



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería química

**PLANTA DE OBTENCIÓN DE
ARABINOXILANOS A PARTIR DE BAGAZO DE
CERVEZA PARA LA FORMULACIÓN DE
ALIMENTOS FUNCIONALES**

Autor: Lagüéns Pérez, Sara

Tutoras:

Lucas Yagüe, Susana

Coca Sanz, Mónica

Dpto. Ingeniería Química y TMA

Valladolid, junio de 2018



ÍNDICE

1	RESUMEN	1
2	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1	ARABINOXILANOS	3
2.1.1	Composición química	4
2.1.2	Propiedades	5
2.1.3	Aplicaciones	9
2.2	BAGAZO DE CERVEZA (BSG)	9
2.2.1	Producción de BSG.....	10
2.2.2	Composición química del BSG.....	12
2.2.3	Aplicaciones	13
2.3	PROCESO DE OBTENCIÓN DE ARABINOXILANOS A PARTIR DE BSG.	14
3	OBJETIVOS	17
4	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	19
4.1	MATERIA PRIMA.....	19
4.2	TECNOLOGÍAS DE OBTENCIÓN DE BSG. PROCESO PROPUESTO.....	20
4.2.1	Pretratamiento.....	20
4.2.2	Extracción.....	26
4.2.3	Separación / purificación	29
4.2.4	Selección del proceso de obtención	31
5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO. DIAGRAMA DE BLOQUES	35
6	BALANCE DE MATERIA.....	37
6.1	DATOS BÁSICOS DEL BALANCE DE MATERIA	37
6.2	DIAGRAMA DE FLUJO.....	38
6.3	TABLA DE CORRIENTES.....	40
6.4	DIAGRAMA P&I	41
6.4.1	Control de la etapa de microondas (A-101).....	42
6.4.2	Control del extractor de tanque agitado (R-201).....	42
6.4.3	Control de la precipitación (F-301)	42
6.4.4	Control del tanque de almacenamiento (B-101)	42
6.4.5	Control del tanque de almacenamiento (D-201).....	43



6.4.6	Control del tanque de almacenamiento (B-301).....	43
6.4.7	Control del tanque de almacenamiento (B-302).....	43
7	DIMENSIONADO DE EQUIPOS.....	45
7.1	MICROONDAS.....	45
7.2	EXTRACTOR DISCONTINUO DE TANQUE AGITADO	46
7.2.1	Dimensiones del extractor de tanque agitado.....	46
7.2.2	Potencia de agitación	46
7.2.3	Cantidad de vapor a inyectar en el extractor para su calentamiento.....	48
7.2.4	Diseño mecánico del extractor.....	50
7.3	CENTRIFUGACIÓN	56
7.4	SECADO EN SPRAY	57
8	ESTUDIO ECONÓMICO	61
8.1	COSTE TOTAL DE LA PLANTA.....	61
8.2	ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	64
8.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	67
9	EVALUACIÓN AMBIENTAL.....	69
10	SEGURIDAD.....	71
10.1	RIESGOS GENERALES Y MEDIDAS PREVENTIVAS.....	71
10.2	ANÁLISIS HAZOP AL EXTRACTOR DE TANQUE AGITADO (R-201).....	76
11	CONCLUSIONES	81
12	BIBLIOGRAFÍA	83
	ANEXOS.....	i



1 RESUMEN

En este trabajo se ha dimensionado una planta piloto-laboratorio para la obtención de arabinosilanos (AX) a partir de bagazo de cerveza (BSG). La capacidad de tratamiento de la planta es de 2 kg BSG/d. El producto final rico en arabinosilanos (0,74 kg AX/d con un 40% w/w de AX y 2% w/w de humedad) es adecuado para su empleo en la formulación de alimentos funcionales.

El proceso consta de un pretratamiento con microondas a 4 bar y 140° durante 2 minutos, una extracción con agua/KOH a 2 bar y 115° durante 60 min, una precipitación con EtOH y una etapa de concentración mediante centrifugación y posterior secado en spray. La recuperación total de arabinosilanos en el proceso es del 65%.

El estudio económico concluye que el coste total de la planta asciende a 640.366 € con una rentabilidad del 20% recuperándose la inversión a los 5 años de operación.

El trabajo se completa con un estudio básico ambiental y de seguridad de la planta.

Palabras clave: arabinosilanos, BSG, extracción, planta piloto-laboratorio, alimentos funcionales.

In this work, a lab pilot plant has been designed to obtain arabinosylans (AX) from brewers' spent grain (BSG). The treatment capacity of the plant is 2kg/day of BSG. The final product rich in arabinosylans (0.74 kg AX/d with 40% w/w of AX y 2% w/w moisture content) is suitable for the use in the formulation of functional foods.

The process has a microwave pretreatment at 4 bar and 140° for 2 minutes, an extraction with water/KOH at 2 bar and 115° for 60 min, a precipitation step with EtOH and a concentration stage by centrifugation and subsequent spray drying. The total recovery of arabinosylans in the process is 65%.

The economic study concluded that the total cost of the plant amounts to €640,366 with a return of 20%, recovering the investment after 5 years of operation.

The work is completed with a basic environmental and safety study of the plant.

Key words: arabinosylans, BSG, extraction, lab pilot plant, functional foods.





2 INTRODUCCIÓN

El presente TFG se enmarca en una línea de trabajo desarrollada por el Grupo de Investigación Reconocido de Tecnología de Procesos Químicos y Bioquímicos de la Universidad de Valladolid que tiene por objeto transformar las fracciones lignocelulósicas del bagazo de cerveza en productos con valor energético y alimentario. Dicha línea de investigación está financiada con cargo a un proyecto de investigación de la Junta de Castilla y León (Ref. VA010P17; 2017-2020).

En este trabajo se va a realizar el dimensionado de una instalación de recuperación de arabinosilanos a partir del bagazo de cerveza. Para ello, en este capítulo se abordará qué son los arabinosilanos, su composición, sus propiedades y los procesos de obtención.

2.1 ARABINOSILANOS

De acuerdo con el estudio de Niño-Medina et al. (2017), los arabinosilanos se encuentran en los principales cereales, como son el trigo, el centeno, la cebada, la avena, el arroz, el sorgo, el maíz y el mijo, además de en otras fuentes como el pasto de centeno, los brotes de bambú o la cáscara de plátano.

En los cereales, los arabinosilanos son los principales polisacáridos no amiláceos y se localizan en las paredes celulares del endospermo, la capa de aleurona (la capa que rodea el endospermo), el salvado y la cascarilla. Sin embargo, el contenido de arabinosilanos puede variar dependiendo de factores genéticos y ambientales. En granos, el contenido total de arabinosilanos varía de 1,37% en harina de trigo a 29,86% en salvado de maíz. Existe una relación positiva entre la cantidad de arabinosilanos acumulados en el trigo y las condiciones secas.

Los arabinosilanos se extraen habitualmente de diferentes materiales vegetales mediante tratamiento acuoso o alcalino a partir de granos enteros de tejidos vegetales específicos. En la matriz de la pared celular, los arabinosilanos están unidos covalentemente o no covalentemente entre sí o con otros componentes estructurales de la pared y no son solubles en un entorno acuoso. Existen diferentes métodos para el aislamiento de arabinosilanos. Generalmente, la extracción implica la inactivación de enzimas endógenas en un entorno acuoso y el uso de enzimas hidrolíticas para eliminar las proteínas y el almidón del extracto.

Los estudios recientes se centran en la extracción de arabinoxilanos de subproductos agrícolas de bajo valor de la industria alimentaria, como salvado de cereales, bagazo de cerveza, pulpa de remolacha azucarera, mazorcas de maíz o cáscaras de plátano, entre otros. Estos materiales son ricos en polisacáridos no celulósicos, siendo los arabinoxilanos uno de sus principales componentes.

Los AX destacan dentro de la fibra dietética por su efecto funcional, tanto tecnológico como nutricional, proporcionando efectos beneficiosos para la salud de los consumidores. Algunos de estos efectos beneficiosos son, su efecto prebiótico, su capacidad antioxidante o su función inmunitaria, ayudando a fortalecer el sistema inmunológico. Las formas de consumirlos son directamente en pastillas preparadas, o también se pueden introducir en la masa de galletas, pan, salchichas o zumos, por ejemplo.

2.1.1 Composición química

Están formados por una larga cadena principal de D-xilopiranososa unida por enlaces β -(1-4) con una cantidad de unidades que varía entre 1500 y 5000. Esta cadena principal lleva a su vez cadenas laterales de arabinosa. El patrón y el grado de sustitución de la arabinosa a lo largo de la cadena principal de xilosa son diferentes según las fuentes de los cereales y la ubicación del tejido en el grano. Los arabinoxilanos contienen ácido ferúlico unido covalentemente a través de un enlace éster a O-5 del residuo de arabinosa.

El ácido acético, el ácido hidroxicinámico, el ácido ferúlico y el ácido p-cumárico también están unidos covalentemente a algunos de los residuos de xilosa, proporcionando a los arabinoxilanos con actividad antioxidante.

En la figura 1 se muestra la estructura química de los arabinoxilanos.

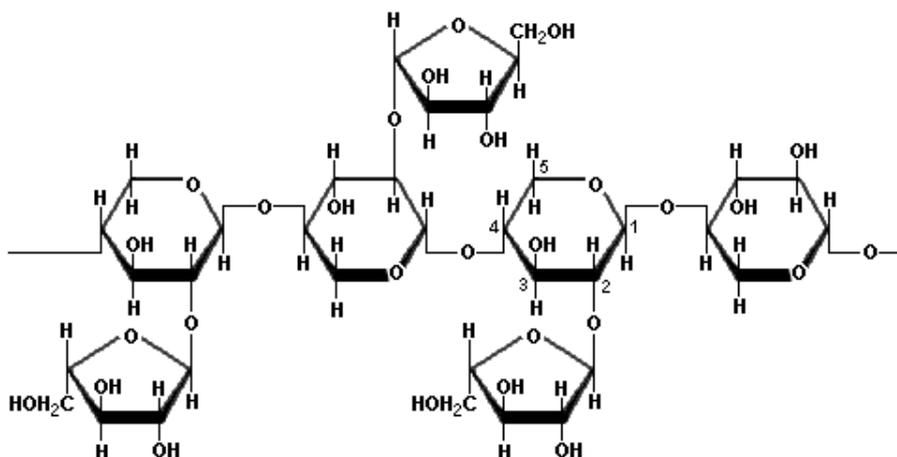


Figura 1. Estructura del arabinoxilano. (FUENTE: Kellow y Walker, 2014)



Estos polisacáridos se pueden clasificar como hidrosolubles o no hidrosolubles. La unión al agua depende de la posición y el alcance de su sustitución con arabinosa; en ausencia de arabinosa, los arabinoxilanos unen menos agua y se vuelven mucho menos solubles. La hidrólisis enzimática de arabinoxilanos en longitudes de cadena más cortas (hasta 60 unidades) genera arabinoxiloligosacáridos (AXOS) y xilo-oligosacáridos (XOS). Su peso molecular varía de 10 a 10.000 kDa para los hidrosolubles y supera los 10.000 kDa para los no hidrosolubles. Los arabinoxilanos de los cereales también cambian con respecto a la masa molecular, la distribución de los residuos de arabinosa, el contenido de ácido ferúlico y la relación de xilosa a arabinosa, que indica el grado de ramificación de los arabinoxilanos.

Dependiendo del origen de los arabinoxilanos, la relación Arabinosa/Xilosa puede variar de 0,3 a 1,1. Una mayor relación Arabinosa/Xilosa se asocia con un mayor contenido de residuos de xilosa 2-monosustituidos y disustituidos y un contenido inferior de residuos de xilosa 3-monosustituidos y no sustituidos.

El peso molecular de los arabinoxilanos también varía según el origen y el método utilizado para su determinación. Estudios recientes, usando cromatografía de exclusión por tamaño de alto rendimiento combinada con un detector de dispersión de luz multiangular, han estimado que el peso molecular promedio en peso de arabinoxilanos de trigo varía de 220 a 700 kDa. Se encontraron valores más altos para los arabinoxilanos de la cebada sin salvado (850-2.430 kDa).

La molécula de arabinoxilanos del arroz, el sorgo y el salvado de maíz son más complejos que los del trigo, el centeno y la cebada, ya que además de las ramas laterales de arabinosa, contienen pequeñas cantidades de xilosa, galactosa y ácidos urónicos (Niño-Medina et al., 2017).

Los arabinoxilanos constituyen 60% -69% de los polisacáridos no amiláceos en salvado de trigo (donde se encuentran principalmente en forma de fibra insoluble) y 88% de los polisacáridos no amiláceos en el endospermo de trigo (principalmente en forma de fibra soluble) (Kellow y Walker, 2014).

2.1.2 Propiedades

Los AX destacan dentro de la fibra dietética por su efecto funcional, tanto tecnológico como nutricional, proporcionando efectos beneficiosos para la salud de los consumidores.

Efecto prebiótico de los arabinoxilanos

La modificación de la microbiota del tracto gastrointestinal (TGI) a través de componentes de los alimentos (prebióticos y probióticos) se empieza a



considerar como una estrategia de importancia en el mantenimiento de la salud humana. Los prebióticos se definieron en 1995 como ingredientes alimentarios no digeribles que afectan de manera beneficiosa al hospedador estimulando el crecimiento o la actividad de una o varias bacterias del colon, y por tanto contribuyen a la salud (Martí del Moral et al., 2017).

En este sentido, se ha mostrado que la proliferación de determinadas bacterias mediante la fermentación de hidratos de carbono no digeribles puede inhibir la colonización del intestino por patógenos, ejerciendo un efecto protector frente a diversas alteraciones intestinales (agudas o crónicas). Los arabinosilanos son fermentables por la microbiota intestinal. La primera etapa de la degradación de los AX es su hidrólisis por endoxilasas, donde los fragmentos de AXOS y XOS resultantes son degradados por arabinofuranosidasas y xilosidasas en arabinosa y xilosa, a partir de las cuales la microbiota intestinal sintetiza ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (acetato, propionato, butirato, lactato, etc.). Los AGCC pueden actuar directa o indirectamente (mediante la modificación del pH) sobre las células intestinales y pueden participar en el control de varios procesos como la proliferación mucosal, la inflamación, la carcinogénesis colorrectal, la absorción de minerales y la eliminación de compuestos nitrogenados (Ciudad-Mulero, 2017).

Efecto sobre el metabolismo de la glucosa

La alta viscosidad de los arabinosilanos ralentiza la absorción de glucosa postprandial y la subsiguiente secreción de insulina al estimular la formación de una capa de agua no agitada sobre el revestimiento de la capa de mucina del tracto digestivo. La presencia de esta capa, sin agitación, ralentiza la difusión de los sustratos hacia la pared intestinal, reduciendo así la tasa de transporte de glucosa a los enterocitos. Además, los AGCC generados por la fermentación bacteriana de arabinosilanos estimulan la producción de las hormonas intestinales Péptido YY y GLP-1, que desaceleran el vaciado gástrico, reduciendo la velocidad a la que los sustratos de carbohidratos que generan glucosa alcanzan el intestino. GLP-1 también potencia la secreción de insulina estimulada por glucosa, que a su vez promueve la síntesis de glucógeno, atenuando la glucemia postprandial de otra manera (Kellow y Walker, 2014).

Efectos sobre el metabolismo lipídico

Pocos estudios se han dedicado a la relación entre la ingesta de prebióticos tipo fructanos (AX entre otros) y los lípidos séricos en humanos. Parece, sin embargo, que los efectos de los prebióticos sobre lípidos en humanos son consistentes, obtenidos a partir de un pequeño número de estudios bien diseñados (Martí del Moral et al., 2017).

Se ha comprobado que los XOS y los AXOS son capaces de atenuar o incluso inhibir la producción de colesterol y triglicéridos. Finalmente, la fermentación de arabinosilanos apoya la acción bacteriana en la desconjugación de ácidos biliares. Esto evita su recirculación enterohepática, lo que obliga al hígado a eliminar más colesterol de la circulación para la producción de ácido biliar (Kellow y Walker, 2014).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los AX está altamente relacionada con el contenido total de fenoles unidos a su estructura. El ácido ferúlico es un polifenol natural capaz de neutralizar especies reactivas del oxígeno e inducir la destrucción de células cancerosas (Ciudad-Mulero, 2017).

Los compuestos antioxidantes inhiben los radicales libres evitando el estrés oxidativo, la lesión de tejidos y el daño a grandes biomoléculas tales como ADN, lípidos y proteínas. En los alimentos, los AX y los AXOS tienen unidos covalentemente ácido ferúlico, el cual posee propiedades antioxidantes que han sido confirmadas mediante estudios in vivo realizados con ratas, en las cuales, una vez tratadas con AXOS, se observó una fuerte reducción de la peroxidación lipídica en suero (Kellow y Walker, 2014).

Prevención del cáncer de colon

Los efectos prebióticos de los AX y los AXOS están muy relacionados con su acción protectora frente al cáncer de colon (Ciudad-Mulero, 2017).

La producción de AGCC por fermentación microbiana intestinal de arabinosilano reduce el pH colónico. Esto cambia el entorno del colon para favorecer la proliferación de bacterias que degradan los carbohidratos. Al mismo tiempo, se reduce el crecimiento de bacterias que fermentan proteínas, lo que limita la acumulación de metabolitos tóxicos, particularmente amoníaco. El acetato de AGCC aumenta el flujo sanguíneo del colon, mientras que la producción de butirato es crítica como el principal combustible energético utilizado por los colonocitos. El butirato también tiene efectos importantes que promueven la función de barrera epitelial, con lo cual disminuyen los compuestos tóxicos en el colon ejerciendo un papel protector frente a las neoplasias colónicas (Kellow y Walker, 2014).

Arabinosilanos y la función inmunitaria

- Mantenimiento del estado de salud general: incluso en gente sana, el arabinosilano ayuda a fortalecer el sistema inmunológico, aumentando la actividad de los glóbulos blancos. A su vez, potencia la reacción del

organismo ante cualquier proliferación de infecciones y células cancerosas.

- Procesos cancerosos: Nuestro sistema inmunitario se compone de varios tipos de células sanguíneas, entre las que se incluyen las células Natural Killers (NK), los linfocitos T y los linfocitos B. La función de los linfocitos T y de las células NK es la de destruir agentes patógenos, que potencialmente pueden afectar a nuestras células, infectándolas o convirtiéndolas en células cancerígenas. El papel de los linfocitos B es el de producir los anticuerpos, para atacar a los microorganismos invasores o neutralizar las sustancias tóxicas.

Entre las armas terapéuticas del tratamiento de los procesos cancerosos, están aquellas que persiguen estimular la actividad de las células NK, mediante la administración de determinados compuestos. A estos compuestos se los denomina modificadores de la respuesta biológica (BRM: Body Response Modifiers). Los arabinosidos son uno de los BRM más potentes que existen actualmente. Son de origen vegetal y no tienen efectos secundarios adversos. Además, permiten al organismo optimizar los sistemas propios de lucha contra la enfermedad, aumentando la probabilidad de supervivencia y mejorando la actividad de las células NK, por lo que promueve el rechazo de las células cancerosas. También mejora la calidad de vida en aquellos pacientes que siguen tratamientos de terapias hormonales y quimioterapia, por su capacidad de paliar los efectos colaterales que estos tratamientos producen.

Es importante destacar que se obtienen mejores resultados cuando se utilizan los arabinosidos junto con las terapias convencionales, como la quimioterapia o la cirugía, ya que estas reducen de forma drástica el número de células cancerosas, mientras que el arabinosido aumenta la capacidad endógena del organismo para eliminar las células cancerosas resistentes a los tratamientos convencionales.

- Infecciones virales: Presentan la habilidad de mejorar los parámetros inmunológicos de pacientes con VIH y hepatitis B o C. Hay experimentos in vitro que demuestran que el arabinosido puede inhibir la replicación del VIH sin provocar toxicidad.
- Infecciones bacterianas: Al reforzar el sistema inmunológico, junto con los tratamientos convencionales, aceleran la recuperación ante intoxicaciones alimentarias, constipados y procesos febriles.

(Capdevilla, 2003)



2.1.3 Aplicaciones

Los arabinosilanos ferulilados son los principales polisacáridos no amiláceos de las paredes celulares de los cereales. Dependiendo de la fuente, los arabinosilanos exhiben características moleculares diferentes, que son determinantes de sus propiedades funcionales. Los arabinosilanos ferulilados son de considerable importancia en los procesos de cereales, como la fabricación de pan y la elaboración de cerveza. Este polisacárido representa una porción significativa de la ingesta de fibra dietética humana que ofrece beneficios nutricionales como fibra soluble e insoluble. La presencia de ácido ferúlico en arabinosilanos les confiere propiedades antioxidantes. Los arabinosilanos ferulilados poseen una capacidad única para formar geles covalentes en presencia de agentes generadores de radicales libres. Los geles formados presentan características interesantes como olor y sabor neutros, estabilidad al pH y cambios en la concentración de electrolitos y una estructura macroporosa, que les da aplicaciones potenciales como matrices de liberación controlada en aplicaciones alimentarias y no alimentarias (Niño-medina et al., 2010).

Los AX tienen un papel beneficioso en la formación de masa de trigo y de centeno. Los efectos de su adición dependen en gran medida de su origen y tipo, así como del tipo de sistema de masa en el que está presente. La adición de arabinosilano extraíble en agua a las harinas de trigo, aumenta su absorción de agua, estabiliza los poros del gas y de esta forma aumenta el volumen del pan y el contenido de humedad, reduce su dureza y ralentiza el envenenamiento, especialmente si se usa centeno. La masa molar de AX desempeña un papel importante, ya que las preparaciones que contienen moléculas grandes son más efectivas que las que tienen cadenas más cortas, aisladas de diversas variedades de trigo. El nivel que debe aplicarse depende de la calidad de la harina de trigo utilizada para hornear (Buxa et al., 2016).

La creciente incidencia de enfermedades crónicas y la obesidad y el vínculo demostrado entre la ingesta de fibra dietética y diversos beneficios para la salud han aumentado el interés de los consumidores en los alimentos enriquecidos con fibra dietética.

2.2 BAGAZO DE CERVEZA (BSG)

La valorización de la biomasa subutilizada es un importante tema de investigación hoy en día debido a las necesidades futuras en el campo de la energía, los productos químicos y la producción de alimentos (Sajib et al., 2017).



2.2.1 Producción de BSG

El bagazo de cerveza (BSG) es el subproducto más abundante generado por el proceso de elaboración de la cerveza y representa aproximadamente 85% de los subproductos totales obtenidos. Se denomina bagazo al residuo de cerveza después de haber extraído su jugo.

Después del proceso de maceración, la parte insoluble del grano de cebada, el BSG, está en solución con el mosto soluble (líquido). El mosto, que se fermentará en cerveza, se filtra y separa del residuo sólido (BSG) que es un subproducto que debe valorizarse.

La producción mundial anual promedio de BSG se estima en 39 millones de toneladas, con 3,4 millones de toneladas producidas en la Unión Europea, de las cuales 2 millones se producen solo en Alemania. Se producen alrededor de 20kg de BSG húmedo por cada 100L de cerveza elaborada. Actualmente, la mayoría del grano usado producido se utiliza como alimento para animales de bajo valor con un precio de mercado de 35 €/tonelada. Los componentes principales de BSG incluyen fibra (30-50% p/p) y proteína (19-30% p/p), que son componentes nutricionales básicos en la dieta humana y, por lo tanto, hacen que este material sea muy atractivo para mejorar el valor nutricional de alimentos. Además, varios componentes que son constituyentes del BSG, como arabinoxilanos, proteínas en forma de hidrolizados y compuestos fenólicos, han ganado una atención creciente por sus beneficios potenciales para la salud. Debido a la importante cantidad producida anualmente, el bajo valor de mercado actual, el aumento de la conciencia ambiental y el reconocimiento de que el BSG puede representar un coproducto nutricionalmente valioso, los esfuerzos deben centrarse cada vez más en la valorización de este subproducto agroindustrial (Lynch et al., 2016).

La cebada es la principal materia prima utilizada para la producción de cerveza. El grano de cebada se puede dividir en tres partes principales: el germen (embrión), el endospermo (aleurona y endospermo de almidón) y las cubiertas de grano. Los recubrimientos de los granos se pueden dividir además en, de adentro hacia afuera, la cubierta de la semilla, las capas del pericarpio y la cáscara, como se puede apreciar en la figura 2.

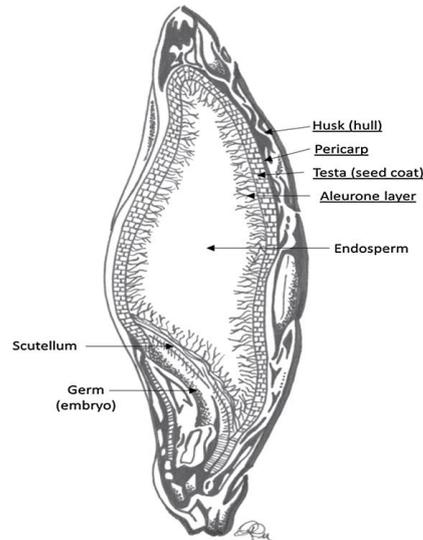


Figura 2. Grano de cebada. (FUENTE: Lynch et al., 2016)

Durante el proceso de elaboración, el endospermo amiláceo de la cebada malteada se somete a degradación enzimática, lo que resulta en la liberación de carbohidratos fermentables y no fermentables, proteínas solubles, polipéptidos y aminoácidos. El medio resultante (que se fermentará en cerveza por acción de la levadura) se conoce como mosto. Los componentes insolubles del grano, que comprenden principalmente las cubiertas del grano, son el BSG. En la elaboración tradicional, que emplea una cuba de filtración, el BSG juega un papel importante ya que forma la capa a través de la cual se filtra la mezcla para separar el mosto. Por lo tanto, la molienda inicial de la malta debe ser tal que las cubiertas de grano permanezcan intactas para formar un filtro adecuado (figura 3). Hoy en día, aunque muchas cervecerías pequeñas o artesanales todavía usan este método de filtración de macerado, muchas cervecerías más grandes emplean un filtro de puré, que depende menos de la función de filtración del BSG y, por lo tanto, la malta se puede moler más extensamente (Lynch et al., 2016).

En la figura 3 se presenta un diagrama de bloques simplificado del proceso de elaboración de la cerveza.

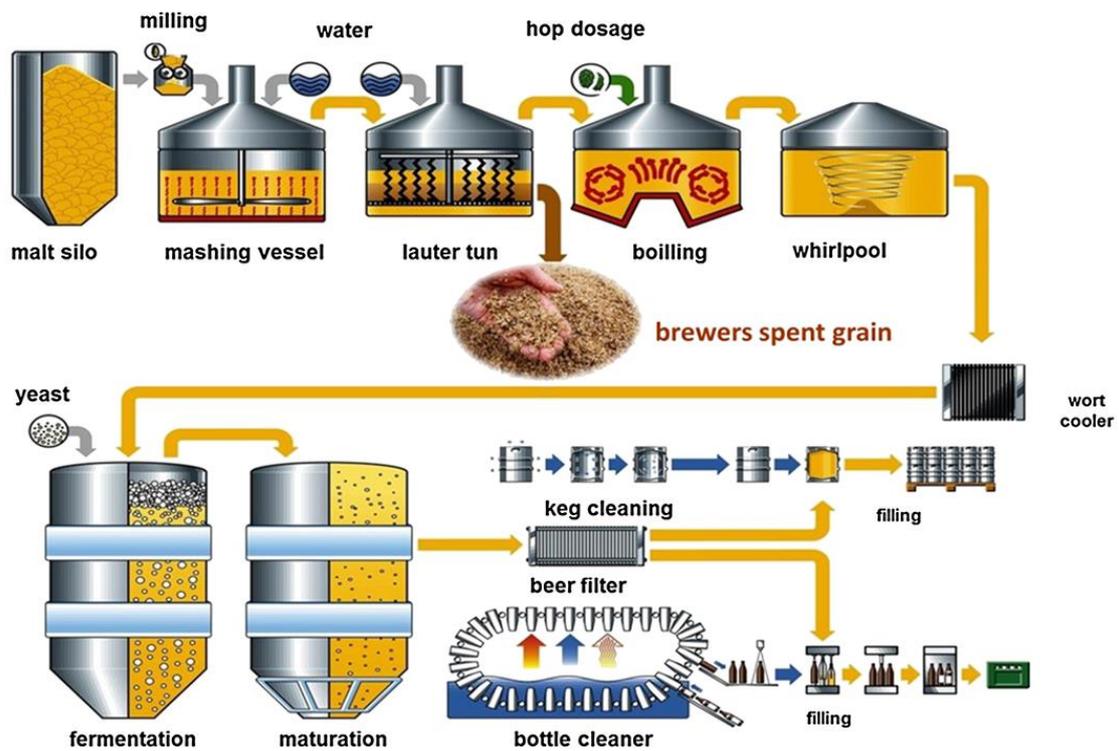


Figura 3. Proceso de elaboración de cerveza y formación del BSG. (FUENTE: Lynch et al., 2016)

2.2.2 Composición química del BSG

El BSG es una sustancia heterogénea, particularmente con respecto a la variación entre cervecerías. Esto se debe a una serie de factores, como la variedad de cereal, el tiempo de cosecha, el tipo de lúpulo agregado, el régimen de malteado y macerado, y si se utilizaron complementos durante la elaboración de la cerveza; sin embargo, el muestreo dentro de la cervecería ha demostrado que el BSG es bastante homogéneo. La Tabla 1 muestra claramente las variaciones en la composición química de esta materia prima como consecuencia de los factores mencionados anteriormente.

Tabla 1: Composición química del BSG. (FUENTE: Lynch et al, 2016)

	Hemicelulosa (arabinosilanos)	Celulosa	Almidón	Proteína	Lignina	Lípidos	Ceniza	Fenólicos
Kanauchi et al. 2001 (86)	21,8	25,4	n.d.	24	11,9	10,6	2,4	n.d.
Santos et al. 2003 (7)	n.d.	n.d.	n.d.	31	16	3,0-6,0	4	1,7-2,0
Carvalho et al. 2004 (87)	29,6	21,9	n.d.	24,6	21,7	n.d.	1,2	n.d.
Silva et al. 2004 (88)	41,9	25,3		n.d.	16,9		4,6	
Mussatto and Roberto 2006 (8)	28,4	16,8	n.d.	15,2	27,8	n.d.	4,6	n.d.
Celus et al. 2006 (16)	22,5	0,3	1	26,7	n.d.	n.d.	3,3	n.d.
Xiros et al. 2008 (27)	40	12	2,7	14,2	11,5	13	3,3	2
Jay et al. 2008 (89)	n.d.	31-33	10-12	15-17	20-22	6-8	n.d.	1,0-1,5
Robertson et al. 2008 (19)	22-29	n.d.	2-8	20-24	13-17	n.d.	n.d.	0,7-0,9
Waters et al. 2009 (19)	22,2	26		22,1	n.d.		1,1	
Meneses et al. 2013 (18)	19,2	21,7		24,7	19,4		4,2	

El BSG es básicamente un material lignocelulósico, cuyos constituyentes principales son fibra (hemicelulosa y celulosa), proteína y lignina. La fibra constituye aproximadamente la mitad de la composición del BSG en peso seco, mientras que las proteínas pueden constituir hasta 30%. La hemicelulosa, que consiste principalmente en arabinosilanos (AX), es el constituyente principal del BSG y puede estar presente a un nivel de hasta 40% en peso seco. Los AX son el principal polisacárido no celulósico en cereales y hierbas (Lynch et al., 2016).

2.2.3 Aplicaciones

El uso más común del BSG es como alimento para animales o si no se deposita en vertederos (Sajib et al., 2017).

Debido al contenido relativamente alto de fibra y proteína, y los beneficios para la salud asociados con la ingestión de BSG y/o sus componentes, se han llevado a cabo investigaciones sobre la posibilidad de utilizar BSG en la fabricación de diferentes productos alimenticios, para su incorporación a la dieta humana. El BSG se ha utilizado principalmente en la fabricación de alimentos funcionales principalmente en productos de panadería como pan, galletas, muffins, pasteles, gofres, panqueques, tortillas, bocadillos, donuts y brownies. La Tabla 2 describe ejemplos de estudios que han incorporado BSG en dichos productos (incluidas algunas aplicaciones que no son de panadería) (Lynch et al., 2016).

Tabla 2. Aplicación de BSG en productos alimenticios. (FUENTE: Lynch et al., 2016)

Comida / Producto	Forma de incorporar el BSG	Proporción de BSG incorporado (%w/w)	Principales hallazgos
Cookies	Secado al horno a diferentes temperaturas, molido y fraccionado en componentes específicos de harina.	10, 20, 30, 40	Las galletas preparadas con un 20% de BSG tamizado (seco, 45°C) tenían un contenido de proteína, lisina y fibra aumentado en un 55, 90 y 220%, respectivamente, en comparación con la masa trigo
Snacks de varias bases listos para comer (ej: harina de trigo, yogur en polvo o tomate en polvo)	Harina	10, 20, 30	Aumento del contenido de proteína y fibra con un aumento de BSG
Pan	Harina no tratada (harina BSG solo agregada a la masa). También se agregaron enzimas a cada masa: Maxlife 85, Lipopan Extra, Pentopan, Pentopan + Celluclast	10, 20, 30	La adición de BSG mejoró significativamente el nivel de fibra de los panes, pero aumentó la dureza de la miga y disminuyó el volumen del pan. La adición de enzimas (excepto Maxlife 85) mejoró la textura, el volumen del pan y la vida útil. BSG podría agregarse hasta en un 30% a una formulación de pan con las enzimas apropiadas para mejorar el volumen del pan, la textura y la vida útil.
Salchichas	Molido y tamizado a varias fracciones	1, 3, 5 (grasa sustituida)	La fibra dietética y la capacidad de retención de agua aumentaron con el aumento de las adiciones de BSG. Los parámetros de textura, excepto la elasticidad, se redujeron debido a la cantidad de BSG y al bajo nivel de grasa. Las puntuaciones sensoriales disminuyeron a medida que aumentaba el contenido de BSG
Bebidas de frutas	Ácido hidroxicinámico (extractos fenólicos), líquido	2,5, 10 (%v/v)	La adición de extractos fenólicos de BSG a jugos y licuados (2.5 y 10%) no mejoró significativamente su contenido fenólico total ni alteró significativamente la actividad de barrido. Solo la actividad del poder antioxidante reductor férrico (FRAP) aumentó significativamente en el jugo de arándano con extractos fenólicos añadidos en comparación con el control sin suplementación

2.3 PROCESO DE OBTENCIÓN DE ARABINOXILANOS A PARTIR DE BSG.

La separación de los componentes constituyentes del BSG puede ser necesaria para la explotación de esta biomasa, tanto para producir una serie de componentes de valor añadido como carbohidratos, proteínas y compuestos fenólicos, como para solubilizar los componentes del BSG para obtener un medio que pueda fermentarse para la producción de compuestos específicos o productos de fermentación.

El proceso de obtención de arabinosilanos consta de al menos tres etapas: pretratamiento de la materia prima, extracción y posterior separación y purificación del extracto obtenido.

En el diagrama de bloques de la figura 4 se presentan las etapas que integran el proceso global de extracción de arabinosilanos a partir de BSG



Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de obtención de arabinosilanos. (FUENTE: elaboración propia)

El pretratamiento de la materia prima tiene el objetivo modificar la estructura del BSG y facilitar el acceso del disolvente a los AX en la posterior etapa de extracción. Se pueden utilizar diferentes métodos, como son los de tipo físico (molienda o ultrasonidos), de tipo térmico (microondas, autoclave o steam explosion) y de tipo enzimático (degradación del almidón o ruptura de las proteínas). Estos métodos se pueden utilizar de forma individual o combinados para aumentar la eficiencia del proceso global.

Se puede decir que la etapa de extracción es la etapa clave del proceso. La mayoría de los AX de las paredes celulares de los cereales están reticulados con otros materiales de la pared celular para formar un complejo estructural, que no es soluble en agua. Por lo tanto, existe la necesidad de aumentar los rendimientos de extracción mejorando la solubilidad de la fracción de WUAX (water unextractable arabinosylan, no hidrosolubles). Se han desarrollado e investigado varios métodos para la extracción y purificación de AX. Estos incluyen la extracción con agua y extracción alcalina (Fadel et al., 2017).

La etapa de separación y purificación del extracto obtenido, generalmente, consta de varias etapas seguidas para eliminar tanto el disolvente utilizado en la extracción como el resto de los componentes no deseados presentes también en el extracto. En función de las especificaciones deseadas del producto final, se diseña la posible secuencia de etapa para poder conseguir las.

En el apartado 3. Selección de alternativas, se muestran en detalle los diferentes tratamientos que se pueden utilizar para la extracción de AX.





3 OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Grado se enmarca dentro del proyecto “*Transformación de las fracciones lignocelulósicas del bagazo de cerveza en productos con valor energético y alimentario*” financiado por la Junta de Castilla y León (VA010P17) y concedido al Grupo de Investigación Reconocido de Tecnología de Procesos Químicos y Bioquímicos (GIR 30) de la Universidad de Valladolid.

El objetivo global del proyecto es **dimensionar una planta a escala piloto-laboratorio para la recuperación de arabinosilanos (AX) presentes en el bagazo de cerveza (BSG)** para la formulación de alimentos funcionales. La capacidad de tratamiento de la planta será de 2 kg/día de BSG, obteniéndose como producto una corriente de 0,74 kg/día con una concentración del 40% en peso de arabinosilanos, siendo la recuperación total de AX en el proceso del 65%.

Los objetivos parciales del proyecto son los que se enumeran a continuación:

1. **Revisar la bibliografía disponible** para realizar una **propuesta de proceso** de obtención de AX adecuado a la materia prima a tratar (BSG).
2. **Dimensionar y seleccionar los equipos básicos** de la planta piloto-laboratorio de obtención de AX. Realizar los balances de materia y energía correspondientes y los diagramas de bloques, de flujo y P&ID.
3. **Diseñar mecánicamente el extractor.**
4. Realizar un **estudio económico** de la planta y un **análisis de sensibilidad** del proyecto.
5. Analizar los principales **impactos ambientales** de la planta y los aspectos de **seguridad** más relevantes.





4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este apartado se van a estudiar las diferentes materias primas que se pueden utilizar para la obtención de arabinosilanos, además de los diferentes tipos de tratamientos posibles que existen. Después de analizar las diferentes alternativas se va a seleccionar cuál es la secuencia de tratamiento más adecuada para la planta que se va a diseñar.

4.1 MATERIA PRIMA

Como ya se ha explicado en el apartado 1.1 Arabinosilanos, estos se encuentran en los principales cereales, como son el trigo, el centeno, la cebada, la avena, el arroz, el sorgo, el maíz y el mijo, además de en otras fuentes como el pasto de centeno, los brotes de bambú o la cáscara de plátano.

Los estudios recientes se centran en la extracción de arabinosilanos de subproductos agrícolas de bajo valor de la industria alimentaria, como salvado de cereales, bagazo de cerveza, pulpa de remolacha azucarera, mazorcas de maíz o cáscaras de plátano, entre otros. Estos materiales son ricos en polisacáridos no celulósicos, siendo los arabinosilanos uno de sus principales componentes.

Se necesitan nuevas líneas de negocio que permitan cerrar el ciclo de producción. No obstante, el aprovechamiento de estos residuos está aún poco explotado, sobre todo en el caso de pequeñas empresas cerveceras, que tendrían en el ámbito de la producción de AX una buena forma de dar salida a este subproducto. Por otra parte, la gestión adecuada del BSG desde el punto de vista medioambiental es importante, ahora que se está tratando de imponer en las industrias la estrategia de Residuo Cero.

El bagazo de cerveza está disponible en grandes cantidades (se estima que se obtienen 2kg de BSG por cada 10L de cerveza producidos), por lo que las industrias cerveceras tienen especial interés en su valorización y utilización como recurso para generar nuevos productos de valor añadido, como es el caso de la extracción de arabinosilanos.

Actualmente, están dadas de alta 852 microcervecerías en toda España, con una producción anual de 257.000 hL. Solo en Castilla y León existen 72 microcervecerías con una producción anual estimada de 22.000 hL. A partir de

estos datos, se calcula que en Castilla y León se producen 440.000 kg de BSG al año, por lo que resulta interesante estudiar el diseño de una planta de extracción de AX utilizando como materia prima el BSG de las microcervecías de Castilla y León (Cerveceros España, 2017).

En este trabajo se va a utilizar el bagazo de cerveza que ha sido amablemente donado por una microcervecía (Cerveza Milana) ubicada en Valladolid, CyL, España. El BSG fresco se almacena a -20°C hasta que se usa. El BSG se secó en un horno a 45°C antes de las pruebas experimentales. El tamaño de partícula BSG es: 85% entre 2 mm y 5 mm, 12% entre 1 mm y 2 mm y el resto inferior a 1 mm.

La composición de la materia seca de dicho BSG es la que se muestra en la tabla 3. La hemicelulosa (arabinoxilanos) son la suma de Xilano + Arabinano.

Tabla 3: Composición fracción sólida del BSG utilizado. (FUENTE: Cervecera Milana)

Glucano	Xilano	Arabinano	Lignina insoluble en ácido	Lignina soluble en ácido	Proteína	Ceniza
23,1 ± 2,8	15,5 ± 1,0	7,4 ± 0,3	14,1 ± 0,4	4,9 ± 1,0	15,1 ± 0,4	3,5 ± 0,1

4.2 TECNOLOGÍAS DE OBTENCIÓN DE BSG. PROCESO PROPUESTO

4.2.1 Pretratamiento

Los pretratamientos del BSG, previos al proceso de extracción, se llevan a cabo con la finalidad de incrementar la extractabilidad de los AX en posteriores etapas y para facilitar, en la medida de lo posible, la separación final del resto de componentes no deseados.

Los pretratamientos empleados en el proceso de obtención de AX a partir de BSG se clasifican en 3 grandes grupos:

Pretratamientos físicos

Su función es la de mejorar la extractabilidad de AX mediante rotura física del grano de cebada o de su estructura interna. Algunos ejemplos son la molienda y el uso de ultrasonidos.

Pretratamientos térmicos

Están destinados a modificar la estructura física o química de los AX para facilitar su solubilización. Suponen la utilización de calor. Este se puede aplicar directamente o mediante el uso de vapor. Entre estas técnicas se encuentran el uso de microondas, autoclave y steam explosion.



Pretratamientos enzimáticos

Implican la utilización de enzimas para conseguir la degradación de la hemicelulosa. Se pueden seleccionar enzimas de diversas especificidades dependiendo de qué componentes o productos se desean y el grado de hidrólisis requerido. Por ejemplo, xilanasas, β -xilosidasas, feruloil esterasas, acetil esterasas, glucuronidasas, glucuronoil esterasas y α -L-arabinofuranosidasas son los principales tipos de enzimas requeridas para la degradación completa de la hemicelulosa (Lynch et al., 2016).

También existen tratamientos enzimáticos para eliminar el almidón o eliminar las proteínas y facilitar el acceso a los AX en la etapa de extracción. Para ello se utilizan amilasas, proteasas y xilanasas. Severini et al. (2015) ha demostrado el efecto sinérgico de las xilanasas y peptidasas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, se pueden combinar varios pretratamientos para conseguir una eficacia mayor de AX tanto en el extracto como en la separación posterior de componentes no deseados.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados encontrados en la bibliografía referidos a la utilización de los diferentes pretratamientos empleados como etapa previa a la extracción de AX a partir de BSG.

FÍSICOS

Molienda

Operación destinada a reducir el tamaño del grano y obtener distintas fracciones, de diferente tamaño y composición. El proceso de molienda aumenta el contenido de AX soluble. Lo que provoca la molienda es un desenmarañamiento parcial de los complejos AX, mejorando el rendimiento de solubilización (Severini et al., 2015).

Ultrasonidos

Operación destinada a facilitar la penetración del disolvente dentro de la matriz sólida, y provocar la ruptura de las paredes celulares.

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es un proceso que utiliza energía acústica y solventes para extraer compuestos diana de varias matrices de plantas. La aplicación de ultrasonidos de alta intensidad causa fluctuaciones de presión, que se propagan a través del material. Estas fluctuaciones dan lugar a burbujas microscópicas que son altamente inestables y se colapsan unos pocos milisegundos después de su formación. A raíz del colapso, se aplican fuerzas de alto cizallamiento a cualquier material que esté presente en la vecindad de estas burbujas de cavitación. Además de las fuerzas mecánicas

de corte, la temperatura en las proximidades de las burbujas aumenta. Las ondas de presión de ultrasonido y los fenómenos de cavitación resultantes pueden romper las paredes celulares, promoviendo la liberación de los contenidos de la célula en el medio de extracción.

La EAU ya se ha usado para obtener xilanos de mazorcas de maíz, salvado de maíz, paja de trigo, cáscara de trigo sarraceno, bagazo de caña de azúcar, salvado de trigo y cáscaras de almendra. Las ventajas encontradas son el acortamiento sustancial del tiempo de extracción, el consumo de solvente y la temperatura de extracción, resultando mayores rendimientos y pureza de polisacáridos sin cambios estructurales significativos y sin efectos negativos en sus propiedades funcionales. Sin embargo, el ultrasonido de alta intensidad puede descomponer los polímeros, lo que puede afectar negativamente a los polisacáridos.

La eficiencia de la EAU en la producción de extractos ricos en AX de BSG se demuestra por la reducción significativa en el tiempo de extracción y el consumo de energía, para posibles aplicaciones industriales. Otra ventaja de la aplicación de EAU es la eliminación del almidón del extracto final rico en AX. Los AX recuperados por los EAU son bastante ramificados (Reis et al, 2015)

Un ejemplo de tratamiento con ultrasonidos es el de la figura 5, propuesto por Reis et al, 2015.

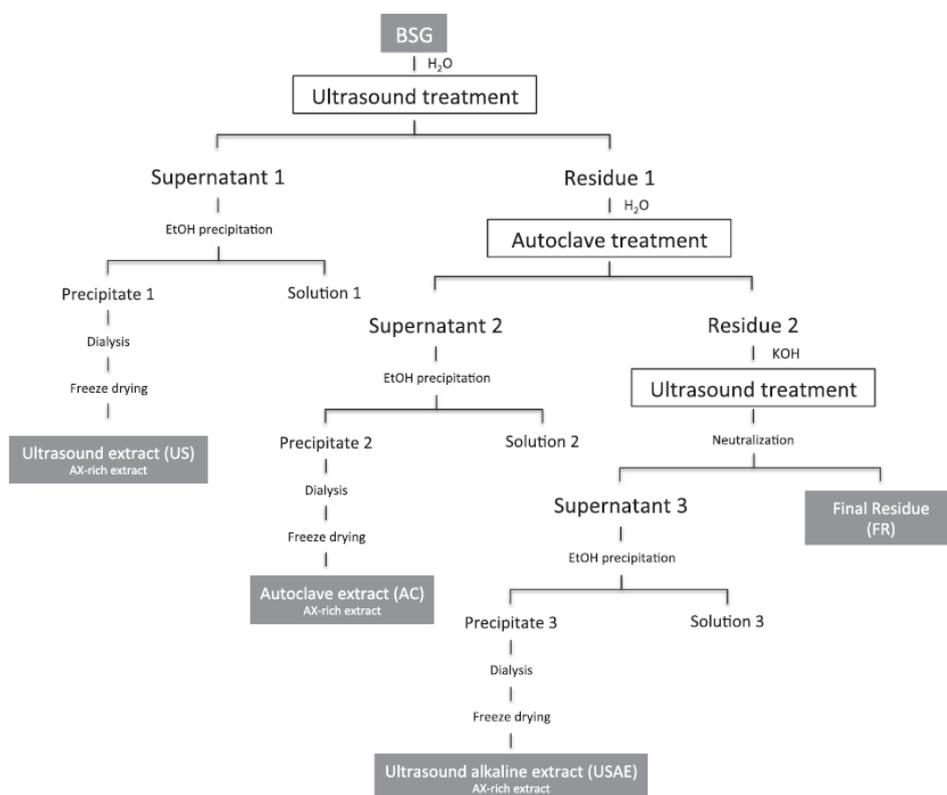


Figura 5. Tratamiento de BSG con ultrasonidos para la extracción de AX. (FUENTE: Reis et al, 2015)



TÉRMICOS

Microondas

La extracción asistida por microondas es un proceso que usa energía de microondas para calentar el solvente que está en contacto con una muestra para dividir los analitos de la matriz de muestra en el solvente. Mediante el uso de vasos cerrados, la extracción se puede realizar a temperaturas elevadas acelerando la transferencia de masa de compuestos diana de la matriz de muestra. Típicamente, el procedimiento de extracción asistido por microondas tarda 15-30 minutos y usa pequeños volúmenes de solvente, aproximadamente 10 veces más pequeños que los volúmenes usados por las técnicas de extracción convencionales. Recientemente se han empezado a usar las microondas para la extracción de AX a partir de algunos residuos de la industria, como cáscaras de cebada, maíz, bagazo de cebada, paja de trigo y linaza. Estos polímeros se pueden obtener directamente en agua, álcali y/o ácido diluidos o en una solución hidroalcohólica.

El rendimiento obtenido de la extracción de AX y AXOS por extracción asistida de BSG crece con el aumento de la temperatura siempre dentro del rango de 140 a 210 °C, durante 2 minutos. Las mejores condiciones en términos de rendimiento de extracción se logran a 210 °C, lo que permite obtener un 43% de AX + AXOS del BSG. A medida que aumenta la temperatura se favorece la despolimerización, desramificación, desesterificación y formación de productos marrones. Con una extracción secuencial de tres pasos a temperatura más baja (140 °C durante 2 minutos), se puede extraer el 62% de BSG AX + AXOS, presentando diferentes características estructurales y un residuo final rico en celulosa. Debido a los diferentes pasos aplicados en la extracción secuencial con microondas de agua sobrecalentada, es posible enriquecer fracciones en AX, AXOS y AXOS ferulilados de las proteínas y el almidón residual. Los compuestos formados son altamente solubles en agua e incluso en soluciones de etanol, además, presentan actividad antioxidante, lo que permite su uso en matrices acuosas y alcohólicas (Coelho et al., 2014).

La principal ventaja de esta técnica es la capacidad de calentar rápidamente la mezcla de disolventes de muestra.

Un ejemplo de tratamiento con microondas es el de la figura 6, propuesto por Coelho et al. (2014).

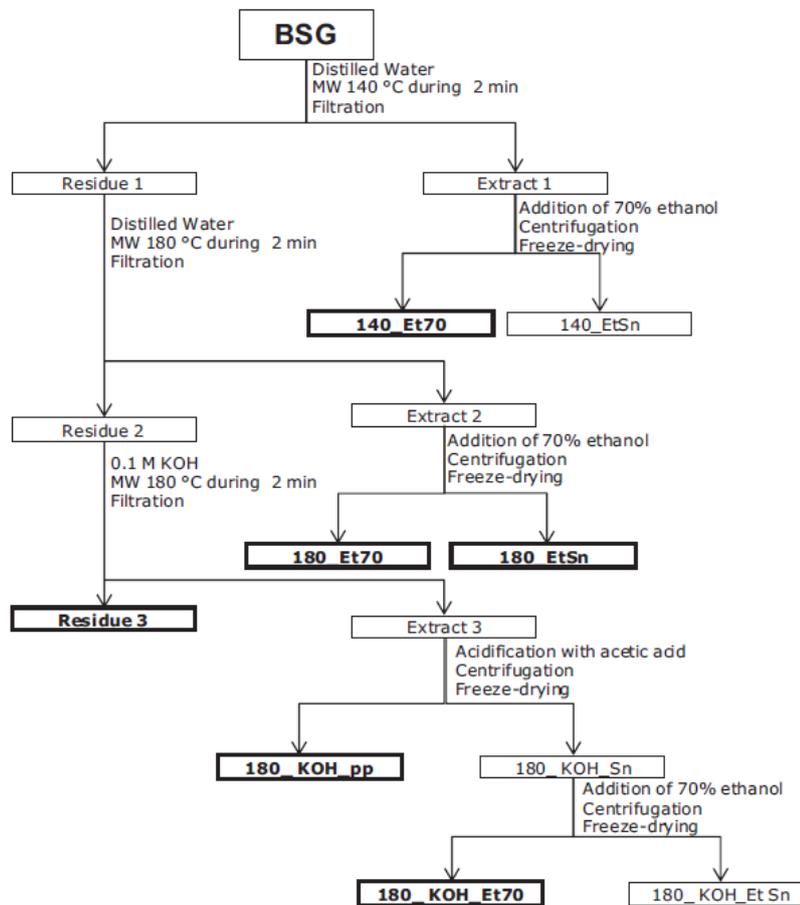


Figura 6. Esquema de recuperación de AX a partir de BSG por tratamiento secuencial de microondas.
 (FUENTE: Coelho et al., 2014)

Steam explosión y autoclave

El proceso de explosión de Steam es, igual que el proceso de autoclave, un método hidrotermal que implica la utilización de calor a través de vapor. Se ha probado con éxito como un medio para extraer AX de subproductos de cereales. Para este método, los materiales de cereal se pretratan con vapor a alta presión, y luego la presión se libera rápidamente, lo que conduce a una despolimerización explosiva. Esto descompone la estructura lignocelulósica y las hemicelulosas simplemente se extraen. Se ha utilizado un proceso de dos etapas basado en un pretratamiento de explosión de vapor (200 °C / 15 bar durante 10-33 min o 220 °C / 22 bar durante 3-8 min), seguido de peróxido alcalino posterior al tratamiento (2% de H₂O₂, 50 °C, 5h, pH 11,5) y precipitación en 3 volúmenes de etanol. Este proceso de dos etapas libera 77.0-87.6% de las hemicelulosas originales totales (composición media, 38.7%) de paja de trigo. Como pretratamiento para la extracción de AX, la explosión de vapor es respetuosa con el medio ambiente y un método eficaz para romper la estructura lignocelulósica (Zhang et al., 2014).



ENZIMÁTICOS

Es un tratamiento destinado a la hidrólisis de compuestos que dificultan la extracción y posterior separación de los AX (almidón, proteínas, etc.), o a la ruptura de los enlaces entre los AX y esos compuestos. Estos métodos aumentan de forma significativa la cantidad de AX solubles. La ruptura de los enlaces éster que se establecen entre los AX no solubles y otros compuestos de la pared celular posibilitan la liberación de AX al medio de extracción.

Las enzimas clave en la degradación de arabinoxilano son las xilanasas (O-glucósido hidrolasas) que hidrolizan los enlaces β -1,4 glicosídicos de la cadena de xilano. Las glucósido hidrolasas se agrupan en familias en función de su mecanismo catalítico y la secuencia y las xilanasas más frecuentemente utilizadas pertenecen a la familia de glucósidos hidrolasa (GH) 10 y 11. (Sajib et al., 2017)

El BSG fresco se hidroliza con tres xilanasas comerciales diferentes y un tipo de peptidasa. Comparando todos los tratamientos, una mayor adición de xilanasas da como resultado un aumento de arabinoxilanos hidrosolubles (WEAX). En el tratamiento más eficiente, la xilanasas sola fue capaz de solubilizar el 23,7% de WUAX, mientras que la peptidasa no muestra ningún efecto. Sin embargo, cuando se agrega junto con la xilanasas, la peptidasa aumenta la solubilización de WUAX hasta 1,6 veces. A partir de estos resultados se puede deducir que el acceso al esqueleto de xilano aumenta con las actividades proteolíticas, lo que demuestra un efecto sinérgico de xilanasas y peptidasas. Esto es debido a que los polisacáridos en el BSG están íntimamente asociados con las proteínas unidas a la pared y a la lignina. Esta conformación hace que la combinación de enzimas proteolíticas y glucolíticas sea esencial para mejorar el acceso de la xilanasas a los sustratos y así aumentar la solubilización (Severini et al., 2015).

Para eliminar el almidón lo que se hace es un tratamiento con amilasa como el propuesto en la figura 7 por Sajib et al. (2017).

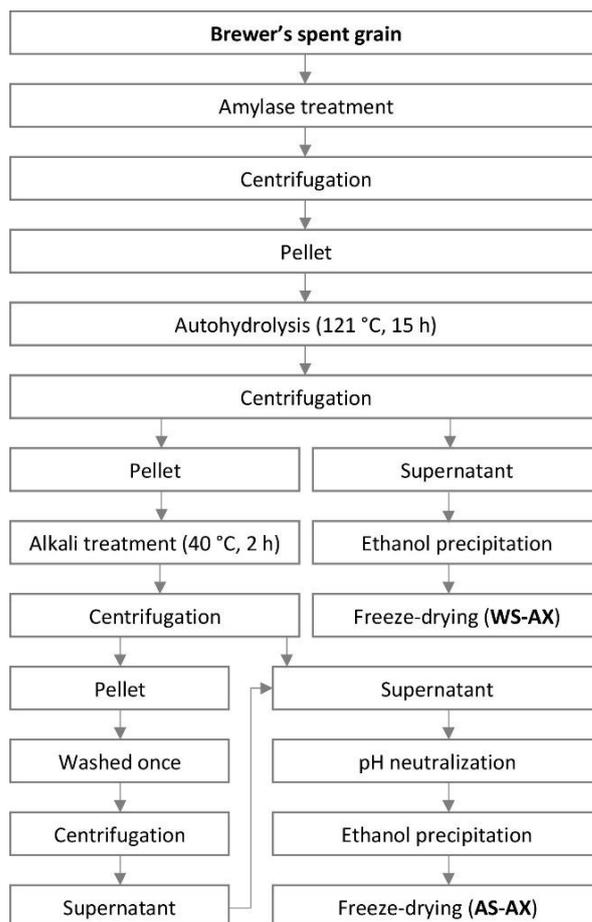


Figura 7. Esquema de recuperación de AX a partir de BSG por tratamiento con amilasa. (FUENTE: Sajib et al., 2015)

4.2.2 Extracción

Los procesos de extracción son básicamente la disolución acuosa y la disolución acuosa en medio básico.

Extracción acuosa

La **extracción con agua** es uno de los métodos más comunes utilizados para aislar AX de diferentes cereales, seguido de la precipitación con etanol al 65%. Usar agua sola para extraer AX tiene varias ventajas, como que es amigable con el medio ambiente, es barata, disponible y comestible. Se ha informado que el rendimiento de extracción de WEAX (water extractable arabinoxylan, hidrosolubles) de dos cultivos de cebada varía en función de la sub-fracción de cebada y las variedades. Se ha demostrado que el rendimiento de los AX obtenidos mediante los métodos enzimáticos y químicos es mayor que el logrado por el método del agua. El uso de agua en condiciones suaves, es decir, a temperaturas inferiores a 100°C no es suficiente para romper los enlaces cruzados entre los AX y la matriz de la pared celular. Para solucionar esto, se utiliza la extracción de agua combinada con técnicas hidrotermales,



usando alta presión (5-40 MPa) y alta temperatura a (200-600°C), para aumentar el rendimiento de extracción de hemicelulosas a 65-90%. Sin embargo, aunque estas técnicas son ecológicas, degradan la estructura de hemicelulosa, lo que puede dañar la estructura del AX, lo que a su vez puede afectar a su funcionalidad. Como una cantidad significativa de AX permanece después de la extracción, algunos investigadores han descartado los métodos de extracción de agua en preferencia a los tratamientos con enzimas y álcalis (Fadel et al., 2017).

Extracción acuosa alcalina

Este método de **extracción** implica **romper enlaces covalentes y de hidrógeno** en la matriz de polisacáridos para liberar diversos polisacáridos de la pared celular. Los enlaces de hidrógeno entre la hemicelulosa y la celulosa se pueden romper mediante hidroxilos e hidrólisis de los enlaces de éster, que a su vez solubiliza una parte del material de hemicelulosa. Por otro lado, bajo condiciones alcalinas, los ácidos urónicos cambian a su forma cargada negativamente, causando repulsión entre diferentes moléculas, lo que resulta en un aumento en la capacidad de extracción que presentan los AX.

El BSG contiene 70-80% de humedad, por lo tanto, se necesita una cantidad considerable de energía para su secado. La separación de los componentes del grano agotado se puede realizar mediante las extracciones químicas de la fracción proteica del BSG en medio alcalino, es decir, la extracción alcalina de BSG a pH 11-12 y 104-121°C, donde la fracción proteica se obtiene por precipitación isoeléctrica. Sin embargo, este proceso implica la descomposición de proteínas debido a las condiciones drásticas de la alta temperatura utilizada, lo que resulta en un bajo rendimiento de proteínas y un deterioro de la calidad del producto. Además, el proceso requiere gran cantidad de energía para las altas temperaturas de extracción. Los AX de BSG generalmente se extraen mediante un procedimiento bien establecido secuencialmente usando **soluciones de KOH** con una concentración creciente de 0,5M, 1M y 4M.

Este proceso integrado puede extraer 79-83% de las proteínas y 62-86% del AX del BSG sin pretratamiento. Para ello se realiza una precipitación selectiva y secuencial de las proteínas por acidificación del medio con una solución saturada de ácido cítrico como reactivo neutralizante alcalino. Este ácido tiene la ventaja de ser un compuesto de grado alimenticio (E-330), con una acidez más alta que la mayoría de los ácidos orgánicos ($pK_{a1} = 3,15$) y una alta solubilidad en agua (61,8% p/p a 25°C), siendo también soluble en etanol (38,3% p/p a 25°C). La precipitación selectiva de proteínas se puede lograr después de la acidificación del medio a pH=3 con ácido cítrico, que permanece soluble en esta solución acuosa. Además, la solubilidad del ácido cítrico en



soluciones de etanol evita su coprecipitación cuando se usa etanol para precipitar el AX. Dado que el ácido cítrico se usa para neutralizar los extractos alcalinos, parte de él se convierte en la forma de citrato, que es mucho menos soluble en soluciones de etanol. Para convertir todo el citrato en ácido cítrico, se requiere la adición de un ácido fuerte. Para ello se utiliza una solución concentrada de ácido clorhídrico (aditivo alimentario E-507). Además, se debe señalar que el etanol es un solvente GRAS (generalmente reconocido como seguro), generalmente utilizado en la purificación de polisacáridos por precipitación. Este proceso permite la recuperación de AX sin la necesidad de un paso de diálisis, lo que reduce significativamente la duración del proceso. Las desventajas del proceso de diálisis es que lleva mucho tiempo y una energía costosa para la evaporación del agua. Se prefiere la extracción a una temperatura más baja debido a su bajo consumo de energía y, por consiguiente, a una mayor viabilidad económica, puesto que el rendimiento de extracción de proteínas y AX no disminuye al usar temperaturas más bajas. Además, es posible la disminución de la proporción del solvente alcalino sin pérdida significativa de proteína y rendimiento de AX. La aplicación industrial de este método de extracción usando la relación 1:2 consume 543 kg de KOH, 6 kg de metabisulfito de sodio, 1114 kg de ácido cítrico, 284 L de 37% de HCl, y 20,914 L de etanol por tonelada de BSG extraído (Vieira et al., 2014)

En la figura 8 se puede ver el esquema de tratamiento alcalino propuesto por Vieira et al, 2014.

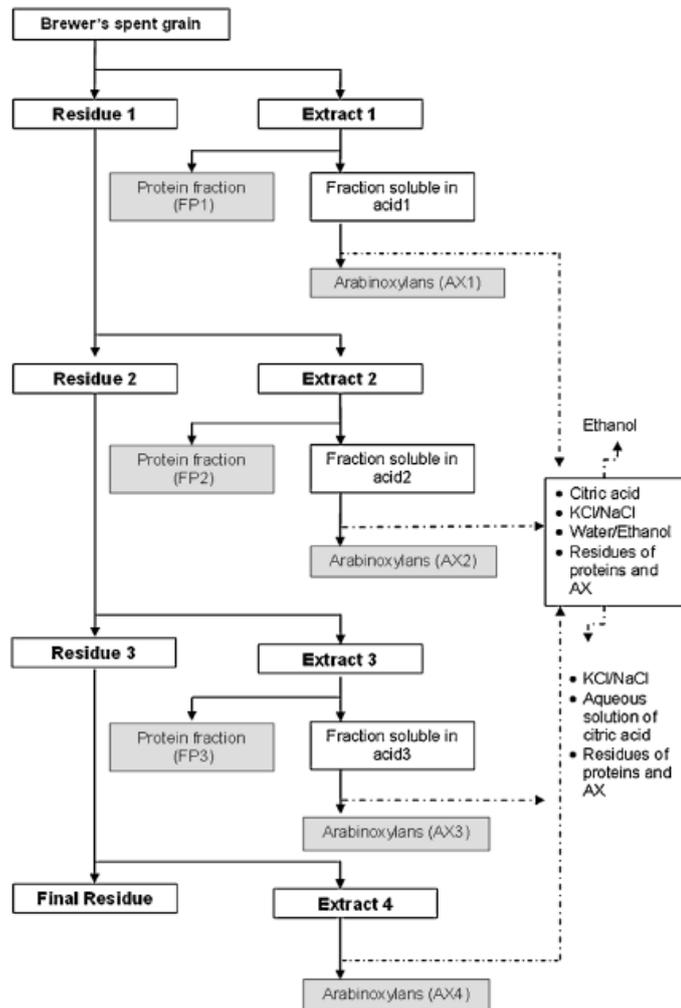


Figura 8. Esquema de extracción integrada de proteínas y AX del BSG, usando tratamiento alcalino.
(FUENTE: Vieira et al, 2014)

4.2.3 Separación / purificación

La etapa de separación y purificación de los extractos obtenidos consta por lo general de un gran número de etapas, destinadas a separar el disolvente empleado en el proceso de extracción y eliminar de forma selectiva determinados compuestos presentes todavía en los extractos, como proteínas o almidón, y que son diferentes dependiendo del pretratamiento de la materia prima y del tipo de proceso de extracción llevado a cabo. La selección de una secuencia u otra depende, en gran medida, de las características y composición deseadas en el producto final.

El proceso propuesto por Coelho et al. (2014), es la **precipitación de los AX mediante la adición de etanol**. Propone añadir etanol absoluto a las fracciones solubles en agua para realizar soluciones de etanol al 70% (v/v), suponiendo volúmenes aditivos. Estas soluciones se agitan durante 2 horas a 4°C hasta la formación de un precipitado y luego se centrifugan para obtener el precipitado

que se elimina de la solución sobrenadante. Para eliminar completamente el etanol, cada precipitado y solución sobrenadante se disuelve en agua, se concentra por evaporación rotatoria a 35°C a presión reducida, se congela y luego se liofiliza.

El proceso de adición de etanol para la precipitación de AX se realiza siempre. Una vez precipitados, ya es cuando se utilizan otros métodos como los explicados a continuación.

La **liofilización** es un proceso que tiene como objetivo separar el agua u otro solvente de una disolución mediante congelación y posterior sublimación del hielo a presión reducida. La liofilización es el proceso más suave para secar productos y es el mejor método para secar compuestos orgánicos o inorgánicos sin alterar su composición cualitativa o cuantitativa. El proceso de liofilización se realiza a vacío y a baja temperatura y así, por ejemplo, es posible evitar la desnaturalización de las proteínas. Los alimentos y los materiales biológicos tales como células, tejidos, bacterias y vacunas se convierten en productos secos, evitando el paso por su fase líquida, y en consecuencia los cambios enzimáticos, biológicos y químicos (Grupo GIDOLQUIM, UAB, 2014).

El BSG en bruto contiene aproximadamente un 0.1% de WEAX y 1.8% de WUAX después de los procesos de separación/concentración. La liofilización de BSG no causa ningún cambio significativo en ambos contenidos cuando se aplica (Severini et al, 2015).

Otra forma de secar el producto final mediante **secado en spray** o secado por atomización. Este proceso es una operación básica que consiste en la transformación de una suspensión o disolución en un material seco particulado, mediante la atomización del primero en un medio caliente y seco (Mondragón et al., 2013).

En términos generales, funciona de la siguiente manera:

1. Se suministra el líquido en la planta de secado para ser atomizado.
2. El líquido que es introducido se convierte en un rocío de spray.
3. Las gotas de rocío que se obtienen son puestas en contacto con una corriente de aire caliente al interior de la cámara de secado.
4. El aire caliente evapora la humedad de las gotas de rocío y forma partículas secas. Esta parte del proceso debe llevarse a cabo en una temperatura y con un flujo de aire controlados.
5. Se lleva a cabo la descarga del polvo resultante de la cámara de secado y se utiliza un ciclón para recuperarlo desde los gases de escape.

Todo este proceso se lleva a cabo al interior de un secador spray. (QuimiNet, 2012)

4.2.4 Selección del proceso de obtención

En base a la revisión bibliográfica realizada se ha elaborado un diagrama de bloques (figura 9) en el que se presentan las posibles secuencias/operaciones unitarias empleadas en el proceso de obtención de AX a partir de BSG.



Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de obtención de AX a partir de BSG. (FUENTE: elaboración propia)

Como ya se ha indicado anteriormente, para el diseño del proceso no es necesario elegir únicamente un tratamiento de cada etapa, si no que se pueden combinar varios pretratamientos, con diferentes extracciones y diferentes secuencias de separación y purificación. El objetivo de combinar varios tratamientos es el de conseguir mejores resultados, en cuanto a características del producto final, mejor gestión del consumo de energía o de reducir la cantidad de productos necesarios para el proceso que luego es necesario eliminar.

Para elegir adecuadamente el tipo de tratamiento de las diferentes etapas del proceso se han realizado varias tablas resumen (tablas 4, 5 y 6), dónde se pueden ver las ventajas e inconvenientes de cada tratamiento, para así seleccionar la alternativa óptima en cada caso.

PRETRATAMIENTO

En la tabla 4 se comparan las ventajas y los inconvenientes de los diferentes métodos que se pueden utilizar como pretratamientos en el proceso a diseñar.

Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de diferentes pretratamientos. (FUENTE: elaboración propia)

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MICROONDAS	<ul style="list-style-type: none"> - Usa pequeños volúmenes de solvente (10 veces menos que técnicas convencionales) - Capacidad de calentar rápidamente la mezcla de disolventes de muestra - Alto rendimiento (extracción del 62% de AX+AXOS) - Los compuestos formados son solubles en agua y etanol por lo que se pueden usar en matrices acuosas y alcohólicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de hacer varias etapas para conseguir el rendimiento deseado
AUTOCLAVE / STEAM EXPLOSION	<ul style="list-style-type: none"> - Es respetuosa con el medio ambiente - Eficaz para romper la estructura lignocelulósica 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevadas presiones (22 bar) y temperaturas (220°C)
ULTRASONIDOS	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción significativa en el tiempo de extracción y el consumo de energía - Consumo de pequeños volúmenes de solvente - Sin efectos negativos en sus propiedades funcionales 	<ul style="list-style-type: none"> - El ultrasonido de alta intensidad puede descomponer los polímeros (afecta negativamente a los polisacáridos)
ENZIMATICO	<ul style="list-style-type: none"> - Efecto sinérgico de xilanasas y peptidasas - Se solubilizan algo más del 33% de AX 	<ul style="list-style-type: none"> - Existen actividades secundarias que hay que controlar - Necesidad de varios tipos de enzimas (unas son más activas contra los sustratos solubles y otras prefieren los polímeros insolubles)

Después de analizar las ventajas y los inconvenientes de cada pretratamiento, el elegido para el proceso es el de **microondas**, pues es con el que se consigue un mayor rendimiento de extracción y requiere tiempos de tratamiento cortos. La rapidez en el calentamiento es la principal ventaja de las microondas frente a los métodos tradicionalmente empleados en la extracción con disolventes, que causan el calentamiento a partir de la transmisión de la energía al material de forma indirecta (radiación, convección, conducción). El empleo de las microondas permite, por tanto, significativos ahorros de tiempo; disminución

de los volúmenes de disolventes necesarios en los tratamientos y, en consecuencia, de energía en el proceso; no contamina el medio ambiente, lo cual se manifiesta en la reducción de los costes globales, que constituyen aspectos deseables de alcanzar en todo proceso de pretratamiento-extracción, además de que permite obtener altos rendimientos de extracción de arabinosidos.

El uso de ultrasonidos también es un tratamiento de corta duración, pero el riesgo de que se descompongan los polímeros es demasiado importante. El mayor inconveniente de trabajar con autoclave o steam explosión es que se trabaja a elevadas presiones y temperaturas, siendo un proceso con mayores costes de operación, mientras que el tratamiento con enzimas a pesar del efecto sinérgico de xilanasas y peptidasas y de no tener grandes inconvenientes, el rendimiento de extracción no es muy elevado.

EXTRACCIÓN

En la tabla 5 se comparan las ventajas y los inconvenientes de los diferentes métodos que se pueden utilizar como extracción en el proceso a diseñar.

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de diferentes extracciones. (FUENTE: elaboración propia)

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
EXTRACCIÓN ACUOSA	<ul style="list-style-type: none">-Amigable con el medioambiente-Barata, disponible y comestible-Extracción del 65-90% de hemicelulosa	<ul style="list-style-type: none">-Elevadas presiones (5-40 MPa) y temperaturas (200-600°C)-Degradan la estructura de la hemicelulosa
EXTRACCIÓN ACUOSA ALCALINA	<ul style="list-style-type: none">-Capacidad de extraer el 79-83% de las proteínas y 62-86% de AX-No es necesario el proceso de diálisis por lo que se reduce significativamente la duración del proceso-Uso de bajas temperaturas (no se reduce el rendimiento de extracción).	<ul style="list-style-type: none">-Descomposición de proteínas debido a las condiciones drásticas de la alta temperatura utilizada-Se necesita gran cantidad de energía

En este caso se ha elegido el **tratamiento de extracción acuosa alcalina** debido a que las condiciones de trabajo (P y T) son bastante más suaves que en el tratamiento solamente con agua. Además, en disolución con agua se degrada la estructura de la hemicelulosa, lo que puede dañar la estructura del AX, lo que a su vez puede afectar a su funcionalidad.

SEPARACIÓN / PURIFICACIÓN

En la tabla 6 se comparan las ventajas y los inconvenientes de los diferentes métodos que se pueden utilizar como separación y purificación en el proceso a diseñar. El proceso de precipitación con etanol no se ha valorado en la selección de alternativas ya que todos los trabajos incluyen una etapa previa de precipitación de AX con etanol justo antes de su purificación.

Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de diferentes secados. (FUENTE: elaboración propia)

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
LIOFILIZACIÓN	-No altera su composición	- Se realiza a vacío y a bajas temperaturas
SECADO EN SPRAY	<ul style="list-style-type: none">-Proceso muy veloz (unos segundos)- La evaporación del agua contenida refrigera la partícula permitiendo usar altas temperaturas de aire de secado sin afectar las cualidades del producto-Proceso continuo y constantemente controlado (puede trabajar continuo 24h)-Permite alcanzar homogeneidad en la producción	<ul style="list-style-type: none">- Es necesario controlar la evaporación del agua para evitar un aumento de la concentración álcali.

El método elegido para el **secado es el secado en spray** ya que presenta una cantidad elevada de ventajas, como son la velocidad del proceso, pues solo necesita unos segundos, la posibilidad de utilizar elevadas temperaturas sin que esta afecte a las cualidades del producto y que permite alcanzar la homogeneidad del producto en el proceso. El único inconveniente es que hay que controlar la evaporación de agua durante la extracción para evitar un aumento de la concentración de álcali, lo que parece afectar la complejidad de las estructuras de azúcar y disminuir las concentraciones de ácido ferúlico según ha estudiado Ayala-Soto et al. 2016.

5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO. DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques básico de la instalación se muestra en la figura 10, seguido por una breve descripción del proceso de obtención de arabinosilanos.

El diagrama de bloques completo puede consultarse en el apartado ANEXOS I. Diagrama de bloques.

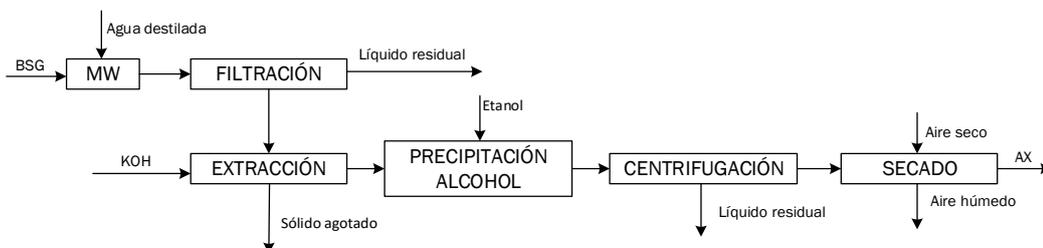


Figura 10. Diagrama de bloques del proceso. (FUENTE: elaboración propia)

El BSG procede de la industria cervecera, siendo un subproducto importante en la producción de la cerveza. El BSG que llega a las instalaciones está compuesto por glucanos, AX, lignina, proteínas, cenizas y agua. El tamaño del BSG es el 85% entre 2mm y 5mm, el 12% entre 1mm y 2mm y el resto inferior a 1mm.

La primera etapa del proceso es el **pretratamiento con microondas** del BSG, para la cual se va a usar agua destilada como disolvente, siendo la proporción en peso del 50% BSG, 50% agua. Seguidamente se filtra la solución que sale del microondas para separar el líquido del sólido. La corriente sólida es la que se vuelve a pasar por el microondas y se vuelve a filtrar. El líquido de la primera filtración se lleva a precipitar con etanol absoluto, mientras que el líquido de la segunda filtración es un líquido residual.

El sólido de la segunda filtración se somete a una **extracción** sólido-líquido, utilizando una disolución acuosa de KOH 1M como disolvente. De esta etapa se desecha el sólido agotado y el extracto rico en AX se lleva a precipitar con etanol absoluto junto con el líquido de la primera filtración.



La **precipitación con etanol absoluto** se realiza con una proporción del 70% en volumen de etanol, suponiendo volúmenes aditivos, hasta la formación del precipitado de arabinoxilano.

La suspensión resultante se **centrifuga** para obtener el precipitado que se elimina de la solución sobrenadante. La corriente que contiene los AX en forma de precipitado se seca con un **secadero de spray** para obtener un polvo de arabinoxilanos.



6 BALANCE DE MATERIA

6.1 DATOS BÁSICOS DEL BALANCE DE MATERIA

El **microondas** se alimenta con BSG fresco que ha estado almacenado a -20°C y posteriormente ha sido secado en un horno a 45°C antes de utilizarse como materia prima en el proceso. La aplicación de estos tratamientos previos al proceso se realiza para el mantenimiento del BSG en buen estado hasta su uso. Este BSG tiene un contenido en AX del 22,9% aproximadamente, según los datos proporcionados por Cervecería Milana.

El tratamiento con microondas se realiza en la primera etapa con agua destilada como disolvente, mientras que en la segunda etapa se realiza con KOH, en ambos casos la proporción de sólidos es del 50% en peso. En las dos etapas la temperatura de operación es 140°C y el tiempo de operación son 2 minutos. El rendimiento de recuperación de sólido obtenido en la fase de pretratamiento con microondas es de un 85%.

Antes de pasar a la extracción es necesario separar mediante **filtración** el sólido y el líquido obtenidos en la etapa de microondas con un filtro con un tamaño de tamiz de 2mm. El rendimiento de recuperación de sólido en el filtro es del 85%.

La fase de **extracción** se lleva a cabo utilizando una solución acuosa de KOH 1M como disolvente con una proporción de 1:2 (kg KOH/kg BSG). La temperatura de operación es entre 104°C y 121°C . El tiempo de operación es de 60 minutos y se realiza a un pH de 11-12. El rendimiento de extracción de AX que se obtiene en esta etapa es del 80%.

En cuanto a la **precipitación con etanol** es necesario añadir etanol hasta obtener una disolución del 70% de etanol en volumen, lo que es lo mismo, una relación etanol/líquido igual a 6, en peso. La temperatura en este caso es de 4°C y la duración de esta etapa es de 2 horas. Al ser la etapa más duradera es la etapa limitante del proceso productivo.

La corriente de salida se **centrifuga** para separar la solución sobrenadante del precipitado que se ha formado en la etapa anterior. El rendimiento de recuperación de sólido en esta etapa es de 90%. La corriente de líquido se desecha y el sólido húmedo se lleva a un secadero en spray.

El **secado** es la última etapa del proceso y la humedad final requerida del sólido obtenido es del 2% en peso. Para conseguir ese porcentaje de humedad se lleva a cabo con una temperatura de la corriente de aire a la entrada de 150°C y de 60°C a la salida. El tiempo de operación es de 1,5 segundos.

En la tabla 7 se puede ver un resumen de los datos más importantes de cada etapa. Estos datos de parámetros de operación y diseño se han obtenido a partir de la bibliografía específica de obtención de arabinoxilanos o de otros productos naturales de características similares.

Tabla 7. Datos básicos del balance de materia

MW	Potencia = 1700 W Temperatura = 140 °C P = 4 bar t = 2 min S:L = 1
Filtración	$\eta = 0,85$
Extracción	KOH:BSG = 1:2 [KOH] = 1M t = 60 min T = 104-121°C pH = 11-12 $\eta = 0,8$
Precipitación EtOH	EtOH (%) = 70% (vol.) Etanol:Líquido = 6 (peso) T = 4 °C t = 2 horas
Centrifugación	$\eta = 0,9$
Secado spray	Te aire = 150°C Ts aire = 60°C humedad sólido final = 2% [AX] = 40% t = 1,5 s

6.2 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo del proceso junto con el esquema de simbología utilizado se pueden consultar en los apartados ANEXO II. Simbología y ANEXO III. Diagrama de flujo.

A continuación, se ha hecho una descripción detallada del diagrama de flujo.

La materia prima de la cual se van a extraer los AX es el bagazo de cerveza, el cual está formada por ciertos sólidos no deseados, agua y AX. El BSG proviene del proceso de elaboración de cerveza y antes de utilizarlo ha sido



acondicionado adecuadamente para el proceso que se va a llevar a cabo, de tal manera que ha estado almacenado a una temperatura óptima para conservarlo y eliminar algo de humedad antes de utilizarlo. Estos tratamientos previos al proceso se realizan para que el BSG pueda estar almacenado cierto tiempo y se mantenga en buen estado, ya que con la gran cantidad de humedad que llega del proceso de fabricación de cerveza se pondría en mal estado en un periodo muy corto de tiempo. Al proceso llega a 45°C y con una humedad del 16,4%, según los datos aportados por cervecería Milana.

El BSG es introducido en la etapa de **microondas (A-101)**, primera etapa del proceso, con una capacidad de 750 mL, aunque sólo puede tratar 220g de sólido por carga. Para llevar a cabo esta etapa hay que añadir agua destilada con una proporción sólidos: líquidos igual a 1 (en peso). El proceso está diseñado para tratar 2 kg de BSG al día. Esta extracción tiene que llevarse a cabo a una temperatura de 140°C durante 2 minutos.

Transcurrido el tiempo necesario, la mezcla proveniente del microondas se filtra a través del **filtro F-101**. Una bomba de desplazamiento positivo (P-101) es la encargada de impulsar el sólido húmedo de nuevo a la etapa de microondas. Esta vez el disolvente utilizado es KOH 1M, el resto de las condiciones se mantienen iguales. Después se vuelve a filtrar (F-101).

La corriente líquida de la segunda filtración se elimina del proceso, y el sólido, mediante otra bomba de desplazamiento positivo (P-102) se lleva hasta el **extractor sólido-líquido (R-201)**. Esta etapa necesita 60 minutos para su realización. Se utiliza KOH 1M como disolvente con una proporción 1:2 de KOH:BSG. Es necesario mantener un pH entre 11 y 12 para que resulte eficiente la extracción. La temperatura debe estar en el rango 104-121°C

Las corrientes líquidas de la primera filtración y de la extracción se almacenan en un depósito (B-201) hasta su uso en la siguiente etapa. Estas corrientes llegan al depósito B-201 mediante dos bombas rotatorias (P-103 y P-201, respectivamente). Es necesario el uso de depósitos a lo largo del proceso debido a que no es un proceso continuo, si no que funciona por cargas.

Del depósito B-201 se lleva al **recipiente F-301 para tratar la mezcla con etanol** y así producir la precipitación de los sólidos. Para ello es necesario añadir etanol absoluto hasta conseguir una disolución en el interior del recipiente del 70% en volumen de etanol, o lo que es lo mismo, una relación en peso de 6:1 de etanol:líquido. Esta etapa necesita 120 minutos para que se produzca la precipitación completa.

Con otra bomba de desplazamiento positivo (P-301) se lleva la mezcla hasta la etapa de **centrifugación (S-301)**, donde se separan la solución sobrenadante del precipitado formado en la etapa anterior.



El líquido resultante de esta etapa se almacena en el depósito B-301 hasta ser recogido por una empresa externa para someterlo a un tratamiento de gestión adecuado ya que, además de contener algunos sólidos que no han podido ser extraídos a lo largo del proceso, también contiene una gran cantidad de etanol. El sólido proveniente de la etapa de centrifugación se lleva, mediante una bomba de desplazamiento positivo (P-302), hasta un **secadero en spray (T-301)**, donde se elimina prácticamente toda la humedad de la corriente para dejar el sólido solamente con una humedad del 2%. Para ello se trabaja con una corriente de aire con una temperatura de entrada de 150°C durante 1,5 segundos.

Por último, el sólido resultante se almacena en un depósito (B-302) hasta su venta. La otra corriente de salida del secadero estará constituida por aire húmedo a una temperatura de 60°C.

6.3 TABLA DE CORRIENTES

Para poder conocer el número de cargas diarias que se van a hacer, primero es necesario saber cuál es la etapa limitante, que en este caso es la precipitación con etanol, pues necesita 120 min. Sumando el tiempo de carga, descarga y limpieza del equipo, 30 min cada operación, el tiempo de operación sería de 180 minutos. El resto de los equipos trabajan mientras se está produciendo la precipitación, por lo que el tiempo de operación del resto de equipos está incluido en este tiempo.

Se ha decidido operar durante 16 horas al día, en dos turnos de 8 horas cada uno, habiendo un operario trabajando en cada turno. Como cada carga se prolonga durante 3 horas, esto hace que se vayan a realizar 5 cargas al día.

La planta operará durante 320 días al año, que es el tiempo medio de trabajo descontando vacaciones, festivos, mantenimiento, etc.

Con todos estos datos, se ha realizado el balance de materia. El resultado del balance para cada corriente es el que se muestra en la tabla 8.

Teniendo en cuenta los tiempos de operación de cada etapa, se ha calculado el BSG/día. En el microondas se pueden tratar 200g de BSG, y por cada extracción se realizan los dos tratamientos de microondas necesarios, mientras que por cada precipitación con etanol se realizan dos extracciones, por tanto, por cada carga se tratan 400g de BSG. Como en un día se ha calculado hacer 5 cargas, el BSG diario son 2kg.

Tabla 8. Composición de las corrientes en kg/d. (FUENTE: elaboración propia)

CORRIENTES / COMPONENTES	1	2	3	4	5	6	7
AGUA	0,33	0,33	2,00	2,33	0,35	1,65	2,00
SÓLIDOS	1,21	1,21	0,00	1,21	1,03	0,00	1,03
AX	0,46	0,46	0,00	0,46	0,39	0,00	0,39
KOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12
ETANOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	2,00	2,00	2,00	4,00	1,77	1,77	3,54
PRESIÓN (bar)	1	1	1	1	1	1	1
TEMPERATURA (°C)	45	45	60	90	80	60	90

CORRIENTES / COMPONENTES	8	9	10	11	12	13	14
AGUA	1,70	0,30	0,71	0,20	0,81	1,98	2,79
SÓLIDOS	0,15	0,88	0,00	0,70	0,18	0,18	0,36
AX	0,06	0,33	0,00	0,07	0,26	0,07	0,33
KOH	0,10	0,02	0,05	0,01	0,06	0,00	0,06
ETANOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	2,01	1,53	0,76	0,98	1,30	2,23	3,53
PRESIÓN (bar)	1	1	1	1	1	1	1
TEMPERATURA (°C)	80	80	60	90	90	80	25

CORRIENTES / COMPONENTES	15	16	17	18	19	aire entrada secado	aire salida secado
AGUA	0,00	2,79	2,51	0,28	0,01	1,45	1,72
SÓLIDOS	0,00	0,36	0,04	0,32	0,32	0,00	0,00
AX	0,00	0,33	0,03	0,30	0,30	0,00	0,00
KOH	0,00	0,06	0,05	0,005 6	0,01	0,00	0,00
ETANOL	21,07	21,07	18,96	2,11	0,11	0,00	2,00
AIRE SECO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	143,26	143,26
TOTAL	21,07	24,60	21,59	3,01	0,74	144,70	146,98
PRESIÓN (bar)	1	1	1	1	1	6	6
TEMPERATURA (°C)	15	10	20	20	23	150	60

La corriente objetivo es la número 19 (tabla 8), donde se ha obtenido una composición en AX del 40% en peso. El rendimiento global de recuperación de AX es del 65%.

6.4 DIAGRAMA P&I

En este apartado se va a tratar el diagrama de instrumentación y control del proceso y se va a describir brevemente las lazos de control instalados en éste y su principal función.

Además de los controles principales se han duplicado todas las bombas del proceso por motivos de seguridad y continuidad de la producción en caso de



avería. Por este motivo también se han instalado válvulas de seguridad a lo largo del proceso.

Los diagramas de instrumentación y control del proceso se pueden consultar en los apartados ANEXO IV. P&ID U-100, ANEXO V. P&ID U-200, ANEXO VI. P&ID U-300.

6.4.1 Control de la etapa de microondas (A-101)

Este equipo no necesita control de temperatura, ya que, aunque la etapa tiene que transcurrir a una determinada temperatura, el equipo comercial es capaz de alcanzarla sin ningún sistema de control adicional al que trae ya instalado.

Si que es necesario, en cambio, instalar un sistema que regule la proporción de agua (en la primera etapa de microondas) o KOH (en la segunda etapa de microondas) en función del BSG que se va a tratar en cada lote.

6.4.2 Control del extractor de tanque agitado (R-201)

Para que la extracción se desarrolle de la mejor manera posible, se ha instalado un sistema de control que calcula la cantidad de disolvente (KOH) que hay que añadir en función del flujo de sólido que recibe de la etapa de filtrado anterior. Además, para que la extracción se produzca a la temperatura óptima se ha instalado un control de temperatura en el vapor que se utiliza para calentar la mezcla del interior del extractor a la temperatura de consigna.

Además, se ha instalado un control de nivel para trabajar siempre con la altura de mezcla adecuada al tanque que se a usar en el proceso.

Para poder vaciar el extractor completamente para su limpieza o para hacer alguna reparación se han instalado un venteo y un drenaje en la parte superior e inferior, respectivamente y un orificio de acceso por si un operario necesitara introducir la mano en el tanque.

6.4.3 Control de la precipitación (F-301)

En este caso el único requerimiento es mantener la proporción de etanol:líquido=6 (peso) adecuada en función del flujo de entrada al precipitador. Para ello se ha instalado un control de relación idéntico a los anteriores en el que se fija la relación adecuada para que se produzca la precipitación.

6.4.4 Control del tanque de almacenamiento (B-101)

El control de este tanque de almacenamiento se basa en un control de temperatura instalado en la corriente de salida del encamisado del tanque. En



función de esta temperatura y de la necesaria dentro del tanque, se controla el flujo de fluido refrigerante, en este caso de agua.

También se le ha instalado un control de nivel para que no se produzca desbordamiento y un drenaje en su parte inferior para poder vaciarle completamente con el fin de limpiarle o realizar alguna reparación.

No es necesario llevar a cabo un control de presión ya que se encuentra a presión atmosférica.

6.4.5 Control del tanque de almacenamiento (D-201)

De la misma manera que en el tanque anterior, este también lleva instalado un control de temperatura en la salida del fluido refrigerante para modificar su flujo, siendo agua dicho fluido.

Este tanque se encuentra a presión atmosférica por lo que no necesita ningún control de la presión.

Además, se le ha incorporado un control de nivel para que no se produzca el desbordamiento del tanque y un drenaje en su parte inferior por si fuera necesario vaciarlo completamente.

6.4.6 Control del tanque de almacenamiento (B-301)

El único control que necesita este tanque es el de nivel, para que no se produzca el desbordamiento del mismo. No es necesario instalar ni un control de presión ni uno de temperatura ya que es un tanque que solo se utiliza para almacenar el residuo generado a lo largo del proceso antes de su eliminación de la planta, por lo que sus condiciones de presión y temperatura son las atmosféricas.

6.4.7 Control del tanque de almacenamiento (B-302)

De igual manera que el tanque anterior este equipo solo lleva instalado un control de nivel para que no se produzca el desbordamiento del tanque.

Este equipo sirve de almacenamiento del producto antes de su venta, por lo que se mantiene a presión y temperatura ambiente sin necesidad de instalar controladores para modificar estos parámetros.



7 DIMENSIONADO DE EQUIPOS

A continuación, se va a hacer el diseño de los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso.

7.1 MICROONDAS

Para la etapa de pretratamiento con microondas se ha elegido un microondas comercial de la marca Anton Paar. El **reactor de sobremesa Masterwave BTR** proporciona un calentamiento eficiente superando las dificultades de calentamiento en escalamiento.

Puede trabajar con volúmenes de reacción totales de hasta 750 mL y el agitador tiene capacidad para agitar hasta 200 g de material sólido. Además, en el equipo está integrado el sistema de enfriamiento que acorta los tiempos generales del proceso. Cada recipiente de reacción incluye su propio agitador de paletas y tapa con sello de labio.

No se deben aplicar medidas de seguridad específicas, ni se requieren medidas de preinstalación extraordinarias. Para mayor comodidad, el procesado de datos puede controlarse de forma remota desde cualquier PC de escritorio.

En la tabla 9 se pueden ver los datos básicos del equipo, para una información más detallada se puede consultar el catálogo del equipo en el apartado ANEXO VII. Catálogo microondas.

Se ha seleccionado este equipo debido a que la planta que se está dimensionando es de tamaño piloto-laboratorio por lo que va a tener una producción pequeña y por tanto los equipos necesarios son también pequeños.

Tabla 9: Datos básicos de Masterwave BTR. (FUENTE: Anton Paar)

Potencia de salida de microondas	1700 W
Máx. temperatura	250 °C
Máx. presión	30 bar
Volumen de operación	750 mL y un máximo de 200 g de sólido

7.2 EXTRACTOR DISCONTINUO DE TANQUE AGITADO

7.2.1 Dimensiones del extractor de tanque agitado

El extractor es un tanque agitado por lo que las dimensiones a calcular serán su altura y su diámetro. Para ello hay que fijar un volumen de extractor y una relación altura/diámetro.

El extractor va a tratar 0,23 kg de producto en cada carga (BSG proveniente de la etapa de microondas y KOH), teniendo en cuenta la densidad aproximada de la mezcla (373 kg/m^3), el volumen de carga es de 0,62 L. El tanque no se llena hasta arriba por lo que se va a sobredimensionar, es decir, se va a calcular para un volumen de 1 L.

El tanque va a ser más alto que ancho siguiendo los consejos dados por la norma ASME VIII Div 1, siendo la relación típica altura/diámetro de entre 1,5 y 3. En este caso la relación L/D seleccionada es de 1,5.

La ecuación para el cálculo de estos parámetros es:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \quad \text{ecuación 6.1}$$

Donde:

$$\begin{aligned} V &= \text{volumen del extractor} \\ D &= \text{diámetro del extractor} \\ L &= \text{altura del extractor} \end{aligned}$$

Poniéndolo en función de L/D y despejando el diámetro, se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot L/D}} \quad \text{ecuación 6.2}$$

Sustituyendo valores, resulta:

$$\begin{aligned} D &= 0,095 \text{ m} \approx 0,1 \text{ m} \\ L &= 0,1425 \text{ m} \approx 0,15 \text{ m} \end{aligned}$$

7.2.2 Potencia de agitación

La potencia de agitación se calcula por el método propuesto por Coulson y Richardson Vol 1 [7], mediante las gráficas que relacionan el número de Reynolds y el número de potencia.

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D_a^2}{\mu} \quad \text{ecuación 6.3}$$



$$Np = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5} \quad \text{ecuación 6.4}$$

Re = número de Reynolds

Np = número de potencia

ρ = densidad de la mezcla

N = velocidad de rotación del agitador

D_a = diámetro del agitador

μ = viscosidad de la mezcla

Como se observa en estas ecuaciones, es necesario conocer la densidad y la viscosidad de la mezcla, así como las dimensiones del agitador y la velocidad de agitación.

La densidad del BSG seco es de aproximadamente 250 kg/m^3 y la del agua a la temperatura y presión de operación es 947 kg/m^3 , por tanto, la densidad de la mezcla teniendo en cuenta la proporción de cada componente es 560 kg/m^3 . La viscosidad se ha tomado la del agua a esas condiciones, es decir, $2,43 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

En relación con el tamaño del agitador, se ha tomado la relación $1/3$ entre el diámetro del agitador y el diámetro del tanque basándose en el criterio dado por Coulson & Richardson [2], siendo el diámetro del agitador por lo tanto $D_a = 0,033 \text{ m}$. La velocidad de giro del agitador para fluidos poco viscosos, como es el caso, se propone en Coulson y Richardson [2] que se utilice entre 10 y 25 Hz, siendo la velocidad elegida de 20 Hz

Introduciendo todos estos datos en la ecuación 6.3, resulta:

$$Re = 5,1 \cdot 10^4$$

Para turbinas, la gráfica que Coulson & Richardson, Vol 1 [7] proporciona se muestra en la figura 11

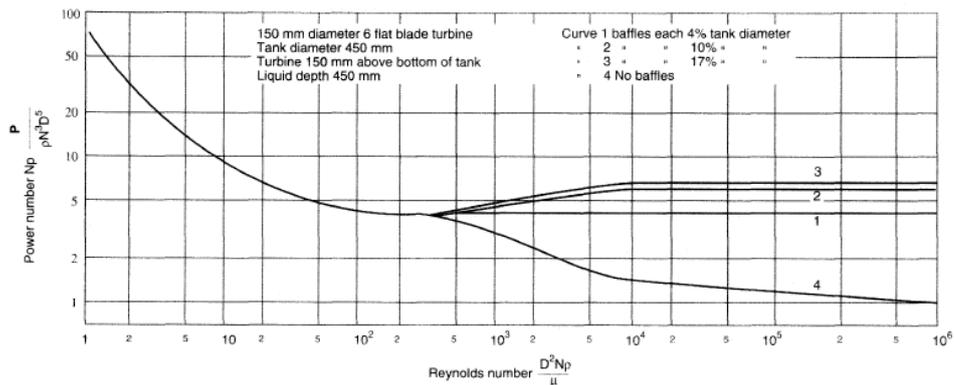


Figura 11. Numero de potencia en función del número de Reynolds para un mezclador de turbina.
 (FUENTE: Coulson & Richardson Vol 1 [7])

Entrando por el eje de abscisas con el valor del número de Reynolds calculado anteriormente, llegando hasta la línea 4 (no baffles), se lee un valor en el eje de ordenadas de 1 para el número de potencia (N_p), despejando la potencia de la ecuación 6.4 y sustituyendo valores, se obtiene:

$$P = 0,3$$

7.2.3 Cantidad de vapor a inyectar en el extractor para su calentamiento

El extractor opera a una temperatura de 115°C, por lo que tanto la materia prima como el disolvente tendrán que ser calentadas hasta esa temperatura. El sistema elegido es el servicio auxiliar de vapor a presión.

Primero hay que calcular la cantidad de energía necesaria para calentar la masa de cada carga. Esto se calcularía como:

$$Q_{necesario} = [(m_{agua} \cdot C_{p\ agua}) + (m_{sol} \cdot C_{p\ sol})] \cdot \Delta T \quad \text{ecuación 6.5}$$

$$Q_{necesario} = \text{calor necesario para el calentamiento}$$

$$m_{agua} = \text{masa del agua}$$

$$C_{p\ agua} = \text{calor específico del agua}$$

$$m_{sol} = \text{masa del sólido}$$

$$C_{p\ sol} = \text{calor específico del sólido}$$

$$\Delta T = \text{diferencia de temperatura, } T_{final} - T_{inicial}$$

Hay que tener en cuenta que se va a inyectar vapor a una presión de 3 bar, por lo que condensará convirtiéndose en agua líquida. El calor necesario para calentar la mezcla debe ser el mismo que el aportado por el vapor en su condensación y enfriamiento:

$$Q_{necesario} = Q_{vapor} \quad \text{ecuación 6.6}$$

$$Q_{vapor} = m_{vapor} \cdot [C_{p\ vapor} \cdot (T_e - T_{eb}) + m_{vapor} \cdot \Delta H_c + C_{p\ agua} \cdot (T_{eb} - T_s)] \quad \text{ecuación 6.7}$$

Q_{vapor} = Calor que aporta el vapor

m_{vapor} = Masa del vapor

$C_{p\ vaopr}$ = Calor específico del vapor

T_e = Temperatura de entrada del vapor

T_{eb} = Temperarura de condensación del vapor

ΔH_c = Calor latente de condensación del vapor

$C_{p\ agua}$ = Calor específico del agua

T_s = Temperatura de salida del agua

Estos son los balances de energía necesarios para el cálculo de la masa de vapor necesaria que hay que calcular para cada carga. Si se resuelve numéricamente la ecuación 6.5, después la ecuación 6.6, finalmente se puede despejar la masa del vapor de la ecuación 6.7.

Los datos conocidos del sistema se pueden ver en la tabla 10:

Tabla 10: Datos conocidos del sistema. (FUENTE: elaboración propia)

PARAMETRO	VALOR
T inicial mezcla	73,33 °C
T operación	115 °C
P operación	2 bar
Cp agua	4,26 kJ/kg°C
Cp vapor	2,16 kJ/kg°C
Cp sólido	6978 kJ/kg°C
m vapor	12,6 Kg/carga
H condensación	2163,4 kJ/kg
m agua	0,12 kJ/kg°C
m sólido	0,108 kg
T entrada vapor	200 °C
T salida agua	90 °C
T ebullición (3bar)	133,52 °C

La resolución de las ecuaciones citadas anteriormente con estos datos resulta en:

$$m_{vapor} = 12,6 \text{ kg/carga}$$

7.2.4 Diseño mecánico del extractor

La forma y dimensiones del extractor se muestran en la figura 12. Para el diseño mecánico del extractor se ha seguido la normativa British Standard PD5500 que es la propuesta por Coulson y Richardson. Vol 6. [13]

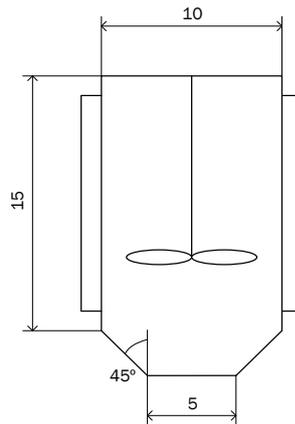


Figura 12. Extractor y sus dimensiones expresadas en cm. (FUENTE: elaboración propia)

El diseño mecánico consistirá en dar los espesores de pared que deben tener tanto el cuerpo cilíndrico del recipiente a presión, como sus cierres superior e inferior. La normativa recoge unas fórmulas para el cálculo de estos espesores, pero al resultado de este espesor habrá que sumarle un sobreespesor por corrosión, que toma el valor típico de 3 mm para sistemas en los que no se espera mucha corrosión.

Para hacer este cálculo mecánico, es necesario conocer tanto la presión como la temperatura de diseño. La presión a la que opera el sistema es de 2 bar, a la que se le aplica un factor de seguridad de un 10%. Respecto a la temperatura, se toma un factor de seguridad de 20°C, siendo la temperatura de operación de 115°C.

$$P_{diseño} = 1,1 \cdot P_{operación} = 1,1 \text{ barg} = 0,11 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ecuación 6.8}$$

$$T_{diseño} = T_{operación} + 20^\circ\text{C} = 135^\circ\text{C} \quad \text{ecuación 6.9}$$

Espesor parte cilíndrica del extractor

La fórmula para el cálculo del espesor de la parte cilíndrica es la siguiente:

$$e = \frac{P_i \cdot D_i}{2 \cdot f - P_i} \quad \text{ecuación 6.10}$$

$e = \text{espesor de pared}$

$P_i = \text{presión de diseño}$

$D_i = \text{diámetro interno del extractor}$

$f = \text{tensión de diseño a la temperatura de operación}$

El único dato desconocido de la ecuación 6.10 es la tensión de diseño, la cual se puede obtener de la tabla 11, donde se expresan los valores que toma f en función del tipo de material y de la temperatura a la que está diseñado.

Tomando como material de construcción acero inoxidable 18Cr/8Ni sin estabilizar, debido a que se van a tratar productos alimentarios, el valor de f para 150°C (temperatura inmediatamente superior a nuestra temperatura de operación) es:

$$f = 130 \text{ N/mm}^2$$

Tabla 11. Tensión de diseño para diferentes materiales y temperaturas de operación. (FUENTE: Coulson y Richardson, Vol 6 [13])

Material	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Tensión de diseño a la temperatura °C (N/mm ²)									
		0 a 50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Acero al carbono	360	135	125	115	105	95	85	80	70		
Acero al carbono-manganeso	460	180	70	150	140	130	115	105	100		
Acero al carbono-molibdeno	450	180	170	145	140	130	120	110	110		
Acero de baja aleación (Ni, Cr, Mo, V)	550	240	240	240	240	240	235	230	220	190	170
Acero inoxidable 18Cr/8Ni sin estabilizar (304)	510	165	145	130	115	110	105	100	100	95	90
Acero inoxidable 18Cr/8Ni estabilizado (321)	540	165	150	140	135	130	130	125	120	120	115
Acero inoxidable 18Cr/8Ni Mo (316)	520	175	150	135	120	115	110	105	105	100	95

Una vez obtenido el valor de f , sustituyendo en la ecuación 6.10 se calcula el valor del espesor de la parte cilíndrica. A este valor se le suman 3mm de sobreespesor por corrosión. El valor final es:

$$e = 3,04 \text{ mm}$$

En la tabla 12 se pueden ver los valores mínimos de espesor que aconseja utilizar la normativa. Para recipientes de 1 m o menores el espesor mínimo debe ser 5mm. Como el valor calculado es menor que el valor mínimo, se toma este valor mínimo, por tanto:

$$e_{\text{parte cilíndrica}} = 5 \text{ mm}$$

Tabla 12: Espesores mínimos de recipientes en función del diámetro. (FUENTE: Coulson y Richardson Vol 6, [13])

Diámetro del recipiente (m)	Mínimo espesor (mm)
1,0	5
1,0 a 2,0	7
2,0 a 2,5	9
2,5 a 3,0	10
3,0 a 2,5	12

Espesor del cierre superior del extractor

Para el cierre superior del extractor se ha seleccionado un cierre de tipo plano denominado “Flange-only”, ya que están indicados para recipientes con diámetros pequeños y sometidos a presiones bajas, como es este caso, además de ser el tipo de cierre más barato. La fórmula general para el cálculo del espesor del cierre de tipo plano es la siguiente:

$$e = C_p \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{P_i}{f}} \quad \text{ecuación 6.11}$$

e = espesor de la pared

C_p = constante de diseño

D_e = diámetro nominal del plato

f = tensión de diseño a l atemperatura de operación

P_i = presión de diseño

Para el caso del cierre tipo Flange-only, la constante de diseño y el diámetro nominal del plato toman los valores de:

$$C_p = 0,45$$

$$D_e = D_i(\text{diametro interno del extractor}) = 0,1m$$

A partir de estos datos, y sin olvidar el sobreespesor de 3 mm por corrosión, el espesor del cierre superior es:

$$e_{\text{cierre superior}} = 4,3 \text{ mm}$$

Por tanto, se toma el valor de espesor mínimo:

$$e_{\text{cierre superior}} = 5 \text{ mm}$$

Espesor del cierre inferior del extractor

Para el cierre inferior se ha seleccionado uno con forma troncocónica ya que, al tener sólidos dentro del extractor, este tipo de cierre se utiliza para facilitar el flujo suave y la eliminación de sólidos del equipo de proceso.

La sección de transición es necesario hacerla más gruesa que la sección cónica y se forma un radio de nudillo para reducir la concentración de tensión en la transición. El grosor del nudillo se puede calcular utilizando la ecuación 6.12

$$e = \frac{C_c \cdot P_i \cdot D_c}{2 \cdot f \cdot J - P_i} \quad \text{ecuación 6.12}$$

e = espesor de la pared

C_c = factor de diseño

P_i = presión de diseño

D_c = diámetro inferior parte cónica

f = tensión de diseño a la temperatura de operación

J = factor de junta

El factor de junta es $J = 1$ ya que la parte troncocónica se hará por presión, no existiendo juntas.

El factor de diseño C_c es una función del ángulo mitad α , se muestran las diferentes posibilidades en la tabla 13:

Tabla 13: Factor de diseño C_c en función del ángulo α . (FUENTE: Coulson y Richardson Vol 6, [13])

α	20°	30°	45°	60°
C_c	1	1,35	2,05	3,2

A la vista de la figura 13, el ángulo toma un valor de 45°, por lo que el factor de diseño toma un valor de 2,05.

Así mismo, el valor de D_c viene representado en la figura 12, siendo $D_c = 5 \text{ cm}$.

Ya se puede calcular el espesor según la ecuación 6.12 (añadiendo siempre los 3 mm de sobreespesor por corrosión:

$$e = 3,04 \text{ mm}$$

Como se ha visto en la tabla 11, el mínimo espesor permitido para tanques de 1m o menor es de 5mm, por tanto:

$$e_{\text{cierre inferior}} = 5 \text{ mm}$$



El espesor de la sección cónica lejos de la transición se calcula a partir de la ecuación 6.13.

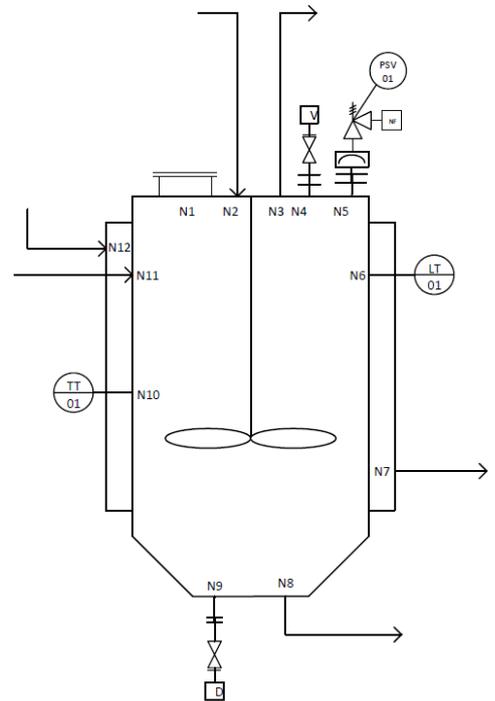
$$e = \frac{P_i \cdot D_c}{2 \cdot f \cdot J - P_i} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad \text{ecuación 6.13}$$

$$e = 3,06 \text{ mm}$$

Como este dato también es menor que el mínimo espesor permitido, se utiliza el espesor mínimo permitido por la normativa:

$$e_{\text{sección cónica inferior}} = 5 \text{ mm}$$

TANQUE AGITADO - HOJA DE ESPECIFICACIÓN					
REV.	1			TRABAJO	1
FECHA	04/05/2018			UNIDAD	EXTRACTOR DE TANQUE AGITADO
POR	S L P			CLIENTE	UVA
APPR'V				LOCALIZACIÓN	VALLADOLID
REV.					
1	Item N°:	TA-101	Cantidad:	1	
2	Servicio:	EXTRACCIÓN DE ARABINOXILANOS			
3	Fluido:	AGUA Y KOH			
4	Volumen:	0,001 m3			
5	Diámetro (Di):	0,1 m	Altura:	0,15 m	
6	Horizontal o vertical:	VERTICAL			
7					
8	PRESIÓN EN EL	Operación	1 barg		
9	TANQUE	Diseño	1,1 barg		
10	TEMPERATURA	Operación	115 °C		
11	EN EL TANQUE	Diseño	135 °C		
12					
13		MATERIAL	SOBREEP. CORROSIÓN		
14	Carcasa	SS 18Cr/8Ni (1)	3 mm		
15	Cerr. Superior	SS 18Cr/8Ni (1)	3 mm		
16	Encamisado				
17					
18	Cerr. Inferior	SS 18Cr/8Ni (1)	3 mm		
19					
20	Revestimiento interior	Espesor: mm			
21	Tipo cabeza:	FLAGE-ONLY (PLANA)			
22	Código:	BRITISH STANDARD PD5500			
23	Altura líquido:	0,08 m			
24	Gravedad específica:	0,591 a 115°C			
25	Condic. Salida de vapor:	1,1 barg 135°C			
26	Alivio presión razones de proceso:				
27	Elevación mínima:				
28	Aislamiento:	Tipo: LANA DE VIDRIO			
29		Espesor: 100 mm			
30	Radiografía:				
31					
32					
33	BOQUILLAS				
34	Mark N°	Cantidad	Tamaño	Servicio	
35	N 1	1	5"	Agujero para mano	
36	N 2	1	2"	Entrada de BSG	
37	N 3	1	2"	Salida líquido con AX	
38	N 4	1	1/2"	Venteo	
39	N 5	1	2"	Válvula de alivio de presión	
40	N 6	1	1/2"	Transmisor de nivel	
41	N 7	1	1"	Salida líquido (auxiliar)	
42	N 8	1	2"	Salida sólido agotado	
43	N 9	1	1/2"	Drenaje	
44	N 10	1	1/2"	Transmisor de temperatura	
45	N 11	1	2"	Entrada de KOH	
46	N 12	1	1"	Entrada vapor (auxiliar)	
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					



NOTAS
(1) Acero inoxidable 18Cr/8Ni
El tanque está provisto de un sistema de agitación

7.3 CENTRIFUGACIÓN

Las centrífugas se clasifican según el mecanismo utilizado para la separación de sólidos:

- (a) Centrífugas de sedimentación: en las que la separación depende de una diferencia de densidad entre las fases sólida y líquida (sólido más pesado).
- (b) Centrífugas de filtración: que separan las fases por filtración. Las paredes de la cesta de la centrífuga son porosas y el líquido se filtra a través de la torta depositada de sólidos y se elimina.

Como regla general, las centrífugas de sedimentación se usan cuando se requiere para producir un líquido clarificado, y las centrífugas de filtración para producir un sólido puro y seco. Por tanto, la centrífuga que se va a utilizar es una de filtración ya que lo que interesa del proceso es la obtención de un sólido puro.

Además, la filtración centrífuga es uno de los métodos de separación sólido-líquido más eficientes y económicos, debido a que la centrífuga puede generar una gran caída de presión a través de la torta de filtrado dando lugar a altas tasas de filtrado y bajos contenidos de humedad. Una consecuencia de eliminar al máximo posible la mayor cantidad de líquido por deshidratación mecánica es que permite reducir los costes de energía en el proceso de secado, ya que después de este proceso de separación mecánico hay una etapa de secado térmico.

A partir de los flujos de la tabla 8 y de las densidades de cada componente se ha calculado que la centrífuga va a procesar 25 kg al día que equivalen a 32,3 L al día. Como va a realizar 5 cargas al día, por cada carga centrifugará 6,5 L. Teniendo en cuenta un sobredimensionado del 20 %, es necesario un equipo capaz de procesar 8 L y 6kg en cada carga.

El equipo comercial escogido en este caso es el **modelo EHL 503 de la marca Rousselet Robatel**. Los datos básicos del equipo son los que aparecen en la tabla 14. Para una información más detallada se puede consultar el catálogo del equipo en el apartado ANEXO VIII. Catálogo centrífuga.

Tabla 14. Datos básicos equipo de centrifugación. (FUENTE: Rousselet Robatel)

Potencia nominal	7500 W
Volumen útil	24 L
Carga máxima	30 kg
Fuerza centrífuga	1890 G

Como se puede apreciar en los datos básicos de la tabla 14, este equipo es más grande de lo necesario, lo cual no es un problema ya que al no ser continuo

el proceso y serlo por lotes, se puede tener almacenado el producto hasta generar la cantidad necesaria para completar la carga de la centrifugadora, realizando menos cargas al día de las previstas.

En la figura 13 se puede ver un esquema de dicha centrífuga.

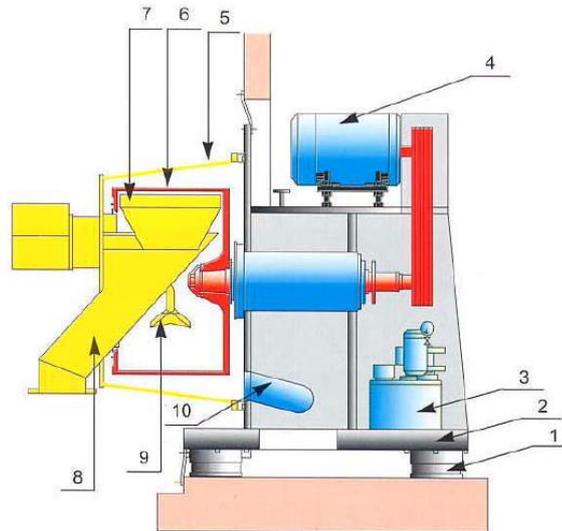


Figura 13. Centrífuga de descarga en espiral. (FUENTE: Coulson & Richardson Vol 6. [10] (1: Soporte antivibraciones, 2: Placa de inercia integrada, 3: Central hidráulica, 4: Motor principal, 5: Envolvente con apertura total, 6: Cesta, 7: Rascador, 8: Canal de descarga del producto, 9: Tubo de carga, 10: Salida de aguas madre)

7.4 SECADO EN SPRAY

Es necesario secar el sólido húmedo procedente de la etapa de centrifugación, para ello se utiliza un secadero de spray.

El material a secar se atomiza en una boquilla, o mediante un atomizador tipo disco, colocado en la parte superior de un recipiente cilíndrico vertical. El aire caliente fluye hacia arriba del recipiente (en algunos diseños hacia abajo) y transporta y seca las gotitas. El líquido se vaporiza rápidamente desde la superficie de la gota y se forman partículas porosas abiertas. Las partículas secas se eliminan en un separador de ciclón o filtro de bolsa.

El primer paso para el diseño del equipo es fijar las condiciones de entrada y de salida, tanto del sólido húmedo como del aire que se va a utilizar para secarlo, así como sus propiedades físicas. Estos datos se muestran a continuación en la tabla 15.

Tabla 15: Propiedades físicas del sólido húmedo y del vapor de agua. (FUENTE: elaboración propia)

PARAMETRO	VALOR
Te sólido	20 °C
Ts sólido	23 °C
Te aire	150 °C
Ts aire	60 °C
Cp agua	4,18 kJ/kg°C
Cp sólido	6978 kJ/kg°C
Cp aire	1,012 kJ/kg°C
m sólido	0,62 kg
m agua	2,39 kg
m aire	143,26 kg

El cálculo del calor necesario es similar al realizado para la etapa de extracción, pues la energía que necesita el sólido para secarse (ecuación 6.14), debe ser igual a la que cede el aire (ecuación 6.15).

$$Q_{sólido} = (m_{sólido} \cdot C_p sólido + m_{agua et} \cdot C_{agua et}) \cdot (T_e - T_s) \quad \text{ecuación 6.14}$$

$$Q_{aire} = m_{aire} \cdot C_p aire \cdot (T_e - T_s) \quad \text{ecuación 6.15}$$

$$Q_{sólido} = Q_{aire} \quad \text{ecuación 6.16}$$

A partir de la ecuación 6.14 se obtiene el calor necesario y teniendo en cuenta la ecuación 6.16, sustituyendo este valor en la ecuación 6.15 se puede calcular la cantidad de aire necesaria:

$$m_{aire} = 143,26 \text{ kg/día}$$

Teniendo en cuenta que se van a trabajar 16 horas al día en la planta, el caudal de aire es de $\dot{m}_{aire} = 9,45 \text{ m}^3/\text{h}$.

EL equipo comercial que se ha elegido para esta etapa es el que se ve en la figura 14, y se llama **Mini Spray Dryer B-290**. Los datos básicos del equipo son los que aparecen en la tabla 16. El resto de los datos del equipo se pueden consultar en el catálogo en el apartado ANEXO IX. Catálogo secadero.



Figura 14. Mini Spray Dryer B-290. (FUENTE: Buchi switzerland)

Tabla 16. Datos básicos del secadero de spray. (FUENTE: Buchi switzerland)

Potencia	2900 W
Caudal máximo de aire	35 m ³ /h
Máxima temperatura de entrada	220 °C
Gas de pulverización	Aire comprimido o nitrógeno
Tiempo medio de residencia	1,0 - 1,5 s

Como se puede apreciar en los datos básicos de la tabla 16, y de la misma forma que en la elección del equipo de centrifugación, este equipo es más grande de lo necesario, lo cual no es un problema ya que al no ser continuo el proceso y serlo por lotes, se puede tener almacenado el producto hasta generar la cantidad necesaria para completar la carga del secadero, realizando menos cargas al día de las previstas.





8 ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se va a realizar una evaluación económica simplificada del coste total de la planta y se va a estimar el precio de venta de los productos en el mercado que permita hacer rentable la instalación. El estudio se va a completar con un análisis de sensibilidad de la inversión respecto del precio de venta del producto (arabinosilanos).

8.1 COSTE TOTAL DE LA PLANTA

Para calcular el coste total de la planta se va a utilizar el método factorial de estimación de coste propuesto inicialmente por Lang en 1948. Las estimaciones de costes de capital para las plantas de procesos químicos a menudo se basan en una estimación del coste de compra de los principales artículos de equipo requeridos para el proceso, los otros costes se estiman como factores del costo del equipo. A ese término de proporcionalidad se le ha denominado Factor de Lang.

La manera de calcular dicho factor se explica a continuación:

El capital total invertido (TIC) se puede expresar como la suma del capital fijo invertido (FCI), el capital de trabajo (WC) y el coste de puesta en marcha (SUC). Los dos últimos se expresan como un porcentaje del capital total invertido, mientras que el capital fijo invertido se calcula como la suma de los costes directos e indirectos.

Los costes indirectos (IC) se calculan a su vez como la suma de las contingencias y los costes de propiedad, que van a ser expresados como un porcentaje del coste directo.

Los costes directos (DC) se calculan como la suma de los límites dentro de batería (ISBL) y los límites fuera de batería (OSBL). Estos últimos también se van a expresar como un porcentaje, en este caso, de los límites de batería.

Por último, los límites dentro de batería (ISBL) serán la suma del precio de compra de equipos (PE), la instalación de los equipos (PEI), la instrumentación y control (IC), las tuberías (P) y el equipamiento eléctrico y material (E). El coste de equipos será el coste de la compra de los equipos principales del proceso,

mientras que el resto de costes se van a calcular como un porcentaje del coste de los equipos principales.

A continuación, se explica cómo se han calculado las partidas de este método:

$$TIC = FCI + WC + SUC \quad \text{ecuación 7.1}$$

TIC: Capital total invertido

FCI: Capital fijo invertido

$$WC = \text{Capital de trabajo } (0,15 \cdot TIC)$$

$$SUC = \text{Coste puesta en marcha } (0,1 \cdot FCI)$$

Teniendo en cuenta los porcentajes anteriores la ecuación 7.1 queda de la siguiente manera:

$$TIC = 1,29 \cdot FCI \quad \text{ecuación 7.2}$$

$$FCI = DC + IC \quad \text{ecuación 7.3}$$

DC = Costes directos

IC = Costes indirectos

$$IC = OWC + CO$$

$$CO = \text{Contingencias } (0,2 \cdot DC)$$

$$OWC = \text{Coste de propiedad } (0,05 \cdot DC)$$

$$IC = 0,25 \cdot DC$$

De esta forma la ecuación 7.3 queda:

$$FCI = 1,25 \cdot DC \quad \text{ecuación 7.4}$$

$$DC = ISBL + OSBL \quad \text{ecuación 7.5}$$

ISBL = Dentro de límites de batería

$$OSBL = \text{Fuera de límites de batería } (0,45 \cdot ISBL)$$

La ecuación 7.5 queda de la forma:

$$DC = 1,45 \cdot ISBL \quad \text{ecuación 7.6}$$

$$ISBL = PE + PEI + IC + P + E \quad \text{ecuación 7.7}$$

PE = Precio compra de equipos

$$PEI = \text{Instalación de equipos } (0,35 \cdot PE)$$

$$IC = \text{Instrumentación y control } (0,1 \cdot PE)$$

$$P = \text{Tuberías } (0,12 \cdot PE)$$

$$E = \text{Equipamiento eléctrico y material } (0,1 \cdot PE)$$

Por tanto, la ecuación 7.7 queda:

$$ISBL = 1,67 \cdot PE \quad \text{ecuación 7.8}$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones 7.2, 7.4, 7.6 y 7.8 se obtiene:

$$TIC = 1,29 \cdot 1,25 \cdot 1,45 \cdot 1,67 \cdot PE = 3,9 \cdot PE \quad \text{ecuación 7.9}$$

El coste de compra de equipos (PE) se calcula como la suma de los equipos principales, cuyo precio se ha obtenido de diferentes fuentes, como son algunas casas comerciales y en la bibliografía (Coulson y Richardson, vol. 6 [6]). Los precios han sido actualizados mediante el CEPCI. En la tabla 17 aparece el precio de cada equipo y el total de todos ellos.

Tabla 17. Precio de los equipos principales. (FUENTE: elaboración propia)

MW (A-101)	77.000 €
Extractor (R-201)	12.000 €
Centrífuga (S-301)	33.000 €
Secadero spray (T-301)	30.000 €
Tanque de almacenamiento (B-101)	4.000 €
Tanque de almacenamiento (B-201)	4.000 €
Tanque de almacenamiento (B-301)	2.000 €
Tanque de almacenamiento (B-302)	2.000 €
TOTAL	164.000 €

En la tabla 18 se muestran las principales partidas del método de Lang y el total de la inversión.

Tabla 18. Resumen de las partidas más importantes del método de Lang. (FUENTE: elaboración propia)

COSTES DIRECTOS (DC)	397.126 €
ISBL	273.880 €
OSBL	123.246 €
COSTES INDIRECTOS (IC)	99.282 €
CO	79.425 €
OWC	19.856 €
CAPITAL FIJO DE INVERSIÓN (FCI)	496.408 €
CAPITAL DE TRABAJO DE LA PLANTA (WC)	94.317 €
COSTE DE PUESTA EN MARCHA (SUC)	49.641 €
COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN (TIC)	640.366 €

Otra manera de calcular el coste total de la inversión es multiplicar directamente el factor de Lang por el precio de los equipos. Lógicamente se obtiene el mismo TIC que la suma del desglose de las partidas:

$$TIC = 3,9 \cdot 164.000 = 639.600 \text{ €}$$

El coste total de la inversión coincide con el calculado anteriormente ya que según lo explicado el factor de Lang es un término de proporcionalidad que sirve para estimar todos los costes del proceso como factores del coste de compra de los equipos principales. Por tanto, tiene que coincidir el resultado si se calcula el coste de cada partida y se suman todas las partidas o si directamente se multiplica el coste de los equipos por el factor de Lang, ya que este engloba todas las partidas.

8.2 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

A partir de los costes de la instalación, el precio de las materias primas, el precio de venta del producto final, salarios, costes fijos y variables, capital circulante, depreciación, etc. Se ha llevado a cabo un estudio económico simplificado.

Tabla 19. Flujos y costes de materias primas y productos. (FUENTE: elaboración propia)

	FLUJO (kg/año)	PRECIO (€/kg)	COSTE (miles €)
MATERIA PRIMA			
BSG	640	0,035	0,0224
Agua (€/m ³)	640	0,94	0,0006
KOH	809,6	5	4,0
Etanol	6742,4	2,41	16,2
PRODUCTOS			
Arabinoxilanos	96	9000	345,6
BSG agotado	313,6	0,02	0,00784

A priori, el precio de venta de los arabinoxilanos puede parecer muy elevado, pero hay que considerar que es un producto de alto valor añadido. Además, su consumo se realiza en pastillas o en polvo que contienen solamente 250mg de principio activo (AX). Los arabinoxilanos encuentran su aplicación en la industria farmacéutica, industria en la cual el precio de venta de sus productos finales es elevado. Otra causa de su elevado precio es la poca oferta que hay actualmente de este producto.

El BSG, que es la materia prima principal, tiene un coste bajo debido a que es el residuo de la industria cervecera y lo que le interesa a dicha industria es eliminarlo de sus instalaciones. Por esta misma razón el precio de venta del BSG agotado es todavía más bajo, pues en la planta de producción de AX el

BSG agotado es un residuo que se vende, o incluso se regala, como pienso para animales.

El balance de costes e ingresos y los flujos de caja resultantes de este estudio se muestran en la tabla 20. Cabe destacar que esta es una planta a escala piloto-laboratorio, no obstante, se realiza el estudio económico para conocer qué precios tendrían que tener los productos en el mercado para que a planta resultara rentable.

Se ha tenido en cuenta que la planta opera 16 horas al día, en dos turnos de trabajo, con un operario en cada turno. Se estima que operará durante 320 días/año.

La amortización de los equipos y de la planta se ha fijado en 10 años desde su inicio, e imponiendo un impuesto del 30%, se pueden determinar los flujos de caja.

Tabla 20. Balance de costes e ingresos y flujos de caja. (FUENTE: elaboración propia)

Descripción (miles €)	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capital fijo	640,37										
Capital circulante		32,02	32,02	32,02	32,02	32,02	32,02	32,02	32,02	32,02	32,02
Fondos invertidos	-640,37	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02	-32,02
Ingresos por ventas		345,61	345,61	345,61	345,61	345,61	345,61	345,61	345,61	345,61	345,61
Costes		-20,32	-20,32	-20,32	-20,32	-20,32	-20,32	-20,32	-20,32	-20,32	-20,32
Margen bruto		325,29	325,29	325,29	325,29	325,29	325,29	325,29	325,29	325,29	325,29
Depreciación		-64,04	-64,04	-64,04	-64,04	-64,04	-64,04	-64,04	-64,04	-64,04	-64,04
Beneficios antes de impuestos		261,25	261,25	261,25	261,25	261,25	261,25	261,25	261,25	261,25	261,25
Impuestos (30%)		-78,37	-78,37	-78,37	-78,37	-78,37	-78,37	-78,37	-78,37	-78,37	-78,37
Beneficios después de impuestos		182,87	182,87	182,87	182,87	182,87	182,87	182,87	182,87	182,87	182,87
Fondos generados en operaciones	-640,37	150,86	150,86	150,86	150,86	150,86	150,86	150,86	150,86	150,86	150,86
Flujo de caja acumulado	-640,37	-489,51	-338,65	-187,80	-36,94	113,92	264,77	415,63	566,48	717,34	868,20

Con estos flujos de caja se puede calcular el valor neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), que son dos indicadores económicos que permiten valorar si la inversión va a ser rentable o no. El precio de venta del producto final se ha decidido después de analizar estos indicadores, siendo los resultados que se

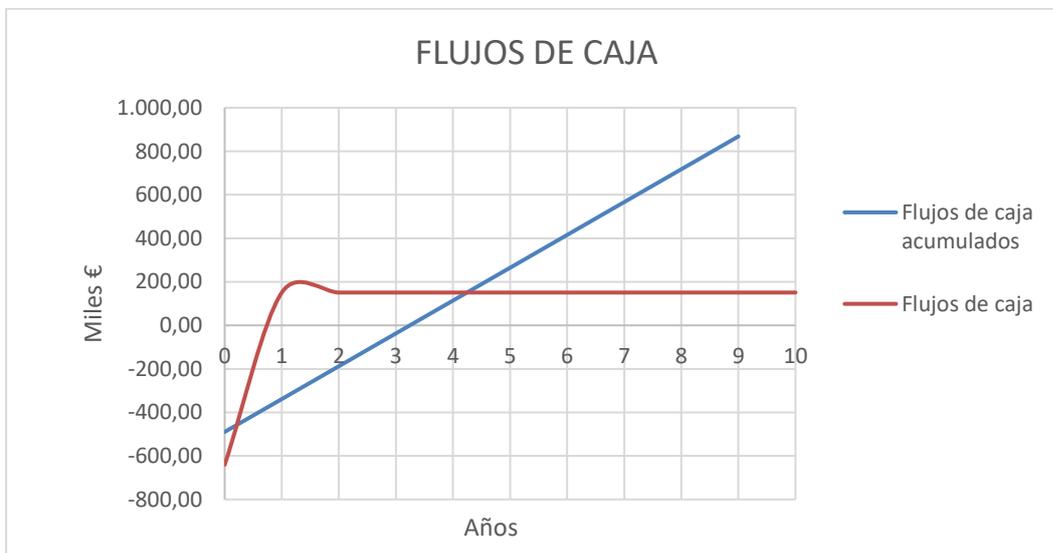
han mostrado en la tabla 19 aquellos que hacen que la inversión sea rentable desde el punto de vista económico. Los valores del VAN y el TIR calculados son:

$$VAN = 499.530 \text{ €}$$

$$TIR = 20\%$$

El VAN tiene un valor positivo, lo que indica que la inversión es viable económicamente. El TIR tiene un valor superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión (un 5%) por lo que el proyecto sí resulta rentable.

Los flujos de caja y los flujos de caja acumulados se han representado gráficamente, mostrándose en la gráfica 1.

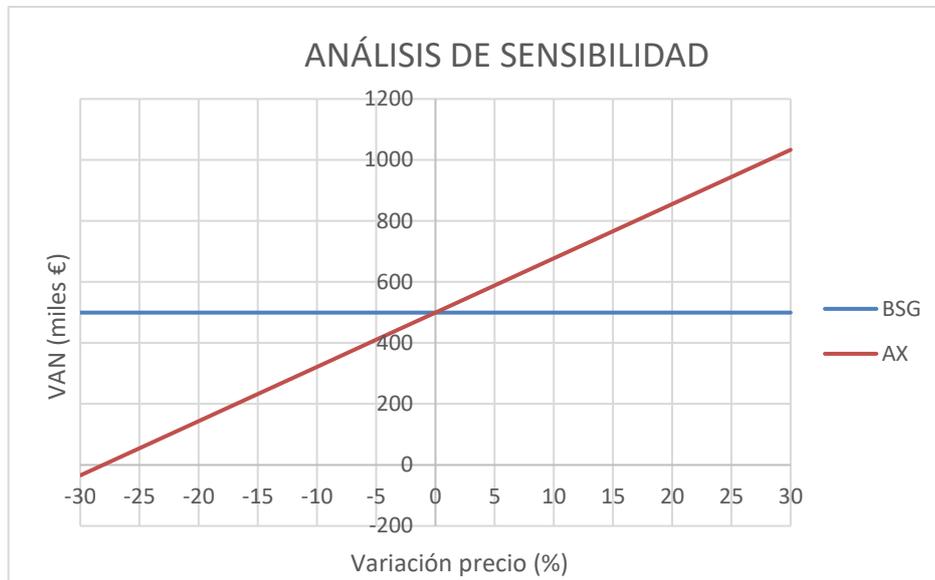


Gráfica 1. Flujos de caja y flujos de caja acumulados.

Fijándose tanto en la gráfica 1, como en la tabla 20 se observa que la inversión se recupera a principios del quinto año de operación de la planta con los precios de venta propuestos. Desde el punto de vista económico, este dato es buen indicador de que la inversión será viable. El precio de venta de los AX se ha fijado para que la inversión se recupere entre el cuarto y el quinto año de operación.

8.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

También se ha realizado un análisis de sensibilidad, con el fin de conocer como afectaría una variación del precio del producto final y de la materia prima principal. La gráfica 2 muestra este análisis.



Grafica 2. Análisis de sensibilidad de los precios

Del análisis de sensibilidad se puede concluir que el precio de arabinosidos es el factor más crítico en la viabilidad económica del proceso, aunque a pesar de ser el factor clave, la planta seguiría siendo viable económicamente hasta una disminución del 28% del precio. Sin embargo, las variaciones en el precio del BSG no van a afectar significativamente al VAN debido al bajo valor de esta materia prima. Aunque no se ha hecho el análisis de sensibilidad para el resto de materias primas o para el BSG agotado, estas tampoco influirían significativamente en el VAN ya que la diferencia de precios entre estos productos y los arabinosidos es extremadamente grande.





9 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Las ventajas medioambientales del proceso seleccionado para la obtención de arabinoxilanos a partir de bagazo de cerveza son las siguientes:

- La valorización del residuo cervecero transformándolo en un producto (AX) de alto valor añadido. Por cada 100 L de cerveza se obtienen 2 kg de BSG. La producción mundial anual promedio de BSG se estima en 39 millones de toneladas, con 3,4 millones de toneladas producidas en la Unión Europea. Puesto que aproximadamente el 20% del BSG son AX, se obtendría solo en Europa más de media tonelada de AX. Supone el 85% de los residuos de la industria cervecera. Actualmente tiene un bajo precio (35 €/tonelada) y la mayoría del grano producido se está usando como alimento para animales.
- Reducción del coste logístico porque se contaría con BSG de cerveceras de Castilla y León, lo que evita el transporte de proveedores lejanos.
- El proceso no contribuye al aumento del efecto invernadero ya que no existe ni combustión ni otros métodos que generen gases de efecto invernadero.

En cuanto a la gestión de los residuos generados, existen dos efluentes de diferente naturaleza: un sólido húmedo, que es el BSG agotado procedente de la etapa de extracción, y otro líquido, que es el agua residual junto con los disolventes utilizados en las etapas de filtración, centrifugación y secado. Cada uno de ellos tiene que recibir un tratamiento adecuado a su naturaleza.

BSG agotado

Alguno de los usos que se pueden dar a este residuo son los siguientes:

- Compostaje: Es un sólido biodegradable, por lo que una aplicación directa es como material para compostar.
- Alimento para animales: El BSG hasta ahora se usa como alimento para cerdos u otros animales, el sólido agotado se puede utilizar también como alimento para estos animales.
- Biocombustible: Se puede usar como combustible para calderas de biomasa



Agua residual del proceso de filtrado, centrifugado y secado

Aunque la cantidad de materia orgánica que contiene esta agua es muy baja, esta agua debe de ser tratada para eliminar este componente orgánico. Además, también contiene etanol y KOH procedentes de los procesos de extracción y precipitación que también hay que eliminar.

Estos compuestos si se vierten directamente a ríos pueden provocar una contaminación de las aguas de estos, además de contribuir a proceso de eutrofización por el aumento de la materia orgánica en las aguas. Para evitar estos impactos negativos, se aplican tratamientos fisicoquímicos y microbiológicos al agua antes de descargarla.



10 SEGURIDAD

En este apartado se van a tratar temas de seguridad, como son los riesgos generales y su prevención. Además, se va a realizar el método HAZOP del extractor de tanque agitado (R-201).

10.1 RIESGOS GENERALES Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Golpes y contactos con objetos cortantes o punzantes

Los factores que ocasionan comúnmente estos accidentes con el uso de herramientas inapropiadas a la tarea, la utilización inexperta o descuidada por parte del usuario, el mal estado de la herramienta o el incorrecto almacenamiento o transporte.

Medidas de prevención:

- El personal expuesto utilizará guantes para proteger sus manos, así como ropa de trabajo adecuada para evitar cortes en el cuerpo.
- La limpieza de cuchillas y filos cortantes se realizará siempre apoyando el filo sobre una superficie plana, actuando primero sobre una cara y después sobre la otra. Nunca se limpiará directamente el filo de la herramienta.
- El transporte de herramientas u otros objetos cortantes se realizará siempre en fundas de protección.
- Todas las cuchillas o filos cortantes irán provistos de moldura en su mango, de forma que se evite el deslizamiento de la mano hasta la hoja de corte. No se utilizarán herramientas que no se encuentren en buen estado, con mangos astillados o rajados.

Golpes, choques o atrapamientos por objetos en movimiento.

Los trabajos desarrollados con maquinaria que posee elementos móviles conllevan riesgos de golpes, choques y atrapamientos entre las partes fijas y móviles de la máquina, muchas veces por la necesidad de realizar ajustes, o simplemente durante su uso.

Medidas de prevención:

- Los equipos deben mantenerse en buen estado de conservación y siempre se deben utilizar tal y como esté previsto por el fabricante, manteniendo siempre sus correspondientes dispositivos de protección.



- Los operarios sólo pueden interactuar con aquellas máquinas o equipos para los que se encuentren autorizados y no deben retirar en ningún caso los dispositivos o resguardos de protección con los que vienen equipados.
- Los dispositivos de parada de emergencia deben provocar la parada inmediata del movimiento correspondiente y deben ser fácilmente accesibles por el operario en peligro.
- Se utilizarán elementos auxiliares específicos como pinzas o ganchos para empujar, introducir o retirar piezas además de para eliminar residuos con el fin de evitar el acceso con las manos a zonas peligrosas y garantizar una distancia de seguridad suficiente.
- Antes de realizar cualquier operación de reparación o mantenimiento se debe desconectar la máquina de la corriente, asegurando que no existe posibilidad de que entre en funcionamiento por accidente. Nunca se manipularán las máquinas en funcionamiento.
- Antes de empezar a trabajar con una máquina es preciso asegurarse de que las protecciones están en su lugar y los dispositivos de emergencia funcionan correctamente. Los trabajadores han de ser instruidos en la realización de las inspecciones que les correspondan y en la forma de actuar cuando encuentren deficiencias.

Golpes producidos por caídas al mismo nivel

Algunos factores que causan este tipo de accidentes son tropiezos por obstáculos en las vías de paso, mal estado del pavimento o resbalones por derrames algunos productos que fácilmente pueden ser evitado tomando las medidas preventivas adecuadas.

Medidas de prevención:

- Las vías de circulación de los lugares de trabajo, tanto las situadas en el exterior de los edificios como en el interior de los mismos, incluidas las puertas, pasillos, escaleras, rampas y muelles de carga, deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y sencilla y con total seguridad para la personas que circulen por ellas, evitando todo tipo de irregularidades, como pueden ser baldosas sueltas o bordes de moqueta pronunciados.
- Los puestos de trabajo deben mantenerse limpios y ordenados. Los envases deben mantenerse bien cerrados y en sus envases de origen, evitando derrames y vertidos. En caso de producirse vertidos es necesario limpiar la zona inmediatamente y de forma adecuada. Las cajas hay que almacenarlas en estantes o paletas, protegidas de la humedad, evitando derrumbes.



- La señalización de desniveles u obstáculos que puedan generar riesgo de caída o choque se realizará pintando en el suelo rayas amarillas y negras con un ángulo de inclinación de 45°.
- Las salidas de emergencia, pasillos de circulación, puertas y escaleras deben mantenerse convenientemente señalizados e iluminados, además de despejados de objetos o materiales que obstruyan estas vías y dificulten su uso en caso de emergencia.
- Se utilizará calzado de seguridad con suela antideslizante y si fuera necesario se instalará suelo antideslizante.

Golpes por objetos proyectados

El riesgo de proyección de partículas o productos químicos se puede producir por rotura en algún elemento de las máquinas o equipos con proyección de virutas o salpicaduras de líquidos, pudiéndose evitar en la mayoría de los casos si se dota a las instalaciones de resguardos de seguridad y si se utilizan los equipos de protección individual adecuados.

Medidas de prevención:

- Se instalarán resguardos de protección de interruptores que impidan la puesta en marcha de la máquina cuando dichas protecciones no se encuentren correctamente colocadas.
- Se extremarán las precauciones en la manipulación de productos químicos protegiéndose con gafas o pantallas específicas de los posibles riesgos de proyección de sustancias u objetos que puedan tener lugar.

Contactos eléctricos

Las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico están reguladas por el RD 614/2001. Del estado de conservación en que se encuentren las instalaciones eléctricas y de su adecuada utilización, depende la seguridad de los trabajadores en sus distintos puestos de trabajo. Entre los riesgos más comunes en lo referente, se encuentran las posibles quemaduras, propagación de incendios o electrocución.

Medidas de prevención:

- Ningún operario no cualificado debe manipular el interior de un cuadro eléctrico
- El mantenimiento realizado en las instalaciones eléctricas se debe realizar siempre por personal cualificado, siendo necesaria la presencia de un segundo trabajador para auxiliar al primero en caso de accidente.



- Hay que evitar sobrecargar las tomas de corriente conectando varios equipos en una misma toma. Las carcasas de los equipos hay que conectarlas a una toma de tierra.
- En caso de avería o anomalía en una máquina se cortará la corriente como primera medida de seguridad y en ningún caso se utilizará una máquina averiada hasta después de su reparación.
- Es de obligado cumplimiento la instalación de extintores adecuados al tipo de fuego previsible que se pueda originar en los puntos potencialmente peligrosos, cuidando en todo momento su puesta a punto y realizando las revisiones oportunas.

Exposición a ruido y vibraciones

El ruido está ligado a la operación de los equipos, como puede ser el motor de la agitación, de la centrífuga, los sistemas de bombeo, etc.

Medidas de prevención:

De acuerdo con el RD 286/2006 relativo a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente al ruido, las actuaciones a realizar son:

- Se evaluarán los niveles de exposición diarios de los trabajadores identificando los posibles niveles superiores a 80 dB. Se deben controlar los niveles de ruido superiores puesto que además de provocar problemas físicos a los trabajadores expuestos, inhiben la comunicación y enmascaran las señales de advertencia acústica.
- En la sala de calderas, así como en cualquier lugar señalado como fuente de ruido, se llevará a cabo el tratamiento acústico de paredes y techos utilizando material absorbente.
- En caso de haber zonas en las que se superen los 85 dB, deben de estar señalizadas advirtiendo el riesgo existente, además de ser obligatorio el uso de EPI's auditivos en dichas zonas (tapones, cascos, orejeras).

Contactos con productos o entornos a temperaturas extremas

Existe riesgo de exposición a temperaturas extremas tanto en trabajos al aire libre en condiciones climáticas adversas por frío o calor, como en trabajos en recintos cerrados en los que se alcancen temperaturas elevadas.

Medidas de prevención:

- En el caso de recintos cerrados que alcancen temperaturas elevadas, como puede ser la sala de calderas, es necesario instalar equipos de climatización o ventilación forzada que mantengan las condiciones de temperatura y humedad en los límites establecidos en el RD 486/1997.

En caso de no ser posible, se permanecerá en estas zonas el mínimo tiempo posible, realizando descansos en ambientes más frescos.

- Deben protegerse mediante alejamiento o aislamiento todos los puntos a alta temperatura que puedan ser tocados por el personal. Si no fuera posible la colocación de cubiertas aislantes del calor se señalará adecuadamente el peligro.

Sobreesfuerzos físicos

Se deben a posturas forzadas, movimientos repetitivos y manipulación de cargas.

Medidas de prevención:

- Se deben identificar y evaluar ergonómicamente los factores de riesgo en la manipulación de cargas, el uso de herramientas o las tareas que exijan posturas forzadas o movimientos repetitivos.
- Los trabajadores tienen que recibir formación e información sobre los riesgos de sobreesfuerzo en su puesto de trabajo.
- Las tareas que requieran de un mayor esfuerzo físico y con mayor tendencia a los movimientos repetitivos se automatizarán.

Exposición a condiciones ergonómicas de iluminación

Una iluminación deficiente puede provocar la aparición de fatiga visual, problemas en los ojos, dolor de cabeza, cansancio, etc. Además de aumentar la posibilidad de que los trabajadores cometan errores y de que se produzcan accidentes.

Medidas de prevención:

- Se instalarán los niveles adecuados de iluminación en cada lugar, siempre cumpliendo con los mínimos establecidos en el RD 486/1997 sobre lugares de trabajo.
- Se llevará a cabo un correcto mantenimiento de las lámparas reponiendo inmediatamente las que se fundan. Para evitar que la suciedad disminuya la cantidad de luz se realizarán tareas de limpieza periódicas.
- En la medida de lo posible las tareas de mantenimiento a realizar se programarán durante el día.

10.2 ANÁLISIS HAZOP AL EXTRACTOR DE TANQUE AGITADO (R-201)

1. Corriente de entrada de vapor al encamisado (LPS)

DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de vapor 4. Tubería atascada	- El extractor no alcanza la temperatura óptima para la extracción - Salida de vapor al exterior	- Revisión periódica de las válvulas de las tuberías y de los controladores. -Apertura manual de válvula
MÁS FLUJO	1. Válvula abierta atascada	- Aumento de la presión y de la temperatura en el interior del encamisado	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores - Existe una salida para alivio de presión
MENOS FLUJO	1. Tubería rota 2. Tubería atascada	- Igual NO FLUJO	- Igual NO FLUJO
MÁS PRESIÓN	1. Fallo en la válvula de expansión	- La tubería puede reventar	- Alarma de presión alta
MENOS PRESIÓN	1.Tubería rota 2. Suministro funciona mal	- Cambio en la temperatura de condensación y en el calor que aporta	- Revisión periódica de las tuberías y el suministro - Existe un control de temperatura que calcula la cantidad de vapor a introducir en función de la temperatura interior del extractor.

2. Corriente de salida de condensado del encamisado (C)

DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO FLUJO	1.Válvula atascada	- Aumento de la presión interna del encamisado	- Revisión periódica de las válvulas de mantenimiento
MENOS FLUJO	1.Válvula parcialmente bloqueada porque el vapor ha podido arrastrar sólidos	-Igual NO FLUJO	-Igual NO FLUJO

3. Corriente de entrada de BSG al extractor de tanque agitado (corriente 9)

DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de BSG	- No se lleva a cabo la extracción por falta de materia prima	- Revisión periódica de las tuberías y de los controladores
MÁS FLUJO	1. Válvula abierta atascada	- Cambio en las proporciones de la extracción - Posible desbordamiento del extractor	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores - Control visual de llenado y cierre manual de válvulas en caso de mal funcionamiento
MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición de poco abierta	- Cambio en las proporciones de la extracción.	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual de llenado y apertura manual de válvulas en caso de mal funcionamiento

4. Corriente de entrada de KOH al extractor (corriente 10)

DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en el suministro de KOH	- No se lleva a cabo la extracción por falta de uno de los agentes extractores	- Revisión periódica de las tuberías y de los controladores -Apertura manual de las válvulas
MÁS FLUJO	1. Válvula abierta atascada 2. Fallo en el control de flujo	- Cambio en las proporciones de la extracción - Posible desbordamiento del extractor	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores - Existe un control de nivel - Control visual de llenado y cierre manual de válvulas en caso de mal funcionamiento
MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición de poco abierta 2. Fallo en el control de flujo	- No se lleva a cabo correctamente la extracción al disminuir la concentración de disolvente.	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual de llenado y apertura manual de válvulas en caso de mal funcionamiento

5. Corriente de salida del extracto (AX y líquido) del extractor (corriente 12)

DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en la salida de KOH	- Posible desbordamiento del reactor - No se lleva a cabo la extracción correctamente al aumentar la concentración de AX y líquido	- Revisión periódica de las tuberías y de los controladores -Apertura manual de las válvulas
MÁS FLUJO	1. Válvula abierta atascada 2. Fallo en el control de nivel	- Cambio en las proporciones del extractor	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores - Existe un control de nivel - Control visual de llenado y cierre manual de válvulas en caso de mal funcionamiento
MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición de poco abierta 2. Fallo en el control de nivel	- Igual NO FLUJO	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual de llenado y apertura manual de válvulas en caso de mal funcionamiento



6. Corriente de salida de del sólido agotado del extractor (corriente 11)

DESVIACIÓN	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS CORRECTORAS
NO FLUJO	1. Válvula cerrada 2. Rotura en la línea 3. Fallo en la salida de sólido agotado	- Posible desbordamiento del reactor - No se lleva a cabo la extracción correctamente al aumentar la concentración de sólido agotado	- Revisión periódica de las tuberías y de los controladores -Apertura manual de las válvulas
MÁS FLUJO	1. Válvula abierta atascada 2. Fallo en el control de nivel	- Cambio en las proporciones del extractor	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores - Existe un control de nivel - Control visual de llenado y cierre manual de válvulas en caso de mal funcionamiento
MENOS FLUJO	1. Válvula atascada en posición de poco abierta 2. Fallo en el control de nivel	-Iguale NO FLUJO	- Revisión periódica de las válvulas y los controladores. - Control visual de llenado y apertura manual de válvulas en caso de mal funcionamiento



11 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha dimensionado una planta a escala piloto-laboratorio para la recuperación de arabinosilanos presentes en bagazo de cerveza, para la formulación de alimentos funcionales. La capacidad de tratamiento de la planta es de 2 kg/día de BSG, obteniéndose como producto una corriente de 0,74 kg/día con una concentración del 40% en peso de arabinosilanos, siendo la recuperación total de AX en el proceso del 65%. De acuerdo con los objetivos previamente establecidos, se procede a señalar las conclusiones más relevantes.

- La **información bibliográfica** disponible respecto a la extracción de arabinosilanos procedente del bagazo de cerveza es escasa. Además, cada autor propone diferentes métodos de extracción y diferentes condiciones de operación. Sin embargo, esta revisión ha permitido seleccionar las **etapas necesarias (pretratamiento, extracción y purificación/secado)** y las condiciones de operación adecuadas para poder obtener un producto que cumpliera los objetivos en cuanto a porcentaje de recuperación. La materia prima seleccionada para la extracción ha sido el BSG. Se ha elegido esta materia prima debido a su bajo coste, abundancia y disponibilidad durante todo el año.
- Con los datos disponibles, se ha podido dimensionar una **planta piloto-laboratorio que opera en discontinuo**. Los equipos óptimos para la correcta operación de la planta son: **un equipo de microondas para la etapa de pretratamiento**; un **extractor de tanque agitado** para la etapa de extracción sólido-líquido, una **centrífuga de filtración** y un **secadero de spray** para la etapa de concentración y secado.
 - En cuanto a la etapa de **microondas** se han establecido como presión y temperaturas de operación 4 bar y 140° durante un tiempo de 2 minutos utilizando como disolvente agua y KOH. El equipo comercial seleccionado que mejor se ajusta a estas condiciones es el **Reactor de sobremesa Masterwave BTR**, con una potencia de 1700 W, un volumen de operación de 750 mL (máximo 200 g de sólidos) y presión y temperatura máximas de 140 °C y 30 bar.
 - En la etapa de extracción se ha diseñado mecánicamente el **extractor de tanque agitado**. Este equipo tiene un **volumen de 1L**,

dotado de un **sistema de agitación de tipo turbina y un sistema de encamisado**. Su temperatura de operación es de 115° C y su presión de operación son 2 bares. Se ha utilizado KOH como agente extractor con una relación KOH:BSG=1:2. En lo referido a su construcción, el extractor está compuesto por una carcasa cilíndrica, un cerramiento plano superior y un cerramiento inferior cónico todo ello de 5 mm de espesor y construido en acero inoxidable.

- Para la etapa de concentración se emplea una **centrífuga de filtración**. El equipo comercial elegido es el **modelo EHBL 503** de la marca Rousselet Robatel. Tiene una potencia de 7500 W, un volumen útil de 24 L y una carga máxima de 30 kg.
- Para la etapa de **secado** se va a utilizar una corriente de aire caliente a presión (6 bar) con una temperatura de entrada y de salida de 150° y 60°C, respectivamente. El tiempo de operación es de 1,5 segundos y la humedad del sólido final del 2%. En esta etapa se ha elegido el equipo comercial **Mini Spray Dryer B-290** que tiene una potencia de 2900 W.
- De la evaluación económica se concluye que la instalación tendrá un coste total aproximado de 650.000 €. Se han calculado el VAN y el TIR para comprobar realmente la rentabilidad obteniéndose un VAN de aproximadamente 500.000 € y un TIR del 20% con un tiempo de recuperación de 5 años. La inversión es rentable debido al elevado precio de venta de AX (9.000€/kg). El análisis de sensibilidad pone de manifiesto que solo una bajada significativa, superior al 28%, en el precio de venta de AX podría comprometer la inversión.
- Para demostrar que la operación de la planta es segura, se ha propuesto un sistema de **control automático** que asegura el correcto funcionamiento de la instalación, minimizando los posibles riesgos de seguridad. Además, en la planta no se trabaja con sustancias peligrosas o que pongan en riesgo la salud de los trabajadores o de la población en general. También se ha diseñado la planta para que resulte **viable medioambientalmente** proponiendo una **gestión adecuada de los residuos generados**.



12 BIBLIOGRAFÍA

- Niño-Medina, G., Carvajal-Millan, E., Rascon-Chu, A., Marquez-Escalante, J. A., Guerrero, V., & Salas-Muñoz, E. (2010). Feruloylated arabinoxylans and arabinoxylan gels: Structure, sources and applications. *Phytochemistry Reviews*, 9(1), 111–120. <http://doi.org/10.1007/s11101-009-9147-3>
- Kellow, N. J., & Walker, K. Z. (2014). 13 - Authorised EU health claim for arabinoxylan. *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims, Volume 3*. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-100922-2/00013-9>
- Marti Del Moral, A., Moreno-Aliaga, M. J., & Hernández, J. A. M. (2003). Efecto de los prebióticos sobre el metabolismo lipídico. *Nutricion Hospitalaria*, 18(4), 181–188. <http://doi.org/1699-5198>
- Complutense, R., & Veterinarias, C. (2017). Arabinoxilanos y su importancia en la salud, 11, 84–89.
- Nuria Capdevila (2003). *Dietética y Nutrición. Revisiones monográficas. El arabinoxilano y su función inmunitaria*. 21(6), 350-354
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- Buksa, K., Nowotna, A., & Ziobro, R. (2016). Application of cross-linked and hydrolyzed arabinoxylans in baking of model rye bread. *Food Chemistry*, 192, 991–996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.104>
- Sajib, M., Falck, P., Sardari, R. R. R., Mathew, S., Grey, C., Karlsson, E. N., & Adlercreutz, P. (2018). Valorization of Brewer's spent grain to prebiotic oligosaccharide: Production, xylanase catalyzed hydrolysis, in-vitro evaluation with probiotic strains and in a batch human fecal fermentation model. *Journal of Biotechnology*, 268(September 2017), 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.01.005>
- Fadel, A., Mahmoud, A. M., Ashworth, J. J., Li, W., Ng, Y. L., & Plunkett, A. (2018). Health-related effects and improving extractability of cereal arabinoxylans. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 819–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.055>
- Severini, C., Azzollini, D., Jouppila, K., Jussi, L., Derossi, A., & De Pilli, T. (2015). Effect of enzymatic and technological treatments on solubilisation of arabinoxylans from brewer's spent grain. *Journal of Cereal Science*, 65, 162–166. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.006>



- Reis, S. F., Coelho, E., Coimbra, M. A., & Abu-Ghannam, N. (2015). Improved efficiency of brewer's spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 24, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.010>
- Coelho, E., Rocha, M. A. M., Saraiva, J. A., & Coimbra, M. A. (2014). Microwave superheated water and dilute alkali extraction of brewers' spent grain arabinoxylans and arabinoxylo-oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 99, 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.003>
- Zhang, Z., Smith, C., & Li, W. (2014). Extraction and modification technology of arabinoxylans from cereal by-products: A critical review. *Food Research International*, 65(PC), 423–436. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.068>
- Vieira, E., Rocha, M. A. M., Coelho, E., Pinho, O., Saraiva, J. A., Ferreira, I. M. P. L. V. O., & Coimbra, M. A. (2014). Valuation of brewer's spent grain using a fully recyclable integrated process for extraction of proteins and arabinoxylans. *Industrial Crops and Products*, 52, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.012>
- Grupo GIDOLQUIM, TÉCNICAS Y OPERACIONES AVANZADAS EN EL LABORATORIO QUÍMICO (TALQ), (2014), Consultado el 18 de marzo de 2018, Universidad de Barcelona: <http://www.ub.edu/talq/es/node/261>
- QuimiNet, (2012), Consultado el 18 de marzo de 2018: <https://www.quiminet.com/articulos/lo-que-necesita-saber-del-secado-spray-2708537.htm>
- Ayala-Soto, F. E., Campanella, O. H., Serna-Saldívar, S. O., & Welti-Chanes, J. (2016). Changes in the structure and gelling properties of maize fiber arabinoxylans after their pilot scale extraction and spray-drying. *Journal of Cereal Science*, 70, 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.07.005>
- Atomizacion, S. P. O. R., Dryer, S., Siccha, A., & Loe, O. (1995). Pontificia Universidad Católica del Perú. Dept. de Ciencias. Sección Química. 39, IX(I), 39–48.
- Sinnott, R. K. (2005). Coulson & Richardsons Chemical Engineering Design. *ELSEVIER - Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series*, 6(4), 440–445. [https://doi.org/10.1016/S1385-8497\(00\)00184-4](https://doi.org/10.1016/S1385-8497(00)00184-4)
- Mondragón, R., Julia, J. E., Barba, A., & Jarque, J. C. (2013). El proceso de secado por atomización: Formación de gránulos y cinética de secado de gotas. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica Y Vidrio*, 52(4), 159–168. <https://doi.org/10.3989/cyv.212013>

ANEXOS



Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



ANEXO I.

DIAGRAMA DE BLOQUES

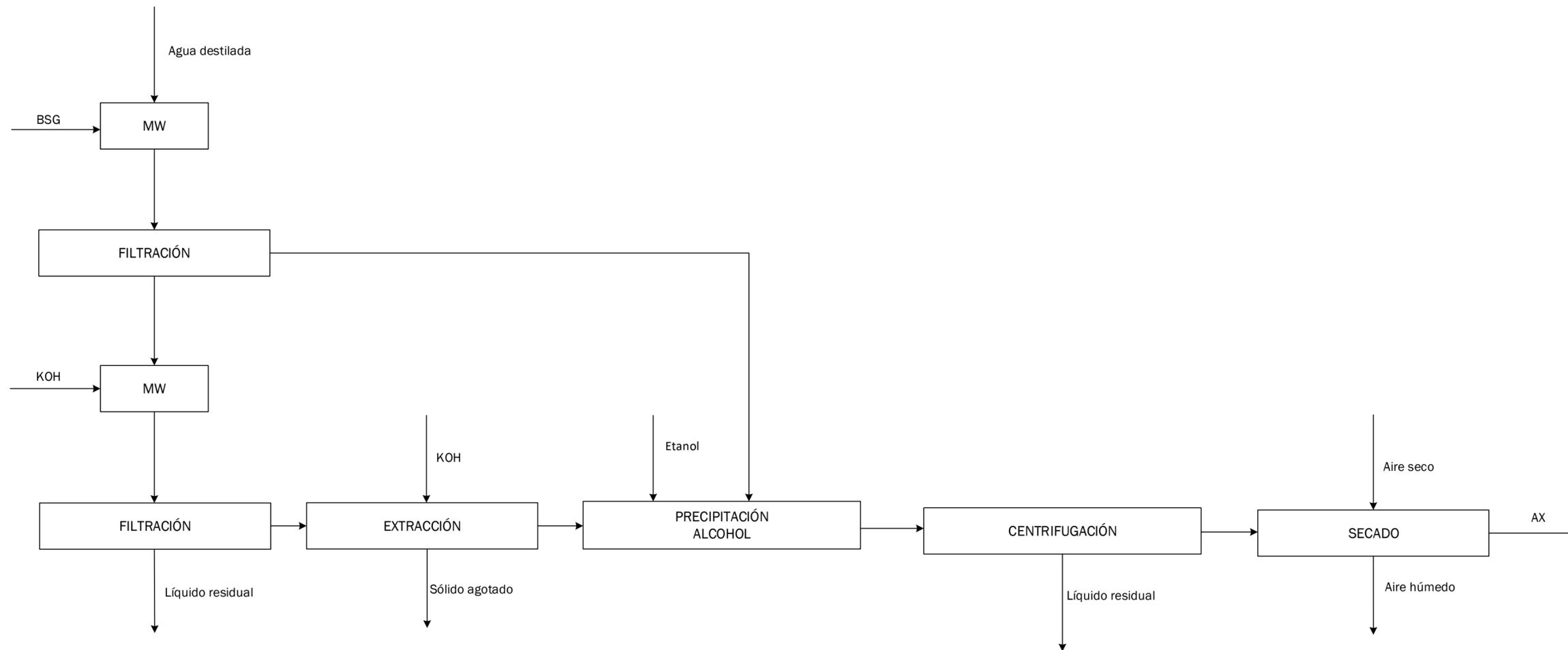


Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



		FECHA	04/05/2018
POR	SARA LAGÜENS PEREZ	APPRVD	
PLANTA PILOTO-LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE ARABINOXILANOS			
		CUENT DWG NUMBER	A2-DB-101-1
	UNIT	PAGE	1



ANEXO II. SIMBOLOGÍA



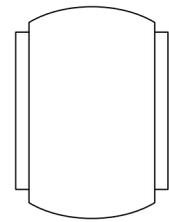
Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

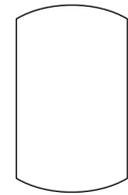


ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

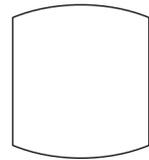
EQUIPOS



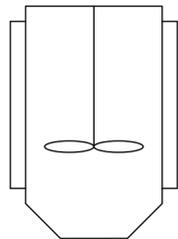
TANQUE DE ALMACENAMIENTO REFRIGERADO /CALEFACTADO



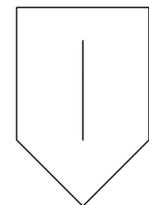
TANQUE DE ALMACENAMIENTO



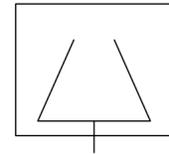
MICROONDAS



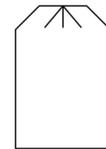
EXTRACTOR DE TANQUE AGITADO



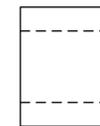
PRECIPITADOR



CENTRÍFUGA



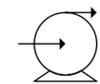
SECADERO DE SPRAY



FILTRO



BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO



BOMBA CENTRÍFUGA

VÁLVULAS Y ACCESORIOS



VÁLVULA



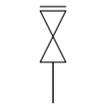
VÁLVULA DE CONTROL



VÁLVULA DE SEGURIDAD



DRENAJE



VENTEO



VÁLVULA ANTIRETORNO



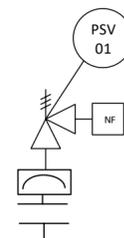
MEDIDOR DE PRESIÓN



AGUJERO PARA HOMBRE



INDICADOR DE NÚMERO DE CORRIENTE



VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL



TRANSMISOR DE TEMPERATURA



CONTROLADOR DE TEMPERATURA



TRANSMISOR DE NIVEL



CONTROLADOR DE NIVEL



TRANSMISOR DE FLUJO



CONTROLADOR DE FLUJO



RELACIÓN DE FLUJO

ABREVIATURAS

LPS	VAPOR DE BAJA PRESIÓN
C	CONDENSADO
CWR	RETORNO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN
CWS	SUMINISTRO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN
r	RELACIÓN

		FECHA	04/05/2018
POR	SARA LAGÜENS PEREZ	APPRVD	
PLANTA PILOTO - LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE ARABINOXILANOS			
		CUENT DWG NUMBER	A2-SIMBOLOGÍA-1
UNIDAD		PÁGINA	1



ANEXO III. DIAGRAMA DE FLUJO



Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

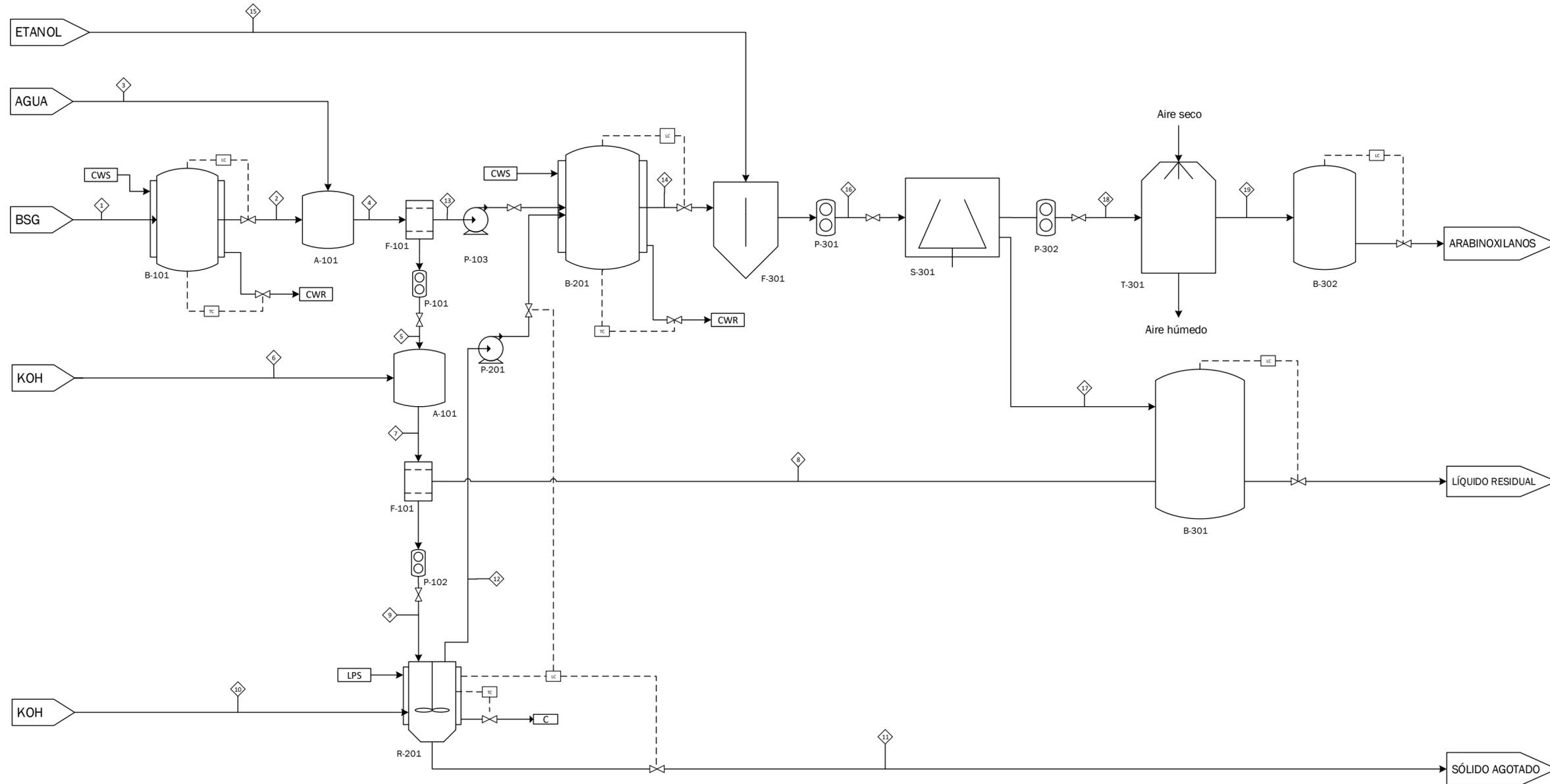
B-101 ALMACENAMIENTO DE BSG
 A-101 EXTRACCIÓN POR MICROONDAS
 P-201 BOMBA DE RECIRCULACIÓN AL MICROONDAS
 F-101 SEPARACIÓN LÍQUIDO DE SÓLIDO
 P-202 BOMBA DE ALIMENTACIÓN AL EXTRACCIÓN

P-103 BOMBA DE TRANSPORTE DE LÍQUIDO PREVIO A LA PRECIPITACIÓN
 P-201 BOMBA DE TRANSPORTE DE LÍQUIDO PREVIO A LA PRECIPITACIÓN
 R-101 EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO
 B-201 ALMACENAMIENTO LÍQUIDO ANTES DE PRECIPITACIÓN

F-301 PRECIPITACIÓN CON ETANOL
 P-205 BOMBA DE ALIMENTACIÓN A LA CENTRIFUGACIÓN
 S-101 CENTRIFUGACIÓN
 P-302 BOMBA DE ALIMENTACIÓN AL SECADERO

B-301 ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDO RESIDUAL
 B-302 ALMACENAMIENTO DE ARABINOXILANOS
 T-101 SECADERO DE SPRAY

NOTAS:
 CWS: SUMINISTRO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN
 CWR: RETORNO DE AGUA DE REFRIGERACIÓN
 LPS: VAPOR DE BAJA PRESIÓN
 C: CONDENSADO



CORRIENTES / COMPONENTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	aire entrada secado	aire salida secado
AGUA	0,33	0,33	2,00	2,33	0,35	1,65	2,00	1,70	0,30	0,71	0,20	0,81	1,98	2,79	0,00	2,79	2,51	0,28	0,01	1	1,72
SÓLIDOS	1,21	1,21	0,00	1,21	1,03	0,00	1,03	0,15	0,88	0,00	0,70	0,18	0,18	0,36	0,00	0,36	0,04	0,32	0,32	0,00	0,00
AX	0,46	0,46	0,00	0,46	0,39	0,00	0,39	0,06	0,33	0,00	0,07	0,26	0,07	0,33	0,00	0,33	0,03	0,30	0,30	0,00	0,00
KOH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,10	0,02	0,05	0,01	0,06	0,00	0,06	0,00	0,06	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00
ETANOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,07	21,07	18,96	2,11	0,11	0,00	2,00
AIRE SECO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	143,26	143,26
TOTAL	2,00	2,00	2,00	4,00	1,77	1,77	3,54	2,01	1,53	0,76	0,98	1,30	2,23	3,53	21,07	24,60	21,59	3,01	0,74	144,70	146,98
PRESIÓN (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
TEMPERATURA (°C)	45	45	60	90	80	60	90	80	80	60	90	90	80	25	15	10	20	20	23	150	60

POR SARA LAGÜENS PEREZ		FECHA 04/05/2018
PLANTA PILOTO - LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE ARABINOXILANOS		APPRVD
CUENT DWG NUMBER A2-DF-1		
UNIDAD	PÁGINA	1



ANEXO IV. P&ID U-100

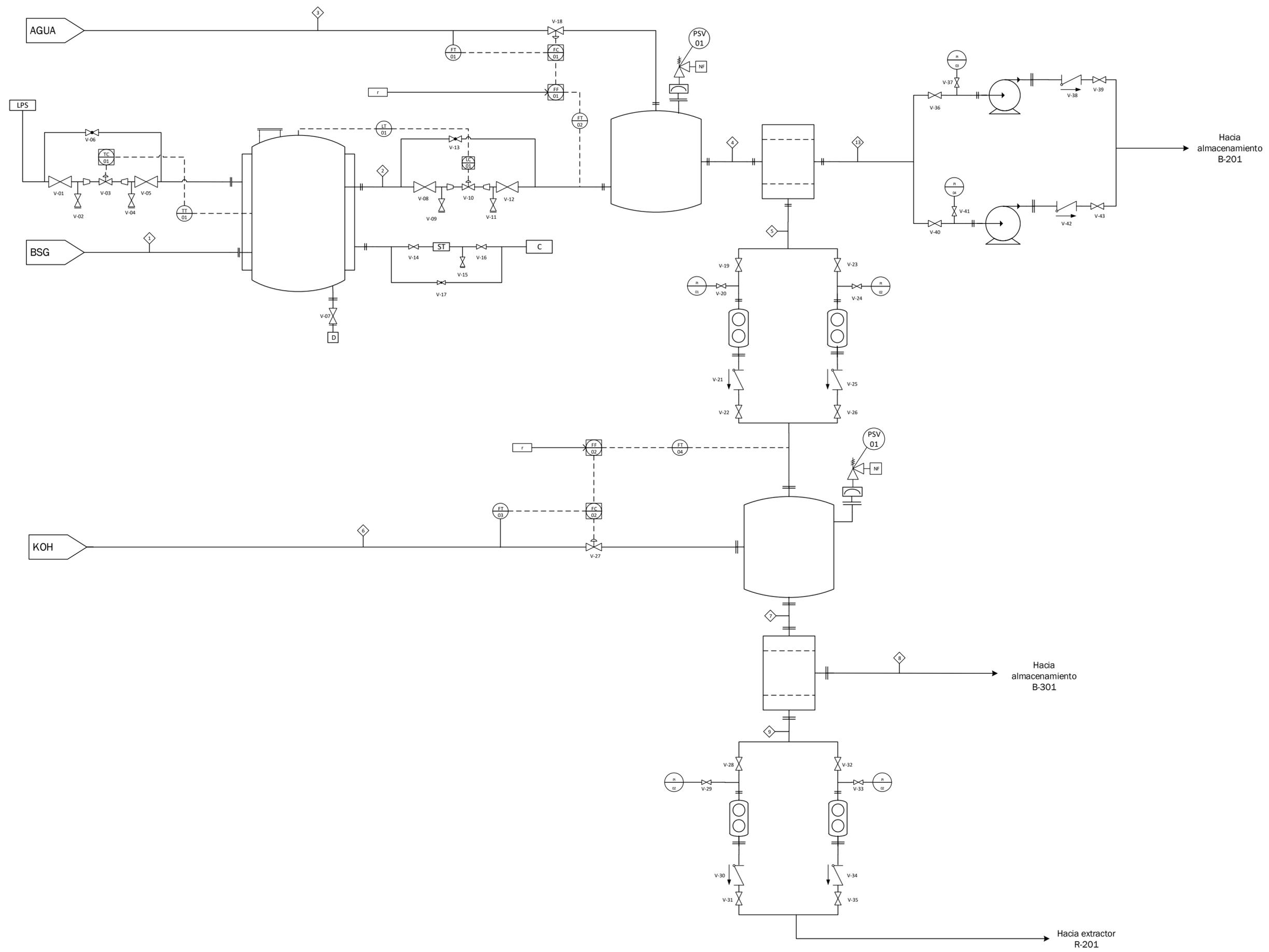


Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



NOTA:
U-100: ETAPA DE PRETRATAMIENTO

FECHA		04/05/2018
POR	SARA LAGÜENS PEREZ	APPRVD
PLANTA PILOTO - LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE ARABINOXILANOS		
CUENT DWG NUMBER		A2-P&ID-100
UNIDAD	U-100	PÁGINA 1



ANEXO V. P&ID U-200

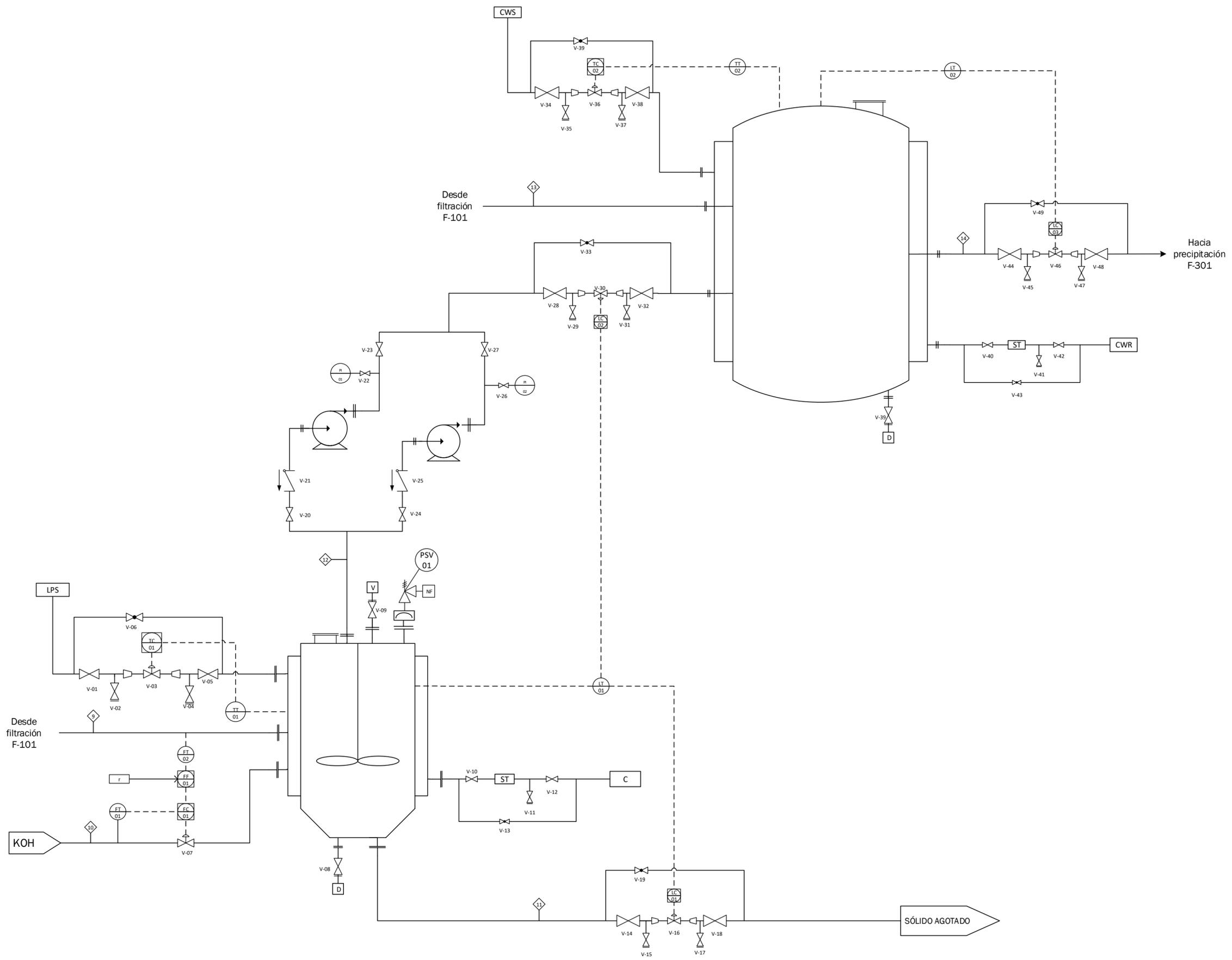


Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



NOTAS:
U-200 ETAPA DE EXTRACCIÓN

FECHA 04/05/2018	
POR SARA LAGÜENS PEREZ	APPRVD
PLANTA PILOTO - LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE ARABINOXILANOS	
CLIENT DWG NUMBER A2-P&ID-200	
UNIDAD U-200	PÁGINA 1



ANEXO VI.

P&ID U-300



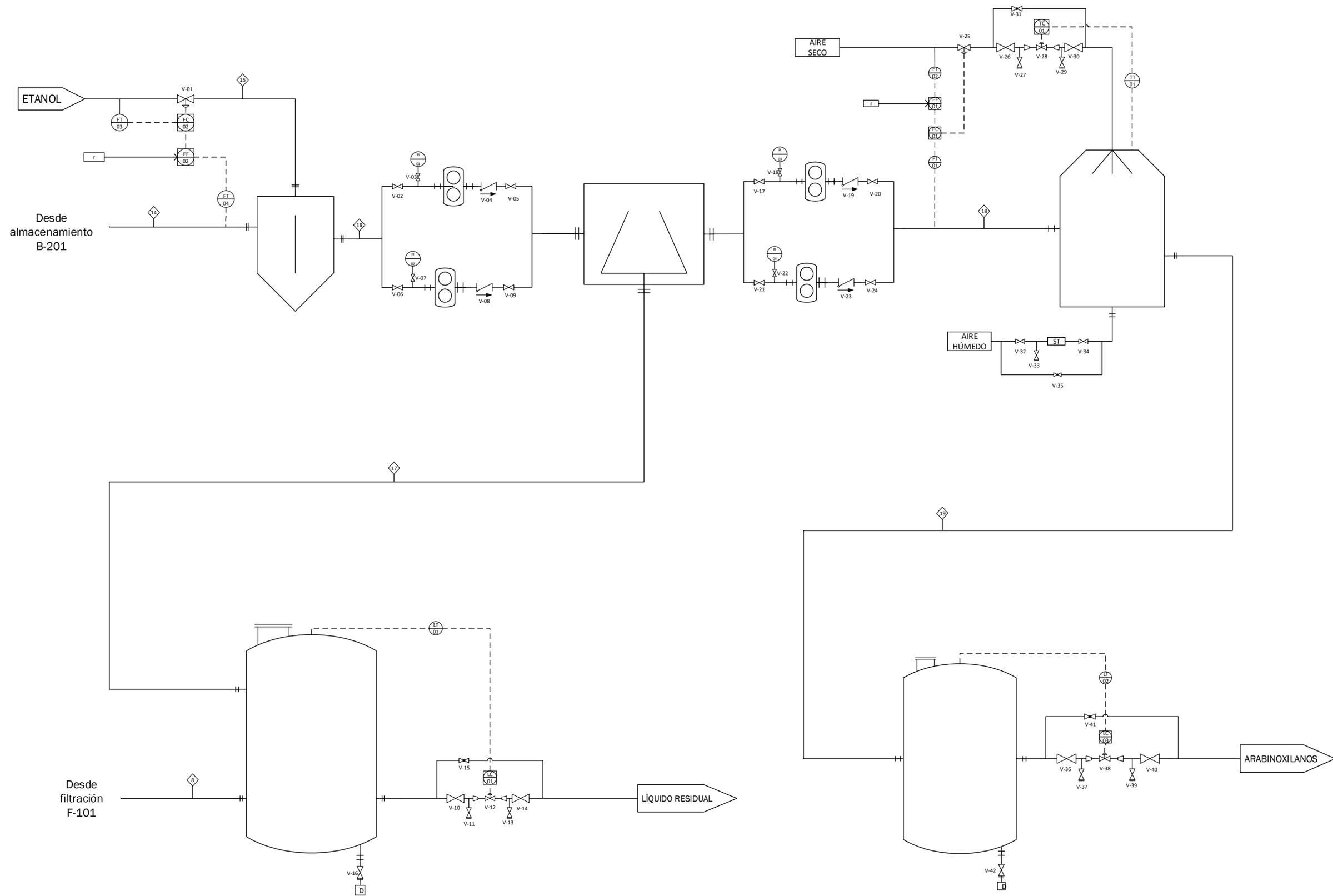
Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

NOTA:
U-300 ETAPA DE PURIFICACIÓN Y SECADO



FECHA		04/05/2018
POR	SARA LAGÜENS PEREZ	APPRVD
PLANTA PILOTO - LABORATORIO DE PRODUCCIÓN DE ARABINOXILANOS		
CLIENT DWG NUMBER		A2-P&ID-300
UNIDAD	U-300	PÁGINA 1



ANEXO VII. CATÁLOGO MICROONDAS



Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Microwave Synthesis



The Complete
Microwave Synthesis
Family

Any Chemistry, Any Scale, Anyone, Anywhere: The Complete Microwave Synthesis Family

Since its beginning in 1986, microwave synthesis has successfully matured. The new generation of Anton Paar microwave synthesis instrumentation was developed in response to the increasing demand – particularly in the pharmaceutical industry and in material science – for straightforward solutions that cover the entire range of microwave synthesis applications, from initial R&D to kilolab processing.

The key: direct scalability

Method transfer from the development stage to larger quantities is a major concern in microwave synthesis. As no microwave effects are involved, the reliability of a method solely depends on the temperature measurement. Accurate internal temperature measurement and the resulting knowledge of the real reaction temperature is the key issue for successful scale-up.

Once the reaction temperature is known, an optimized protocol can be applied in any suitable scale without losing efficiency.

Serving your needs

From the smallest quantities to gram-scale library generation and multigram batch processing – all the initial steps of chemical research and development are completely covered by Anton Paar's microwave synthesis products and its 21-CFR-Part-11-compliant software. You can be sure to find the right solution for your specific application.



Getting started with the Monowave series

The entry models Monowave 100 and Monowave 200 serve the basic requirements in microwave synthesis. Enhanced method development with Monowave 400 opens up pathways to new reaction routes for a broad variety of applications. The optional MAS 24 autosampler serves sequential multigram synthesis of valuable compounds.

You want more? Scale up with Multiwave PRO

Parallel optimization in Multiwave PRO with silicon-carbide-based high-throughput rotors as well as parallel scale-up to the multigram range with Rotor 16 allows for library generation in various amounts. Looking for extremes? The configuration with the high-performance Rotor 8N is your best choice.

The big deal: a kilo a day

Batch-type processing to the liter scale with Masterwave BTR leads to as much as 250 g of product in a single run. The similar software user interface allows direct method transfer from the Monowave series. Simply multiply the amounts of your mixture and follow your optimized protocols.



The Monowave Series

All you need to get started

Monowave 100

Microwave synthesis for education

Monowave 100 is a dedicated microwave synthesis reactor designed to serve educational purposes and meet the needs of primary academic research. This easily operated, budget-friendly “as-it-is” solution conveniently provides you with the basic requirements so you can get familiar with microwave synthesis in the 2 mL to 6 mL range.

As simple as that

All parameter control features are fully integrated in the instrument; no additional sensors need to be attached. Temperature programs are controlled by the mandatory IR sensor.

The intuitive software user interface allows for quick method programming on the touchscreen.

The helpful tool

A highly advantageous option is the 10 mL silicon carbide vessel, supporting chemistry which is not applicable in glass vials and enabling you to rapidly heat samples – even low-absorbing solvents.



Applicable vial types for Monowave 100

	Monowave 100
Microwave output power	500 W
Max. temperature	260 °C
Max. pressure	20 bar (290 psi)
Operation volume	2 mL to 6 mL
Magnetic stirring	600 rpm

Your door opener to the next level

Monowave 200

Modularity as required

Monowave 200 is developed for covering a wide range of standard synthesis applications. In its basic version, this readily upgradable system works with reaction volumes between 0.5 mL and 20 mL.

Employing Monowave 200 you can step into microwave synthesis with the common basic operation limits widely used for R&D.

If required, you can unlock extended limits, supplementary features and additional accessories using the available software tokens.



Monowave 200

850 W

260 °C

20 bar (290 psi)

0.5 mL to 20 mL

0 rpm to 1200 rpm



Applicable vial types for Monowave 200

The Monowave Series

Working at the top level

Monowave 400

The leader in the lab

Monowave 400 is the reliable choice for chemical research, drug discovery, life science, nanotechnology, polymer chemistry and much more.

The reactor opens up pathways to new reaction routes in a broad variety of applications. Reliability, scalability and reproducibility of methods are proven in great detail.

Serving individual needs

A variety of reaction vials provides access to various scales, from reaction volumes from 0.5 mL to 20 mL. 30 mL wide-neck vials allow for simple use and recovery of bulky materials.

The special 10 mL reaction vessel made of silicon carbide (SiC) allows for trouble-free processing of chemistry not suitable for glass vials and supports efficient heating of low-absorbing solvents.

Take home your advantage

- ▶ Rapid and uniform heating
- ▶ Simultaneous internal & IR temperature measurement
- ▶ Reliable accuracy and reproducibility
- ▶ Powerful stirring for optimized agitation
- ▶ Integrated digital camera with on-screen operation
- ▶ Durable vials and caps
- ▶ Operation time up to 100 h
- ▶ Minimum lab space required for automation



	Monowave 400	
Microwave output power	850 W	
Max. temperature	300 °C	
Max. pressure	30 bar (435 psi)	
Operation volume	0.5 mL to 20 mL	
Magnetic stirring	0 rpm to 1200 rpm	



Automation as you like it

The optional autosampler MAS 24 guarantees seamless unattended sequential operation. Up to 24 vials of different sizes are easily queued and processed automatically.

Catch a glimpse

Watch your chemistry with the integrated digital camera. Follow all color changes and precipitation directly on-screen or check the dissolution of substrates and stirring efficiency.

Get the real temperature

The optional ruby thermometer provides an internal temperature measurement to determine the exact reaction temperature which is essential for the transfer and scale-up of reaction protocols.



Applicable vial types for Monowave 400



Camera view

Parallel Development & Scale-up

Parallel synthesis at its best

Multiwave PRO

The versatile Multiwave PRO microwave reaction system provides direct scalability from the milligram to the liter scale. All methods developed in small-scale SiC rotors can be applied in the high-performance rotors with their 100 mL reaction vessels.

Optional immersing pressure/temperature probes for a reference vessel in the scale-up rotors combined with the standard IR sensor maximize the accuracy of reaction control.

Individual setup

An ingeniously simple gas-loading system enables you to create a reactive or inert gas atmosphere up to 20 bar in each vessel individually.



Rotor	16MF100	16HF100	8NXF100	8NXQ80
No. of vessels	16	16	8	8
Reaction control	One reference vessel with immersing temperature probe and pressure sensor Remote IR control in 16-position plate		One reference vessel with immersing temperature probe Remote IR control and pressure control in all positions	
Liner material	PFA	PTFE-TFM	PTFE-TFM	n/a
Pressure jacket	PEEK	Ceramic	Ceramic	Quartz
Volume	100 mL	100 mL	100 mL	80 mL
Operation parameters	200 °C @ 20 bar (290 psi)	240 °C @ 40 bar (580 psi)	260 °C @ 60 bar (870 psi)	300 °C @ 80 bar (1160 psi)



The perfect match

As an excellent microwave absorber, silicon carbide works best as a material for high-throughput rotors. Various mixtures, even virtually microwave-transparent ones, can be applied in one run and are heated identically and uniformly in SiC plates.

This equipment perfectly matches the typical requirements in drug discovery, forensics, biomedical research and other areas which predominantly deal with small sample quantities.

Features & benefits

- ▶ Reliable temperature and pressure sensors – optimized reaction control
- ▶ Installation-free remote-sensor technology – easy handling, wireless data transmission
- ▶ Applied silicon carbide technology – efficient homogeneous heating
- ▶ Multiple safety system – safe, trouble-free processing under extreme conditions

Rotor	4x48MC	4x20MGC	4x24MG5
Positions	192	80	96
Reaction container	6x8 SiC microtiter plate	HPLC/GC vials in 5x4 SiC plate	Glass vials in 6x4 SiC plate
Reaction control	Remote IR control of each SiC plate		
Operation volume	0.02 mL to 0.3 mL	0.1 mL to 1.5 mL	0.3 mL to 3.0 mL
Operation parameters	200 °C @ 20 bar (290 psi)		

A New Dimension in Microwave Synthesis

Masterwave goes kilolab

Masterwave BTR

Based on a revolutionary new technique (patent pending, US 2009/0194528), the Masterwave benchtop reactor closes the gap between research and kilolab processing in microwave synthesis. The powerful instrument overcomes heating difficulties in scale-up and provides efficient heating and outstanding productivity for a 1L reactor. Its rising-sensor temperature measurement technique provides the temperature accuracy required for direct method transfer from any smaller microwave device to the liter scale.

A kilo a day

Total reaction volumes of up to 750 mL and the powerful stirrer's capacity for agitating up to 200 g solid material ensure unrivaled productivity in a single run. Additionally, the instrument's integrated cooling system shortens overall process times.

Each reaction vessel includes its own paddle stirrer and cap with lip-type seal. This enables you to optimize your workflow, since you can prepare the next batch while processing the batch at hand. As a result, the daily production of kilogram amounts by microwave synthesis becomes a reality.

A pioneering "walk on, walk off" solution

Despite its enhanced productivity, Masterwave BTR is still standard laboratory equipment. Placed in a regular fume hood and connected to the corresponding interfaces, any chemistry can be started right away. No specific safety measures have to be observed, no extraordinary pre-installation measures are required – simply use the available lab space in the most efficient way. For maximum convenience, processing can optionally be remotely controlled from any desktop PC.

Pushing technical frontiers

- ▶ 1700 W applicable microwave power
- ▶ Reaction conditions up to 250 °C and 30 bar
- ▶ Rising Pt100 sensor for internal temperature measurement
- ▶ Sliding cover with embedded hydraulic pressure sensor
- ▶ Bayonet-locked 1 L PTFE reaction vessel
- ▶ Vessel-integrated magnetically driven paddle stirrer
- ▶ Internal closed-cycle cooling system
- ▶ Compressed-air-driven vessel ejector





Anton Paar microwave synthesis excels in:

- ▶ Method development, optimization and scale-up
- ▶ Building block synthesis
- ▶ Scaffold decoration
- ▶ Metal-catalyzed reactions
- ▶ Preparation of nanoparticles
- ▶ Hydrothermal reactions
- ▶ Polymer chemistry
- ▶ Ionic liquid applications



ANEXO VIII. CATÁLOGO CENTRÍFUGA



Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

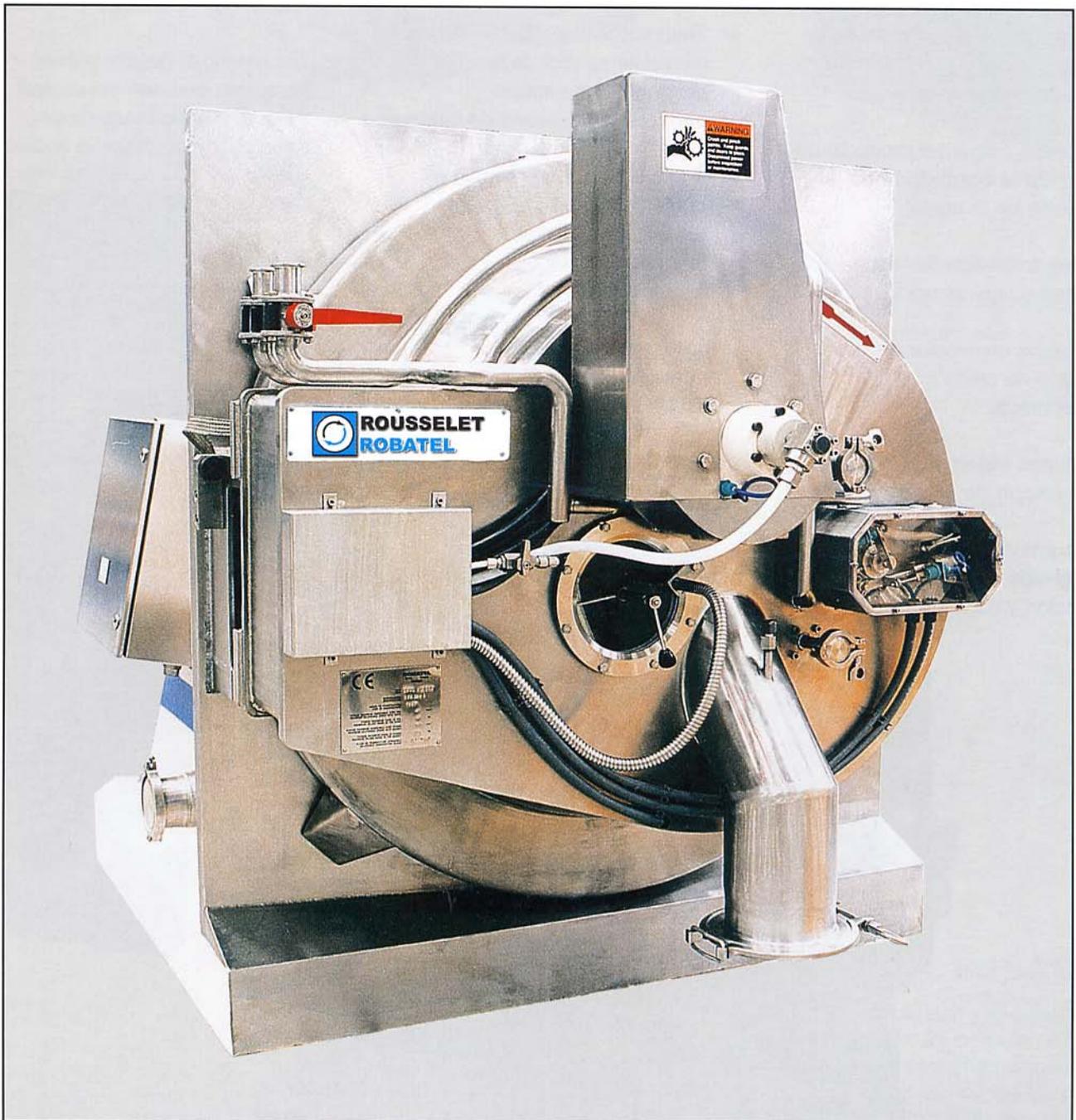


**ROUSSELET
ROBATEL**

CENTRIFUGADORAS HORIZONTALES GMP



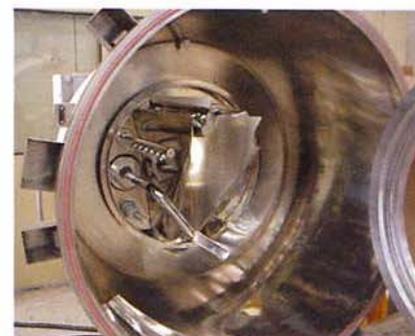
**Con rascador
para las industrias química y farmacéutica...**

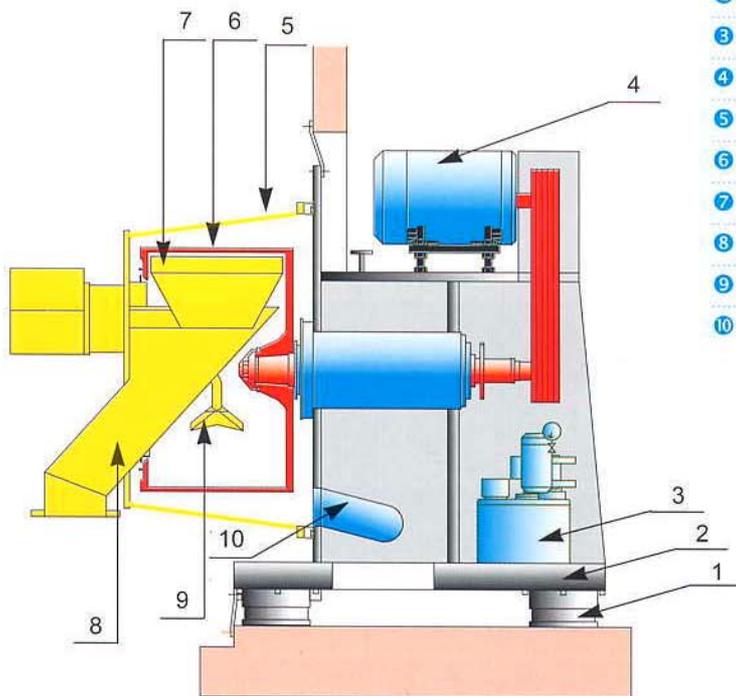
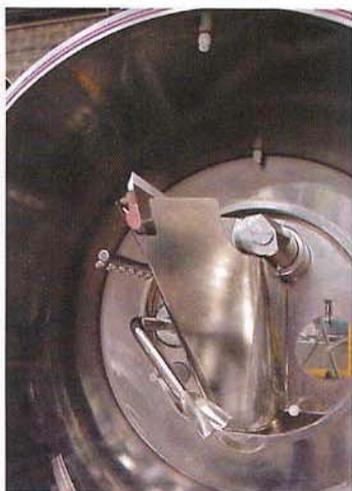
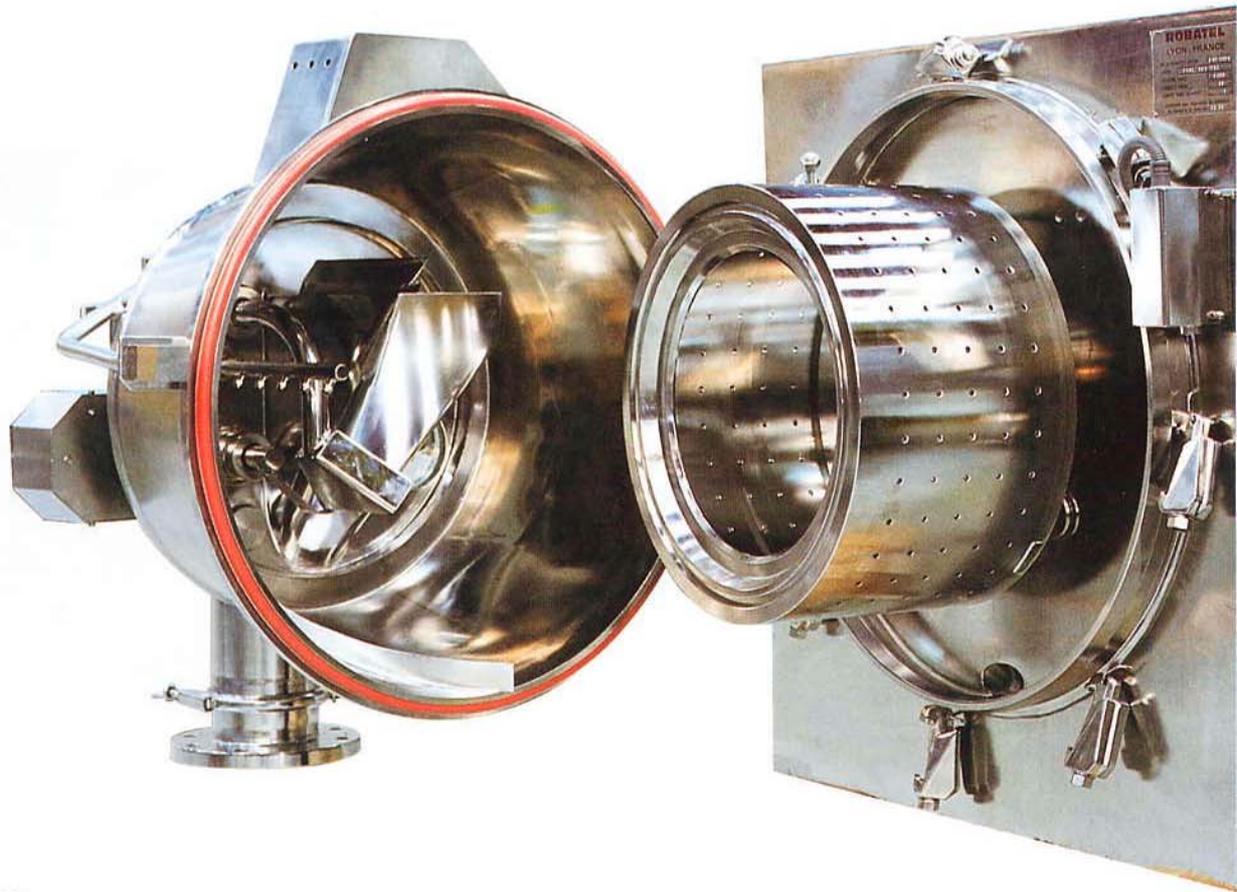




ROUSSELET ROBATEL LES PROPONE EN SUS CENTRIFUGADORAS CON RASCADOR :

- ✓ **P**laca de inercia
- ✓ **E**nvoltente con apertura total y cierre mediante abrazaderas manuales o hidráulica
- ✓ **R**aspadura de la torta mediante rascador (cichilla de una sola pieza)
- ✓ **D**escarga de dicha torta en un canal inclinado o con tornillo de extracción horizontal
- ✓ **T**ubo de carga del producto que optimiza la distribución de la solución en la cesta
- ✓ **T**ubo de lavado de la torta con tubos de pulverización
- ✓ **D**iversos controladores de llenado de cesta, con o sin contacto
- ✓ **D**istintos sistemas de eliminación de la capa residual
- ✓ **D**iferentes modalidades de fijación de la tela de filtración y de la maya
- ✓ **E**stado de superficie de las partes en contacto con el producto especialmente cuidada ($Ra > 0.8 \mu m$ - otros pulimentos sobre pedido)
- ✓ **E**stanqueidad a los gases bajo presión, que permite el inertización de la máquina
- ✓ **D**istintos sistema de inertización mediante control de las presiones y/o análisis permanente del nivel de oxígeno
- ✓ **T**ancas sinfónicas simple o doble (para separación de los líquidos filtrados primarios y líquidos filtrados de lavados)
- ✓ **E**quipos eléctricos antideflagrantes o simplemente estancos
- ✓ **S**alida líquido en la zona posterior (zona de trabajo si la centrifuga está prevista para la instalación en sala blanca)
- ✓ **C**ontrolador de vibraciones de 3 niveles
- ✓ **Ó**ptima estanqueidad de la línea de eje
- ✓ **V**ariación integral de la velocidad de rotación de la cesta mediante variador estático de frecuencia
- ✓ **E**n cuanto al control, varias versiones que van del control manual a la automatización integral con terminal de texto o gráfico o PC, y posibilidad de diálogo en red
- ✓ **S**istema completo de limpieza in situ (CIP)
- ✓ **U**na amplia variedad de materiales de construcción (aceros inoxidables, aleaciones ...), revestimientos (ebonita, halar ...) y material de juntas (viton, PTFE, EPDM ...)





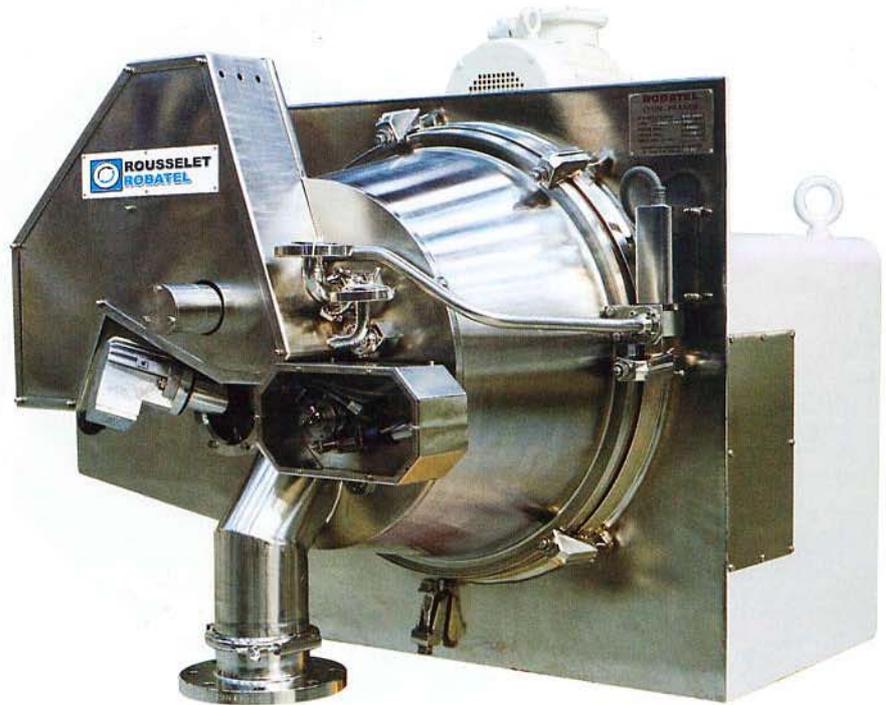
- 1 Soportes antivibraciones
- 2 Placa de inercia integrada
- 3 Central hidráulica
- 4 Motor principal
- 5 Envolverte con apertura total
- 6 Cesta
- 7 Rascador
- 8 Canal de descarga del producto
- 9 Tubo de carga
- 10 Salida de las aguas madres



LAS CENTRIFUGADORAS ROUSSELET ROBATEL

benefician de la acumulación y optimización de las competencias y experiencias de marcas especializadas y reconocidas. Sus clientes benefician de la flexibilidad y capacidad de reacción de equipos comercial y técnico a la escucha permanente de sus necesidades específicas y dispuestos a aportarles la integridad de los servicios que tienen derecho a esperar de un socio industrial y de proximidad.

PRINCIPALES VENTAJAS



- 1 **E**nvoltante totalmente practicable que permite un acceso total a la cesta y a las zonas tradicionales de proceso, con el cual se puede visualizar los elementos.
- 2 **T**odas las partes en contacto con el producto, sólidos y líquidos, estén polidos esmerados
- 3 **P**osibilidad de instalación de la centrífuga en sala blanca con separación estanca entre zona de proceso y zona de servicio
- 4 **C**anal de descarga con pendiente pronunciada para facilitar la salida de la torta y de fácil acceso y limpieza
- 5 **M**uy buena repartición del producto en toda la anchura de la cesta
- 6 **H**umedades residuales bajas gracias a unas fuerzas centrífugas elevadas
- 7 **P**osibilidad de inmersión parcial de la cesta en rotación a baja velocidad mediante llenado parcial del recinto con líquido de lavado
- 8 **P**osibilidad de instalación de la centrífuga a nivel del suelo. Altura requerida para la implantación : reducida

Características

Tipo	Cesta							Centrífuga			
	Ø (mm)	Profundidad (mm)	Volumen útil (dm³)	Carga Máxima (kg)	Superficie filtrante (m²)	Velocidad nominal (tr/min)	Fuerza centrífuga (G)	Potencia nominal (kw)	Peso (T)	Dimensiones exteriores LxI (m)	Altura (m)
EHBL 503	500	250	24	30	0,4	2600	1890	7,5	1,7	1,25x1,05	1,45
EHBL 633	630	315	40	50	0,63	2300	1860	11	4,2	1,95x1,45	1,90
EHBL 813	810	350	94	120	0,9	2000	1810	15	5,3	1,90x1,55	1,85
EHBL 1053	1050	610	220	275	2	1550	1410	22	8,1	2,55x2,05	2,25
EHBL 1153	1150	610	330	410	2,2	1400	1260	37	10,3	2,50x2,10	2,30
EHBL 1323	1320	720	440	550	3	1235	1130	37	12,6	3,05x2,35	2,5

(Otros modelos y características de cesta disponibles sobre pedido)



Officinas	Planta de Genas	UK	Alemania	Estados Unidos
Avenue Rhin et Danube Zone Industrielle Marenton 07104 ANNONAY - FRANCE	Rue de Genève 69740 GENAS - FRANCE	Parkside House, 17 East Parade HARROGATE NORTH YORKSHIRE HG1 5LF	Hauptstraße 20 D 71093 WEIL-IM-SCHONBUCH	703 West Housatonic Street PITTSFIELD MA 01201
+ 33 (0) 4 75 69 22 11	+ 33 (0) 4 72 79 18 88	+ 44(0) 1 423 530 093	+ 49(0) 715 762 881	+ 1 413 499 4818
+ 33 (0) 4 75 67 69 80	+ 33 (0) 4 72 79 18 80	+ 44(0) 1 423 530 120	+ 49(0) 715 763 232	+ 1 413 499 5648
E-mail rousselet.sa@rousselet.fr	info@robatel.fr	rousselet.uk@cent.globalnet.co.uk		sales@robatel.com
Internet www.rousselet.fr - www.robatel.com				



ANEXO IX. CATÁLOGO SECADERO



Universidad de Valladolid

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Mini Spray Dryer B-290



Mini Spray Dryer B-290 – Eficiente y seguro secado por pulverización de soluciones acuosas y orgánicas



El secado por pulverización es un método cada vez de mayor importancia y con una gran variedad de diferentes aplicaciones. El Mini Spray Dryer B-290 es el aparato de laboratorio adecuado para el secado rápido y total de productos en polvo. El eficiente rendimiento de trabajo con tiempos de saneamiento muy cortos, un mecanismo de limpieza integrado, la boquilla y la gran flexibilidad gracias a las diferentes geometrías de los cilindros son otros puntos fuertes remarcables del secador pulverizador. Tanto para la delicada obtención de extractos naturales, el aislamiento de principios activos farmacéuticos de alta eficacia o la microencapsulación de aromas, el B-290, con sus sobresalientes características, posibilita numerosas aplicaciones exitosas.

Campo de aplicación

Aprovechese del amplio espectro de aplicación.

- Pulverización de disolventes
- Cambio de la estructura
- Secado de suspensiones
- Aglomeraciones
- Condensación
- Microencapsulación y envoltura

Pulverización – un proceso fascinante con muchas ventajas

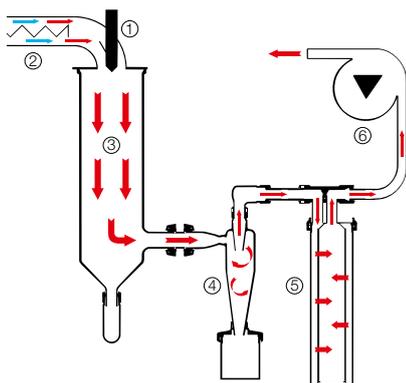
Muchos productos se utilizan preferentemente como sólidos. Ello facilita el almacenaje y dosificación o es imprescindible para el uso. La pulverización es un método que ahorra tiempo y material, para convertir incluso pequeñas cantidades de sustancia en polvo. Las ventajas frente a la liofilización son un rendimiento mayor y unos tiempos de procesamiento más cortos. Los bajos tiempos de residencia y el efecto refrigerador a través de la evaporación posibilitan trabajar eficazmente con productos sensibles a la temperatura. En caso de trabajar con disolventes orgánicos, la carga térmica se reduce al mínimo.

Con el Mini Spray Dryer B-290 puede no sólo obtener polvo a partir de una solución, sino también muchos otros procesos en una sola etapa:

- Cambio del tamaño de partículas
- Aglomeración de nanopartículas
- Secado de suspensiones
- Recubrimiento de partículas
- Inmovilización de materiales líquidos y sólidos en una matriz
- Elaboración de microcápsulas

Entrada de gas variable para un funcionamiento óptimo

El Mini Spray Dryer B-290 se utiliza regularmente con un proceso de aspirado. La ligera depresión impide una posible contaminación por condensación de agua. El sistema puede ser desconectado del aparato de absorción con pocas maniobras, lo que impide la corrosión del fuelle por sustancias corrosivas. Todos los componentes en contacto con los productos son especialmente accesibles para su limpieza.



El Mini Spray Dryer B-290 – soluciones concretas y convincentes para la pulverización en el laboratorio



El display muestra todas las funciones de manera clara. Junto a la colocación de los valores nominales se muestran las temperaturas de entrada y de salida. Con la limpieza integrada de la tobera se introduce automática o manualmente en una frecuencia ajustable una aguja a través de la tobera, para prevenir una obstrucción, o para remediarla.



El montaje de las piezas de vidrio es particularmente elegante y fácil. El cilindro de vidrio se instala en un sólo movimiento manual con una palanca de bloqueo.

La tobera de dos componentes convence por sus principios de funcionamiento y por sus piezas de acabado exacto. En la punta de la tapa de la tobera hay un rubí con una obertura muy precisa. Ello garantiza pulverizaciones sencillas, reproducibles y de larga duración. La tobera puede ser adicionalmente termostatazada.

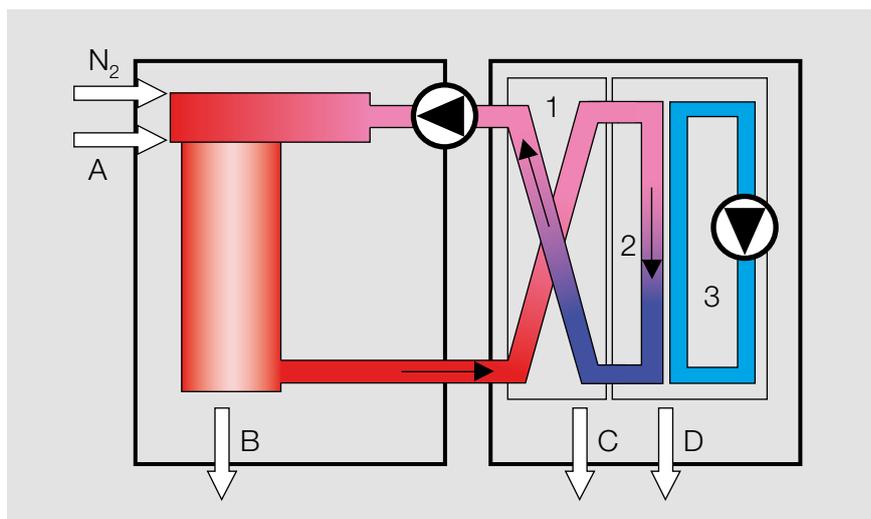


Dos salidas diferentes del cilindro de vidrio permiten optimizar la explotación de cada proceso. El cilindro de salida lateral está especialmente indicado para productos acuosos de difícil secado, mientras que el segundo tipo de cilindro, con geometría de salida vertical, ofrece ventajas para los disolventes orgánicos.

- ① Tobera de dos componentes, con sistema de depresión, para la dispersión de la solución en gotas finas
- ② Calefacción eléctrica del desecante
- ③ Cilindro de pulverización para secar las gotitas a partículas sólidas
- ④ Separación de las partículas en el ciclón
- ⑤ Filtro para limpiar el aire de partículas finas
- ⑥ Aspirador para la producción de corriente

Inert Loop B-295 – Pulverización con disolventes orgánicos

Por fin es posible pulverizar en el trabajo de laboratorio con disolventes orgánicos sin riesgos, con el accesorio Inert Loop B-295. Hasta ese momento la pulverización con disolventes inflamables estaba asociada al peligro de una posible explosión y por consiguiente no estaba permitida. Numerosas aplicaciones importantes y campos de aplicación de la pulverización se basan sin embargo en el uso de disolventes orgánicos. Para superar ese desafío, se desarrolló un nuevo accesorio que permite al usuario trabajar con prácticamente todos los disolventes usuales.



Inert Loop B-295 – Seguridad antes de todo!

El accesorio refrigerador es una unidad accesoria que se puede añadir y que se conecta a través de dos tubos y un cable de comunicación al Mini Spray Dryer B-290. Dos luces señalizadoras muestran el estado del oxígeno añadido y del control de presión. Si se produce un error, el sistema pasa automáticamente a un estado de seguridad. Este sistema ha sido certificado por el Instituto de Seguridad Suizo.

El pulverizador se convierte en un circuito cerrado en condiciones inertes mediante la combinación de B-290/B-295. La presencia de oxígeno impide que se produzca una mezcla inflamable. Simultáneamente la corriente de gas con el disolvente se enfría al final y de ese modo se consigue condensar el disolvente. La corriente limpiadora se redirige hacia el pulverizador.

Esquema del circuito cerrado:

- 1 Permutador de calor
 - 2 Condensación
 - 3 Unidad de refrigeración
- A Solución de salida
B Producto
C Gas de escape
D Disolvente

Los siguientes disolventes han sido probados y pueden ser utilizados sin problemas:

- Methanol
- Ethanol
- Tolueno
- Hexano
- Acetona
- Ethylacetat
- Diclorometano*
- Para agua recomendamos el uso del B-296 (ver página siguiente)

* Trampa de condensación adicional recomendada



Columna de adsorción

Si se usan mezclas de solventes orgánicos y agua, recomendamos profundamente el empleo de la Columna de adsorción adicional en circuito cerrado. Con esta separación se previene la congelación del agua en el circuito del Inert Loop B-295 y que pueda ser un daño potencial para el intercambiador de calor. La humedad es detectada por medio de un sensor, y en cuanto supera un umbral crítico, (columna saturada), la bomba de alimentación se detiene y el tamiz molecular tiene que ser intercambiado o regenerado.

Dehumidifier B-296 – Reproducibilidad durante todo el año y trabajar en modo cerrado



El Dehumidifier B-296 es un instrumento versátil para diferentes aplicaciones:

■ **Acondicionamiento del aire de entrada**

Los cambios que ocurren en la humedad ambiental entre las diferentes estaciones y regiones afecta el proceso de secado por pulverización. Con el uso del nuevo Dehumidifier B-296, las condiciones de secado se definen exactamente y se hacen reproducibles debido a la remoción del contenido de agua mediante una trampa enfriada a 5 °C. El higrómetro integrado muestra en pantalla la humedad del aire.

■ **Soluciones acuosas en circuito cerrado**

Para uso en soluciones acuosas ó mezclas con menos del 50% de disolventes orgánicos, recomendamos el Deshumidificador B-296 para evitar el riesgo de congelaciones que pudieran dañar el Inert Loop B-295. El precalentador adicional permite la condensación eficiente dando un producto seco.

■ **Refrigeración del aire de entrada**

Cuando se usa el accesorio de pulverización por congelación (véase próxima página) el aire de entrada puede enfriarse con el B-296 para lograr una solidificación óptima, lo que convierte al Deshumidificador en la opción apropiada para esta aplicación.

Instrumentos

Mini Spray Dryer B-290

Para soluciones acuosas, incluye tobera, un juego de vasos completo y todos los tubos necesarios.

Mini Spray Dryer B-290 Advanced

Para soluciones acuosas y con disolventes orgánicos (junto con el B-295). Junto con la versión para las soluciones acuosas se adjunta un juego de tubos peristálticos para diferentes disolventes. Se incluyen las dos variantes del cilindro de pulverización, así como la válvula de cambio y la cortina de seguridad.

Inert Loop B-295

Circulación cerrada para trabajar con seguridad con disolventes junto con el B-290. Formado por una unidad refrigerante, regulador de presión y controlador de oxígeno. Comunicación óptima con el B-290.

Dehumidifier B-296

El instrumento ideal para el aire acondicionado interior, condensación de agua en circuito cerrado o enfriamiento del aire interior para las operaciones de congelamiento y pulverización.

Nº de pedido	
230 V, 50–60 Hz	44780
200 V, 50–60 Hz	44781

Nº de pedido	
230 V, 50–60 Hz	44699
200 V, 50–60 Hz	44700

Nº de pedido	
230 V, 50 Hz	44701
230 V, 60 Hz	46344
200 V, 50 Hz	44779

Nº de pedido	
230 V, 50–60 Hz	40188

Accesorios: Spray Chilling – Novedad mundial en laboratorios de escalado

La pulverización por congelación se puede realizar ahora usando este nuevo accesorio para producir partículas directamente de muestras líquidas mediante la solidificación en fase gaseosa. Lo mismo para ceras, hidratos o glicéridos entre las posibles sustancias de matriz – ¡beneficiéase de este innovador método de encapsulación que ahora puede realizarse a escala de laboratorio!



Cuando una masa fundida se dispersa en una corriente de gas frío, las gotas se solidifican en partículas y pueden de esta forma ser separadas. La sustancia de la matriz y los ingredientes activos se calientan por encima del punto de fusión. La tobera es calentada también para evitar cualquier tipo de bloqueo. No se requiere de termostato adicional, ya que se utilizan el control de calentamiento existente y la bomba peristáltica del instrumento. Si la muestra tiene un punto de fusión bajo, entonces el aire de entrada se enfría para aumentar el gradiente de temperatura (por favor, contacte con su distribuidor local). El punto de fusión máximo es de 70 °C.

Ejemplos típicos de encapsulación son:

- Vitaminas disueltas en grasa
- Agentes lipofílicos activos en glicéridos
- Microcápsulas para cosméticos
- Enmascaramiento del sabor

Pulverización por congelación

Baño de licuefacción, incluye calefactor, sonda de temperatura y válvula de medición. Rango de temperatura 20–150 °C, volumen de trabajo 300 ml. Es suministrable el B-290 instalado con compatibilidad reversa.



Nº de pedido
230 V, 50–60 Hz 40351

Cortina de seguridad



En caso de no disponer de ninguna tapa y trabajar con productos inflamables o tóxicos, el telón de seguridad es una alternativa segura. Fácilmente desmontable, las láminas posibilitan el control y la manipulación de las piezas de vidrio durante el proceso (incl. en el B-290 Advanced).

Nº de pedido 44783

Válvula de cambio



Cambio automático del disolvente puro al producto sin cambio manual de los tubos. Preferiblemente utilizado con el mando a distancia (incl. en el B-290 Advanced).

Nº de pedido 44725

Mando a distancia



Seguridad optimizada. Todos los parámetros importantes pueden ser introducidos a través de la pantalla de mandos.

Nº de pedido 44702

Tobera



Tobera de recambio para trabajar con eficiencia durante el cambio de productos.

Nº de pedido 44698

Filtro de salida

Con filtro profundo de poliestireno que permite la limpieza completa de las partículas finas y la limpieza eficaz del aspirador. El filtro adicional con membrana porosa de PTFE permite además recuperar producto mediante los contrapulsos con aire comprimido. Cada envío contiene un saco de filtros.

	Nº de pedido
Filtro de salida completo	44754
Filtro de recambio (6 unidades)	35004
PTFE filtro de membrana	44316

Filtro de entrada

Impurezas como polvo, polen o partículas de hollín se filtran a través del aire de entrada. Filtrado basado en tejido de fibra de vidrio, superficie de filtrado efectiva 2,3 m².

Nº de pedido 11235

Aislamiento del cilindro

Menos pérdidas de producto y condiciones de operación estancas para procesos de escalado.

Nº de pedido 40058

Precalentador

Para trabajar en modo cerrado con el deshumidificador B-296

Nº de pedido 40059

Suministro de aire comprimido

Compresor accionado sin aceite para suministro de aire comprimido de la tobera.

27907

Unidad de mantenimiento para aire comprimido limpio y anhidro 04366

Juego de vasos completo

Juego de vasos completo para alternar el trabajo con la limpieza, incluidos todos los tornillos. Variante en vidrio topacio para productos fotosensibles.

Juego de vasos completo 44680

Juego de vasos completo en vidrio topacio 44758

Sistema de ciclón de alto rendimiento

Mejor separación de partículas finas; diseñado para pequeñas cantidades. Completo con vaso colector pequeño.

Nº de pedido 46369

Columna de adsorción

Separación eficaz del agua por un tamiz molecular, incl. el sensor de humedad y una bolsa de 2.5 kg de tamiz molecular

Columna de adsorción 46560

Bolso intercambio de tamiz molecular 46568

Aumento de escala de los procesos de secado por pulverización

El aumento de la escala es un aspecto importante en los procesos de secado por pulverización para poder transferir fácilmente los ensayos de escala de laboratorio de investigación a escala de producción industrial. Los dos proveedores líderes de sistemas de secado por pulverización, BÜCHI Labortechnik AG y Niro A/S están colaborando para ofrecer a los clientes una tecnología combinada e integral.

Basados en décadas de experiencia y miles de aparatos instalados en todo el mundo BUCHI y Niro le asistirán de forma sencilla al escalado de sus operaciones de secado por pulverización a cualquier nivel – fácilmente, con eficiencia y rápido.



GEA Niro A/S



Datos técnicos

Mini Spray Dryer B-290

Potencia	2900 W
Tensión de alimentación	200/230 V, 50–60 Hz
Rendimiento de evaporador	1,0 l/hr H ₂ O, mayor para disolventes orgánicos
Caudal de aire	max. 35 m ³ /h
Regulación del motor	convertidor de frecuencia
Máx. temperatura de entrada	220 °C
Potencia de calefacción	2300 W
Regulación de la calefacción	PT-100, Fuzzy Logic, precisión ± 3 °C
Interface	RS-232, edición para todos los parámetros
Gas de pulverización	Aire comprimido o nitrógeno, 200–1000 l/h, 5–8 bar
Diámetro de la tobera	0,7 mm Standard, 1,4 y 2,0 mm por pedido
Tapa de tobera	1,4 mm y 1,5 mm diámetro
Tiempo medio de residencia	1,0–1,5 s
Rango de diámetro de partícula	1–25 µm
Materiales en contacto con la solución	Acero inoxidable resistente al ácido, 3,3 vidrio de borosilicatado, FPM, Silicona
Dimensiones	60 x 50 x 110 cm
Peso	48 kg

Inert Loop B-295

Potencia de alimentación	1 kW
Tensión de alimentación	200/230 V, 50–60 Hz
Temperatura min. de salida	hasta –20 °C
Potencia de la refrigeración	800 W en –10 °C
Dimensiones	60 x 70 x 77 cm
Peso	95 kg

Dehumidifier B-296

Potencia de alimentación	700 W
Tensión de alimentación	200–230 V, 50–60 Hz
Temperatura min. de salida	+2 °C
Potencia de la refrigeración	600 W a 0 °C
Dimensiones	35x40x60 cm
Peso	36 kg

BÜCHI Labortechnik AG

CH – 9230 Flawil 1
T +41 71 394 63 63
F +41 71 394 65 65
buchi@buchi.com
www.buchi.com

BÜCHI Labortechnik GmbH

DE – 45003 Essen
Freecall 0800 414 0 414
T +49 201 747 490
F +49 201 237 082
deutschland@buchi.com
www.buechigmbh.de

BÜCHI Sari

FR – 94656 Rungis Cedex
T +33 1 56 70 62 50
F +33 1 46 86 00 31
france@buchi.com
www.buchi.fr

BÜCHI UK Ltd.

GB – Oldham OL9 9QL
T +44 161 633 1000
F +44 161 633 1007
uk@buchi.com
www.buchi.co.uk

BÜCHI Labortechnik GmbH

NL – 3340 AC
Hendrik-Ido-Ambacht
T +31 78 684 94 29
F +31 78 684 94 30
netherlands@buchi.com
www.buchi.nl

BÜCHI Italia s.r.l.

IT – 20090 Assago (MI)
T +39 02 824 50 11
F +39 02 57 51 28 55
italia@buchi.com
www.buchi.it

BÜCHI Hong Kong Ltd.

HK – Central
T +852 2389 2772
F +852 2389 2774
china@buchi.com
www.buchi.com.cn

BÜCHI Shanghai

CN – 200052 Shanghai
T +86 21 6280 3366
F +86 21 5230 8821
china@buchi.com
www.buchi.com.cn

BÜCHI (Thailand) Ltd.

TH – Bangkok 10600
T +66 2 862 08 51
F +66 2 862 08 54
bacc@buchi.com
www.buchi.com

Nihon BÜCHI K.K.

JP – Tokyo 110-0008
T +81 3 3821 4777
F +81 3 3821 4555
nihon@buchi.com
www.nihon-buchi.jp

BÜCHI India Private Ltd.

IN – Mumbai 400 055
T +91 22 667 18983 / 84 / 85
F +91 22 667 18986
india@buchi.com
www.buchi.in

PT. BÜCHI Indonesia

ID – Tangerang 15321
T +62 21 537 62 16
F +62 21 537 62 17
indonesia@buchi.com
www.buchi.com

BÜCHI Korea Inc

KR – Seoul 153-782
T +82 2 6718 7500
F +82 2 6718 7599
korea@buchi.com
www.buchi.com

BÜCHI Canada Ltd.

CA – Thornhill, Ontario L4J 6Z2
T +1 416 277 7407
F +1 905 764 5139
canada@buchi.com
www.mybuchi.com

BÜCHI Corporation

US – New Castle,
Delaware 19720
Toll Free: +1 877 692 8244
T +1 302 652 3000
F +1 302 652 8777
us-sales@buchi.com
www.mybuchi.com

We are represented by more than 100 distribution partners worldwide. Find your local representative at

www.buchi.com

Quality in your hands

