



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

**INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN
DE BIOMASA DE PINO**

Autor:

VILLAHOZ LOZANO, RAQUEL

Tutor:

ALONSO SANCHEZ, GLORIA

ESTHER

Departamento:

INGENIERÍA QUÍMICA y TMA

Valladolid, Junio de 2015.

1.ÍNDICE

1.ÍNDICE	1
2. RESUMEN	4
3. ANTECEDENTES	6
3.1 INTRODUCCIÓN	6
3.2 APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA	6
3.2.1 DEFINICIÓN DE LA BIOMASA	6
3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA	7
3.2.3 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA EN CASTILLA Y LEÓN	8
3.2.4 LA BIOMASA COMO MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS QUIMICOS	11
3.3 PRODUCTOS OBTENIDOS.....	11
3.3.1 ARABITOL	11
3.3.2 XILITOL	12
3.3.3 SORBITOL.....	13
3.3.4 MANITOL.....	13
3.3.5 LIGNINA.....	14
4. OBJETIVOS Y VIABILIDAD	16
5. INGENIERÍA BÁSICA	18
5.1 BASES DE DISEÑO	18
5.2 ALTERNATIVAS	19
5.2.1 ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO.....	19
5.2.2 EXTRACCIÓN	20
5.2.3 HIDROLISIS.....	20
5.2.4 HIDROGENACIÓN HEMICELULOSA.....	21
5.2.5 HIDROGENACIÓN GLUCOSA	21
5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:	22
5.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES.....	22
5.3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	22
5.3.3 DIAGRAMA DE FLUJO	23
5.3.4 DESCRIPCIÓN DETALLADA	23
5.3.5 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA	25
5.4 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS.....	34
5.4.1 LISTA DE EQUIPOS.....	34
5.4.2 DIMENSIONADO DE EQUIPOS.....	36
5.4.3 HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS.....	55
5.5 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	60
5.5.1 ESTRATEGIA DE CONTROL	60
5.5.2 CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE	61
5.5.3DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....	65
6 SEGURIDAD	67
6.1 HAZOP	67
6.2 CLASIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD	72

7. IMPACTO AMBIENTAL	76
8. EVALUACIÓN ECONÓMICA	81
9. SIMBOLOGÍA	89
10. BIBLIOGRAFÍA.....	92
11. ANEXO.....	96
11.1 DIAGRAMAS.....	96
11.2 HOJAS DE SEGURIDAD	98

2

RESUMEN

2. RESUMEN

El desarrollo de este proyecto tiene como fin, la hidrogenación de biomasa de pino para la obtención de productos útiles.

La instalación tiene una capacidad de 65kg/día de biomasa de pino, recogida del suelo de los pinares, que inicia el proceso pasando por etapas de acondicionamiento de eliminación de metales y tierra. Se lleva a un extractor donde se extraen hemicelulosas utilizando agua caliente como disolvente y estas se llevan a un hidrogenador, del que se obtienen como productos: 4.85kg/día de xilitol y 0,53kg/día de arabitól. El resto del extracto sólido, compuesto principalmente por lignina y celulosa, se lleva a un tanque de hidrólisis enzimática donde la celulosa se hidroliza a glucosa, para posteriormente hidrogenarla, en 777,8kg/día de sorbitol y 40,95kg/día de manitol. El sólido no hidrolizado está formado por lignina, y el resto de sólidos no hidrolizables en estas condiciones y constituyen el subproducto del proceso.

Palabras clave: Dimensionado de equipos, biomasa, hidrogenación, xilitol y sorbitol.

Abstract:

The objective of this project is the hydrogenation of pine biomass to obtain useful products.

An amount of 65kg/day of pine biomass is fed in this plant, which is picked up ground of pine wood. Firstly, this biomass goes through few stages of conditioning (in which the earth and metals are removed). This biomass then, is carried to a extractor where hemicelluloses are extracted with hot water and they are carried out to an hydrogenator for the obtention of 4.85kg/day of xylitol and 0,53kg/day of arabitól. The remaining solid in the extractor is mainly made of cellulose and lignin, and is carried to an enzymatic hydrolyser for the formation of glucoses from the cellulose. These glucoses are subsequently hydrogenated to 777,8kg/day of sorbitol and 40,95kg/day of mannitol. The non-hydrolyzed solid is the main by-product of the process.

Keywords: Equipment design, biomass, hydrogenation, xylitol and sorbitol.

3

ANTECEDENTES

3. ANTECEDENTES

3.1 INTRODUCCIÓN

En este proyecto se presenta una planta de hidrogenación de biomasa de pino, para obtener como productos: arabitol y xilitol, sorbitol y manitol.

El uso de biomasa de pino tiene como objetivo el aprovechamiento de materias naturales de la región de Castilla y León para obtener una serie de productos. Estas materias naturales podrían ser consideradas como residuos, pero al darlas un uso (la obtención de una serie de productos) son consideradas biomasa útil.

La materia prima de esta planta será la biomasa forestal de Castilla y León, en concreto la madera de pinos que será descrita con mayor detalle en el siguiente apartado.

Otro aspecto importante que se trata en este apartado de antecedentes es la obtención de estos productos químicos.

3.2 APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA

3.2.1 DEFINICIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Es decir, se entiende por biomasa toda materia orgánica que tiene su origen en un proceso biológico. De esta forma se puede clasificar según su origen en:

- Biomasa natural: la que se produce en ecosistemas naturales, sin intervención humana.
- Biomasa forestal: incluye los residuos producidos por industrias forestales y agrícolas, los residuos sólidos urbanos y los residuos biodegradables como efluentes ganaderos, aguas residuales urbanas, etc.
- Cultivos energéticos: realizados con el único objeto de su aprovechamiento energético, caracterizados por una gran producción de materia viva por unidad de tiempo.

La biomasa siempre ha sido utilizada por la civilización como fuente de energía o de alimentos imprescindibles en el desarrollo. Actualmente es muy utilizada por las industrias la biomasa residual, que son sustancias orgánicas, procedentes del uso, transformación y consumo de la biomasa vegetal o primaria, y que tienen un contenido energético importante. Es decir es muy útil la reutilización de la biomasa para poder exprimir sus recursos al máximo [1], [2].

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA

Al describir los componentes químicos de la madera, suele distinguirse entre componentes de la pared celular y materia extraña. Los componentes de la pared celular son la lignina y los polisacáridos totales, constituidos por celulosa y hemicelulosa.

La materia extraña está constituida por sustancias que pueden separarse por extracción con disolventes no reactivos, residuos de proteínas del protoplasma de la célula en crecimiento y componentes minerales, algunos muy difíciles de eliminar.

En la figura 1 se pueden observar estos componentes:

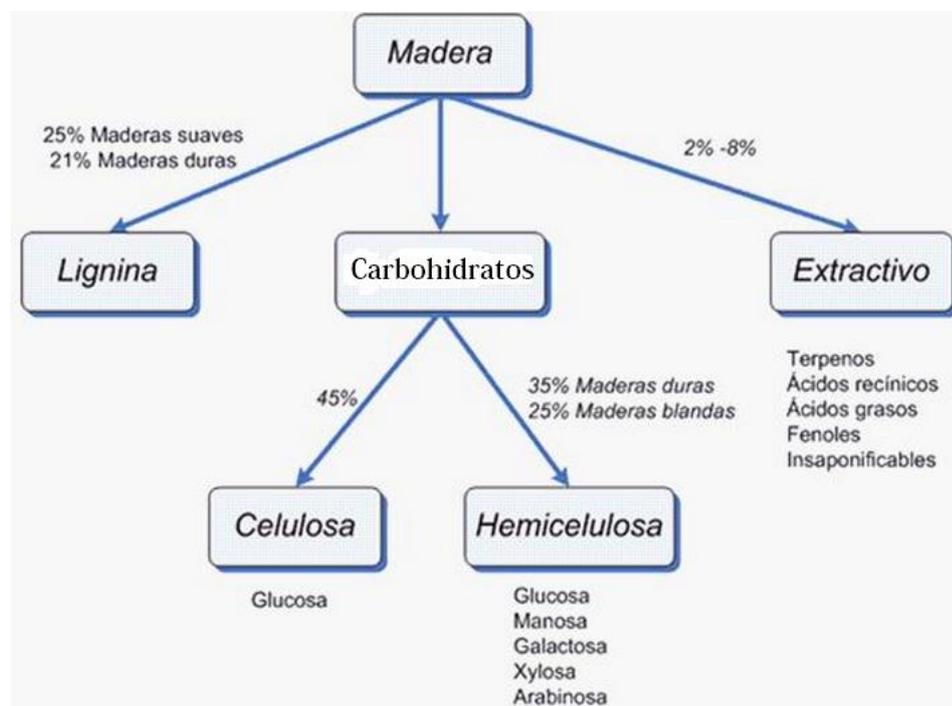


Figura 1: Componentes de la madera de pino

La madera contiene agua de constitución, inerte a su naturaleza orgánica, agua de saturación, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y agua libre, absorbida por capilaridad.

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera está secada al aire.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua [3].

3.2.3 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA EN CASTILLA Y LEÓN

La parte estructurada de la biomasa está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa (polímero cristalino) y la hemicelulosa (polímero amorfo) corresponden con un porcentaje que varía entre el 60% y el 75% de la biomasa total en seco. La lignina (compuesto poliaromático) completa el porcentaje. En la figura 2 se muestran sus composiciones químicas, y en la figura 3 se puede ver la estructura de la biomasa:

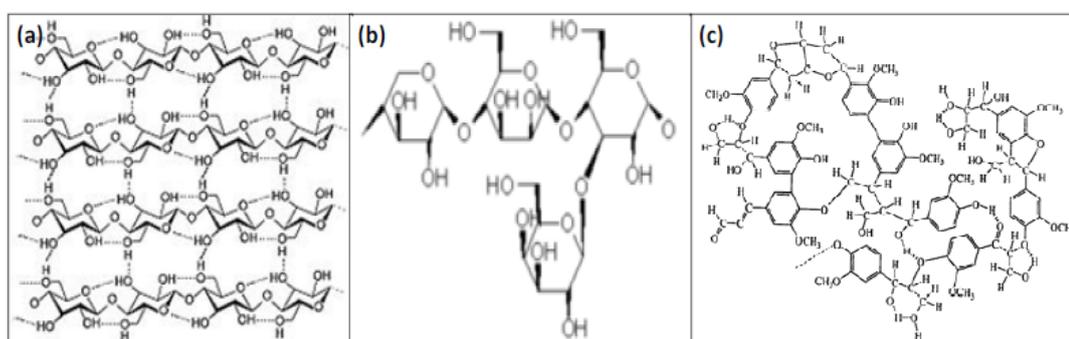


Figura 2: Estructuras químicas de las principales fracciones biomásicas: (a) celulosa; (b) hemicelulosa; (c) lignina.

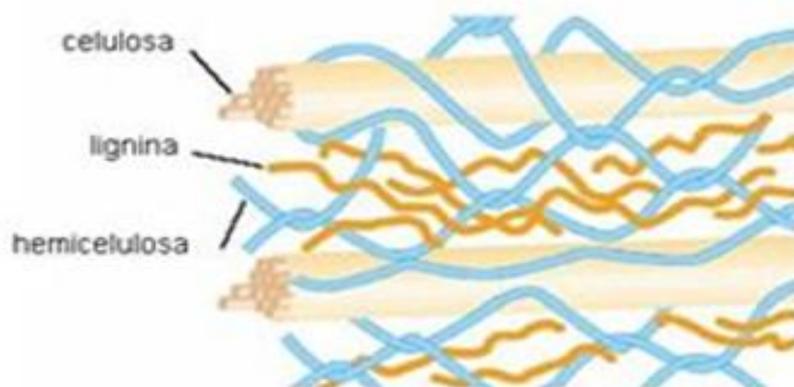


Figura 3: estructura de la madera

3.2.4.1 Celulosa

La celulosa está formada por la polimerización lineal de moléculas de glucosa unidas mediante enlaces β -1,4-O-glucosídicos. Las unidades de glucosa forman disacáridos que se repiten resultando una larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$ con un valor mínimo de $n=200$. Este tipo de enlaces obliga a la rotación de 180° , lo que

facilita la formación de puentes de hidrógeno que dan lugar a la estructura cristalina de la celulosa, de gran fortaleza. Se puede ver su estructura en la figura 4:

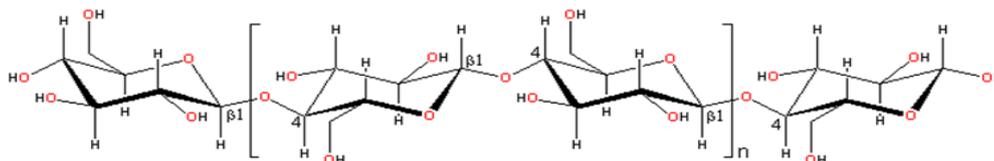


Figura 4: cadena de celulosa

Es el componente principal de las paredes celulares de los vegetales y el polímero mayoritario del planeta, tiene una estructura fibrosa, es blanca, muy estable y resistente al ataque químico y a la tracción mecánica. Requiere de enzimas muy específicas para poder ser hidrolizada.

3.2.4.2 Hemicelulosa

Las hemicelulosas forman cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa y no tienen, por tanto, zonas cristalinas. Además, los puentes de hidrógeno son menos eficaces, y hace a las hemicelulosas más accesibles al ataque de reactivos. Y su estado desordenado y su bajo peso molecular hacen que la degradación de las hemicelulosas sea mucho más rápida.

Los monómeros que constituyen las hemicelulosas son principalmente monosacáridos unidos por enlaces β -1,4-O-glucosídicos. Los monosacáridos principales que se encuentran en las hemicelulosas son: tres hexosas: glucosa, manosa y galactosa y dos pentosas: la xilosa y la arabinosa. En las figuras 5 y 6 se pueden ver las estructuras de estas hemicelulosas.

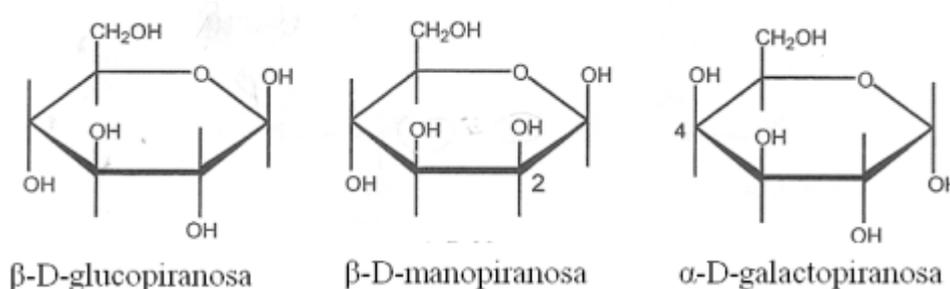


Figura 5: Principales hexosas presentes en las hemicelulosas

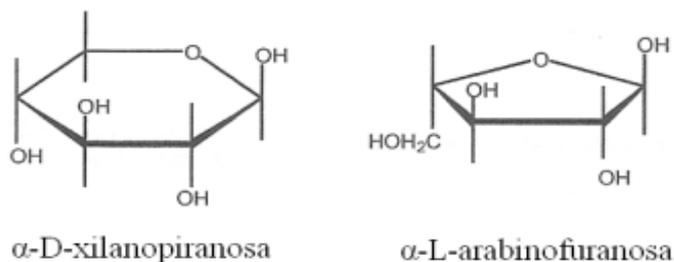


Figura 6: Principales pentosas presentes en las hemicelulosas

3.2.4.3 Lignina

La lignina actúa como aglomerante o adhesivo que mantiene unidos los demás componentes entre sí. Posee propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén.

La lignina no es un carbohidrato, es un polímero aromático constituido por unidades de fenilpropano, como se puede ver en la imagen 5. Se trata de un polímero tridimensional formado por la condensación de precursores fenólicos que se encadenan originando moléculas gigantescas con una estructura muy ramificada y amorfa y que pueden reaccionar por todas partes con otras próximas y unirse químicamente a ellas. La figura 7 muestra la estructura de este polímero:

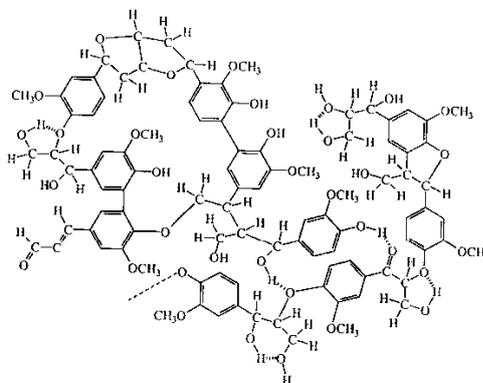


Figura 7: Lignina

Este encadenamiento es desordenado, además su disposición espacial le da rigidez y resistencia a las fuerzas de compresión.

En este proyecto la lignina será un subproducto obtenido, al que no se le realizará ningún tratamiento. [4]

3.2.4 LA BIOMASA COMO MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

La radiación solar, los vientos, mareas y la biomasa se consideran fuentes renovables. Todas ellas pueden usarse como fuentes de energía renovable, pero la biomasa puede producir además materiales y productos químicos.

La biomasa será la única fuente de materias primas básicas una vez que se agoten las fuentes fósiles. Algunas de las materias primas para la industria química vienen directamente de las anteriores por fuentes renovables para la producción de materias primas y energía por medio de una simple extracción, pero gran número de los productos básicos requieren la transformación de esas fuentes. [5]

Diferentes productos:

- Los biocombustibles sólidos más importantes, combustibles de tipo primario, son los constituidos por materiales lignocelulósicos procedentes del sector agrícola o forestal y de las industrias de transformación que producen este tipo de residuos.
- Los biocombustibles líquidos o biocarburantes se aplica a una serie de productos de origen biológico utilizables como combustibles de sustitución de los derivados de petróleo o como aditivos de éstos para su uso en motores. Actualmente sólo son comerciales los de primera generación, etanol y biodiesel. En ambos casos las materias primas de las que proceden tienen también uso alimentario.
- El bioetanol se obtiene por fermentación de los azúcares procedentes, principalmente, de caña de azúcar y maíz, siendo el biocarburante que se produce en mayor cantidad en el mundo.
- El biodiesel es un biocarburante líquido que está constituido por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales y que se emplean en motores de ignición por compresión. [6]
- Productos obtenidos de residuos de madera de pino, como los que se citaran en el siguiente apartado, y que son objeto de análisis en este proyecto.

3.3 PRODUCTOS OBTENIDOS

3.3.1 ARABITOL

El arabitol es un polialcohol empleado frecuentemente como edulcorante artificial en la industria de la alimentación. Puede ser obtenido por reducción de la arabinosa (compuesto del que proviene su denominación) o xilosa. Son muy conocidos dos isómeros que son la D-arabitol (contribuye en la síntesis

del glucógeno) y la L-arabitol como resultado del metabolismo de ciertas bacterias como se puede ver en la figura 8:

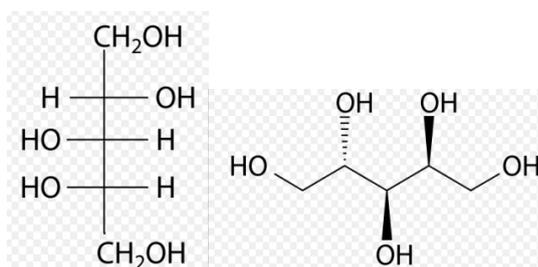


Figura 8: formula de arabitol

El principal uso del arabitol es como edulcorante, no obstante existen otras aplicaciones como en análisis bioquímico de trazas de esporas en la atmósfera. Se ha detectado trazas de arabitol en vinos blancos

3.3.2 XILITOL

Es un sólido cristalino que se puede presentar en cristales ortorrómbicos cuyo punto de fusión está entre 93-95°C o en una forma metaestable como cristales monocíclicos con punto de fusión 61°C. Su fórmula química: $C_5H_{12}O_5$ con peso molecular 151,1g/mol. Se puede ver su estructura en la figura 9:

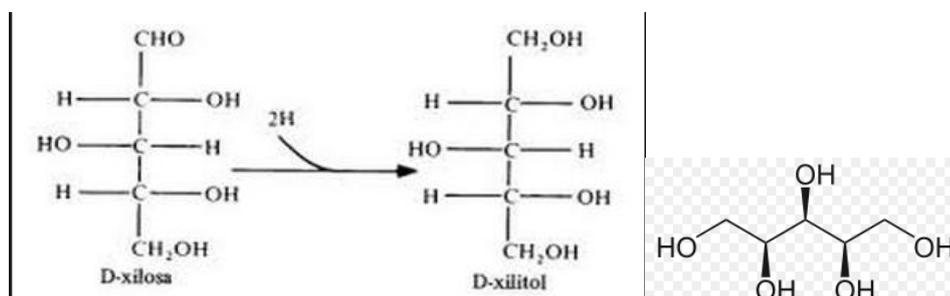


Figura 9: formula de Xilitol

Altamente estable en solución y en las condiciones normales de procesamiento de alimentos. Es similar a la sacarosa, pero menos higroscópico que el sorbitol y la fructosa, por esto se utiliza como un sustituto de la sacarosa en los alimentos para diabéticos debido a que no se requiere de insulina para su metabolismo. [7]

En cuanto a la alimentación es adecuado para ser utilizado en la preparación de postres “sanos” y en todas las preparaciones a base de azúcar como por ejemplo: en las bebidas en las que se usa sacarosa, en dulces tales como helados, chocolate, caramelos, goma de mascar, aunque es más habitual usar sorbitol para esto, ya que es más barato y fácil de hacer estos productos. Las propiedades anti-bacterianas tan típicas de xilitol determinan su poder anti-caries.

En cuanto a los usos en medicina, se utiliza para prevenir infecciones de oído en los niños pequeños. Y como se explicó arriba se añade a algunos chicles y otros productos de cuidado oral para prevenir la caries dental y la boca seca. Además el xilitol se une al calcio para facilitar su absorción y esto ayuda a aumentar la densidad ósea. Por esta razón, en los Estados Unidos ya se utiliza como una terapia para combatir la osteoporosis. [8]

3.3.3 SORBITOL

Su peso molecular es de 182, es cristalino, se funde a 110°C y es isomérico con el manitol, su solución es transparente, incolora, de consistencia de jarabe, sabor dulce y es esencialmente inodora. Es miscible en agua, glicerina y propilenglicol, además de ser ligeramente soluble en alcohol y prácticamente insoluble en otros disolventes orgánicos comunes.

Su fórmula se ve en la figura 10:

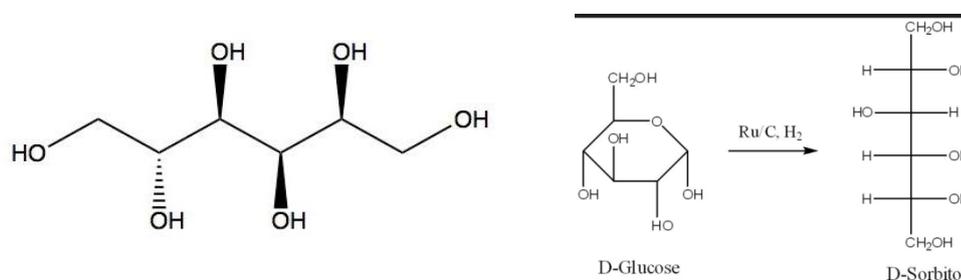


Figura 10: Estructura del sorbitol

El sorbitol es casi la mitad de dulce que la sacarosa. Por vía oral tiene efecto laxante o catártico. [9]

El sorbitol tiene propiedades humectantes y estabilizantes, usándose en varios productos farmacéuticos y cosméticos, incluyendo dentífricos. También permite la solubilidad de muchos principios activos y su posterior incorporación a las formas farmacéuticas tópicas. [10]

3.3.4 MANITOL

Su fórmula es $C_6H_{14}O_6$. Su peso molecular es de 182'17. Su temperatura de fusión es de 166. Se suele presentar como polvo blanco, inodoro y cristalino. En la siguiente figura 11, se puede ver la fórmula del manitol:

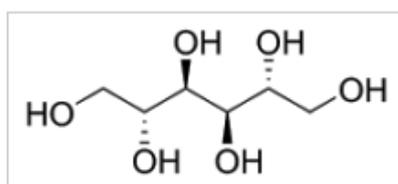


Figura 11: Estructura del manitol

Tiene varios usos:

En la industria: Como edulcorante común y en los alimentos dietéticos. También se utiliza para la fabricación de chicles, resina... y para sustituir la glucosa en especialidades farmacéuticas.

Es higroscópico, es decir, que no absorbe humedad de la atmósfera. Esto hace que sea muy adecuado como revestimiento duro para el caramelo, y le da ciertas cualidades deseables en recubrimientos de sabor a chocolate. Al igual que otros alcoholes de azúcar tiene un efecto laxante, y de hecho se utiliza para este propósito en ciertos medicamentos, especialmente para los niños

En medicina: Se puede utilizar como sustituto del plasma sanguíneo en casos de hemorragia. También se utiliza como diurético en situaciones agudas. Se utiliza para reducir la presión intracraneal, el edema cerebral, y la presión intraocular, y para promover la diuresis en la prevención y/o tratamiento de la oliguria en pacientes con insuficiencia renal aguda. Se utiliza como una medida adicional en el tratamiento de apoyo del edema de diversos orígenes. El manitol también se usa solo o en combinación con otros agentes diuréticos para promover la excreción urinaria de tóxicos tales como salicilatos, barbitúricos, litio, y bromuros. [11]

3.3.5 LIGNINA

Es uno de los componentes principales de la madera, el cuál se obtiene al separar la hemicelulosa y la celulosa, pero la obtención de productos a partir de este no es objeto de este proyecto.

La primera aplicación medicinal de la lignina que se tiene referencia fue la utilización de la lignina hidrolítica en la producción de un preparado para el tratamiento de trastornos agudos del estómago y el intestino basado en su gran poder de adsorción.

Es difícilmente atacable, por el hecho de que sus enlaces necesitan una alta energía de activación para la despolimerización en sus unidades, por esto y junto a la notable diversidad de la lignina, son las dos razones que hacen que muy pocos microorganismos sean capaces de atravesarla, esto le da un gran poder antibiótico. [12], [13]

4

OBJETIVOS Y VIABILIDAD

4. OBJETIVOS Y VIABILIDAD

Este Trabajo Fin de Grado tiene como principal objetivo la propuesta y el dimensionado de una instalación para la hidrogenación de biomasa de pino, utilizando agua caliente y enzimas para el fraccionamiento e hidrólisis de la biomasa.

Los objetivos concretos son:

- Proponer una secuencia de etapas para obtener xilitol y sorbitol a partir de madera de pino.
- Realizar balances de materia para una capacidad de tratamiento de 65 kg/día.
- Dimensionar y especificar los equipos más importantes de la instalación
- Proponer los principales lazos de control para la operación del proceso

5

INGENIERÍA BÁSICA

5. INGENIERÍA BÁSICA

5.1 BASES DE DISEÑO

➤ **Ubicación y capacidad de la planta:**

La planta de aprovechamiento de biomasa forestal se ha elegido ubicarla en Valladolid, provincia de Castilla y León, y por lo tanto la biomasa utilizada es del pino resinero de Castilla y León.

Como base de cálculo se ha decidido tomar 5kg/h de alimentación de biomasa.

➤ **Temperatura ambiente:**

Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 735
 Latitud: 41° 38' 27" N - Longitud: 4° 45' 16" O - Posición: Ver localización

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	4.2	8.2	0.2	40	83	6.3	3.0	0.0	10.4	15.9	3.5	101
Febrero	5.9	11.2	0.7	27	72	5.2	2.1	0.1	3.7	12.8	4.3	147
Marzo	9.0	15.2	2.8	22	62	4.8	0.8	0.2	1.6	6.7	6.0	215
Abril	10.7	16.9	4.6	46	62	7.8	0.8	1.4	0.9	2.3	3.9	232
Mayo	14.5	21.0	7.9	49	60	7.9	0.0	3.6	0.9	0.3	3.5	272
Junio	19.3	27.0	11.6	29	52	4.5	0.0	3.6	0.6	0.0	7.8	322
Julio	22.3	30.7	14.0	13	45	2.1	0.0	2.9	0.3	0.0	14.1	363
Agosto	22.1	30.1	14.1	16	48	2.3	0.0	2.6	0.2	0.0	11.8	334
Septiembre	18.5	25.6	11.3	31	56	4.3	0.0	1.8	0.9	0.0	7.5	254
Octubre	13.2	18.9	7.6	55	70	7.5	0.0	0.7	3.0	0.5	4.2	182
Noviembre	7.9	12.4	3.5	52	79	7.1	0.7	0.1	7.1	5.8	3.5	117
Diciembre	5.0	8.6	1.3	53	84	7.7	1.4	0.0	9.2	12.4	3.2	89
Año	12.7	18.8	6.6	433	64	67.7	-	17.5	39.8	56.2	72.8	2624

Leyenda
 T Temperatura media mensual/anual (°C)
 TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
 Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
 R Precipitación mensual/anual media (mm)
 H Humedad relativa media (%)
 DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
 DN Número medio mensual/anual de días de nieve
 DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
 DF Número medio mensual/anual de días de niebla
 DH Número medio mensual/anual de días de helada
 DD Número medio mensual/anual de días despejados
 I Número medio mensual/anual de horas de sol

Figura 12: Valores climatológicos normales en Valladolid

Observando las estadísticas recogidas en la Figura 12, que es un resumen de los datos de temperatura obtenidos de últimos 20 años en Valladolid, se ha decidido tomar como temperatura media ambiente para este proyecto la temperatura de 15°C que es lo que más se asemeja a la temperatura media en Valladolid. [14]

➤ **Presión ambiente:**

Para decidir que presión media tomar se ha observado la siguiente gráfica en la figura 13 junto con una tabla 1:

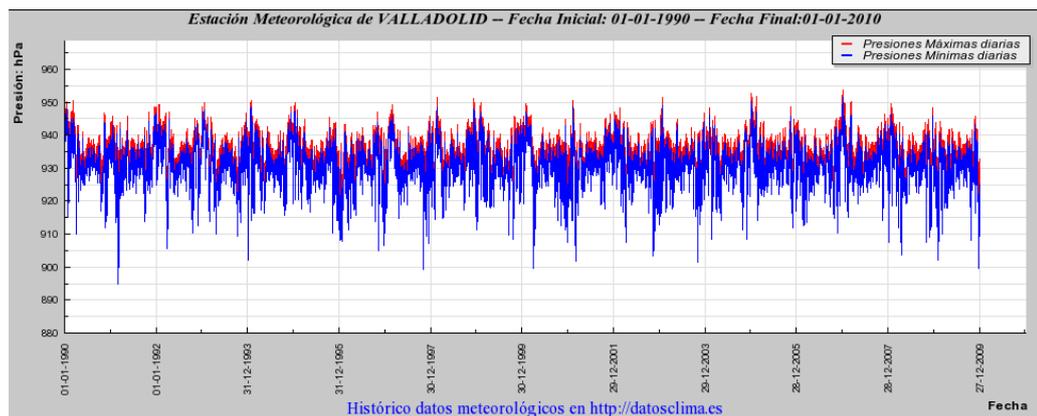


Figura 13: presión media en Valladolid

Tabla 1: Presión en Valladolid

CARACTERÍSTICA / VALOR	(Presión hPa)	FECHA
Presión Máxima más alta Registrada:	953.9	02-01-2007
Presión Máxima más baja Registrada:	904.9	07-03-1991
Presión Mínima más alta Registrada:	951.7	02-01-2007
Presión Mínima más baja Registrada:	895.4	07-03-1991
Mayor diferencia de Presión en un mismo día (Tmax-Tmin):	23.7	05-03-2006
Mayor ascenso de Presión Máxima en 24 h:	20.4	entre 31-10-2003 y 01-11-2003
Mayor ascenso de Presión Mínima en 24 h:	23.4	entre 05-03-2006 y 06-03-2006
Mayor descenso de Presión máxima en 24h:	21.8	entre 05-01-1994 y 06-01-1994
Mayor descenso de Presión mínima en 24 h:	19.3	entre 04-11-2000 y 05-11-2000

Observando la gráfica y viendo las oscilaciones, se ha decidido tomar como presión ambiente 1 atm. [15]

5.2 ALTERNATIVAS

A continuación se explican las diferentes alternativas que se han presentado y la opción elegida en función de las principales etapas de este proceso.

5.2.1 ETAPAS DE ACONDICIONAMIENTO

Cuando la biomasa llega a la planta, es necesario realizar una serie de operaciones previas con el fin de prepararla para la extracción de los componentes de interés. Debido a que esta biomasa, se recoge del suelo de pinares y por tanto puede encontrarse en granos, en tablones,... y además puede contener otras sustancias consideradas residuos en este proyecto. Las etapas seleccionadas han sido:

- Eliminación de metales: este proceso se ha elegido debido a que a la hora de recoger al madera no se coge fragmento a fragmento, si no que se hace un barrido, y en el suelo puede haber muchas cosas, entre las cuales puede haber metales.

- Eliminación de piedras y tierra: de la misma manera que lo explicado anteriormente, al hacer un barrido de la madera, se arrastran piedras y tierra del suelo, y esto es necesario eliminarlo.

-Otra posible etapa podría ser el secado de esta madera. En el caso de este proyecto no se ha considerado necesario ya que en etapas posteriores se añadirá más agua, por lo tanto no es necesario quitarlo anteriormente.

-Como última etapa se hace una reducción de tamaño de la madera para facilitar su procesamiento y su introducción en los reactores posteriores.

5.2.2 EXTRACCIÓN

5.2.2.1 Tipo de reactor

Para la extracción se utiliza un reactor trifásico como pueden ser de lecho fijo o de lecho móvil: lecho fluidizado, slurry bubble colum o trickle bed.

La columna de flujo descendente en paralelo, con relleno de catalizador, puede operar en dos regímenes: el régimen "trickle flow" cuando la fase gas es continua y la fase líquida es dispersada, y el régimen "bubble flow", cuando la fase líquida es continua y el gas se dispersa. [16]

Pero el seleccionado es el reactor de lecho fluidizado, donde el lecho, es decir, el relleno es la biomasa. Y la diferencia principal con el de lecho fijo, es que el agua se mete en dirección contraria a la corriente del proceso, de manera que hace fluidizar todo el lecho, y se consigue obtener una mejor separación.

El disolvente seleccionado es el agua.

5.2.3 HIDROLISIS

5.2.3.1 Agente de hidrólisis

Para romper las moléculas de celulosa que salen como resto sólido del extractor se podrían usar diferentes alternativas como: usar un ácido, una base o una enzima.

Se ha preferido utilizar una enzima, porque es de tipo biológico y no químico como son el ácido o la base. Es más ecológico usar algo biológico, que no es tan dañino para el medio ambiente. Por eso se utiliza la enzima celulasa.

5.2.3.2 Tipo de reactor

El reactor elegido es un tanque agitado y se ha decidido ponerle encamisado, para calentar y mantener las condiciones de operación deseadas, también se usa para mantener refrigerada la biomasa en el proceso de llenado del tanque. Se elige usarle agitado, para ayudar a la enzima a romper las moléculas.

5.2.4 HIDROGENACIÓN HEMICELULOSA

5.2.4.1 Tipo de reactor

La primera intención fue llevar a cabo esta hidrogenación en un reactor de lecho fijo, pero una vez hechos los cálculos, se pudo ver que la cantidad de catalizador necesaria era demasiado pequeña, lo cual es incompatible con tener un lecho fijo porque el lecho casi no ocupa nada.

Por esta razón se ha decidido poner un CSTR (tanque agitado en continuo con cesta). De esta forma las partículas están en una cesta, pero el fluido entra por ella.

5.2.4.2 Catalizador

El catalizador utilizado es Pt-Sn/Al₂O₃, del cual se han obtenido datos en bibliografía.

5.2.4.3 Disolvente seleccionado

Se ha decidido utilizar hidrógeno como gas en contacto con la corriente líquida de hemicelulosa y agua.

5.2.5 HIDROGENACIÓN GLUCOSA

5.2.4.1 Tipo de reactor

Sucede exactamente lo mismo que en el caso anterior.

Por esta razón se ha decidido poner un CSTR (tanque agitado en continuo con cesta). De esta forma las partículas están en una cesta, pero el fluido entra por ella.

5.2.4.2 Catalizador

En este caso el catalizador utilizado es Ru/SiO₂, es utilizado en el laboratorio y del que se han obtenido datos en concreto.

5.2.4.3 Disolvente seleccionado

Se ha decidido utilizar hidrógeno como gas en contacto con la corriente líquida de glucosa, como para el caso anterior.

5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

5.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques se encuentra en el apartado de anexos en la sección de diagramas, el primero.

5.3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La biomasa (madera de pino) que llega a la planta se ha obtenido del suelo de los pinares, con lo cual puede llegar con muchos residuos, por eso lo primero que se hace con la biomasa es someterla a una serie de etapas de acondicionamiento. Primero se eliminan los posibles metales que pudiera haber en el suelo con la madera y después se utiliza un sedimentador para quitar la tierra y las piedras. Y por último se utiliza un triturador, para uniformizar y reducir el tamaño de toda la madera. Tras estas etapas se almacena la biomasa en un silo, donde está preparada para someterla a las etapas de procesamiento.

La primera etapa es la extracción de hemicelulosas, y tiene lugar en un reactor de lecho fluidizado que funciona por cargas de 25 minutos, por eso se dispone de dos reactores, para no tener parada la planta en el proceso de llenado o vaciado. Al reactor se le hace llegar la biomasa por medio de un tornillo sin fin, y esta se mezcla con agua a 20 bar y 190°C. De manera que se extrae un 60% de las hemicelulosas que forman la biomasa y junto con las hemicelulosas se va parte del agua.

Tras los 25 minutos se vacía el reactor con el sólido que ha quedado y este se lleva a un tanque agitado donde se hidroliza la celulosa para separar glucosas, el tanque es encamisado para mantener la temperatura de 50°C. Se adicionan enzimas de celulasa con un pH=5 donde obtienen el 100% de su actividad para romper las moléculas de celulosa. Esto también se realiza por cargas de 72 horas. Se dispone de otro tanque también, ya que inicialmente es necesario añadirle una disolución ácida a la enzima para bajarle el pH=7 a pH=5, y tras acabar la hidrólisis es necesario añadir una base para neutralizarla nuevamente y por último sacar el relleno sólido que queda que será lignina, con los restos.

Las hemicelulosas que salen del extractor junto con agua, se llevan a un reactor continuo de tanque agitado con cesta. Se usa como catalizador Pt-Sn/Al₂O₃ y se mete un flujo de hidrógeno a 190°C y 16 bar. Las arabinosas y xilosas que forman las hemicelulosas, se transforman en xilitol y arabitol como productos de interés.

Se hace prácticamente lo mismo con las glucosas obtenidas del tanque de hidrólisis, se meten a un reactor continuo de tanque agitado, pero con un

catalizador de Ru/SiO₂ y el hidrógeno se mete a 50 bar y 180°C. De aquí se obtiene principalmente sorbitol, pero con una pequeña cantidad de manitol.

5.3.3 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo (PFD) se encuentra en el apartado de anexos en la sección de diagramas, el segundo.

5.3.4 DESCRIPCIÓN DETALLADA

La biomasa es transportada hasta la planta, y ahí es donde comienza el proceso, se almacena en una tolva de recepción (F-110). Esta biomasa consiste en madera recogida del suelo de los pinares de Castilla y León. El flujo que se ha fijado como base de cálculo es 5kg/h. Se dispone de un tornillo sin fin (J-110) para transportar la biomasa al comenzar el proceso, y llevarla a una cinta transportadora (J-111) donde son extraídos los posibles metales que pudiera contener con un eliminador de metales (H-110). De la cinta transportadora la biomasa cae en un sedimentador (H-111), donde se separan todas las piedras y tierra que pudiera contener la madera. Toda esta biomasa se lleva a un triturador (C-110) donde se reduce de tamaño, y por último en esta etapa de acondicionamiento con un elevador (J-112) se lleva la biomasa a un silo (F-111) donde se almacena, ya lista para tratar.

El silo dispone de una válvula para regular el flujo de biomasa, y controlar cuándo se necesita sacar biomasa, de este silo la biomasa va a un tornillo sin fin (J-113) que alimenta el reactor (R-210 A/B), el cual es un extractor de lecho fluidizado. Este extractor opera por cargas de 25 minutos, por lo tanto, se ha decidido poner dos extractores, para no parar la planta, y mientras uno de los reactores está operando esos 25 minutos, el otro reactor puede ir vaciando el sólido que queda dentro y después se puede ir cargando. Para poder llevar esto a cabo se ha fijado el llenado en 10 minutos, así como el vaciado también de 10 minutos. Con este extractor lo que se consigue añadiendo agua (a 190°C y 20bar) es extraer las hemicelulosas presentes en la biomasa, se consiguen extraer el 60% de las que forman la biomasa, y se extraen en forma de un 90% de xilosa y un 10% de arabinosa, este extracto va saliendo de forma continua los 25 minutos del proceso de operación, sin embargo en este reactor se queda un sólido con todo lo que no se ha extraído hasta que es llevado al tanque de hidrólisis (R-310 A/B) por medio de una bomba de tornillo de sólidos (P-210).

El agua usada en el extractor se tiene almacenada en el tanque (F-410), se le da la presión de 20bar con la bomba (P-410) y se calienta de 15°C a 190°C con el calentador de agua (E-410).

Las hemicelulosas y el agua se extraen con la bomba (P-220) y se llevan a un reactor de hidrogenación (R-220) continuo de tanque agitado con cesta (con

un catalizador de Pt-Sn/Al₂O₃). Este reactor opera en continuo con un tiempo de residencia de 15 minutos y tiene una efectividad del 97,5%. Se mete hidrógeno (a 190°C y 16 bar) para transformar la xilosa y arabinosa que forman las hemicelulosas en xilitol y arabitol, que son dos de los productos que se quieren obtener. Por arriba saldrán gases de venteo (CH₄, CO₂, CO...).

El sólido se saca del extractor por medio de una bomba de tornillo para sólidos (P-210) y se lleva al tanque de agitación (R-310 A/B) que también opera por cargas, durante 72 horas. Se colocan por tanto dos reactores como en el caso del extractor, para que mientras uno opera las 72 horas, el otro se va llenando con diversas cargas, en total con 175 cargas durante 66 horas, ya que el extractor tan solo opera durante 25 minutos, es necesario llenar el tanque agitado con muchas cargas de este. En el segundo tanque también se añade la enzima celulasa, la cual se utiliza para hidrolizar la celulosa. Esta enzima viene líquida con un pH=7 y es necesario pasarla a pH=5 por necesidad de la enzima ya que con ese pH opera con la mayor efectividad, el agua que viene con el sólido también hay que pasarlo a pH=5, esto se hace añadiendo una disolución de ácido acético 0,05M en 1 hora y media, habiendo añadido en media hora la enzima primero. Un vez que ya ha operado el tanque se añade una disolución de NaOH 0,1M para neutralizar el sólido que queda. Y por último se vacía el tanque en 2 horas. El tanque agitado esta encamisado de manera que se hace pasar por la camisa agua caliente para tener el reactor a presión ambiente y 50°C, cuando el reactor se está llenando en vez de hacer pasar agua caliente se abre la válvula para que pase agua de refrigeración (4°C) y mantener así tanto la enzima como la biomasa fría, para que no se estropee. El 65% de la celulosa presente en el sólido se transforma en glucosa y va saliendo líquida con el 70% de agua durante las 72 horas que dura el proceso. El resto no hidrolizado queda sólido en el tanque.

Tanto la enzima como las disoluciones de ácido y base se tienen en sus respectivos tanques (F-510, F-511, F-512) y se llevan al tanque agitado con bombas, las disoluciones con bombas centrifugas (P-511, P-512) y la enzima con una bomba de membrana (P-510).

El sólido que queda en el tanque agitado se saca de dicho tanque y se lleva a almacenar. Este sólido está compuesto por lignina y el resto de productos que se han ido quedando y no se han transformado. La utilización posterior de este subproducto, queda fuera de los límites de batería de este trabajo, por tanto se almacena para venderlo o darlo a una empresa que lo trate.

La glucosa se saca con una bomba (P-310) y además se le da presión a 50 bar y posteriormente se calienta a 180°C con un calentador (E-310) y se lleva a un reactor de hidrogenación (R-320) continuo de tanque agitado con cesta.

Para este reactor se usa como catalizador Ru/SiO₂ y el tiempo de residencia es de 40 minutos. Se mete hidrógeno a 50bar y 180°C para la hidrogenación. Este reactor opera con un 95% de efectividad obteniéndose un 95% de sorbitol y un 5% de manitol, los otros dos productos de interés. Y por arriba también salen gases de venteo (CH₄, CO₂, CO...).

El hidrógeno se tiene en un tanque (F-610) y se saca en dos corrientes una que va al reactor (R-220) y otra que va al reactor (R-320) de manera que hay dos bombas la P-610 que le da al hidrógeno una presión de 16bar y la P-611 que le da una presión de 50bar. Y lo mismo con los intercambiadores de calor, el E-610 calienta el hidrógeno a 190°C y el E-611 lo calienta a 180°C.

5.3.5 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	1	2	3	4	5	6
DE	BIOMASA	F-110	J-110	J-111	H-111	C-110
A	F-110	J-110	J-111	H-111	C-110	J-112
FLUJO, kg/h	5,00	5,00	5,00	4,87	4,64	4,64
FLUJO, m3/h	0,0035	0,0035	0,00352	0,0034	0,0033	0,0033
P (bar)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T (°C)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
fvap	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ρ (kg/m3)	1419,70	1419,70	1419,70	1419,70	1419,70	1419,70
μ (pa*s)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Cp (kJ/KgK)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
H(KJ/Kg)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Q (KJ/h)						

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	0,14	0,14	0,14	0,00	0,00	0,00
TIERRA Y PIEDRAS	0,23	0,23	0,23	0,23	0,00	0,00
HEMICELULOSAS	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
CENIZAS	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
TOTAL (kg/h)	5,01	5,01	5,01	4,87	4,64	4,64

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	12,44	12,44	12,44	12,79	13,43	13,43
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	2,78	2,78	2,78	0,00	0,00	0,00
TIERRA Y PIEDRAS	4,63	4,63	4,63	4,76	0,00	0,00
HEMICELULOSAS	14,04	14,04	14,04	14,44	15,16	15,16
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	52,64	52,64	52,64	54,14	56,85	56,85
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	11,76	11,76	11,76	12,10	12,70	12,70
CENIZAS	1,86	1,86	1,86	1,91	2,01	2,01

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	7	8	9	10	11	12
DE	J-112	F-111	R-210	P-210	R-310	AGUA
A	F-111	R-210	P-210	R-310	LIGNINA	F-410
FLUJO, kg/h	4,64	4,64	18,61	18,61	117,74	96,00
FLUJO, m3/h	0,0033	0,0033	0,0150	0,01504	0,0924	0,0961
P (bar)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T (°C)	15,00	15,00	-	-	-	15,00
fvap	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ρ (kg/m3)	1419,70	1419,70	1237,80	1237,80	1274,31	999,10
μ (pa*s)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0,00114
Cp (kJ/KgK)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	4,19
H(KJ/Kg)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	63,12
Q (KJ/h)						

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	0,62	0,62	9,300	9,300	46,578	96,000
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	0,00	0,00	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	0,00	0,00	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	0,70	0,70	0,728	0,728	10,612	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	2,63	2,63	6,822	6,822	34,821	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	0,59	0,59	1,524	1,524	22,225	-
CENIZAS	0,09	0,09	0,240	0,240	3,500	-
TOTAL (kg/h)	4,64	4,64	18,61	18,61	117,74	96,00

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	13,43	13,43	49,96	49,96	39,56	100,00
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	0,00	0,00	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	0,00	0,00	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	15,16	15,16	3,91	3,91	9,01	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	56,85	56,85	36,65	36,65	29,58	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	12,70	12,70	8,19	8,19	18,88	-
CENIZAS	2,01	2,01	1,29	1,29	2,97	-

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	13	14	15	16	17	18
DE	F-410	P-410	E-410	R-210	P-220	R-220
A	P-410	E-410	R-210	P-220	R-220	ARA. Y XIL.
FLUJO, kg/h	96,00	96,00	96,00	93,35	93,35	88,68
FLUJO, m3/h	0,0961	0,0960	0,1095	0,1065	0,1061	0,1012
P (bar)	1,00	20,00	20,00	20,00	16,00	16,00
T (°C)	15,00	15,00	190,00	190,00	190,00	190,00
fvap	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ρ (kg/m3)	999,10	999,99	876,61	876,61	879,41	876,32
μ (pa*s)	0,00114	0,00011	0,000142	0,000142	0,000142	0,000142
Cp (kJ/KgK)	4,19	4,18	4,44	4,44	4,45	4,45
H(KJ/Kg)	63,12	64,93	807,77	807,77	807,57	807,57
Q (KJ/h)		74966,40	74966,40			

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	96,000	96,000	96,000	92,91	92,91	88,26
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	0,393	0,393	-
ARABINOSA	-	-	-	0,044	0,044	-
XILITOL	-	-	-	-	-	0,373
ARABITOL	-	-	-	-	-	0,041
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-
TOTAL (kg/h)	96,00	96,00	96,00	93,35	93,35	88,68

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	100,00	100,00	100,0	99,5	99,5	99,5
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	0,42	0,42	-
ARABINOSA	-	-	-	0,047	0,047	-
XILITOL	-	-	-	-	-	0,42
ARABITOL	-	-	-	-	-	0,047
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	19	20	21	22	23	24
DE	ENZIMA	F-510	P-510	R-310	P-310	E-310
A	F-510	P-510	R-310	P-310	E-310	R-320
FLUJO, kg/h	99,48	99,48	99,48	173,35	173,35	173,35
FLUJO, m3/h	0,0818	0,0818	0,0818	0,1452	0,1450	0,1531
P (bar)	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00
T (°C)	15,00	15,00	15,00	50,00	50,00	180,00
fvap	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ρ (kg/m3)	1216,8	1216,8	1216,8	1193,94	1195,23	1132,26
μ (pa*s)	N/D	N/D	N/D	0,00055	0,00055	0,00015
Cp (kJ/KgK)	N/D	N/D	N/D	4,18	4,17	4,39
H(KJ/Kg)	N/D	N/D	N/D	209,42	213,64	765,08
Q (KJ/h)					100752,48	100752,48

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	19,90	19,90	19,90	-	-	-
AGUA	79,58	79,58	79,58	108,68	108,68	108,68
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	64,665	64,665	64,665
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-
TOTAL (kg/h)	99,48	99,48	99,48	173,35	173,35	173,35

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	20,00	20,00	20,00	-	-	-
AGUA	80,00	80,00	80,00	62,70	62,70	62,70
H ₂	-	-	-	-	-	-
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	37,30	37,30	37,30
SORBITOL	-	-	-	-	-	-
MANITOL	-	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	25	26	27	28	29	30
DE	R-320	H-110	H-111	H2	F-610	P-610
A	SOR. Y MAN.	METALES	PIEDRAS	F-610	P-610	E-610
FLUJO, kg/h	168,84	0,14	0,23	9,50	1,88	1,88
FLUJO, m3/h	0,1491	N/D	N/D	113,025211	22,39	1,41
P (bar)	50,00	N/D	N/D	1	1	16
T (°C)	180,00	N/D	N/D	15	15	15
fvap	0,00	N/D	N/D	1	1	1
ρ (kg/m3)	1132,26	N/D	N/D	0,08409	0,08409	1,3335
μ (pa*s)	0,00015	N/D	N/D	8,7098E-06	8,7098E-06	0,00000874
Cp (kJ/KgK)	4,39	N/D	N/D	14,267	14,267	14,312
H(KJ/Kg)	765,08	N/D	N/D	3788,8	3788,8	3794,9
Q (KJ/h)						4789,50465

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	105,86	-	-	-	-	-
H ₂	-	-	-	9,50429	1,883	1,883
METALES	-	0,14	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	0,23	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	59,835	-	-	-	-	-
MANITOL	3,149	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-
TOTAL (kg/h)	168,84	0,14	0,23	9,50429	1,883	1,883

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	62,70	-	-	-	-	-
H ₂	-	-	-	100	100	100
METALES	-	100	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	100	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	-	-	-	-	-
ARABITOL	-	-	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	35,44	-	-	-	-	-
MANITOL	1,87	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	31	32	33	34	35	36
DE	E-610	R-220	V-311	P-611	E-611	R-320
A	R-220	V-311	P-611	E-611	R-320	V-311
FLUJO, kg/h	1,883	6,5503	7,62129	7,62129	7,62	12,13
FLUJO, m3/h	2,288	7,9590887	90,6325366	1,8664079	2,91	4,63
P (bar)	16	16	1	50	50	50
T (°C)	190	190	15	15	180	180
fvap	1	1	1	1	1	1
ρ (kg/m3)	0,823	0,823	0,08409	4,0834	2,619	2,619
μ (pa*s)	0,00001205	0,00001205	8,7098E-06	8,8307E-06	0,00001193	0,00001193
Cp (kJ/KgK)	14,517	14,517	14,267	14,405	14,548	14,548
H(KJ/Kg)	6325,8	6325,8	3788,8	3809,4	6204,5	6204,5
Q (KJ/h)	4789,50465			18310,6446	18310,6446	

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	-	4,6455	-	-	-	2,83
H ₂	1,883	1,883	7,62	7,62	7,62	7,62129
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	0,01965	-	-	-	-
ARABITOL	-	0,00218	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	1,5972255
MANITOL	-	-	-	-	-	0,0840645
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-
TOTAL (kg/h)	1,883	6,55033	7,62129	7,62129	7,62129	12,13

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-	-	-
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	-	70,920091	-	-	-	23,30
H ₂	100	28,7466433	100	100	100	62,8389767
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	-	0,29998489	-	-	-	-
ARABITOL	-	0,03328077	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	13,1694262
MANITOL	-	-	-	-	-	0,69312769
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO

CORRIENTE	37	38	39	40	41	42
DE	V-311	HAC.	F-511	P-511	NaOH	F-512
A	GASES	F-511	P-511	V-520	F-512	P-512
FLUJO, kg/h	18,68	2,1735	2,1735	2,1735	4,41	4,41
FLUJO, m3/h	N/D	0,00207	0,00207	0,00207	0,00207	0,00207
P (bar)	N/D	1	1	1	1	1
T (°C)	N/D	15	15	15	15	15
fvap	N/D	0	0	0	0	0
ρ (kg/m3)	N/D	1050	1050	1050	2130	2130
μ (pa*s)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Cp (kJ/KgK)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
H(KJ/Kg)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Q (KJ/h)						

Components, kg/h						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	2,1735	2,1735	2,1735	-	-
NaOH	-	-	-	-	4,41	4,41
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	7,471	-	-	-	-	-
H ₂	9,504	-	-	-	-	-
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	0,020	-	-	-	-	-
ARABITOL	0,002	-	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	1,597	-	-	-	-	-
MANITOL	0,084	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-
TOTAL (kg/h)	18,68	2,1735	2,1735	2,1735	4,4091	4,4091

Components, kg/kg						
ÁCIDIO ACÉTICO	-	100	100	100	-	-
NaOH	-	-	-	-	100	100
ENZIMA CELULASA	-	-	-	-	-	-
AGUA	40,00	-	-	-	-	-
H ₂	50,88	-	-	-	-	-
METALES	-	-	-	-	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-	-	-	-	-
HEMICELULOSAS	-	-	-	-	-	-
XILOSA	-	-	-	-	-	-
ARABINOSA	-	-	-	-	-	-
XILITOL	0,11	-	-	-	-	-
ARABITOL	0,01	-	-	-	-	-
CELULOSA	-	-	-	-	-	-
GLUCOSA	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	8,55	-	-	-	-	-
MANITOL	0,45	-	-	-	-	-
LIGNINA	-	-	-	-	-	-
CENIZAS	-	-	-	-	-	-

CORRIENTE	43	44
DE	P-512	V-520
A	V-520	R-310
FLUJO, kg/h	4,41	DEPENDE
FLUJO, m3/h	0,00207	DEPENDE
P (bar)	1	1
T (°C)	15	15
fvap	0	0
ρ (kg/m3)	2130	DEPENDE
μ (pa*s)	N/D	N/D
Cp (kJ/KgK)	N/D	N/D
H(KJ/Kg)	N/D	N/D
Q (KJ/h)		

Components, kg/h		
ÁCIDIO ACÉTICO	-	DEPENDE
NaOH	4,41	DEPENDE
ENZIMA CELULASA	-	-
AGUA	-	-
H ₂	-	-
METALES	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-
HEMICELULOSAS	-	-
XILOSA	-	-
ARABINOSA	-	-
XILITOL	-	-
ARABITOL	-	-
CELULOSA	-	-
GLUCOSA	-	-
SORBITOL	-	-
MANITOL	-	-
LIGNINA	-	-
CENIZAS	-	-
TOTAL (kg/h)	4,4091	

Components, kg/kg		
ÁCIDIO ACÉTICO	-	DEPENDE
NaOH	100	DEPENDE
ENZIMA CELULASA	-	-
AGUA	-	-
H ₂	-	-
METALES	-	-
TIERRA Y PIEDRAS	-	-
HEMICELULOSAS	-	-
XILOSA	-	-
ARABINOSA	-	-
XILITOL	-	-
ARABITOL	-	-
CELULOSA	-	-
GLUCOSA	-	-
SORBITOL	-	-
MANITOL	-	-
LIGNINA	-	-
CENIZAS	-	-

5.4 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

5.4.1 LISTA DE EQUIPOS

				<h2 style="text-align: center;">LISTA DE EQUIPOS</h2>	
Universidad de Valladolid					
REV.	ESTHER				UNIDAD
FECHA	06/04/2015				
POR	RAQUEL				CLIENTE UVA
APROB.					LOCALIZACIÓN VALLADOLID
REV.	EQUIPOS	CANTIDAD	DESCRIPCION	DRIVER	NOTAS
1	F-110	1	TOLVA DE RECEPCIÓN DE BIOMASA		
2	J-110	1	TORNILLO SIN FIN DE BIOMASA		
3	J-111	1	CINTA TRANSPORTADORA BIOMASA		
4	H-110	1	ELIMINADOR DE METALES		
5	H-111	1	SEDIMENTADOR PIEDRAS Y TIERRA		
6	C-110	1	REDUCTOR DE TAMAÑO		
7	J-112	1	ELEVADOR		
8	F-111	1	SILO PARA ALMACENAR BIOMASA		
9	J-113	1	TORNILLO SIN FIN BIOMASA PRETATADA		
10	R-210 A/B	2	EXTRACTOR DE HEMICELULOSA		
11	P-210	2	BOMBA DE TORNILLO PARA SÓLIDOS	M	DE TORNILLO
12	R-220	1	REACTOR DE HIDROGENACIÓN DE HEMICELULOSA	M	CENTRÍFUGA
13	P-220	2	BOMBA CENTRIFUGA DE HEMICELULOSA		
14	R-310 A/B	2	TANQUE DE HIDRÓLISIS		
15	P-310	2	BOMBA CENTRIFUGA DE GLUCOSA	M	CENTRÍFUGA
16	E-310	1	CALENTADOR DE GLUCOSA		
17	R-320	1	REACTOR DE HIDROGENACIÓN DE GLUCOSA		
18	F-410	1	ALMACENAMIENTO DE AGUA		
19	P-410	2	BOMBA CENTRIFUGA DE AGUA	M	CENTRÍFUGA
20	E-410	1	CALENTADOR DE AGUA PARA LA EXTRACCIÓN		
21	F-510	1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENZIMA		
22	F-511	1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO		
23	F-512	1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BASE		
24	P-510	2	BOMBA DOSIFICADORA DE ENZIMA	M	DE MEMEBRANA
25	P-511	2	BOMBA CENTRIFUGA DE ÁCIDO	M	CENTRÍFUGA
26	P-512	2	BOMBA CENTRIFUGA DE BASE	M	CENTRIFUGA
27	F-610	1	ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO		
28	P-610	2	BOMBA CENTRIFUGA DE HIDRÓGENO AL R-220	M	CENTRÍFUGA
29	P-611	2	BOMBA CENTRIFUGA DE HIDRÓGENO AL R-320	M	CENTRÍFUGA
30	E-610	1	CALENTADOR DE HIDRÓGENO AL R-220		
31	E-611	1	CALENTADOR DE HIDRÓGENO AL R-320		
32					
33					
34					

LEYENDA
 1.- DRIVER: M - MOTOR ELECTRICO T - TURBINA

5.4.2 DIMENSIONADO DE EQUIPOS

5.4.2.1 Dimensionado del extractor R-210 A/B:

Este reactor es el encargado de extraer hemicelulosas de la corriente (8) de biomasa que llega del silo. Se trata de un reactor que opera por cargas.

El tiempo que se necesita para extraer las hemicelulosas se calcula mediante ecuación 1:

$$R_0 = ti * e^{\left(\frac{T-100}{14,75}\right)} \quad \text{Ec. 1}$$

Sabiendo que para las hemicelulosas $\log R_0=4$ y con una temperatura de 190°C el tiempo necesario es de 25 minutos por carga.

Para no tener la planta parada se dispone de dos reactores, uno se llenará durante 10 minutos, y operará durante 25, y mientras está operando esos 25 minutos, el otro reactor se va llenando, cuando los 25 minutos terminan, el primer reactor se vacía durante 10 minutos y mientras el reactor 2, está operando.

El flujo de biomasa que le llega a este reactor es de 4,64 kg/h, por tanto en los 25 minutos de operación del tanque va haber una masa dentro de 2kg de biomasa. Para que la extracción se produzca se introduce una corriente (15) de agua que es necesario que sea 20 veces el sólido que se tiene dentro del reactor, por lo tanto se necesitan 40kg de agua, que en 25 minutos será un flujo de 96kg/h.

La extracción se lleva a cabo con una eficacia del 60%, lo cual significa que del 15,16% de hemicelulosas que forman la biomasa se extraen el 60% en forma de xilosa (90%) y arabinosa (10%). Es decir de 0,3032 kg de hemicelulosa se extraen 0,1637kg de xilosa y 0,018192kg de arabinosa, con unos flujos de 0,393kg/h y 0,0436kg/h respectivamente.

El sólido que queda retenido en el reactor es 1,55kg de biomasa y 1,55 kg de agua, ya que el agua que queda retenido en el sólido tiene que ser igual a la masa de sólido.

Entonces en la corriente (16) líquida y que sale en continuo, está formada por xilosa y arabinosa y todo el agua que no queda retenido que es 38,7 kg, en flujo 92,91kg/h.

Las condiciones de operación son a 20bar y 190°C y las propiedades físicas bajo estas condiciones se pueden ver en la tabla 2:

Tabla 2: Propiedades físicas para el extractor

Propiedades físicas	
T (°C)	190
P(bar)	20
t (min)	25
ρ (fluido) kg/m ³	876,6
μ (fluido) Pa*s	0,000142
D _P (m)	0,001
ρ_s (sólido) kg/m ³	1419,7

Este reactor se diseña como un reactor de lecho fluidizado. El lecho lo forman los 2kg de biomasa sólida.

1º Lo primero que se debe conocer es la velocidad mínima de fluidización de esas partículas, así como la velocidad de caída que tienen, para con ello obtener un rango de diámetros, y poder decidir que diámetro dar al reactor:

- La velocidad de fluidización se obtiene mediante el Reynolds de fluidización y para conocer este Reynolds es necesario calcular previamente el Galileo de esta forma:

$$Ga = \frac{D_P^3 \rho (\rho_S - \rho)}{\mu^2} = 2,3 * 10^5 ; \rightarrow \text{Ec. 2}$$

$$Ga = 150 \frac{(1-\epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3} Re_{mf} + \frac{1,75}{\epsilon_{mf}^3} Re_{mf}^2 ; \text{Ec. 3}$$

Despejando el $Re_{mf}=75,34 \rightarrow$

$$Re_{mf} = \frac{D_P u_{mf} \rho}{\mu} ; \text{Ec. 4}$$

Despejando $\rightarrow u_{mf}=0,012\text{m/s}$

- Para la velocidad de caída se utiliza una gráfica sacada del libro: “Coulson & Richardson’s Chemical Engineering: Particle Technology and Separation Processes” [17]. De forma que se entra por el lado izquierdo de la gráfica con $\frac{2}{3} Ga = 1,54 * 10^5$, hasta donde corta con una curva y bajando hasta el eje x se obtiene $Re_P=9*10^2$ y con este se saca $u_{\infty} = \frac{Re_P * \mu}{D_P \rho} = 0, \frac{15\text{m}}{\text{s}}$
- El rango de velocidades de partícula está en: $u_s=[0,012-0,15]\text{m/s}$. Se calcula el diámetro para cada velocidad:

$$\dot{m} = \rho u \frac{\pi}{4} D^2 \quad ; \rightarrow \quad \text{Ec. 5} \quad D = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \rho u}}$$

Despejando de la ecuación 5 se obtienen:

$$D_{\min}(u_{\infty})=0,016\text{m} \quad \longleftarrow \quad \longrightarrow \quad D_{\max}(u_{mf})=0,056\text{m}$$

Observando los límites para que el lecho este fluidizado se elige un diámetro de reactor de 0,05m y con él, se calcula la velocidad que va tener el flujo de $u_s=0,015\text{m/s}$.

2° Otra cosa necesaria es calcular la porosidad de este lecho, mediante la ecuación para expansión de lecho y una relación experimental entre u_s y ε "Richardson-Zaki":

$$(4,8 - n)/(n - 2,4) = 0,043 Ga^{1,057} [1 - 1,24(D_p/D_T)]^{1,027} \rightarrow \text{Ec. 6} \rightarrow n=2,48$$

$$\frac{u_s}{u_{\infty}} = \varepsilon^n \rightarrow \text{Ec. 7} \rightarrow \varepsilon=0,405$$

3° Se calcula la longitud del lecho fijo, y luego fluidizado para poder calcular el volumen del reactor. Sabiendo:

$$L_{fijo}(1 - \varepsilon_{fijo}) = cte \quad \text{Ec. 8}$$

Se calcula el volumen de partículas: $V_p = \frac{Masa}{\rho_s} = 0,0014\text{m}^3$ Ec. 9

Sabiendo que la $\varepsilon_{mf}=0,4$ se saca $V_{lecho\ fijo} = \frac{V_p}{(1 - \varepsilon)} = 0,0022\text{m}^3$ Ec. 10

Y con este se obtiene: $V_{fijo} = \frac{\pi}{4} D^2 L_{fijo}$ Ec. 11 $\rightarrow L_{fijo}=1,10\text{m}$

Con estos datos se puede sacar la longitud del lecho fluidizado de esta forma:

$$L_{fijo}(1 - \varepsilon_{fijo}) = L_{fluidizado}(1 - \varepsilon_{fluidizado}) \rightarrow L_{fluidizado}= 1,12\text{m}$$

Pero esa no va ser la longitud del reactor ya que es necesario darle un espaciado por arriba de un 20%, por tanto la longitud del reactor es de 1,33m y el volumen del reactor:

Usando la [ecuación 11](#) pero con esta longitud: $V=0,0026\text{m}^3=2,6\text{ L}$

4° También se ha calculado la caída de presión en este reactor:

$$(-\Delta P) = (1 - \varepsilon) * L * (\rho_s - \rho) * g \quad \text{Ec. 12} \rightarrow$$

$$(-\Delta P) = 3524,8\text{Pa}$$

[17]

5° Por último se calcula el espesor que hay que darle a este reactor y previamente se fijan las condiciones de diseño:

-Poperación=20bar → Pdiseño= 1,1*20= 22bar

-Toperación=190°C → Tdiseño=190°C+30=220°C

-El tiempo de vida de este reactor es de 25 años.

-El material seleccionado es de acero inoxidable

-Fondo del reactor elipsoidal.

Para calcular el espesor del reactor se ha utilizado la norma ASME sección VIII, División 1.

$$t = \left(\frac{PR}{SE - 0,6P} + c \right) * M \quad \text{Ec. 13}$$

Con:

S=15800PSI (esfuerzo permitido para acero inoxidable).

c=7,5 mm (sobreespesor por corrosión)

E=0,85 (eficacia de la soldadura)

M=1,125 (tolerancia de fabricación)

Se obtiene un espesor de t=0,359"=0,0092m

Pero hay que tener en cuenta que el fondo del recipiente tiene que soportar el peso de la biomasa, así como del agua, por tanto será ligeramente superior el espesor:

$$t = \left(\frac{PD}{2SE - 0,2P} + c \right) * M \quad \text{Ec. 14}$$

Ahora la presión de diseño ha cambiado también ligeramente:

$$P_{operación} = 20bar + \rho gL + \frac{Masa * g}{\frac{\pi}{4} D^2} = 20,255bar \quad \rightarrow Pdiseño=22,28bar$$

Los demás valores se mantienen, salvo que ahora se usa el diámetro del tanque en vez del radio.

Se obtiene un espesor de t=0,47"=0,012m

5.4.2.2 Dimensionado de la bomba P-410:

Esta bomba es la encargada de llevar un caudal de agua desde el tanque de almacenamiento (F-410), hasta el extractor (R-210 A/B), pasando por un intercambiador de calor (E-410).

Lo primero que se hace es una recopilación de los datos, sabiendo que la bomba tiene que suministrar un caudal que recorre tres tramos de tubería con diferentes propiedades contempladas en la tabla 3:

Tabla 3: Condiciones del caudal de agua que lleva la bomba

CORRIENTE	13	14	15
DE	F-410	P-410	E-410
A	P-410	E-410	R-210
FLUJO, kg/h	96	96	96
FLUJO, m ³ /h	0,09609	0,09600	0,1095
P (bar)	1	20	20
T (°C)	15	15	190
ρ (kg/m ³)	999,1	999,99	876,61
μ (Pa*s)	0,001137	0,000113	0,0001419

2º Después se calcula el diámetro de la tubería y el Reynolds del agua de la siguiente forma:

Se comienza suponiendo una velocidad del agua que entra al extractor (corriente 15) de u=1,5m/s (velocidad típica para el agua que circula por tuberías). Y con la velocidad y las propiedades de la tabla 3, se puede obtener el diámetro:

$$Q = u \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ec. 15}$$

Despejando el diámetro se obtiene: D=5*10⁻³m

Para poner toda la tubería igual, lo que se hace es usar este diámetro de tubería para la corriente 14 y se calcula la velocidad que tendrá el agua en ese tramo, despejando en este caso la velocidad u=1,32m/s.

Para el tramo de tubería entre el depósito y la bomba se hace lo mismo que antes y da una velocidad u=1,36m/s.

Y se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad \text{Ec. 16}$$

Se especifica más adelante.

3° Con estos datos ya se puede calcular la altura manométrica de la bomba:

Pero antes de esto, es necesario conocer la presión que tendrá la bomba justo a la entrada y justo a la salida, para ello se utiliza la ecuación de Bernoulli (17):

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + h_{f_{1-2}} \quad \text{Ec. 17}$$

Primero se comienza con el tramo de salida de la bomba hasta el extractor:

Condiciones:

-El extractor se coloca a 30cm del suelo $\rightarrow z_2=0,3\text{m}$

-La P_2 tiene que ser la más desfavorable, hay que asegurar que en la parte de arriba del extractor la presión sean 20bar para ello:

$$P_2 = 25\text{bar} + \Delta P(\text{en el lecho}) + \rho g L$$

-Las velocidades se pueden considerar despreciables frente al término mecánico.

-Hay que calcular las pérdidas teniendo en cuenta todos los accesorios que hay en este tramo de tubería, esto se hace con la ecuación 18:

$$h_f = \frac{u^2}{2g \left(\frac{fL}{D} + \sum [k] \right)} \quad \text{Ec. 18}$$

- Salida brusca: $K=1$
- Entrada con bordes vivos: $K=0,5$
- Válvula: $K=0,3$
- Válvula anti retorno: $K=5,1$
- Válvula de tres vías: $K=9$
- Codo: $K=2$
- Intercambiador de calor: Se multiplica todo por un factor de 1,1

Para calcular las pérdidas f , se necesita utilizar el diagrama de Moody, conociendo el número de Reynolds y otro termino:

- El Reynolds medio entre las dos corrientes: $Re=5,2 \cdot 10^4$
- $\frac{\varepsilon}{D} = 0, \frac{002}{5} = 4 \cdot 10^{-4}$.Siendo ε , la rugosidad relativa al acero inoxidable.

Se puede ver este cálculo en la figura 14:

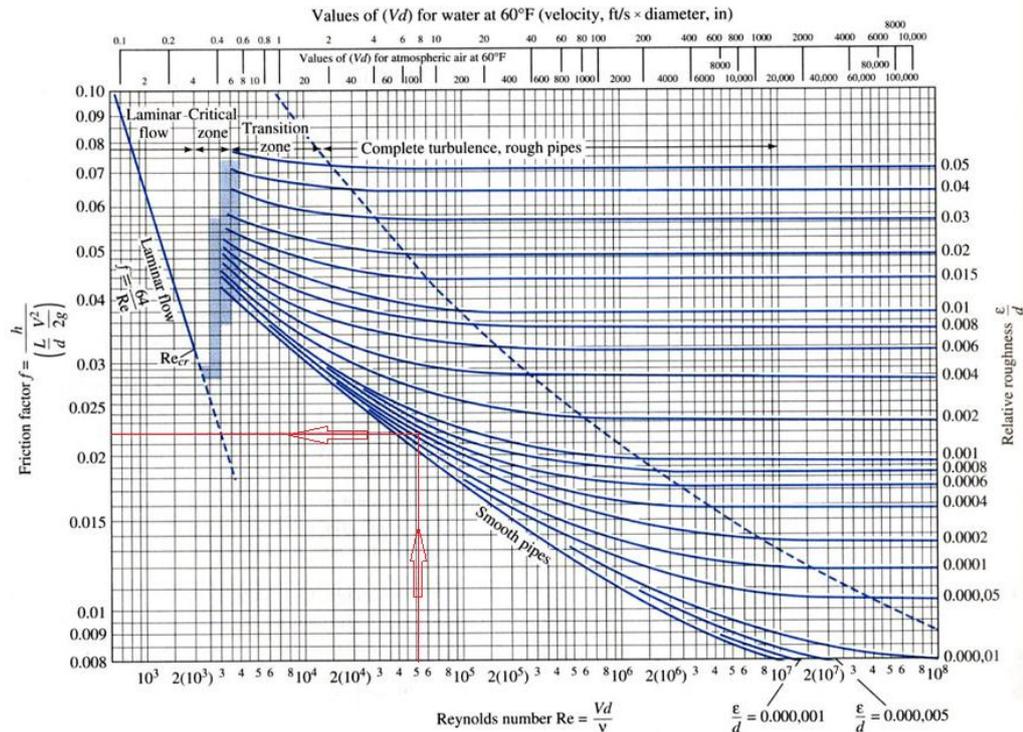


Figura 14: Diagrama de Moody

Se obtiene $f=0,022$. Y poniendo una longitud total de tubería de 4m.

Entonces las perdidas usando la ecuación 18 quedan: $h_f=4,48m$

Con todos estos valores se puede calcular la presión $P_1=25,63bar$

Se siguen los mismos pasos para calcular el otro extremo de la tubería antes de la bomba:

Condiciones:

- Tanto tanque como bomba están a la altura del suelo por tanto $z_1=0$ y $z_2=0$
- La P_2 es la incógnita ahora y la $P_1=1bar$
- La velocidad en el tanque es cero, pero la velocidad $u_2=1,36m/s$
- Hay que calcular las pérdidas teniendo en cuenta todos los accesorios que hay en este tramo de tubería:
 - Salida brusca: $K=1$
 - Entrada con bordes vivos: $K=0,5$

Para calcular las pérdidas f , se necesita utilizar el diagrama de Moody, conociendo el número de Reynolds y otro termino como se hacía arriba:

- El Reynolds en este caso es: $Re=5,98 \cdot 10^3$
- $\frac{\varepsilon}{D} = 0, \frac{002}{5} = 4 \cdot 10^{-4}$.Siendo ε , la rugosidad relativa al acero inoxidable.

En este caso se obtiene una $f=0,037$ y en este tramo se considera una longitud de 1m.

Y como para el otro caso usando la ecuación 18 las perdidas quedan: $h_f=0,82m$

Con todos estos valores se puede calcular la presión $P_2=0,91bar$

Y conociendo las presiones a cada lado de la bomba la altura manométrica que tiene que dar la bomba se calcula con la ecuación 19:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad \text{Ec. 19}$$

$H=252,47m.c.f$

Y la potencia con la ecuación 20:

$$Pot = QH\rho g \quad \text{Ec. 20}$$

$Pot=66,2W$ [18].

Buscando en catálogos la bomba que mejor cumple las características requeridas se puede ver en la figura 15: [19]

Datos de rendimiento

La bomba centrífuga con motor encapsulado NIKKISO Non-Seal está disponible en diseño estándar y semiestándar.

Datos del accionamiento

Caudal máximo:	780m ³ /h (3430 gpm)
Cabezal de bomba máx.:	300m (984ft)
Temperatura del fluido	-60 a 350°C (-76 a 662°F)
Densidad	0.3 a 2.0
Viscosidad máx.	200 mPa·s (200 cP)
Presión de trabajo máx.	4 MPa (600 psig)
Material en contacto con líquido	SUS316, SUS304
Potencia del motor	0.4 a 200 kW (0.5 a 268 HP métricos)

Figura 15: Características bomba centrífuga

5.4.2.3 Diseño de una tubería:

- La tubería elegida es precisamente la que va de la bomba P-410 al extractor R-210 A/B, de manera que ya se conoce el diámetro calculado en el apartado anterior $D=5 \cdot 10^{-3}m$.

Se fijan las condiciones de diseño:

- Poperación=20bar → $P_{diseño}= 1,1 \cdot 20= 22bar$
- Toperación=190°C → $T_{diseño}=190°C+30=220°C$
- El tiempo de vida para una tubería es de 10 años.
- El material seleccionado es de acero inoxidable

Por tanto lo que queda por diseñar es darle un espesor a esta tubería como se ha hecho anteriormente con los demás equipo, la diferencia es que para tuberías se usa el código ANSI

$$t = \left(\frac{PD_o}{2SE} + c \right) * M \quad \text{Ec. 21}$$

Con:

S=16799PSI (esfuerzo permitido para acero inoxidable).

c=3 mm (sobreespesor por corrosión)

E=0,85 (eficacia de la soldadura)

M=1,125 (tolerancia de fabricación)

Se obtiene un espesor de $t=0,135''=3,44 \cdot 10^{-3} m$

Con estos datos, es necesario buscar en un catálogo de tuberías que diámetro se corresponde con el calculado: [20]. Se puede ver la tabla en la siguiente figura 16:

Tubo inoxidable soldado y sin soldadura.

Dimensiones según: ASME B36.19 ■ Peso (kg/m)

Diámetro nominal [pulg.]	Diámetro exterior [mm]	Espesor nominal, mm			
		Schedule 5S	Schedule 10S	Schedule 40S	Schedule 80S
1/8"	10,3	-	1,24 (1)	1,73	2,41
		-	0,28	0,37	0,47
1/4"	13,7	-	1,65 (1)	2,24	3,02
		-	0,49	0,63	0,80
3/8"	17,1	-	1,65 (1)	2,31	3,20
		-	0,63	0,84	1,10
1/2"	21,3	1,65 (1)	2,11 (1)	2,77	3,73
		0,80	1,00	1,27	1,62
3/4"	26,7	1,65 (1)	2,11 (1)	2,87	3,91
		1,02	1,28	1,69	2,20
1"	33,4	1,65 (1)	2,77 (1)	3,38	4,55
		1,29	2,09	2,50	3,24

Figura 16: catálogo de tuberías

Dado que la tubería ha salido muy pequeña, el diámetro que más se aproxima es el menor, teniendo un diámetro de tubería de 10,3mm y un espesor de 1,73mm.

5.4.2.4 Dimensionado del hidrogenador R-220:

Este es el reactor de hidrogenación de hemicelulosas, a cual le llega la corriente líquida (17) de hemicelulosas y agua y además se añade hidrogeno (31) para llevar a cabo la hidrogenación.

Es un reactor continuo de tanque agitado con una cesta, en la cual está el catalizador: Pt-Sn/Al₂O₃.

Las propiedades físicas se muestran en la tabla 4:

Tabla 4: Propiedades físicas en el reactor de hidrogenación de hemicelulosas

Propiedades físicas	
FLUJO, kg/h	93,35
caudal liq, m ³ /h	0,1061
P (bar)	16
T (°C)	190
ρ liq(kg/m ³)	879,4
ρ gas(kg/m ³)	0,823
ρ cat(kg/m ³)	3950
ε	0,4

Lo primero que se necesita conocer es la cinética de este reactor, la cual buscada en bibliografía se encuentra que es sustituyendo en las ecuaciones 22 y 23:

$$(-r_A) = kC_A \quad \text{Ec. 22}$$

$$C_A = C_{A0}(1 - x_A) \quad \text{Ec. 23}$$

Donde $k=0,2\text{min}^{-1}$ y $x_A=0,95$, se fija una conversión del 95%.

Con estas dos ecuaciones se puede obtener el tiempo de residencia de este

reactor:
$$t_i = -\frac{\ln(1 - x_A)}{k} = 15 \text{ min} \quad \square$$

Ahora se necesitan conocer las corrientes de alimentación, la corriente 17 de hemicelulosas y agua se conoce porque es la que sale de extractor: 92,91kg/h de agua y las hemicelulosas están descompuestas en: 0,393kg/h de xilosa y 0,044kg/h de arabinosa, en total se alimenta una corriente de 93,35kg/h o lo que es lo mismo un caudal de 0,1061m³/h. Lo que no se conoce es el flujo de hidrógeno, pero se saben sus propiedades físicas de la tabla 4. Tampoco se sabe cuánta cantidad de catalizador es necesaria.

Para obtener estos datos se busca en bibliografía un experimento como este y se obtienen los siguientes datos:

En un volumen de 50ml meten: 0,15g xilosa, 35ml agua, 0,038g catalizador y el hidrógeno en las mismas condiciones con una densidad de 0,823kg/m³.

Se calcula el volumen que ocupan el catalizador y la xilosa que es del orden de 10⁻⁷m³, para obtener el volumen de hidrógeno que se mete: $V = 50 - 35 - 0,1 = 14,89ml$ y conociendo la densidad del hidrógeno se pueden obtener los gramos de hidrogeno que utilizan: 0,012g H₂. Y así se puede obtener una relación entre el hidrogeno y la xilosa para relacionarlo con el diseño propio:

$$\frac{H_2}{xilosa} = \frac{0,012}{0,15} = 0,08$$

Además de la bibliografía se calcula la concentración de xilosa en el agua:

$$C_{xilosa} = \frac{0,15g}{35ml} = 4,3 * \frac{10^{-3}g}{ml}$$

Entonces la corriente 31 de hidrogeno tiene:

$$H_2 = 0,08 * \frac{0,393kg}{h} = \frac{0,0314kg}{h} \text{ y un caudal de } 0,038m^3/h.$$

La concentración de xilosa es:

$$C_{xilosa} = \frac{\frac{393g}{h}}{\frac{92910ml}{h}} = 4,3 * \frac{10^{-3}g}{ml}$$

Se tiene la misma concentración que en la bibliografía, por lo tanto para conocer cuántos gramos de xilosa se tienen en el reactor basta con saber el volumen de líquido que hay en dicho reactor y la concentración, obteniéndose 144g de xilosa. Sabiendo los gramos de xilosa, y sabiendo la relación que ponían en la bibliografía entre la xilosa y el catalizador se obtienen 29g cat.

Para el diseño de este reactor es necesario calcular el volumen:

1º Se calcula el volumen libre con la ecuación 24:

$$V_{libre} = [(Q)_{17} + Q_{H_2}] * t_{res} \quad \text{Ec. 24}$$

Se obtiene un $V_{libre}=0,036m^3=36L$.

Y el volumen total del reactor se calcula sumando el volumen de catalizador más este volumen libre, dando un volumen de reactor de: $V_{reactor}= 36,007L$.

Ahora ya se puede calcular el diámetro y longitud de este tanque, dándole una relación típica de $L=D$ y sustituyendo en la ecuación 11: $D=0,36m$. Pero para la longitud del reactor hay que darle un margen de un 20% por arriba, por tanto la longitud final es de $L=0,432m$.

Por último se calcula el espesor que hay que darle a este reactor y previamente se fijan las condiciones de diseño:

-Poperación=16bar \rightarrow Pdesigno= 1,1*16= 17,6bar

-Toperación=190°C \rightarrow Tdesigno=190°C+30=220°C

-El tiempo de vida de este reactor es de 25 años.

-El material seleccionado es de acero inoxidable

-Fondo del reactor elipsoidal.

Para calcular el espesor del reactor se ha utilizado la norma ASME sección VIII, División 1. SE utiliza la ecuación 13:

Con:

$S=15800PSI$ (esfuerzo permitido para acero inoxidable).

$c=7,5$ mm (sobreespesor por corrosión)

$E=0,85$ (eficacia de la soldadura)

$M=1,125$ (tolerancia de fabricación)

$R=0,18m$ (radio)

Se obtiene un espesor de $t=0,487''=0,01237m$

Pero hay que tener en cuenta que el fondo del recipiente tiene que soportar el peso de la corriente líquida más el hidrogeno, por tanto será ligeramente superior el espesor (calculado con la ecuación 14)

Ahora la presión de diseño ha cambiado también ligeramente:

$$P_{operación} = 16bar + \rho_{H_2}gL + \frac{Masa, liq * g}{\frac{\pi}{4} D^2} = 16,022bar \quad \rightarrow$$

Pdesigno=17,62bar

$c=10$ mm (sobreespesor por corrosión), se le da un mayor espesor por estar en el fondo.

Los demás valores se mantienen, salvo que ahora se usa el diámetro del tanque en vez de usar el radio.

Se obtiene un espesor de $t=0,597''=0,01516\text{m}$

5.4.2.5 Dimensionado del tanque de agitación R-310 A/B:

Este reactor es el encargado de hidrolizar la biomasa sólida (10) para obtener glucosa (22). El tanque opera por cargas de 72 horas, y la glucosa que se va formando sale de forma continua, pero dentro se queda un sólido, con lo que no se transforma y la lignina. Como con el extractor se ponen dos, ya que al operar por cargas, mientras uno se llena el otro puede estar trabajando.

EL principal problema que se da en el diseño, es que el extractor tarda 25min en operar y este reactor 72 horas, por tanto se van hacer muchas cargas, hasta operar. Se han calculado un total de 175 cargas, con el sólido que se saca del extractor en 66 horas que es el tiempo que se fija de llenado del tanque. El resto de tiempo hasta las 72 horas se emplea en: 30 minutos en añadir la enzima celulasa, 1hora y media en añadir el ácido acético para bajar de $\text{pH}=7$ a $\text{pH}=5$, y una vez que ha operado otra hora y media en añadir la base, para neutralizar el sólido y 2 horas de vaciado del sólido que queda tras la hidrolisis.

En la siguiente tabla 5 se presentan las condiciones de operación del tanque, así como el flujo de sólido que entra, y sus propiedades físicas:

Tabla 5: Propiedades físicas y flujos de la corriente que llega al tanque

Propiedades físicas	
T(°C)	50
P(bar)	1
FLUJO, kg/h	18,61
FLUJO, m ³ /h	0,0150
ρ (sólido) kg/m ³	1476,1
ρ (fluido) kg/m ³	988,03
ρ (sólido y agua) kg/m ³	1237,8
ρ (enzima) kg/m ³	1216,8
μ (corregida) Pa*s	0,0012
Cv	0,512

Lo 1º que se hace es calcular el volumen que ocupa todo ese sólido en las 175 cargas conociendo el caudal que llega en una carga $0,015\text{m}^3/\text{h} \rightarrow V=0,455\text{m}^3$.

2º Es necesario conocer cuanta cantidad de enzima se necesita añadir, para ello se utiliza la siguiente figura 17: [21]

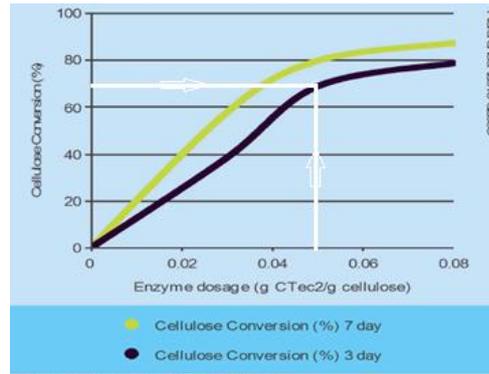


Figura 5: Enzyme dosage (g enzyme/g cellulose)

Figura 17: conversión enzima celulasa

Como el reactor opera 72h=3 días, se toman 0,05g enzima/g celulosa obteniéndose una conversión del 65%, ya que si se subía más la conversión tampoco aumentaba mucho pero los gramos de enzima sí.

Sabiendo que el volumen son 0,455m³, el 40,5% es sólido, el resto agua, y de ese sólido el 29,15% es celulosa, con este dato se obtienen el flujo de celulosa de 6,822kg/h lo cual son 198,97 kg de celulosa, por tanto de enzima seca se necesitan 9,948kg pero eso solo es el 20% cuando está en suspensión, es decir líquida, por tanto el total es de 49,74kg de enzima líquida.

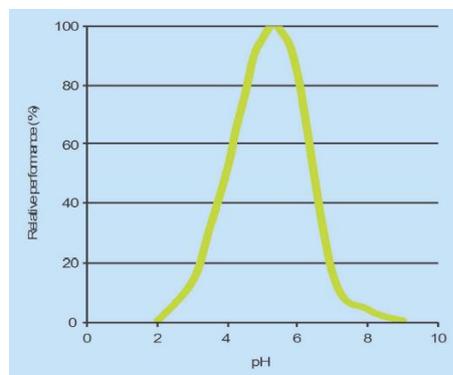


Figura 18: condiciones de trabajo de la enzima

3º Observando la figura 18 se puede ver porque el mejor pH=5, ya que se obtiene el 100% de efectividad de la enzima. Lo que se hace ahora es ver el total de la cantidad de agua que hay que pasar a este pH=5:

-Con la enzima hay un total de 39,79 L H₂O, ya que es el 80% de los 49,79kg.

-El resto del agua esta con el sólido el 59,5% de los 0,455m³, es decir, 270,7LH₂O.

En total 310,517L hay que pasar de pH=7 a pH=5, eso se hace añadiendo ácido acético: 10ml HAC/L H₂O, un total de 3,105L HAC.

Para neutralizar esta agua tras el proceso hay que hacer lo mismo pero añadiendo base: NaOH.

4º Se calcula las glucosas que se transforman como $198,975 \cdot 0,65 = 129,33 \text{ kg}$ glucosa. Esta glucosa sale líquida con el 70% de agua, es decir, con $217,36 \text{ kg H}_2\text{O}$. Entonces la corriente 22 (la glucosa y el agua) tiene un flujo de $64,66 \text{ kg/h}$ glucosa y $108,68 \text{ kg/h H}_2\text{O}$.

El sólido que queda en el tanque son $142,315 \text{ kg}$ de biomasa y $93,155 \text{ kg H}_2\text{O}$. Que se sacará en 2 horas, en la etapa de vaciado.

5º Una vez que se conoce todo lo que hay que añadir al reactor, se calcula el volumen total:

-3,1L de ácido y 3,1L de base

-De los $49,7 \text{ kg}$ de enzima tiene un volumen de $48,449 \text{ L}$ de enzima

-De los $542,88 \text{ kg}$ de biomasa se tiene un volumen de 455 L .

En total un volumen de $509,65 \text{ L}$. Como es un tanque agitado, se le da una relación $L=D$ y con eso se calcula el diámetro del tanque con la ecuación 11, dando un $D_T = 0,866 \text{ m}$ y $H = 0,866 \text{ m}$, pero ninguna de las medidas es la definitiva.

Para hacer un buen diseño del agitador se ha elegido un agitador estandarizado el NRE-3010 que es el que cumple las características del diseño. Entonces se toma un $D_T = 0,9 \text{ m}$. Y la altura es necesario darle un 20% de margen por arriba y se tiene una $H = 1,12 \text{ m}$. Por tanto el volumen final del tanque es: $V = 0,713 \text{ m}^3$.

Para calcular el diámetro de las palas del agitador se usa la relación típica $D = \frac{1}{3} D_T = 0,287 \text{ m}$, pero los datos técnicos del agitador elegido solo llega a $0,2 \text{ m}$ por tanto se elige $D = 0,2 \text{ m}$.

Por último queda elegir las revoluciones del agitador. Para seleccionar esto, es necesario evaluar el número de Reynolds para las tres revoluciones que proporciona las características técnicas del agitador, y el que del menor número, siempre que sea turbulento es la seleccionada. De forma que la elegida es 168 rpm .

Para poder haber calculado el número de Reynolds se necesita haber calculado previamente la viscosidad de la suspensión de sólidos de la con la ecuación 25

$$\mu_{susp} = \mu_{fluido}(1 + 2,5C_V) \quad \text{Ec. 25}$$

Donde C_V es la fracción de sólidos que se calcula con la ecuación 26:

$$C_V = \frac{\rho_{susp} - \rho_{H_2O}}{\rho_{sólido} - \rho_{H_2O}} \text{ Ec. 26}$$

Los valores obtenidos son los que se presentaban en la tabla 5 del principio del apartado. [22]

Y el agitador seleccionado es el presentado en la figura 19:

Agitadores para mezclas sencillas

MODELO	TANQUE				AGITADOR			POTENCIA	
	Ø DIÁMETRO		VOLUMEN		Ø PROPELA	LONG. MÁX. EJE	PESO APROX.	KW	RPM
	m (min)	m (máx)	m³ (min)	m³ (máx)	mm	mm	Kg		
NRE-3010	0,5	1	0,2	1	160* 200	1000	26	0,37	335
									223
									168
NRE-3020	1	1,4	1	1,5	300	1500	30	0,75	223
									168
									134
NRE-3022	1,4	1,8	1,5	3	400	1500	32	0,75	134
									112
									84

Figura 19: características técnicas del agitador

6° Ya solo queda darle un espesor a este reactor como se ha ido haciendo para cada equipo y previamente se fijan las condiciones de diseño:

-Poperación=1bar → Poperación <P=2barg → Pdiseño= 4,5bar

-Toperación=50°C → Tdiseño=50°C+50=100°C

-El tiempo de vida de este reactor es de 25 años.

-El material seleccionado es de acero inoxidable

-Fondo del reactor elipsoidal.

Para calcular el espesor del reactor se ha utilizado la norma ASME sección VIII, División 1. Calculado con la ecuación 13:

Con:

S=15800PSI (esfuerzo permitido para acero inoxidable).

c=7,5 mm (sobreespesor por corrosión)

E=0,85 (eficacia de la soldadura)

M=1,125 (tolerancia de fabricación)

Se obtiene un espesor de $t=0,4238''=0,0107\text{m}$

Pero hay que tener en cuenta que el fondo del recipiente tiene que soportar el peso de la biomasa, así como del agua, por tanto será ligeramente superior el espesor (calculado con la ecuación 14)

Ahora la presión de diseño ha cambiado también ligeramente:

$$P_{operación} = 1\text{bar} + \rho g L = 1,097\text{bar} \rightarrow P_{diseño}=4,5\text{bar}$$

Los demás valores se mantienen, salvo que ahora se usa el diámetro del tanque en vez del radio. Se obtiene un espesor de $t=0,535''=0,0136\text{m}$

5.4.2.6 Dimensionado del hidrogenador R-320:

Este es el reactor de hidrogenación de glucosas, al cual le llega la corriente líquida (124) de glucosa y agua y además se añade hidrogeno (35) para llevar a cabo la hidrogenación, como se hacía con el hidrogenador R-220.

Es un reactor continuo de tanque agitado con una cesta, en la cual está el catalizador: Ru/SiO₂.

Las propiedades físicas se recogen en la tabla 6:

Tabla 6: Propiedades físicas en el reactor de hidrogenación de glucosa

propiedades	
Flujo liq, kg/h	173,3
Caudal liq, m ³ /h	0,153
P (bar)	50
T (°C)	180
ρ liq(kg/m ³)	1132,3
ρ gas(kg/m ³)	2,62
ρ cat(kg/m ³)	2650
ε	0,4

Lo primero que se necesita conocer es la cinética de este reactor, es utilizada la que se usa en el laboratorio, calculada con las ecuaciones mencionadas arriba, la 22 y 23.

Donde $k=0,091\text{min}^{-1}$ y $x_A=0,974$, se fija una conversión del 97,4%.

Con estas dos ecuaciones se puede obtener el tiempo de residencia de este

reactor:
$$t = -\frac{\ln(1 - x_A)}{k} = 40 \text{ min}$$

Ahora se necesitan conocer las corrientes de alimentación, la corriente 24 de glucosa y agua se conoce porque es la que sale de extractor: 108,68kg/h de

agua y de glucosa: 64,665kg/h, en total se alimenta una corriente de 173,35kg/h o lo que es lo mismo un caudal de 0,1531m³/h. Lo que no se conoce es el flujo de hidrógeno, pero se saben sus propiedades físicas de la tabla 6. Tampoco se sabe cuánta cantidad de catalizador es necesaria.

Para obtener estos datos se utilizan los datos que se usan para hacer este experimento en el laboratorio, tomando de dos experimentos:

1. En un volumen de 20ml meten: 0,037g glucosa, 5ml agua, 0,022g catalizador y el hidrógeno en las mismas condiciones con una densidad de 2,619kg/m³.
2. En un volumen de 20ml meten: 0,111g glucosa, 15ml agua, y 5ml de hidrógeno.

Lo que se hace tanto para saber los gramos de catalizador añadir, como para saber los de hidrógeno se calculan relaciones con la glucosa, que es un dato que se conoce en ambos casos:

$$\frac{5ml H_2}{0,111g \text{ glucosa}} = \frac{45,045ml}{g}$$

$$\frac{22mg \text{ cat}}{0,037g \text{ glucosa}} = 594,59 \frac{mg}{g}$$

Con estas relaciones se obtiene: un caudal de hidrógeno de 2,91 m³/h y una masa de catalizador necesaria a añadir de 25,632kg.

Para el diseño de este reactor es necesario calcular el volumen:

1° Se calcula el volumen libre con la ecuación 24.

Se obtiene un $V_{libre}=2,04m^3$

Y el volumen total del reactor se calcula sumando el volumen de catalizador más este volumen libre.

El volumen del catalizador se calcula directamente ya que se conoce la densidad de 2650kg/m³. $V_{cat}=9,673L$

Por tanto el volumen final es: $V_{reactor}= 2,05m^3$.

Ahora ya se puede calcular el diámetro y longitud de este tanque, dándole una relación típica de $L=D$ y sustituyendo en la ecuación 11: $D=1,377m$. Pero para la longitud del reactor hay que darle un margen de un 20% por arriba, por tanto la longitud final es de $L=1,65m$.

Por último se calcula el espesor que hay que darle a este reactor y previamente se fijan las condiciones de diseño:

- Poperación=50bar → Pdiseño= 50*16= 55bar.
- Toperación=180°C → Tdiseño=180°C+20=200°C
- El tiempo de vida de este reactor es de 25 años.
- El material seleccionado es de acero inoxidable
- Fondo del reactor elipsoidal.

Para calcular el espesor del reactor se ha utilizado la norma ASME sección VIII, División 1. Ecuación 13

Con:

S=15800PSI (esfuerzo permitido para acero inoxidable).

c=7,5 mm (sobreespesor por corrosión)

E=0,85 (eficacia de la soldadura)

M=1,125 (tolerancia de fabricación)

R=0,6885m (radio)

Se obtiene un espesor de t=2,21"=0,056m

Pero hay que tener en cuenta que el fondo del recipiente tiene que soportar el peso de la corriente líquida más el hidrogeno, por tanto será ligeramente superior el espesor (calculado con la ecuación 14).

Ahora la presión de diseño ha cambiado también ligeramente:

$$P_{operación} = 50bar + \rho_{H_2}gL + \frac{Masa, liq * g}{\frac{\pi}{4}D^2} = 50,007bar \quad \rightarrow$$

Pdiseño=50,008bar

c=10 mm (sobreespesor por corrosión), se le da un mayor espesor por estar en el fondo.

Los demás valores se mantienen, salvo que ahora se usa el diámetro del tanque en vez de usar el radio.

Se obtiene un espesor de t=2,29"=0,058m

5.4.3 HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

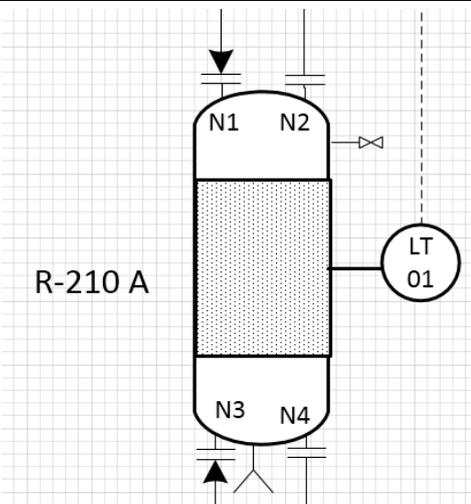
Se presentan a continuación las hojas de especificación de los siguientes equipos en el orden citado:

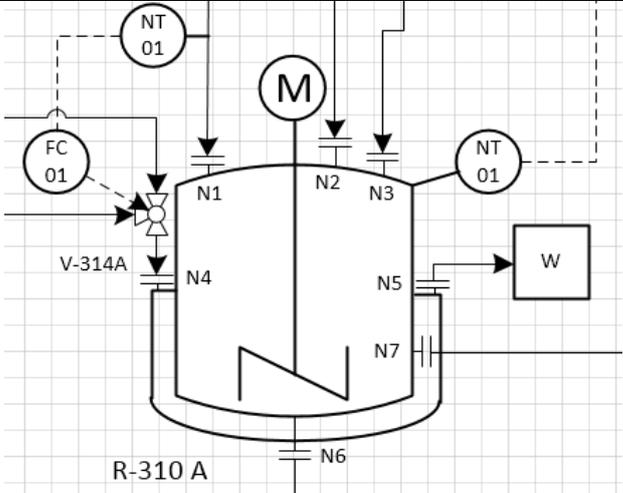
EXTRACTOR

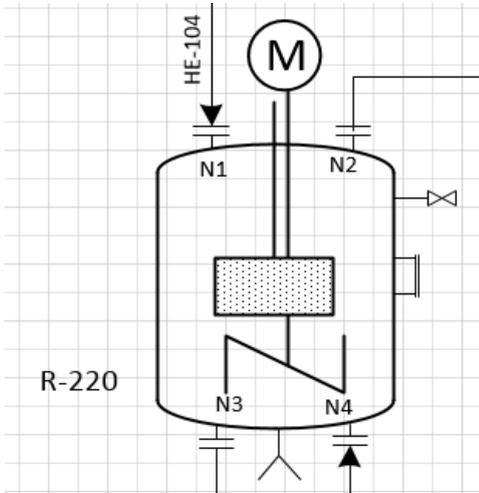
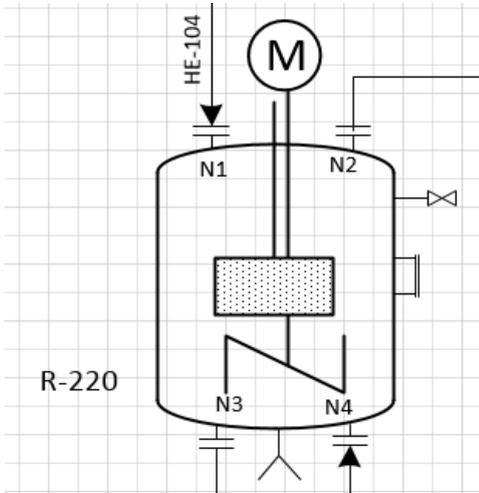
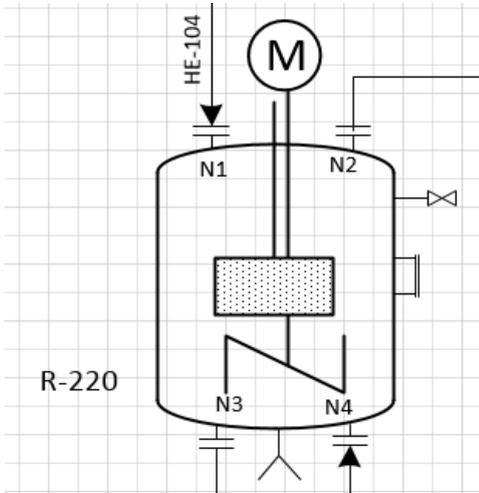
TANQUE AGITADO

TANQUE DE HIDROGENACIÓN DE HEMICELULOSAS

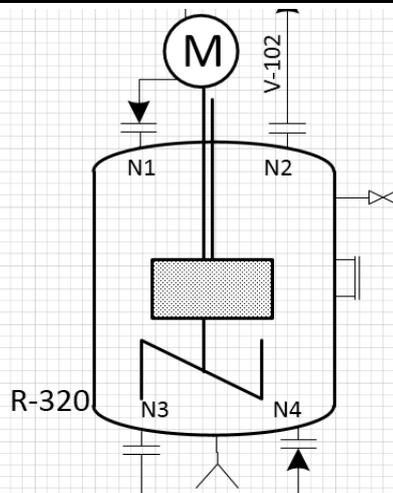
TANQUE DE HIDROGENACIÓN DE GLUCOSAS

 Universidad de Valladolid					<h2 style="text-align: center;">HOJA DE ESPECIFICACIÓN DEL EXTRACTOR</h2>					
REV.					Nº TRABAJO	1				
FECHA	14/05/2015				UNIDAD	200				
POR	RAQUEL				CLIENTE	UVA				
APROB.					LOCALIZACIÓN	VALLADOLID				
1	NUMERO: R-210 A/B		CANTIDAD: 2							
2	SERVICIO: EXTRACCIÓN DE HEMICELULOSAS									
3	FLUIDO: BIOMASA Y AGUA									
4	CAPACIDAD: Nominal		0,002185	m ³						
5			Neto	0,002622					m ³	
6	DIAMETRO: 50		mm	ALTURA: 1335					mm	
7	PRESIÓN		OPERACIÓN	20					Bar	
8	EN EL TANQUE		DISEÑO	22					Bar	
9			VACIO	-						
10	TEMPERATURA		OPERACIÓN	190					°C	
11	EN EL TANQUE		DISEÑO	220					°C	
12	ENCAMISADO:		Operating Pressure						bar g	
13			Operating Temp.						°C	
14			Design Pressure						bar g	
15			Design Temperature						°C	
16			Nominal Diameter						inch	
17			Length						m	
18			MATERIAL	ESPESOR	MÁXIMA CORR.	NOZZLES				
19	FONDO	ACERO INOXSIDABLE	12	mm	10	mm	Mark Nº	cantidad	tamaño	servicio
20	PAREDES	ACERO INOXSIDABLE	9,2	mm	7,5	mm	N1	1	0,5"	BIOMASA
21	ENCAMISADO	ACERO INOXSIDABLE		mm		mm	N2	1	0,5"	HEMICELULOSAS Y AGUA
22	TIPO:	TECHO CÓNICO	<input checked="" type="checkbox"/>	TECHO ELICOIDAL			N3	1	0,5"	AGUA CALIENTE
23		ENCAMISADO	<input checked="" type="checkbox"/>	CILINDRICO			N4	1	0,5"	SÓLIDO SIN HEMICELULOSAS
24	FONDO:	CILINDRICO								
25		ESFERICO								
26		<input checked="" type="checkbox"/> ELICOIDAL								
27	CÓDIGO:	ASME								
28										
29										
30	DATOS DEL LECHO FLUIDIZADO									
31	CATALIZADOR	BIOMASA SÓLIDA								
32	DIAMETRO DE PART.	0,001	m							
33	DENSIDAD	1419,7	kg/m ³							
34	PESO	2	kg							
35	POROSIDAD	0,405								
36	LONGITUD	1,336	m							
37	DENSIDAD FLUIDO	876,61	kg/m ³							
38	VISCOSIDAD FLUIDO	0,0001419	Pa*s							
39	CAIDA DE PRESIÓN	3524,82	Pa							
40	NOTAS									
41										
42										
43										
44										

 Universidad de Valladolid				<h2 style="text-align: center;">HOJA DE ESPECIFICACIÓN DEL TANQUE DE HIDRÓLISIS</h2>				
REV.				Nº TRABAJO	1			
FECHA	14/05/2015			UNIDAD	300			
POR	RAQUEL			CLIENTE	UVA			
APROB.				LOCALIZACIÓN	VALLADOLID			
1	NUMERO: R-310 A/B CANTIDAD: 2							
2	SERVICIO: HIDROLIZAR CELULOSA							
3	FLUIDO: CELULOSA							
4	CAPACIDAD: Nominal 0,509 m ³							
5	Neto 0,713 m ³							
6	DIAMETRO: 900 mm ALTURA: 1120 mm							
7	PRESIÓN	OPERACIÓN	1 Bar					
8	EN EL TANQUE	DISEÑO	4,5 Bar					
9	VACIO -							
10	TEMPERATURA	OPERACIÓN	50 °C					
11	EN EL TANQUE	DISEÑO	100 °C					
12	ENCAMISADO:	Operating Pressure	8 o 1 bar					
13		Operating Temp.	120 o 4 °C					
14		Design Pressure	8,8 o 4,5 bar					
15		Design Temperature	150 o 54 °C					
16		Nominal Diameter	100 mm					
17		Length	1460 mm					
18	MATERIAL		ESPESOR	MÁXIMA CORR.	NOZZLES			
19	FONDO	ACERO INOXSIDABLE	136 mm	10 mm	Mark Nº	cantidad	tamaño	servicio
20	PAREDES	ACERO INOXSIDABLE	107 mm	7,5 mm	N1	1	0,5"	BIOMASA
21	ENCAMISADO	ACERO INOXSIDABLE	136 mm	7,5 mm	N2	1	0,5"	ENZIMA
22	TIPO:	TECHO CÓNICO	<input checked="" type="checkbox"/>	TECHO ELICOIDAL	N3	1	0,5"	ÁCIDO/ BASE
23		ENCAMISADO	<input checked="" type="checkbox"/>	CILINDRICO	N4	1	0,5"	AGUA CALIENTE/ FRÍA
24	FONDO:	CILINDRICO			N5	1	0,5"	AGUA CALIENTE/ FRÍA
25		ESFERICO			N6	1	0,5"	GLUCOSA
26		ELICOIDAL	<input checked="" type="checkbox"/>		N7	1	0,5"	SÓLIDO SIN GLUCOSA
27	CÓDIGO:	ASME		NOTAS:				
28				En el encamisado, se ponen dos valores, para cada apartado, ya que dependiendo de si esta operando o no, circula un fluido u otro				
29								
30	DATOS DEL AGITADOR							
31	TIPO DE AGITADOR:	TURBINA AXIAL						
32	Nº. PALAS:	2						
33	DIAMETRO	0,2	mm					
34	ANCHO	0,04	mm					
35	ALTURA	0,2	m					
36	POTENCIA	0,37	Kw					
37	REVOLUCIONES	168	rpm					
38								
39								
40								
41								
42								
43								

					<h2>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DEL TANQUE AGITADO CON CESTA</h2>																																																																																																																																																																																																																																																														
Universidad de Valladolid					Nº TRABAJO 1																																																																																																																																																																																																																																																														
REV.					UNIDAD 200																																																																																																																																																																																																																																																														
FECHA 20/05/2015					CLIENTE UVA																																																																																																																																																																																																																																																														
POR RAQUEL					LOCALIZACIÓN VALLADOLID																																																																																																																																																																																																																																																														
APROB.																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">1</td> <td style="width: 20%;">NUMERO:</td> <td style="width: 30%;">R-220</td> <td style="width: 10%;">CANTIDAD:</td> <td style="width: 10%;">1</td> <td colspan="5" rowspan="11" style="text-align: center; vertical-align: middle;">  </td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>SERVICIO:</td> <td colspan="3">HIDROGENAR HEMICELULOSA</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>FLUIDO:</td> <td colspan="3">HEMICELULOSA</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>CAPACIDAD:</td> <td>Nominal</td> <td>0,036</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>Neto</td> <td></td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>DIAMETRO:</td> <td>360</td> <td>mm</td> <td>ALTURA:</td> <td>432</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>PRESIÓN</td> <td>OPERACIÓN</td> <td colspan="2">16</td> <td>Bar</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>EN EL TANQUE</td> <td>DISEÑO</td> <td colspan="2">17,6</td> <td>Bar</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td>VACIO</td> <td colspan="2"></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>TEMPERATURA</td> <td>OPERACIÓN</td> <td colspan="2">190</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>EN EL TANQUE</td> <td>DISEÑO</td> <td colspan="2">220</td> <td>°C</td> </tr> </table>										1	NUMERO:	R-220	CANTIDAD:	1						2	SERVICIO:	HIDROGENAR HEMICELULOSA			3	FLUIDO:	HEMICELULOSA			4	CAPACIDAD:	Nominal	0,036	m ³	5		Neto		m ³	6	DIAMETRO:	360	mm	ALTURA:	432	mm	7	PRESIÓN	OPERACIÓN	16		Bar	8	EN EL TANQUE	DISEÑO	17,6		Bar	9		VACIO			-	10	TEMPERATURA	OPERACIÓN	190		°C	11	EN EL TANQUE	DISEÑO	220		°C																																																																																																																																																																																							
1	NUMERO:	R-220	CANTIDAD:	1																																																																																																																																																																																																																																																															
2	SERVICIO:	HIDROGENAR HEMICELULOSA																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	FLUIDO:	HEMICELULOSA																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	CAPACIDAD:	Nominal	0,036	m ³																																																																																																																																																																																																																																																															
5		Neto		m ³																																																																																																																																																																																																																																																															
6	DIAMETRO:	360	mm	ALTURA:						432	mm																																																																																																																																																																																																																																																								
7	PRESIÓN	OPERACIÓN	16							Bar																																																																																																																																																																																																																																																									
8	EN EL TANQUE	DISEÑO	17,6							Bar																																																																																																																																																																																																																																																									
9		VACIO								-																																																																																																																																																																																																																																																									
10	TEMPERATURA	OPERACIÓN	190							°C																																																																																																																																																																																																																																																									
11	EN EL TANQUE	DISEÑO	220							°C																																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">ENCAMISADO:</td> <td>Operating Pressure</td> <td colspan="2"></td> <td>bar g</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>Operating Temp.</td> <td colspan="2"></td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>Design Pressure</td> <td colspan="2"></td> <td>bar g</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>Design Temperature</td> <td colspan="2"></td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>Nominal Diameter</td> <td colspan="2"></td> <td>inch</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>Length</td> <td colspan="2"></td> <td>m</td> </tr> </table>										ENCAMISADO:		Operating Pressure			bar g	1		Operating Temp.			°C	2		Design Pressure			bar g	3		Design Temperature			°C	4		Nominal Diameter			inch	5		Length			m																																																																																																																																																																																																																						
ENCAMISADO:		Operating Pressure			bar g																																																																																																																																																																																																																																																														
1		Operating Temp.			°C																																																																																																																																																																																																																																																														
2		Design Pressure			bar g																																																																																																																																																																																																																																																														
3		Design Temperature			°C																																																																																																																																																																																																																																																														
4		Nominal Diameter			inch																																																																																																																																																																																																																																																														
5		Length			m																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"></td> <td>MATERIAL</td> <td>ESPESOR</td> <td>MÁXIMA CORR.</td> <td colspan="5">NOZZLES</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>FONDO</td> <td>ACERO INOXSIDABLE</td> <td>15,16 mm</td> <td>10 mm</td> <td>Mark Nº</td> <td>cantidad</td> <td>tamaño</td> <td colspan="2">servicio</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>PAREDES</td> <td>ACERO INOXSIDABLE</td> <td>12,37 mm</td> <td>7,5 mm</td> <td>N1</td> <td>1</td> <td>0,5"</td> <td colspan="2">HEMICELULOSAS Y AGUA</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>ENCAMISADO</td> <td>ACERO INOXSIDABLE</td> <td>mm</td> <td>mm</td> <td>N2</td> <td>1</td> <td>0,5"</td> <td colspan="2">GASES DE VENTEO</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>TIPO:</td> <td>TECHO CÓNICO</td> <td>X</td> <td>TECHO ELICOIDAL</td> <td>N3</td> <td>1</td> <td>0,5"</td> <td colspan="2">XILITOL Y ARABITOL</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td>ENCAMISADO</td> <td>X</td> <td>CILINDRICO</td> <td>N4</td> <td>1</td> <td>0,5"</td> <td colspan="2">HIDRÓGENO</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>FONDO:</td> <td colspan="3">CILINDRICO</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td colspan="3">ESFERICO</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td></td> <td>X</td> <td colspan="3">ELICOIDAL</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>CÓDIGO:</td> <td colspan="8">ASME</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">DATOS DE LA CESTA</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>TIPO CAT</td> <td colspan="8">Pt-Sn/Al₂O₃</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>MASA CAT.</td> <td>29</td> <td colspan="7">g</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>DENSIDAD CAT.</td> <td>3950</td> <td colspan="7">kg/m³</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>DIAMETRO PART.</td> <td>0,1</td> <td colspan="7">mm</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>DIAMETRO MALLA</td> <td>0,08</td> <td colspan="7">mm</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td colspan="9">NOTAS:</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>26</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>27</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>28</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>29</td> <td colspan="9"></td> </tr> <tr> <td>30</td> <td colspan="9"></td> </tr> </table>												MATERIAL	ESPESOR	MÁXIMA CORR.	NOZZLES					7	FONDO	ACERO INOXSIDABLE	15,16 mm	10 mm	Mark Nº	cantidad	tamaño	servicio		8	PAREDES	ACERO INOXSIDABLE	12,37 mm	7,5 mm	N1	1	0,5"	HEMICELULOSAS Y AGUA		9	ENCAMISADO	ACERO INOXSIDABLE	mm	mm	N2	1	0,5"	GASES DE VENTEO		10	TIPO:	TECHO CÓNICO	X	TECHO ELICOIDAL	N3	1	0,5"	XILITOL Y ARABITOL		11		ENCAMISADO	X	CILINDRICO	N4	1	0,5"	HIDRÓGENO		12	FONDO:	CILINDRICO								13		ESFERICO								14		X	ELICOIDAL							15	CÓDIGO:	ASME								16										17										18	DATOS DE LA CESTA									19	TIPO CAT	Pt-Sn/Al ₂ O ₃								20	MASA CAT.	29	g							21	DENSIDAD CAT.	3950	kg/m ³							22	DIAMETRO PART.	0,1	mm							23	DIAMETRO MALLA	0,08	mm							24	NOTAS:									25										26										27										28										29										30									
		MATERIAL	ESPESOR	MÁXIMA CORR.	NOZZLES																																																																																																																																																																																																																																																														
7	FONDO	ACERO INOXSIDABLE	15,16 mm	10 mm	Mark Nº	cantidad	tamaño	servicio																																																																																																																																																																																																																																																											
8	PAREDES	ACERO INOXSIDABLE	12,37 mm	7,5 mm	N1	1	0,5"	HEMICELULOSAS Y AGUA																																																																																																																																																																																																																																																											
9	ENCAMISADO	ACERO INOXSIDABLE	mm	mm	N2	1	0,5"	GASES DE VENTEO																																																																																																																																																																																																																																																											
10	TIPO:	TECHO CÓNICO	X	TECHO ELICOIDAL	N3	1	0,5"	XILITOL Y ARABITOL																																																																																																																																																																																																																																																											
11		ENCAMISADO	X	CILINDRICO	N4	1	0,5"	HIDRÓGENO																																																																																																																																																																																																																																																											
12	FONDO:	CILINDRICO																																																																																																																																																																																																																																																																	
13		ESFERICO																																																																																																																																																																																																																																																																	
14		X	ELICOIDAL																																																																																																																																																																																																																																																																
15	CÓDIGO:	ASME																																																																																																																																																																																																																																																																	
16																																																																																																																																																																																																																																																																			
17																																																																																																																																																																																																																																																																			
18	DATOS DE LA CESTA																																																																																																																																																																																																																																																																		
19	TIPO CAT	Pt-Sn/Al ₂ O ₃																																																																																																																																																																																																																																																																	
20	MASA CAT.	29	g																																																																																																																																																																																																																																																																
21	DENSIDAD CAT.	3950	kg/m ³																																																																																																																																																																																																																																																																
22	DIAMETRO PART.	0,1	mm																																																																																																																																																																																																																																																																
23	DIAMETRO MALLA	0,08	mm																																																																																																																																																																																																																																																																
24	NOTAS:																																																																																																																																																																																																																																																																		
25																																																																																																																																																																																																																																																																			
26																																																																																																																																																																																																																																																																			
27																																																																																																																																																																																																																																																																			
28																																																																																																																																																																																																																																																																			
29																																																																																																																																																																																																																																																																			
30																																																																																																																																																																																																																																																																			

 Universidad de Valladolid				HOJA DE ESPECIFICACIÓN DEL TANQUE AGITADO CON CESTA				
REV.				Nº TRABAJO	1			
FECHA	20/05/2015			UNIDAD	200			
POR	RAQUEL			CLIENTE	UVA			
APROB.				LOCALIZACIÓN	VALLADOLID			
1	NUMERO: R-320		CANTIDAD: 1					
2	SERVICIO: HIDROGENAR GLUCOSA							
3	FLUIDO: GLUCOSA							
4	CAPACIDAD: Nominal		2.05	m ³				
5			Neto			m ³		
6	DIAMETRO:	1377	mm	ALTURA:	1650	mm		
7	PRESIÓN	OPERACIÓN	50		Bar			
8	EN EL TANQUE	DISEÑO	55		Bar			
9			VACIO	-				
10	TEMPERATURA	OPERACIÓN	180		°C			
11	EN EL TANQUE	DISEÑO	200		°C			
	ENCAMISADO:	Operating Pressure			bar g			
1		Operating Temp.			°C			
2		Design Pressure			bar g			
3		Design Temperature			°C			
4		Nominal Diameter			inch			
5		Length			m			
6	MATERIAL		ESPESOR	MÁXIMA CORR.	NOZZLES			
7	FONDO	ACERO INOXIDABLE	58 mm	10 mm	Nº NOZZLE	cantidad	tamaño	servicio
8	PAREDES	ACERO INOXIDABLE	56 mm	7,5 mm	N1	1	0,5"	GLUCOSA
9	ENCAMISADO	ACERO INOXIDABLE	mm	mm	N2	1	0,5"	GASES DE VENTEO
10	TIPO:	TECHO CÓNICO	X	TECHO ELICOIDAL	N3	1	0,5"	SORBITOL Y MANITOL
11		ENCAMISADO	X	CILINDRICO	N4	1	0,5"	HIDRÓGENO
12	FONDO:	CILINDRICO						
13		ESFERICO						
14		X	ELICOIDAL					
15	CÓDIGO:	ASME						
16								
17								
18	DATOS DE LA CESTA							
19	TIPO CAT	Ru/SiO ₂						
20	MASA	25,6	kg					
21	DENSIDAD CAT.	2650	kg/m ³					
22	DIAMETRO PART.	0,3	mm					
23	DIAMETRO MALLA	0,028	mm					
24	NOTAS:							
25								
26								
27								
28								
29								
30								



5.5 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

5.5.1 ESTRATEGIA DE CONTROL

El control es clave en una planta, es necesario controlar cada equipo de manera automática, mediante lazos de control, algunos simplemente son lazos simples, pero en los equipos más importantes se ha diseñado un control más específico.

En el extractor (R-210):

Lo primero que se hace es poner un control simple de medidor del nivel en el reactor (LT-01), de manera que manda una señal a un control de nivel (LC-01), que regula la apertura del silo (F-111) con una válvula.

Lo siguiente que se tiene es una válvula de tres vías (xv-01), la cual tiene que abrirse en diversos casos o para el reactor R-210A o al R-210B, para regular esto se pone un control lógico programable (PLC-1), esto se explica en detalle en el siguiente apartado. Además a estos dos reactores les tiene que llegar agua por otra válvula de tres vías (xv-02), la cual también está regulada por el mismo PLC.

Por otro lado, se tienen dos corrientes de salida reguladas por dos válvulas de control, la válvula de salida de sólidos (FV-02) se regula con este PLC al igual que la bomba (P-210 A/B) que extrae ese sólido y la válvula de salida de hemicelulosas líquidas (FV-01) se regula con el PLC y además se coloca un transistor que mide el flujo de agua (FT-01) y que manda una señal con un control de flujo (FC-01) de manera que abre la válvula cuando esta añadiéndose agua al reactor.

En el tanque agitado (R-310):

EL sólido que sale del extractor (R-210) se lleva a este tanque agitado, y como también hay dos, hay una válvula (xv-03) que alimenta un reactor u otro, esto está regulado con un (PLC-02), explicado en el siguiente apartado. Además están las válvulas (xv-04) la cual regula a que tanque tiene que ir la dosis de enzima, controlada por el mismo PLC así como la válvula (xv-05) que lleva el ácido o la base a cada tanque.

Por último esta la válvula (xv-06) que lleva ácido o base, para regularlo se ha colocado un medidor de pH en el tanque (NT-01) el cual manda la señal al controlador de pH (NC-01) que se encarga de abrir de decir si es necesario ácido o base.

Por otro lado, en el propio tanque se dispone de un encamisado, en el cual a veces se necesita que circule agua fría cuando se está llenando el tanque, o agua a 50°C cuando está operando, para ello se coloca otra válvula de tres

vías (xv-07). En esta se pone un lazo en cascada, lo cual consiste en colocar un medidor de temperatura en el tanque (TT-05) que manda la señal a un (TC-05), y por otro lado se pone un medidor de flujo en la corriente de alimentación del sólido (FT-02) que manda la señal a un (FC-02) y el (TC-05) manda la señal también a este control.

Y para terminar con el control del tanque se dispone de dos válvulas de control, como sucedía en el extractor, (FV-03) que regula la salida del sólido, y (FV-04) que regula la salida de glucosa, y esto se controla con el mismo (PLC-02) y que se explica en el siguiente apartado.

Además se dispone de la bomba (P-310 A/B) que esta también incluido su control en el (PLC-02).

En la planta además se dispone de varios intercambiadores de calor, en los cuales se hace pasar vapor de media presión (MPS), este flujo también es necesario regularle. Para ello también se coloca un control en cascada de manera que se mide la temperatura de la corriente (TT) que sale del intercambiador, y se manda la señal al controlador (TC), y por otro lado se mide el flujo de MPS (FT) y se manda la señal al controlador (FC), y este controlado de flujo realiza los cálculos necesarios para regular cuanto MPS es necesario, abriendo o cerrando la válvula de control.

Para los tanques agitados de hidrogenación, se coloca un lazo simple de control de la presión, para controlar el flujo de gases de venteo.

Además cada válvula de expansión que hay tras cada bomba, lleva su PI para regularlas.

5.5.2 CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE

A continuación se explican los dos lazos de control lógico programable, mostrado en tablas:

PLC 01: incluye los siguientes controles:

- XV-01: Válvula de tres vías.
- XV-02: Válvula de tres vías.
- UC-01a, UC-01b, UC-02, UC-03.
- LSH-01a, LSH-01b.
- LSL-01a, LSL-01b.
- FV-01a, FV-01b, FV-02a, FV-02b.

Notas generales:

- Activado → 1
- Desactivado → 0

En las tablas 7 y 8, se explica detalladamente este control:

Tabla 7: PLC 1

Instrumentos	Acciones	Condiciones
UC-02	0 → Se para el motor de P-210	Si LSH-01a y LSH-01b están desactivados
	1 → Se activa el motor de P-210	Si LSH-01a o LSH-01b están activados Si LSH-01a y LSH-01b están activados
UC-01	0 → Se cierra xv-01	Si LSH-01 está activado
	1 → Se abre xv-01	Si LSH-01 esta desactivado
XV-01	0 → Abre R-210A	FV-01a y FV-02a están cerradas LSH-01a esta desactivado FV-02b está abierta (1)
	1 → Abre R-220B	FV-01b y FV-02b están cerradas. LSH-01b esta desactivado FV-02a está abierta (1)
FV-02a	0 → Cerrada	LSL-01a está activado LSH-01a esta desactivado Tiempo LSH-01a desactivado < 25 minutos FV-02b abierta
	1 → Abierta	XV-01 → 1 Tiemp LSH-01a activado =25min LSL-01a desactivado
FV-02b	0 → Cerrada	LSL-01b está activado LSH-01b esta desactivado Tiempo LSH-01a desactivado < 25 minutos FV-02a abierta
	1 → Abierta	XV-01 → 0 Tiempo LSH-01b activado =25min. LSL-01b desactivado

Tabla 8: PLC 1

Instrumentos	Acciones	Condiciones
UC-03	0 → Se para el motor de P-410	Si LSH-01a y LSH-01b están desactivados
	1 → Se activa el motor de P-410	Si LSH-01a o LSH-01b están activados Si LSH-01a y LSH-01b están activados
XV-02	0 → Abre R-210A	FV-02a está cerrada (0) LSH-01a está activado. FV-02b está abierta (1)
	1 → Abre R-220B	FV-02b está cerrada (0) LSH-01b está activado. FV-02a está abierta (1)
FV-01a	0 → Cerrada	XV-02 → 1 LSH-01a desactivado FV-01b está abierta
	1 → Abierta	XV-02 → 0 Tiempo LSH-01a desactivado <25 minutos.
FV-01b	0 → Cerrada	XV-02 → 0 LSH-01b desactivado FV-01a está abierta
	1 → Abierta	XV-02 → 1 Tiempo LSH-02a desactivado <25 minutos.

PLC 02: incluye los siguientes controles:

- XV-03: Válvula de tres vías.
- XV-04: Válvula de tres vías.
- XV-05: Válvula de tres vías.
- UC-04a, UC-04b, UC-05.
- LSH-02a, LSH-02b.
- LSL-02a, LSL-02b.
- FV-03a, FV-03b, FV-04a, FV-04b.

Notas generales:

- Activado → 1
- Desactivado → 0

En las tablas 9 y 10, se explica detalladamente este control:

Tabla 9: PLC 2

Instrumentos	Acciones	Condiciones
UC-05	0 → Se para el motor de P-310	Si LSH-02a y LSH-02b están desactivados
	1 → Se activa el motor de P-310	Si LSH-02a o LSH-02b están activados Si LSH-02a y LSH-02b están activados
UC-04	0 → Se cierra xv-03	Si LSH-01 está activado
	1 → Se abre xv-03	Si LSH-01 esta desactivado
XV-03	0 → Abre R-310A	FV-03a y FV-04a están cerradas Tiempo LSH-02a desactivado <66h. LSL-02a está activado
	1 → Abre R-320B	FV-03b y FV-04b están cerradas. Tiempo LSH-02b desactivado <66h. LSL-02b está activado
FV-03a	0 → Cerrada	LSL-02a está activado Tiempo LSH-02a activado < 72h.
	1 → Abierta	XV-03 → 1 Tiempo LSH-02a desactivado =72h. LSL-02a desactivado
FV-03b	0 → Cerrada	LSL-02b está activado Tiempo LSH-02b activado < 72h.
	1 → Abierta	XV-03 → 0 Tiempo LSH-02b desactivado =72horas. LSL-02b desactivado

Tabla 10: PLC 2

Instrumentos	Acciones	Condiciones
XV-04	0 → Abre R-310A	FV-03a y FV-04a están cerradas Tiempo LSH-02a desactivado <66h y 30min.
	1 → Abre R-320B	FV-03b y FV-04b están cerradas. Tiempo LSH-02b desactivado <66h y 30min.
XV-05	0 → Abre R-310A	FV-03a y FV-04a están cerradas Tiempo LSH-02a desactivado <69h.
	1 → Abre R-320B	FV-03b y FV-04b están cerradas. Tiempo LSH-02b desactivado <69h
FV-04a	0 → Cerrada	LSL-02a está activado Tiempo LSH-02a desactivado < 72horas.
	1 → Abierta	XV-03 →1 Tiempo LSH-02b activado =72horas. LSL-02a desactivado
FV-04b	0 → Cerrada	LSL-02b está activado Tiempo LSH-02b desactivado < 72horas.
	1 → Abierta	XV-03 →0 Tiempo LSH-02b activado =72horas. LSL-02b desactivado

5.5.3 DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

En el apartado de anexos, en la sección de diagramas, se puede encontrar en tercer lugar un diagrama de simbología previo a este diagrama de instrumentación y control (P&ID) que se encuentra en cuarto lugar.

6

SEGURIDAD

6 SEGURIDAD

6.1 HAZOP

A continuación se muestran las diferentes tablas con el estudio de seguridad Hazop de la planta:

ESTUDIO HAZOP		
CLIENTE: UVA	NODO N°: 2	REV:
PLANTA: BIOMASA DE PINO	EQUIPO/LINEA: E-410/ W-105,W-106	FECHA:02/06/2015
SISTEMA: INTERCAMBIADOR	INTENCIÓN DE DISEÑO: AGUA CALIENTE	POR: RAQUEL

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
MAS	Si tiene más temperatura.	-El intercambiador está estropeada. -Entra demasiado flujo de vapor de media presión	- El calor excesivo puede estropear la tubería, o quemar al personal de la planta.	Se coloca un control en cascada a este intercambiador, midiendo la temperatura de esta corriente, y el flujo de vapor que se mete.
MENOS	Si tiene menos temperatura.	-Un mal funcionamiento de intercambiador de calor. -Entra poco flujo de vapor de media presión.	-Si esta corriente sale con menos temperatura de la requerida, entrará al extractor a bajar temperatura y no conseguirá transformar la biomasa, y se puede producir un atasco de sólidos en dicho reactor.	Se coloca un control en cascada a este intercambiador, midiendo la temperatura de esta corriente, y el flujo de vapor que se mete.

ESTUDIO HAZOP		
CLIENTE: UVA	NODO N°: 2	REV:
PLANTA: BIOMASA DE PINO	EQUIPO/LINEA: E-310/ G-107	FECHA:02/06/2015
SISTEMA: INTERCAMBIADOR	INTENCIÓN DE DISEÑO: GLUCOSA CALIENTE	POR: RAQUEL

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
MAS	Si tiene más temperatura.	-El intercambiador está estropeada. -Entra demasiado flujo de vapor de media presión	- El calor excesivo puede estropear la tubería, o quemar al personal de la planta.	Se coloca un control en cascada a este intercambiador, midiendo la temperatura de esta corriente, y el flujo de vapor que se mete.

ESTUDIO HAZOP		
CLIENTE: UVA	NODO N°: 2	REV:
PLANTA: BIOMASA DE PINO	EQUIPO/LINEA: E-610,E-611/ H-104,H-107	FECHA:02/06/2015
SISTEMA: INTERCAMBIADOR	INTENCIÓN DE DISEÑO: HIDRÓGENO CALIENTE	POR: RAQUEL

PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
MAS	Si tiene más temperatura.	-El intercambiador está estropeada. -Entra demasiado flujo de vapor de media presión	- El calor excesivo puede estropear la tubería, o quemar al personal de la planta. -Además este hidrógeno es inflamable y a mayor temperatura, mayor riesgo de explosión.	Se coloca un control en cascada a este intercambiador, midiendo la temperatura de esta corriente, y el flujo de vapor que se mete.
MAS	Si tiene más presión.	-La bomba colocada antes del intercambiador puede estar estropeada.	- El calor excesivo puede estropear la tubería, o quemar al personal de la planta. -Además este hidrógeno es inflamable y a mayor presión, mayor riesgo de explosión.	Se coloca un control PI en la bomba.

ESTUDIO HAZOP		
CLIENTE: UVA	NODO N°: 2	REV:
PLANTA: BIOMASA DE PINO	EQUIPO/LINEA: R-220,R-320/ V-101,V-102	FECHA:02/06/2015
SISTEMA: CSTR	INTENCIÓN DE DISEÑO: SALIDA DE GASES DE VENDEO	POR: RAQUEL

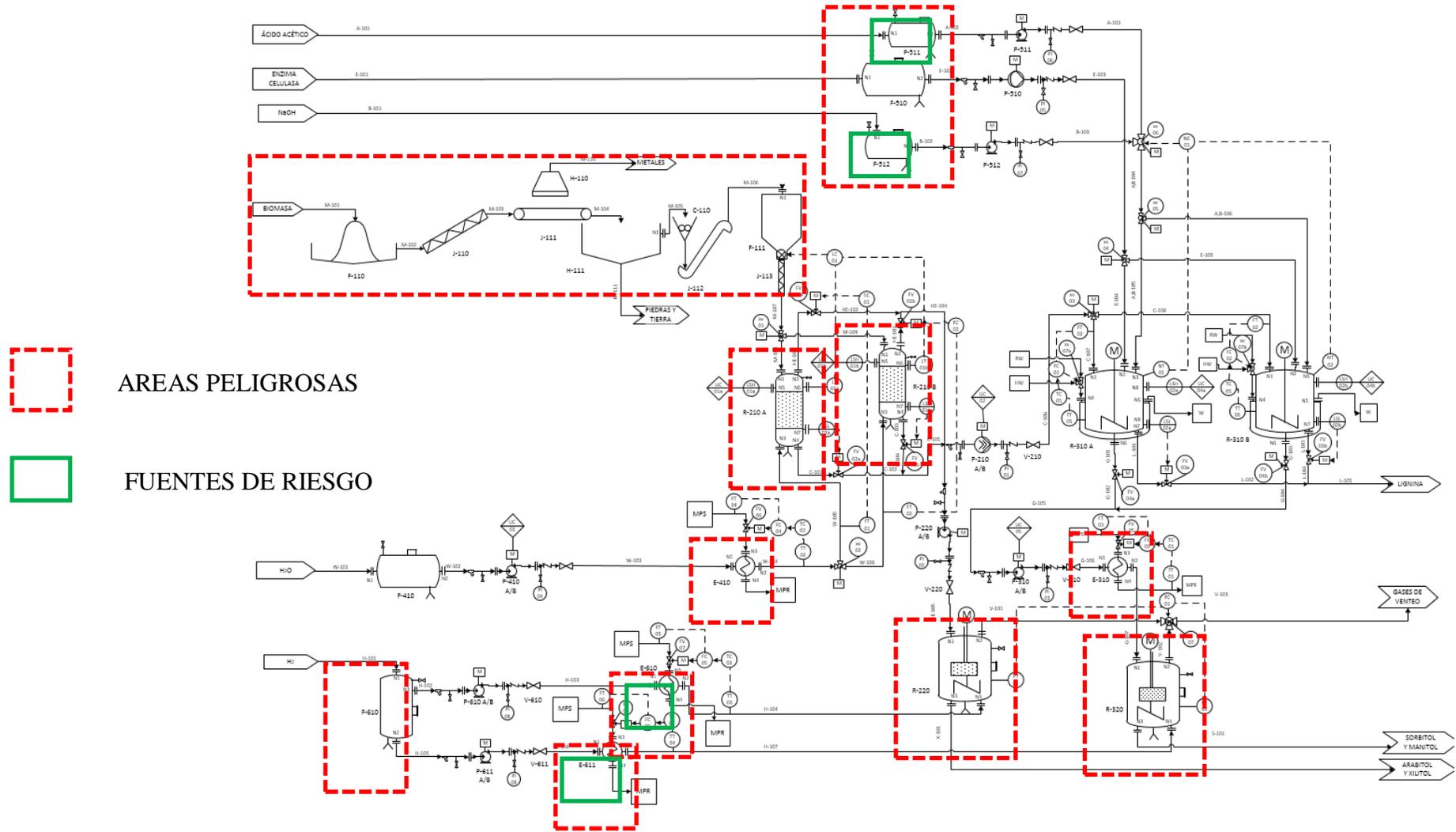
PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
MAS	Si tiene más presión.	-Haber metido demasiado hidrógeno. -Un aumento excesivo de la presión en el propio reactor.	- El calor excesivo puede estropear la tubería, o quemar al personal de la planta. -Además este hidrógeno es inflamable y a mayor presión, mayor riesgo de explosión.	Se coloca un control de presión en este reactor. Además estos gases se tendrán que descomprimir.

6.2 CLASIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD

Tabla 11: Clasificación de áreas peligrosas

REV.	TAG	SERVICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	E-310	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE GLUCOSA	DENTRO	NATURAL	LIQ.	ALTA	180	C	PESADA	-	-	CONT.
2	E-410	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE AGUA	DENTRO	NATURAL	LIQ.	MEDIA	190	C	PESADA	-	-	CONT.
3	E-610	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE HIDRÓGENO	DENTRO	NATURAL	LIQ.	MEDIA	190	C	PESADA	-	-	CONT.
4	E-611	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE HIDRÓGENO	DENTRO	NATURAL	LIQ.	ALTA	180	C	PESADA	-	-	CONT.
5	R-220	CSTR DE HEMICELULOSA	DENTRO	NATURAL	GAS	MEDIA	190	B	LIGERA	490	500	CONT.
6	R-320	CSTR DE GLUCOSA	DENTRO	NATURAL	GAS	ALTA	180	B	LIGERA	490	500	CONT.
7	F-511	TANQUE DE Hac.	DENTRO	NATURAL	LIQ.	ATM	15	A	PESADA	40	485	FREQ.
8	F-512	TANQUE DE NaOH	DENTRO	NATURAL	LIQ.	ATM	15	D	PESADA	-	-	FREQ.
9	F-110	SILO DE BIOMASA	DENTRO	FORZADA	SOL.	ATM	15	F	PESADA	310	350	FREQ.
10	J-110	TRANSPORTADOR	DENTRO	FORZADA	SOL.	ATM	15	F	PESADA	310	350	FREQ.
11	J-111	TRANSPORTADOR	DENTRO	FORZADA	SOL.	ATM	15	F	PESADA	310	350	FREQ.
12	H-111	SEDIMENTADOR	DENTRO	FORZADA	SOL.	ATM	15	F	PESADA	310	350	FREQ.
13	C-110	TRITURADOR	DENTRO	FORZADA	SOL.	ATM	15	F	PESADA	310	350	FREQ.

INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO



Observando la tabla 11, y viendo el diagrama con las áreas peligrosas señaladas hay que destacar:

- La zona de acondicionamiento, es considerada una zona peligrosa, dado que se está manipulando madera, y se puede desprender polvo en todas las etapas que conlleva. Por ello en esta zona como medidas de seguridad es necesario la utilización de mascarillas para los trabajadores, así como un ambiente ventilado, y además se colocan unos filtros de aire, en esta zona.
- En el caso del ácido y la base se les considera zonas peligrosas, dado que se pueden producir derrames de los tanques, lo cual puede ser peligroso para los trabajadores. Es necesario un reforzamiento en estos tanques así como una gran limpieza de esta zona, además de filtrar el aire, pero evitando que salga a la atmósfera.
- También se consideran zonas peligrosas los intercambiadores de calor, así como las tuberías que transportan esos fluidos calientes, dado que se trabaja con altas temperaturas en muchos casos, casi rondando los 200°C. Es necesario un buen aislamiento tanto de tuberías como de equipos, y los trabajadores deben llevar siempre guantes.
- Las zonas de alta presión, son los tres reactores señalados, las consecuencias pueden ser las mismas que con alta temperatura. Como soluciones se colocan discos de ruptura en las bombas o válvulas de alivio.
- Por último es necesario recalcar el hecho de que se utiliza hidrógeno, el cual es un compuesto inflamable, además de que se trabaja con él a altas temperaturas y presiones. Por ello para el diseño de los equipos y tuberías que llevan este hidrógeno, es necesario basarse en la normativa ATEX (atmósferas explosivas en el lugar de trabajo). [23]

Se plantea la utilización de nitrógeno como inerte de esta planta para utilizarlo en las situaciones que sea necesario, como es el caso de los tanques de hidrógeno, para inertizar la atmósfera y que no sea explosiva.

7

IMPACTO AMBIENTAL

7. IMPACTO AMBIENTAL

El objetivo principal de esta instalación y de este proyecto, es el aprovechamiento de madera de pino, de residuos forestales para su transformación en productos de interés. Este es el principal aspecto a identificar en este apartado, dado que el hecho de recoger estos residuos del suelo es algo claramente beneficioso para el medio ambiente. Por lo tanto como principal característica de este análisis del impacto ambiental se tiene que:

- El aprovechamiento de madera de pino de los suelos de estos pinares, es algo provechoso para el medio ambiente de manera que se quitan residuos, y con ello se obtienen productos útiles.

Por otro lado es necesario analizar todas las corrientes que salen del proceso, y que pueden suponer riesgo ambiental, además de alguna corriente que se pueda considerar peligrosa simplemente por circular por la instalación. Todo esto se puede ver en la siguiente tabla 12:

Tabla 12: Corrientes que suponen un riesgo ambiental

<i>NÚMERO CORRIENTE</i>	<i>SERVICIO</i>	<i>DE</i>	<i>COMPONENTES</i>	<i>A</i>	<i>TRATAMIENTO</i>
26	Metales	H-110	-Metales (100% w)	Metales	Se mandan a un gestor de residuos.
27	Tierra y piedras	H-111	-Tierra y piedras (100% w)	Tierra y piedras	Se puede considerar o mandarla de vuelta al pinar, si es necesario, o directamente a un vertedero.
11	Lignina y un resto	R-310 A/B	- NaOH (3,06% w) - HAc.(1,51% w) - Enzima(13,8% w) - Agua(32,3% w) - Hemicel.(7,36% w) - Celulol.(24,15% w) -Lignina(15,41% w) - Cenizas(2,43% w)	Lignina	A esta corriente no se le hace ningún tratamiento, dado que se considera un subproducto de la planta, que se venderá a alguien que la quiera dar un uso. En ese momento, se vería si es necesario hacerla algo. A este momento se almacena en un lugar seguro.
39	Ácido Acético	F-511	-HAc.(100% w)	R-310A/B	Es necesario un buen aislamiento de estos tanques y tuberías, así como una buena limpieza de la zona.

NÚMERO CORRIENTE	SERVICIO	DE	COMPONENTES	A	TRATAMIENTO
42	Hidróxido de Sodio	F-512	-NaOH(100% w)	R-310A/B	Es necesario un buen aislamiento de estos tanques y tuberías, así como una buena limpieza de la zona.
37	Gases de venteo	R-220, R-320	-Agua(40% w) -H ₂ (50,88% w) -Xilitol(0,11% w) -Arabitol(0,01% w) -Sorbitol(8,55% w) -Manitol(0,45% w)	Gases de Venteo	Dado que estos gases salen a altísima presión, lo primero que sería necesario es una descompresión, para poder almacenarlos en un sitio más seguro, por otro lado se puede intentar hacer una separación de los condensados principalmente agua. Y por último se podría tratar de recuperar el hidrógeno y recircularlo por adsorción selectiva de hidrógeno como una posible etapa.

Se puede concluir por tanto, que esta instalación apenas presenta un gran impacto ambiental, dado que lo más peligroso utilizado es el hidrógeno a alta presión. Y que además se ha desarrollado todo el proyecto con fines ecológicos, para aprovechar los residuos del entorno y darles utilidad.

8

EVALUACIÓN ECONÓMICA

8. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado, se ha estudiado la viabilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta el coste de implantación de la planta, así como el precio de los equipos y materias primas necesarias, los beneficios recaudados y varios factores económicos que puedan influir sobre el proceso.

En primer lugar, la estimación del coste de los equipos se ha realizado con ayuda del programa informático CapCost, con un índice CEPCI igual a 576,1 (correspondiente al año 2014, que es el más reciente disponible).

En la siguiente tabla 13 se recogen los precios base de cada equipo, así como su presupuesto final teniendo en cuenta los costes de materiales, de puesta en marcha e indirectos relacionado con los equipamientos necesarios para su correcto funcionamiento.

Tabla 13: Precios de los equipos

IDENTIFICACIÓN	EQUIPOS	CANTIDAD	COSTE BASE (€)	COSTE TOTAL (€)
R-210 A/B	REACTOR	2	6439,62	50913,8
R-220	REACTOR	1	2394,9	15966
R-310 A/B	REACTOR	2	6989,56	55348,8
R-320	REACTOR	1	6714,59	268761
P-410 A/B	BOMBA	2	76636,8	480754
P-610 A/B	BOMBA	2	72201,8	434630
P-611 A/B	BOMBA	2	99876,2	785882
P-310 A/B	BOMBA	2	99876,2	785882
P-510 A/B	BOMBA	2	211106	1161970
E-410	INTERCAMBIADOR	1	3752,01	22441,1
E-310	INTERCAMBIADOR	1	4000,37	24569,9
E-610	INTERCAMBIADOR	1	3406,08	20312,3
E-611	INTERCAMBIADOR	1	3406,08	20933,2
F-410	TANQUE DE H ₂ O	1	12861,5	128615
F-610	TANQUE DE H ₂	1	55703,6	815153

A partir de estos datos correspondientes a los costes fijos de inversión (los cuales engloban el coste de los equipos, montaje y la puesta en marcha), se empleó el método ISBL-OSBL para la determinación del resto de costes: tanto los variables de operación asociados al consumo de energía y servicios, así como los costes fijos relacionados con los sueldos de los trabajadores y mantenimiento:

- Los costes directos de la planta incluyen el precio de los equipos estimado mediante Capcost (11 MM€) más el resto de equipos, instrumentación y planta fuera de los límites de batería del proceso (5 MM€), haciendo un total de casi 16MM€.
- Los costes indirectos se estiman en casi 4MM€, contabilizando gastos de ingeniería, diseño, administrativos, inspecciones (0,8 MM€) y un cierto porcentaje para contingencias (3,19 MM€)
- La suma de ambos, representan la inversión en capital fijo de la planta (20MM€), es decir, el valor de la infraestructura de la planta
- Se estiman unos gastos en operarios y trabajadores de 4 MM€ y un coste inicial en la puesta en marcha de la planta de 2 MM€

Por tanto, el presupuesto total sería de 25,93 MM€, tal y como se muestra en la siguiente tabla 14 resumen, con los datos de los costes explicados con anterioridad:

Tabla 14: Total del coste de la inversión

COSTES DIRECTOS	15,96	MM€
ISBL	11,01	MM€
OSBL	4,95	MM€
COSTES INDIRECTOS	3,99	MM€
OWC	0,80	MM€
CO	3,19	MM€
FCI	19,95	MM€
WC	3,99	MM€
SUC	1,99	MM€
INVERSIÓN	25,93	MM€

Y en la siguiente figura 20 se puede ver una gráfica resumen de estos datos:

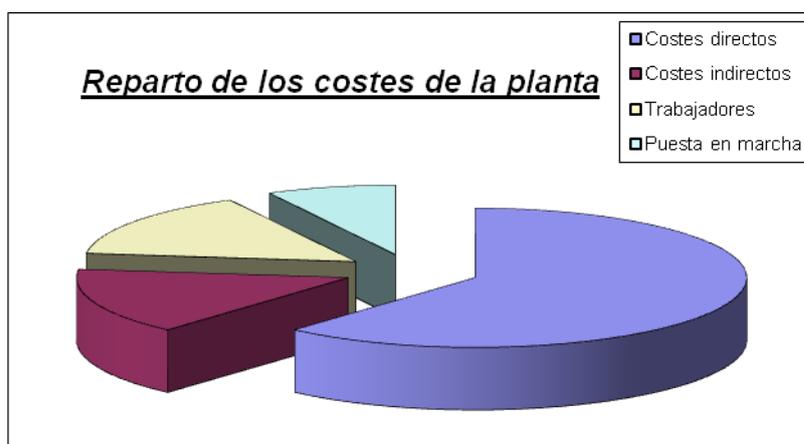


Figura 20: Reparto de los costes de la instalación

A continuación, se detalla el balance a las materias empleadas, con los precios de las materias primas y productos, con el fin de poder realizar posteriormente un balance de costes e ingresos y un flujo de caja. Se puede ver esto en la tabla 15:

Tabla 15: balance de materias y productos

Compuesto	Flujo	Precio	
	kg/h	€/kg	MM€
Materias primas			
Hac	2,07	37,16	0,554
NaOH	2,07	33,50	0,499
Biomasa	0,0035	9,37	0,00024
Enzima	6,822	2150	105,6
H ₂ O	0,0961	2,07	0,0014
H ₂	9,5	1,57	0,107
Pt-Sn/Al ₂ O ₃			
Ru/SiO ₂			
Productos			
Xilitol	0,373	904	2,43
Arabitol	0,041	8560	2,527
Sorbitol	59,83	296,8	127,8
Manitol	3,149	317	7,19

Indicar que los precios aquí seleccionados se han buscado y comparado por Internet, a partir de las páginas de las empresas suministradoras; y de informes comerciales de mercado como por ejemplo del Instituto Forestal, para las maderas de pino.

Con todo ello, se puede obtener la cuenta de resultados, fijando una amortización de los equipos y de la planta a los 10 años desde su inicio e imponiendo un impuesto del 30%. Se muestra a continuación en la tabla 16:

Tabla 16: Cuenta de resultados, del flujo de caja

Cuenta de Resultados Descripción (MM€)	Año										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1. Capital Inmovilizado	4,0	16,0	19,9								
A2. Capital Circulante			1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
A. FI - Fondos Invertidos	-4,0	-16,0	-21,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
B1. Ingresos por Ventas			140	140	140	140	140	140	140	140	140
B2. Costes			-123	-123	-123	-123	-123	-123	-123	-123	-123
B. Margen Bruto			17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
C1. Amortización			-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6
C. BAI - Beneficio antes de Impuestos			14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
D1. Impuestos			-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4
D. BDI - Beneficio después de Impuestos			10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
E. FGO - Fondos Generados por las operaciones	-4,0	-16,0	-11,0	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
F. FGO-R - Movimiento de Fondos Cash Flow Acumulado	-4,0	-19,9	-31,0	-22,1	-13,1	-4,2	4,7	13,6	22,6	31,5	40,4

A la vista de estos resultados, se puede señalar que este proyecto cuenta con una rentabilidad viable, amortizando la inversión inicial en su quinto año desde el arranque de la planta, tal y como queda representado en el siguiente flujo de caja: (figura 21)

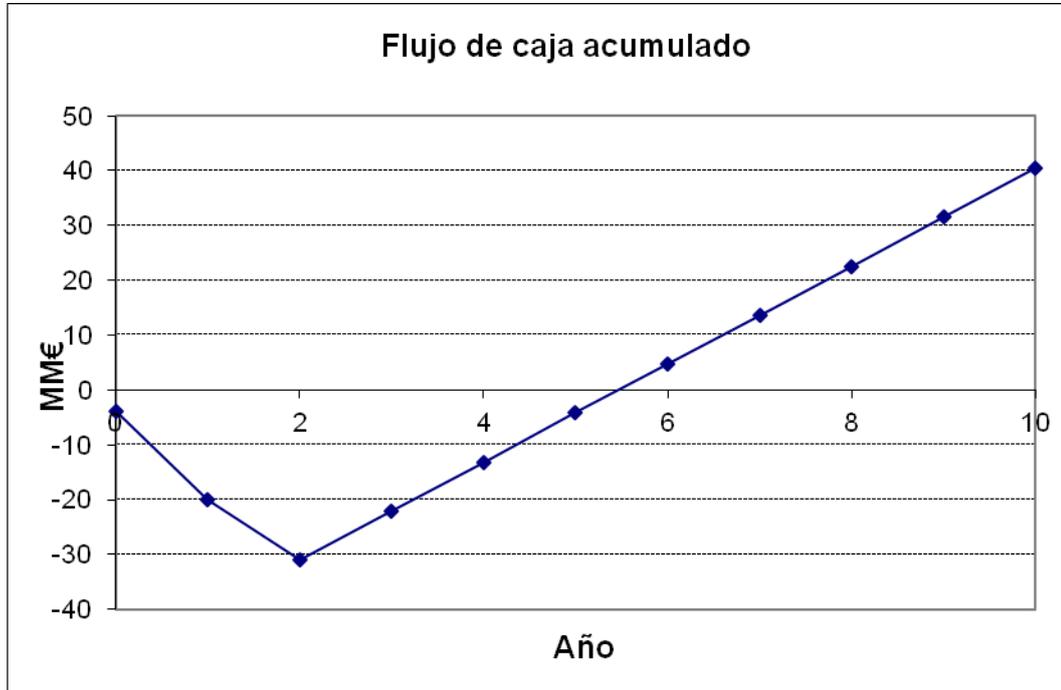


Figura 21: Flujo de caja acumulado

Además, se cuenta con un **VAN positivo de 14,57 MM€**, lo que en principio, es aceptable, con una **rentabilidad del 56%** respecto de la inversión inicial (VAN/Inversión), lo que supone una ganancia de 0,56€ por cada uno invertido.

Por otra parte, el valor del **TIR es del 19%**, por encima de la tasa de descuento del 10% exigible a proyectos de este tipo de riesgos.

A mayores, se ha realizado un estudio de sensibilidad para el precio de los productos finales; quedando reflejada en la siguiente figura 22:

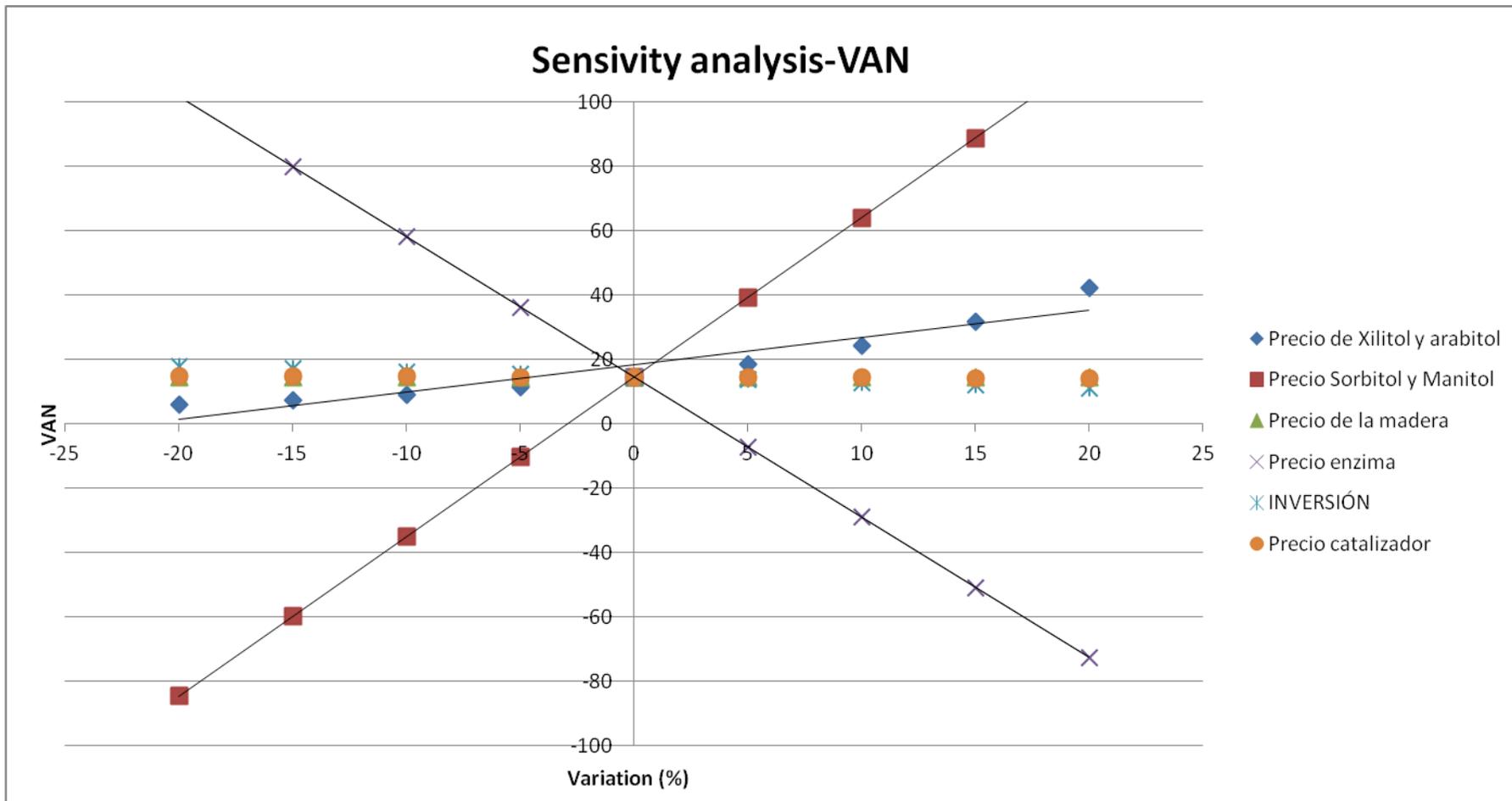


Figura 22: Análisis de sensibilidad

Tal y como se muestra en el análisis, se cuenta con una importante estabilidad en cuanto al precio del xilitol y el arabitol, como productos, la madera como materia prima y la inversión de los equipos, sin repercutir en medida considerable sobre los beneficios de la planta.

En cambio, en el caso del sorbitol y manitol como productos presenta una gran sensibilidad; elevando la ganancia a cuotas muy significativas con variaciones pequeñas en el precio, y en contrapartida, resultando una operación no viable con una disminución superior al 3% del precio fijado. Sucede lo mismo pero al contrario con el precio de la enzima, pero en este caso, se podría tomar como medida para que la planta siguiera resultando viable, cambiar la enzima por un ácido, de esta forma el precio no se dispararía así y la planta seguiría dando beneficios.

Por todo esto, se concluye que el análisis económico del proyecto es viable.

9

SIMBOLOGÍA

9. SIMBOLOGÍA

SIMBOLOGÍA UTILIZADA		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
C_A	Concentración del producto	g/L
C_{A0}	Concentración inicial del producto	g/l
C_v	Fracción de sólidos	-
D	diámetro	m
D_p	Diámetro de partícula	m
D_T	Diámetro del tanque	m
α	porosidad	-
α_{mf}	Porosidad mínima de fluidización	-
f	Factor de fricción en tuberías	-
g	gravedad	m/s ²
Ga	Número de Galileo	-
H	Altura manométrica de la bomba	m.c.f
h_f	Perdidas de la tubería	m
k	Constante cinética	min ⁻¹
K	Factor de pérdidas de ada accesorio	-
L	Longitud	m
$L_{fluidizado}$	Longitud de lecho fluidizado	m
L_{fijo}	Longitud de lecho fijo	m
\dot{m}	Flujo másico	Kg/s
n	Factor de Richardson-Zaki	-
P	presión	bar
$P_{operación}$	Presión de operación	bar
$P_{diseño}$	Presión de diseño	bar
Pot	Potencia	W
Q	Caudal	m ³ /s
R	radio	m
$(-r_A)$	Velocidad de reacción	mol/Ls
Re	Número de Reynolds	-
Re_{mf}	Número de Reynolds mínimo de fluidización	-
Re_p	Número de Reynolds de partícula	-
t	espesor	m
ti	tiempo	min
t_{res}	Tiempo de residencia	min
T	temperatura	°C
$T_{operación}$	Temperatura de operación	°C
$T_{diseño}$	Temperatura de diseño	°C

SIMBOLOGÍA UTILIZADA		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
u	Velocidad	m/s
u_{mf}	Velocidad mínima de fluidización	m/s
u_{∞}	Velocidad límite de caída	m/s
u_s	Velocidad del fluido	m/s
V	Volumen	m^3
V_p	Volumen de partícula	m^3
V_{fijo}	Volumen de lecho fijo	m^3
V_{libre}	Volumen libre	m^3
X_A	conversión	-
z	altura	m
ΔP	Caída de presión	Pa
\tilde{n}	Densidad	Kg/m^3
\tilde{n}_s	Densidad del sólido	Kg/m^3
\tilde{n}_{susp}	Densidad de la suspensión	Kg/m^3
\tilde{n}_{fluido}	Densidad del fluido	Kg/m^3
μ	viscosidad	Pa*s
μ_{susp}	Viscosidad de la suspensión	Pa*s
μ_{fluido}	Viscosidad del fluido	Pa*s

10

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] http://www.appa.es/04biomasa/04que_es.php Acceso (20/febrero/2015)
- [2] http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/Concepto_y_clasificacion.asp Acceso (20/febrero/2015)
- [3] <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Propiedades%20f%EDsicasm3.htm> Acceso (22/febrero/2015)
- [4] http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf Acceso (24/febrero/2015)
- [5] https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=ria&uact=8&ved=0CDIQFjAC&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4754509.pdf&ei=bq0fVdD8LsLiU47_g4AK&usg=AFQjCNH8K9xUaVMN36TnECXxZ8RI8iabOg&sig2=UN1VtgFk-HTT10XVCLhCzg Acceso (4/abril/2015)
- [6] <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf> Acceso (4/abril/2015)
- [7] <http://es.wikipedia.org/wiki/Xilitol> Acceso (4/abril/2015)
- [8] <http://www.xilitol.es/> Acceso (4/abril/2015)
- [9] <http://es.slideshare.net/animab/sorbitol> Acceso (4/abril/2015)
- [10] http://www.acofarma.com/admin/uploads/descarga/4258-3210f125daea9de682eea1430e51840e0760640f/main/files/Sorbitol_polvo_y_Sorbitol_sol_70_.pdf Acceso (4/abril/2015)
- [11] <http://manitol.net/> Acceso (24/febrero/2015)
- [12] http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/medicina_experimental/v14_n1/lignina_bagazo.htm Acceso (6/abril/2015)
- [13] <http://www.creces.cl/new/index.asp?imat=+++%3E++15&tc=3&nc=5&art=378> Acceso (6/abril/2015)
- [14] <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?!=2422&k=cle> Acceso (10/marzo/2015)

- [15] <http://datosclima.es/Prestad.php> Acceso (10/marzo/2015)
- [16] http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/15296/5/Tema5_MULTIFASICO_RUA.pdf Acceso (10/marzo/2015)
- [17] Coulson & Richardson's Chemical Engineerin Particle Technology and Separation Processes. Richardson J.F., Harker J.H., Backhurst J.R., Butterworth Heinemann. Volume 2. Fifth edition. (2002)
- [18] Mecánica de fluidos. Frank White. The McGraw-Hill. Sexta edición.
- [19] <http://www.lewa.es/es/bombas/bombas-centrifugas/bomba-centrifuga-con-motor-encapsulado-nikkiso/#c106137> Acceso (12/abril/2015)
- [20] <http://www.almesa.com/assets/files/CatalogoTecnico.pdf> Acceso (24/marzo/2015)
- [21] <http://www.scienceplease.com/files/products/overviews/cellicctec2.pdf>
Acceso (12/abril/2015)
- [22] http://indostra.com/docs/Indostra_Flow_Control_ficha_agitadores_NRE-3000.pdf Acceso (12/abril/2015)
- [23] <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/ATM%C3%93SFERAS%20EXPLOSIVAS.pdf> Acceso (10/junio/2015)
- [24] https://www.applichem.com/fileadmin/datenblaetter/A4378_es_ES.pdf
Acceso (12/junio/2015)
- [25] <http://datasheets.scbt.com/sds/WPNA/ES/sc-221791.pdf> Acceso (12/junio/2015)
- [26] <http://www.gtm.net/images/industrial/s/SORBITOL.pdf> Acceso (12/junio/2015)
- [27] http://www.acofarma.com/admin/uploads/download/4264-f0b74fd2549594bccdce0227a31dcd333be0f731/main/files/Manitol_FDS.pdf Acceso (12/junio/2015)
- [28] https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0CD4QFjAEahUKewijwv_K0o_GAhXlyRQKHT16AHw&url=http%3A%2F%2Fwww.ecosmep.com%2Fcabecera%2Fupload%2Ffichas%2F7162

[.doc&ei=N7F9VePKKciTU730geAH&usg=AFQjCNHcXUmUFXYJAtoH1o1h_xupByDeBQ&sig2=QoFC6e9bcv6ugMBFdMy5fg](#) Acceso (12/junio/2015)

[29] <http://www.oxidial.com.ar/assets/files/es/acido-acetico.pdf> Acceso (12/junio/2015)

[30]

http://www.collinsco.com/Library/MSDS/MSDS_Collins_Particleboard_Spanish.pdf Acceso (12/junio/2015)

[31]

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0001.pdf> Acceso (12/junio/2015)

11

ANEXOS

11.1 DIAGRAMAS

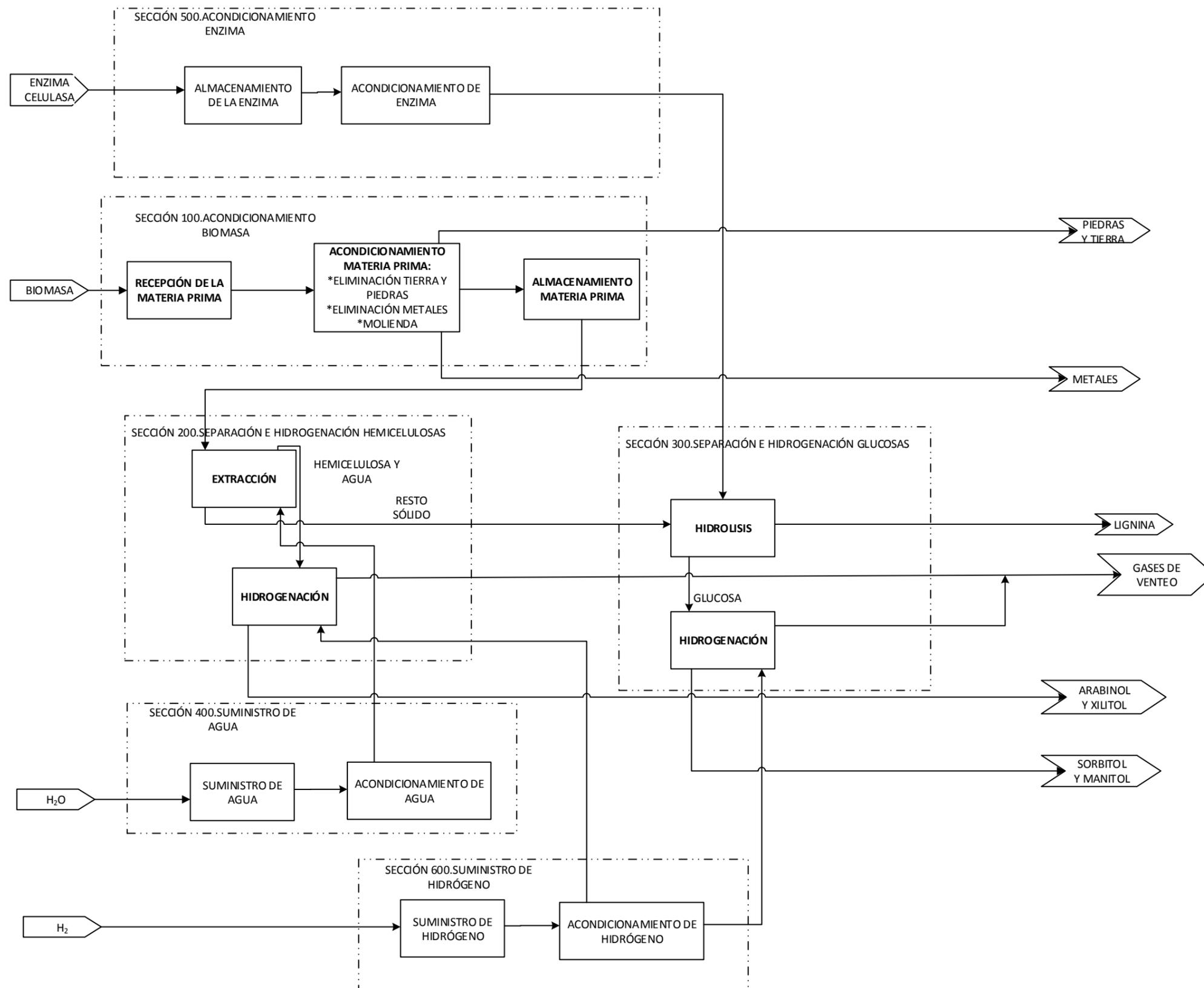
11.2 HOJAS DE SEGURIDAD

11. ANEXO

11.1 DIAGRAMAS

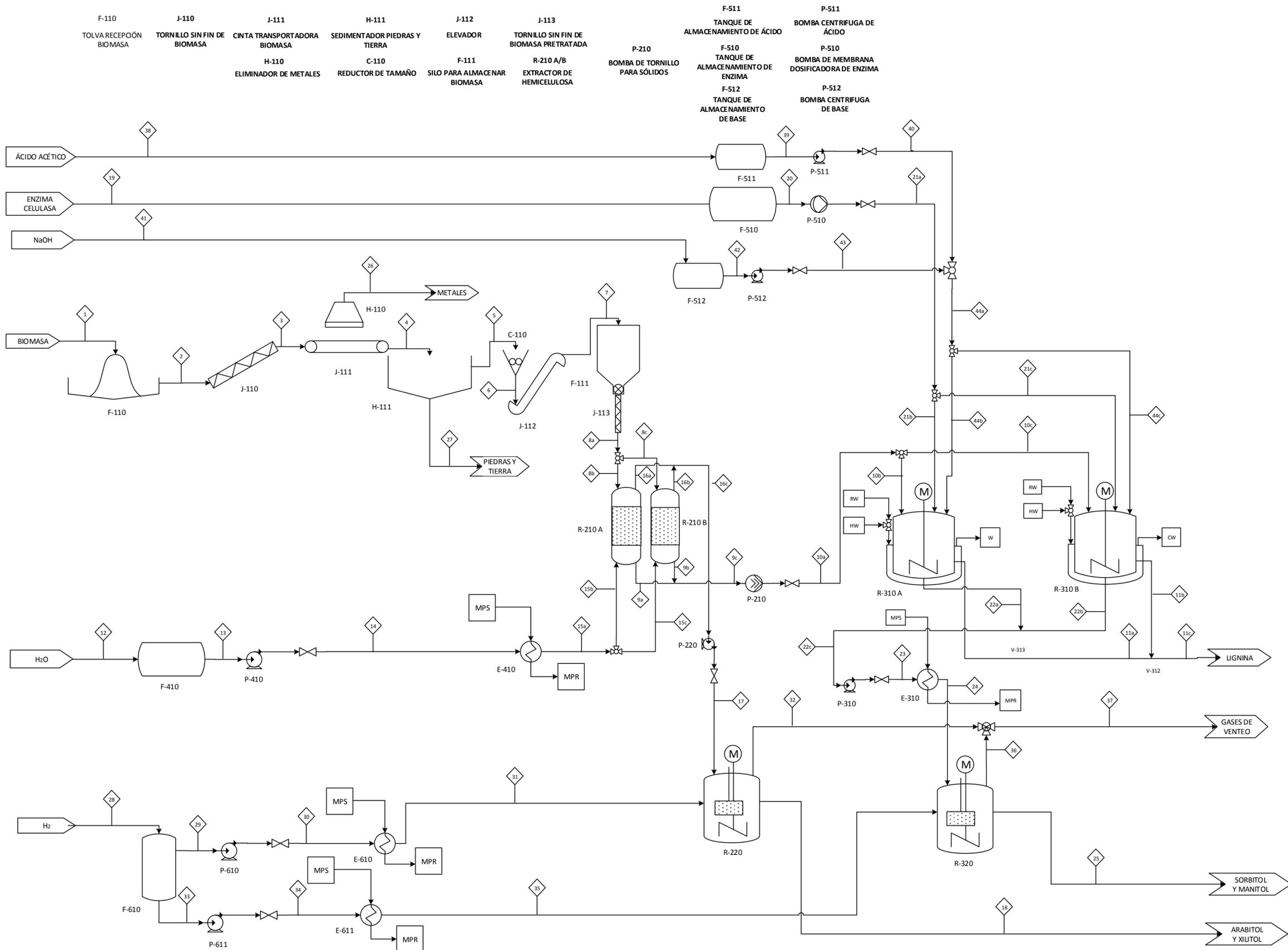
DIAGRAMAS

NOTAS GENERALES



02	DIAGRAMA DE BLOQUES	01/04/15	RAQUEL	ESTHER	
01	DIAGRAMA DE BLOQUES	24/02/15	RAQUEL	ESTHER	
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
TÍTULO DE LA PLANTA				SUSTITUIDO POR	
INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO				SUSTITUYE A	
DESCRIPCIÓN				ESCALA	
DIAGRAMA DE BLOQUES				SIN ESCALA	
	Nº DE PLANO	HOJA	REV.		
	01	01	01		

NOTAS GENERALES



F-410
ALMACENAMIENTO DE AGUA

F-610
ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

P-410
BOMBA CENTRIFUGA DE AGUA

P-610
BOMBA CENTRIFUGA DE HIDRÓGENO, AL R-220

E-410
CALENTADOR DE AGUA PARA LA EXTRACCIÓN

E-610
CALENTADOR DE HIDRÓGENO AL R-220

E-611
CALENTADOR DE HIDRÓGENO AL R-320

P-220
BOMBA CENTRIFUGA DE HEMICELULOSA Y AGUA

R-220
REACTOR DE HIDROGENACIÓN DE HEMICELULOSA

R-310 A/B
TANQUE DE HIDRÓLISIS

P-310
BOMBA CENTRIFUGA DE GLUCOSA

R-320
REACTOR DE HIDROGENACIÓN DE GLUCOSA

E-310
CALENTADOR DE GLUCOSA

04	DIAGRAMA DE FLUJO	01/05/15	RAQUEL	ESTHER	
03	DIAGRAMA DE FLUJO	12/04/15	RAQUEL	ESTHER	
02	DIAGRAMA DE FLUJO	25/03/15	RAQUEL	ESTHER	
01	DIAGRAMA DE FLUJO	09/03/15	RAQUEL	ESTHER	
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
TÍTULO DE LA PLANTA			SUSTITUIDO POR		
INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO			SUSTITUYE A		
DESCRIPCIÓN			ESCALA		
DIAGRAMA DE FLUJO			SIN ESCALA		
		Nº DE PLANO	HOJA	REV.	
		02	01	01	

EQUIPOS



VÁLVULAS Y ACCESORIOS



INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL



NOTAS GENERALES

NOMENCLATURA DE EQUIPOS			
C	REDUCTOR DE TAMAÑO		
E	INTERCAMBIADOR DE CALOR		
F	RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO		
H	SEPARADOR		
J	TRANSPORTADOR DE SÓLIDOS		
P	BOMBA		
R	REACTOR		
V	VÁLVULA		
CÓDIGO DE EQUIPO	NÚMERO DE SECCIÓN	SIEMPRE	ORDEN DE APARICIÓN
EJEMPLO:			
E	4	1	0

ABREVIATURAS	
RW	AGUA REFRIGERADORA
HW	AGUA CALIENTE
MPS	VAPOR DE MEDIA PRESIÓN
MPR	VAPOR ENFRIADO
W	AGUA DE SALIDA DEL TANQUE

NOMBRES DE LAS CORRIENTES

EJ.: W-102
 ↑ ↑
 FLUIDO-NÚMERO

- FLUIDO:**
- A ÁCIDO ACÉTICO
 - B NaOH
 - C CELULOSA
 - E ENZIMA CELULASA
 - G GLUCOSA
 - H HIDRÓGENO
 - HE HEMICELULOSA
 - L LIGNINA
 - M BIOMASA
 - S SORBITOL Y MANITOL
 - V GASES DE VENTEO
 - W AGUA
 - X XILITOL Y ARABITOL

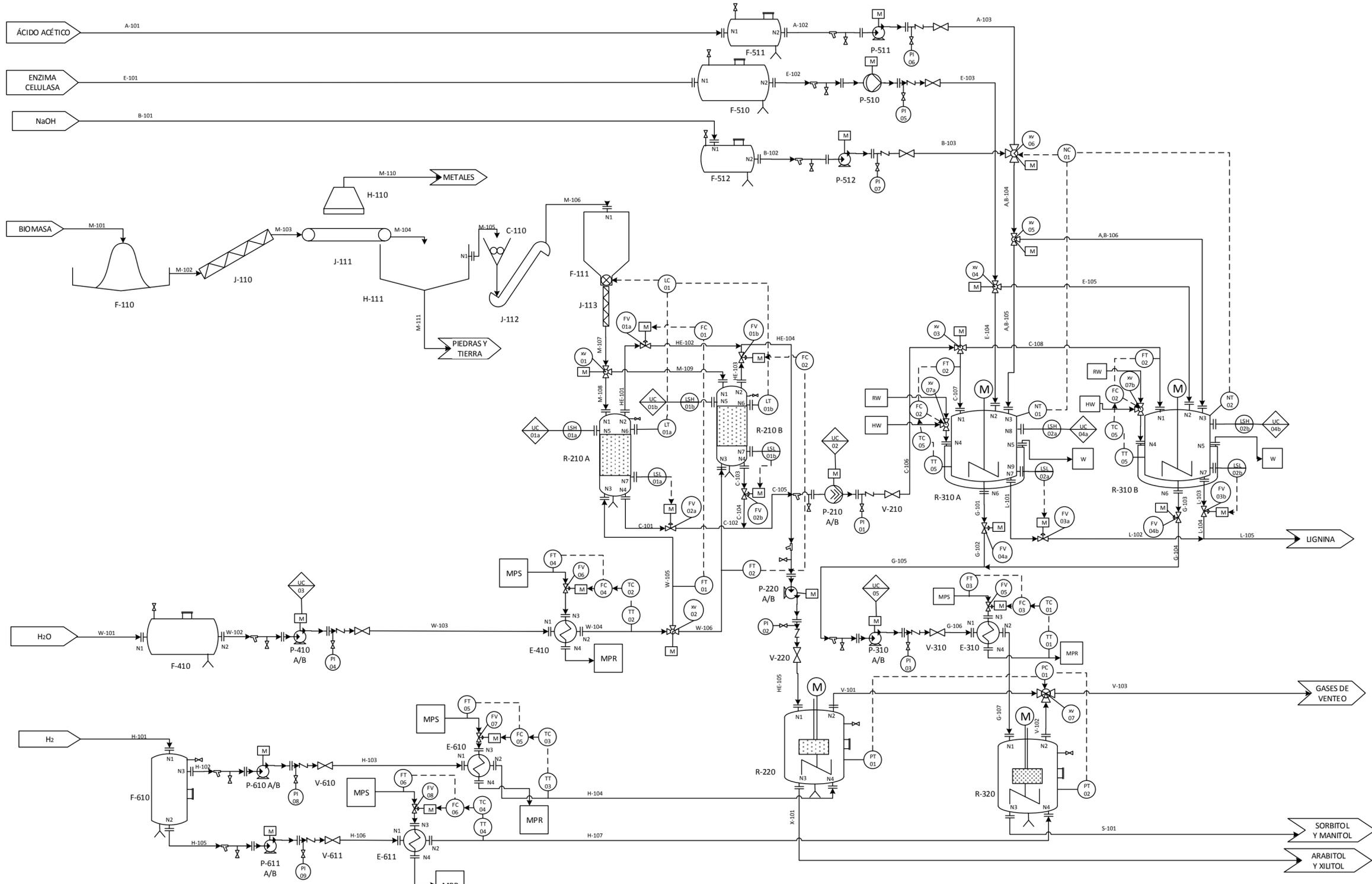
01	SIMBOLOGÍA Y NOMENCLATURA	10/05/15	RAQUEL	ESTHER	
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
TÍTULO DE LA PLANTA			SUSTITUIDO POR		
INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO			SUSTITUYE A		
DESCRIPCIÓN			ESCALA		
SIMBOLOGÍA Y NOMENCLATURA			SIN ESCALA		
Nº DE PLANO		HOJA	REV.		
03		01	01		

F-110 TOLVA RECEPCIÓN BIOMASA
 J-110 TORNILLO SIN FIN DE BIOMASA
 J-111 CINTA TRANSPORTADORA BIOMASA
 H-111 SEDIMENTADOR PIEDRAS Y TIERRA
 J-112 ELEVADOR
 J-113 TORNILLO SIN FIN DE BIOMASA PRETRATADA

H-110 ELIMINADOR DE METALES
 C-110 REDUCTOR DE TAMAÑO
 F-111 SILO PARA ALMACENAR BIOMASA
 R-210 A/B EXTRACTOR DE HEMICELULOSA

F-511 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO
 F-510 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENZIMA
 F-512 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BASE
 P-210 BOMBA DE TORNILLO PARA SÓLIDOS
 P-511 BOMBA CENTRIFUGA DE ÁCIDO
 P-510 BOMBA DE MEMBRANA DOSIFICADORA DE ENZIMA
 P-512 BOMBA CENTRIFUGA DE BASE

NOTAS GENERALES



03	P&ID	05/06/15	RAQUEL	ESTHER	
02	P&ID	19/05/15	RAQUEL	ESTHER	
01	P&ID	24/04/15	RAQUEL	ESTHER	
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
TÍTULO DE LA PLANTA			SUSTITUIDO POR		
INSTALACIÓN PARA LA HIDROGENACIÓN DE BIOMASA DE PINO			SUSTITUYE A		
DESCRIPCIÓN			ESCALA		
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTOS			SIN ESCALA		
Nº DE PLANO		HOJA	REV.		
04		01	01		

F-410 ALMACENAMIENTO DE AGUA
 P-410 BOMBA CENTRIFUGA DE AGUA
 P-610 BOMBA CENTRIFUGA DE HIDRÓGENO, AL R-220
 P-611 BOMBA CENTRIFUGA DE HIDRÓGENO AL R-320
 E-610 CALENTADOR DE HIDRÓGENO AL R-220
 E-611 CALENTADOR DE HIDRÓGENO AL R-320
 E-410 CALENTADOR DE AGUA PARA LA EXTRACCIÓN
 P-220 BOMBA CENTRIFUGA DE HEMICELULOSA Y AGUA
 R-220 REACTOR DE HIDROGENACIÓN DE HEMICELULOSA
 R-310 A/B TANQUE DE HIDRÓLISIS
 P-310 BOMBA CENTRIFUGA DE GLUCOSA
 E-310 CALENTADOR DE GLUCOSA
 R-320 REACTOR DE HIDROGENACIÓN DE GLUCOSA

11.2 HOJAS DE SEGURIDAD

En primer lugar las hojas de seguridad de los productos:

- Xilitol: [24]

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

- **4.1 Descripción de los primeros auxilios**
- **Instrucciones generales:** No se precisan medidas especiales.
- **En caso de inhalación del producto:** Suministrar aire fresco. En caso de trastornos, consultar al médico.
- **En caso de contacto con la piel:**
Aclarar con abundante agua.
En caso de irritaciones continuas de la piel, consultar un médico.
- **En caso de con los ojos:**
Limpiar los ojos abiertos durante varios minutos con agua corriente.
Proporcionar asistencia médica a la persona afectada.
- **En caso de ingestión:**
Enjuagar la boca.
Consultar un médico si los trastornos persisten.
- **4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados** No existen más datos relevantes disponibles.
- **4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente**
No existen más datos relevantes disponibles.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

- **5.1 Medios de extinción**
- **Sustancias extintoras apropiadas:** Agua, CO₂, espuma, polvo.
- **5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla**
óxidos de carbono (CO, CO₂).
Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno.
- **5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**
- **Equipo especial de protección:** Llevar puesto un aparato de respiración autónomo.
- **Indicaciones adicionales**
Los restos de incendio así como el agua de extinción contaminada deben desecharse de acuerdo con las normativas vigentes.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

- **6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**
Evitar la formación de polvo.
No inhalar el polvo.
Asegurarse de que haya suficiente ventilación.
- **6.2 Precauciones relativas al medio ambiente:**
No dejar que se introduzca en el alcantarillado ni que contamine las aguas.
- **6.3 Métodos y material de contención y de limpieza:**
Recoger mecánicamente.
Aclarar después.
- **6.4 Referencia a otras secciones**
Ver capítulo 7 para mayor información sobre una manipulación segura.
Ver capítulo 8 para mayor información sobre el equipo personal de protección.
Para mayor información sobre cómo desechar el producto, ver capítulo 13.

- Arabitol: [25]

4. PRIMEROS AUXILIOS

Consejo general	Si persisten los síntomas, llamar a un médico.
Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Si persisten los síntomas, llamar a un médico. Lavar inmediatamente con abundante agua. Después del lavado inicial, quitar las lentillas de contacto si las hubiera y volver a lavar durante al menos 15 minutos. Mantener el ojo bien abierto durante el enjuague.
Contacto con la piel	Lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Si persiste la irritación cutánea, llamar a un médico. Lavar las prendas contaminadas antes de volver a usarlas. Lavar inmediatamente con abundante agua. No se necesita atención médica inmediata. Lavar inmediatamente con jabón y abundante agua y quitarse la ropa y el calzado contaminados.
Inhalación	Transportar a la víctima al exterior. Si persisten los síntomas, llamar a un médico. Puede ser necesario el uso de respiración artificial u oxígeno. Llamar a un médico. No se necesita atención médica inmediata. Trasladarse al exterior en caso de inhalar los vapores accidentalmente.
Ingestión	No se necesita atención médica inmediata. Enjuagarse la boca. Beber abundante agua. NO provocar el vómito. Limpiar la boca con agua y beber a continuación abundante agua. Nunca dar nada por boca a una persona inconsciente. Llamar a un médico.
Nota para el personal médico	Tratar los síntomas.
Equipo de protección para el personal de primeros auxilios	Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción apropiados

Medios de extinción apropiados Productos químicos secos, CO₂, agua pulverizada o espuma resistente al alcohol.

Peligros específicos que presenta el producto químico

Propiedades inflamables No se ha determinado.
 Punto de inflamación °C 261.9
 Productos de combustión peligrosos Óxidos de carbono.

Datos de explosión

Sensibilidad a impactos mecánicos No hay información disponible.
 Sensibilidad a descargas estáticas No hay información disponible.

Equipo de protección y medidas de precaución para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección y medidas de precaución para el personal de lucha contra incendios Como en cualquier incendio, llevar un aparato de respiración autónomo de presión a demanda MSHA/NIOSH (aprobado o equivalente) y todo el equipo de protección necesario.

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales	Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitar el contacto con los ojos y la piel. Evacuar al personal a zonas seguras. Mantener alejadas a las personas y en dirección contraria al viento en una fuga o vertido.
Precauciones relativas al medio ambiente	Impedir su introducción en cursos de agua, alcantarillas, sótanos o zonas confinadas. No arrojar a las aguas superficiales ni al sistema de alcantarillado. Prevenir más fugas o vertidos si se puede hacer de forma segura. Prevenir la penetración del producto en desagües. Para obtener más información ecológica, ver el apartado 12.
Métodos de contención	Prevenir más fugas o vertidos si se puede hacer de forma segura.

- Sorbitol: [26]

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Puede causar irritación del tracto respiratorio. Se considera de bajo peligro para el manejo industrial.

Ingestión: La ingestión en grandes dosis (50 gramos o más diariamente), puede causar problemas gastrointestinales.

Contacto con la piel: Puede causar irritación de la piel.

Contacto con los ojos: El polvo puede causar irritación.

Efectos **crónicos:** No se encuentran reportados.

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Sacar a la víctima al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Mantener a la víctima abrigada y en reposo. Busque atención médica inmediata.

Ingestión: Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua (2 a 4 vasos). No inducir el vómito. Si este se presenta inclinar a la víctima hacia adelante. No dar nada de beber a una persona inconsciente. Buscar atención médica inmediata.

Contacto con la piel: En caso de contacto, lave con abundante agua y jabón durante al menos 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Quítese la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Busque atención médica.

Contacto con los ojos: Lavar los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Obtener atención médica.

Nota para el médico: Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Peligro de incendio y/o explosión: Combustible. Como la mayoría de los sólidos orgánicos se puede producir incendio a altas temperaturas o cerca de una fuente de ignición. El polvo fino disperso en el aire (concentraciones altas) puede causar explosión.

Medios de extinción de incendios: Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor. Utilizar agua en rocío, polvo químico seco, bióxido de carbono o una espuma adecuada.

Productos de la combustión: Monóxido de carbono y dióxido de carbono.

- **Manitol:** [27]

2.- Identificación de los peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) n° 1272/2008. Esta sustancia no está clasificada como peligrosa según la Directiva 67/548/CEE.

Elementos de la etiqueta

El producto no necesita ser etiquetado de acuerdo con las directivas de la Comunidad Europea ó las respectivas leyes nacionales.

Otros Peligros - ninguno(a)

3.- Composición/información sobre los componentes

CAS-Nº:69-65-8

EINECS-Nº:200-711-8

PM: 182,17

Fórmula molecular: C₆H₁₄O₆

4.- Primeros auxilios

Inhalación: Llevar al aire libre en caso de exposición excesiva al polvo, consultar a un medico en caso de tos persistente.

Contacto con los ojos: Enjuagar con mucha agua, consultar un especialista en caso de irritación persistente.

Contacto con la piel: Lavar con agua y jabón.

Ingestión: Producto sin peligro en caso de ingestión, consultar a un medico si es necesario en caso de ingestión masiva provoca laxación y diarrea.

6.- Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Precauciones individuales: Respetar las consignas de protección S8

Protección del ambiente: Producto sin riesgo para el medio ambiente (biodegradable).

Métodos de limpieza: Recoger por medios mecánicos, aspirar, y luego limpiar con agua para la eliminación de residuos, ver S 13

7.- Manipulación y almacenamiento

Manipulación

Medidas técnicas: Respetar las consignas de protección individuales S8. Los locales en los que puedan producirse polvo deben identificarse por zonas y acondicionarse según la Directiva ATEX. (*)

Precauciones: Evitar la formación o la dispersión de polvo en la atmosfera.

Consejos de utilización: Recomendaciones generales relativas a la manipulación de productos en polvo. Toda manipulación y/o almacenamiento de productos deben adaptarse a las características de explosividad de cada producto, considerándose como conocidas por el cliente, este sigue siendo el único responsable y debe, por consiguiente, tomar las medidas necesarias para evitar el riesgo de accidente /en particular de explosión) y/o alteración de dicho producto. (*)

Almacenamiento

Medidas técnicas: Los silos de almacenamiento a granel deben estar en conformidad con la Directiva ATEX. (*)

Condiciones de almacenamiento: Almacenar en lugar seco y fresco.

Materias incompatibles: Oxidantes fuertes.

Materiales de embalaje: Contenedor flexible, bidón de cartón y polietileno, saco de polietileno y papel.

Ahora las de las materias primas:

- Hidróxido de sodio: [28]

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios

4.1.1. En caso de inhalación:

Retirar al afectado de la zona contaminada, al aire libre, abrigado, tendido y en reposo. Si no respira hacer respiración artificial.

Si respira con dificultad, dar oxígeno.

Acudir inmediatamente al médico.

4.1.2. Después del contacto con la piel:

Lavar la zona afectada con abundante agua durante 15 minutos como mínimo, mientras se quita la ropa contaminada y el calzado. Acudir urgentemente a los servicios médicos.

4.1.3. Después del contacto con los ojos:

Lavarlos con abundante agua durante 30 minutos como mínimo. Acudir urgentemente al médico.

4.1.4. En caso de ingestión:

No provocar el vómito.

Si está consciente, dar a beber agua y acudir urgentemente a los servicios médicos.

4.1.5. Equipos de protección individual recomendados para las personas que dispensan los primeros auxilios:

Usar equipo de respiración autónomo para la protección de las vías respiratorias, así como ropa, guantes y calzado adecuados para la protección de la piel.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Inhalación: Irritación de vías respiratorias.

Contacto con la piel: Quemaduras intensas y úlceras penetrantes en la piel.

Contacto con los ojos: Quemaduras en los ojos. Puede causar ulceración de la conjuntiva y la córnea.

Ingestión: Quemaduras en boca, esófago, puede causar perforación intestinal.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Servicio de Información Toxicológica

SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados:

El producto no es inflamable. Utilizar agua pulverizada para refrigerar los recipientes expuestos al fuego.

Medios de extinción no apropiados:

Polvo de CO₂ (Nieve carbónica)

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Controlar las aguas del incendio, evitar que alcancen cauces de agua o alcantarillas.

El calor generado en contacto con el agua (calor de disolución) puede bastar para producir ignición de otros materiales combustibles.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Usar equipo de respiración autónomo para la protección de las vías respiratorias, así como ropa, guantes y calzado adecuados para la protección de la piel.

Situarse siempre de espaldas al viento.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Restringir el acceso al área afectada.

Evitar el contacto con los ojos, la piel y las vías respiratorias. No actuar sin el equipo de protección adecuado (ver sección nº 8).

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Evitar que el producto llegue a las alcantarillas o aguas superficiales. Si es necesario se pueden hacer diques de contención a base de material inerte y absorbente: tierra o arena. Si el producto llegase a un cauce natural de agua, avisar a las autoridades de Protección Civil.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Absorber el derrame con arena, tierra o arcilla.

Trasladar los productos absorbentes a vertedero controlado o almacenamiento seguro para que sean tratados por un gestor de residuos autorizado.

- **Ácido acético: [29]**

4.- Identificación de peligros:

Los efectos de la toxicidad se relacionan con sus propiedades altamente corrosivas. Inflamable. Provoca quemaduras graves.

El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.

Las vías de entrada pueden ser:

- Inhalación: Irritación de nariz y garganta, dificultad para respirar, tos, flema.
- Contacto con la piel: Riesgo de irritaciones y quemaduras severas.
- Ojos: Irritación severa de los ojos, lesiones oculares graves.
- Ingestión: Irritación, quemadura y perforación del tracto gastrointestinal. Náuseas y vómitos. Dificultad para respirar. Moderadamente tóxico.

5.- Primeros auxilios:

Recomendaciones:

- Equipo de protección personal al manipularlo (máscara, guantes resistentes, gafas, overoles y botas impermeables).
- Lavar con agua la ropa y equipos antes de sacárselos.
- En caso de inhalación llevar a lugar fresco y bien aireado.
- En caso de salpicadura en los ojos, enjuague lo antes posible con agua corriente por lo menos 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Si no se pudieron mantener los párpados abiertos aplicar colirio analgésico en la zona afectada.
- Quitar ropa y calzado contaminados en caso de derrame (bajo una ducha si es necesario) y lave con abundante agua la piel afectada.
- En caso de ingestión, enjuague boca y suministre agua fresca. Si no estuviera consciente no suministre nada por la boca. No provocar vomito. En todos los casos consulte con un médico inmediatamente o traslade a la persona al hospital.

6.- Medidas para combatir incendio:

- Mantener alejado de fuentes de ignición.
- Combustible. Se pueden formar mezclas explosivas con el aire.
- En caso de que el producto se viera envuelto en un incendio pueden formarse vapores de ácido acético y gases venenosos durante la combustión. Estos vapores son más pesados que el aire, por lo que pueden desplazarse a nivel del suelo.
- Intervenir siempre con agua desde una distancia prudencial, siendo también adecuados otros métodos de extinción como Dióxido de carbono (CO₂), espuma o polvo seco. Mantener frío los bidones y demás instalaciones.
- Evacue a todo el personal no capacitado.
- Utilizar máscaras y equipo de protección adecuado en caso de intervención. Avisar inmediatamente a los bomberos si pasara a mayores.

7.- Medidas en caso de fugas accidentales:

- No inhalar los vapores. Utilizar equipo de protección completo.
- Diluir con abundante agua. Si la pérdida es grande contener con arena y tierra (no aserrín) o en contenedores para residuos para su posterior eliminación según normativas vigentes.

- Madera de pino: [30]

6 Precauciones para la manipulación y el uso en condiciones de seguridad

Pasos que deben seguirse en caso de liberación o derrame del material:

No corresponde al producto en la forma que se compra. El polvo de madera que se produce por aserrado, lijado, perforación o fresado de este producto puede extraerse por vacío o juntarse para su recuperación o eliminación. Evítase el ambiente con polvo y asegure una buena ventilación. En los lugares donde no sea posible proporcionar una ventilación adecuada, utilice respiradores y gafas aprobadas por NIOSH/MSHA.

Método de eliminación de residuos:

Si los materiales son desechados o descartados en la forma en que fueron comprados, la incineración es el método preferible. En la mayoría de los estados se acepta la eliminación seca por tierra. No obstante, al momento de su eliminación es responsabilidad del usuario determinar si el producto satisface los criterios de RCRA acerca de los residuos peligrosos. Deberán seguirse los reglamentos municipales, estatales y federales.

Precauciones a observarse en manipulación y almacenamiento:

No se necesita seguir ninguna precaución especial para la manipulación. Manténgase en lugar fresco y seco alejado del fuego. Almacénese en áreas bien ventiladas.

Si se superan los límites de exposición al polvo de madera, debe utilizarse una mascarilla de respiración que cubra el rostro de forma completa o una mascarilla de respiración que cubra el rostro de forma parcial con gafas para productos químicos en cumplimiento de las disposiciones de NIOSH/OSHA. Se recomienda que la mascarilla de respiración completa o parcial cuente con un cartucho de filtración de polvo.

7 Datos relativos a los riesgos para la salud

Riesgos principales para la salud:

Se considera que el principal riesgo para la salud de este producto se debe a la exposición al polvo de madera.

Principal(es) ruta(s) de exposición:

- () Ingestión
- (x) Piel: Polvo
- (x) Inhalación: Polvo o gas

Riesgos serios para la salud – Signos y síntomas de exposición/ Procedimientos de emergencia y primeros auxilios:

INGESTIÓN: No corresponde al uso normal.

CONTACTO CON LOS OJOS: El polvo de madera puede causar irritación mecánica. Si se introdujera polvo en los ojos, tráteselo como a cualquier otro objeto extraño. Enjuágueselos con agua a fin de eliminar las partículas de polvo. Si continuara la irritación, búsquese atención médica.

CONTACTO CON LA PIEL: El polvo de madera de ciertas especies puede ocasionar dermatitis alérgica ocasionada por el contacto en individuos sensibilizados, como así también irritación mecánica. Este producto puede resultar irritante para la piel debido a la sequedad y el rozamiento mecánico producidos por la manipulación frecuente. Se deberá buscar atención médica en caso de que persista la erupción, la irritación o la dermatitis.

ABSORCIÓN A TRAVÉS DE LA PIEL: No se han conocido casos producidos con el uso normal.

INHALACIÓN: El polvo de madera puede ocasionar el depósito de partículas o la obstrucción molesta de los conductos nasales, provocando sequedad en la nariz, tos seca y cefaleas. Trasládese a ambiente donde circule el aire. Se deberá buscar atención médica en caso de irritación persistente, tos aguda o dificultades respiratorias.

Condiciones médicas generalmente agravadas por la exposición:

El polvo de madera pueden agravar condiciones respiratorias o alergias preexistentes.

Riesgos crónicos para la salud:

El polvo de madera (y/o las fibras lignocelulósicas), según sean las especies en cuestión, puede provocar sensibilización respiratoria y/o irritación. La IARC clasifica al polvo de madera como un agente carcinógeno del grupo 1 para los humanos. Esta clasificación se basa principalmente en la evaluación realizada por la IARC del aumento del riesgo debido a la presencia de adenocarcinomas asociados con la exposición al polvo de madera en las cavidades nasales y senos paranasales. La IARC no encontró evidencia suficiente para asociar el cáncer de orofaringe, hipofaringe, pulmón, de los sistemas linfático y hematopoyético, estómago, colon o recto con la exposición al polvo de madera derivada de la actividad laboral. En su Décimo informe sobre agentes carcinógenos, fechado en noviembre de 2002, el NTP incluye al polvo de madera como un conocido agente carcinógeno para los humanos.

Listado de carcinogenicidad:

- (x) NTP: Polvo de madera
- (x) IARC: Polvo de madera

8 Medidas de control

Equipo de protección personal:

PROTECCIÓN DEL APARATO RESPIRATORIO – No corresponde al producto en la forma que se compra. Se recomienda el uso de un respirador aprobado por NIOSH/MSHA cada vez que se excedan los límites de exposición permisibles.

GUANTES DE PROTECCIÓN – No se requieren. No obstante, se recomienda el uso de guantes de tela, lienzo o cuero a fin de minimizar la irritación mecánica provocada por la manipulación del producto.

PROTECCIÓN DE LOS OJOS – No corresponde al producto en la forma que se compra. Se recomienda el uso de gafas o anteojos de seguridad cada vez que se realicen trabajos de torneado o fresado con este producto.

OTRAS PRENDAS O EQUIPOS DE PROTECCIÓN – No corresponde al producto en la forma que se compra. Puede resultar recomendable el uso de indumentaria protectora en aquellas áreas donde los niveles de polvo sean extremadamente altos.

PRÁCTICAS DE TRABAJO/HIGIENE – Siga prácticas de higiene y limpieza eficaces. Limpie las áreas donde se junta polvo a fin de evitar la acumulación excesiva de este material combustible. Minimice el uso de secadores u otras prácticas que puedan generar niveles elevados de concentración de polvo en el aire.

Ventilación:

VENTILACIÓN LOCAL – Suministre ventilación local según sea necesario para cumplir con los valores límites de exposición.

MECÁNICA (GENERAL) – Suministre una buena ventilación en las áreas de procesamiento y almacenaje según sea necesario para cumplir con los valores límites de exposición.

OTRO/S – N/A

- Hidrógeno: [31]

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDROGENO		ICSC: 0001	
		Marzo 2002	
CAS:	1333-74-0	H ₂	
RTECS:	MW8900000	Masa molecular: 2.0	
NU:	1049		
CE Índice Anexo I:	001-001-00-9		
CE / EINECS:	215-605-7		

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. No manipular las botellas con las manos grasientas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Asfixia.	Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Congelación grave.	Guantes aislantes del frío.	Proporcionar asistencia médica.
Ojos		Gafas de protección de seguridad.	
Ingestión			

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Eliminar toda fuente de ignición. Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar el vapor con agua pulverizada.	Clasificación UE Símbolo: F+ R: 12 S: (2-)9-16-33 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.1
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1049 Código NFPA: H 0; F 4; R 0;	A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco.

DATOS IMPORTANTES	
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Gas comprimido inodoro e incoloro.	VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación.
PELIGROS FÍSICOS: El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. El gas es más ligero que el aire.	RIESGO DE INHALACIÓN: Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.
PELIGROS QUÍMICOS: El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con aire, oxígeno, halógenos y oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Los metales catalizadores tales como el platino o el níquel aumentan este tipo de reacciones.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: Asfixiante simple. Véanse Notas.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: asfixiante simple (ACGIH 2002).	