones en Concepción del Uruguay y sus alrededores. Página web:

<http://es-ar.topographic-map.com/places/Argentina-970094/> [Fecha de consulta: 14/08/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 12: Layout de planta

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ORGANIGRAMA LABORAL	2
3. TERRENO	3
4. PROCESO	4
5. ALMACENAMIENTO	7
6. TRATAMIENTO DE RESIDUOS	9
7. CIRCUITO DE LA CÁSCARA AGOTADA	10
8. CIRCUITO DE AUXILIARES	11
9. RUTA VEHICULAR	12
10. SECTOR PREVIO A ALMACÉN	15
11. OFICINAS	15
11.1. BAÑOS	17
11.2. SECTOR DE OPERACIONES	17
11.3. OFICINAS DE DIRECTIVOS Y HALL PRINCIPAL	18
11.4. SALA DE REUNIONES Y COMEDOR	18
11.5. OFICINAS DE ADMINISTRATIVOS	19
12. SALAS DE TABLEROS Y DE GRUPOS ELECTRÓGENOS	19
13. BIBLIOGRAFÍA	20

1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo del proyecto describe la utilización que se debe hacer sobre el terreno para poder instalar la planta y operar en las condiciones deseadas. Asimismo, se incluirán también algunos detalles logísticos que pueden haberse obviado previamente, para que se tenga ya definido por completo el sistema productivo y laboral a utilizar. Lo abarcado en este capítulo incluye las disposiciones generales en cuanto a espacio y distribución de los recursos materiales y humanos, mientras que algunas partes del diagrama de la planta no se desarrollan ahora, ya que merecen su explicación aparte en el capítulo que continúa, el de seguridad e higiene.

2. ORGANIGRAMA LABORAL

Lo primero a describir es la cantidad de empleados necesarios para la empresa, porque sin ello no podría diagramarse correctamente el sector de oficinas.

La organización aceptada se verifica en el organigrama de la figura 1, y consiste en un director general y tres subordinados directos: los jefes de operaciones, seguridad e higiene y de administrativos.

El primero es responsable de los operarios, los encargados de control del proceso, los trabajadores del almacén y de calidad. Se ha decidido tener seis operarios en cada turno, lo que totaliza 24 realizando turnos rotativos de 4x4. Lo mismo aplica para los doce empleados de control, asegurando tres por turno. Esta decisión se ha basado en la idea de que los operarios puedan realizar tanto tareas justamente operativas como de mantenimiento de los equipos y sistemas. El turno rotativo 4x4 asegura cuatro días de trabajo por cuatro de descanso para los empleados, y permite que algunos se tomen vacaciones en algún momento del año, ya que se tendrá personal para cubrirlos. Para los encargados de mantenimiento solo se incluyen dos, trabajando de mañana, al igual que para el encargado de laboratorio y su asistente.

El jefe de administrativos tiene autoridad sobre los ocho empleados de vigilancia, que cumplen turnos rotativos de 4x4. Además, su incumbencia abarca al encargado de recursos humanos, al de compras, el recepcionista, el contador y el encargado de la limpieza.

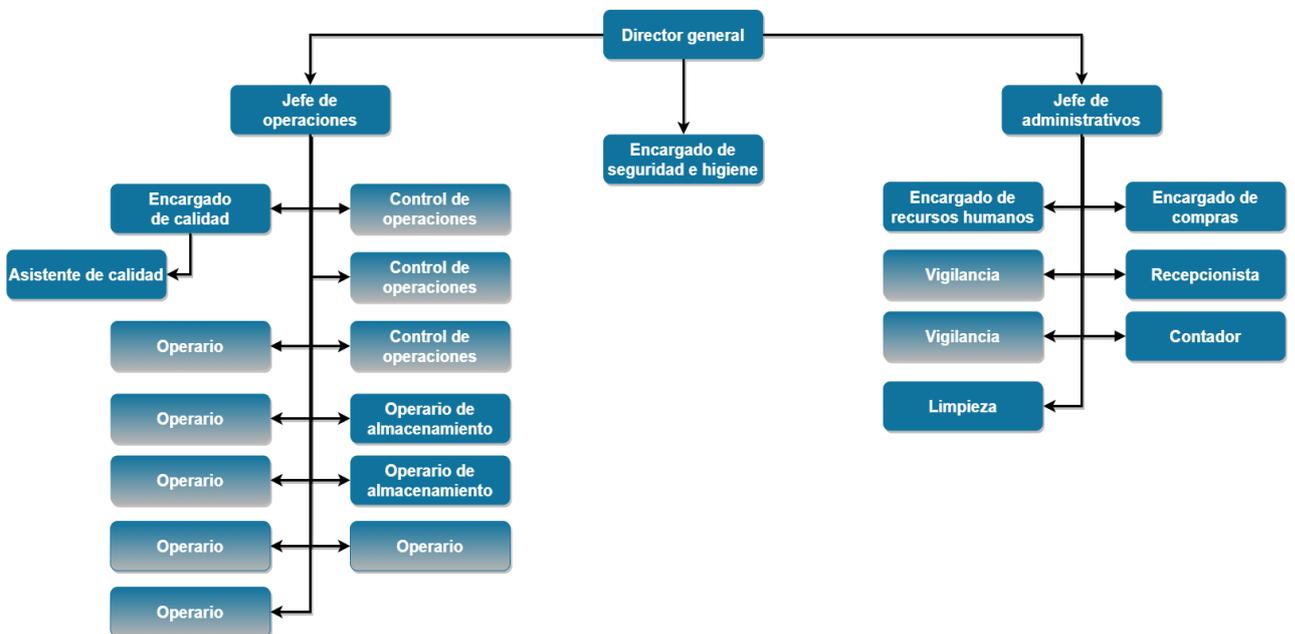


Figura 1. Organigrama general de la empresa.

En total se dispone de 57 empleados, de los cuales se puede tener entre 11 y 24 en la planta al mismo momento, ya que hay 11 puestos en turnos rotativos.

3. TERRENO

Como se explicó en el capítulo de ubicación, se ha decidido instalar la empresa en el Departamento de Concepción del Uruguay, Provincia de Entre Ríos, en un predio dentro del parque industrial local. La idea era estar al lado de la planta de Molinos Río de La Plata, para recibir la cáscara de arroz desde su lado y ahorrar los gastos en camiones de transporte. El terreno consta de 66m de ancho por 132m de largo, y puede visualizarse en las figuras 3 y 4.



Figura 2. Predio en el Parque Industrial de Concepción del Uruguay.

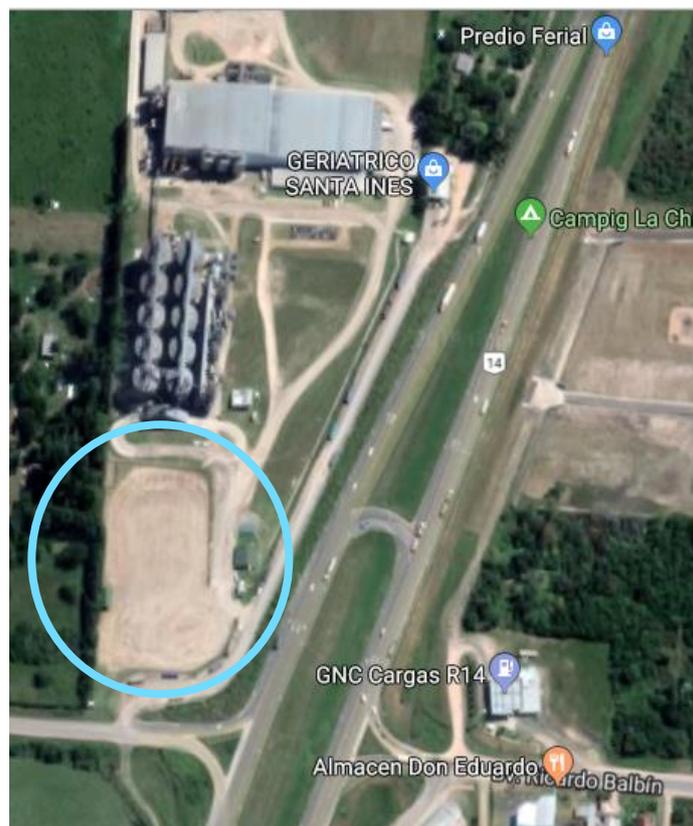


Figura 3. Predio en el Parque Industrial de Concepción del Uruguay. Acercamiento.

La ubicación presenta entrada directa desde una salida de la Ruta Nacional 14, y se puede salir conectando convenientemente por la calle Ricardo Balbín, por la que se llega a la misma ruta. Tanto acceso como egreso son por la parte sur del terreno.

En las imágenes a lo largo de este capítulo aparecerá el contorno del terreno indicado con una línea blanca discontinua.

4. PROCESO

A continuación se describirá la disposición de los equipos en el espacio, conectándose de acuerdo al procedimiento productivo descrito en capítulos anteriores. Para facilitar la comprensión, se ha usado colores representativos: rojo para las corrientes de vapor de proceso, verde para los líquidos de proceso y violeta para las corrientes residuales.

Lo primero en ocurrir es que la cáscara llega desde la empresa vecina. Se ha dicho que se usa una cinta de cadenas transportadoras. Ésta conduce a un molino de bolas, como se ve en la figura 4. Lo que sale de él va a una mesa vibratoria, para tamizar. El cernido, en tamaño adecuado se almacena en un silo para su posterior uso, mientras que el rechazo debe ser periódicamente recirculado al molino por un operario. Se lleva la cáscara a su almacenamiento mediante un tornillo cerrado.

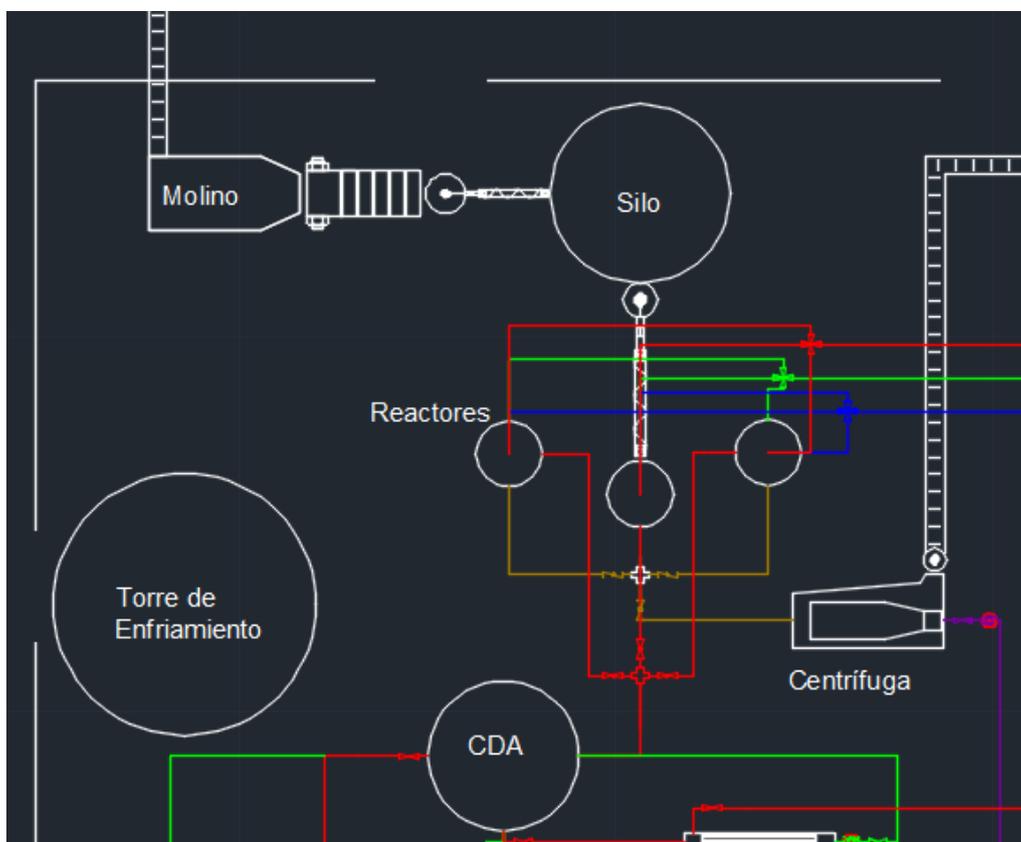


Figura 4. Proceso productivo, primera parte.

Cuando sea necesario, se llevará la cáscara a alguno de los reactores mediante un nuevo tornillo. Éstos a su vez reciben vapor a alta presión (línea roja que entra por el centro), a la vez que solución de sulfúrico para rociar la cáscara (línea verde). Durante la reacción, sale vapor con producto (línea roja saliente) a la columna de destilación CDA, luego de pasar por válvulas reductoras de presión (válvulas bola).

Terminada la operación, se lava la cáscara con agua a temperatura ambiente (línea azul). La mezcla sale por una válvula rotativa y se envía (línea marrón) a una centrifuga.

De allí, la cáscara sigue su camino por una cadena y el agua acidulada se dirige a tratamiento (línea violeta).

En la figura 5 pueden notarse las dimensiones de algunos equipos.

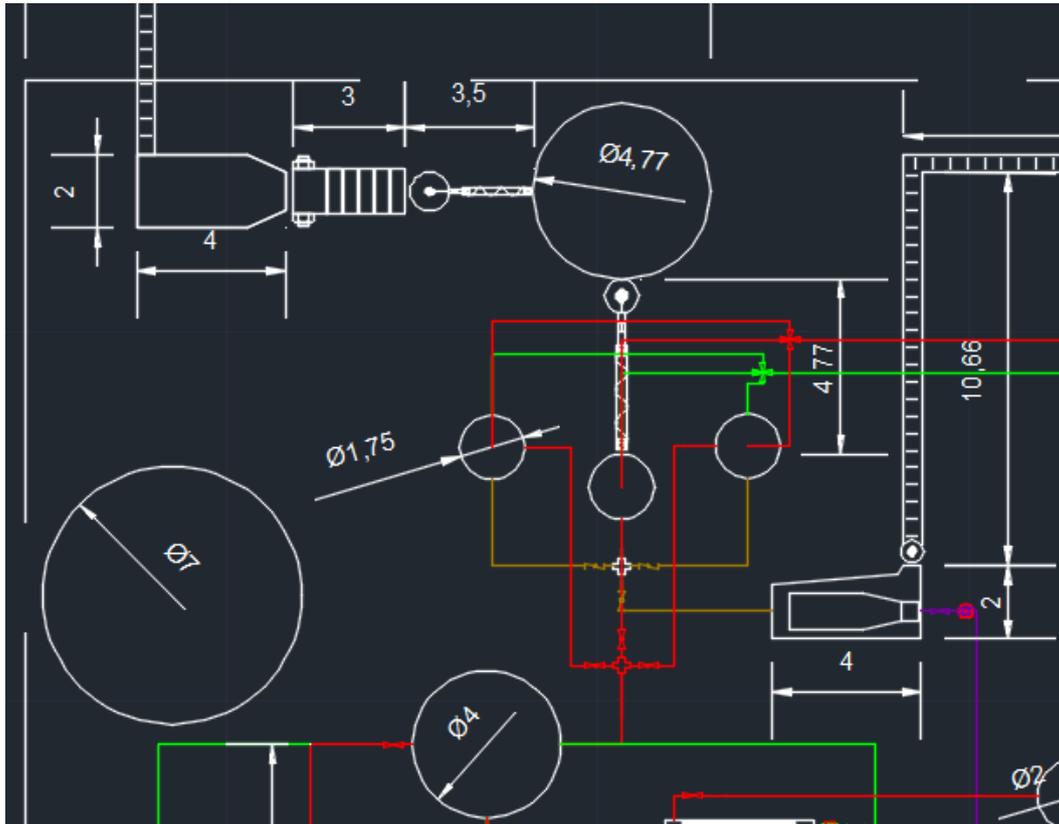


Figura 5. Proceso productivo, primera parte, acotada.

Continuando, en CDA se produce una destilación azeotrópica. De ella parte líquido (línea verde) a su calderín, CALD-1, que devuelve vapor (línea roja) y envía parte como residuo (violeta). También sale vapor de la columna a condensación, que puede ocurrir en COND-1 o CALD-3. En cualquier caso, se recircula algo del condensado (verde) y se envía otra parte a los tanques pulmón.

El contenido de éstos se bombea a CALD-3 los días que se producirá metanol, allí se evapora y envía (línea roja) a la columna CV. En su calderín asociado llega líquido (verde) y se evapora, recirculando una fracción a CV y enviando otra a residuo (violeta). El condensador asociado es COND-5, y le llega vapor que pasa a fase líquida, moviéndose algo a la columna nuevamente y llevando otra parte a almacenamiento en el tanque de metanol.

Volviendo a la columna de destilación azeotrópica (CDA), el furfural con agua (línea roja) pasa al condensador COND-2, llegando como líquido (verde) a Dec-1. De él se recircula la fase acuosa a CDA y se envía la fase orgánica a la columna de deshidratación, CDH. Una corriente de solución líquida de soda cáustica se mezcla en el trayecto (línea verde). Ya en CDH, los equipos asociados son CALD-2 y COND-3. Al primero le llega líquido, que evapora y envía una fracción a la torre y otra al COND-4 para condensación y almacenamiento del producto final, furfural. De COND-3 llega vapor y sale líquido. Una parte va a CDH y otra se envía a tratamiento como residuo (violeta).

Este procedimiento se ve plasmado en el diagrama en la figura 6, y con dimensiones en la figura 7. También se aprecia un doble círculo en los tanques de almacenamiento. Se

trata de las bateas de contención, que están conectadas al circuito de residuos. Su diseño se explicará en el capítulo de seguridad e higiene.

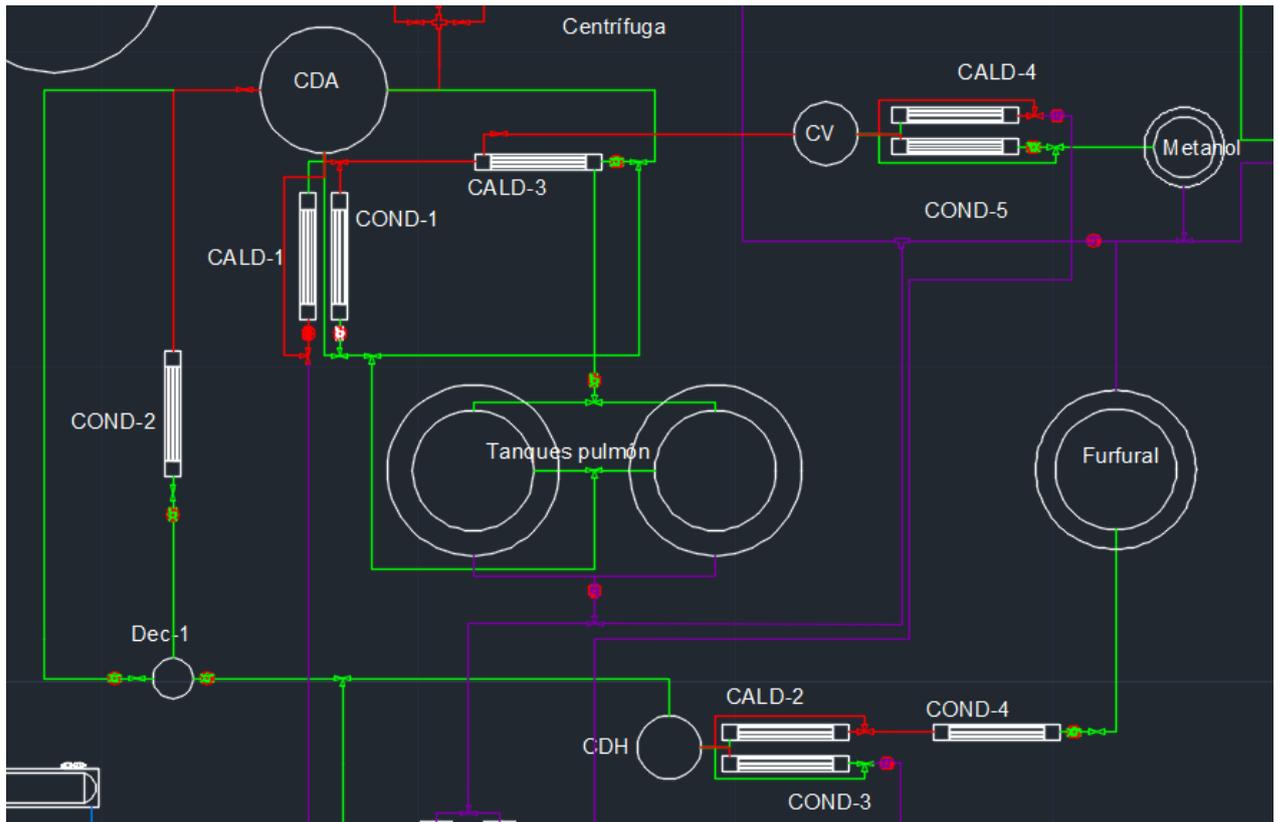


Figura 6. Proceso productivo, segunda parte.

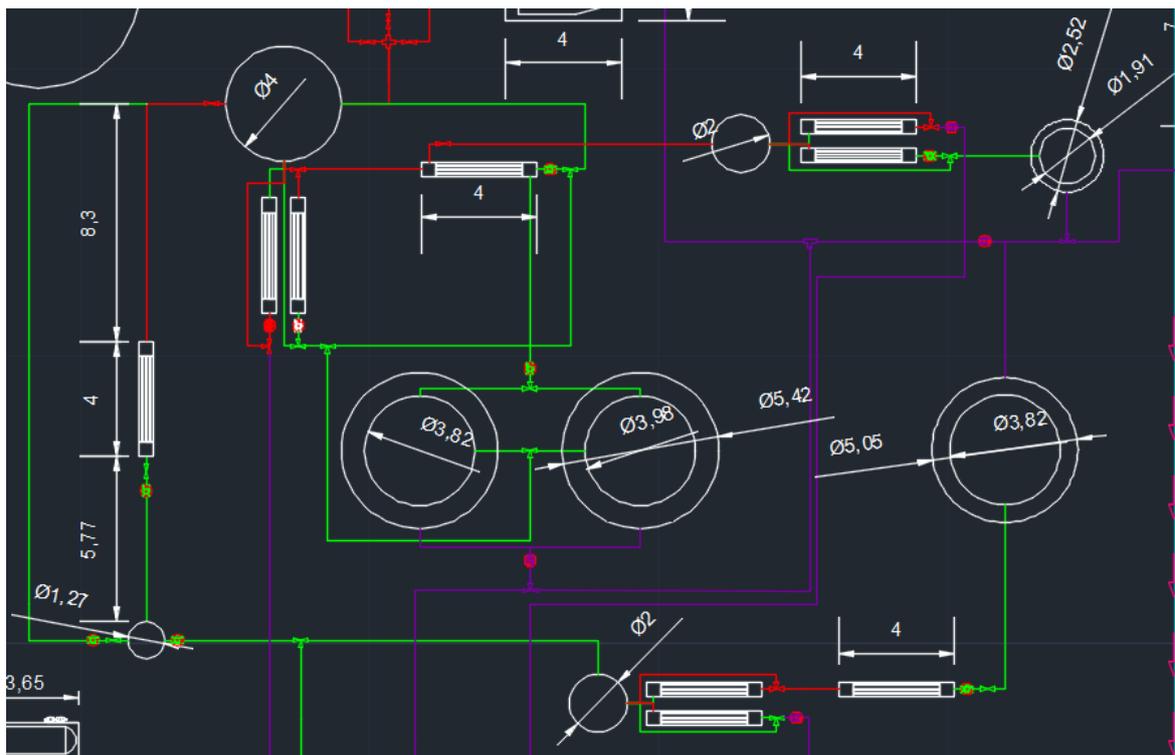


Figura 7. Proceso productivo, segunda parte, acotada.

5. ALMACENAMIENTO

Para almacenar tanto materia prima como producto, los equipos empleados son el silo de cáscara, los tanques de metanol y furfural, los tanques de agua, soda cáustica y ácido sulfúrico y un conjunto de toneles de 200 kg de capacidad.

Los primeros ya se mostraron previamente. En cuanto al tanque de agua de 7,64m de diámetro por 10,216m de alto, se ha decidido colocarlo al este del sector de procesos, tal como se ve en la figura 8 (y con dimensiones en la figura 9). También en esta zona, al sur del tanque, se ubica el almacén, un recinto cerrado que contiene el recipiente de sulfúrico (mínimo, de 0,61m por 0,46m de alto) y los recipientes para producto.

Para estos últimos se ha calculado sus dimensiones asumiendo 200kg por cada uno, considerando la densidad del furfural a 25°C (1121,33 kg/m³) y eligiendo 0,5m de diámetro.

$$V = \frac{m}{\delta} = \frac{200\text{kg}}{1121,33\text{ kg/m}^3} = 0,178 \frac{\text{m}^3}{\text{tonel}}$$

$$h_{\text{tonel}} = \frac{V}{\pi \cdot D^2 \cdot 0,25} = \frac{0,178\text{ m}^3}{\pi \cdot (0,5\text{m})^2 \cdot 0,25} = 0,91\text{m}$$

En caso de llenarlos con metanol, el otro producto a la venta, el peso por tonel sería de cerca de 142kg, por ser su densidad a 25°C igual a 794,76 kg/m³.

En el almacén se han colocado tres estructuras metálicas de dos pisos, para tener un mejor aprovechamiento del espacio. Así, se tienen 16 toneles por piso, siendo 32 por estructura. Como hay tres, se tiene un total de 96 recipientes, lo que alcanzaría por ejemplo para guardar cinco días de producción de furfural u ocho de metanol, con los caudales estipulados para este proyecto. Por cuestiones de seguridad, las estructuras se plantean de manera de poder retener cualquier vuelco y transmitirlo a un recipiente ubicado en la superficie.

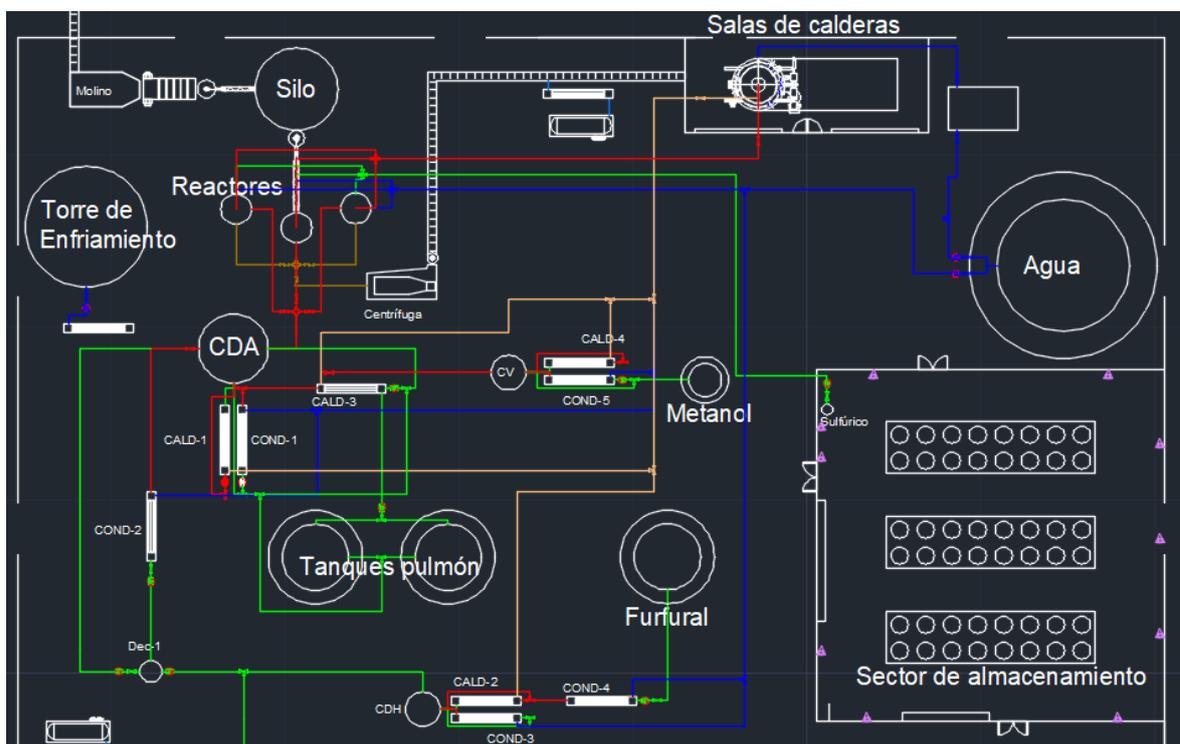


Figura 8. Ubicación de la zona de almacenamiento y tanques.

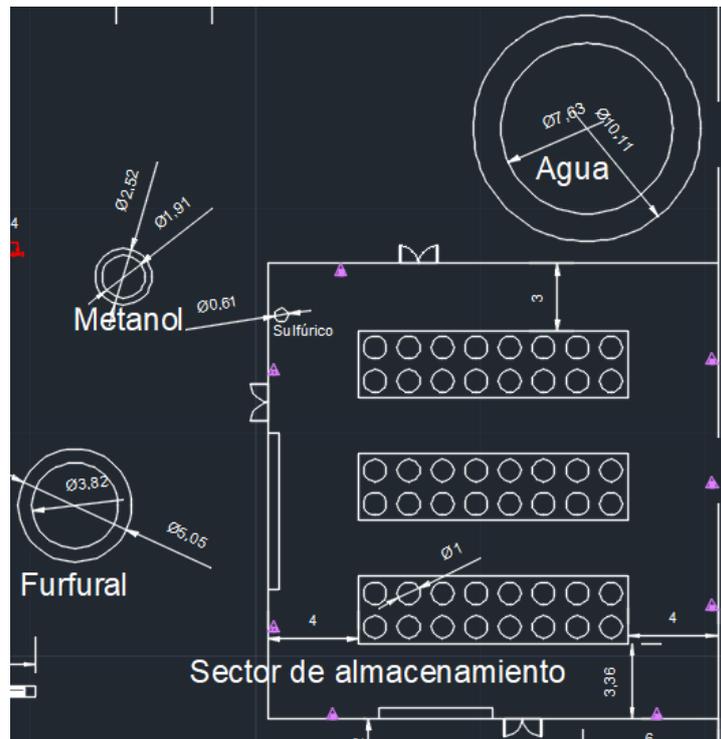


Figura 9. Dimensiones de tanques y toneles de almacenamiento en el plano de la planta.

Debe notarse que se ha evitado incluir todas las líneas de circulación de caudales en las imágenes, para facilitar la comprensión de lo que se muestra.

El tanque de soda cáustica se ubica más al sur de la zona de proceso, tal como se marca en la figura 10. Se lo ha señalado con una flecha naranja para que se lo note. Sus dimensiones son 6,685m de diámetro por 7,036m de alto.

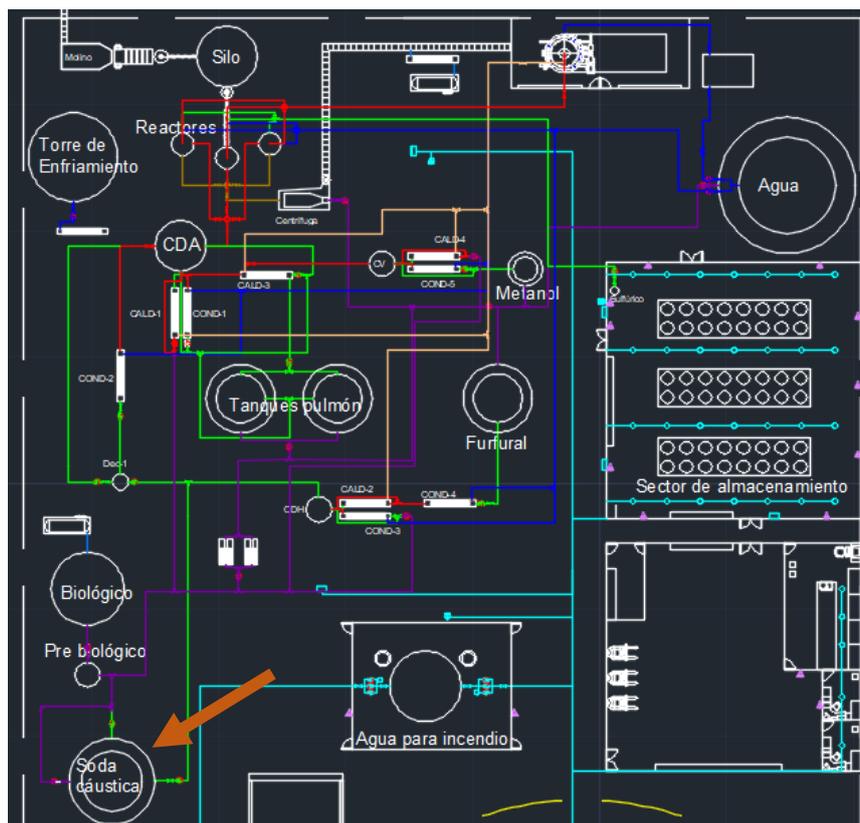


Figura 10. Ubicación del tanque de NaOH en la planta.

6. TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Ya concluida la explicación del proceso productivo, lo que sigue es indicar qué pasa con lo desechable. Para esto es necesario atender a una cuestión: ante la posibilidad de derrames de los tanques de almacenamiento se debe instalar un recinto de contención de posibles escapes (bateas). Éstos se han incluido en el diagrama como un segundo círculo que rodea a los tanques. Los fluidos que llegan son pérdidas, que ya no son aptas para la venta o el reuso, por lo que se debe disponerlos. Por esto se incluyen bombas y conexiones al circuito de tratamiento de los residuos para los contenidos de las distintas bateas.

El tratamiento incluye un procedimiento biológico y un equalizador previo, por lo que se debe filtrar antes de que llegue algún sólido indeseable a estos tanques. Para ello se han incluido dos filtros prensa. A ellos llega el contenido de las bateas y el flujo líquido de la centrífuga, que pueden contener sólidos, mientras que el resto de las corrientes llega al equalizador directamente. En la figura 11 se ve el circuito de los residuos en color violáceo, sin mostrar algunas de las otras líneas de flujo que no vienen al caso para esta explicación. Las dimensiones se notan mejor con la figura 12.

Debe notarse también que hay un flujo de soda cáustica que se mezcla con las corrientes que llegan al biológico. Su fin es procurar la neutralización de los caudales acidulados.

Además, hay un compresor conectado al tanque de tratamiento principal (cañería celeste para el aire). Su función es proveer el oxígeno necesario para que la descomposición sea del tipo aeróbica.

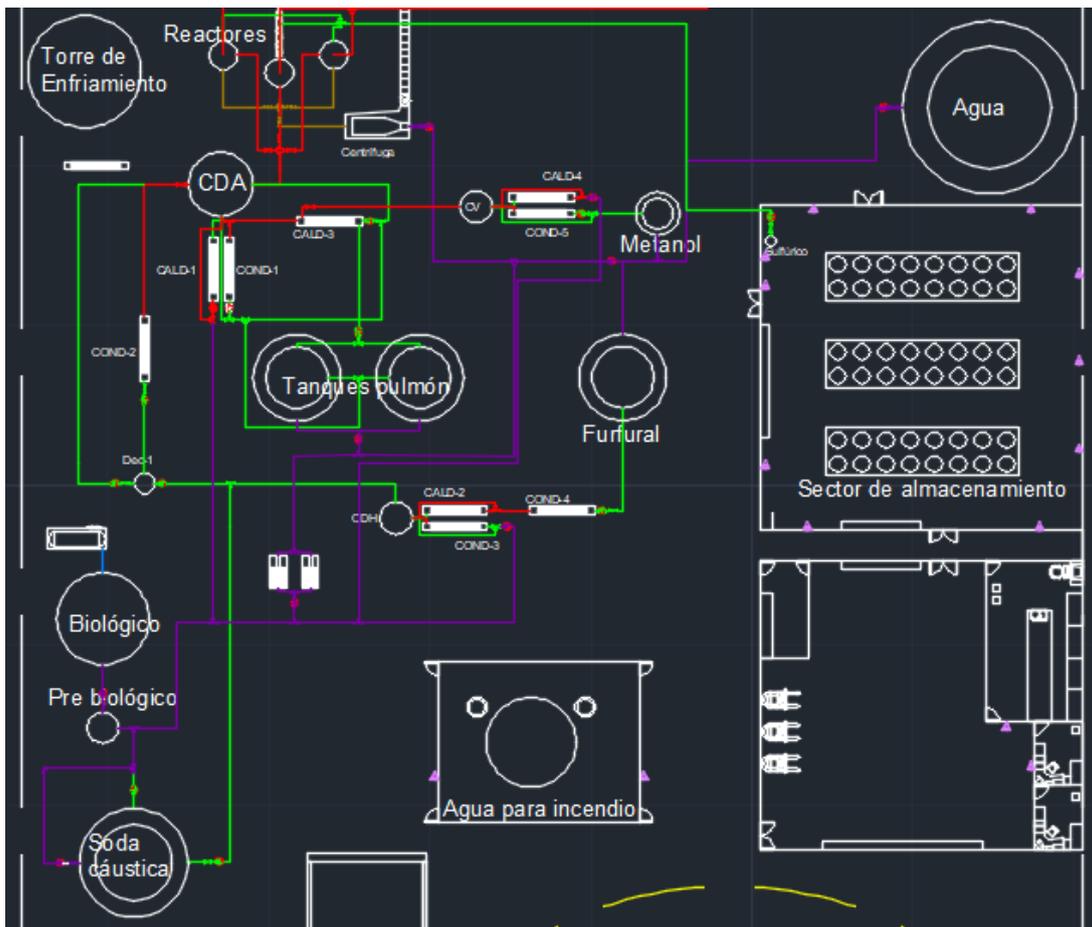


Figura 11. Circuito del flujo residual



Figura 12. Tanques de soda y de tratamientos, con sus diámetros.

7. CIRCUITO DE LA CÁSCARA AGOTADA

La otra fuente importante de residuos de la planta es la cáscara de arroz que sale agotada del reactor. Como se dijo, la idea es lavarla y separarla del agua de lavado con una centrífuga. Al ser un caudal grande de residuo sólido, se decidió quemarlo para reducir el volumen a enviar a disposición final. Para ello se instala una caldera de trabajo con combustible sólido, pudiendo también operar con gas natural de línea por si llega a presentarse algún problema.

La cáscara entonces se transporta nuevamente con una cadena cerrada hasta la sala de calderas, que, como se observa en la figura 13, se instalaría a más de 20m del silo de almacenamiento. Esto es porque la cáscara seca puede ser un combustible, y debe alejarse lo más posible de la caldera. Claro que el material sólido que sale de la centrífuga no es apto para quemar porque se esperaría que tenga un alto grado de humedad. Por eso, se incluye un compresor para enviar aire caliente (cañería celeste) a velocidad moderada a lo largo de la cadena, extrayendo así un importante caudal de agua. Por supuesto que la salida del gas de la cadena debe estar controlada por una malla de tamaño correspondiente, ya que si no podría haber escapes de cáscara que resultarían en contaminación del ambiente.

El circuito y las calderas se ven en la figura 13, y con dimensiones en la 14.

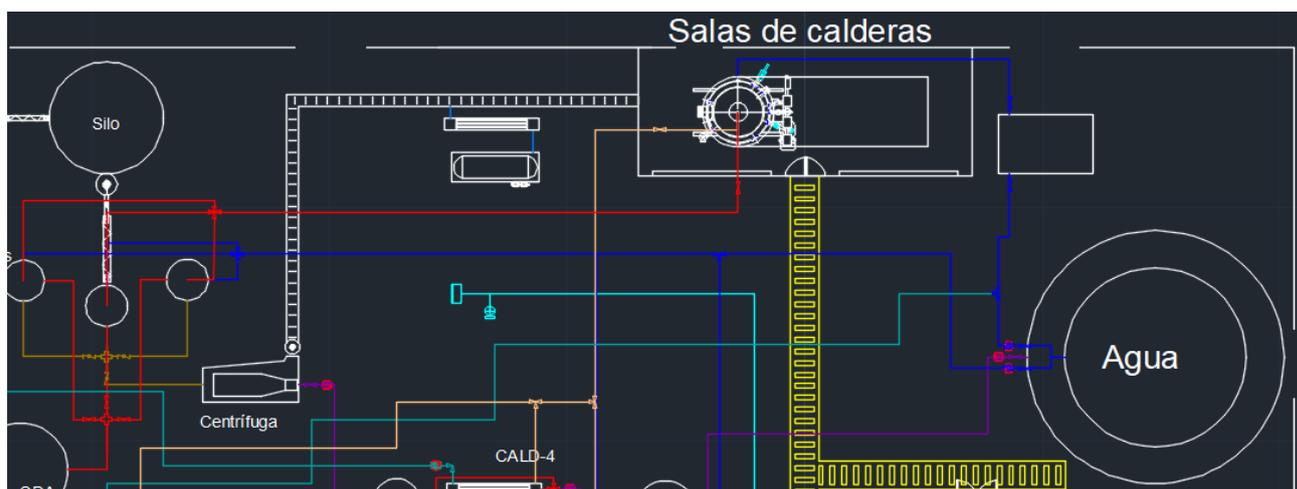


Figura 13. Circuito de la cáscara agotada.

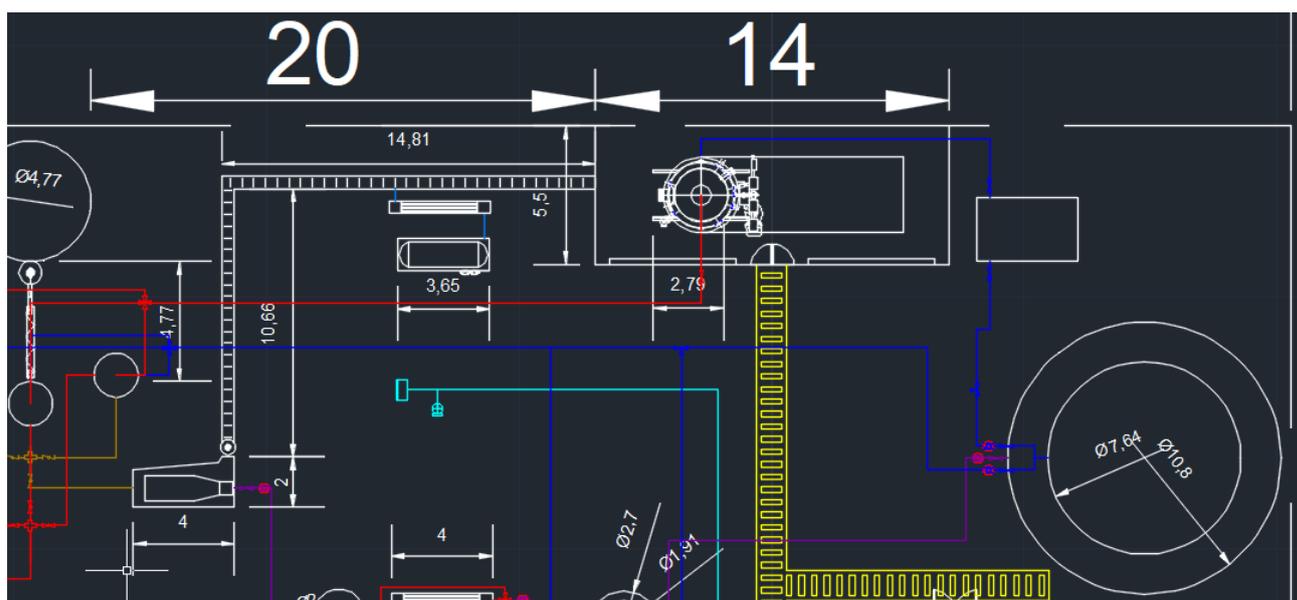


Figura 14. Circuito de la cáscara agotada, con dimensiones.

8. CIRCUITO DE AUXILIARES

Continuando con el sistema de calderas, lo próximo a marcar son las líneas de distribución del vapor que produce. Para ello, se muestran en las figuras 15 y 16 líneas de alta presión (rojas), a usarse como reactivo en la generación del producto principal, y de baja (naranja), que sirven como calefacción para los distintos calderines.

En cuanto al agua de refrigeración, se sabe que se obtiene del tanque grande mostrado anteriormente, y sus conexiones (líneas azules) llegan a cada uno de los condensadores, además de dar materia prima a las calderas.

El agua a la salida de los intercambiadores no puede disponerse normalmente, sino que su temperatura debe ser menor a 45°C por lo menos. Por ello, se ha instalado un circuito en el que se mezclan las corrientes residuales de agua fría y caliente, para entrarlas con una temperatura media a un intercambiador primero y a una torre de enfriamiento de tiro natural después. Esto permitiría disminuir su valor hasta entrar en parámetros de vuelco permitidos por la ley.

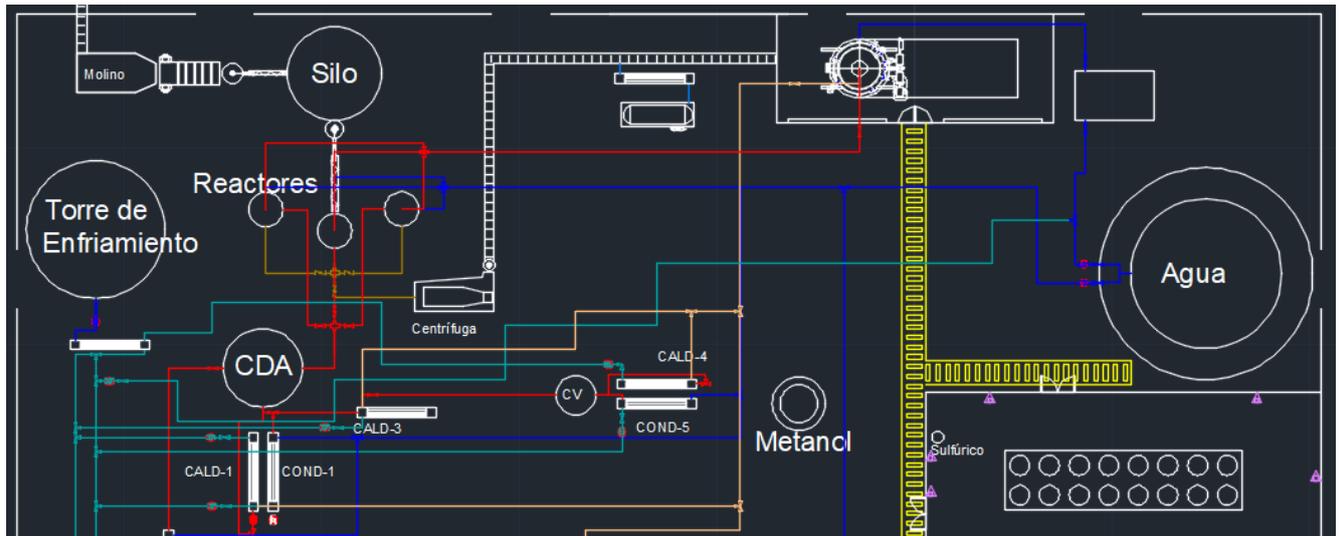


Figura 15. Circuitos de agua y vapor para intercambio térmico (primera parte).

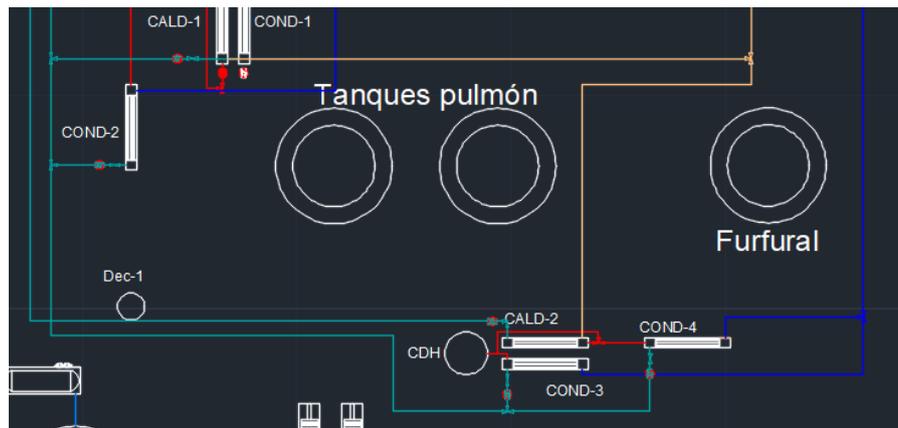


Figura 16. Circuitos de agua y vapor para intercambio térmico (segunda parte).

9. RUTA VEHICULAR

Explicadas ya las zonas del proceso productivo, lo siguiente es comenzar a ver la ruta de entrada tanto para personal como para camiones de proveedores y compradores de productos. Se dijo que la entrada debe estar sobre el sector sur del terreno. Por ello se han instalado allí dos portones, uno corredizo para la salida, a la izquierda y otro de apertura para la entrada, a la derecha (por cuestiones de espacio, no podía ser corredizo). Asimismo, se incluyó las oficinas de vigilancia en el medio, para control y registro de los ingresantes y salientes. Esto se visualiza en la figura 17, donde las líneas de circulación de vehículos se notan en color amarillo.



Figura 17. Entrada de vehículos y oficinas de vigilancia.

Las dimensiones de los autos se han estimado en cerca de 1,80m de ancho por 4m de largo, y las de camiones en cerca de 2,5m de ancho por hasta 20m de largo, por ser

éste el largo máximo para vehículos de transporte de carga y de pasajeros en el MERCOSUR. Los espacios para estacionar cada auto constan de 3,5m de ancho por 5m de largo, asegurando la comodidad de los pasajeros. En total, la planta cuenta con 39 lugares donde dejar los vehículos personales.

El espacio para circulación consta principalmente de una vuelta “en U”, rodeando uno de los sectores de estacionamiento. El ancho del recorrido es de 10m, pudiendo transitar hasta dos vehículos en paralelo. Se ha considerado un espacio entre dos arcos de 23,58m de radio el mayor y 10m el menor para el giro. Todo esto aparece en la figura 18. Los camiones pueden cargar o descargar mercadería estacionando en las cercanías del portón en el espacio contiguo al almacén. Y también se ha instalado un recinto de contención para que estacione el camión en caso de descargar soda cáustica. Éste es un espacio comprendido por dos cordones laterales y dos lomadas, que abarca 7m de ancho y 20m de largo, y permite evitar el esparcimiento de posibles derrames. Se ubica a unos 7m del tanque de NaOH, para evitar trayectos largos llevando material peligroso.

Para los autos existe un segundo sector de estacionamiento visible a la izquierda del circuito, que se amplía en la figura 19. Para éste se asegura un mínimo de 4m de ancho de circulación, siendo tres vías de un solo sentido. Además, en la zona inferior existe un espacio más amplio, de 5,5m, ya que incluye un hidrante y boca de incendio, para rápida entrada y accionar de los bomberos, de ser necesario. Igualmente se ampliarán estos conceptos en el capítulo de seguridad e higiene.

Por último, hay tres espacios más de estacionamiento junto al sector de oficinas. Éstos se hallan reservados para los tres directivos de mayor importancia: el director general y los jefes de operaciones y de administrativos.

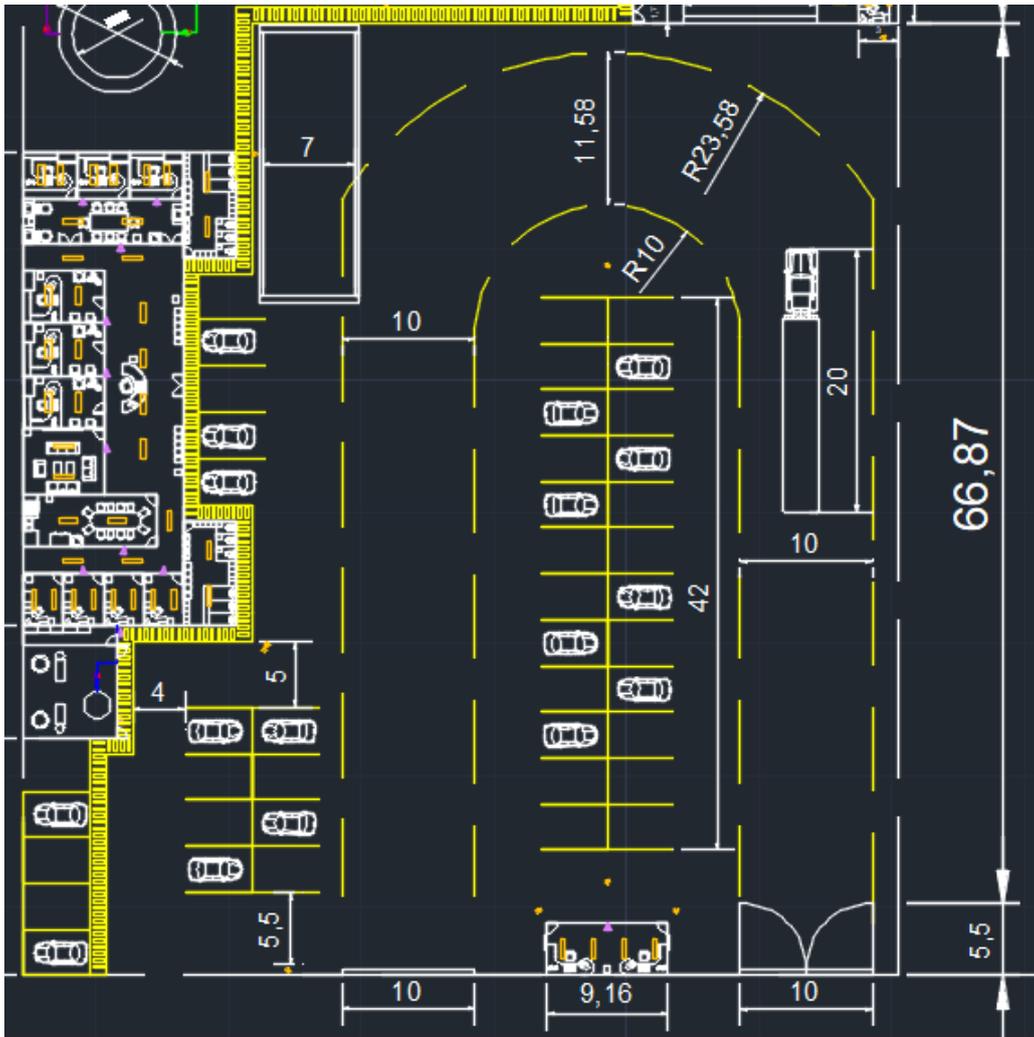


Figura 18. Circuito completo de circulación de vehículos.

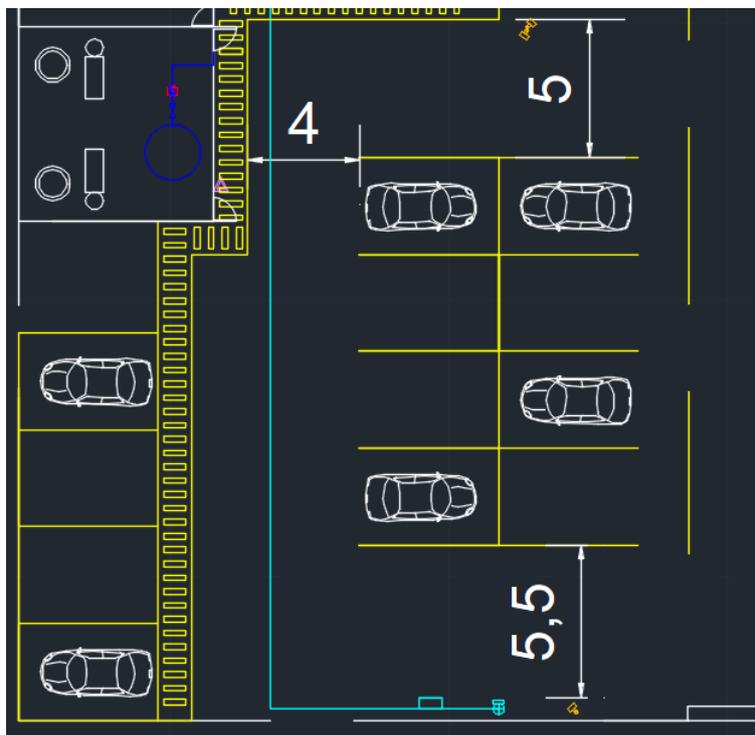


Figura 19. Segunda zona de estacionamiento.

11.1. BAÑOS

Se ha optado por instalar dos sectores idénticos, uno para cada género. Cada uno cuenta con tres duchas y tres inodoros, 14 lockers de 0,5m por 0,4m para guardar las pertenencias, cinco sillas para descansar o reposar mientras se cambian y tres piletas. Se visualiza uno de estos baños en la figura 22.

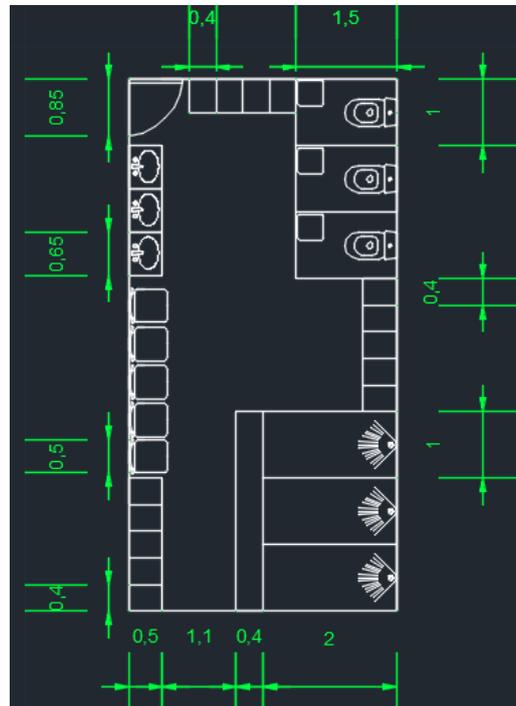


Figura 22. Plano del baño/vestuario.

11.2. SECTOR DE OPERACIONES

Esta parte del edificio cuenta con tres oficinas de 4m por 3,5m para los empleados de control de operaciones. Cada uno tiene sus clósets, mesa y computadora personal. Contigua se ubica una zona para descanso del resto de personal de operaciones (operarios). Consta de una mesa, dispenser de agua, televisor y dos computadoras. Todo esto es visible en la figura 23.

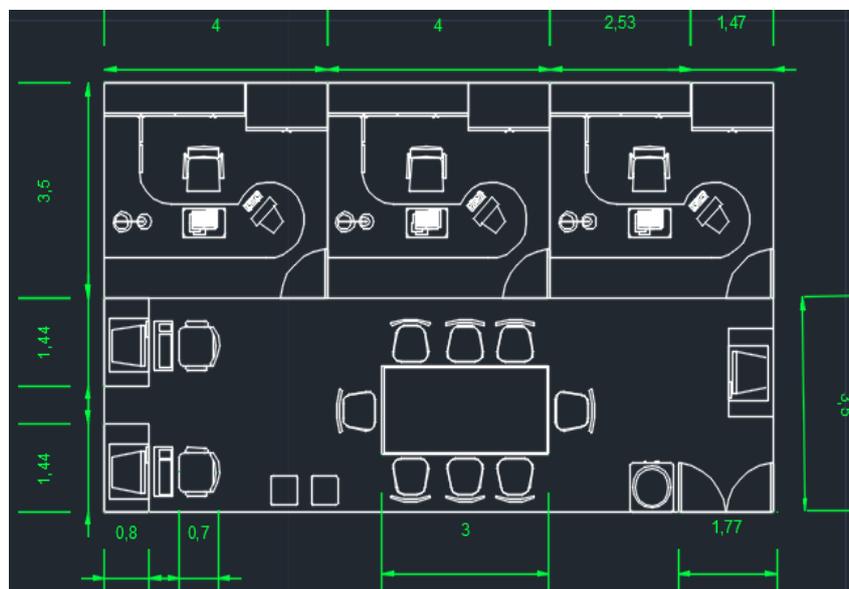


Figura 23. Plano del sector de operaciones.

11.3. OFICINAS DE DIRECTIVOS Y HALL PRINCIPAL

Continuando hacia el sur, separadas por un pasillo de 2m de ancho para moverse libremente y como posible vía de escape, aparecen las oficinas de los jefes a la izquierda y el hall a la derecha, como se ve en la figura 24. Las primeras son espacios de 6m por 4m, todas con clósets, computadora y mesa, sillas para el jefe y dos para posibles huéspedes. Cuenta también con dispenser de agua.

El hall es un espacio de 6m por 17m con una mesa circular de 3,72m de largo, reservada para el recepcionista. El fin de esta sección es servir no sólo como espacio de trabajo para éste, sino también como sala de espera para posibles invitados a la planta. Por ello, se lo ha equipado con diez sillas para estas personas.

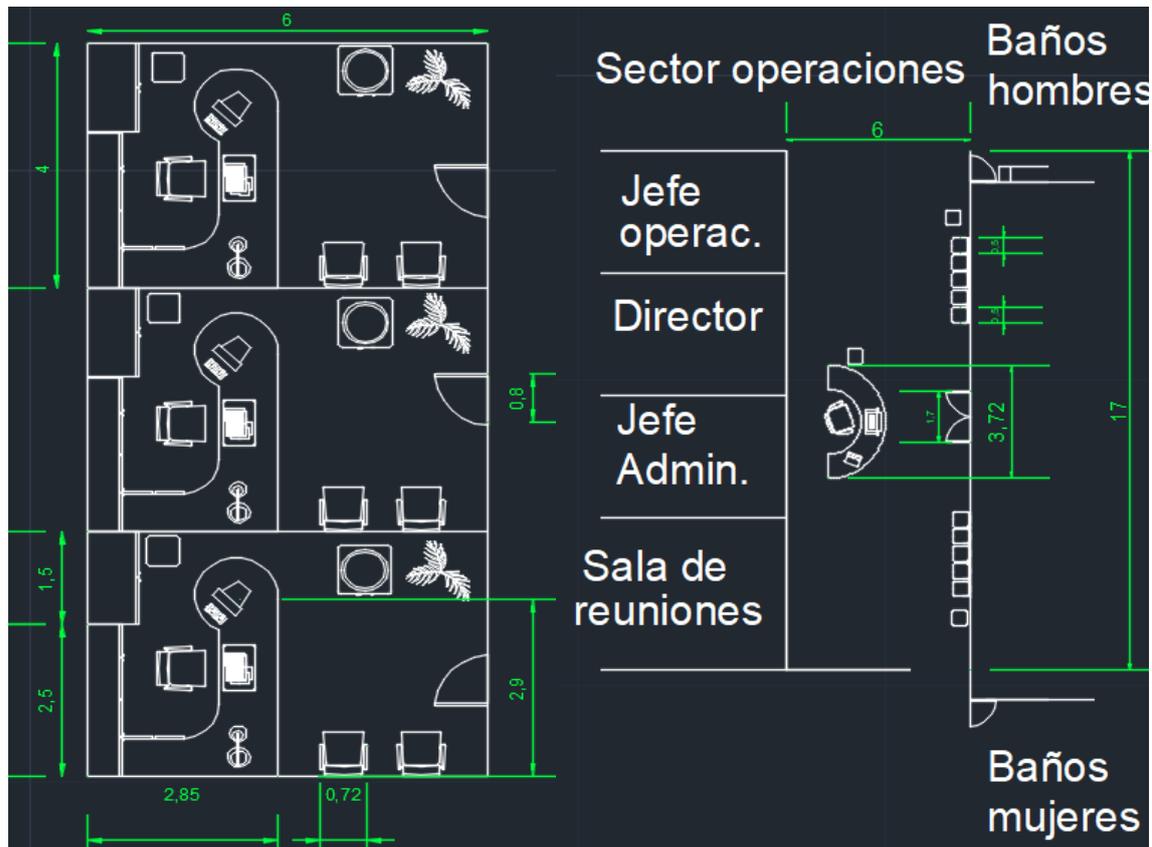


Figura 24. Planos de las oficinas de los jefes y hall principal.

11.4. SALA DE REUNIONES Y COMEDOR

Al sur del jefe de administrativos se halla la sala de reuniones. Éste espacio de 6m por 5m cuenta con sillones y dos mesas “ratonas”, para el confort de los invitados, además de una pizarra de 3m en la pared norte, que pueda ser usada como pantalla para proyector. Los sillones son dos de 3m, uno de 1,8m y otro de 1,15m.

Continuando se llega al salón comedor, preparado para que cada trabajador pueda prepararse la comida que guste. Cuenta con una mesa de cerca de 4m y diez sillas, un dispenser de agua, una heladera, pileta y horno. También se incluyó una alacena, y se prevé que aquí se ubique un calefón para dar agua caliente a esta sala y a los baños.

La figura 25 muestra estos sectores.

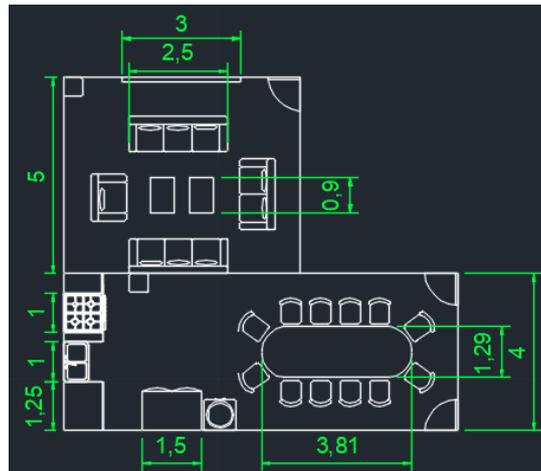


Figura 25. Planos de la sala de juntas y del comedor.

11.5. OFICINAS DE ADMINISTRATIVOS

Por último en este edificio, quedan las cuatro oficinas ubicadas más al sur, destinadas a los encargados de recursos humanos, compras, contabilidad y seguridad e higiene. Los espacios son de 3m por 4m, y cuentan con una mesa, computadora, y demás. Se los puede ver en la figura 26.

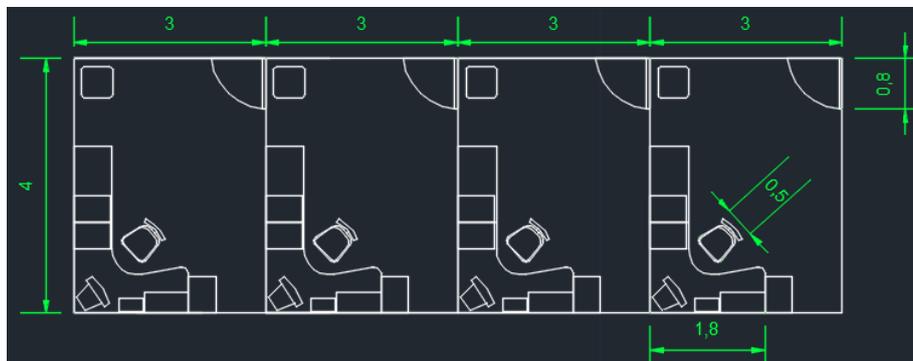


Figura 26. Planos de las oficinas de administrativos.

12. SALAS DE TABLEROS Y DE GRUPOS ELECTRÓGENOS

Para cerrar este capítulo, queda una zona, totalizando 7m por 8,5m, que incluye una sala de tableros electrónicos (más al norte en la figura 27) y una de grupos electrógenos (al sur en la imagen). Ésta última contiene dos equipos para dar electricidad en caso de cortes del suministro estatal, y además un tanque de 2m de diámetro, usado para abastecer de agua a los baños y el comedor del edificio contiguo.

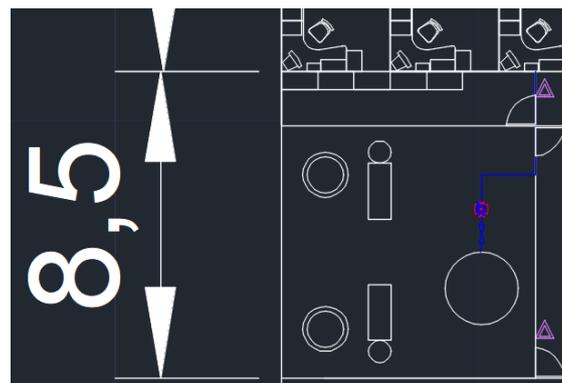


Figura 27. Sala de tableros y de grupos electrógenos.

13. BIBLIOGRAFÍA.

DwgAutoCAD.com, sitio público para compartir diseños de planos y equipos en archivos con la plataforma de AutoCAD. Página web:

<https://www.dwgautocad.com/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

SuperiorBoiler, sitio de venta de calderas, sobre modelos de calderas dibujadas para planos de AutoCAD. Página web:

<https://superiorboiler.com/autocad-dwg-files/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Motor Mapfre, sitio sobre noticias de vehículos, patrocinado por la empresa multinacional de seguros, sobre las dimensiones usuales de los automóviles. Página web:

<https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/guia-medidas-coches-segmento/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

EcuRed, enciclopedia cubana en línea, sobre las dimensiones usuales de los camiones de bomberos. Página web:

<https://www.ecured.cu/AC-3.2-40/4> [Fecha de consulta: 29/10/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 13: Seguridad e higiene

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. RED DE ROCIADORES E HIDRANTES	2
2.1. HIDRANTES Y BOCAS DE INCENDIO	2
2.2. SISTEMA DE ROCIADORES	6
2.3. DISPOSICIONES FINALES	11
3. INSTALACIÓN DE MATAFUEGOS	15
3.1. OFICINAS ADMINISTRATIVAS Y COMEDOR	17
3.2. SALA DE REUNIONES	18
3.3. OFICINAS DE JEFES	19
3.4. SECTOR OPERACIONES	19
3.5. LABORATORIO Y OFICINAS ALMACENAMIENTO	20
3.6. ALMACÉN	21
3.7. VIGILANCIA	22
4. BATEAS DE SEGURIDAD	23
5. ILUMINACIÓN	25
6. PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN	31
7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	33
8. OTRAS CONSIDERACIONES	34
9. BIBLIOGRAFÍA	36

1. INTRODUCCIÓN

En esta sección del proyecto se describen los cálculos y diseños utilizados para garantizar la reducción de los riesgos a los que se exponen los empleados al mínimo posible. Para poder lograr el objetivo, se han seguido las reglamentaciones exigidas por las normas aplicables a cada temática, de modo de cumplir además con cualquier auditoría realizable en esta materia.

Así, los principales ejes abarcados en este capítulo son: red de rociadores e hidrantes, instalación de matafuegos, bateas de seguridad, iluminación, medios de escape, procedimiento de evacuación y elementos de protección personal. Además se incluye otra sección con demás consideraciones tomadas para el diseño de la planta, buscando cumplir con otros requisitos también importantes para la salud de los recursos humanos, que se presentan en varias normativas.

2. RED DE ROCIADORES E HIDRANTES

En esta primera sección se explica el diseño del sistema de hidrantes y bocas de incendio instalados a lo largo del terreno, así como también el de la red de rociadores de agua a instalar en las zonas techadas.

El primero se logró mediante el ajuste a las exigencias impuestas por la norma IRAM 3597, Instalaciones fijas contra incendios. Para el sistema de rociadores la norma aplicada fue la NFPA-13 (de la National Fire Protection Association norteamericana). Además, para la instalación del sistema de incendios en general se tuvieron en cuenta las demandas del decreto 10.877/60, que reglamenta la ley 13.660, tratando sobre la seguridad en instalaciones con tratamientos de combustibles.

2.1. HIDRANTES Y BOCAS DE INCENDIO

Para esta parte del procedimiento, los pasos a seguir fueron: determinar los riesgos en la planta según la clasificación de la ley, calcular el área sobre la que hay que trabajar, estimar el volumen de agua requerido y calcular la potencia de bombas necesarias.

Al evaluar los riesgos, aparece la necesidad de dividir el estudio en dos sectores: uno en la parte operativa, con manejo de fluidos inflamables, y otro en la zona de oficinas y estacionamiento. Para la primera el riesgo es del tipo alto, por evaluarse como un depósito de químicos inflamables y explosivos. En la parte de oficinas y automóviles, el riesgo es moderado grupo I, leve por parte del edificio de oficinas, pero sube por la presencia justamente de los automotores.

Para calcular el área de trabajo, en ambos casos se tiene un ancho de 66m, y la línea divisoria de sectores se traza en el punto de la planta donde comienza el recinto previo al almacén, según el diagrama mostrado en el capítulo anterior. Así, el largo de la zona de riesgo alto es de 59,62 m, totalizando un área de 3934,92 m², mientras que para la de riesgo moderado se tiene 72,38 m, por lo que la superficie llega a los 4752 m².

Las exigencias de la norma IRAM 3597 pueden verse en las tablas de las figuras 1 y 2. En ellas se muestra que para el sector de oficinas se requiere un caudal de agua de 1000 L/min, a cumplir durante 45 minutos, y que debe darse acceso a por lo menos dos bocas de incendio de caudal de 500 L/min. En cuanto al sector operativo, las exigencias suben hasta 2000 L/min durante 60 minutos, y por lo menos 4 bocas de 500 L/min.

Así, el volumen requerido para la parte de oficinas es de 45 m³ de agua, a lo que se suman 120 m³ de requisito para la parte de operaciones. Cabe destacar que esta

reserva de agua debe ser exclusiva del sistema de incendio, no puede usarse la misma fuente que para el agua de proceso. Para no tener que gastar en el control de dos tanques distintos, se ha instalado uno sólo con las reservas de agua, asentado al oeste del sector previo al almacén, y al sur de la parte operativa de la planta. Los cálculos de sus dimensiones se ven a continuación, e incluyen, tal como en el capítulo de diseño de equipos, la suposición de un perímetro a partir de los tamaños de las chapas de acero a la venta, y la obtención del diámetro y altura desde el mismo.

Riesgo	Superficies S (m ²)			Tiempo (min)
	S ≤ 2 500 (l/min)	2 500 < S ≤ 10 000 (l/min)	10 000 < S < 20 000 (l/min)	
Leve	750	1 000	1 500	30
Moderado, grupo I	1 000	1 000	1 500	45
Moderado, grupo II	1 000	1 500	2 000	60
Alto riesgo	1 500	2 000	3 000	60

Figura 1. Exigencias de la IRAM 3597 respecto a caudal y tiempo

Riesgo	Superficie S (m ²)		
	S ≤ 2 500	2 500 ≤ S < 10 000	10 000 ≤ S < 20 000
Leve	2 bocas x 375 l/min	2 bocas x 500 l/min	3 bocas x 500 l/min
Moderado, grupo I	2 bocas x 500 l/min	2 bocas x 500 l/min	3 bocas x 500 l/min
Moderado, grupo II	2 bocas x 500 l/min	3 bocas x 500 l/min	4 bocas x 500 l/min
Alto riesgo	3 bocas x 500 l/min	4 bocas x 500 l/min	6 bocas x 500 l/min

Figura 2. Exigencias de la IRAM 3597 respecto de bocas de incendio disponibles.

$$V_{\text{sector oficinas}} = 1000 \frac{L}{\text{min}} \cdot 45 \text{ min} = 45.000 L$$

$$V_{\text{sector operativo}} = 2000 \frac{L}{\text{min}} \cdot 60 \text{ min} = 120.000 L$$

$$V_{\text{agua de incendio}} = 45.000 L + 120.000 L = 165.000 L \equiv 165 m^3$$

Se considerará el uso de filas de chapas comprendidas por cinco de 3m por 1,25m de alto y una de 2,5m por 1,25 de alto.

$$\text{Per.} = 17,5m = \pi \cdot D$$

$$D = 5,57m$$

$$h = \frac{V}{\pi \cdot D^2 \cdot 0,25} = \frac{165 m^3}{\pi \cdot (5,57m)^2 \cdot 0,25} = 6,77m$$

El cálculo del sistema de bombeo se efectuó mediante la conocida fórmula de Bernoulli, visible a continuación.

$$\Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h = w$$

$$\text{Potencia} = w \cdot Q_{\text{vol}} \cdot \rho \cdot g$$

Por norma, las cañerías deben estar o a 5m de distancia de los edificios o ser subterráneas. Como en el primer caso se complica mucho el tránsito de personas y vehículos, se ha decidido instalarlas en forma subterránea, con protección contra la corrosión. Así, considerando una profundidad de 0,5m, y una altura de 1,5m como una consideración para el uso de las mangueras, se tiene que $\Delta z=2m$.

La velocidad puede ser calculada a partir del caudal exigido y del diámetro de cañería:

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 \cdot 0,25}$$

Los caudales en cada sector son los exigidos por la norma, mientras que el diámetro elegido se decidió contemplando que debe realizarse una contracción a 65mm para las instalaciones de mangueras y bocas de incendio, ya que es lo exigido por norma (ese tamaño es el que usan los equipamientos de los bomberos). Para que el cambio no sea muy brusco, porque eso llevaría a una gran pérdida de carga, pero también para tener una cañería lo suficientemente ancha como para que la demanda de potencia no se eleve demasiado, se eligió usar caños de 5,5" (0,1397 m) para el sector de operaciones y de 2,75" (0,06985 m) para el de oficinas.

Así, quedan definidas las velocidades:

$$Q_{operaciones} = 2000 \frac{L}{min} \cdot 1 \frac{kg}{L} \cdot 60 \frac{min}{h} = 120.000 \frac{kg}{h}$$

$$v_{operaciones} = \frac{120.000 \frac{kg}{h}}{\pi \cdot (0,1397m)^2 \cdot 0,25} = 2,1747 \text{ m/s}$$

$$Q_{oficinas} = 1000 \frac{L}{min} \cdot 1 \frac{kg}{L} \cdot 60 \frac{min}{h} = 60.000 \frac{kg}{h}$$

$$v_{oficinas} = \frac{60.000 \frac{kg}{h}}{\pi \cdot (0,06985m)^2 \cdot 0,25} = 4,3494 \text{ m/s}$$

Lo siguiente es la presión. Al comienzo se tiene un tanque en condiciones atmosféricas, pero por norma debe tenerse un mínimo de 0,5MPa (500.000 Pa) en el flujo de salida. Por lo tanto, la presión final en cada caso debe ser de por lo menos 601.325 Pa.

El término restante de la ecuación es la pérdida de carga. Definirlo requiere calcular primero el adimensional Reynolds, a partir de él el coeficiente de fricción y además las pérdidas secundarias por accesorios.

$$Re = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$$\Delta h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \delta} + \Delta h_{secundaria}$$

Donde δ es la densidad y μ la viscosidad del fluido, en este caso agua. El largo de las cañerías se midió en el layout de planta, según la boca menos favorable. Así, resultó en 64m para el sector de operaciones y 110,5m para el de oficinas. Esto está permitido, ya que se admiten hasta 120m de cañería por red contra incendios (límite definido en el decreto 10.877). f es el coeficiente de fricción. Se obtiene de tablas, sabiendo el Reynolds y la rugosidad relativa. Ésta última sale de tablas, según diámetro y material de cañería. Por tener acero comercial en ambos casos (la norma permite caños de acero

al carbono sin costura), este parámetro adquiere valor 0,00035 para el sector de operaciones y 0,000625 para el de oficinas. Se procede entonces con el Reynolds.

$$Re_{operaciones} = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,1747 \text{ m/s} \cdot 0,1397 \text{ m}}{0,001 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}} = 303.803$$

$$Re_{oficinas} = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,3494 \text{ m/s} \cdot 0,06985 \text{ m}}{0,001 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}} = 303.803$$

Con estos datos, f vale 0,0173 para el sector de operaciones y 0,0189 para el de oficinas.

Lo que falta es saber la pérdida de carga por accesorios. Ésta se obtiene de nomogramas, según accesorio y diámetro. El resultado se expresa en unidades de longitud. En ambos casos se consideraron los elementos según el plano de las líneas de incendio en el layout de la planta, incluyendo codos de 90°, conexiones en T, válvulas de retención abiertas y contracciones en el caso de pasar de 0,1397m a los 0,065m que la norma exige para las bocas de incendio, por ser éste el diámetro con el que se manejan los equipos de los bomberos. Los valores se incluyen en la tabla de la figura 3.

Accesorio	Δh (m)	Cantidad	Δh total (m)
Codo 2,75"	5,2	12	90
Válvula 2,75"	6	2	
Empalme 2,75"	5,2	3	
Codo 5,5"	10,5	12	201,1
Válvula 5,5"	12	2	
Empalme 5,5"	10,5	3	
Codo y reducción 1/2"	4,9	4	

Figura 3. Pérdida de carga secundaria, por accesorios.

Al final, la pérdida de carga en cada red queda como sigue:

$$\Delta h_{operaciones} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \delta} + \Delta h_{secundaria} = 0,0173 \cdot \frac{64 \text{ m}}{0,1397 \text{ m}} \cdot \frac{\left(2,1747 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 1000 \text{ kg/L}} + 201,1 \text{ m}$$

$$\Delta h_{operaciones} = 203,01 \text{ m}$$

$$\Delta h_{oficinas} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \delta} + \Delta h_{secundaria} = 0,0173 \cdot \frac{110,5 \text{ m}}{0,06985 \text{ m}} \cdot \frac{\left(4,3494 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 1000 \text{ kg/L}} + 90 \text{ m}$$

$$\Delta h_{oficinas} = 118,81 \text{ m}$$

Finalmente, se obtiene la potencia de las bombas a instalar.

$$W_{operaciones} = \Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h$$

$$W_{operaciones} = 2 \text{ m} + \frac{\left(2,1747 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + \frac{601.325 \text{ Pa} - 101.325 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + 203,01 \text{ m}$$

$$W_{operaciones} = 279 \text{ m}$$

$$Potencia_{operaciones} = w_{operaciones} \cdot Q_{vol} \cdot \rho \cdot g \cdot 0,00134102 \frac{hp}{W}$$

$$Potencia_{operaciones} = 279 \text{ m} \cdot 120 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,00134102 \frac{hp}{W}$$

$$Potencia_{operaciones} = 122,31 \text{ hp}$$

Y para el sector de oficinas:

$$w_{oficinas} = \Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h$$

$$w_{oficinas} = 2 \text{ m} + \frac{\left(4,3494 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(0 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + \frac{601.325 \text{ Pa} - 101.325 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + 118,81 \text{ m}$$

$$w_{oficinas} = 264,53 \text{ m}$$

$$Potencia_{oficinas} = w_{oficinas} \cdot Q_{vol} \cdot \rho \cdot g \cdot 0,00134102 \frac{hp}{W}$$

$$Potencia_{oficinas} = 264,53 \text{ m} \cdot 60 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,00134102 \frac{hp}{W}$$

$$Potencia_{oficinas} = 57,94 \text{ hp}$$

Antes de saber si estos valores son definitivos, deben calcularse las exigencias para los rociadores. La potencia necesaria mayor será la elegida para instalar.

2.2. SISTEMA DE ROCIADORES

Se ha decidido instalar estos equipos en los edificios de oficinas, el recinto previo al almacén y el almacén.

Los pasos seguidos para este diseño fueron: determinar el riesgo en cada sector, calcular el área de cada espacio cerrado sobre la que deben actuar los rociadores, obtener las exigencias de la NFPA-13, establecer un caudal fijo de agua por equipo y calcular la cantidad a instalar en cada lugar.

Como la clasificación de los riesgos difiere de lo establecido por la norma IRAM 3597, usada para los hidrantes, es necesario determinarlos nuevamente. Para ello, tal cual se hizo antes, la planta se dividió en dos zonas: una es el edificio de oficinas y la otra el de almacén y su recinto previo. Se prevé usar la misma cañería y sistema de bombeo que para los hidrantes, con la diferencia que ahora se debe extenderla más en los techos para llegar a cada rociador.

Los riesgos establecidos fueron:

_Ordinario grupo 1 para el edificio de oficinas. Ahora no se considera la zona de estacionamiento, y el edificio no contiene almacenamiento de fluidos inflamables normalmente, pero sí una cantidad moderada de combustibles, como la madera de algunos muebles o el papel de los archivos.

_Riesgo extra grupo 2 para el sector de almacén. Cuando se presentan altas combustibilidades y líquidos inflamables se entra en esta categoría. Si la cantidad de fluidos no es mucha, como pasa en el laboratorio de la planta, se tiene grupo 1. Pero si es muy elevada, se llega al 2, más exigente en cuanto a caudal de agua. Por lo tanto,

para el sector del almacén y su zona previa se presentan las dos categorías; grupo 1 para las oficinas de almacenamiento y el laboratorio, y 2 para la parte en que se estacionan los toneles con combustibles.

Ya sabiendo las categorías presentes según la norma, pueden obtenerse las exigencias. Para ello, se debe usar el gráfico de la figura 4.

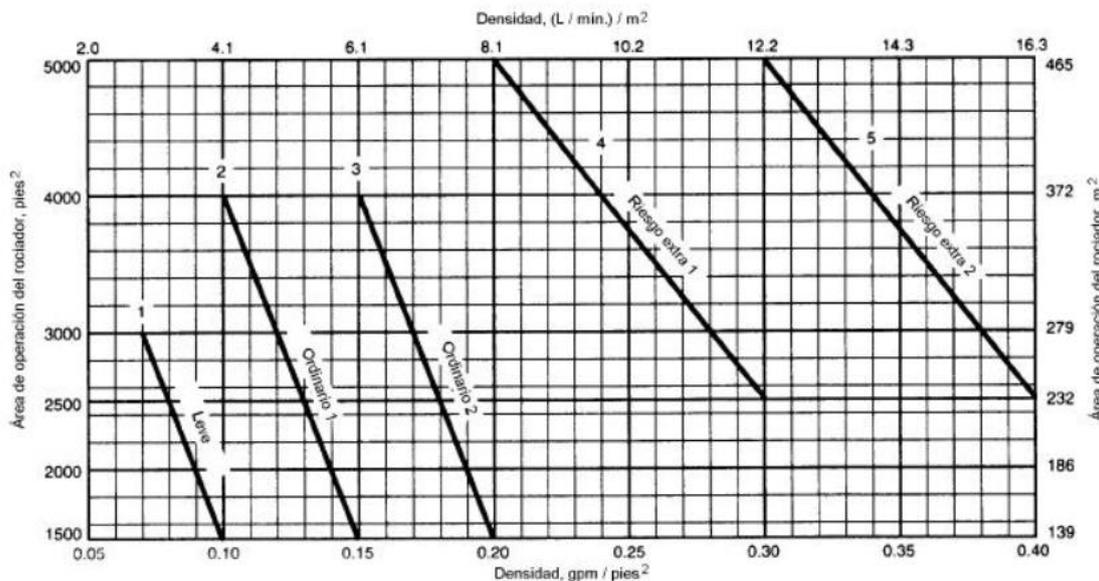


Figura 4. Gráfico de área de operación de rociadores vs densidad de flujo.

El parámetro buscado es la densidad de flujo por área (eje horizontal). Para saberlo, se debe entrar con la superficie de cada locación hasta la recta de su nivel de riesgo. En el cruce, queda definida la densidad observando las coordenadas en el eje de abscisas.

La figura 5 muestra el total de m² para el sector de oficinas. Entrando con ese valor al riesgo ordinario grupo 1, la densidad obtenida es de 5 (L/min)/m². En cuanto al almacén, sus dimensiones son 20m de ancho por 18,5m de largo. Así, su superficie es de 370 m², que para riesgo extra grupo 2 se condice con cerca de 13,5 (L/min)/m². Para oficinas de almacenamiento y laboratorio el total es de 74 m², y esto no entra en la gráfica. Por eso, se ha usado el mismo valor que para el almacén. En todo caso, se estaría sobredimensionando. Entrando con 370m², la densidad es de 10 (L/min)/m².

Ya teniendo las exigencias, se puede proseguir con un método “del cuarto”, descrito en la NFPA-13, pero su complejidad no parece necesaria para un proyecto de este estilo. En cambio, el procedimiento usado fue fijar un caudal de agua por rociador y calcular según la superficie y densidad de flujo la cantidad de equipos a instalar por zona. Para el sector de oficinas, se fijó 75 L/min para cada instrumento. Este es un valor fácilmente alcanzable por rociadores del proveedor Viking, aunque se especifica que el área máxima para cada equipo es de 23,8 m², por lo que este parámetro también debe controlarse. Además, la distancia entre rociadores del mismo tramo de cañerías no puede superar los 4,9 m. Se trata de instrumentos del tipo “pendientes normales”.

Las fórmulas finales quedan como sigue.

$$\text{Área} = \text{ancho} \cdot \text{largo}$$

$$N^{\circ} \text{ rociadores} = \frac{\text{Área} \cdot \text{Densidad de flujo}}{Q_{\text{rociador}}}$$

$$\text{Área por rociador} = \frac{\text{Área}}{\text{N}^\circ \text{ rociadores}}$$

Los resultados para el sector de oficinas se incluyen en la figura 5, y se hicieron usando un redondeo al entero superior próximo para el número de rociadores.

Lugar	Ancho	Largo	Área	Nº rociadores	Nº rociadores	Área por roc. (m2)
Oficinas admin.	12	4	48	3,20	4	12,00
Comedor	10	4	40	2,67	3	13,33
Sala de juntas	6	5	30	2,00	2	15,00
Oficina Direct. 1	6	4	24	1,60	2	12,00
Oficina Direct. 2	6	4	24	1,60	2	12,00
Oficina Direct. 3	6	4	24	1,60	2	12,00
Sector de oper.	12	7	84	5,60	6	14,00
Total			274			

Figura 5. Cálculos de rociadores para el sector de oficinas.

En cuanto al almacén, el caudal fijado por equipo fue más alto, de 185,5 L/min. Para otro modelo de rociadores del mencionado proveedor, este valor es una respuesta normal. Para éstos el área máxima por cada uno se eleva hasta 30,1 m², y la distancia a 5,5 m. Son rociadores pendientes normales, y se usarán también para las oficinas de almacenamiento y el laboratorio.

$$\text{Área almacén} = \text{ancho} \cdot \text{largo} = 20\text{m} \cdot 18,5\text{m} = 370 \text{ m}^2$$

$$\text{N}^\circ \text{ rociadores en almacén} = \frac{\text{Área} \cdot \text{Densidad de flujo}}{Q_{\text{rociador}}} = \frac{370 \text{ m}^2 \cdot 13,5 \text{ (L/min)/m}^2}{185,5 \text{ L/min}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ rociadores en almacén} = 26,93$$

$$\text{Área por rociador} = \frac{\text{Área almacén}}{\text{N}^\circ \text{ rociadores en almacén}} = \frac{370 \text{ m}^2}{28} = 13,21 \text{ m}^2$$

Al total se le agregó otro rociador por cuestiones de simetría, llegando a 28 equipos.

Repitiendo el procedimiento para las oficinas del almacén, zona de 3m de ancho por 8m de largo, y para el laboratorio, al que se le cuentan 5m de ancho por 10m de largo, las áreas obtenidas fueron de 24m² y 50m², respectivamente. Con los mencionados rociadores y la densidad de 10 (L/min)/m², se llegó a que debe haber 2 en las oficinas (uno por cada una) y tres en el laboratorio. La superficie de trabajo de cada uno resulta en 12m² para los primeros y 16,67m² para los segundos, cumpliendo con los límites del proveedor.

Lo último es calcular la potencia necesaria para las bombas de cada sector. El valor debe compararse con los obtenidos para el sistema de hidrantes, de forma que el más exigente sea el definitivo. Nuevamente, se acude a la fórmula de Bernoulli.

$$\Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h = w$$

$$\text{Potencia} = w \cdot Q_{\text{vol}} \cdot \rho \cdot g$$

En este caso la altura es la de los techos, pero agregando 0,5m porque los caños van por el suelo. Queda 4m para el edificio de oficinas y 12m para el almacén (los edificios son de 3,5m y 11,5m, respectivamente).

Para calcular el caudal de agua en cada sector, se debe multiplicar la cantidad de rociadores por el flujo que logran. Para el caso del almacén solo se considera la mitad porque el sistema a instalar será tal que los equipos se activen separados en dos tandas. Esto permite reducir las exigencias de potencia que de lo contrario serían muy altas. Para no perjudicar la seguridad del recinto, se instruirá a los operadores de los toneles para que los carguen de manera que primero se vaya llenando los recipientes de una mitad de la sala y, recién cuando ésta esté completa, si es que se llega a eso, se empiece a cargar la otra mitad. Entonces, para un sector se cuentan 14 rociadores del almacén, 3 del laboratorio y 2 de las oficinas de almacenamiento, 19 en total. Para el otro, la cantidad se ve en la figura 5, pero hay que agregar uno más para el hall, que no se calculó pero se agregó porque lo único que habría que proteger es al recepcionista. Son 20 equipos (por supuesto que no abren todos al mismo tiempo, sino que lo hacen por zonas, pero se prefirió diseñar para estar cubiertos ante el peor episodio posible).

Así, los caudales quedan como sigue.

$$Q_{almacén} = Q_{rociador} \cdot N^{\circ}rociadores \cdot 1 \frac{kg}{L} \cdot 60 \frac{min}{h} = 185,5 \frac{L}{min} \cdot 19 \cdot 1 \frac{kg}{L} \cdot 60 \frac{min}{h}$$

$$Q_{almacén} = 178.320 \text{ kg/h}$$

$$Q_{oficinas} = Q_{rociador} \cdot N^{\circ}rociadores \cdot 1 \frac{kg}{L} \cdot 60 \frac{min}{h} = 75 \frac{L}{min} \cdot 20 \cdot 1 \frac{kg}{L} \cdot 60 \frac{min}{h}$$

$$Q_{almacén} = 90.000 \text{ kg/h}$$

Recordando que se eligió usar caños de 5,5" (0,1397 m) para el sector de operaciones y de 2,75" (0,06985 m) para el de oficinas, las velocidades quedan como sigue.

$$v_{almacén} = \frac{178.320 \frac{kg}{h}}{\pi \cdot (0,1397m)^2 \cdot 0,25} = 3,2316 \text{ m/s}$$

$$v_{oficinas} = \frac{90.000 \frac{kg}{h}}{\pi \cdot (0,06985m)^2 \cdot 0,25} = 6,5241 \text{ m/s}$$

La presión residual exigida por la NFPA-13 es de 20 PSI (137.895 Pa). Por lo tanto, las condiciones barométricas deben pasar de 101.325 Pa a 239.220 Pa en el rociador más lejano a la bomba.

Como se hizo antes, lo próximo es ver la pérdida de carga. Para ello falta conocer el coeficiente de fricción f , la longitud de cañerías y la pérdida por accesorios o secundaria.

La rugosidad relativa era de 0,00035 para los caños del almacén y 0,000625 para los de oficinas. El Reynolds es:

$$Re_{almacén} = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,2316 \text{ m/s} \cdot 0,1397m}{0,001 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}} = 451.452$$

$$Re_{oficinas} = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 6,5241 \text{ m/s} \cdot 0,06985m}{0,001 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}} = 405.705$$

Con estos datos, f vale 0,0168 para el almacén y 0,0185 para las oficinas.

La longitud de cañerías es calculada para el rociador más lejano, y es de 76,3m para el almacén y 58,5m para el de oficinas.

En cuanto a la pérdida de carga secundaria, los resultados se muestran en la figura 6.

Sector	Accesorio	Δh (m)	Cantidad	Δh total (m)
Oficinas	Codo 2,75"	5,2	6	75,2
	Válvula 2,75"	6	3	
	Empalme 2,75"	5,2	5	
Almacén	Codo 5,5"	10,5	5	141
	Válvula 5,5"	12	3	
	Empalme 5,5"	10,5	5	

Figura 6. Pérdida de carga secundaria para la red de rociadores.

Finalmente, puede proseguirse a los cálculos.

$$\Delta h_{almacén} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \delta} + \Delta h_{secundaria} = 0,0168 \cdot \frac{76,3 \text{ m}}{0,1397 \text{ m}} \cdot \frac{\left(3,2316 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 1000 \text{ kg/L}} + 141 \text{ m}$$

$$\Delta h_{almacén} = 144,75 \text{ m}$$

$$\Delta h_{oficinas} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \delta} + \Delta h_{secundaria} = 0,0185 \cdot \frac{58,5 \text{ m}}{0,06985 \text{ m}} \cdot \frac{\left(6,5241 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 1000 \text{ kg/L}} + 75,2 \text{ m}$$

$$\Delta h_{oficinas} = 119,08 \text{ m}$$

Por lo tanto, se obtiene la potencia de las bombas a instalar.

$$w_{almacén} = \Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h$$

$$w_{almacén} = 12 \text{ m} + \frac{\left(3,2316 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + \frac{239.220 \text{ Pa} - 101.325 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + 144,75 \text{ m}$$

$$w_{almacén} = 221,99 \text{ m}$$

$$Potencia_{almacén} = w_{almacén} \cdot Q_{vol} \cdot \rho \cdot g \cdot 0,00134102 \frac{\text{hp}}{\text{W}}$$

$$Potencia_{almacén} = 221,99 \text{ m} \cdot 178,32 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00134102 \frac{\text{hp}}{\text{W}}$$

$$Potencia_{almacén} = 144,51 \text{ hp}$$

Y para el sector de oficinas:

$$w_{oficinas} = \Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h$$

$$w_{oficinas} = 4 \text{ m} + \frac{\left(6,5241 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + \frac{239.220 \text{ Pa} - 101.325 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + 119,08 \text{ m}$$

$$w_{oficinas} = 345,71 \text{ m}$$

$$Potencia_{oficinas} = w_{oficinas} \cdot Q_{vol} \cdot \rho \cdot g \cdot 0,00134102 \frac{\text{hp}}{\text{W}}$$

$$Potencia_{oficinas} = 345,71 \text{ m} \cdot 90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,00134102 \frac{\text{hp}}{\text{W}}$$

$$Potencia_{oficinas} = 113,58 \text{ hp}$$

2.3. DISPOSICIONES FINALES

Como resumen, las exigencias para el sistema de bombeo de la red que trabaja en el sector de operaciones fueron de 122,31 hp para los hidrantes y bocas de incendio y de 144,51 hp para los rociadores. Por lo tanto, este valor es el que se toma. La bomba debe poder ofrecer por lo menos 144,51 hp.

Respecto al sistema para el sector de oficinas, 57,94 hp requieren las instalaciones de bocas de incendio y 113,58 hp los rociadores. Nuevamente, la bomba a instalar debe ofrecer por lo menos esta potencia.

Por norma, la planta debe tener instalada para cada red de incendios una bomba común, otra que esté preparada por si hay corte de suministro eléctrico (motobomba o con grupo electrógeno) y una tercera del tipo jockey, usada para mantener la presión en la línea.

Consultando al proveedor Motores y Bombas San Martín, se encontró el equipo que se muestra en la figura 7. Se conoce como modelo MYBSM-EQPCI, y cuenta con tres bombas: una principal, que opera desde 3,5 hp hasta 200 hp, otra auxiliar, a combustible, que trabaja en el mismo rango, y una jockey que va de 1 hp a 75 hp. Se ha decidido usar equipos como éste para el bombeo de agua a las redes, estando cubiertos hasta 200 hp en caso de que haya que realizar cambios.



Figura 7. Equipo de tres bombas que se plantea instalar.

Puede notarse en la figura 8 que los sistemas de bombeo de cada red se instalaron uno a cada lado del tanque de agua reservada para incendios. Ambos están acompañados por un tanque de combustible rodeado por su batea de seguridad para cubrir hasta un 110% del volumen (requisito de la ley).

El planteo final para la parte de operaciones se ve en las figuras 9 y 10 y 11. En ellas, los caños de agua de incendio llevan color celeste. Se han marcado en la figura 9 los hidrantes conectados a mangueras de 25m con círculos rojos y las bocas de incendio para bomberos, con amarillos, para visualizarlos mejor. Donde se ve un color naranja es porque hay ambos. Se buscó una disposición tal que las mangueras pudieran cubrir cada zona del terreno, y que además sean de fácil acceso.

Se debe tener en cuenta que se ha dejado un ancho de recorrido hasta cada boca de incendio tal que un camión de bomberos pueda llegar normalmente. Para ello, se tomaron como dimensiones del vehículo 2,5m de ancho y 7,76 de largo.

Las figuras 10 y 11 muestran las redes de hidrantes en almacén, laboratorio y oficinas de almacenamiento. Algunos caños no llegan a visualizarse simplemente por la superposición con las líneas de las paredes.

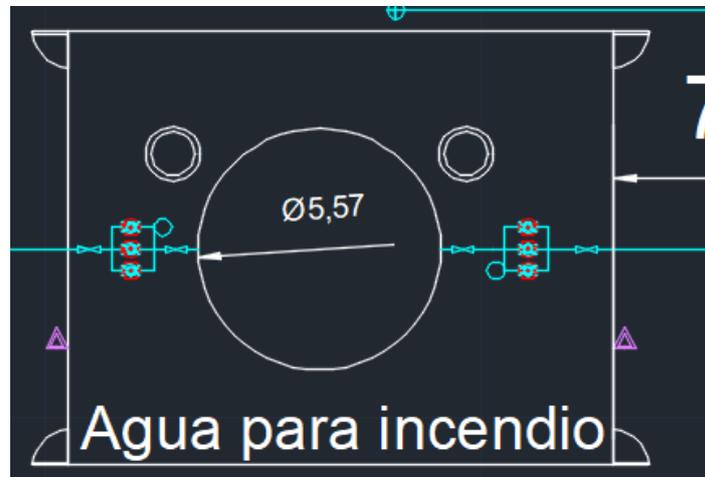


Figura 8. Tanque de agua y sistemas de bombeo en el layout de planta.

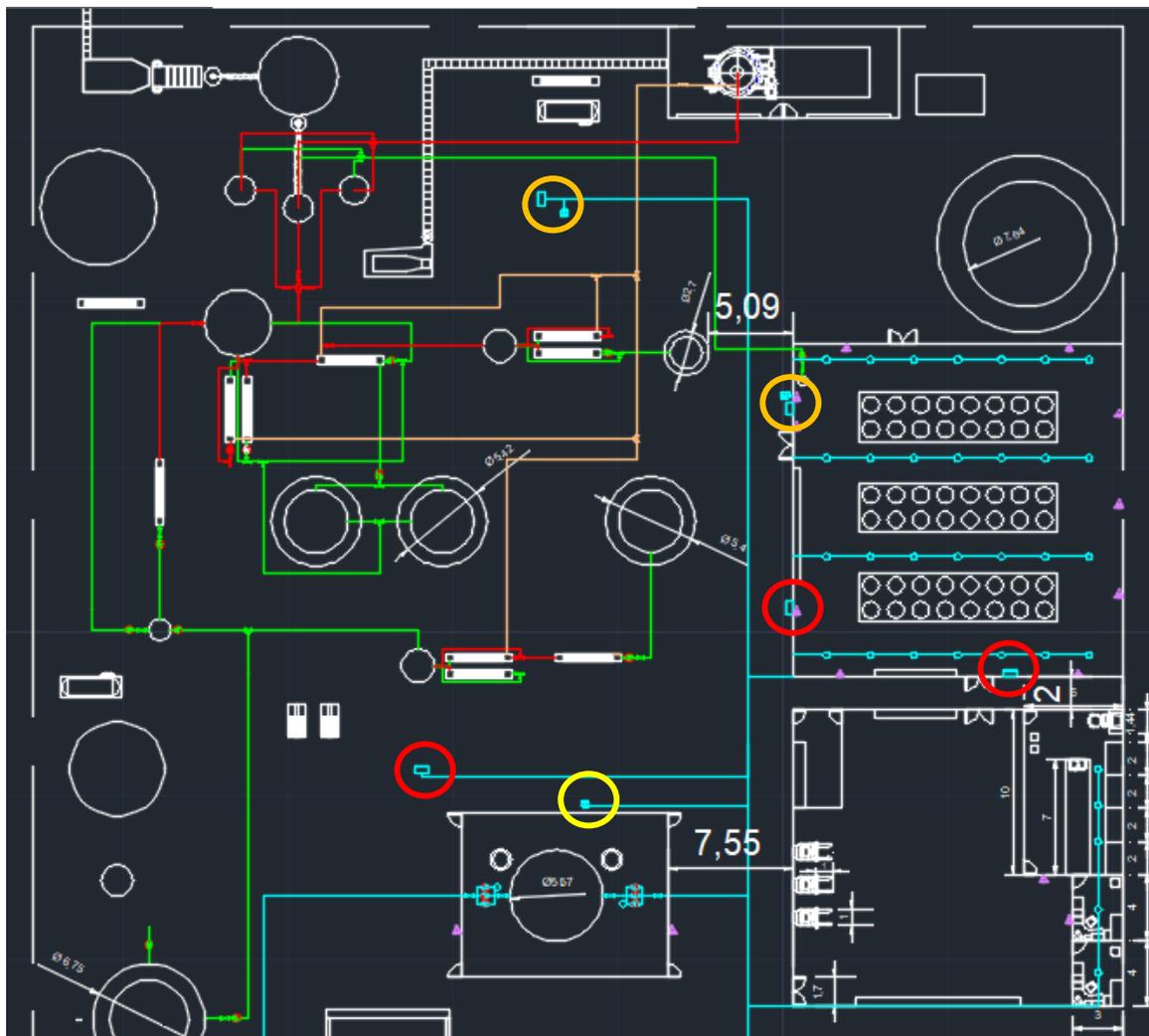


Figura 9. Red de incendios en el sector operativo.

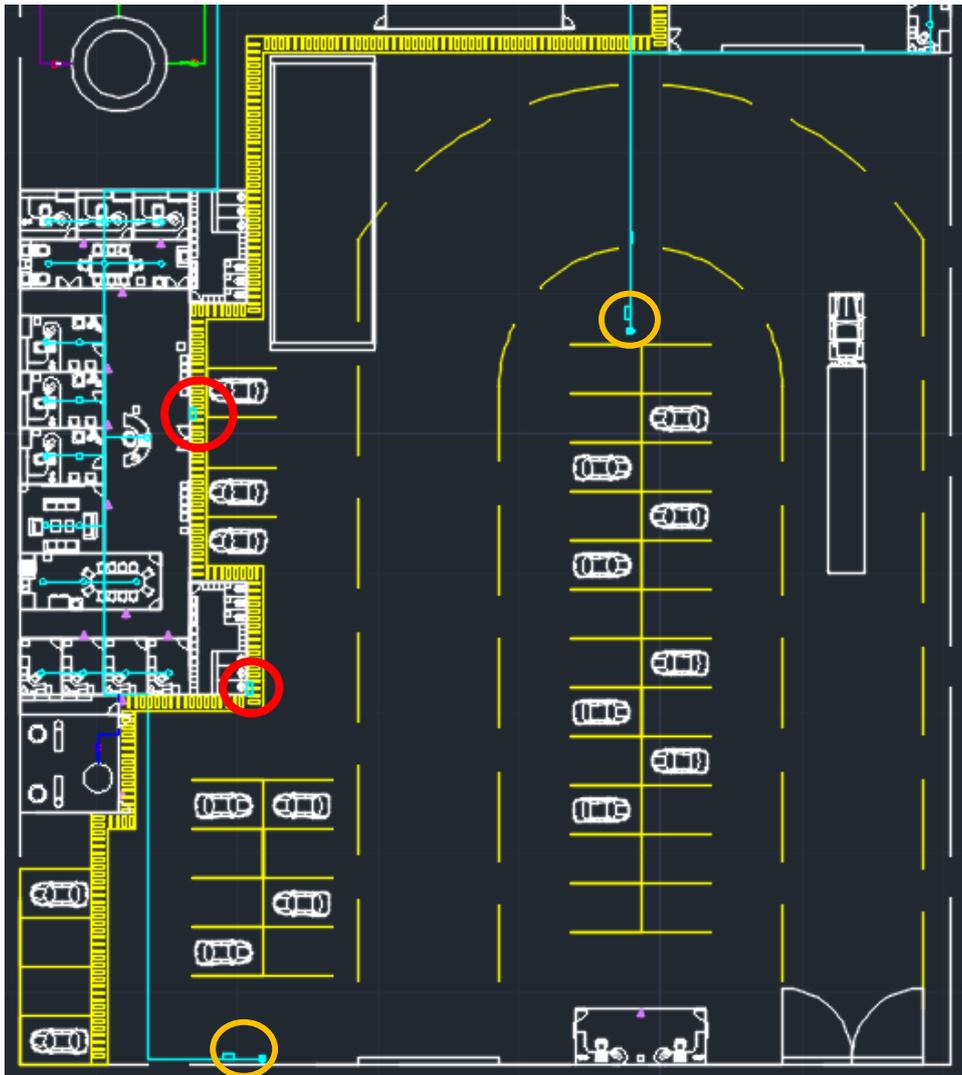


Figura 12. Red de incendios en el sector de oficinas y estacionamiento.

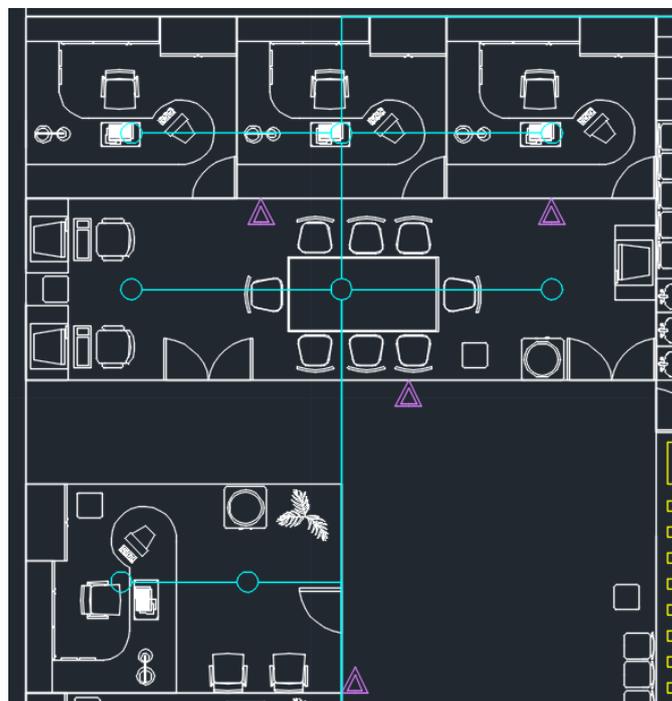


Figura 13. Rociadores en el sector de empleados de operaciones.

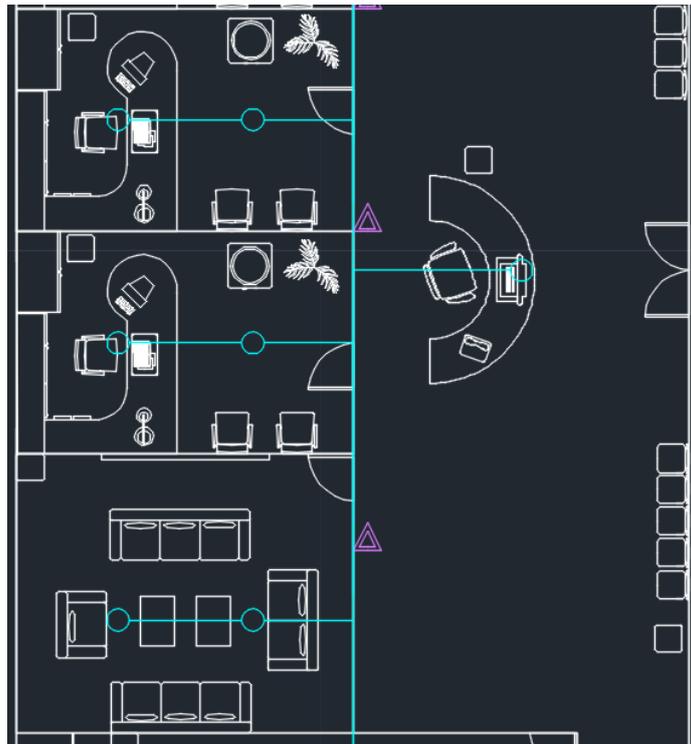


Figura 14. Rociadores en hall principal, oficinas de jefes y salas de juntas.

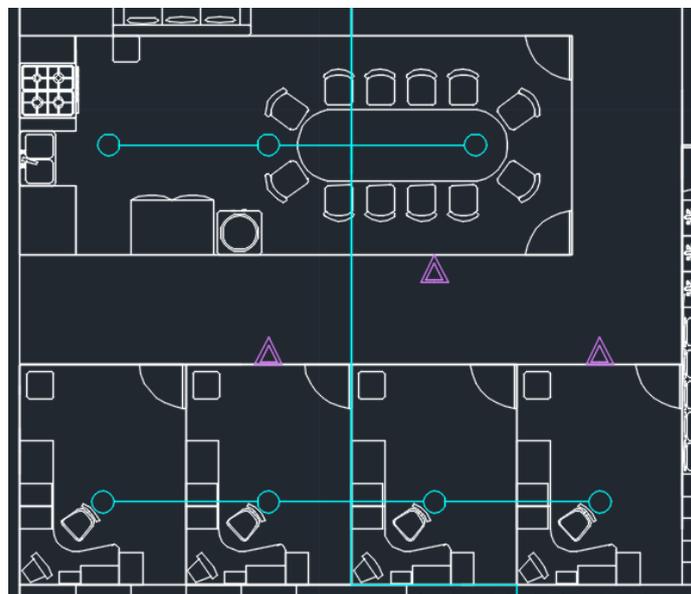


Figura 15. Rociadores en comedor y oficinas de administrativos.

En estas imágenes se han podido observar triángulos violáceos en distintos lugares de la planta. Esos son los matafuegos, y su diseño se describe a continuación.

3. INSTALACIÓN DE MATAFUEGOS

La norma utilizada para este diseño es el Decreto 351/79, que reglamenta la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo (Ley 19587). Las categorías marcadas por esta normativa en su anexo VII permiten clasificar los materiales presentes según su comportamiento ante el calor u otras formas de energía. Así, el metanol es un inflamable de 1º categoría y el furfural es de 2º, de acuerdo a las características de su punto de inflamación (por debajo de 41°C entra en la primera, por encima en la segunda). Mientras tanto, los artículos de oficina como tejidos de algodón o madera son materiales

“muy combustibles”. Existen otros artículos considerables como simplemente “combustibles” (plástico, por ejemplo), pero no hay mucha masa de ellos en las oficinas, así que se los incluirá en la categoría anterior para simplificar los cálculos y sobredimensionar, aportando un mayor margen de error.

El procedimiento para saber la cantidad de matafuegos a colocar a lo largo de la planta consiste en calcular la carga de fuego de cada lugar y entrar en las tablas de exigencias del decreto 351/79 para ver cuántos equipos corresponden.

Calcular la carga de fuego es estimar la masa de cada material peligroso presente en una zona y multiplicarlo por su poder calorífico. Al total se lo divide por el área del sector estudiado y después por el poder calorífico de la madera. Entonces, con esta unidad final, de kg de madera/m², se entra en las tablas que se ven en las figuras 16 y 17.

CARGA DE FUEGO	RIESGO				
	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4	Riesgo 5
	Explos.	Inflam.	Muy Comb.	Comb.	Poco comb.
hasta 15Kg/m ²	—	—	1 A	1 A	1 A
16 a 30 Kg/m ²	—	—	2 A	1 A	1 A
31 a 60 Kg/m ²	—	—	3 A	2 A	1 A
61 a 100 Kg/m ²	—	—	6 A	4 A	3 A
> 100 Kg/m ²	A determinar en cada caso.				

Figura 16. Tabla de potencial extintor mínimo para matafuegos clase A.

CARGA DE FUEGO	RIESGO				
	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4	Riesgo 5
	Explos.	Inflam.	Muy Comb.	Comb.	Poco comb.
hasta 15Kg/m ²	—	6 B	4 B	—	—
16 a 30 Kg/m ²	—	8 B	6 B	—	—
31 a 60 Kg/m ²	—	10 B	8 B	—	—
61 a 100 Kg/m ²	—	20 B	10 B	—	—
> 100 Kg/m ²	A determinar en cada caso.				

Figura 17. Tabla de potencial extintor mínimo para matafuegos clase B.

Existen tres tipos principales de incendio: A, B y C. El primero se relaciona con combustibles sólidos, como la madera. El segundo, con combustión de líquidos inflamables, como el metanol. Y el tercero con instalaciones eléctricas como las que se tienen con una computadora. En las oficinas sería lo más común encontrar A o C. Para no complicar la selección de matafuegos, se ha decidido instalar equipos de “agente limpio”. Estos son de clase ABC, es decir, aplican a los tres tipos de fuego. Además, se supone que su uso no arruina completamente los sistemas electrónicos. En la zona del almacén, en cambio, se usarán extintores de polvo químico, más eficientes para sofocar los incendios provocados por fluidos inflamables, aunque también son clase ABC. Por su carácter corrosivo para la piel, se los ha reservado sólo para esta parte.

La simbología aceptada para los equipos de agente limpio es la de un triángulo dentro de otro, como se ve en la figura 18. Para los de polvo químico se usa un cuadrado dentro de un rectángulo, como en la figura 19.



Figura 18. Símbolo del matafuego de agente limpio.

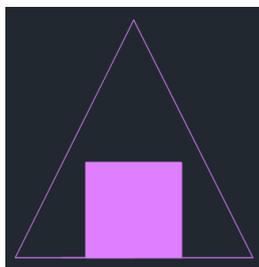


Figura 19. Símbolo del matafuego de polvo químico.

Ahora sí, se debe calcular la carga de fuego. El desarrollo se explicará por secciones, pero antes vale la pena mencionar algunos elementos comunes en varios recintos.

Primero, a partir de consultas a sitios de proveedores en internet, se ha llegado a una serie de valores de masas de materiales. Las puertas de madera instaladas se considera que pesan 12kg cada una. Los escritorios para computadora, 9,6kg y la mitad para las mesas ratonas de la sala de juntas. Las sillas de madera, 9 kg. Las sillas de oficina se toman como 9kg de plástico. Otro material de plástico son los dispenser de agua, estimados en 8kg. Para el papel, la referencia a tomar serán los 0,88kg que pesa un libro promedio.

En cuanto a sofás y computadoras, se ha encontrado en bibliografía el total en energía que representan, para evitar estimaciones sobre todos sus materiales. El valor para una computadora es de 10 Mcal, mientras que para sofá de tres asientos es de 200Mcal.

Otro elemento son las mesas de los escritorios. Si la densidad de la madera es de 400 kg/m³, para una mesa de 4m por 1m de ancho y 10 cm de espesor, sostenida por dos placas de madera de 1,25m de alto, 80cm de ancho y cinco centímetros de espesor, puede calcularse su masa:

$$m = 400 \frac{kg}{m^3} \cdot (4m \cdot 1m \cdot 0,01m + (1,25m \cdot 0,80m \cdot 0,05m) \cdot 2) = 56 kg$$

En cuanto a los closets para guardar elementos, se calculó como dos planchas horizontales de madera de 1m de ancho, 1,25m de alto y 2cm de espesor y otras verticales de 1m de alto, 0,5m de ancho y 2cm de espesor. La masa es:

$$m = 400 \frac{kg}{m^3} \cdot (2 \cdot (1,25m \cdot 1m \cdot 0,02m) + (0,5m \cdot 1m \cdot 0,02m) \cdot 2) = 3,92 kg$$

Los poderes caloríficos a usar son 4400 kcal/kg para la madera, 7834 kcal/kg para el plástico, y 3620 kcal/kg el papel.

3.1. OFICINAS ADMINISTRATIVAS Y COMEDOR

En esta primera parte del edificio de oficinas se tiene cuatro de 3m por 4m y el comedor de 10m por 4m. La superficie sería de 12m² para cada una de las primeras y 40m² para el segundo.

Cada oficina tiene una puerta y una mesa de madera de las calculadas, por lo que son $12\text{kg} + 56\text{kg} = 68\text{kg}$ del material. En cuanto al plástico, se tiene una silla, de 9kg , y se estima 1kg en útiles para el uso cotidiano. Para el papel se considera que puede haber material equivalente a 15 libros. Así, serían $15 \cdot 0,88\text{kg} = 13,2\text{kg}$. Además, todas tienen una computadora.

$$\text{Energía} = 68\text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 10\text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 13,2\text{kg}_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 10.000 \text{ kcal}_{\text{por computadora}}$$

$$\text{Energía} = 435.324 \text{ kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{435.324 \text{ kcal}}{12 \text{ m}^2} = 36.277 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{36.277\text{kcal}/\text{m}^2}{4400 \text{ kcal}/\text{kg madera}} \cdot 4 \text{ oficinas} = 32,98 \text{ kg madera}/\text{m}^2$$

Para el comedor, lo que se contabiliza es 5kg de plástico en materiales y 8kg por el dispenser, llegando a 13kg . De madera se tienen dos puertas de 12kg , 12 sillas de 9kg y una mesa de 4m de madera maciza. Consultando un proveedor, se llegó al valor de 69kg . Entonces, $69\text{kg} + 12 \cdot 9\text{kg} + 2 \cdot 12\text{kg} = 201\text{kg}$ de madera. Por último, se estimó, para cubrir cualquier posibilidad, la presencia de hasta 1kg de papel.

$$\text{Energía} = 201\text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 13\text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 1\text{kg}_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{Energía} = 989.652 \text{ kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{989.652 \text{ kcal}}{40 \text{ m}^2} = 24.741 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{24.741\text{kcal}/\text{m}^2}{4400 \text{ kcal}/\text{kg madera}} = 5,62 \text{ kg madera}/\text{m}^2$$

Sumando los dos recintos se llega a $38,60 \text{ kg}/\text{m}^2$. Entrando a la tabla de la figura 16, sabiendo que son materiales “muy combustibles”, se llega a un requisito de 3 matafuegos. La disposición de los mismos se observa en la figura 15, antes mostrada.

3.2. SALA DE REUNIONES

El lugar mide 6m de ancho por 5m de largo, llegando a 30m^2 .

Recordando, para el sofá se tiene directamente el valor de 200Mcal . Como esto vale para uno de tres asientos, para el de dos se usan dos tercios del valor y para el de un asiento, un tercio (se triplica el valor del grande). El contenido de papel es de hasta un libro ($0,88\text{kg}$), de plástico, 1kg por útiles, y de madera una puerta, dos mesas ratonas ($12\text{kg} + 2 \cdot 4,8\text{kg} = 21,6\text{kg}$), y la pizarra. Ésta tiene 4cm de espesor, y mide 2m por 3m . Con la densidad del material, el peso es de 96kg , llegando a $117,6\text{kg}$.

$$\text{Energía} = 117,6\text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 1\text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 0,88\text{kg}_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 3 \cdot 200.000 \text{ kcal}_{\text{sillón}}$$

$$\text{Energía} = 1.128.460 \text{ kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{1.128.460 \text{ kcal}}{30 \text{ m}^2} = 37.615 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{37.615 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} = 8,55 \text{ kg madera/m}^2$$

Según las exigencias, basta con el extintor que se ve en la figura 14.

3.3. OFICINAS DE JEFES

El lugar tiene seis metros de ancho por cuatro de largo, llegando a 24m².

De madera hay una puerta de 12kg, una de las mesas de 56kg, tres closets chicos de 3,92kg y un closet grande que, según un proveedor, pesa unos 57kg. El total es de 136,8kg. De plástico hay un dispenser de 8kg, 1kg de útiles y tres sillas de 9kg, alcanzando los 36kg. En cuanto al papel, se toma como un total de hasta 15 libras (15·0,88kg = 13,2kg). También se debe sumar la energía de la computadora.

$$\begin{aligned} \text{Energía} &= 136,8 \text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 36 \text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 13,2 \text{kg}_{\text{papel}} \\ &\cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 10.000 \text{ kcal}_{\text{por computadora}} = 941.552 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{941.552 \text{ kcal}}{24 \text{ m}^2} = 39.231 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{39.231 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} \cdot 3 \text{ oficinas} = 26,75 \text{ kg madera/m}^2$$

Los dos matafuegos necesarios se ven en las figuras 13 y 14.

3.4. SECTOR OPERACIONES

Esta sección puede dividirse en dos: las oficinas y el sector libre. Las primeras miden 4m por 3,5m cada una (14m²). De madera tiene cada una tres closets chicos de 3,92kg, una mesa de 56kg y una puerta de 12kg. Esto marca 79,8kg. De plástico hay 1kg en útiles y 9kg por el asiento. Se estimó papel hasta 15 libras (15·0,88kg = 13,2kg). Y en cada oficina hay una computadora.

$$\begin{aligned} \text{Energía} &= 79,8 \text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 10 \text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 13,2 \text{kg}_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\ &+ 10.000 \text{ kcal}_{\text{por computadora}} \end{aligned}$$

$$\text{Energía} = 487.068 \text{ kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{487.068 \text{ kcal}}{14 \text{ m}^2} = 34.791 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{34.791 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} \cdot 3 \text{ oficinas} = 23,72 \text{ kg madera/m}^2$$

El sector libre mide 12m por 3,5m, llegando a 42m². Como se ve en la figura 13, tiene cuatro puertas de 12kg, tres escritorios de computadora de 9,6kg y una mesa de cerca de 3m, que, por datos de proveedor, pesa unos 54,48kg. Se llegan a 131,3kg de madera. De plástico se cuenta 1kg en útiles, diez asientos de 9kg y un dispenser de 8kg. Son 99kg del material. Por último, se estima que puede haber papel equivalente a hasta

cuatro libros. $4 \cdot 0,88\text{kg} = 3,52\text{kg}$. Se tienen dos computadoras en el recinto y una televisión, que se contabilizará como el 80% de una (refiriendo al monitor).

$$\begin{aligned} \text{Energía} = & 131,3\text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 99\text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 3,52\text{kg}_{\text{papel}} \\ & \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 2 \cdot 10.000 \text{kcal}_{\text{por computadora}} + 0,8 \cdot 10.000 \text{kcal}_{\text{de televisión}} \end{aligned}$$

$$\text{Energía} = 1.393.924 \text{kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{1.393.924 \text{kcal}}{42 \text{m}^2} = 33.189 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{33.189 \text{kcal/m}^2}{4400 \text{kcal/kg madera}} = 7,54 \text{kg madera/m}^2$$

Para las oficinas se requieren dos matafuegos, y otro para el sector libre. Por eso, se ha decidido instalarlos de la manera que se ha mostrado en la figura 13.

Todos estos matafuegos del edificio de oficinas cumplen con la restricción del decreto 351/79 que indica que no pueden estar más alejados que un recorrido de 20 metros entre sí.

3.5. LABORATORIO Y OFICINAS ALMACENAMIENTO

El laboratorio es un sector de 6m de ancho por 10m de largo. Es decir, de 60m^2 . Como los muebles de madera que tiene son distintos a los de otras oficinas, hay que calcularlos aparte.

Primero, se tiene la mesa principal, de 7m de largo y 1m de ancho. Se estima su espesor en 5cm, por lo que, con la densidad de 400kg/m^3 de la madera, se tiene:

$$m = 7\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 0,05\text{m} \cdot 400 \text{kg/m}^3 = 140\text{kg}$$

Otros muebles son los pequeños armarios de laboratorio, donde se guardan drogas e instrumentos. Se calcularon como dos planchas verticales de 1m de alto, 1m de ancho y 2cm de espesor y dos horizontales de 2m de largo, 1m de ancho y 2cm de espesor.

$$m = 400 \text{kg/m}^3 \cdot (2 \cdot (1\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 0,02\text{m}) + 2 \cdot (2\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 0,02\text{m})) = 6,72\text{kg}$$

Entonces, se sumó la masa de la mesa a cuatro de estos armarios, una mesa de computadora de 9,6kg y dos puertas de 12kg. El total es de 200,5kg. De plástico se contaron 5kg por útiles. En papel se estimó una equivalencia de hasta un libro de masa (0,88kg). Y además hay una computadora presente, que debe sumarse.

Pero para esta zona ya hay que contar un nuevo factor: los inflamables. Para contabilizarlos se usó el poder calorífico inferior del metanol, que es el que más energía libera entre los líquidos combustibles que se trabajan. Así, se estaría cubriendo los peores escenarios. El valor es de 5692kcal/kg . Se estimó la presencia de hasta 20L del fluido en el recinto. Con una densidad de $0,79 \text{kg/L}$, se tiene 15,8kg.

$$\begin{aligned} \text{Energía} = & 200,5\text{kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 5\text{kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 0,88\text{kg}_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\ & + 10.000 \text{kcal}_{\text{por computadora}} + 15,8\text{kg}_{\text{metanol}} \cdot 5692 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\text{Energía} = 1.024.401 \text{kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{1.024.401 \text{ kcal}}{60 \text{ m}^2} = 17.073 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{17.073 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} = 3,88 \text{ kg madera/m}^2$$

Las oficinas de almacenamiento son contiguas y se analizarán al mismo tiempo que el laboratorio. Cada una tiene 3m de ancho por 4m de largo, por lo que son 12m².

Se tiene una computadora, un asiento de 9kg y 1kg de útiles de plástico (10kg del material), se estima contenido de hasta 15 libras de papel (15·0,88kg = 13,2kg). De madera se tiene una mesa de oficina de las de 56kg y una puerta de 12kg, llegando a 68kg. No debería haber líquidos inflamables presentes.

$$\begin{aligned} \text{Energía} &= 68 \text{ kg}_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 10 \text{ kg}_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 13,2 \text{ kg}_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\ &+ 10.000 \text{ kcal}_{\text{por computadora}} = 435.324 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{435.324 \text{ kcal}}{12 \text{ m}^2} = 36.277 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{36.277 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} \cdot 2 \text{ oficinas} = 16,49 \text{ kg madera/m}^2$$

Sumando las cargas de ambos recintos se llega a 20,37 kg/m², lo que, entrando a las tablas, significa la necesidad de dos matafuegos. Éstos ya se han mostrado en la figura 11, antes mencionada.

3.6. ALMACÉN

Este sector es el más peligroso por la cantidad de líquidos inflamables que se puede esperar que contenga. Sin embargo, éstos son los únicos peligrosos en el recinto, ya que se desestima la posibilidad de encontrar madera, plástico o papel presentes.

El almacén tiene 18,5m de largo por 20m de ancho, siendo un área de 370m². Como se mencionó en otros capítulos, hay unos 96 toneles de 178,36L cada uno. Eso marca un total de 17.122L. Sabiendo que la densidad del metanol es de 0,79kg/L, y considerando que todos los toneles pueden estar llenos de producto, puede calcularse la carga.

$$\text{Energía} = 17.122 \text{ L} \cdot 0,79 \frac{\text{kg}_{\text{metanol}}}{\text{L}} \cdot 5692 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 76.992.155 \text{ kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{76.992.155 \text{ kcal}}{370 \text{ m}^2} = 208.087 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{208.087 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} = 47,29 \text{ kg madera/m}^2$$

Entrando a la tabla de la figura 17 se ve que se necesitan 10 extintores. Éstos se ven en la figura 9, pero para tener una mejor perspectiva, se incluye a continuación la figura 20.

Debe tenerse en cuenta que en este caso se trata de matafuegos de polvo químico, no de agente limpio como se venían usando.

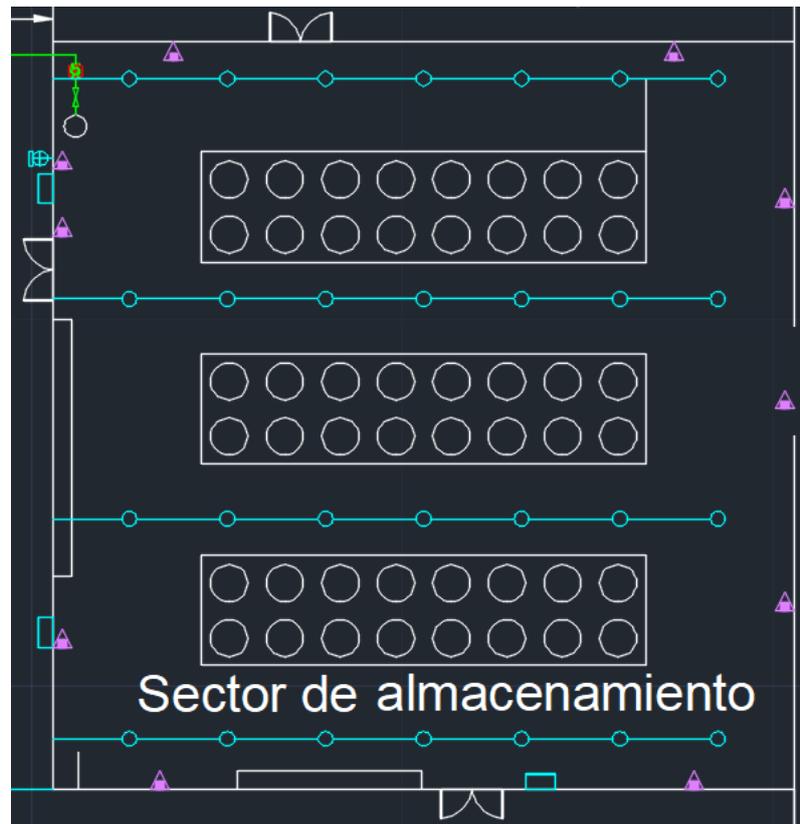


Figura 20. Instalación de matafuegos en el almacén

3.7. VIGILANCIA

Éstas oficinas se ubican en el extremo sur del terreno, resguardando la entrada y salida de vehículos y personas. Cuenta con 9m de ancho y 4m de largo, 36m² en total.

De madera tiene dos puertas de 12kg y dos mesas de 56kg, llegando a los 136kg. De plástico hay dos asientos de 9kg y hasta dos kg en útiles (20kg totales). Y de papel se cuenta masa equivalente a hasta 10 libras (10·0,88kg = 8,8kg). Por último, hay dos computadoras.

$$\begin{aligned} \text{Energía} &= 136kg_{\text{madera}} \cdot 4400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 20kg_{\text{plástico}} \cdot 7834 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 8,8kg_{\text{papel}} \cdot 3620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\ &\quad + 2 \cdot 10.000 \text{ kcal}_{\text{por computadora}} \end{aligned}$$

$$\text{Energía} = 806.936 \text{ kcal}$$

$$\text{Energía por área} = \frac{806.936 \text{ kcal}}{36 \text{ m}^2} = 22.415 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de fuego} = \frac{22.415 \text{ kcal/m}^2}{4400 \text{ kcal/kg madera}} = 5,09 \text{ kg madera/m}^2$$

Como se ve en la figura 21, con un extintor de agente limpio es suficiente.

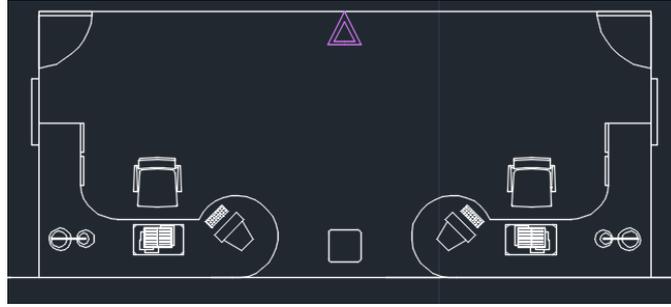


Figura 21. Instalación de matafuegos para las oficinas de vigilancia.

Para el sector de tableros electrónicos y para el de grupos electrógenos también se ha instalado un extintor de agente limpio en cada caso.

4. BATEAS DE SEGURIDAD

Como los tanques de almacenamiento pueden tener pérdidas por fugas o algún otro desperfecto, es necesario instalar, rodeando a cada uno, un anillo que impida el escape de fluidos. Dicho accesorio se conoce como batea de contención, y para esta planta se instalará en los tanques de almacenamiento de agua, soda cáustica, metanol, furfural, y en los tanques pulmón de mezcla de metanol, etanol y agua.

En todos los casos se buscará cubrir hasta un 75% del volumen del tanque principal, y todas las bateas se conectarán a una bomba, para llevar su contenido al circuito de tratamiento de efluentes.

Es necesario considerar que esto aplica a que exista un agregado del 75% de volumen de fluidos: si solo se vaciara el tanque, el líquido contenido no podría subir en la batea hasta una altura mayor que la que tenga en el recipiente, porque están en equilibrio, pero sí podría llenarse este 75% si el tanque lleno sigue recibiendo fluidos pero tiene pérdidas que carguen la batea.

$$V_{batea} = 75\% \cdot V_{tanque}$$

$$h_{batea} = 75\% \cdot h_{tanque}$$

$$\text{Área batea} = \frac{V}{h}$$

$$\text{Área batea} = D_{batea}^2 \cdot \frac{\pi}{4} - D_{tanque}^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$D_{batea} = \sqrt{\frac{\text{Área batea} + D_{tanque}^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}}$$

El tanque de agua tiene un volumen de 442m³, 7,64m de diámetro y 9,64m de alto. Se busca cubrir un 75%, por lo que se usará una altura de batea de hasta tres cuartos de la del tanque.

$$V_{batea} = 75\% \cdot 442m^3 = 331,53m^3$$

$$h_{batea} = 75\% \cdot 9,64m = 7,23m$$

$$\text{Área batea} = \frac{331,53m^3}{7,23m} = 45,84m^2$$

$$D_{batea} = \sqrt{\frac{\text{Área batea} + D_{tanque}^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = \sqrt{\frac{45,84m^2 + (7,64m)^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = 10,80m$$

El tanque de soda cáustica es de 6,685m de diámetro y 7,00m de alto. Su volumen es de 246,90m³.

$$V_{batea} = 75\% \cdot 246,90m^3 = 185,18m^3$$

$$h_{batea} = 75\% \cdot 7,00m = 5,25m$$

$$\text{Área batea} = \frac{185,18m^3}{5,25m} = 35,27m^2$$

$$D_{batea} = \sqrt{\frac{\text{Área batea} + D_{tanque}^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = \sqrt{\frac{35,27m^2 + (6,69m)^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = 9,47m$$

Sigue el contenedor de metanol, de 4,044m³, logrados por 1,91m de diámetro y 1,41m de alto.

$$V_{batea} = 75\% \cdot 4,044m^3 = 3,03m^3$$

$$h_{batea} = 75\% \cdot 1,41m = 1,06m$$

$$\text{Área batea} = \frac{3,03m^3}{1,06m} = 2,86m^2$$

$$D_{batea} = \sqrt{\frac{\text{Área batea} + D_{tanque}^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = \sqrt{\frac{2,86m^2 + (1,91m)^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = 2,70m$$

El tanque de furfural tiene un diámetro de 3,82m y un alto de 3,99m, llegando a 45,74m³.

$$V_{batea} = 75\% \cdot 45,74m^3 = 34,31m^3$$

$$h_{batea} = 75\% \cdot 3,99m = 2,99m$$

$$\text{Área batea} = \frac{34,31m^3}{2,99m} = 11,46m^2$$

$$D_{batea} = \sqrt{\frac{\text{Área batea} + D_{tanque}^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = \sqrt{\frac{11,46m^2 + (3,82m)^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = 5,40m$$

Por último están los dos tanques pulmón. Cada uno tiene 3,82m de diámetro, 6,25m de alto y 72,62m³ de volumen.

$$V_{batea} = 75\% \cdot 72,62m^3 = 54,47m^3$$

$$h_{batea} = 75\% \cdot 6,25m = 4,69m$$

$$\text{Área batea} = \frac{54,47m^3}{4,69m} = 11,62m^2$$

$$D_{batea} = \sqrt{\frac{\text{Área batea} + D_{tanque}^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = \sqrt{\frac{11,62m^2 + (3,82m)^2 \cdot \pi \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,25}} = 5,42m$$

Las imágenes finales de los tanques con sus bateas no se incluirán en especial porque ya se han mostrado a lo largo del desarrollo de este capítulo y el anterior, de layout de planta.

5. ILUMINACIÓN

El factor que se describe en esta parte tiene más que ver con cuestiones de salud a largo plazo. Trabajar con una iluminación deficiente puede ser perjudicial para la vista de los empleados, y por eso están detalladas en el decreto 351/79 las condiciones lumínicas necesarias para realizar cada tarea. Se trata de un requisito de higiene más que de seguridad, porque los perjuicios que puede traer tardan mucho tiempo en presentarse, a diferencia de los accidentes, cuyo efecto es instantáneo o muy pronto.

Al diseñarse un sistema de iluminación, lo que se calcula es el flujo lumínico. Éste indica toda la radiación que emite una fuente lumínica en todas direcciones, y su unidad es el lumen (lm). Pero los requisitos legales se expresan como iluminancias: flujo lumínico sobre un área específica. Su unidad es el lux, lumen/m². Se calcula como sigue.

$$\Phi = \frac{E \cdot S}{fm \cdot \eta}$$

Donde Φ es el flujo lumínico, E la iluminancia exigida y S la superficie en que aplica. Los factores fm y η son el de mantenimiento y de utilización. Ambos salen de tablas.

Con esto se ve el flujo total necesario, y la cantidad de luminarias a instalar se obtiene con la razón entre el valor obtenido y el flujo que cada lámpara otorga:

$$N^{\circ} \text{ luminarias} = \frac{\Phi \text{ total}}{\Phi \text{ por lámpara} \cdot N^{\circ} \text{ lámparas por luminaria}}$$

Las exigencias del decreto 351/79 se ven en la figura 22. Son genéricos según el trabajo que se realice y el tipo de empresa.

Lugar	E (lux)
Baño	200
Cocina	200
Hall oficina	200
Oficinas	500
Of. Control	750
Sala juntas	300
Pasillos	200
Circ. Planta	100
Laboratorio	600
Depósito	300

Figura 22. Requisitos de iluminación según el decreto 351/79.

Para cada uno de los sectores de la planta se debió calcular su superficie y obtener los factores mencionados. Para el de mantenimiento o depreciación (fm) se debe ver cuán sucio es cada lugar, la frecuencia con que se limpia y el tipo de iluminación. Para este último se consideró semi directa en caso de oficinas y campo. No es tan eficiente como una iluminación directa, pero da menos contraste y eso es más saludable. El factor se obtuvo de la tabla de la figura 23. En ella se ven las categorías de iluminación y dos cuadros principales, 1 y 2, dependiendo de la frecuencia de limpieza. Se usó 1 para oficinas y 2 para otros recintos o la intemperie. También hay cuatro letras: P por pure,

muy limpio, C por clean, limpio, N por normal y D por dirty, sucio. Para oficinas se consideró C, salvo el comedor que es N. Como se limpia con frecuencia, y la iluminación es “open-top”, el factor vale 0,9 para todas y 0,86 para comedor.

Cleaning frequency (a)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Environmental conditions								
A Open luminaires	0.96	0.93	0.89	0.83	0.93	0.89	0.84	0.78
B Open-top reflectors	0.96	0.90	0.86	0.83	0.89	0.84	0.80	0.75
C Closed-top reflectors	0.94	0.89	0.81	0.72	0.88	0.80	0.69	0.59
D Closed reflectors	0.94	0.88	0.82	0.77	0.89	0.83	0.77	0.71
E Dustproof luminaires	0.98	0.94	0.90	0.86	0.95	0.91	0.86	0.81
F Luminaires with indirect emission	0.91	0.86	0.81	0.74	0.86	0.77	0.66	0.57

Figura 23. Valores del factor de mantenimiento.

El siguiente factor es el de utilización, η. Éste se obtiene de la tabla de la figura 24. Para sacarlo, se debe ver la reflexión en paredes y techo y el índice del local, k. Como la iluminación es semi directa, k se calcula con la fórmula que sigue.

$$k = \frac{\text{largo} \cdot \text{ancho}}{\text{altura} \cdot (\text{largo} + \text{ancho})}$$

La altura refiere a la distancia vertical entre las luminarias y el plano de trabajo. El edificio de oficinas tiene una altura de 3,5m y se considera que las lámparas están unos 30cm por debajo del techo. Como un plano de trabajo puede estimarse a una altura de 1,25m del piso, el valor a usar para k sería de 3,5m-0,3m-1,25m = 1,95m. Para el laboratorio solo cambia este valor, porque se estima plano de trabajo en 1,5m.

Para cuando k fue menor que 1, se ha decidido usar el η correspondiente a ese valor.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Figura 24. Valores del factor de utilización.

Ya teniendo todo definido, queda marcar que para las oficinas se usarán lámparas OSRAM modelo HO XT 80W/840. Son tubos incandescentes de 7000lm cada uno. Se instalarán algunas luminarias con dos y otras con tres de ellos, aunque se calcularon solo con dos para simplificar la explicación.

Los cálculos se resumen en la tabla de la figura 25. En ella se nota también el sector de tableros eléctricos, que se diferencia en que su factor de mantenimiento es de 0,8, porque su limpieza no se espera que sea tan frecuente.

Notar que si el número de luminarias es decimal se redondea al entero superior próximo.

Lugar	E (Lux)	Ancho	Largo	Área	Altura	Factor dep.	Índice k	Fact. Utiliz.	Flujo total (lm)	Lumin. Nec.
Oficinas admin.	500	3	4	12	1,95	0,9	0,88	0,28	23.810	1,70
Comedor	200	10	4	40	1,95	0,86	1,47	0,38	24.352	1,74
Sala de juntas	300	6	5	30	1,95	0,9	1,40	0,37	27.027	1,93
Oficinas de jefes	500	6	4	24	1,95	0,9	1,23	0,32	41.797	2,99
Oficinas operac.	750	4	3,5	14	1,95	0,9	0,96	0,28	41.667	2,98
Sector libre op.	300	12	3,5	42	1,95	0,9	1,39	0,36	38.462	2,75
Hall	200	6	17	102	1,95	0,9	2,27	0,49	46.259	3,30
Pasillos laterales	200	12	2	24	1,95	0,9	0,88	0,28	19.048	1,36
Pasillo chico	200	2	4	8	1,95	0,9	0,68	0,28	6.349	0,45
Baños	200	4	8	32	1,95	0,9	1,37	0,36	19.753	1,41
Vigilancia	500	9	4	36	1,95	0,9	1,42	0,37	53.476	3,82
Oficinas almacén	500	3	4	12	1,95	0,9	0,88	0,28	23.810	1,70
Laboratorio	600	5	10	50	1,7	0,9	1,96	0,44	75.075	5,36
Sala tableros	200	7	1,5	10,5	1,95	0,8	0,63	0,28	9.375	0,67

Figura 25. Diseños de luminarias para los sectores de oficinas.

En esta tabla no se han incluido cuatro recintos que requieren atención especial: el almacén, la zona previa al mismo, la sala de calderas, de grupos electrógenos y de agua para incendios. Sus diseños se ven en la figura 26.

Éstos comparten la necesidad de instalar luminarias anti explosivas, requisito por ley para los lugares donde se almacenan combustibles. Además, sus techos y paredes no son blancos como en el edificio anterior, así que se ha considerado una reflexión de 0,3 en techo y 0,3 en paredes.

También las alturas cambian: en el almacén y su zona previa el techo es de 12m, pero se toma como que las luminarias cuelgan a 4 y el plano de trabajo está a 1,75m (total 6,25m). En la sala de calderas y de incendios el techo es de 8m, cuelgan a 30cm y el plano de trabajo se toma a 1,5m (total 6,2m). Para donde están los grupos electrógenos el techo está a 3,5m, las luminarias cuelgan a 30cm y el plano de trabajo se toma a 1,25m.

En cuanto al factor de mantenimiento, la limpieza es no frecuente (2), el ensuciamiento normal (N) y la iluminación tipo "open-top", por lo que vale 0,8 para todos los casos.

Las luminarias a instalar son del proveedor Ledians, modelo 3L GNC. Aportan 16680 lm cada una y están pensadas para ser antiexplosivas. De hecho, se suelen usar para estaciones de servicio. Para mejor entendimiento, se las puede ver en la figura 27.

Lugar	E (Lux)	Ancho	Largo	Área	Altura	Factor dep.	Índice k	Fact. Utiliz.	Flujo total (lm)	Lumin. Nec.
Almacén	300	20	20	400	6,25	0,8	1,60	0,34	441.176	26,45
Zona previa a alm.	300	14	18	252	6,25	0,8	1,26	0,28	337.500	20,23
Sala de incendios	200	12,5	10	125	6,2	0,8	0,90	0,22	142.045	8,52
Sala de calderas	200	14	5,5	77	6,2	0,8	0,64	0,22	87.500	5,25
Sala grupos elect.	200	7	7	49	1,95	0,8	1,79	0,42	29.167	1,75

Figura 26. Diseños de luminarias para los recintos con fluidos inflamables.



Figura 27. Luminarias antiexplosivas para los recintos con fluidos inflamables.

Por último, quedan las zonas a la intemperie: la circulación a lo largo de la planta y el estacionamiento. Para ambas la iluminación elegida son reflectores antiexplosivos (necesario por ley) de 41.125 lm cada uno. Un ejemplo se ve en la figura 28. Se trata del modelo PAL 400-300 del proveedor OSRAM. En este caso, las exigencias son de 100 lux, por ser circulación en una planta. También, se deben asegurar 200 lux de iluminación localizada sobre todos los equipos de la planta. Y se ha decidido brindar a cada operario su propia linterna antiexplosiva.



Figura 28. Reflectores usados en la intemperie.

Los cálculos para el sistema a la intemperie difieren de los antes mencionados porque no hay un techo o paredes sobre los cuales calcular una reflexión. Además, cambian los conceptos de alturas y mantenimiento del recinto. Por esto, los diseños no fueron realizados.

A continuación se incluyen las imágenes de las luminarias instaladas en los sectores calculados, cuyos resultados se mostraron en las tablas.

Primero, en la figura 29, se ven las luminarias de dos lámparas cada una usadas para la zona sur de las oficinas. Son dos para cada oficina administrativa, dos para el baño y el comedor, dos para el pasillo y una para el pasillo chico, que conecta con el hall. Además, se usa una para el recinto de tableros eléctricos y dos antiexplosivas para el de grupos electrógenos.

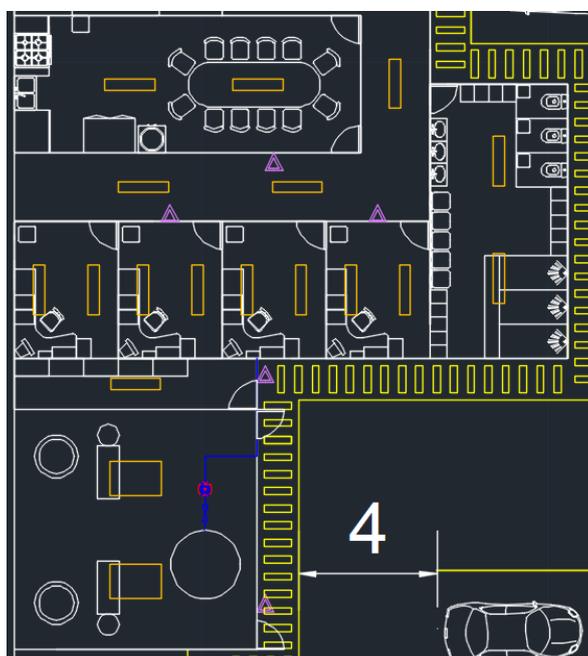


Figura 29. Luminarias en la zona sur de las oficinas.

En la figura 30 se ven las dos luminarias para la sala de juntas, y las cuatro necesarias para el hall principal. Además, las dos de tres lámparas que requiere cada oficina de directivos.

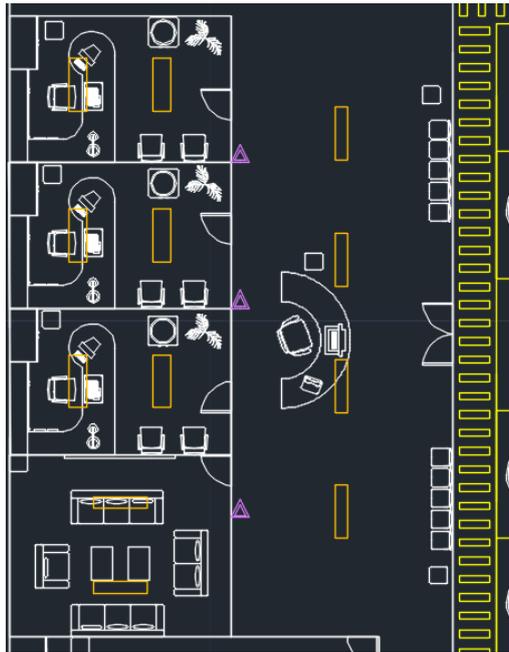


Figura 30. Luminarias en la zona central de las oficinas.

La figura 31 muestra lo que falta del edificio. Incluye las dos luminarias del pasillo norte, las dos del baño y las del sector de operaciones. En las oficinas de control de operaciones se usaron dos luminarias de tres lámparas cada una.



Figura 31. Luminarias en la zona norte de las oficinas.

Las oficinas de vigilancia requieren cuatro luminarias, por el espacio que ocupan. Se las nota en la figura 32.

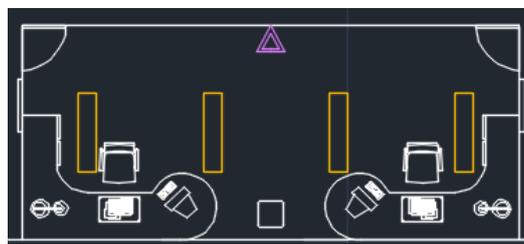


Figura 32. Iluminación de las oficinas de vigilancia.

La sala del tanque contra incendios se ve en la figura 33, con sus nueve luminarias antiexplosivas correspondientes.

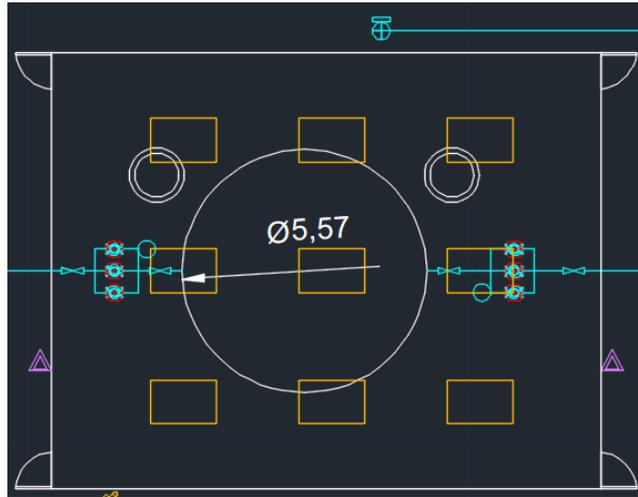


Figura 33. Iluminación de la sala de agua para incendios.

El almacén y su zona previa se ven en la figura 34. Usan luminarias antiexplosivas. Se ven también el laboratorio y las oficinas de almacenamiento, que usan luminarias comunes.

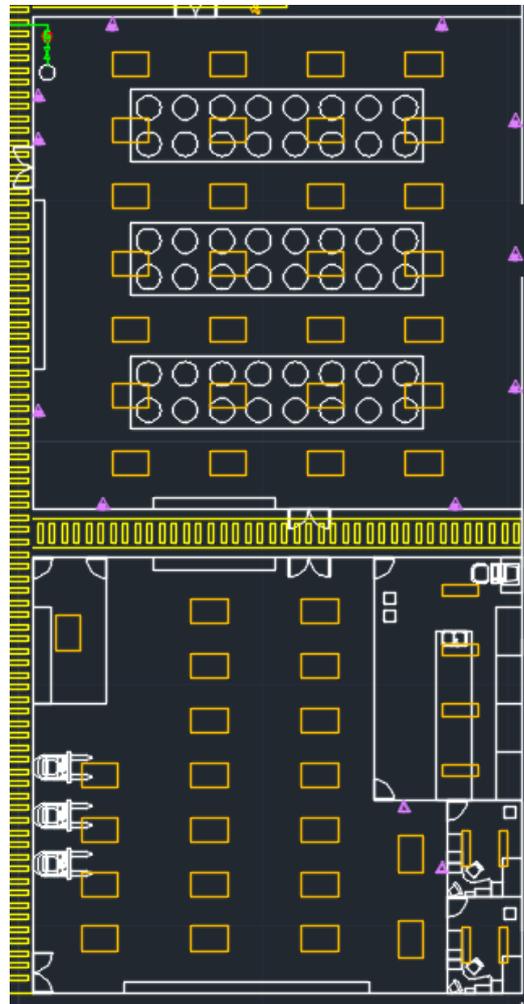


Figura 34. Luminarias en el almacén y su recinto adjunto al sur.

Por último, en la figura 35 se ve la sala de calderas y sus seis luminarias antiexplosivas.

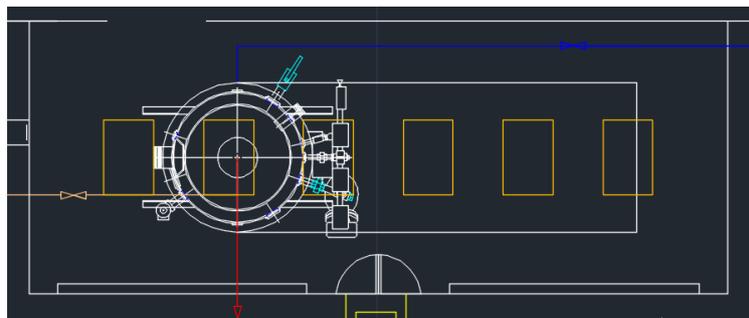


Figura 35. Iluminación en la sala de calderas.

6. PROCEDIMIENTO DE EVACUACIÓN

El fin de este proceso es facilitar la reunión de todas las personas en la planta en un mismo lugar de la manera más rápida posible en casos de emergencia.

Los pasos en el procedimiento son los siguientes.

1º: Sonar alarma. Se incluye un dispositivo por cada sala y un Handy antiexplosivo para cada operario, para que pueda dar aviso en caso de encontrarse en el campo. Todos los trabajadores deben suspender sus tareas inmediatamente y acercarse al punto de reunión cuando se escuche la alarma, excepto el que realice el segundo paso.

2º: Llamar a los servicios de emergencia. Preferentemente el recepcionista se debe encargar de esta tarea. Su oficina es igualmente la más próxima a la salida del edificio y al punto de reunión. Se debe indicar zona y tipo de siniestro, y, si las hay, cantidad de personas heridas y con qué características.

3º: Reunirse en el punto de encuentro. Una vez comunicados los servicios de emergencia, ya no debe faltar nadie a este lugar.

4º: Censar a las personas en el punto. Cuando hayan llegado, se debe confirmar que todos estén y en qué condiciones.

Se prevé realizar un simulacro de evacuación cada dos meses y testear los sistemas y luces de emergencia cada dos semanas.

Además, la idea es instruir a todos los empleados con el uso y distribución de los extintores de incendio, y preparar especialmente a los operarios que realicen turnos rotativos con conocimientos de hidrantes y mangueras contra incendios, para que formen una brigada disponible todo el tiempo.

La ruta de escape se incluye en las figuras 36 a 40, las flechas rosadas indican el camino a seguir desde cada lugar hasta llegar al punto de encuentro. En éste hay una manguera y boca de incendio para bomberos disponibles.

El ancho de los medios de escape se calcula por número de unidades necesarias (n). Cada una mide 0,55m (y 0,45m si se acumulan de tres en adelante). Se calcula:

$$n = \frac{\text{cantidad total de personas a evacuar}}{100}$$

Como en esta planta no hay en ningún caso más de cien personas, basta con una unidad. Sin embargo, por ley el ancho mínimo es de dos unidades. Por lo tanto, el ancho de los pasillos en el edificio de oficinas y a las salidas del almacén y su zona adjunta debe ser de por lo menos 1,1m sin obstruir. Para estar seguros, se ha instalado pasillos de 2m de ancho en cada caso.

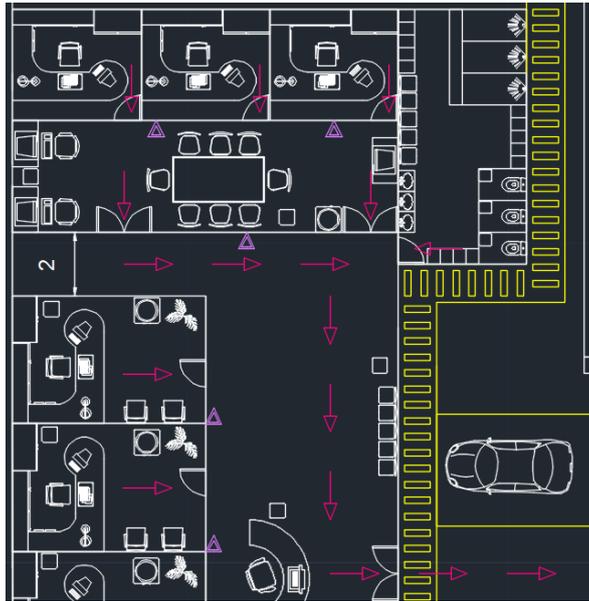


Figura 36. Ruta de escape en el sector norte del edificio de oficinas.

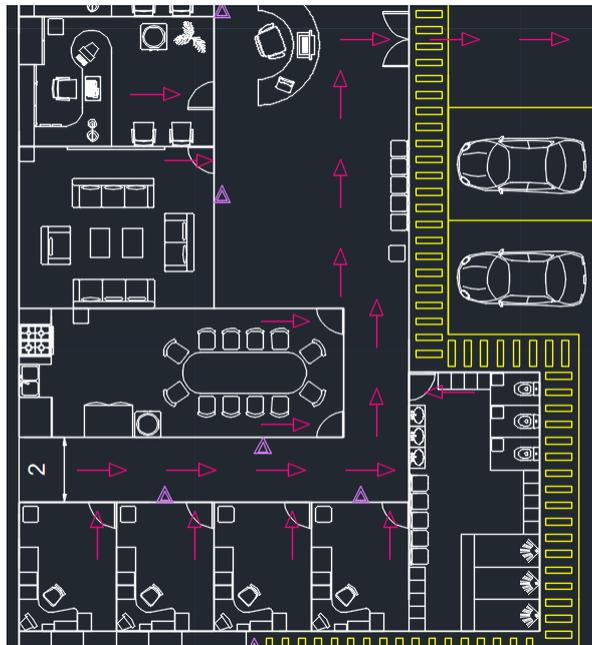


Figura 37. Ruta de escape en el sector sur del edificio de oficinas.

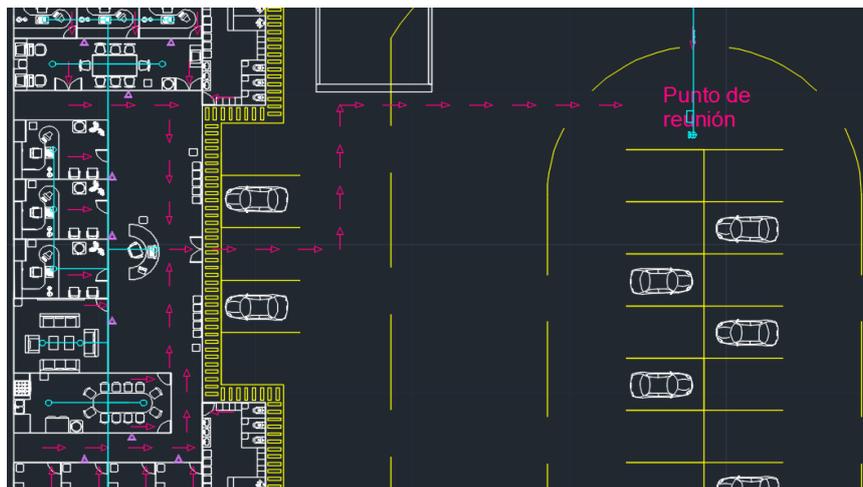


Figura 38. Acceso del edificio de oficinas al punto de reunión.

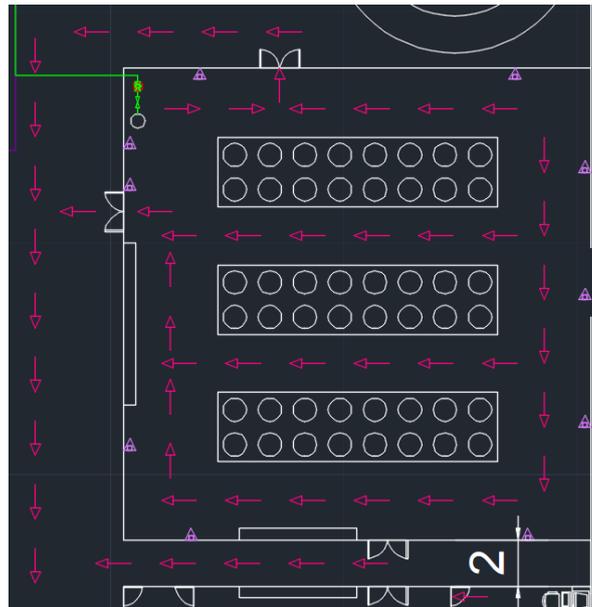


Figura 39. Escape desde el almacén.



Figura 40. Escape desde la zona contigua al almacén.

Como en el cálculo no se superó las tres unidades de ancho de salida, basta con un solo medio de salida.

7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Para los empleados que trabajen en el campo se debe proveer de los accesorios necesarios para que la posibilidad de accidentes se reduzca al mínimo, además de

establecer procedimientos para que puedan trabajar de la forma más cómoda y segura que sea posible en cada tarea.

Los elementos incluyen los ya mencionados Handy y linterna antiexplosivos, una máscara doble respiratoria, gafas de protección, casco, ropa ignífuga, audífonos. La tela de la ropa no debe contener fibras sintéticas, para evitar generación y acumulación de cargas eléctricas.

Se debe entregar un kit con todos los elementos a cada empleado que realice tareas operativas en planta, y tener un mínimo de seis de reserva (se tiene hasta seis operarios por turno).

Además, se debe asegurar que todos tengan guantes de nitrilo a disposición.

También, todos los empleados deben tener zapatos con suela y taco de goma sin clavar, ya que es una exigencia del decreto 351/79 usarlos en los sectores donde haya exposición a inflamables o combustibles.

8. OTRAS CONSIDERACIONES

Existe una gran cantidad de restricciones legales que buscan garantizar el funcionamiento seguro y confiable de la planta, donde los riesgos estén reducidos al mínimo. Todos deben ser cumplidos tanto para evitar complicaciones legales como para cuidar la integridad física del personal de la empresa.

Como estos requisitos en sí no forman parte de un diseño particular, se los ha enumerado en esta sección.

Se incluyen así los detalles más relevantes incluidos en todas las normas mencionadas.

_ Para cumplir con los requisitos de carga térmica, se debe incluir un aire acondicionado frío/calor de 2000 frigorías para cada oficina.

_En el almacén y su sector adjunto se instalarán extractores eólicos en el techo, para ventilar sin necesidad de motores.

_Todos los asientos de oficinas deben ser ergonómicos, y también los de los montacargas. Éstos deben contar también con cinturón de seguridad.

_Todo lugar donde haya proximidad de combustibles debe tener carteles que prohíban fumar bien visibles.

_Los equipos que trabajen con materiales combustibles deben tener su debida conexión a tierra. Además, en todo el sector operativo se debe instalar un piso especial cuya superficie sea antichispazos y antiestática.

_Antes de entrar en la zona de inflamables el que se esté dirigiendo allí debe entrar en contacto con barras descargadoras conectadas a tierra, para eliminar las cargas eléctricas que acumulen.

_Los tanques que contengan combustibles deben estar separados entre sí una distancia igual al diámetro del más grande de ellos, y deben estar por lo menos a dos diámetros del edificio de la empresa vecina. Además, deben estar por lo menos a 15m del límite de concesión. Estos requisitos ya se aplicaron a la instalación de los tanques pulmón y de almacenamiento de furfural y metanol en el plano de la empresa.

_Los combustibles no pueden almacenarse en lugares de trabajo en más de 200L. Esta consideración resulta importante para el funcionamiento del laboratorio.

_En el almacén debe haber una salida a cada lado de los toneles, que abran hacia el lado de afuera, y el piso debe tener inclinación opuesta a ellas.

_Todos los edificios y estructuras de altura sobresaliente deben tener un pararrayos conectado.

_Algunas de las luminarias deben poder actuar como luces de emergencia, encendiéndose cuando haya cortes del suministro eléctrico. Las designadas deben ser tales que los caminos de evacuación queden visibles en cualquier caso.

_Los medios de escape deben estar debidamente anunciados con carteles iluminados también con luces aptas para emergencia.

_A una distancia de menos de 5m de la línea municipal que provea de electricidad o gas deben existir elementos capaces de cortar el suministro, de ser necesario.

9. BIBLIOGRAFÍA

Caciavillani, F. (2012). Material de cátedra de Mecánica Eléctrica Industrial. U.T.N. F.R.A.

Pereyra, J. (2019). Material de cátedra de Seguridad e Higiene en el Trabajo. U.T.N. F.R.A.

Colombi, A. (2017). Material de cátedra de Operaciones Unitarias I. U.T.N. F.R.A.

Sitio de la Asociación de Farmacéuticos Municipales de la Ciudad de Buenos Aires (AFAM), sobre el decreto 351/79. Página web:

http://www.afam.org.ar/textos/27_09/ley_19587_y_decreto_351_79_de_higiene_y_seguridad.pdf [Fecha de consulta: 05/11/2019]

Sitio de la Dirección de Energía de la Provincia de Buenos Aires, sobre el decreto 10.877/60. Página web:

<http://www.dpe.gba.gov.ar/hidrocarburos/normas/Decreto10877.pdf> [Fecha de consulta: 05/11/2019]

Seguridad 3 – ISFT 206. Sitio de documentos de seguridad contra incendios, sobre la IRAM 3597. Página web:

<https://seguridad3.files.wordpress.com/2016/10/iram-3597-27-12-2013-instalaciones-fijas-contra-incendios.pdf> [Fecha de consulta: 05/11/2019]

SlideShare, sitio web para compartir documentos, presentaciones, infografías y demás, sobre la norma NFPA-13. Página web:

<https://es.slideshare.net/rparraga2/nfpa13-rociadores> [Fecha de consulta: 05/11/2019]

Motores y Bombas San Martín, proveedor de equipos de bombeo, sobre dispositivos disponibles para instalaciones en redes de incendio. Página web:

<http://www.motoresybombasm.com.ar/equipos-para-red-de-incendio.html> [Fecha de consulta: 05/11/2019]

EcuRed, enciclopedia cubana en línea, sobre las dimensiones usuales de los camiones de bomberos. Página web:

<https://www.ecured.cu/AC-3.2-40/4> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Viking Group inc., proveedor de equipos para protección contra incendios, sobre las características de algunos de los rociadores disponibles. Página web:

https://www.vikinggroupinc.com/databook/sprinklers/standard/sr/excov/010104_es.pdf [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Docsity.com, sitio para compartir documentos educativos, sobre algunos valores y referencias necesarios para calcular una carga de fuego. Página web:

<https://www.docsity.com/es/carga-de-fuego-en-aulas/2610819/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Cinco Días, sección económica del diario El País, sobre el peso promedio de los libros. Página web:

https://cincodias.elpais.com/cincodias/2010/04/14/sentidos/1271377403_850215.html#targetText=EI%20peso%20medio%20actual%20de,iniciativa%20es%20de%20%20kilos. [Fecha de consulta: 29/10/2019]

MAX Muebles De Oficina y Equipamientos, sitio web del proveedor de accesorios para estos ambientes laborales, sobre el peso de los asientos comúnmente usados. Página web:

<http://www.mueblesdeoficinamax.com.ar/ofertas-de-muebles-de-oficina.html> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Mercado Libre, sitio web de comercialización de productos entre ciudadanos, sobre el peso de un dispenser de agua común. Página web:

<https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-752902236-dispenser-de-agua-frio-calor-con-conservadora-kansai- JM?quantity=1> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Casalista, proveedor de muebles listos para armar, sobre el peso de un closet de madera, para usar como referencia. Página web:

<http://www.casalista.com.ve/muebles/suenos/closet-4-puertas-2-gavetas/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

____ Sitio del proveedor “Muebles y Antigüedades”, sobre el peso de una mesa de madera maciza, para tomar como referencia. Página web:

<https://www.mueblesyantiguedades.com/estilo-antiguo/mesas-mesones/mesa-de-comedor-en-madera-maciza-250-mts-me109a/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Manual Técnico de formación para la caracterización de madera de uso estructural del Gobierno Vasco, sobre la densidad de la madera. Página web:

<http://normamadera.tknika.net/es/content/densidad#targetText=La%20densidad%20es%20una%20caracter%C3%ADstica,del%20transporte%20o%20para%20empacar>. [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Ingemecánica, sitio de artículos e información ingenieril, sobre el poder calorífico de varios materiales. Página web:

https://ingemecanica.com/tutoriales/poder_calorifico.html#tabla2 [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Infomadera, sitio de noticias e información acerca del material, sobre el peso usual de las puertas. Página web:

https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_290_Hojas%20de%20Puertas_17.06.2011.pdf [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Tablas de carga de fuego del Instituto de Estudios de la Seguridad de Cataluña, sobre la energía liberada al quemarse un sofá común. Página web:

https://www.tecnifuego.org/recursos/arxiu/20100317_0955Anexo_IDES.pdf [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Sitio de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, sobre la densidad del metanol. Página web:

<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/9metanol.pdf> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Antoniolima.web.br.com, sitio sobre datos térmicos y de combustibles, sobre el poder calorífico del metanol. Página web:

<http://www.antiolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

ERCO, empresa proveedora de productos de iluminación, sobre las tablas del factor de mantenimiento. Página web:

<https://www.erco.com/guide/simulation-and-calculation/maintenance-factor-2713/es/content-1.php> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Sitio de OSRAM, proveedor de equipos para iluminación, sobre las lámparas para instalar en los edificios sin necesidad de antiexplosivas. Página web:

https://www.osram.es/ecat/LUMILUX%20T5%20HO%20XT-L%C3%A1mparas%20fluorescentes%20T5-L%C3%A1mparas%20fluorescentes-L%C3%A1mparas-Digital%20Systems/es/es/GPS01_1027868/PP_EUROPE_ES_eCat/ZMP_1014679/
[Fecha de consulta: 29/10/2019]

Sitio de Ledians, proveedor de productos de iluminación, sobre las luminarias antiexplosivas a instalar en los recintos cerrados que las necesiten. Página web:

<http://www.ledians.com.ar/producto/station-3l-gnc/> [Fecha de consulta: 29/10/2019]

Sitio de Gevelux, empresa especializada en productos para requisitos de seguridad especiales, sobre los reflectores antiexplosivos. Página web:

<http://www.gevelux.com/images/pdfs/PAL400.pdf> [Fecha de consulta: 29/10/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 14: Servicios auxiliares

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. CALDERA	2
3. TORRE DE ENFRIAMIENTO	3
4. COMPRESORES	4
5. VÁLVULAS	4
6. FILTROS PRENSA PARA EFLUENTES	6
7. BOMBAS	6
8. BIBLIOGRAFÍA	10

1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este capítulo es introducir a un desarrollo breve de aquellas partes del funcionamiento de la planta que no han encontrado espacio para incluirse en capítulos anteriores, pero que son de fundamental importancia para el desarrollo del proceso.

Así, los elementos descritos en esta parte del proyecto son la caldera, la torre de enfriamiento, los compresores, las válvulas y las bombas usadas. Estas últimas no incluyen a las de incendio, que sí fueron calculadas y descritas previamente.

2. CALDERA

La necesidad de instalar este equipo es lograr el caudal de vapor diario necesario tanto como materia prima de reacción como para entregar energía en los evaporadores involucrados a lo largo del tren de proceso.

Como se dijo anteriormente, la idea es utilizar la cáscara agotada residual como combustible principal. Esto lograría no solo un importante ahorro en combustible, sino que también permitiría reducir el volumen de residuo sólido producido, que debe llevarse a disposición final. Que esta cantidad sea menor es positivo porque se debe pagar menos a la empresa encargada de disponer la cáscara y porque además se están enviando menos residuos sólidos al ambiente.

Por supuesto que para que esta caldera funcione en concordancia con los impactos ambientales levemente negativos implicados en la matriz de impacto de este proyecto es necesario instalar filtros de buena calidad en las chimeneas de la caldera. Su función será impedir que las cenizas o polvos escapen del sistema y se difundan por la atmósfera, ya que ese sería un grave caso de contaminación. Los filtros deben cambiarse dentro de los periodos correspondientes para asegurar su eficacia, y los usados con el material capturado se deben enviar a disposición final.

El equipo elegido es uno de los fabricados por el proveedor Hurst Boiler. Éste trabaja con calderas hechas para operar con biomasa, y en su sitio web ofrece productos que nombran específicamente como combustible a la cáscara de arroz. Además, ofrecen la posibilidad de instalar gas o combustibles líquidos como reserva o “back-up”.

Para poder determinar la utilidad de este sistema, se debe saber los requisitos energéticos del vapor y lo que se puede obtener de la cáscara. En cuanto a lo primero, el caudal por día es de 53.961kg para la reacción y 51.663kg para los evaporadores. Este último es un flujo máximo, que puede verse reducido por recirculación de agua calentada en condensadores del proceso. Su valor se usa para estar cubiertos ante imprevistos.

La entalpía del vapor que va a los reactores se calcula a 11,165bar y 190°C, y es de 667,82 kcal/kg. Para el que va a los intercambiadores, a presión atmosférica y 100°C, la entalpía es de 639,18 kcal/kg.

El poder calorífico de la cáscara de arroz, considerando como peor condición una humedad del 50%, es de 2.082,94 kcal/kg. Si bien este residuo entra en contacto con mucho vapor y luego agua en el reactor, luego se centrifuga y seca con aire caliente, por lo que este porcentaje puede tomarse como sobredimensionamiento. El caudal que se tiene por día es de 34.983,24kg.

Lo que se debe calcular es si este flujo es suficiente.

$$Q_{para\ vapor} = 53.961 \frac{kg}{día} \cdot 667,82 \frac{kcal}{kg} + 51.663 \frac{kg}{día} \cdot 639,18 \frac{kcal}{kg} = 69.058.191 \frac{kcal}{día}$$

$$\dot{m}_{cáscara\ requerida} = \frac{Q_{para\ vapor}}{Poder\ calorífico_{cáscara}} = \frac{69.058.191\ kcal/día}{2.082,94\ kcal/kg} = 33.153 \frac{kg}{día}$$

El requisito es menor que el caudal residual. Sin embargo, conviene tener al gas natural disponible en caso de eventualidades. Así, la caldera instalada proveerá de vapor a la planta principalmente quemando cáscara de arroz, y podrá usar la provisión del parque industrial de gas natural a 4 kg/cm² como combustible de reserva.

Además de esta caldera, se instalará un calefón de 200L para abastecer de agua caliente a los baños y el comedor del edificio de oficinas.

3. TORRE DE ENFRIAMIENTO

Se ha mencionado a lo largo de este proyecto la existencia de un tanque de agua que provee del fluido a las calderas y condensadores. Ahora bien, tanto el agua usada para enfriar como el vapor residual del uso en los evaporadores tienen una temperatura mucho más alta que la permitida por los parámetros de vuelco. Mientras éstos avalan devolver el líquido a la naturaleza a 45°C o menos, los intercambiadores ofrecen un caudal de agua que se acerca incluso a los 100°C (en los condensadores se lleva el agua hasta este punto para recircular una parte a las calderas, reduciendo los consumos de agua y de combustible).

Para llevar el flujo residual a un punto en que su vuelco sea legal y no contamine con temperaturas más altas de lo permitido, se ha decidido instalar una torre de enfriamiento con tiro natural y un intercambiador adjunto.

La torre hace que el agua entre en contacto con aire del ambiente, evaporando una gran cantidad y permitiendo con esto un descenso drástico de la temperatura, incluso a menos de 45°C.

El problema es que el equipo puede no obtener resultados tan buenos cuando el agua que entra lo hace a temperaturas muy altas. Por eso se instala aguas arriba un intercambiador de casco y tubo. La finalidad de este equipo es hacer que el agua que sale de la torre, a menos de 45°C, se cruce con la que llega de los intercambiadores, a temperatura alta. Así, ésta podría tomar energía de ella hasta llegar al límite legal de 45°C, mientras que el caudal que llega bajaría su temperatura a valores más aceptables, y con los que la torre pueda trabajar.

El agua que se enfrió va a la torre a reducir su temperatura más aún, por debajo de 45°C, pudiendo usarse como refrigerante en este casco y tubo, y así se va repitiendo el ciclo constantemente.

Se ha decidido instalar una torre de tiro natural. Ésta requiere una estructura de tamaño bastante mayor que las de tiro forzado, pero el ahorro ocurre durante la operación, ya que no se tiene todos los consumos de potencia que los ventiladores representarían.

El esquema de la torre e intercambiador en el layout se ve en la figura 1.

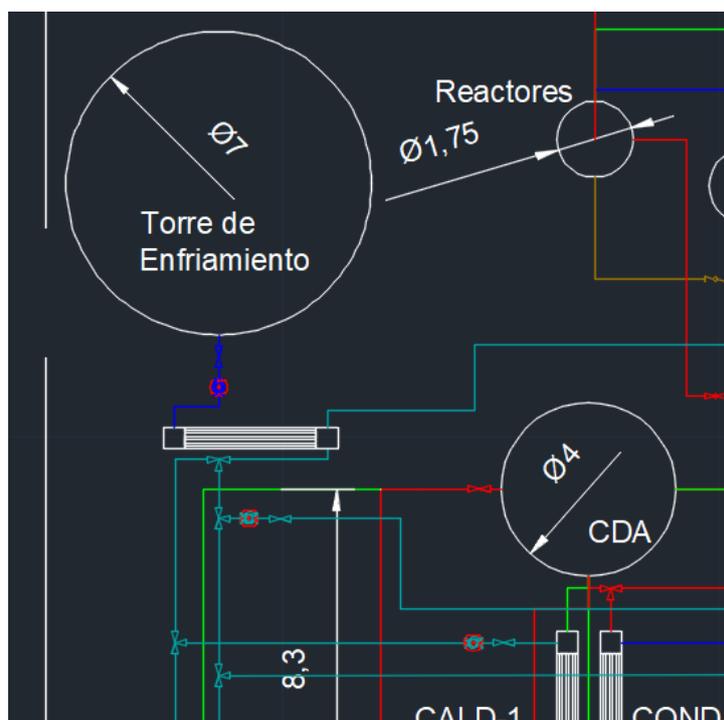


Figura 1. Torre de enfriamiento y su intercambiador de calor adjunto.

4. COMPRESORES

Hay tres equipos utilizados para obtener aire a presión en la planta.

El primero se ubica en las cercanías del tanque de tratamiento biológico de los efluentes. Su finalidad es proveer de oxígeno al recipiente para que la degradación que en él se produce sea del tipo aeróbica.

El otro es el que se conecta a la cadena de transporte de cáscara agotada de la centrífuga a la caldera. Se usa para mover aire caliente que pueda secar el sólido, permitiendo un poder calorífico más alto y un uso más eficiente del mismo como combustible. Si bien la cadena debe estar cerrada para que no se escape polvo (la cáscara se usa a 0,8mm de tamaño) que represente contaminación del ambiente, se la debe equipar con salidas para el aire, a través de las mallas correspondientes que impidan el paso del material particulado. También se debe tener en cuenta que el compresor no puede enviar el gas a una presión exageradamente alta, porque esto podría producir un importante arrastre de sólidos. El fin de este equipo es dar aire caliente pero a velocidad moderada para que circule a lo largo de la cadena, secando pero no llevándose cáscara de arroz agotada.

Por último, se prevé instalar un compresor en la zona adjunta al almacén, para usar como fuente de aire a presión para instrumentos.

Todos los compresores tienen su tanque pulmón, así que se ha decidido interconectar éstos con válvulas y una cañería de 1", para que se puedan abastecer uno al otro en caso de fallas de alguno de los equipos.

5. VÁLVULAS

Se utilizan principalmente cuatro tipos de válvulas en la planta: rotativas, globo, de diafragma y de compuerta.

Las primeras se usan al vaciar cada reactor tras su uso. El agua con cáscara de arroz pasará por una válvula rotativa de 6" de paso horizontal al salir. Este tipo de elementos consiste en un elemento metálico que gira en un cuerpo cilíndrico con tapas laterales. El giro desplaza el flujo de uno a otro lado. Son válvulas muy usadas para trabajar en carga y descarga de polvos y gránulos, por lo que resultan adecuadas para la función que se le plantea en este proceso. Un ejemplo se ve en la figura 2.



Figura 2. Válvula rotativa de paso horizontal.

Las de tipo globo son las más usadas en control de operaciones, por su gran capacidad de regulación y porque permiten caídas de presión de hasta 50bar. Se basan en un mecanismo con un resorte que restringe el pasaje de caudal de un lado a otro, permitiendo una pérdida de carga para el flujo que la atraviesa. Estas válvulas se usan en la planta para lograr el pasaje del vapor de los reactores de 11,165bar a presión atmosférica antes de entrar a la columna de destilación azeotrópica. En la figura 3 se ve un corte de un elemento de este tipo.

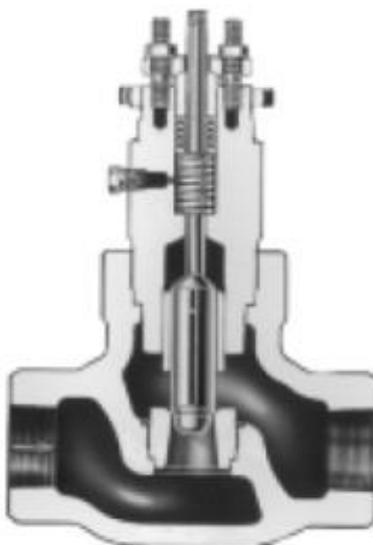


Figura 3. Corte de una válvula globo.

Las válvulas de diafragma tienen un funcionamiento similar a las anteriores, solo que logran que el elemento que entra en contacto con los fluidos sea un flexible resistente a la corrosión. Éste resulta muy útil para cuando se trabaja con líquidos dañinos, pero no se recomienda para altas temperaturas porque puede verse dañado por esas condiciones. Por todo esto, se ha decidido utilizarlas para las cañerías en que se transporta soda cáustica y sulfúrico desde su almacenamiento, a temperatura ambiente, hasta las distintas finalidades que tengan en la planta y para llevar el agua acidulada de la centrífuga hasta los filtros prensa.

Por último, las válvulas de compuerta se utilizarán para todas las cañerías restantes. Son de las más usadas para corte, es decir, para sistemas que se mantienen abiertos salvo ocasiones especiales en que se deba interrumpir el flujo de caudal. Tienen buen cierre, son de operación simple y representan una leve pérdida de carga para las corrientes que las atraviesan estando abiertas.

6. FILTROS PRENSA PARA EFLUENTES

Entre lo que se envía al sistema de tratamiento biológico de efluentes se encuentra el contenido de las bateas de seguridad y el líquido que llega de la centrífuga que separa la cáscara de arroz del agua de lavado. Como no se puede esperar un rendimiento del 100% de este equipo y es esperable que lleguen sólidos con el líquido de las bateas, debe instalarse una operación que impida que los materiales particulados lleguen a los tanques de tratamiento. Para ello se ha decidido instalar dos filtros prensa para actuar intermitentemente.

Los filtros prensa trabajan haciendo pasar el caudal por el interior de un recinto cerrado por placas semipermeables. Los líquidos los atraviesan y los sólidos quedan retenidos. Periódicamente, cuando se llena cada recinto, se debe detener la operación y vaciar el contenido de sólidos. Por eso se instalan dos filtros: uno actuará mientras el otro se limpie y viceversa. No se esperaría que los cambios sean muy frecuentes ya que la cantidad de sólidos a retener no es muy grande, solo lo relacionado a deficiencias del centrifugado y residuos de las bateas.

Los materiales separados deben enviarse a disposición final.

7. BOMBAS

En total se han contabilizado 33 bombas además de las de incendio.

Por cuestiones de simpleza se ha evitado calcular la potencia de todas, pero sí se diseñaron las más representativas. Al igual que para las bombas de incendios, se usó la ecuación de Bernoulli para estimar la potencia a instalar.

$$v = \frac{\text{caudal volumétrico}}{\pi \cdot 0,25 \cdot D_{\text{caño}}}$$

$$\Delta z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h = w$$

$$\text{Potencia} = w \cdot Q_{\text{vol}} \cdot \rho \cdot g$$

Además, para la pérdida de carga:

$$Re = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$$\Delta h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \delta} + \Delta h_{\text{secundaria}}$$

Sería engorroso desarrollar todas las aplicaciones de las fórmulas para cada bomba, así que se describirán en general y se indicarán los valores en una tabla.

Para la altura, se consideró que los equipos al nivel del suelo están a 0m, mientras que lo que entra o sale de torres y tanques lo hace desde su punto más alto (se toma toda su altura). En todo caso, se estaría sobredimensionando.

La velocidad en cada punto se define con el caudal y diámetro de cañería. El primero se obtiene de los capítulos de balance de masa de este proyecto, pasando a forma volumétrica dividiendo por la densidad de cada solución (obtenida del programa HYSYS). El segundo se ha decidido fijarlo en 1", salvo en los casos especiales que se mencionarán más adelante. La velocidad inicial se ha tomado como nula para todos los sistemas.

En ninguno de los casos estudiados se estiman variaciones de presión muy altas, por lo que ese término queda descartado.

Lo que continúa sería averiguar todos los datos para calcular la pérdida de carga.

Los datos del número de Reynolds ya se tienen (se usó viscosidad del agua, 1cp).

Para caños de acero comercial de 1" la rugosidad relativa es de 0,0018. Con esto ya puede saberse el *f* en cada caso.

La longitud de la cañería se ha estimado tomando mediciones directamente del layout de planta.

En cuanto a la pérdida de carga secundaria, se ha considerado para cada bomba un total de 10 codos de 1", que aportan 1,80m, hasta 4 empalmes en T, que dan 1,80m y hasta dos válvulas de retención de 1" abiertas, con 2,10m cada una.

Aplicando todos estos valores, los resultados son los que se ven en las tablas de las figuras 4 y 5.

Bomba	Altura (m)	Distancia (m)	Densidad (kg/m ³)	Caudal (kg/d)	Caudal (kg/h)	Diám. Cañería (m)	Rugosidad relat.
COND-1 a Tanques pulmón	6,25	18	941,01	15.928	663,67	0,0254	0,0018
CALD-1 a preBIOLÓGICO	0,00	31,15	950,72	40.413	1.683,88	0,0254	0,0018
Tanques pulmón a CALD-3	-6,25	11,35	1.000,06	55.747	2.322,79	0,0254	0,0018
COND-2 a DEC-1	0,90	5	986,41	11.431	476,29	0,0254	0,0018
DEC-1 a CDA	7,50	28,7	955,54	7.152	298,00	0,0254	0,0018
CALD-4 a Tanque de Residuos	2,72	63,5	948,10	54.140	2.255,83	0,0254	0,0018
COND-4 a Tanque de Furfural	3,99	8,3	986,69	3.664	152,67	0,0254	0,0018
Tanque de NaOH a PreBIológico	2,72	6,25	1.036,85	8.553	356,38	0,0254	0,0018
PreBIológico a Biológico	0,00	3	1.000,00	61.747	2.572,79	0,0254	0,0018
Centrífuga a filtro prensa	0,00	47,5	1.000,00	17.492	728,81	0,0254	0,0018
Filtro prensa a Tanque de Residuos	2,72	20,5	1.000,00	18.337	764,05	0,0254	0,0018
COND-2 a torre enfriamiento	8,00	16	958,78	61.080	2.545,00	0,0254	0,0018
De tanque de agua a caldera	0,00	35,75	1.000,00	67.371	2.807,13	0,0254	0,0018

Figura 4. Valores para los cálculos de las bombas (primera parte).

Bomba	Veloc. final (m/s)	Reynolds	Fanning	Pér. Carga (m)	Pot. Esp. (m)	Pot. Total (W)	Pot. Total (hp)
COND-1 a Tanques pulmón	0,387	9.241	0,0340	29,58	36,57	66,06	0,09
CALD-1 a preBIOLÓGICO	0,971	23.447	0,0287	31,09	35,71	163,70	0,22
Tanques pulmón a CALD-3	1,273	32.343	0,0270	30,40	32,09	202,92	0,27
COND-2 a DEC-1	0,265	6.632	0,0367	29,43	30,67	39,76	0,05
DEC-1 a CDA	0,171	4.149	0,0413	29,47	37,11	30,11	0,04
CALD-4 a Tanque de Residuos	1,304	31.411	0,0275	35,37	46,42	285,07	0,38
COND-4 a Tanque de Furfural	0,085	2.126	0,0300	29,40	33,43	13,89	0,02
Tanque de NaOH a PreBIológico	0,188	4.962	0,0394	29,42	32,31	31,35	0,04
PreBIológico a Biológico	1,410	35.824	0,0270	29,72	39,47	276,44	0,37
Centrífuga a filtro prensa	0,400	10.148	0,0334	29,91	30,69	60,89	0,08
Filtro prensa a Tanque de Residuos	0,419	10.639	0,0330	29,64	33,22	69,09	0,09
COND-2 a torre enfriamiento	1,455	35.437	0,0270	31,24	49,61	343,72	0,46
De tanque de agua a caldera	1,539	39.087	0,0268	33,96	45,56	348,16	0,47

Figura 5. Valores para los cálculos de las bombas (segunda parte).

Por los caudales bajos que se trabajan, las bombas a instalar no requieren una gran potencia, excepto por cuatro casos que no se incluyeron. Se trata de la bomba que lleva el agua del condensador COND-1 a la torre de enfriamiento, de la que distribuye el agua

del tanque de almacenamiento a los condensadores, de la que mueve el agua fría de la torre de enfriamiento a su intercambiador adjunto y de la que mueve el agua que sale de los condensadores a la caldera, en caso de querer reutilizarla convirtiéndola en vapor.

El alto caudal de la primera se relaciona meramente con el trabajo del COND-1. En la segunda, se debe a que se está alimentando a todos los enfriadores. La tercera debe poder mover el flujo de toda el agua enfriada en la torre antes descrita en este capítulo, y la cuarta se diseña para el caso límite en que todo el caudal que llega caliente de los condensadores se quiera enviar a la caldera para hacer vapor.

La diferencia principal con los anteriores planteos nace en que se adoptaron diámetros de cañería mayores para poder ahorrar en potencia de las bombas. Así, para la primera se consideró 1 3/4", para la del agua a los condensadores, 2 1/2", para la que sale de la torre de enfriamiento, 1 3/4" y para la que movería el agua hasta las calderas, 2 1/2".

Con estos tamaños cambia la rugosidad relativa de las cañerías (tomadas como de acero comercial, igualmente) y también la pérdida de carga asociada a accesorios. Un codo de 1 3/4" representa 3,5m, al igual que el empalme en T, y una válvula de retención abierta, 4,2m. Para las 2 1/2", el codo y el empalme producen 4,8m de pérdida y la válvula abierta, 5,5m.

Lo demás es análogo a lo explicado para bombas anteriores, así que se procede a los resultados, que se ven en las figuras 6 y 7.

Bomba	Altura (m)	Distancia (m)	Densidad (kg/m ³)	Caudal (kg/d)	Caudal (kg/h)	Diám. Cañería (m)	Rugosidad relat.
COND-1 a torre enfriamiento	8,00	12,50	958,78	114.390	4.766	0,0445	0,0011
De tanque de agua a COND-2	0,00	145,75	1.000,00	188.372	7.849	0,0635	0,0007
De torre de enfri. a inter. cercano	-8,00	2,50	1.000,00	188.372	7.849	0,0445	0,0011
Agua de intercambiad. a caldera	8,00	83,00	958,78	188.372	7.849	0,0635	0,0007

Figura 6. Valores para los cálculos de bombas de gran caudal (primera parte).

Bomba	Veloc. final (m/s)	Reynolds	Fanning	Pér. Carga (m)	Pot. Esp. (m)	Pot. Total (W)	Pot. Total (hp)
COND-1 a torre enfriamiento	0,890	37.924	0,025	57,69	69,57	902,62	1,210
De tanque de agua a COND-2	0,688	43.716	0,024	79,52	81,84	1748,57	2,345
De torre de enfri. a inter. cercano	1,405	62.451	0,024	57,53	59,21	1265,01	1,696
Agua de intercambiad. a caldera	0,718	43.716	0,024	79,01	89,54	1913,16	2,566

Figura 6. Valores para los cálculos de bombas de gran caudal (primera parte).

Con esto quedan demostrados los diseños. Ahora bien, las bombas industriales se comercializan en valores de potencia normalizados, por lo que se debe escoger para cada caso el equipo que se encuentre más próximo, siempre que las demandas queden cubiertas. La potencia a instalar en cada caso queda resumida en la figura 7, y los valores han sido tomados de un catálogo del proveedor AGP Bombas.

Bomba	Exigencia (hp)	A instalar (hp)
COND-1 a Tanques pulmón	0,089	0,33
CALD-1 a preBIOLÓGICO	0,220	0,33
Tanques pulmón a CALD-3	0,272	0,33
COND-2 a DEC-1	0,053	0,33
DEC-1 a CDA	0,040	0,33
CALD-4 a Tanque de Residuos	0,382	0,50
COND-4 a Tanque de Furfural	0,019	0,33
Tanque de NaOH a PreBiológico	0,042	0,33
PreBiológico a Biológico	0,371	0,50
Centrífuga a filtro prensa	0,082	0,33
Filtro prensa a Tanque de Residuos	0,093	0,33
COND-2 a torre enfriamiento	0,461	0,50
De tanque de agua a caldera	0,467	0,50
COND-1 a torre enfriamiento	1,210	2,00
De tanque de agua a COND-2	2,345	3,00
De torre de enfria a inter. Cercano	1,696	2,00
Agua de intercambiad. a caldera	2,566	3,00

Figura 7. Potencia de las bombas a instalar.

Las bombas que no se diseñaron trabajan con caudales mucho más bajos, por lo que las bombas a instalar son de potencia reducida, que no llega a los 0,33hp. Se usarán mini bombas o bombas dosificadoras. Estos equipos se enumeran a continuación:

- _Bomba para llevar el sulfúrico de su almacenamiento al reactor.
- _Para transportar el contenido de cada una de las bateas al filtro prensa.
- _Para mover la fase orgánica del DEC-1 a la columna de deshidratación.
- _Para llevar el metanol purificado del COND-5 a su tanque de almacenamiento.
- _Para neutralizar el caudal de proceso agregando 0,2 kg/día de soda cáustica.
- _Para llevar los residuos del condensador COND-3 al tanque de residuos.
- _Cada una de las necesarias para mover el agua residual de los condensadores COND-3, COND-4 y COND-5 y de los calderines CALD-1, CALD-2, CALD-3 y CALD-4 (respectivamente) al intercambiador de casco y tubo y a la torre de enfriamiento que le sigue.

8. BIBLOGRAFÍA

Colombi, A. (2017). Material de cátedra de Operaciones Unitarias I. U.T.N. F.R.A.

Ghersini (2018). Material de cátedra de Control Automático de Procesos. U.T.N. F.R.A.

Sitio de Hurst Boiler, proveedor de calderas industriales, sobre el modelo a instalar en la planta. Página web:

https://www.hurstboiler.com/boilers/solid_fuel_fired [Fecha de consulta: 06/11/2019]

Valverde G., Agustín; Sarria L., Bienvenido; Monteagudo Y., José P. “Análisis Comparativo de las Características Fisicoquímicas de la Cascarilla de Arroz”. Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XIII, No 37, 2007.

Sitio de TLV, Compañía Especialista en Vapor, sobre las propiedades del vapor de agua en distintas condiciones. Página web:

<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/superheated-steam-table.html> [Fecha de consulta: 06/11/2019]

EntreRíosTotal.com.ar, sitio de información sobre la provincia del litoral, sobre los servicios disponibles en el Parque Industrial de Concepción del Uruguay. Página web:

<http://www.entreriostotal.com.ar/industria/parques/parque-industrial-uruguay.htm> [Fecha de consulta: 06/11/2019]

Sitio de SOCOM, proveedor de válvulas rotativas, sobre las características de estos equipos. Página web:

<http://www.socom.com.ar/es/> [Fecha de consulta: 06/11/2019]

Advdelphisys.com, sitio con herramientas online para resolución rápida de distintos problemas, consultado para usar una calculadora online del diagrama de Moody. Página web:

http://www.advdelphisys.com/michael_maley/moody_chart/ [Fecha de consulta: 06/11/2019]

Biblioteca de datos del programa Aspen HYSYS. Versión 7.3 (25.0.4.7337). Copyright (c) 1997-2011 Aspen Technology, Inc.

Sitio del proveedor AGP Bombas, sobre las potencias de las bombas disponibles en el mercado. Página web:

<http://www.agpbombas.com/catalogo.pdf> [Fecha de consulta: 06/11/2019]



Ingeniería Química

Proyecto Final:

Producción de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 15: Sistema de gestión

31/10/2019

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivos	3
2. IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA	4
2.1 Implementación del sistema integrado	4
3. PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SGI	5
3.1 Política Corporativa	5
3.2 Planificación	6
3.2.1 Registro de aspectos/impactos y peligros/riesgos	6
3.2.2 Requerimientos legales	6
3.2.3 Objetivos y metas	6
3.3 Implementación y Operación	7
3.3.1 Estructura y responsabilidad	7
3.3.2 Capacitación, concientización y comunicación	7
3.3.3 Documentación y control	7
3.3.4 Control operativo	7
3.3.5 Planes de contingencia y respuesta ante emergencias	7
3.4 Verificación y acciones correctivas	7
3.4.1 Mediciones y seguimiento	7
3.4.2 Registro de accidentes y no conformidades/acciones correctivas	8
3.4.3 Auditorías	8
3.5 Revisión gerencial	8
4. CERTIFICACIÓN DEL SGI	8

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el ámbito empresarial no es suficiente con la preocupación por la calidad para crear una imagen corporativa adecuada y consistente. Es necesario también garantizar la seguridad y la protección del medioambiente, aumentando a la vez productividad y calidad. Esto es posible mediante el aprendizaje continuo que brinda un sistema de gestión integrado.

De esta forma, la empresa establece el objetivo de implementar y mantener un Sistema de Gestión Integrado, asumiendo un compromiso con sus clientes, el medioambiente y la seguridad de sus trabajadores.

Por lo tanto, la empresa se compromete a:

- Utilizar todos los recursos necesarios para garantizar que el producto que ofrecemos cumpla estrictamente con las especificaciones requeridas en materia de calidad, en orden de satisfacer a nuestros clientes;
- Prevenir la contaminación que pueda ser causada por todas nuestras actividades y procesos, identificando, revisando y controlando todos los aspectos ambientales asociados;
- Cumplir con la legislación ambiental vigente;
- Implementar procesos de mejora continua en nuestro comportamiento medioambiental, y también en la eficiencia y eficacia de nuestros procesos para el aseguramiento de la calidad de nuestros productos;
- Establecer programas de capacitación dirigidos a todo el personal de la empresa;
- La minimización de riesgos de la salud e higiene de nuestros trabajadores.

1.1 Objetivos

Los objetivos específicos por alcanzar con el Sistema de Gestión Integrado mediante la aplicación de normas de calidad, medioambiente y seguridad en el trabajo (ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001, respectivamente) son:

- Identificar, manejar y reducir los efectos ambientales y los peligros o riesgos de todas las actividades desarrolladas por la empresa;
- Asegurar la participación de todo el personal para una mejora continua del desempeño ambiental y de seguridad, a través de capacitaciones;
- Llevar adelante las actividades en forma consistente con la política de MACS (medioambiente, calidad y seguridad) corporativa, así como con los objetivos y metas relacionadas.

La ISO 9001 es una norma internacional que se centra en todos los elementos de la gestión de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios. Esta norma se centra en la satisfacción del cliente y en la capacidad de proveer productos y/o servicios que cumplan con las exigencias internas y externas de la organización.

El objetivo de la norma ISO 14001 es implementar un Sistema de Gestión Ambiental para que las empresas puedan demostrar que son responsables y están comprometidas con la protección del medioambiente. La norma ayuda a gestionar e identificar riesgos ambientales que pueden producirse internamente en la empresa mientras realiza su actividad. Tiene en cuenta tanto la prevención de riesgos como la protección del medioambiente, siguiendo la normativa legal vigente.

La norma OHSAS 18001 (Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, por sus siglas en inglés) está desarrollada para ayudar a las empresas a mejorar de forma continua la seguridad y la salud en el trabajo que ofrece a sus empleados. Esta norma ayuda a identificar y controlar los riesgos relacionados con la seguridad y salud de los trabajadores, a cumplir con los requisitos legales y reducir de forma exponencial la tasa de accidentes de cualquier tipo.

2. IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA

La implementación de estos tres sistemas de gestión (de calidad, ambiental y de seguridad y salud en el trabajo) genera importantes beneficios, ahorros y sinergias, entre los que es posible destacar los siguientes:

- ✓ Genera mayor eficiencia en términos de tiempo, gasto financiero y calidad de procesos y productos;
- ✓ Reducción importante de estructura y costos;
- ✓ Unificación de controles y operaciones que incumben a distintas unidades;
- ✓ Estimula la moral de los empleados al tener funciones claras y definidas, y una comprensión de cómo sus roles afectan a la calidad y al éxito del negocio;
- ✓ Ofrece reconocimiento internacional y mejora la imagen de la empresa en la sociedad.



2.1 Implementación del sistema integrado

La adopción y puesta en marcha de un Sistema de Gestión Integrado (SGI) involucra superar una serie de etapas consecutivas hasta llegar a su estado de plena operatividad. Es importante tener en cuenta que, aunque se siga cierta norma en particular, ésta no describe “cómo” debe funcionar el Sistema, sino que establece “qué” debe contemplar, en términos más bien generales.

Una primera etapa consta de adaptaciones en lo referido a documentación relativa al control de gestión y control operativo. Esto se conoce como fase de diseño y desarrollo del sistema. Aquí pueden existir dos situaciones: se parte de cero, teniendo que definir la forma en que el sistema puede manejar los aspectos gerenciales y operativos, o se parte de un sistema ya existente, el cual es modificado de acuerdo con las necesidades.

Una vez que las partes del sistema están adecuadamente desarrolladas, se pasa a la fase de implantación. Ésta consiste en divulgar el funcionamiento del sistema a todos los niveles de la empresa, a las contratistas, al personal de apoyo y a cualquier otro componente que esté involucrado en la operación. No es necesario que todo el personal tenga un profundo conocimiento del sistema de gestión, pero si es necesario que conozcan adecuadamente todo aquello relacionado al sistema que incide sobre sus tareas dentro de la organización.

Cuando el sistema es bien comprendido y manejado como algo cotidiano en todos los niveles de la organización, se pasa a la fase operativa del sistema. A medida que esta fase operativa avanza, el sistema comienza a retroalimentarse, a partir de la experiencia de una organización que lo utiliza para su beneficio, dando la posibilidad de detectar oportunidades de mejora continua.

3. PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SGI

El SGI se apoya en documentación que guía y controla todas las acciones para el logro de los objetivos, cuyo propósito principal es asegurar que todo el personal de la organización (y las contratistas) esté utilizando los mismos procedimientos e instructivos de trabajo.

Los principales documentos son:

- ✓ El manual de gestión integrado: describe en forma genérica la estructura del sistema de gestión ambiental y de seguridad;
- ✓ Manuales de procedimientos: especifican la forma de realizar las actividades vinculadas al sistema, las distintas responsabilidades, los mecanismos de control y los registros obtenidos;
- ✓ Procedimientos de gestión: regulan el funcionamiento y estructura del sistema;
- ✓ Procedimientos operativos: controlan actividades y procesos propios del área;
- ✓ Plan de contingencia: estipula los mecanismos a seguir ante situaciones de emergencia;
- ✓ Registros: de normas aplicables, de aspectos/impactos ambientales, de peligros/riesgos de trabajo.

Los principales elementos requeridos por las normas para el Sistema de Gestión son explicados a continuación, y son los siguientes: Política Corporativa, Planificación, Implementación y Operación, Verificación y Acciones Correctivas y Revisión Gerencial.

3.1 Política Corporativa

La Política Corporativa es un documento generado por los más altos niveles de la organización en el que se establecen los lineamientos de conducta que garanticen que la misma operará evitando ocasionar daños innecesarios o significativos al medio ambiente y cuidando la vida de todos sus trabajadores y demás personas que pudiesen ser afectadas directa o indirectamente por la operación.

Es una especie de manifiesto institucional que debe contener el compromiso de la corporación hacia el cumplimiento de todas las leyes y normas aplicables a la operación, una resolución hacia la preservación del ambiente y la salud, y el trabajo seguro para sus empleados y terceras partes. Es el documento más importante del compromiso gerencial a todos los niveles de la organización.

3.2 Planificación

Para lograr el cumplimiento de la política, se deben establecer programas de gestión integrados, que demuestren su adherencia a los fines que persiguen los principios estipulados por la política misma. Estos programas se fundamentan en tres actividades necesarias, que se explican a continuación.

3.2.1 Registro de aspectos/impactos y peligros/riesgos

El registro de aspectos/impactos, exigido por la Norma 14001, contiene la identificación y evaluación de todos los elementos relacionados a la operación que pudiesen ocasionar un impacto ambiental significativo. Por su parte, el registro de peligros/riesgos es su equivalente, exigido por la OHSAS 18001, en el cual se realiza la identificación y evaluación de los factores o peligros que pudiesen constituir riesgos para las personas o la operación.

Estos registros deben ser elaborados por cada sector involucrado en la operación. Pueden: ser directos o indirectos; surgir de condiciones de operación normales, anormales o de emergencias; corresponder a actividades presentes, ser consecuencia de actividades pasadas o de actividades planificadas futuras.

La identificación y evaluación de los aspectos/impactos y peligros/riesgos es un proceso continuo, que implica una revisión permanente de todas las acciones. Para que el personal operativo pueda realizar estas tareas, debe estar debidamente capacitado sobre protección del medioambiente y la seguridad.

3.2.2 Requerimientos legales

Para garantizar que se cumpla el compromiso de cumplir con la legislación, asumido en la política corporativa, se debe crear un registro de legislación, mediante un equipo interdisciplinario compuesto por abogados calificados y responsables de la operación, en función de tener una correlación entre la norma, ley o regulación y la operación de la empresa.

3.2.3 Objetivos y metas

Una vez realizadas las evaluaciones de aspectos/impactos, peligros/riesgos y requerimientos legales, se tiene una idea de las posibles consecuencias de la operación sobre el ambiente, la salud de las personas y seguridad.

El objetivo final es identificar factores mitigantes de dichos impactos y riesgos. Para efectuar dicha mitigación, es posible realizar tres posibles acciones:

- 1) Control: se aplica cuando el potencial impacto o riesgo puede mitigarse siguiendo un procedimiento operativo, es decir, una medida de control;
- 2) Mejora: cuando el potencial impacto o riesgo puede corregirse mediante el cambio de algún elemento de la operación, eliminando o reduciendo el aspecto o peligro;
- 3) Investigación: si el potencial riesgo o impacto no puede ser controlado o mejorado, puede ser objeto de una investigación que permita encontrar la medida de mitigación apropiada.

Estos puntos se incluyen en el Programa de Gestión Integrado, el cual contiene los elementos que llevan a la mitigación de impactos y riesgos asociados a la mejora continua. En este Programa, se establecen los objetivos a cumplir en un contexto general y las metas correspondientes a cada objetivo, junto con las actividades involucradas, el responsable de su cumplimiento y la fecha de finalización.

3.3 Implementación y Operación

Luego de la etapa de diseño, se debe poner en marcha una serie de elementos, exigidos por Norma, que se explican a continuación:

3.3.1 Estructura y responsabilidad

El Departamento de MACS (Medioambiente, calidad y seguridad) será el encargado de dar seguimiento a la gestión integrada.

3.3.2 Capacitación, concientización y comunicación

Los puntos por destacar son los siguientes:

- La capacitación debe hacer énfasis en los elementos constituyentes del Sistema, es decir, sobre aspectos que fortalezcan a la organización en el conocimiento del sistema de gestión en sí mismo;
- También será necesario capacitar al personal sobre normas y leyes aplicables a las operaciones, sobre planes de contingencia, procedimientos operativos y sobre las normas a certificar.

3.3.3 Documentación y control

Cualquier demostración relativa a los elementos del sistema tienen que estar bien documentados. Esto permite que, por ejemplo, llegado el momento de la auditoría para certificación se logre el éxito mediante la presentación de documentación organizada.

3.3.4 Control operativo

Se deben diseñar métodos de control operativo para mantener el mejor seguimiento posible de las actividades de la empresa. Se deben aplicar los procedimientos operativos, diseñados para cubrir de manera global las actividades por separado.

3.3.5 Planes de contingencia y respuesta ante emergencias

El Sistema de Gestión tiene un papel fundamentalmente preventivo y crea barreras para evitar eventos no deseados. Sin embargo, estas barreras pueden fallar o no ser del todo efectivas. Es por esto por lo que se deben aplicar planes de contingencia y de respuesta ante emergencias, cuyo objetivo es actuar organizadamente y con rapidez ante cualquier eventualidad, cuyo impacto sea ante el ambiente, los bienes materiales de la empresa, su personal o terceros.

3.4 Verificación y acciones correctivas

Una vez que el Sistema de Gestión está en plena operación, es necesario realizar tareas que verifiquen el cumplimiento de las pautas y los elementos pertenecientes al Sistema. Para ello, se utilizan las siguientes tres herramientas.

3.4.1 Mediciones y seguimiento

Se refiere a aquellos elementos de la operación que permita cubrir los requisitos legales en cuanto a medición de parámetros exigidos por las normas y regulaciones, o garantizar que los equipos y procesos asociados a la operación se encuentren en niveles de desempeño óptimos.

3.4.2 Registro de accidentes y no conformidades/acciones correctivas

Las normas exigen que cada empresa tenga un método o procedimiento que garantice el registro, análisis y propuesta de acciones correctivas para todos los accidentes, tanto ambientales como personales. Es importante que exista el registro y que se demuestre que las acciones correctivas son llevadas hacia la resolución del caso para evitar que vuelva a ocurrir.

Otro concepto importante referido a los registros es el de no conformidades. Estos representan cualquier desvío con respecto a los acuerdos, leyes, regulaciones y procedimientos contemplados en el SGI. Estas desviaciones deben ser registradas y solucionadas mediante el análisis de estas y la propuesta de acciones correctivas correspondientes.

3.4.3 Auditorías

Aparte de la auditoría necesaria para obtener la certificación por parte de un ente pertinente, es imprescindible la realización de auditorías internas. Estas están destinadas a auditar al sistema y son ellas quienes mueven al sistema hacia la mejora continua.

3.5 Revisión gerencial

La norma requiere que la dirección de la empresa realice una revisión anual para evaluar la eficiencia del Sistema de Gestión con su actual estructura. De esta, puede llegar a considerarse la posibilidad de cambiar la política, objetivos u otros elementos del SGI.

4. CERTIFICACIÓN DEL SGI

Como último paso, se debe definir un organismo acreditador. El auditor de dicho organismo se reunirá con la dirección de la empresa, será informado de los procesos de la organización y efectuará la auditoría de revisión de documentos.



Ingeniería Química

Proyecto Final: Síntesis de Furfural a partir de cáscara de arroz

Capítulo 16: Evaluación económica

Integrantes:

Santiago Castillo

Nicolás Ferreyra

Tomás Gherardi

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. COSTO DE EQUIPOS-	2
3. INVERSIÓN TOTAL DE CAPITALES	3
4. COSTOS DE FABRICACIÓN	5
5. PAGO DE CRÉDITO POR SISTEMA FRANCÉS	7
6. FLUJO DE FONDOS	8
7. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO	10
8. CONCLUSIONES	12
9. BIBLIOGRAFÍA	13

1. INTRODUCCIÓN

Éste, el capítulo final del proyecto, trata sobre la evaluación final del mismo, que generalmente termina siendo la definitiva para determinar su aprobación o cancelación: la evaluación económica.

Para realizarla, en primer lugar se procederá a un recuento de los equipos involucrados, estimando el precio de cada uno mediante datos de proveedores de una confiabilidad aceptable. Posteriormente se procederá a averiguar los gastos involucrados en accesorios, instalaciones, edificios y demás mediante índices específicos obtenidos de bibliografía. Con todo esto se llegaría a la inversión inicial total, a la cual deben sumársele los gastos operativos. Éstos también se obtendrán por índices. Luego se determinarán los costos asociados a la fabricación del producto, tanto los fijos (es decir, los que se generan haya o no producción) como los variables, que dependen del volumen producido. Por último, se evaluará la rentabilidad del proyecto mediante el estudio de las cuotas a pagar, los flujos de capitales, y mediante variables económicas especialmente diseñadas para estas decisiones.

2. COSTO DE EQUIPOS

La lista de equipos necesarios para el funcionamiento de la planta se ha detallado a lo largo de los capítulos anteriores, y mostrado en el plano del terreno. A continuación se incluyen los precios estimados de cada uno de los más importantes.

Para obtener estos valores se recurrió a los sitios de internet “alibaba.com” y “matche.com”. El primero muestra ofertas de equipos y materiales de proveedores a lo largo del planeta, así que sirve como fuente de precios reales. El sitio “matche” ofrece una lista de costos de equipos según su función y características. Se trata de una base de datos, no de un sitio con ofertas reales.

Claro que para la mayoría de casos no se encontró un elemento de cualidades idénticas al buscado, así que lo que se hizo fue hacer aproximaciones, ajustando el precio según las variaciones en las características de cada caso.

En las figuras 1 a 4 se muestran los valores obtenidos para cada elemento del proceso, discriminados en grupos según sus funciones.

Tanque	Precio (US\$)	Cantidad
Reactor (acero 316L, 3,57m ³)	70.000	3
Tanque pulmón (112 m ³)	142.700	2
Silo para cáscara (125 m ³)	174.800	1
Tanque decantador (1,15 m ³)	1.465	1
Tanque de agua (468 m ³)	310.700	1
Tanque para metanol (4 m ³)	5.096	1
Tanque para furfural (45 m ³)	62.928	1
Tanque NaOH (acero 316L, 247 m ³)	290.700	1
Tanque equalizador (7,8 m ³)	9.938	1
Tanque para biológico (190 m ³)	242.080	1
Total	1.593.108	

Figura 1. Costos de los tanques a instalar.

Intercambiador	Precio (US\$)	Cantidad
COND-1	19.100	1
COND-2	19.100	1
COND-3	19.100	1
COND-4	19.100	1
COND-5	19.100	1
CALD-1	22.800	1
CALD-2	22.800	1
CALD-3	24.700	1
CALD-4	22.800	1
Previo a torre	26.300	1
Total	214.900	

Figura 2. Costos estimados de los intercambiadores de calor necesarios.

Bomba	Precio (US\$)	Cantidad
0,33 hp	1.574	9
0,5 hp	1.622	4
2 hp	2.643	2
3 hp	3.196	2
Incendio	18.392	2
Total	69.116	

Figura 3. Estimación de los precios de las bombas necesarias.

Equipo	Precio (US\$)	Cantidad
Centrífuga Decanter	10.000	1
Agitador para equalizador	500	1
Compresor	2.400	3
Caldera a cáscara	400.000	1
Mesa vibratoria	5.000	1
Tornillos de transporte	1.000	4
Filtros placa	20.000	2
Columna destilación	115.000	3
Torre enfriamiento	388.500	1
Cadenas (por metro)	45	50
Total	1.202.463	

Figura 4. Costos de los equipos necesarios.

En cuanto al último grupo es necesario hacer una aclaración: el precio encontrado para las cadenas de transporte es de 45 US\$/m. Como hace falta instalar dos equipos de unos 25m, el valor tomado es de $45 \cdot 25 = \text{US\$ } 2.263$.

El gasto total considerando los cuatro grupos es de US\$ 3.079.587.

3. INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL

Una vez obtenido un valor de gasto total de equipos, es necesario calcular la inversión de capital. Este concepto involucra todas las inversiones necesarias para poner en marcha una planta industrial, como ser la instalación de la maquinaria y equipos ya

adquiridos, las distintas instalaciones complementarias, la compra del terreno y las obras civiles relacionadas, entre otras cosas.

Para estimar la inversión de capital, se utilizó el método denominado “de porcentaje del costo del equipo entregado”, que se explica en el libro “*Diseño de plantas y su evaluación económica para Ingenieros Químicos*” de Max S. Peters y Klaus D. Timmerhaus.

En este método, se requiere en primer lugar determinar el costo total de los equipos a adquirir, con la mayor exactitud posible. A continuación, para cada rubro de los costos directos de planta (es decir, los que están directamente relacionados con la producción) le es asignado un porcentaje del costo total de los equipos. Luego, los demás componentes de la inversión de capital se basan en porcentajes del costo directo total de la planta, del costo total directo e indirecto o de la inversión total de capital. Estos porcentajes se presentan a modo de referencia en el libro ya mencionado, habiendo sufrido luego modificaciones en base a criterio propio. Cabe destacar que los porcentajes varían dependiendo qué tipo de planta química se trate: si procesa fluidos, sólidos o ambos (nuestro caso).

En la siguiente tabla se encuentra resumido lo explicado anteriormente, en donde se incluye el costo total de los equipos, los rubros asociados a la inversión total y sus porcentajes asignados:

	Planta que procesa sólidos y líquidos	Planta Furfural
Costos directos		
Equipo adquirido y entregado	100%	3.079.587
Instalación del equipo adquirido	28%	862.284
Instrumentación y controles	13%	400.346
Cañerías y tuberías	31%	954.672
Instalaciones eléctricas	10%	307.959
Obras civiles	17%	523.530
Mejoras del terreno	10%	307.959
Instalaciones de servicios	35%	1.077.855
Terreno	6%	184.775
Costo directo total de la planta		7.698.968
Costos indirectos		
Ingeniería y supervisión	15%	461.938
Gastos de construcción	27%	831.489
Total costos directos e indirectos de la planta		8.992.394
Honorarios del contratista	5%	449.620
Gastos eventuales	5%	449.620
Inversiones de capital fijo		9.891.634
Capital de trabajo	7%	642.956
INVERSIÓN TOTAL DE CAPITAL	U\$S	10.534.590

De aquí, por lo tanto, se obtuvo que la inversión total de capital es de U\$S 10.534.590, en donde se incluye los costos directos, indirectos, las inversiones de capital fijo y el capital de trabajo.

4. COSTOS DE FABRICACIÓN

Están formados por todos los gastos directamente relacionados con la producción. A su vez, están subdivididos en las siguientes categorías: costos directos de producción y gastos generales de la planta.

Dentro del primer ítem, se incluyen todos los gastos vinculados directamente con la fabricación del producto. En las siguientes tablas, se detallan los costos de materias primas, mano de obra y servicios auxiliares de la planta:

MATERIAS PRIMAS				
Producto	kg/día	kg/año	U\$S/kg	U\$S/año
Cáscara de arroz	42.000	15.330.000	0,015	229.950
H2SO4*	4	1.278	0,1	130
NaOH**	531	193.815	0,22	85.279
TOTAL MAT PRIMA U\$S/AÑO				315.359

Las materias primas están calculadas para una producción de 1.321 toneladas de furfural por año.

PERSONAL DIARIO				
Puesto	Cantidad	Salario mensual	Aporte patronal	Total anual
Director general	1	2.077	405	32.265
Jefe de operaciones	1	1.168	228	18.149
Jefe de administrativos	1	1.168	228	18.149
Encargado de calidad	1	909	177	14.116
Asistente de calidad	1	649	127	10.083
Encargado de seg e hig	1	909	177	14.116
Encargado de RRHH	1	909	177	14.116
Encargado de compras	1	909	177	14.116
Operario almacenamiento	2	597	116	18.552
Contador	1	909	177	14.116
Recepcionista	1	509	99	7.908
Limpieza	1	439	86	6.822
TOTAL PERSONAL DIARIO U\$S/AÑO				182.508

PERSONAL ROTATIVO				
Puesto	Cantidad	Salario mensual	Aporte patronal	Total anual
Control de operaciones	12	838	163	156.148
Operario	24	658	128	245.375
Vigilancia	8	404	79	50.244
TOTAL PERSONAL ROTATIVO U\$S/AÑO				451.766

TOTAL MANO DE OBRA U\$S/AÑO	634.274
------------------------------------	----------------

Cabe destacar que en la totalidad anual de cada empleado se encuentra incluido el sueldo anual complementario, junto con su correspondiente aporte patronal. Los aportes patronales están basados según la Ley 27.430, mientras que los sueldos surgen de convenios colectivos de trabajo de distintos gremios, que se detallan en la bibliografía.

En cuanto a servicios auxiliares, se tuvieron en cuenta la electricidad y el gas necesarios para la operación de la planta.

El consumo de energía eléctrica se calculó en base a los equipos que la requieren (bombas, cadena de transporte, etc.), y luego se lo multiplicó por un factor de 2 para estar cubiertos ante eventualidades y cubrir también el gasto que se generará en la administración por iluminación y demás equipos eléctricos, como ser las computadoras.

En cuanto al consumo de gas, es necesario aclarar que si bien la caldera que proveerá del vapor necesario para la planta funciona quemando la cáscara de arroz agotada que sale del reactor, cuenta con un back up de gas natural. Por lo tanto, se calculó el consumo como los metros cúbicos de gas necesarios para generar la totalidad de vapor durante 5 días por año. Con esta cantidad se cubre la posibilidad de que exista alguna eventualidad con la cáscara agotada (no debería ocurrir, dado que la reacción nos garantiza obtener cáscara para quemar) y el consumo de gas de la administración (estufas, agua caliente, etc.).

Los consumos anteriores, junto con su presupuesto, se presentan en la siguiente tabla. Los precios de los servicios surgen de las empresas distribuidoras correspondientes a la provincia de Entre Ríos (se detallan en bibliografía):

	Consumo diario	Consumo anual	Precio anual
Electricidad	115	41.912	8.204
Gas	43.036	15.708.150	328.634
		TOTAL SERVICIOS U\$S/AÑO	336.838

Continuando con los costos directos de la producción, se destacan los siguientes dos rubros, cuyo valor es asignado mediante porcentajes, siguiendo el método propuesto en el cálculo de la inversión de capital:

Supervisión directa y trabajos administrativos	15% mano de obra
	95.141
Mantenimiento y reparaciones	10% costo de equipo total
	307.959

Por último, se presentan los gastos generales de la planta, que no están directamente vinculados a la producción, pero son necesarios para el funcionamiento de la misma:

Concepto	Porcentaje asignado	U\$\$/AÑO
Gastos administrativos	15% mano de obra	95.141
Gastos de distribución y marketing	10% mano de obra	63.427
Depreciación equipos	5% inversión capital fijo	494.582
Depreciación edificio	3% costo inicial	5.543
TOTAL GASTOS GENERALES U\$\$/AÑO		658.693

Finalmente, se presenta un resumen de los costos de fabricación y el cálculo del costo unitario del producto obtenido:

RESUMEN	
Concepto	U\$\$/año
Materias primas	315.359
Mano de obra	634.274
Supervisión y trabajos administrativos	95.141
Mantenimiento y reparaciones	307.959
Servicios	336.838
Gastos generales	658.693
TOTAL	2.348.264

Producción furfural kg/año	1.321.200
Costo unitario U\$\$/kg	1,78

5. PAGO DE CRÉDITO POR SISTEMA FRANCÉS

En la mayoría de los proyectos el capital necesario a invertir desde el principio no se logra con esfuerzos provenientes del bolsillo de los emprendedores. Generalmente es necesario pedir un crédito bancario para poder financiar un porcentaje del costo inicial. Según cada banco se define un sistema de pagos y una tasa de interés, pudiendo definir los acreditados el tiempo en que desean amortizar totalmente el préstamo obtenido (dentro de un rango más o menos amplio de tiempo, según lo que se establezca por la entidad bancaria).

Para el caso en estudio se decidió pedir una financiación del 40% del capital inicial. La tasa de interés tomada es la más alta encontrada entre los productos que ofrece el Banco Internacional del Desarrollo (BID), de 5%. En cuanto a los años de cancelación, se decidió tomar cinco. Por los cambios constantes a los que se ha visto sometida la situación macroeconómica del país en los últimos tiempos, adoptar un periodo corto parece ser lo más sensato. Entre cinco y diez años, la decisión se ha inclinado por la primera opción ya que es la que se asemeja más a los ciclos presidenciales en Argentina (de cuatro años).

El cálculo del sistema francés implica obtener una cuota fija con todas estas características mencionadas. Este valor no cambia hasta que se cancele completamente el crédito. Una parte de los pagos se deben a intereses del préstamo y otra a la amortización de la deuda propiamente dicha.

Según la manera en que se calculan los intereses por el método francés, se tiene la mayor carga en los primeros periodos, que es cuanto menor es la fracción de la cuota destinada a reducir la deuda. En los últimos años, la cuota pagada se destina sobre todo a amortizar lo adeudado, y la fracción dedicada a intereses se vuelve mínima.

La manera de calcular las cuotas fijas es:

$$C = V \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$$

Donde C es el valor del pago, V el préstamo inicial, i la tasa de interés del banco y n el número de cuotas. Además, para saber el dinero destinado a intereses en cada periodo:

$$I_n = V_n \cdot i$$

Donde I representa el monto para la etapa n y V es lo que se adeuda del pago del crédito.

Se dijo que se tomará deuda para financiar el 40% de la inversión inicial:

$$V = 40\% \cdot 10.534.590 \text{ US\$} = 4.213.836 \text{ US\$}$$

Si el pago se realiza anualmente, los valores quedan como se ve en la tabla de la figura 5. Puede notarse como los pagos de intereses comienzan siendo altos y van decreciendo, mientras que sucede lo contrario con las amortizaciones. Esto evidencia la naturaleza del sistema francés, mostrando también que las cuotas son constantes.

Pago de crédito sistema francés (anual)				
Capital inicial	Cuota	Pago	Interés	Amortización
4.213.836	1	973.290	210.692	762.598
3.451.238	2	973.290	14.380	958.910
2.492.328	3	973.290	10.385	962.905
1.529.423	4	973.290	6.373	966.917
562.506	5	973.290	2.344	970.946

Figura 5. Pagos del crédito según el sistema francés con pagos anuales.

La conclusión más importante de esta parte del capítulo es que se debe considerar un egreso de dinero de US\$ 973.290 anuales durante los primeros cinco años del proyecto.

6. FLUJO DE FONDOS

Un flujo de fondos muestra las fluctuaciones en el capital monetario que maneja la empresa a lo largo del tiempo. En busca de lograr un correcto análisis del proyecto se han realizado estudios con periodos mensuales para el primer año y anuales para la duración completa del emprendimiento. En este caso, se ha decidido evaluar una duración de 20 años hasta el cierre de la planta.

En ambos flujos es necesario tener en cuenta una cantidad de dinero que se destinará inicialmente a la caja. Generalmente se destina un 7% de la inversión principal. Ahora bien, en este caso se analiza considerando que no hay ventas durante los primeros seis meses, por lo que debe usarse la mitad.

$$Caja\ inicial = 3,5\% \cdot 10.534.590 \text{ US\$} = 368.711 \text{ US\$}$$

En el flujo de fondos se tiene en cuenta lo que ingresa y egresa de dinero. En el primer caso se tienen las ventas de metanol y furfural, el primero a 2,34US\$/kg y el segundo a 2,75US\$/kg. Con la producción de cada sustancia al año puede verse lo obtenido:

$$\text{Venta mensual metanol} = 2,34 \frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \cdot 167.535 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 32.669 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

$$\text{Venta mensual furfural} = 2,75 \frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \cdot 1.321.200 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 302.775 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

$$\text{Ingresos ventas mensuales} = 32.670 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}} + 302.775 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}} = 335.444 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

Para los egresos se debe considerar el pago del préstamo que se describió en el estudio por método francés y los gastos generales antes mencionados.

$$\text{Egreso por gastos} = 2.348.264 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 195.689 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

$$\text{Egreso por pago del crédito} = 973.290 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 81.107 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

Para cada periodo debe hacerse un balance del flujo neto y del acumulado (contando lo que ya se tenía en la caja). Con el acumulado se sabe lo que queda en la caja para la etapa que continúa.

Así, el flujo de fondos mensual para el primer año queda como se ve en la figura 6.

Flujo de fondos						
Mes	Saldo inicial	Ingresos ventas	Egresos generales	Pago de crédito	Flujo neto mes	Flujo acumulado
1	368.711	-	195.689	81.107	-276.796	91.914
2	91.914	-	195.689	81.107	-276.796	-184.882
3	- 184.882	-	195.689	81.107	-276.796	-461.678
4	- 461.678	-	195.689	81.107	-276.796	-738.474
5	- 738.474	-	195.689	81.107	-276.796	-1.015.270
6	- 1.015.270	-	195.689	81.107	-276.796	-1.292.066
7	- 1.292.066	335.444	195.689	81.107	58.648	-1.233.418
8	- 1.233.418	335.444	195.689	81.107	58.648	-1.174.770
9	- 1.174.770	335.444	195.689	81.107	58.648	-1.116.122
10	- 1.116.122	335.444	195.689	81.107	58.648	-1.057.474
11	- 1.057.474	335.444	195.689	81.107	58.648	-998.826
12	- 998.826	335.444	195.689	81.107	58.648	-940.177

Figura 6. Flujo de fondos mensual para el primer año.

El flujo anual presenta el mismo valor inicial para la caja, pero tiene sus ingresos y egresos doce veces más grandes que el anterior. Para los egresos se ve fácilmente que únicamente deben usarse los valores mencionados a lo largo del capítulo, sin dividir como se hizo anteriormente. Pero los ingresos merecen un nuevo cálculo, que sigue:

$$\text{Venta metanol} = 2,34 \frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \cdot 167.535 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 392.032 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

$$\text{Venta furfural} = 2,75 \frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \cdot 1.321.200 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 3.633.300 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

$$\text{Ingresos ventas} = 392.032 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}} + 3.633.300 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}} = 4.025.332 \frac{\text{US\$}}{\text{mes}}$$

Por lo tanto, el flujo queda como se ve en la figura 7.

Año	Saldo inicial	Ingresos ventas	Egresos generales	Pago de crédito	Flujo neto año	Flujo acumulado
1	368.711	2.012.666	2.348.264	973.290	-1.308.888	-940.177
2	- 940.177	4.025.332	2.348.264	973.290	703.778	-236.399
3	- 236.399	4.025.332	2.348.264	973.290	703.778	467.378
4	467.378	4.025.332	2.348.264	973.290	703.778	1.171.156
5	1.171.156	4.025.332	2.348.264	973.290	703.778	1.874.934
6	1.874.934	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	3.552.002
7	3.552.002	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	5.229.070
8	5.229.070	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	6.906.138
9	6.906.138	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	8.583.206
10	8.583.206	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	10.260.274
11	10.260.274	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	11.937.341
12	11.937.341	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	13.614.409
13	13.614.409	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	15.291.477
14	15.291.477	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	16.968.545
15	16.968.545	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	18.645.613
16	18.645.613	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	20.322.681
17	20.322.681	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	21.999.748
18	21.999.748	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	23.676.816
19	23.676.816	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	25.353.884
20	25.353.884	4.025.332	2.348.264	-	1.677.068	27.030.952

Figura 7. Flujo anual de fondos del proyecto.

Puede observarse que el flujo acumulado final arroja un resultado de cerca de US\$ 27 millones a favor. Un primer vistazo da la idea de una enorme ganancia para la empresa, pero para evaluar esto lo mejor es usar índices especialmente diseñados para este tipo de análisis, tales como el VAN y el TIR.

7. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Para estimar la factibilidad de realización de un emprendimiento se debe dar a los inversores cierta seguridad de que obtendrán rédito por confiar en el proyecto, y que éste será lo suficientemente abultado como para que haya realmente valido la pena apostarle el capital que necesita.

En busca de lograr estas garantías, dos de los índices más calculados en los estudios de inversiones son el de Valor Actual Neto (V.A.N.) y el de Tasa Interna de Retorno (T.I.R.). El primero intenta llevar al presente los flujos monetarios a lo largo de los años que durará el proyecto, para estimar los resultados.

Si el VAN es negativo, se descarta la inversión, ya que produciría pérdidas en el tiempo. Si su valor es nulo no aportaría cambios, así que suele descartarse igualmente el emprendimiento, ya que es preferible usar el capital en algo que dé ganancias. Si el VAN es positivo, se gana capital y el proyecto en primera medida avanza, aunque también hay que analizar cuánta diferencia se logra y en qué tiempo, para ver cuán atractiva resulta finalmente la inversión.

El VAN se calcula con la fórmula que sigue.

$$VAN = -E_0 + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

Donde E_0 es el egreso inicial, el capital que se debe aportar desde un primer momento para comenzar con el emprendimiento. C es el flujo neto de dinero en cada periodo j de tiempo. Además, i es el crecimiento que se espera para el proyecto y n es el total de etapas consideradas.

El TIR es el valor de i que, aplicado a la fórmula, logra un VAN nulo. Es decir, aquel con el que los inversores se aseguran de no perder dinero. El valor de i indica cuánto crece la planta durante su duración. Puede crecer más y arrojar menores ganancias o crecer menos y que los resultados arrojen un VAN mayor.

Para este proyecto el aporte inicial de dinero es de US\$ 10.534.590, lo que se definió anteriormente como "Inversión Total de Capital". Analizando anualmente, C es el flujo neto alcanzado en cada una de las 20 etapas que durará la empresa, y se puede obtener del flujo de capitales antes mostrado. Por último, el crecimiento mínimo i esperado es de 5%, el mismo porcentaje asignado para la tasa de interés del préstamo bancario tomado.

La idea tomada para el análisis fue evaluar con distintos precios del producto principal los resultados del VAN y el TIR, de manera de elegir cuál usar para garantizar tanto la competitividad del furfural producido en el mercado como la rentabilidad de la empresa.

Así, tomando un promedio ponderado de precios de proveedores desde el sitio "Alibaba.com" se llegó a un total de US\$ 3,167 por kilogramo del producto, y se evaluaron los resultados de la empresa para distintos porcentajes menores. Cabe destacar que solo se procedió de esta manera con el producto principal y no con el metanol, que se mantuvo fijo en US\$ 2,34 el kilo.

Con un precio 5% menor que el encontrado (US\$ 3,00 el kilo), el VAN es de US\$ 8.276.166 y el TIR de 11%.

Si se vende 10% más barato que lo encontrado (US\$ 2,85 el kilo), el VAN llega a US\$ 5.900.776 y el TIR a 9%.

Usando un valor de US\$ 2,75, cerca de un 14% más barato que en el mercado, el VAN es de US\$ 4.317.183 y el TIR de 8%.

Para asegurar la competitividad en un mercado en el que se estaría entrando desde cero, se ha decidido usar el precio más barato para el furfural. Así, el VAN y TIR quedan con esos últimos valores y los flujos de fondos como se mostraron antes. Los valores de la sumatoria usada para calcular el valor actual neto se resumen en la tabla de la figura 8.

Año	$C/((1+i)^n)$
1	- 1.246.560
2	638.347
3	607.950
4	579.000
5	551.428
6	1.251.454
7	1.191.861
8	1.135.106
9	1.081.053
10	1.029.574
11	980.547
12	933.854
13	889.385
14	847.033
15	806.698
16	768.284
17	731.699
18	696.856
19	663.673
20	632.069

Figura 8. Valores de los términos de la sumatoria del VAN.

8. CONCLUSIONES

La empresa arroja una ganancia en el tiempo gracias al precio final logrado para el producto principal. Ahora bien, este valor no es tan alto, se debe tener en cuenta que hay que esperar 20 años de proyecto para ganar cerca de US\$ 4 millones. Aunque bien se podría considerar que si la empresa prospera se podría abarcar una mayor parte del mercado o quizás hasta subir el precio en el futuro. Con esto, los réditos serían todavía mayores, ya que se demostró que con un cambio de 25 centavos en el precio de venta del furfural ya se llega a los US\$ 8 millones en el VAN.

Además, el TIR logra un valor de 8% como mínimo, lo cual también resulta positivo.

La empresa debe pasar por momentos complicados de valores negativos en la caja, llegando a una deuda de US\$ 1.292.066 en el sexto mes del emprendimiento. Claro que esto es para el periodo en que no se consideran ventas, y cuando sí empieza el aporte de ellas ya se logra un flujo positivo para cada periodo. Aunque cabe aclarar que para tener un valor positivo en caja se debe esperar hasta el tercer año del emprendimiento.

El préstamo bancario fue tomado a cinco años, por lo que se logra una cierta independencia de las fluctuaciones fuertes que puedan existir en la economía del país por cambios políticos.

En la realidad puede ocurrir que algunos de los valores tomados para los índices vistos al calcular la inversión total o el gasto mensual general resulten siendo más bajos, por lo que las pérdidas no serían tantas. O también es probable que las ventas empiecen antes de los seis meses. De cualquier forma, debe considerarse el análisis planteado como algo general, que en la realidad necesariamente tendrá sus imprecisiones, pudiendo ser éstas a favor o en contra del emprendimiento.

8. BIBLOGRAFÍA

Matche.com, sitio con base de datos sobre costos de diversos equipos, según sus funciones y características. Página web:

<http://www.matche.com/equipcost/Default.html>[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un tanque asimilable a cada reactor. Página web:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-mixing-tank-reactor-50l-5000l-gmf-10--60556058115.html?spm=a2700.8699010.normalList.32.3e852b61upAypw>[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un tanque similar a los usados como “pulmones”. Página web:

<https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/underground-water-storage-tank-100000-liter-60417157139.html?spm=a2706.8168334.1998817009.17.60f64f38KWLTXo>[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un tanque comparable al decantador. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/1200l-stainless-steel-conical-tank-for_60779245806.html?spm=a2700.7724857.normalList.21.395f5f18aWO4v0&s=p[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un transportador de cadenas. Página web:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/price-redler-chain-conveyor-hanging-chain-conveyor-for-bottle-conveyors-62116997047.html?spm=a2700.8699010.normalList.5.64382373HNGMRE&s=p>[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de una centrífuga como la que se busca usar. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/High-speed-industrial-horizontal-decanter-centrifuge_60750650737.html?spm=a2700.7724857.normalList.7.641957404Tbj2&s=p[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un agitador similar al que se busca para el tanque equalizador. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/stainless-steel-Chemical-mixing-tank-agitator_60848215296.html?spm=a2700.7724857.normalList.55.3ef24293XyBIsi[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un transportador de tornillo usual. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/Flexible-screw-type-conveyor-price_60613560229.html?spm=a2700.7724857.normalList.12.191b6d07Ht650Q&s=p
[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un filtro prensa. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/Cost-effective-Chamber-Filter-Press-Machine_60597733715.html?spm=a2700.7724857.normalList.7.6ecd9a5dYPcmK2&s=p
[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de un tamiz de mesa vibratoria. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/Chemical-powder-linear-vibrating-screen-sieve_62066374370.html?spm=a2700.7724857.normalList.7.360659731uHJxE&s=p
[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de una caldera a base de cáscara de arroz. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/Best-price-hot-selling-paddy-rice_60713325447.html?spm=a2700.7724857.normalList.7.491682f3UH1Yyi&s=p
[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios de una bomba de 200hp, asimilable al equipo para usar contra incendios. Página web:

https://www.alibaba.com/product-detail/High-capacity-200-hp-water-pump_60810682777.html?spm=a2700.7724857.normalList.22.401b1c75gTgB8y&s=p
[Fecha de consulta: 09/11/2019]

Alibaba.com, sitio de comercialización de diversos productos en todo el planeta, sobre los precios del furfural. Página web:

<https://spanish.alibaba.com/g/furfural-price.html> [Fecha de consulta: 11/11/2019]

Sitio del proveedor AGP Bombas, sobre las potencias de las bombas disponibles en el mercado. Página web:

<http://www.agpbombas.com/catalogo.pdf> [Fecha de consulta: 11/11/2019]

Vadequímica, sitio de comercialización de productos químicos, sobre el precio del metanol. Página web:

<https://www.vadequimica.com/metanol-puro-25-litros.html> [Fecha de consulta: 11/11/2019]

Rankia.com, sitio sobre información y para compartir datos y demás de carácter financiero, sobre las características del sistema de amortización francés. Página web:

<https://www.rankia.com/blog/mejores-hipotecas/2399623-que-sistema-amortizacion-frances> [Fecha de consulta: 11/11/2019]

Dolarsi.com, sitio sobre información acerca de los valores de divisas extranjeras y datos económicos, sobre las características de un flujo de fondos. Página web:

<https://www.dolarsi.com/necesito-armar-flujo-fondos/>[Fecha de consulta: 11/11/2019]

Sitio en línea del Banco Internacional del Desarrollo, sobre las tasas de interés de sus productos. Página web:

<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-1436601171-378>[Fecha de consulta: 11/11/2019]

Gabilos.com, sitio dedicado a información y compra de software de gestión, sobre las formulas del VAN y el TIR. Página web:

https://www.gabilos.com/calculadoras/van_tir/definiciones_van_tir.htm[Fecha de consulta: 11/11/2019]

economíaFinanzas.com, sitio informativo sobre las variables económicas y financieras y los cambios en ellas. Consultado acerca de las definiciones del VAN y el TIR. Página web:

<https://www.economiafinanzas.com/que-son-van-tir/>[Fecha de consulta: 11/11/2019]

https://www.cac.com.ar/comunicado/la_cac_firmo_la_paritaria_de_comercio_11111
[Fecha de consulta: 8/11/2019]

http://www.som.org.ar/escalas_2019/201911_JornadaCompleta.pdf [Fecha de consulta: 8/11/2019]

<http://www.sutcapra.org.ar/acuerdo-paritario-sutcapra/> [Fecha de consulta: 8/11/2019]

http://www.uoma.org.ar/PDF/Cepa/Acu_cep2019.pdf [Fecha de consulta: 8/11/2019]

https://www.enersa.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/2019_CUADRO-TARIFARIO_11_2019.pdf [Fecha de consulta: 8/11/2019]

<https://www.gasnea.com.ar/descargas/Entre%20Rios%20-%202001c%20TARIFAS%20SERVICIO%20COMPLETO%201%20DE%20JUNIO%20DE%202019.pdf> [Fecha de consulta: 8/11/2019]