UCA
Pontificia Universidad Católica Argentina
Biblioteca digital
de la Universidad Catolica Argentina

Fox, Diego José

Industrias aceiteras procesadoras del grano de soja en la República Argentina

Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria
Facultad de Ciencias Agrarias

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.
La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Fox, D. J. 2012. Industrias aceiteras proceadoras del grano de soja en la República Argentina [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/industrias-aceiteras-procesadoras-grano-soja.pdf [Fecha de consulta:.....]

(Se recomienda indicar fecha de consulta al final de la cita. Ej: [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2010]).

UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA ARGENTINA

Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Producción Agropecuaria

Industrias aceiteras procesadoras del grano de soja en la República Argentina.

Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria

Profesor Tutor: *Ing. Agr. Pablo A. Peruzzotti.*
Autor: Diego José Fox.
Fecha: 5/12/2011.

ÍNDICE TESIS

Objetivos de tesis 3
Materiales y métodos 3
Introducción 3
Conociendo la soja..... 3
Aceite de soja, composición y propiedades físicas 6
¿Cómo son actualmente en Argentina las plantas de extracción de aceite de soja?..... 10
Resultados 10
1. Métodos de extracción mediante solventes 10
Recepción 12
Limpieza de grano 12
Secado 17
Sala de preparación..... 20
Descascarado en caliente..... 21
Laminado..... 27
Expander..... 29
Sala de extracción..... 30
Características generales del funcionamiento de los extractores..... 30
Extractor de circuito rectangular tipo loop..... 32
Desolventizador tostador..... 35
Secado y enfriado de harinas..... 38
Tamizado y molienda de harinas..... 40
Alternativa de procesamiento de harinas desengrasadas..... 42
Molienda y pelletizado de cáscara..... 43
Destilación y recuperación de solvente..... 45
Evaporación..... 45
1era etapa de evaporación..... 46
2da etapa de evaporación..... 47
Stripping o despojamiento..... 47
Desgomado..... 48
Secado y enfriamiento del aceite..... 49
Condensación..... 49
Condensación por vacío..... 49
Condensación atmosférica..... 50
Calentamiento de solvente..... 51
Torre de enfriamiento..... 52
Separación agua – solvente..... 53
Stripping de seguridad de efluente acuoso..... 54
Recuperación de solvente de los gases de venteo..... 55
Generación de vapor..... 57
Tratamiento de efluentes..... 58
2. Método de extrusado-prensado 61
Descripción de los equipos y el proceso..... 62
Recepción..... 62
Sector de producción y almacenamiento de productos elaborados..... 63
Controles de procesos..... 70
Personal operativo..... 71
Desgaste de equipos..... 71
Electricidad..... 72
Habilitaciones necesarias para poder operar una planta..... 73
Ventajas y desventajas..... 73

Comparación del impacto ambiental entre plantas de solventes y EP…… …… 74
Calidad del aceite de soja obtenido por EP…….... 75
Expeller…… 76
Harina…….. 76
Pellets…… 76
Mecanismos de acción de inhibidores de proteasas de la soja…….. 76
Valores comparativos de calidad y valores nutritivos del expeller y harina…….. 80
Presente y futuro de las plantas de EP…….. 82
Presente y futuro de las plantas mediante solvente…….. 83
Análisis final…… 85
Bibliografía……... 87

Objetivos de tesis.

El **objetivo general** de la tesis es el estudio comparativo de los dos procesos industriales utilizados en el país para la obtención de aceite, harinas, pellets y expeller de soja.

Los **objetivos específicos** son:

1. Describir instalaciones industriales que utilicen los dos procesos productivos de obtención de aceites: mediante solventes y mediante extrusado-prensado, caracterizando materias primas, productos, subproductos y efluentes.
2. Comparar ventajas y desventajas de los dos procesos industriales analizando entre otras cosas, la capacidad productiva, la generación de fuentes de trabajo y la calidad de los productos obtenidos.

Materiales y métodos.

La modalidad de dicha presentación será monográfica. Para realizarla el autor recolectó y analizó datos de visitas técnicas a plantas [de solventes: AFA, Los Cardos (Santa Fe); de extrusado-prensado: plantas de las localidades Coronel Pringles (Buenos Aires), Murphy (Santa Fe) y Río Cuarto (Córdoba)], entrevistas con profesionales y técnicos expertos en la temática. Además participó de dos cursos realizados por ASAGA (Asociación Argentina de Grasas y Aceites) en la ciudad de Rosario durante el año 2010 y 2011 y también participó de exposiciones relacionadas con la temática (por ejemplo en INTA Marcos Juarez y en Rosario). La información obtenida de esta diversidad de fuentes la integró con información bibliográfica detallada en la Bibliografía.

Introducción

Conociendo la soja

La soja, *Glycine max* (Merr), es una planta leguminosa de la sub-familia de las Papilionoidea y del grupo de las Faseoleas. Es originaria de China, su utilización por parte del hombre se remonta probablemente al siglo 15 antes de Cristo. Sin embargo, sólo comenzó a cultivarse a nivel internacional durante el siglo XX, cuando la semilla fue introducida por primera vez en los EE.UU. para ser molida a nivel industrial. Luego se la introdujo en Europa y en Sudamérica.

El impacto de la investigación agrícola sobre la composición de la soja no ha sido considerado durante el pasado reciente, debido a que el contenido de aceite no es fácilmente heredable (Wilson 1987) y la correlación entre el contenido de proteína y el rendimiento de las semillas es negativo (Burton 1987) [1]. Generalmente a una ganancia del 1% en peso de proteínas, corresponde un descenso del contenido en lípidos del 0,5% [2].

Como cualquier otro cultivo leguminoso, la semilla de soja está esencialmente compuesta de una cubierta suave (cáscara) y un embrión.

Su diámetro varía entre 5 y 10 mm y su peso (dependiendo de la variedad) entre 50 y 400 mg. [1]. La forma de la semilla es generalmente esférica color pardo-amarillento [2].

Como se indica en la Tabla 1, el envoltorio o tegumento representa entre el 7 y el 10% del peso de la semilla.

La estructura interna del grano de soja (Figura 1A, 1B y 1C) consiste de tres capas distintas:

- Una epidermis compuesta de células largas y compactas con forma de palizada que forman un lumen triangular. Esta epidermis está cubierta por una cutícula liviana.

- La hipodermis consiste de una capa simple de células de forma muy especial. Un parénquima basal formado por 6 u 8 capas de células no muy densas en contacto con el exterior, permitiendo intercambios gaseosos en los niveles del hilo y el micrópilo.

- Un endosperma separa la cubierta del embrión, este está formado por dos cotiledones semicirculares delimitados por una epidermis. Las células alargadas de los cotiledones se encuentran llenas de cuerpos proteicos rodeados por numerosos esferosomas de aceite [1].

Los cuerpos proteicos son esferas de diámetro 2-10 μm, resisten molienda moderada y pueden aislarse a partir de harina. Contienen la mayor proporción de proteínas del grano (proteínas de reserva) que se hidrolizan por proteasas durante la germinación y sirven de sustrato para el crecimiento del embrión.

Las otras proteínas (estructurales y del metabolismo celular) se localizan en el resto de la célula y no en los cuerpos proteicos, son fundamentalmente enzimas.

Los esferosomas son pequeñas esferas de 0,1-0,5 μm de diámetro, dispersos entre los cuerpos proteicos. Contienen aceite compuesto mayoritariamente por triglicéridos y en menor proporción fosfolípidos. Los ácidos grasos que los componen tienen un alto grado de instauración: Linoleico (n-2, 18:2) 50-55%, linolénico (n-3, 18:3) 6-9%.

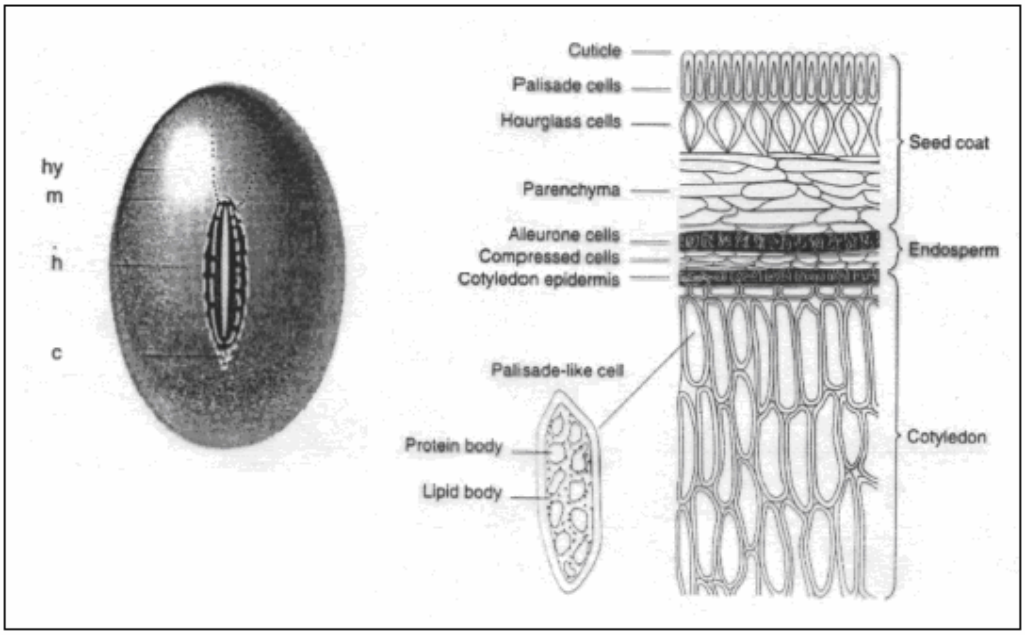
Las semillas de soja contienen carbohidratos no estructurales (representan aproximadamente un 10 % del peso), principalmente azúcares solubles (sacarosa, estaquiosa y rafinosa) y una pequeña cantidad de almidón (menos de un 3 % del peso de la semilla).

Las proteínas de soja están constituidas principalmente de globulinas, (grupo de proteínas insolubles en agua). Representan el 90% del total de las proteínas y el 36% del peso de la semilla. Las proteínas de soja han sido fraccionadas y caracterizadas mediante ultracentrifugación. Se obtuvieron 4 fracciones denominadas 2S, 7S, 11S, 15S. La fracción 2S contiene los inhibidores de tripsina y proteasas. En la fracción 7S se encuentra la lecitina, beta y gama Coglicininas y lipoxigenasa, esta última catalizan la oxidación de los lípidos (peróxidos) y conducen como resultado a cambios del aroma en productos de soja inadecuadamente procesados (rancidez en aceite, off-flavor en leche de soja).La fracción 11S contiene Glicininas que junto a la B-coglicinina conformas las

denominadas proteínas de reserva. La fracción 15S contiene polímeros de glicininas. Hoy en día hay líneas de investigación en cuanto al aislamiento, caracterización y aplicación de las mismas [2].

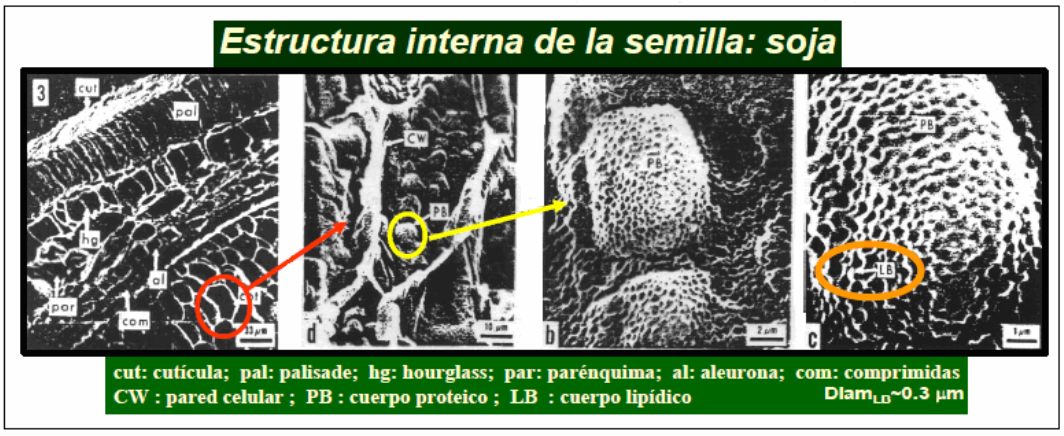
Tabla 1. Componentes de la semilla de soja. Fuente ASAGA-UNRC.

Componente	Total (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
Semilla completa	100.0	40.3	21.0	4.9	33.9
Cotiledón	90.3	42.8	22.8	5.0	29.4
Cáscara	7.3	8.8	1.0	4.3	85.9
Germen	2.4	40.	11.4	4.4	43.4



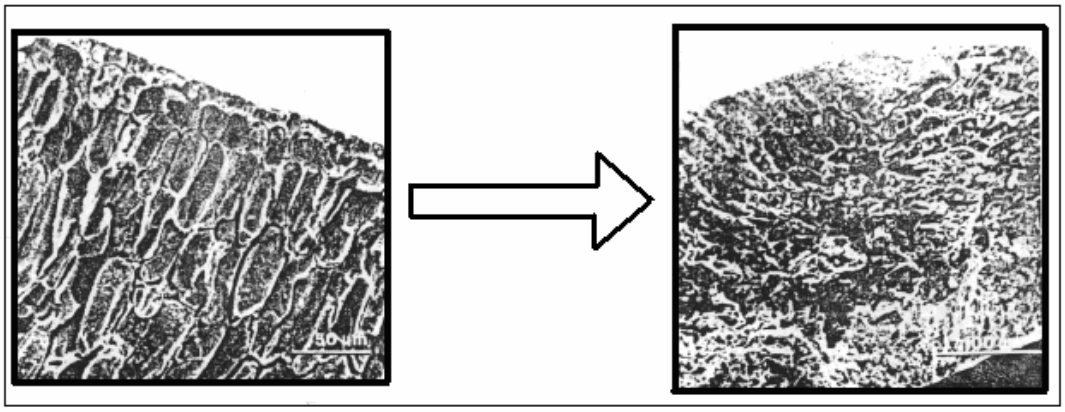
Fuente: ASAGA-UNRC Características de materias primas y productos.

Figura 1A. Estructura externa de la semilla de soja y esquema de un corte transversal de la semilla. Se observan los distintos tipos de tejidos de la semilla.



Fuente: ASAGA-UNRC Características de materias primas y productos.

Figura 1B. Descripción estructura interna del grano de soja mediante microscopio. La primera foto a la derecha muestra un corte de todas las capas de células que conforman la semilla, luego hacia la izquierda se comienza a aumentar el tamaño de las imágenes destacando los cuerpos proteicos y por último los cuerpos lipídicos.



Estructura interna de la soja antes y despues de salir de sala de preparación

Fuente: ASAGA-UNRC Características de materias primas y productos.

Figura 1C. A la derecha se muestra la estructura interna de un grano de soja previo a entrar a la sala de preparación y a la izquierda se observa la misma ya procesada para ingresar a la sala de extracción de aceite.

Aceite de soja, composición y propiedades físicas

El aceite de soja es el más importante de los aceites vegetales producidos en el mundo, debido a su excelente calidad y bajo costo. Se estima que dicho aceite mantendrá su predominio en los mercados locales y mundiales, por las favorables características agrícolas, las considerables ganancias tanto de los productores como de los procesadores, la alta calidad de sus proteínas, su aceite comestible y la enorme oferta disponible a precios muy competitivos.

El aceite de soja tiene muchas ventajas pero también algunas desventajas si se lo compara con otros aceites vegetales.

Las ventajas incluyen: 1) su alto nivel de instauración como se detalla en la (tabla 3) ; 2) el aceite permanece líquido por encima de una oscilación de temperatura relativamente amplia; 3) puede ser hidrogenado selectivamente; 4) cuando es parcialmente hidrogenado, puede ser utilizado como un aceite semisólido fluido; 5) los fosfátidos, restos de metales y jabones que se encuentran en el aceite pueden ser removidos sin mucha dificultad para obtener un producto de alta calidad; y 6) la presencia de antioxidantes naturales (tocoferoles) que no son completamente eliminados durante el procesamiento también contribuyen a su estabilidad.

Las desventajas incluyen: 1) los fosfátidos se encuentran presentes en cantidades relativamente altas (superior al 2 %) y deben ser eliminados en el procesamiento y 2) el aceite de soja contiene niveles relativamente altos (7-8 %) de ácido linolénico, el cual es responsable de la reversión de su sabor y olor. Significa que luego del refinado, pasa por un leve sabor a nuez, luego sabor a poroto, luego a pintura y finalmente a pescado lo que lo hace inaceptable al paladar. Algunas de estas desventajas sin embargo, son contrarrestadas por el hecho de que las “gomas” recuperadas constituyen la fuente para la obtención de la lecitina comercial y, mediante la hidrogenación selectiva y parcial del aceite, la concentración de ácido linolénico puede ser reducida a menos del 3 %, dando como resultado un considerable aumento de la estabilidad.

La Tabla 2 muestra las composiciones promedio de los aceites crudos y refinados de soja, en la Tabla 3 se detallan los ácidos grasos que conforman el aceite ya sea crudo o refinado debido a que dichas proporciones no se alteran, mientras que en la Figura 2 se observa como luce el aceite crudo y los distintos productos de su procesado. Se observa que el proceso de refinación no afecta la composición de los ácidos grasos de los glicéridos, solamente remueve la mayor parte de los ácidos grasos libres, los pigmentos que le dan color y reduce los niveles de algunos de los componentes menores, tales como los tocoferoles (31-47 %), los esteroles (25-32 %), y el escualeno (15-37 %) [3].

Tabla 2. Composiciones promedio del aceite crudo y refinado de soja

Componente	Aceite crudo	Aceite refinado
Triglicéridos (%)	95-97	> 99
Fosfátidos (%)	1.5-2.5	0.003-0.045c
Material insaponificable (%)	1.6	0.3
Esteroles (%)	0.33	0.13
Tocoferoles (%)	0.15-0.21	0.11-0.18
Hidrocarburos (escualeno) (%)	0.014	0.01
Ácidos grasos libres (%)	0.3-0.7	< 0.05
Hierro (ppm)	1.3	0.1-0.3
Cobre (ppm)	0.03-0.05	0.02-0.06

Tabla 3. Porcentaje de ácidos grasos en aceite de soja y su grado de insaturación. Fuente, Curso Crushing 2010, presentación Carlos Capurro[4].

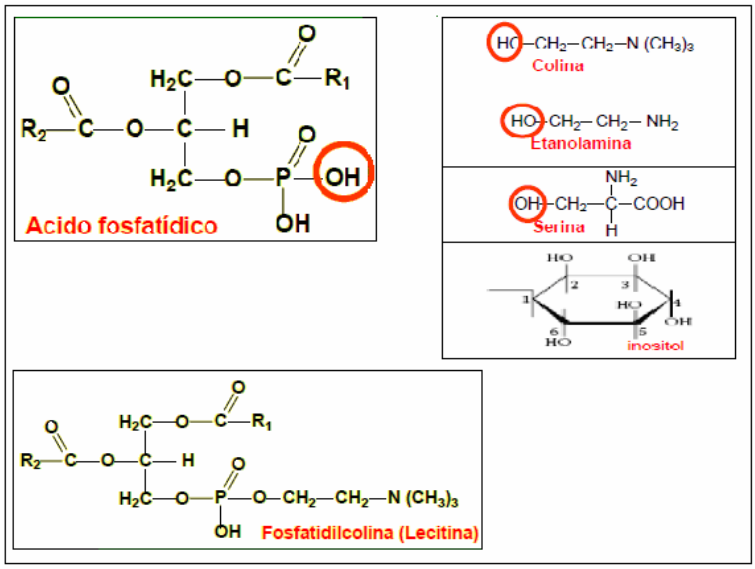
Nombre	Porcentaje	Saturación
Linoleico	50-54	18:2
Oleico	22-24	18:1
Palmítico	10-11	16:1
Linolénico	6-8	18:3
Esteárico	3,9	18:0

Figura 2. Distintas apariencias del aceite de soja crudo y sus derivados. Foto de elaboración propia, tomada en la exposición INTA Marcos Juarez 2011.

FOSFOLIPIDOS/FOSFATIDOS.

Son surfactantes naturales y emulsionantes. Como se observa en la Figura 3, el ácido fosfatídico se compone de un alcohol como la glicerina, dos moléculas de ácidos grasos y un compuesto de ácido fosfórico.

Los principales son: Fosfatidil inositol y fosfatidil etanolamina, los cuales son hidratables y, entre los no hidratables se encuentran, la fosfatidil colina y sales del ácido fosfatídico [4].



Fuente: ASAGA-UNRC Características de materias primas y productos.

Figura 3. Principales fosfolípidos y fosfátidos en soja. El ácido fosfatídico en combinación con colina, etanolamina, serina o inositol forma los distintos fosfátidos presentes en la soja.

MATERIA INSAPONIFICABLE.

La materia insaponificable en el aceite de soja posee varios componentes menores que tienen valor comercial, tales como los fitoesteroles y los tocoferoles. La siguiente composición promedio fue citada por Gutfinger y Letan, para el aceite crudo de soja en la tabla 4.

Tabla 4. Componentes menores del aceite de soja con valor comercial. Fuente [3].

Materia insaponificable	1.6 %
Hidrocarburos (escualeno)	0.0135%
Esteroles	0.365 %
Tocoferoles	0.124 %

Weihrauch y Gardner, descubrieron que la mayor parte de los aceites vegetales contienen de 100 a 500 mg de esteroles por cada 100 grs. de aceite; el aceite de soja contiene un promedio de 327 mg. cada 100 grs. Los esteroles en el aceite incluyen ßsitosterol, campesterol, estigmaesterol y otros en cantidades menores.

Además, aparte de los fitoesteroles, existen pequeñas cantidades de 4-metil-esterol y compuestos de alcohol tri-terpeno. Evans y colaboradores, reportaron en la Tabla 5, la siguiente composición de la fracción de hidrocarburos en los materiales insaponificables que se encuentran en el aceite de soja.

Tabla 5. Composición de la fracción de hidrocarburos encontrados en el material insaponificable del aceite de soja. Fuente [3].

n-alcanos	4%
Nonacosano	27%
Triacontano	8%
Untriacontano	65%
Alquenos	> 50 %
Escualeno	50%
Alcanos de cadena ramificada	(C30-C35) 45 %

El escualeno es el precursor biosintético de los esteroles. Existen como mínimo siete tipos de tocoferoles en el aceite de soja; éstos poseen propiedades antioxidantes de diferentes grados. Los α, γ y δ-tocoferoles se encuentran presentes en los aceites crudos y refinados.

Aunque el γ-tocoferol es el que se encuentra en mayor cantidad, el α-tocoferol a su vez posee la mayor actividad de vitamina E, mientras que el δ-tocoferol funciona mejor

como antioxidante. El β-tocoferol representa menos del 3% del total de los tocoferoles. Estos se obtienen de los destilados, durante el proceso de desodorización [3].

¿Cómo son actualmente en Argentina las plantas de extracción de aceite de soja?

Ante la ausencia en el campo agronómico de un estudio de los actuales métodos de extracción aceite de soja en la Argentina, a lo largo de esta tesis se propone describir ambos procesos industriales, tratando de seguir el orden de los procesos a los que son sometidos la materia prima y sus derivados, ya sean aceite, harina, expeller o cáscara.

Resultados

1-Descripción sobre el método mediante solventes.

En Argentina, la industria aceitera tiene las plantas con mayor capacidad promedio de molienda a nivel mundial (Tabla 6).

Tabla 6. Capacidad de procesamiento instalada y número de plantas procesadoras.

	Capacidad total instalada			Capacidad promedio por planta
País	ton/día	Mill. Ton/ano	Nro. de Plantas	ton/día
EEUU	154.827	51,09	71	2.181
Argentina	152.000	50,16	50	3.040
Brasil	143.515	47,36	101	1.421
China	-	42	-	-

Fuente: Libro "Para mejorar la producción 45", INTA, Estación Experimental Agropecuaria Oliveros, 2010.

Como se puede apreciar en la Figura 4, estas se han instalado, en su mayoría, en la zona del gran Rosario debido a que sus características la hacen la más propicia para este tipo de explotación agroindustrial.

Algunas de estas características pueden ser, facilidad para la instalación de puertos debido a la barranca alta del río Paraná, las condiciones de navegabilidad del río, cuya profundidad de 34 pies permite la circulación de buques de ultramar con cargas casi completas. También puede enumerarse el fácil acceso a la red de rutas y ferrocarriles, y la cercanía de la zona productora núcleo.

En esta zona se asienta el conjunto de puertos privados que exporta la mayor cantidad de granos y derivados del país.

Dentro del gran Rosario, hacia el norte se encuentran, San Lorenzo, Puerto General San Martín y Timbues, y hacia el sur Villa Gobernador Galvez, Punta Alvear, General Lagos, Arroyo Seco y Villa Constitución, conjunto al que se denomina *up river* y tiene una extensión de 75 km. La capacidad instalada de procesamiento del sector "*up river*" concentra más del 80% de la capacidad total del país. Incluso la ampliación proyectada no altera dicha proporción [5].

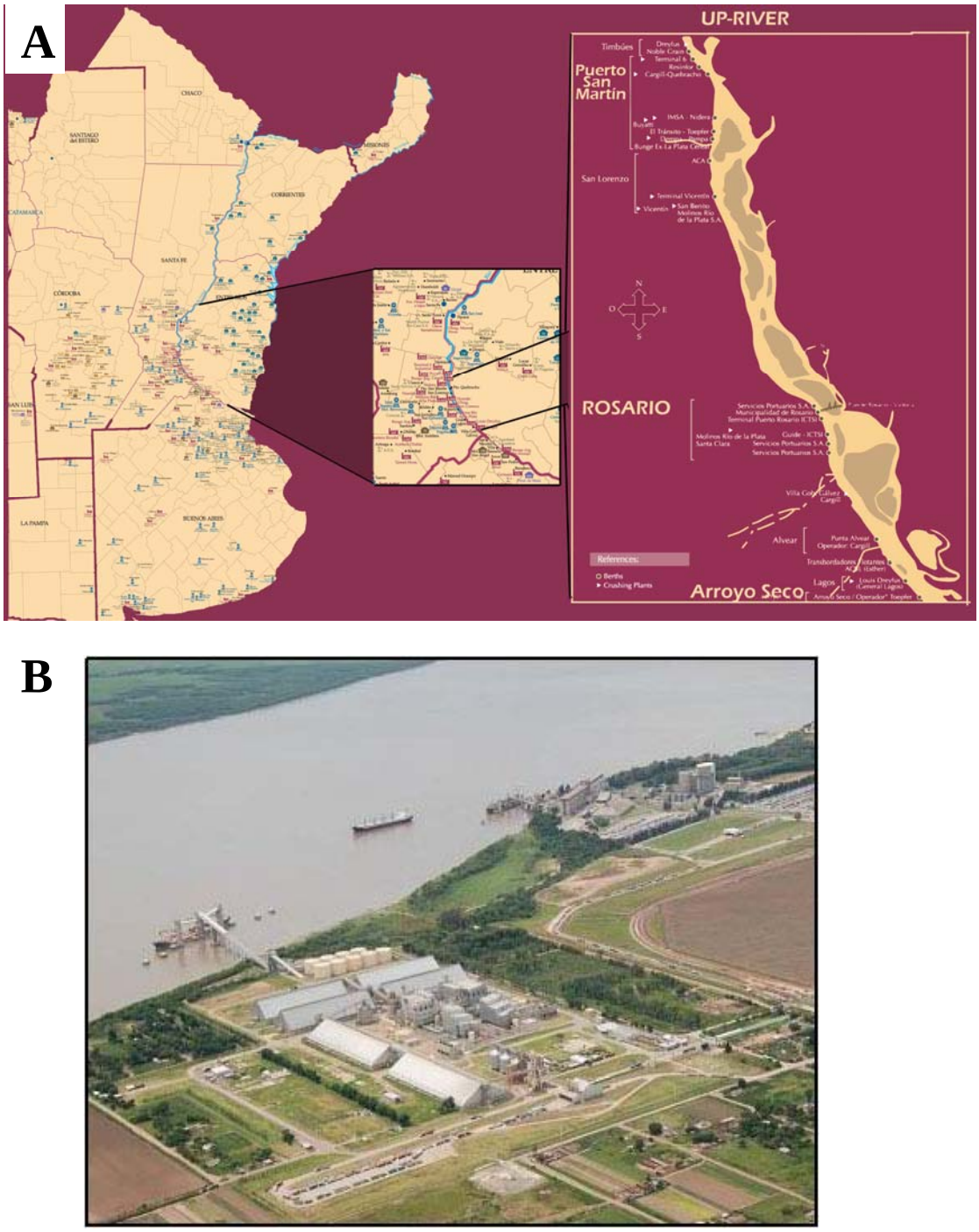


Figura 4. A) Ubicación de las plantas de procesamiento de grano en Argentina. En azul claro se observan los molinos harineros-trigueros, en azul obscuro molinos arroceros y en bordó las plantas aceiteras. Modificado a partir JJ Hinrichsen S.A (2007). **B) Vista aérea planta aceitera Cargill, Puerto Gral. San Martín.**

Se describirá el proceso industrial, tratando de seguir el orden de los acontecimientos a los cuales se someten la materia prima y sus derivados, ya sean aceite, harina, cáscara.

Recepción:

Se controla la documentación y validación de cupos. Luego se cala para determinar la calidad de la mercadería. Aquí el grano se separa en dos grandes grupos, aquel que según normas de recepción esta conforme se envía a celda de almacenamiento y el grano húmedo es enviado a silos de húmedo para su posterior acondicionamiento, luego es enviado a celdas de almacenamiento.

A continuación de los dos controles anteriores se procede a la descarga. Se utilizan plataformas volcadoras (Figura 5) para recepción de camiones, líneas de descarga de vagones y muelles preparados para la recepción de barcazas las cuales son descargadas con grúas.

Las celdas de almacenamiento se comunican con la sala de preparación mediante cintas transportadoras y silos diarios de producción.

En las plantas aceiteras, por lo general, se diseñan celdas de almacenamiento con capacidades para 30 días de producción.

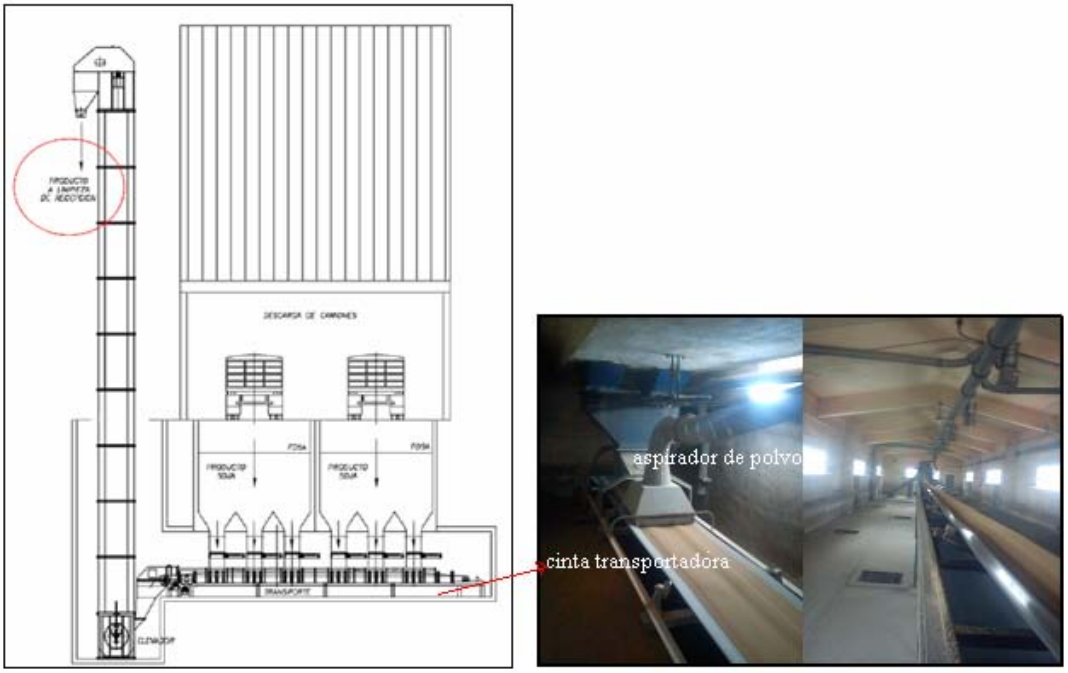


Figura 5. Para la recepción de camiones se utilizan plataformas volcadoras, luego mediante cintas o redler se transfiere el grano a los distintos sectores donde se lo requiera.

Limpieza del grano:

La materia prima llega a la planta con distintos contaminantes. Se clasifica el tipo de materia extraña a separar del grano en cuatro grupos (Figura 6).

Extra gruesos	Gruesos	Livianos	Finos

Figura 6. Clasificación de la materia extraña a separar del grano. Fuente Proglobal.

La importancia de limpiar el grano puede explicarse en los siguientes puntos:

-Se gana espacio adicional de almacenamiento: una celda de 100.000 ton de soja con solo 1% de cuerpos extraños, significa que estamos almacenando 1000 ton de basura.
-Si la basura tiene densidad 0.2 estamos ocupando 5.000 m3 de espacio que podría ser utilizado para almacenar granos.
-En 5.000 m3 podríamos almacenar 3.500 ton más de soja.
-Si el grano esta limpio se podría obtener una humedad más homogénea a la salida de las secadoras.
-Se podrían prever puntos de potenciales incendios dentro de la secadora.
-Mejora la performance de la secadora.
-Se reduce la energía consumida por tonelada en las secadoras.
-Se evita transportar basura que tanto daño causan a todos los equipos.
-Se minimiza el fenómeno de segregación, evitando los problemas acarreados con los fondos de silos [6].

Las maquinas de limpieza se dividen en tres segmentos, mecánicas, neumáticas y mixtas desarrolladas para distintas aplicaciones y tipo de limpieza.

En los equipos de limpieza mecánica, existen dos tipos diferentes, las cribas rotativas para limpieza de extra-gruesos y zarandas para limpieza de gruesos y finos de granos en un solo paso.

Cribas rotativas:

Son ideales para ser colocadas en la recepción o descarga de camiones, para filtrar cualquier elemento que pueda obstruir los sistemas de transporte como aplicación especial se suelen colocar sobre las secadoras de granos lo que asegura que las mismas no tendrán posibilidad de obstrucción evitando posibles siniestros de incendio y logrando una mayor eficiencia en el secado ya que no se gasta energía secando residuos.

Su funcionamiento es muy sencillo, como se observa en la Figura 7 es alimentada mediante una boca de entrada que hace que la mezcla ingrese de un equipo que le suministra como puede ser un elevador de cangilones, directamente a un extremo del canasto rotativo que es comandado por medio del grupo motriz. Debido a la inclinación y al movimiento de rotación del cilindro la mezcla que ingresa se desplaza hacia el final del cilindro, permitiendo utilizar la mayor cantidad de superficie de limpieza posible. El grano limpio pasa por la malla del canasto y va directamente a la tolva de salida.

Para evitar que nada de este material se fugue por la tolva de descarte, en la parte final del canasto se encuentra una espira de tipo sin fin, que tiene como función retrasar la salida del material hacia la descarga de elementos bastos. De este modo se asegura una buena separación de la mezcla entre los granos a seleccionar y el resto.

Por encima de la malla y desplazándose desde la boca de entrada hacia la tolva de descarte pasan los elementos que forman la mezcla y que superan el tamaño de la malla los cuales son considerados de descarte.

La tolva de salida del material limpio se conecta a otro equipo para seguir un proceso continuo o también puede conectarse a un silo de almacenamiento para ser guardado y procesado en otro momento.

La capacidad de estas cribas es de 100 a 300 ton/hr [7].

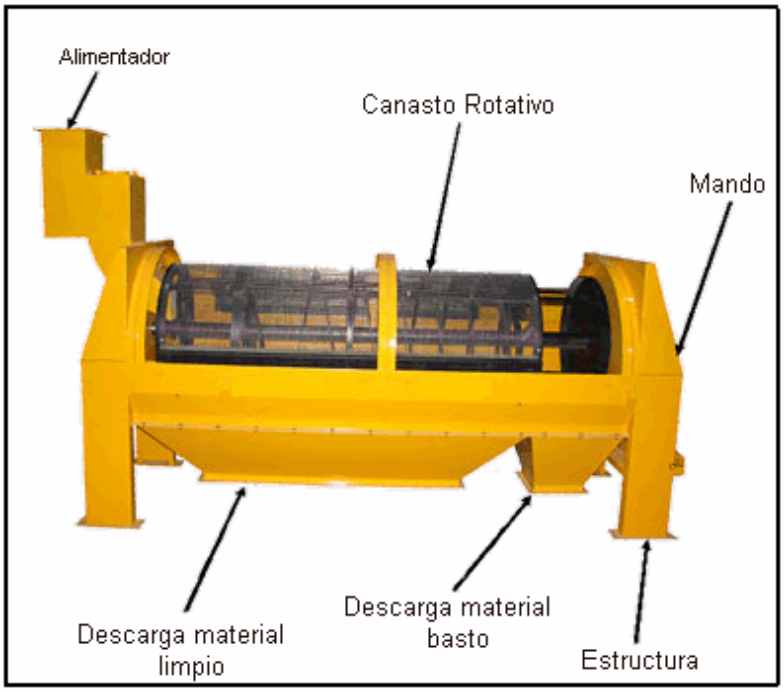


Figura 7. Esquema de una criba rotativa.

Zarandas.

Como se muestra en la Figura 8, el material ingresa al equipo en el extremo superior izquierdo de la figura, donde es distribuido en el ancho total del tamiz, deslizándose así hacia la descarga del equipo.

En el trayecto de entrada hasta la salida, las partículas gruesas se deslizan sobre la superficie del primer tamiz, mientras que los livianos y granos de menor tamaño pasan a través de este, hasta un segundo tamiz de selección, en el cual quedan las partículas de tamaño mediano (grano), mientras que las más pequeñas (livianos) caen al piso del

equipo. En cada una de estas etapas el material es sometido a movimientos de vaivén el cual acelera el proceso de separación y conduce el material a la descarga de cada una de las etapas

En la actualidad se tiende a reemplazar el movimiento vibratorio de las zarandas por un único movimiento giratorio que provoca que el material al comienzo del recorrido a través del tamiz siga una trayectoria circular horizontal, a medida que el producto avanza, el movimiento deja de ser circular y se transforma en rectilíneo horizontal al final del recorrido. Al no poseer ninguna componente vertical, el movimiento provocado por las zarandas asegura que el material en todo el trayecto este en contacto con el tamiz obteniendo un rendimiento óptimo en la separación.

Otra característica de las zarandas son las esferas de impacto. Estas tienen como fin impedir el acumulamiento de material sobre el tamiz, este efecto se produce al impactar esferas de caucho contra el marco del mallado, y rebotando finalmente contra la superficie inferior del tamiz de selección [8].

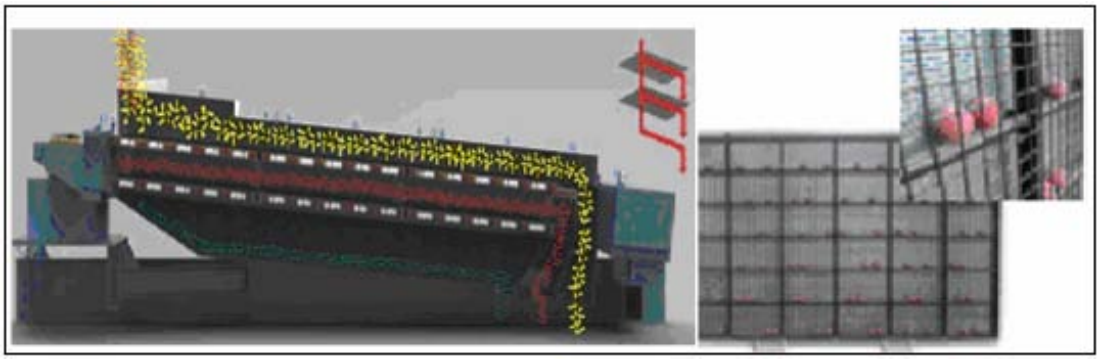


Figura 8. Esquema general de una zaranda. En amarillo se representa el camino recorrido por los gruesos, en rojo por el grano y en verde por finos. A la derecha se muestran en detalle las esferas de impacto.

Limpieza neumática.

Este tipo de limpieza es realizado por multiaspiradores. Los mismos sirven para la eliminación de cuerpos volátiles como cáscaras, chauchas y polvo, denominados finos. A su vez disminuyen el riesgo de explosiones de polvo. No tienen desgaste por no poseer partes móviles.

El grano entra en la cámara y va atravesando una serie de cascadas, el flujo de grano es atravesado por aire, que se lleva todas las partículas mas livianas que el grano (Figura 9) [8].

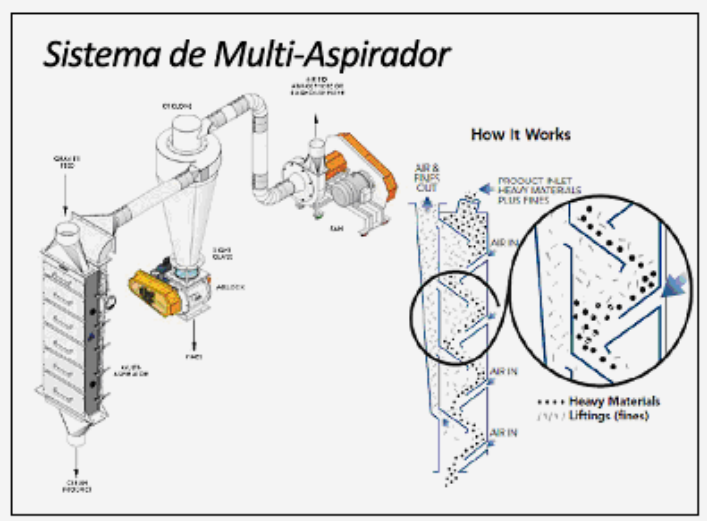


Figura 9. Limpieza neumática. Esquema general de una multiaspiradora.

Mesa densimétrica:

Funciona mediante la combinación de limpieza mecánica y neumática (Figura 10).

El producto ingresa a la superficie de la mesa, desplazado por medio de un movimiento de vibración y acompañada de una corriente de aire ascendente, formando una capa de aire entre la mesa y el grano, este se distribuye en un plano horizontal, según el peso específico propio de cada grano. Los componentes livianos fluyen sobre la superficie, acumulándose en el lado mas bajo de la mesa, mientras que los granos de mayor peso ocupan las capas inferiores, desplazándose hacia el lado más alto y siguiendo la trayectoria más corta de la mesa. Para su funcionamiento la maquina posee dos motores, uno para la vibración y otro para las turbinas, cada una con regulación independiente.

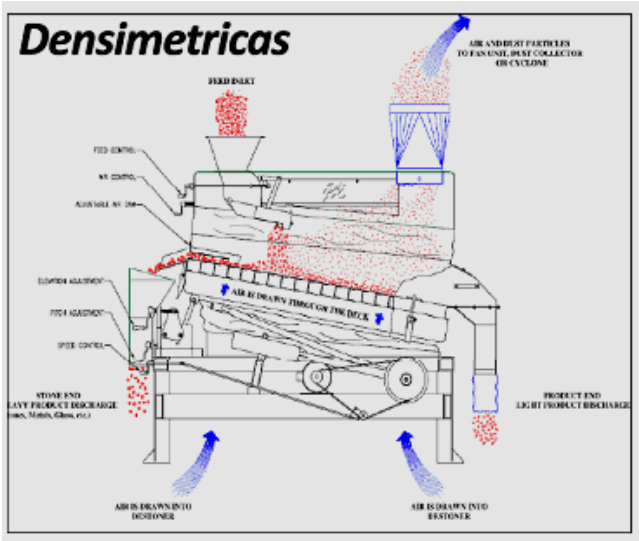


Figura 10. Combinación de limpieza mecánica y neumática.

El sistema de vibración está montado sobre fibras plásticas de alta resistencia y durabilidad, libres de mantenimiento. Logran la separación de materiales de igual tamaño pero distinta densidad [9].

El grano se limpia en dos ocasiones, una denominada pre-limpieza, tras la recepción de la mercadería y la otra “prep room”, o sea previo al ingreso a la sala de preparación del grano para su posterior ingreso a sala de extracción.

A modo orientativo, se muestra un ejemplo de un tren de maquinarias destinadas a limpieza (Figura 11) [6].

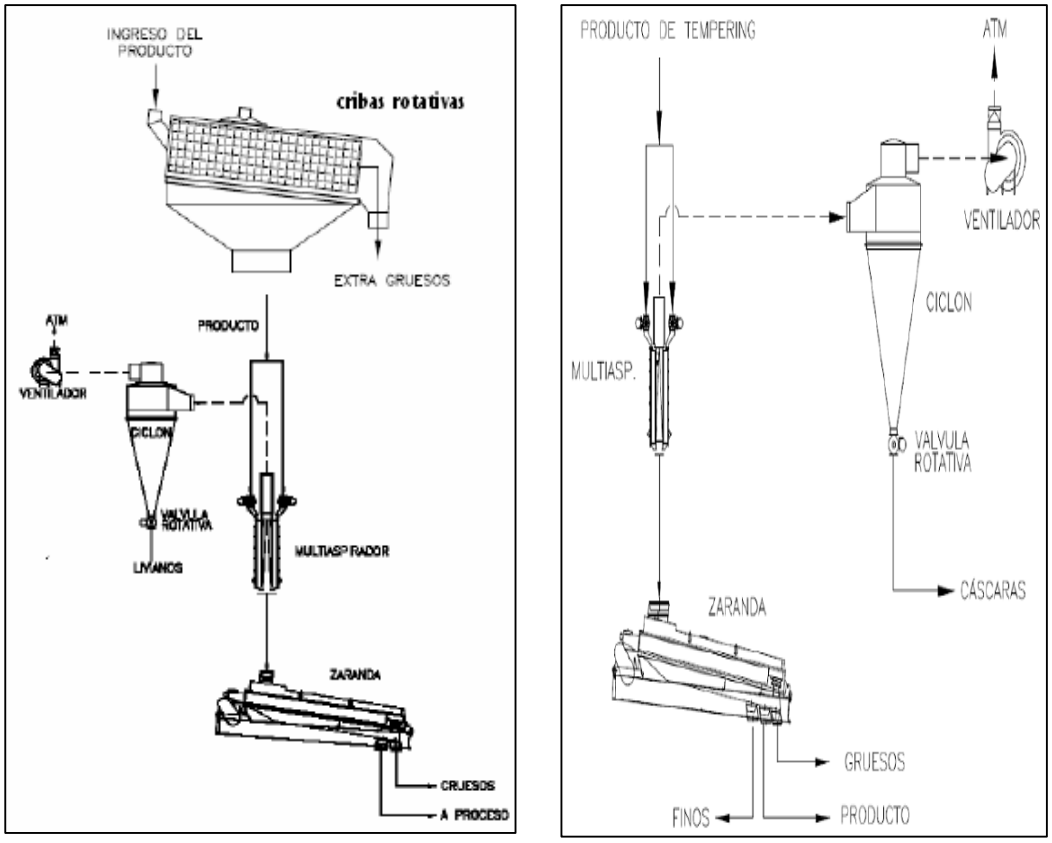


Figura 11. En el esquema de la derecha se muestra un ejemplo de tren de maquinarias para la pre-limpieza de la muestra y en el esquema de la izquierda un ejemplo del sistema de maquinarias ‘prep room’.

Secado

Los principales sistemas de secado son clasificados con relación al movimiento del grano y al flujo del aire a través de la secadora (flujo cruzado, flujo mixto, flujo concurrente y contraflujo). El aire y el grano se mueven en direcciones perpendiculares en las secadoras de flujo cruzado, en direcciones paralelas en las de flujo concurrente y en direcciones opuestas en las de contraflujo. El flujo del aire y del grano en las secadoras de flujo mixto es una combinación de flujo cruzado, concurrente y contraflujo.

En Argentina, las secadoras de alta capacidad de secado más frecuentes son las de flujo cruzado y flujo mixto.

Todas las secadoras continuas poseen una sección de enfriado en la cual el grano caliente y seco es enfriado a una temperatura de 5°C por encima de la temperatura ambiente del bulbo seco. Durante el proceso de enfriado, 0,5 a 1% de humedad es removido, dependiendo del tiempo de permanencia del grano en la sección de enfriado.

En un diseño estándar, el grano permanece en la sección de secado el doble del tiempo que permanece en la sección de enfriado de la secadora. Las direcciones relativas del movimiento del grano y del aire en las secciones de secado y de enfriamiento son las mismas en estas secadoras, excepto en las de flujo concurrente (en las cuales el grano es enfriado por contraflujo) [10].

Secadora flujo cruzado o de columnas:

La Figura 12B, es un esquema de una secadora continua convencional de flujo cruzado. El grano fluye por gravedad desde la tolva de grano húmedo hacia la zona de secado, que consiste en una o varias columnas de grano construidas con placas perforada. El aire caliente es forzado en las columnas a pasar perpendicularmente a través del grano desde el plenum de aire. Un proceso similar ocurre en la sección de enfriado donde se emplea aire ambiente. El espesor de las columnas de grano es de 0,25– 0,45m, la longitud de la columna en la sección de secado es de 3 a 30m, y en la sección de enfriado de 1 a 10m.

Las secadoras convencionales de flujo cruzado utilizan dos ventiladores, uno de secado y otro de enfriado. El aire de ambos ventiladores pasa a través del grano y es liberado directamente a la atmósfera. El flujo de aire de la sección de secado y enfriado varia de 83 – 140 m3 / min / tonelada. La presión estática es relativamente baja, 0,5 – 1,2 kPa.

La velocidad del grano en las columnas, y por lo tanto el tiempo de retención de grano en la secadora, es controlado mediante las revoluciones por minuto (rpm) de los basculantes o roscas de descarga. La velocidad y el tiempo de retención del grano en la secadora dependen del contenido inicial de humedad del grano, la temperatura y caudal del aire de secado, y de las dimensiones de la secadora.

El secado de una secadora de flujo cruzado convencional es de manera no uniforme, ya que el grano próximo al lado por donde ingresa aire caliente a la columna es sobresecado y sale de la secadora a una temperatura próxima a la temperatura del aire de secado, y el grano próximo al lado por donde sale el aire de la columna posee una temperatura bastante inferior a la del aire de secado y es subsecado. La mezcla del grano con alta temperatura y sobresecado, con el grano a baja temperatura y subsecado, produce en la descarga de la secadora una masa promedio de grano a la temperatura y contenido de humedad deseados.

Secadora de flujo mixto o caballetes:

La Figura 12A muestra las características de una secadora de flujo mixto o también llamada de caballetes. El grano en el interior de la secadora fluye a través de caballetes horizontales. Estos caballetes constituyen conductos de entradas y salidas alternadas de aire de la secadora. El aire pasa al grano a través de la base abierta de estos conductos y

fluye a través del grano hacia los cuatro conductos o caballetes de salida de aire que rodean al de entrada. Los caballetes de salida de aire están conectados a un plenum de aire servido equipado con ventiladores.

Las dimensiones de las zonas de secado y enfriado depende de la capacidad de la secadora. La altura total de la secadora puede variar de 10 a 30 m, con el 20 – 30 % de la secadora ocupada por la sección de frío.

En las secadoras de flujo mixto el grano está en contacto con el aire más caliente por un periodo de tiempo más corto que en las secadoras de flujo cruzado.

Los requerimientos de flujo de aire de las secadoras de flujo mixto son de 45 – 78 m^3 de aire/min/t de grano. La combinación entre bajo caudal de aire y el corto camino que debe recorrer por entre los granos hacen que la presión estática sea relativamente baja (0,25 – 0,5 kPa) y da la oportunidad (si no se utilizan ciclones) de instalar ventiladores axiales (más económicos que los centrífugos). La velocidad y tiempo de retención de las secadoras de flujo mixto es controlado por una serie de roscas o basculantes similares a los utilizados en las secadoras de flujo cruzado.

A medida que el grano fluye al interior de la secadora, este es tratado intermitentemente con rachas de aire caliente. Por lo tanto, el grano va disminuyendo paso a paso su contenido de humedad sin aproximarse nunca a la temperatura del aire. Debido al efecto de cascada y de mezclado que producen los caballetes, la diferencia en el contenido de humedad de los granos es ínfima. Esta es una de las principales ventajas de las secadoras de flujo mixto sobre las secadoras de flujo cruzado.

El costo de fabricación de las secadoras de caballetes es usualmente superior al de otros tipos de secadoras, debido a la mayor cantidad de acero utilizada en la construcción de caballetes.

Además, este tipo de secadoras usualmente requiere dispositivos especiales para prevenir la polución del aire (ciclones) debido a la alta velocidad de salida del aire.

Por estos motivos, las secadoras de flujo mixto generalmente poseen costos fijos superiores a la de flujo concurrente o flujo cruzado [10].

Alternativa secadora sistema mixto:

Es la combinación de una secadora de flujo cruzado con una de caballetes. Como podemos observar en la (Figura 12C), el grano desciende en zig-zag rotando sobre sí mismo progresa rodeado por una corriente de aire que fluye en su mismo sentido y cruzándolo. El sistema de descarga es por basculantes. Las columnas de a pares desembocan en una batea común y una placa barredora fija “limpia” el grano depositado sobre el cuerpo del basculante por barrido.

Las características distintivas de este sistema de secado son:

1-Rotación del grano sobre sí mismo en los medios caballetes.

2-El grano recorre iguales caminos en su descenso.

3- Con el sistema de descarga bien ajustado el tiempo de residencia es el mismo.

2- Secado uniforme.

5- Contrapresión para pasar aire baja (18/22mmca).
6- Las paredes laterales exteriores de la maquina no están en contacto con el grano, por lo que no condensan con el frío exterior. (Menos suciedad).
7- Ventiladores o extractores en toda la altura de la secadora permitiendo buena distribución del aire de secado.
8- El grano es acompañado por un momento en su camino de descenso y luego tiene un tempering o reposo sin ser atravesado por el aire y esto en toda la altura del equipo.
9- La columnas o planos de aire caliente por un juego de depresiones atraviesan el grano con velocidades muy bajas por ende no hay disparidad de temperaturas.
10- Altos caudales de aire, por cantidad de grano en proceso [11].

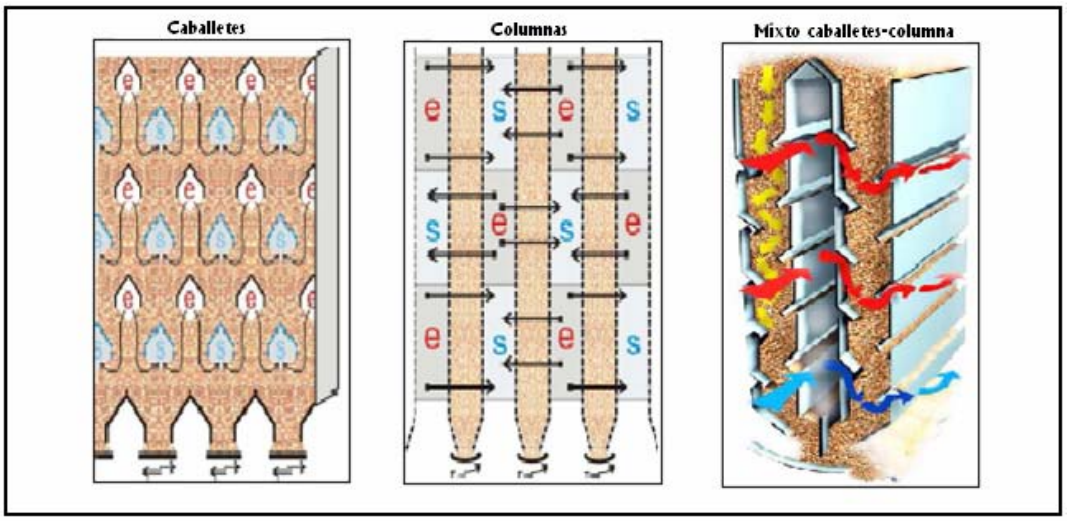


Figura 12. Sistema de secadoras: A. secadora de flujo mixto o caballetes, **B. secadora** de flujo cruzado o de columna, **C.** secadora mixta de caballetes-columna. En color rojo se identifica entra del aire de secado caliente y en color azul se indica la salida del aire de secado con menor temperatura. Fuente: ASAGA, Curso Crushing 2010, Presentación Mauricio Heindenreich.

Sala de preparación:

En la forma más simple de preparación de la soja, los porotos se limpian, se quiebran en ocho partes, se calientan a 50 – 70°C, se los lamina y luego se los lleva al extractor. Con este proceso de preparación, se puede producir una harina con un 44 % de proteína con posterioridad a la extracción. Esta harina posee un contenido bastante alto de fibra, debido a que la cáscara no ha sido removida. Como consecuencia de que este alto contenido de fibra no es deseable para el forraje utilizado para alimentar aves de corral, muchos procesadores de aceite quitan la cáscara y producen una harina con alto contenido de proteína, aproximadamente, un 48%.

Esto agrega un paso extra al proceso, existen por lo menos dos métodos para lograr este objetivo. Uno es el método "tradicional" de remoción de cáscaras mediante el tamizado y la aspiración. Mediante dicho proceso, las cáscaras son quitadas con posterioridad al quebrado. Para asegurar la remoción efectiva de las mismas, los porotos se deben secar en un secador de grano y enfrían hasta que quede un contenido de humedad del 10 % y luego se templan y almacenan durante aproximadamente tres días. El proceso de templado contrae las semillas dentro de las cáscaras y esto permite la fácil remoción de

estas últimas mediante el tamizado y la aspiración (Figura 13). Este proceso ha sido utilizado durante varios años, pero sin embargo se presentan algunos inconvenientes.

Los porotos pueden requerir el calentamiento en el secador de granos, y luego se enfriarán mientras son almacenados durante aproximadamente tres días. Posteriormente estos deben ser calentados nuevamente en el proceso de preparación, lo cual agrega costos adicionales de combustible. Esto se compara con el sistema de descascarado en caliente, donde los porotos sólo se calientan una vez [12].

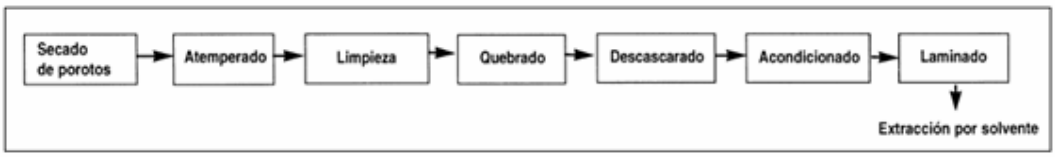


Figura 13. Esquema de descascarado mediante el método tradicional.

El proceso de descascarado en caliente (Figura 14) es un proceso relativamente nuevo, pero en la actualidad se encuentra en uso en varias plantas de procesamiento de soja. Por este motivo es el método que se explicará con mayor detalle y para el cual se presenta un gráfico detallado en la Figura 18.

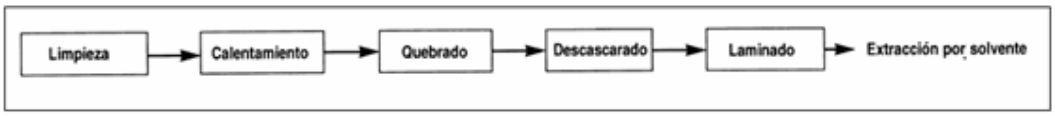


Figura 14. Esquema del proceso de descascarado en caliente del poroto de soja.

De las celdas o silos de almacenamiento, mediante cintas transportadoras se moviliza la materia prima hacia los silos diarios de producción para darle ingreso a la sala de preparación, donde la primera tarea que se realiza es la limpieza del grano, como ya se expuso en la página 13 y en la Figura 11.

LIMPIEZA DEL GRANO ENTERO:

Es de suma importancia que la soja que ingresa al Sistema de Descascarado en Caliente esté limpia y libre de materiales extraños que sean superiores a los 12,7 mm^3. Los materiales más grandes pueden encajarse entre los componentes internos del equipo de descascarado en caliente y ocasionar una acumulación de material que puede provocar la corrosión y acortar la vida útil del equipo y reducir su eficiencia preestablecida. El polvo del grano y la acumulación de material presentan un riesgo de incendio. En el caso de no tener limpieza en recepción se puede utilizar cribas rotativas, imanes rotativos, seguidos por multiaspiradores y zarandas, como ya expuse en la página 14 y en la Figura 11.

CALENTAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRANOS ENTEROS:

Una vez limpias la semillas pasan por el VSC (acondicionador de semillas vertical) (Figura 15). Este es un recipiente aislado con una red de tubos internos para vapor que están diseñados para calentar en forma uniforme, gradual e indirecta los granos enteros

desde temperatura ambiente a aproximadamente unos (60º a 76º C). Dichos tubos están distanciados entre sí por un pequeño espacio, por el cual caen los granos por acción de la gravedad. La velocidad de caída de los mismos es regulada por una válvula rotativa ubicada en el fondo del equipo. Los granos de soja enteros y limpios ingresan en la parte superior del VSC. A medida que la temperatura se incrementa, la humedad del grano emigra a la superficie permitiendo que el sistema de aspiración con aire caliente, remueva la humedad, secando el grano y ablandando la cáscara. El aire se calienta mediante radiadores por los cuales circula vapor. El tiempo de retención de los granos a lo largo de la columna es de 30 a 40 minutos.

Figura 15. Fotos del lado izquierdo: arriba muestra como se alimentan los (VSC) mediante readler, al medio una sección de calentamiento con los tubos por donde circula el vapor y abajo la descarga del grano acondicionado que se dirige al JET DRYER. En la foto de la derecha se observan dos acondicionadores verticales de semilla. Fuente: imágenes otorgadas por técnico de planta, cuya identidad es reservada.

CALENTAMIENTO DEL GRANO / SECADO DE LA CÁSCARA:

Los granos ya acondicionados, pasan a un equipo de secado instantáneo en el cual mediante aire muy caliente se completa el proceso de calentamiento (Figura 16). Los granos ingresan al equipo jet dryer a través de una tolva de entrada y se trasladan a lo largo de la secadora por una cinta metálica. El aire pasa a través de la cinta y del colchón de granos. Los granos ingresan a la secadora con una temperatura que está por encima de los 60º C y deberían salir con una temperatura de aproximadamente (88º C-

93º C). En cuestión de minutos, la temperatura de la superficie de la cáscara aumenta más de 20F (6,6º C) haciendo que la cáscara se encoja y se afloje del grano.

La velocidad de la cinta de la jet dryer se controla por medio de un mando de velocidad variable. Esto le permite al operario controlar el tiempo de residencia, la profundidad de los granos en la secadora, y el secado resultante.

El aire caliente que se usa se recicla a través de un ciclón/filtro por medio del ventilador del sistema de aire principal, retirando del sistema de aire la cáscara suelta y el material fino que se hubiera separado del grano en la jet dryer.

El aire caliente de la secadora se obtiene mediante radiadores de vapor. Los granos fluyen por gravedad desde la jet dryer a los molinos quebradores (hulloosenators).

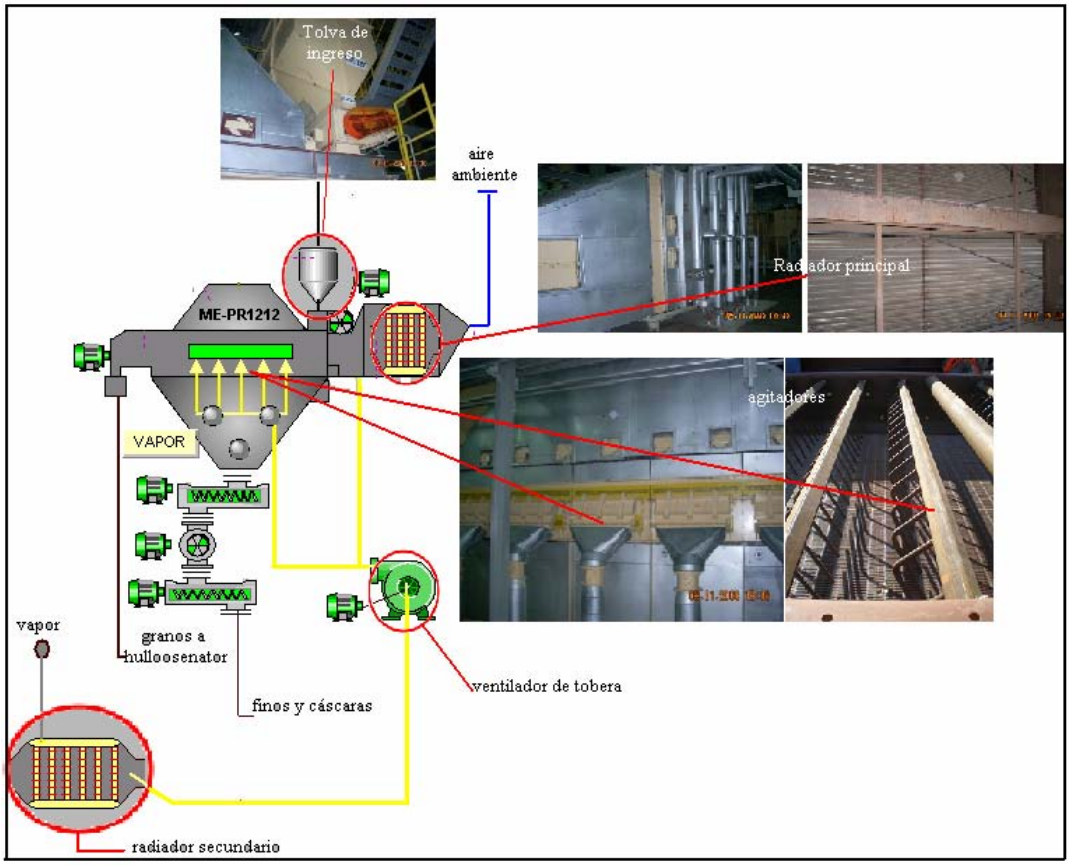


Figura 16. Esquema y fotos de un Jet Dryer. Se puede observar la tolva de ingreso, el sistema de agitación, la cinta transportadora, el sistema de calentamiento de granos y la tolva de descarga. Fuente: imágenes otorgadas por técnico de planta de identidad reservada.

EL "HULLOOSENATOR" (PRIMERA ETAPA DE QUEBRADO):

El "Hulloosenator" funciona aflojando la cáscara de los granos. Utiliza dos pares de rolos, el primer par de rolos son de acero corrugado y se usa para partir la soja en la mitad siguiendo su línea de fisura natural. El segundo par de rolos están recubiertos en goma y se usan para deslizar o raspar la cáscara de los granos quebrados a la mitad. A diferencia de los pares dobles de acero para quebrado o de las máquinas de impacto, los

rolos de goma reducen la cantidad de finos. Desde el hulloosenator, el quebrado y la cáscara caen por gravedad al CCD

ACONDICIONAMIENTO / SECADO:

La mezcla de cáscara suelta y de grano quebrado de la primera etapa del quebrado pasa directamente al CCD (multiaspirador aire caliente). La mezcla cae en cascada enfrentándose a aire caliente que fluye hacia arriba. La cáscara y los finos se aspiran del aspirador y se separan en un ciclón. El aire se recircula con cantidades de aire ambiente controladas que se introducen a través de un calentador de aire que se usa para elevar la temperatura del aire ambiente variando la cantidad de acondicionamiento y secado. Los granos quebrados pesados y algo de cáscara caen hacia la segunda etapa del quebrado.

SEGUNDA ETAPA DE QUEBRADO:

Los quebradores tienen un doble par de rolos de acero rotativos (Figura 17). Los granos de soja quebrados pasan por dos pares de rolos que fracturan las mitades en cuartas partes luego de pasar por el par superior y en octavas partes luego de pasar por el par inferior. Debido a que los granos se entibian antes de quebrarlos, se produce una cantidad mínima de finos.

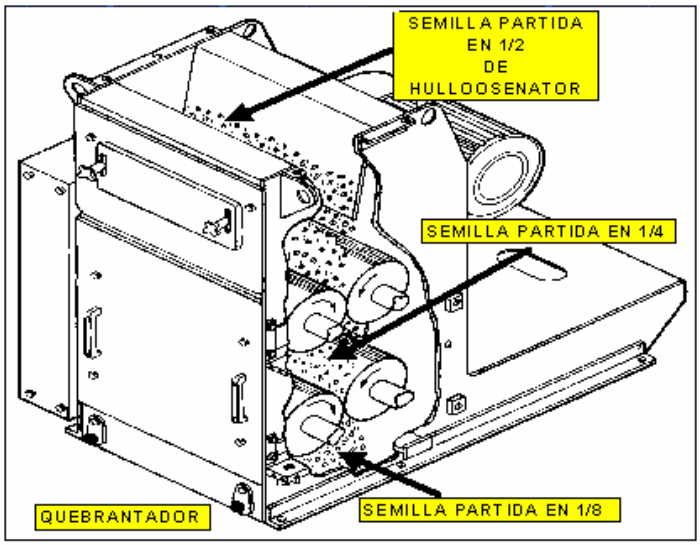


Figura 17. Esquema de un molino quebrantador. Se observan los dos pares de rolos de acero, superior e inferior. Fuente: material otorgado por técnico de planta.

ACONDICIONAMIENTO / SECADO:

Los granos de soja quebrados y la cáscara que queda de los rolos de quebrado caen al CCC (multiaspirador aire frío). La mezcla cae en cascada pasando por aire frío que fluye hacia arriba. La cáscara y los finos se aspiran del aspirador y se separan en un ciclón. El aire se recircula con cantidades de aire ambiente controladas que se inducen para variar la cantidad de acondicionamiento y enfriamiento. El quebrado cae por el aspirador y se acondiciona a la temperatura y humedad necesarias para el laminado.

SEPARACIÓN DE CÁSCARA:

La zaranda para la cáscara es un separador oscilante de dos niveles. Los sólidos que retiran los ciclones del CCD y del CCC se separan en “elementos que quedan sobre la zaranda”, “elementos medios”, y “finos”. Los “elementos que quedan sobre la zaranda”, generalmente las partes de cáscara más grandes, salen del nivel superior y se envían a procesamiento de cáscara. Los “elementos medios”, una mezcla de partes más chicas de cáscara y de quebrados, salen del segundo nivel y se envían al aspirador de descascarado secundario. Los “finos” que caen de ambos niveles de la zaranda se mezclan con el producto que va a los rolos laminadores.

DESCASCARADO SECUNDARIO:

El aspirador del descascarado secundario divide los “elementos medios” de la zaranda de la cáscara en cáscara y pedazos del quebrado en base a su densidad diferente. Al igual que en la etapa de acondicionamiento/enfriamiento, la mezcla cae en cascada enfrentándose con aire de enfriamiento que fluye hacia arriba. La cáscara y los finos se aspiran del aspirador y se separan en un ciclón. El aire se recircula con cantidades de aire ambiente que se ajustan y que se inducen para variar la cantidad enfriamiento. El quebrado cae por el aspirador y pasa a los rolos laminadores, y la cáscara se envían al procesamiento de cáscara [13].

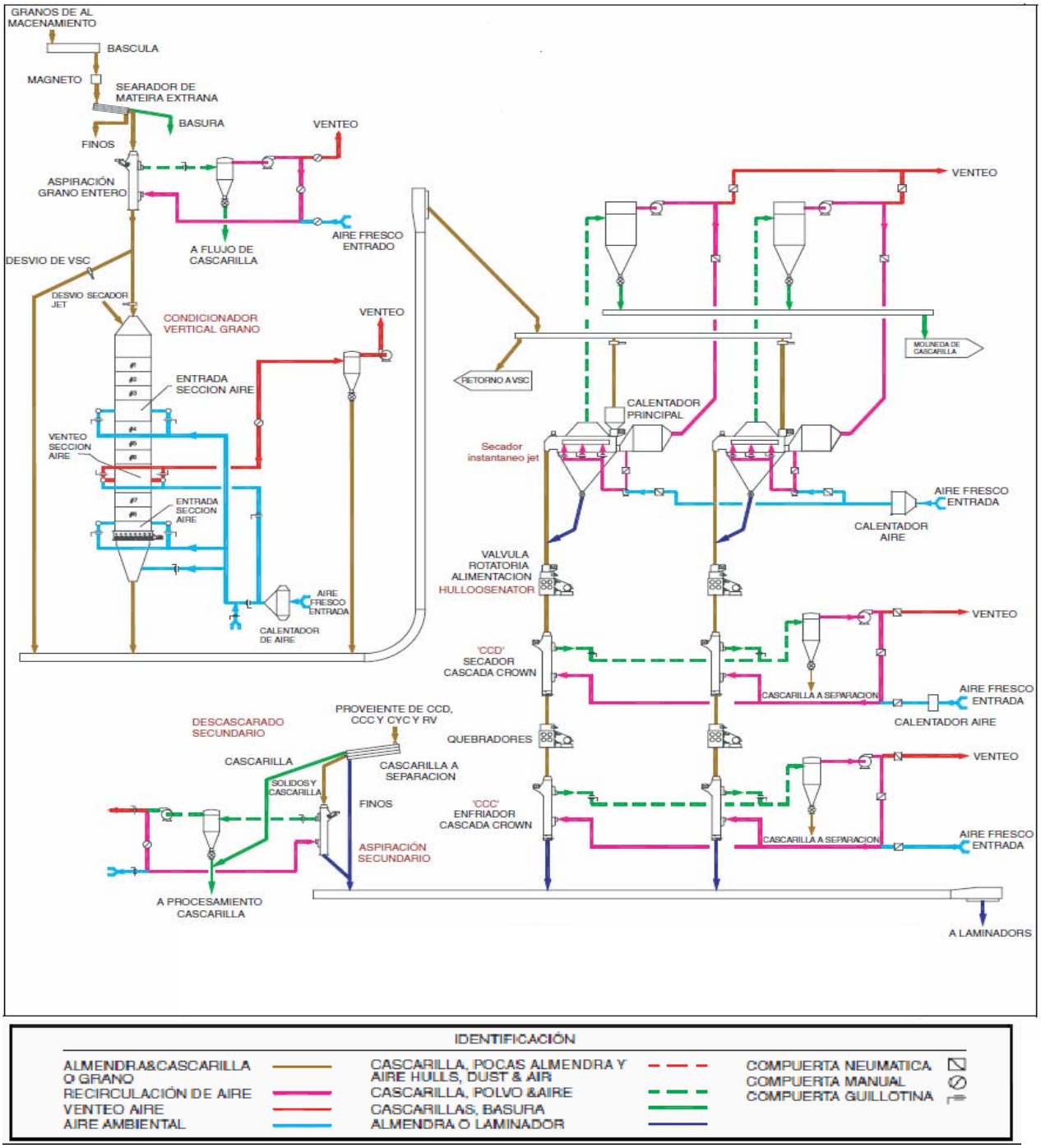


Figura 18. Esquema del sistema de descascarado en caliente. Fuente: CROWN IRON WORKS COMPANY.

Ventajas y desventajas del descascarado en caliente.

Algunas ventajas de los sistemas de descascarado en caliente son: los porotos son calentados sólo una vez, disminuyen los gastos por consumo de energía, y el proceso puede ser instalado de manera tal que se emplee la gravedad, reduciendo costos en transportes y elevación.

Entre las desventajas se encuentran, un mayor requerimiento de hp con relación a los sistemas tradicionales; si los porotos están muy secos, se pueden sobresecar durante el proceso provocando finos, los cuales pueden dar lugar a problemas de drenaje en la extracción, ocasionando inconvenientes en los extractores de lecho profundo [12].

Laminado:

El proceso de laminado consiste en su forma más simple, convertir un trozo de material relativamente granular en una lámina delgada. La lámina tendrá de 4 a 6 veces la superficie del grano original. Además hay un marcado descenso en la distancia entre el interior y la superficie de las partículas, esto genera que el solvente, la humedad o el calor puedan saturar totalmente el producto, al recorrer una distancia máxima a través de la misma de 0,13 mm. Esta reducción en distancia aumenta la eficiencia en el extractor, siguiente paso del proceso, debido a una mejor percolación del solvente a través de las láminas individuales y mejor drenaje de solvente de las láminas desgrasadas. Esto lo veremos con mayor detalle en el siguiente paso del proceso.

Para lograr la mejor performance de un molino laminador, los mejores resultados de extracción y los menores costos de proceso, la semilla debe ser apropiadamente preparada para la operación de laminado.

Para su preparación, las semillas grandes deben romperse en trozos no mayores de (4 mm a 6 mm), reduciendo el tamaño de partícula e incrementando la superficie. Además los trozos más pequeños requieren menos potencia para laminar, y pueden ser procesados a mayor caudal que los trozos grandes del mismo material. En caso de no realizar el descascarado, romper las semillas antes del laminado también permite retirar una porción de la cáscara, incrementando la capacidad del molino (al procesar mayor cantidad de semillas) y reduciendo el desgaste de los rodillos (al disminuir la presencia de materiales extraños).

Por otro lado, un buen trabajo de calentado antes del laminado reduce el consumo de energía en el laminador. El laminado de los porotos fríos (26 a 30°C) exige una potencia de alrededor de 5 a 6 kWh por tonelada de semillas, mientras que el laminado a 55°C a 60°C requiere sólo de 3 a 4 kWh por tonelada de semillas. La etapa de calentar los porotos quebrados (si durante el proceso industrial no se utiliza el método de descascarado en caliente), se realiza a menudo por medio de los tradicionales "cookers" (cocinadores).

Un cocinador es un cilindro vertical con platos horizontales integrados que se calientan indirectamente con vapor. En el centro, un eje vertical mueve y transporta los porotos quebrados, que caen por gravedad de nivel en nivel.

La semilla debería ser acondicionada a 10-11 % de humedad y 65-70 °C, para cualquiera de los procesos que se utilicen (descascarado en caliente, frío o sin descascarar).

Durante el proceso de laminado de la semilla, se rompen algunas de las células que contienen aceite. La rotura máxima de paredes de células sólo se logra a altas presiones (55-60bar) y a través del uso de velocidades diferenciales entre rodillos, esto imparte una acción de corte que alarga el producto que se está laminando además de las elevadas fuerzas compresivas. Esta combinación de compresión y corte es necesaria para lograr un adecuado nivel de desintegración de la pared de la célula.

Los rodillos de laminado son de gran diámetro y usualmente fabricados de una variedad de grados de fundición de hierro con ejes de acero aleado en los extremos del rodillo.

Se ofrecen rodillos de diferente composición para combinar características tales como rigidez, resistencia al desgaste, resistencia mecánica, resistencia al escamado, y propiedades térmicas.

Los rodillos de los laminadores generalmente serán de diámetros variables que van desde 450 mm hasta alrededor de 800 mm. Los rodillos de mayor diámetro son ventajosos por su mejor ángulo de agarre y mayor capacidad de producción. Además, tendrán al producto más tiempo, ofreciendo una menor velocidad de deformación y menor requerimiento de potencia. La longitud del rodillo no debería ser mayor que dos veces el diámetro del mismo, por lo tanto, los de mayor diámetro, al permitir longitudes mayores, incrementan la capacidad individual de la máquina.

Al operar con mayor velocidad de rodillos se incrementa el patinamiento del producto en el contacto con el rodillo y pueden producirse más finos y mayor calentamiento friccional.

El mejor rendimiento de un molino laminador (y de la extracción) puede obtenerse sólo si la alimentación es presentada al molino de manera uniforme y pareja. Los rodillos laminadores tratarán de procesar el 100% de la corriente de alimentación el 100% del tiempo. La alimentación exagerada produciría fuerzas de separación indeseables, láminas gruesas y altas cargas en los cojinetes y mandos, mientras que una alimentación disminuida no abastecería los rodillos adecuadamente y podría resultar en contacto metal con metal, con astillado y “pitting” como resultado.

Los dos tipos de alimentadores más comunes empleados en molinos laminadores son alimentadores de rodillos y por vibración. Los alimentadores de rodillo consisten en un rodillo que gira lentamente y en una compuerta de alimentación ajustable.

Los alimentadores vibratorios emplean una caja vibrante o canaleta para transportar el material de una tolva de alimentación a los rodillos. La velocidad de alimentación en un alimentador vibratorio es controlada ajustando la amplitud (distancia que la caja viaja en cada carrera) o la frecuencia (número de carreras por segundo) de la caja en movimiento.

Luego del laminado, el material ya se encontraría en condiciones óptimas para ingresar a la sala de extracción. De todos modos, algunas plantas realizan un paso extra en la preparación que se detalla a continuación [14].

Expander:

En el expander las láminas son calentadas con vapor directo y se hacen pasar a través de una matriz para transformarlas en cartuchos (collets). En el expander se inyecta vapor dentro de la torta, aumentando su nivel de humedad en un 2,3 %. El vapor inyectado se condensa y es absorbido por la misma, en consecuencia libera su calor de vaporización y aumenta su temperatura. La humedad recientemente agregada y el calor, ablandan y plastifican la torta. Posteriormente se transforma en una masa elástica que fluye hacia el exterior a través de la matriz. Durante la descarga a presión atmosférica, dicha masa se infla adquiriendo una estructura similar a una esponja.

Los expanders pueden tener un diámetro de 8", 10" ó 12" (20, 25 y 30 cm respectivamente) con una relación largo/diámetro igual a 12, y pueden estar equipados con accionamientos de 75-150 hp para las unidades de 8" y 10", y 350 hp para las unidades de 12''.

Una vez que pasa por los expanders, el material se enfría a unos 60 °C, y se lo seca a una humedad final de alrededor del 10 %, para ser enviado al extractor.

A continuación se enumeran las ventajas del uso del expander:

1-Se puede lograr un contenido de aceite residual del 0.7 % en la harina laminando a 0.3 mm (0.012") para extracción directa o a 0.5 mm (0.020") para extrusión, ahorrando energía o bien incrementar la capacidad de los rolos en un 50 % aproximadamente laminando a 0.5 mm (0.020") para extrusión.

2- Láminas de soja de 0.3 mm (0.012") pesan aproximadamente 401 kg/m^3 y los collets extruidos aproximadamente 609 kg/m^3. Se pueden procesar alrededor de un 52 % o más del material en forma de collets en el mismo extractor.

3-Las láminas de soja tienen normalmente una retención de hexano del 33 % en el LEX, en comparación con el 20 % de retención en los collets. El drenaje más completo de los collets arroja como resultado una mayor remoción de aceite en cada ciclo de extracción, siendo el efecto acumulativo y obteniéndose una recuperación de aceite significativamente mayor durante los 6 ciclos de un extractor por percolación.

Los molinos de soja comunes sin extructores requieren alrededor de 1.120 litros de hexano por cada tonelada de lámina extractada, y producen miscela con un contenido de aceite aproximado del 30 %, mientras que los molinos de soja que usan expanders necesitan alrededor de 734 litros de hexano por tonelada de collets extraído y producen miscelas con un 35 % de aceite.

Resumiendo, los ahorros debidos a la introducción de un expander en una fábrica de extracción directa por solvente pueden obtenerse por medio de costos inferiores en el laminado, una mayor capacidad extractora y menor retención de solvente en el Lex, arrojando como resultado un menor consumo de energía y un aumento en los rendimientos de aceite crudo comercializable [15].

Sala de Extracción:

Luego de que las oleaginosas han sido apropiadamente preparadas son transportadas mediante redler hacia la sala de extracción, donde se realizará el proceso de extracción por solvente que consiste en la lixiviación del aceite de las láminas o los collets con un solvente.

El "solvente" que ingresará al extractor, es proporcionado por un destilador. Se utiliza Hexano Comercial (cuyo punto de ebullición oscila entre 63-69ºC)[16]. Posee una composición que se aproxima al 50% de Normal Hexano, algo de Pentano, 2 Metil Pentano, 3 Metil Pentano, muy poco de Heptano y trazas de Benceno [17].

Características generales del funcionamiento de los extractores:

La mayoría de los extractores modernos son similares en su principio básico. Básicamente se trata de un lecho de material (capa de las láminas o collets existente en el extractor) que se mueve a través del extractor y a medida que dicho material circula, el solvente o la micela (mezcla de solvente y aceite que se forma luego de que el solvente ha entrado en contacto con el lecho y ha comenzado a extraer aceite) se filtran a través del lecho y de los tamices.

Finalmente existe un área de drenaje en el cual no se introduce micela o solvente nuevo, y se permite que el lecho drene tan lentamente como sea posible.

La mayor parte de los extractores también poseen el flujo de micela en contracorriente con relación al material sólido. Una vez que el mismo ingresa en el extractor, el material es embebido con micela concentrada (mayor porcentaje aceite posible). A medida que el material sólido pasa a través del extractor, el primero se lava con concentraciones cada vez más bajas de aceite en hexano y finalmente se lo lava con hexano puro, antes de que el material deje el extractor. La correcta utilización de estas etapas posibilita operar con concentraciones de micela más alta y menor ingreso de hexano al extractor, en consecuencia se necesita una menor recuperación de solvente lo cual produce ahorro de energía y dinero.

Las "láminas extraídas" conforman el material que sale del extractor antes de su ingreso al desolventizador (DT), también se las llama harinas blancas o lex.

La diferencia principal es la profundidad del lecho (capa de las láminas o collets existente en el extractor), existen extractores de lechos poco profundos y de lechos profundos. Los de lecho poco profundos son definidos como aquellos que poseen una profundidad inferior a 1 m. A la profundidad de 1 m algunas de las características de los lechos profundos se vuelven evidentes, y a una profundidad superior a los 2 m estas características son más significativas.

Algunos extractores, tales como el tipo rotativo, poseen lechos superiores a los 3,7 m. Para los extractores de lecho profundo es necesario emplear técnicas algo diferentes para obtener una buena extracción y un buen drenaje, como por ejemplo requieren láminas más gruesas. Esto, sin embargo posee efectos positivos y negativos, ahorra hp durante el laminado, pero aumenta el tiempo de extracción y el volumen del material que está siendo procesado.

Las unidades de lecho poco profundo requieren menos tiempo para drenaje y en consecuencia menos tiempo para cambiar la micela en cada etapa y en el drenaje final. Por esta razón dichas unidades requieren un tiempo de extracción total más corto. Además, los lechos poco profundos son atravesados por una cantidad de solvente inferior entre etapas y en el drenaje final. La desventaja es que, en ciertas ocasiones, para el arrastre ideal de los productos extraídos, resulta excesivamente reducido y requiere un mayor volumen de bombeado.

Ejemplos de los extractores de lecho poco profundo son el extractor Crown, y en ocasiones el De Smet y el Lurgi, dependiendo de su capacidad. La profundidad máxima del extractor Crown es 0,7 m [16].

La velocidad de extracción está determinada por el tiempo que se requiere en alcanzar el equilibrio de una micela pobre (exterior a las partículas), con el aceite o micela, del interior.

Para una extracción eficaz, es conveniente que los líquidos que participan en el proceso tengan la mayor temperatura funcional posible, para lograr una viscosidad apropiada que genere una mayor velocidad de emigración del aceite desde el sólido al solvente. La temperatura ideal es de 58°C ya que está limitada por la temperatura de ebullición del solvente de 68,7°C a presión atmosférica. Hay que tener presente que los vapores de hexano no extraen el aceite, solo el solvente líquido extraerá el aceite.

El extractor en si no es un recipiente calefaccionado. El calor para la extracción proviene de las dos entradas al extractor, solvente y láminas. Al solvente se lo acondiciona principalmente en el precalentador de hexano donde se aprovecha la energía residual de la corriente de vapores del DT luego de pasar por el primer evaporador y del calentador que utilizan en forma indirecta vapor. La temperatura de láminas se obtiene en diferentes etapas en el proceso de preparación.

La mayor extracción se realiza en los primeros minutos (por ejemplo: extracción del 75 % en 25 min. iniciales sobre un total de 77 min).

La "harina" es el material que se obtiene a la salida del desolventizador, los "finos" es la denominación del polvo fino que acompaña a las láminas o la harina, y en ocasiones se encuentra en la micela, en el aire de descarga u otro lugar donde no se lo requiere.

En cuanto a la presencia de finos en micelas, se sabe que es inevitable el “arrastre” de finos durante la operación extractiva y que tiene su máxima incidencia en la micela final. Este inconveniente debe ser minimizado antes de ingresar al sistema de desolventización de aceite (destilación). Además de optimizar la auto-filtración a través de los riegos sucesivos, es conveniente instalar separadores que reparen la calidad de la micela a destilar. Con este fin la tecnología más recomendada es la instalación de hidrociclones.

El extractor debe trabajar con una débil depresión interna (< 5 mm c.a.) para evitar fugas de solvente. Esta condición puede favorecer el ingreso de aire exterior, pero en una forma limitada (menos de 1,50 m3/ton de masa que ingresa).

Las modernas plantas de extracción de aceite, han informado pérdidas de solvente de aproximadamente 1 litro de solvente por tonelada métrica de materia prima procesada [18].

Extractor de circuito rectangular tipo loop.

Este es un tipo particular de extractor que arrastra los sólidos a través de una cámara con forma de circuito cerrado (Figura 19B). Es fabricado por Crown Iron Works & Co, quien vendió su primer unidad comercial en 1949 y ha sido modificado y agrandado en distintas oportunidades [19].

El material proveniente de la sala de preparación, pasan por la rosca sello e ingresan al extractor a través de la tolva de láminas. La rosca sello está formada por un tornillo sin fin helicoidal, en cuyo extremo de descarga le faltan espiras y cuenta con un brazo con contrapeso unido a un chapón que genera un tapón de láminas. El sello de sólidos que se forma constituye una de las protecciones para evitar el pasaje de vapores de hexano hacia la preparación [20].

El extractor emplea un transportador de masa que mueve el material sólido a través de una cámara cerrada de sección rectangular. La cámara se curva sobre sí misma, como una letra O grande, reposando sobre un costado.

El material sólido es depositado como un lecho de poca profundidad, usualmente de menos de 0,77 m (30 pulgadas), y se desplaza una distancia que es aproximadamente 50 veces la profundidad del lecho. Esto permite un amplio espacio para que el solvente y la misela percolen a través del lecho en diferentes etapas, sin requerir que el material sea dividido en celdas separadas por medio de placas divisorias [19].

El material fresco entra a la tolva de ingreso en el nivel superior y se desplaza ayudado por la cadena transportadora. Durante el trayecto por el nivel superior, atraviesa sucesivos lavados con micela. Al llegar al extremo del extractor, la cama de láminas ingresa en la curva y al continuar por el nivel inferior es lavada por el lado opuesto, de este modo recibe los lavados por ambos lados. El último lavado se realiza con solvente puro para remover el aceite restante de las láminas. Estas contienen más del 21% de grasa cuando ingresan al extractor y menos de 0.5% cuando lo abandonan. Una vez que lo abandonan el sólido pasa a llamarse harina blanca y el parámetro de contenido de grasa es una variable que indica la eficiencia del proceso de extracción.

En la descarga del extractor hay un dispositivo que mide en forma continua el nivel de producto en la tolva de descarga. Una acumulación excesiva en dicha tolva puede derivar en el atorado y rotura del extractor.

Luego de que la harina blanca abandona el extractor, se dirigen al D.T. a través de un redler. Este descarga en la rosca sello, similar a la rosca de alimentación del extractor, con la diferencia que está construida en acero inoxidable. El objetivo del sello en este caso es evitar el flujo inverso de vapores de agua desde el DT hacia el extractor.

Además del flujo de sólidos ya analizado dentro del extractor, tenemos circulación de líquidos y gases. El hexano puro ingresa en el nivel inferior del extractor, cerca de la descarga de láminas, con una temperatura óptima de 57°C. El solvente a medida que

lava la cama de láminas y extrae aceite a la misma va enriqueciéndose en aceite. La miscela resultante se deposita en las tolvas del extractor.

Para un extractor tipo Crown, de diseño en contracorriente, es necesario que la zona de contacto solvente-láminas de cada lavado no se mezclen con las vecinas, pues las diferentes concentraciones de cada lavado (que son el medio para lograr el funcionamiento en contracorriente) se igualarían, bajando la eficiencia de la extracción. Este es el motivo por el cual no debe permitirse la inundación del lecho. Los lavados que corresponden a tolvas consecutivas adyacentes no deben inundarse entre sí. Lo ideal es que se aproximen hasta diez centímetros y no se toquen, evitando contaminaciones entre lavados.

El sentido de avance de los lavados es en contracorriente al sentido de la cama de láminas. Cada bomba de lavado tiene varias cañerías de lavado sobre la misma tolva y una cañería sobre la tolva siguiente. A esta línea se la denomina lavado de avance. La micela circula hacia el extremo de la curva mediante rebalse de tolva a tolva y al aporte del lavado de avance. Una vez en esta tolva, la micela es bombeada al nivel superior y continúa circulando hacia la tolva full micela (concentración máxima de aceite en solvente). De allí es bombeada a través de hidrociclones y deja el extractor como micela concentrada limpia.

El nivel de líquido dentro del extractor está regulado por dos lazos de control, uno que mantiene el nivel en la última tolva del nivel inferior y otro que mantiene el nivel en la tolva full micela.

Esta gran cantidad de solvente caliente circulando genera constantemente vapores de hexano que saturan la atmósfera dentro del equipo. Para minimizar la pérdida de solvente al medio, el extractor está conectado al colector de venteo final y se regula un leve vacío aproximadamente de –1 mbar mediante un lazo de control. Estos vapores que son aspirados se recuperan en el condensador del extractor por enfriamiento con agua de torre. El hexano condensado es retornado al SWS (separador agua/solvente) para luego volver a ser bombeado al extractor [20].

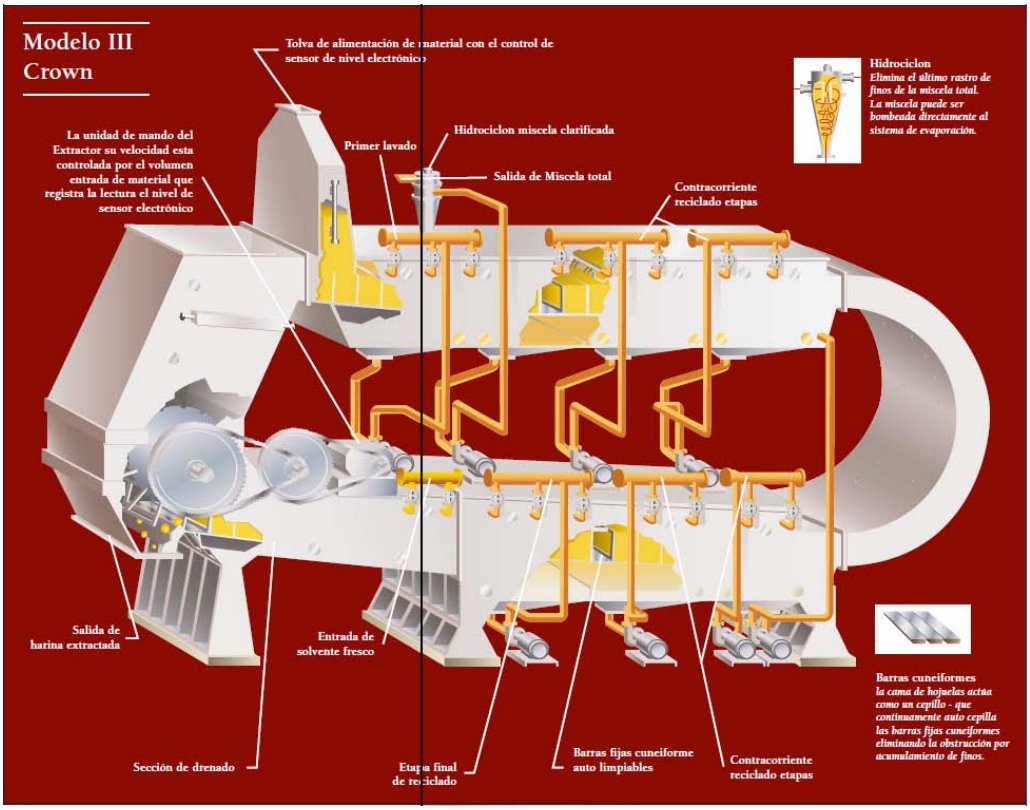


Figura 19A. Esquema de extractor circuito rectangular tipo loop, Crown Iron Works & Co

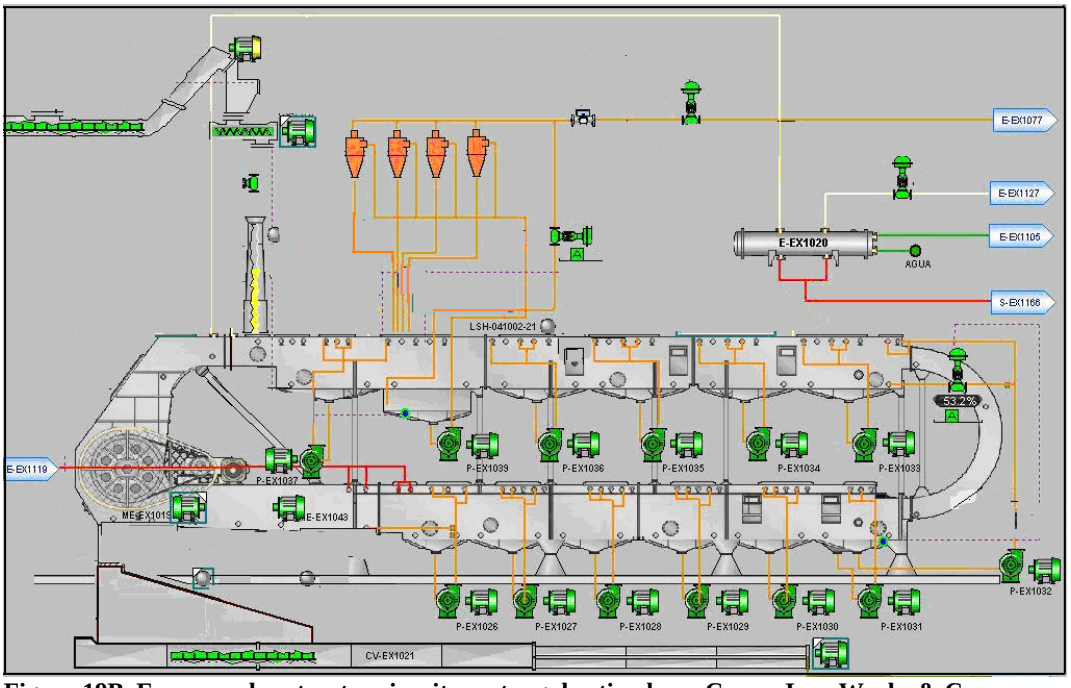


Figura 19B. Esquema de extractor circuito rectangular tipo loop, Crown Iron Works & Co.

Para la correcta extracción son necesarios los siguientes requisitos: suficiente cantidad de solvente limpio para mantener la concentración de la micela lo suficientemente baja, a fin de disolver y desplazar la mayor cantidad de aceite en cada etapa de la extracción, y para lograr un buen contacto y penetración, de manera tal que el solvente entre en contacto con el aceite y sea capaz de extraerlo de las partículas de materia, como así también disponer del tiempo suficiente como para permitir que tenga lugar el proceso de difusión.

Desolventizador tostador.

Luego de que la fracción de aceite es extraída con solvente de la fracción de harina, ambas corrientes del proceso quedan con alto contenido de solvente. El solvente en la fracción de aceite se puede eliminar a niveles residuales muy bajos utilizando evaporación de efecto múltiple y tecnología de recuperación de capa fina con vapor bajo vacío. El solvente en la fracción de harina es mucho más difícil de eliminar. Generalmente se retira en un equipo desolventizador-tostador en contracorriente, normalmente denominado DT [21].

Actualmente, el equipo más utilizado es el de tipo vertical de varias etapas, como el que se observa en la (Figura 20): desolventizador-tostador-secador-enfriador. Este receptáculo se encuentra dividido en diferentes secciones: la sección de predesolventización, en la cual el solvente es evaporado usando solamente vapor de calentamiento indirecto y la etapa de desorción, en la cual el uso de vapor directo y el de calentamiento indirecto son combinados seguida por las etapas de secado y enfriamiento [22].

La harina desaceitada que ingresa al DT contiene aproximadamente un 30% de solvente en peso y lo hace a una temperatura de alrededor de 57°C. EL DT está diseñado para aportar suficiente calor a la harina con el propósito de evaporar el solvente y llevarla a una temperatura de 107°C. Para la evaporación del solvente se destina aproximadamente un 75% del calor, mientras que un 25% adicional se utiliza para el calentamiento de la harina. La fuente de calor utilizada es vapor, el cual se aplica a la harina por medios tanto indirectos como directos [21].

En una planta de extracción por solvente, el acondicionamiento y desolventizado de la harina extraída corresponde a la mayor parte del consumo de solvente (35-65% del total de pérdidas), electricidad y vapor (50% del total utilizado en la planta), y juega un rol importante en el costo de inversión, así como también en la calidad de la harina.

La cantidad de tostado, proceso que desarrollaré más adelante en la tesis, generalmente se mide como "actividad de la ureasa". Si el tostado no resulta suficiente, el DT puede necesitar más tiempo, más humedad o una temperatura más alta (generalmente superior a 100 °C para los 2/3 de tiempo de permanencia)[16].

La fuente de calor utilizada durante el proceso vimos que es vapor. El mismo se aplica a la harina por medios tanto indirectos como directos. En los próximos párrafos detallaré como el vapor indirecto se aplica durante el pre-desolventizado y el directo durante el desolventizado.

Pre-desolventizado:

El calor del vapor indirecto se aplica a la harina a través de bandejas calefaccionadas. Este calor latente del vapor es transmitido por la bandeja de acero a la harina, la cual es agitada permanentemente para facilitar la evaporación del solvente [21]. Cuando la harina blanca entra en contacto con los primeros tres pisos de predesolventizado, se produce una granulación de la misma convirtiéndose en harina, efecto causado por el flasheo (expansión brusca) del hexano embebido dentro de la lámina. También se forman pelotones de harina. La circulación a través de estos pisos se debe a la disposición de huecos alternados sobre los mismos, que permiten una caída libre de piso en piso.

El vapor se condensa totalmente dentro de la bandeja, recuperándose luego el vapor de flasheo que es devuelto a la caldera por medio de un tanque de condensado atmosférico, esto disminuye el costo de funcionamiento de la misma y el gasto en el tratamiento de agua. Es importante remarcar que esta fuente de calor no agrega humedad a la harina. En un DT común, aproximadamente un 25% del calor total es suministrado por el vapor indirecto [21].

Desolventizado:

Para poder desolventizar las láminas extraídas, se inyecta vapor directo por el 8° piso y por el 5° piso. Este vapor atraviesa los lechos de harina ejerciendo un efecto de arrastre a contracorriente sobre los vapores de hexano. La mezcla de vapores de hexano y vapor de agua abandona el DT por la parte superior del domo, a través del ducto de gases, hacia el primer evaporador. Esta corriente de gases se lava con un spray de hexano (scrubber) para minimizar el arrastre de finos hacia el lado carcaza del primer evaporador. En los restantes pisos se utiliza vapor indirecto de calefacción.

Ya en el 5° piso, la harina se desolventiza prácticamente en su totalidad y a partir del 6° piso comienza a cobrar importancia el proceso de tostado.

El paso de harina a través de los pisos, desde el 5to hasta la salida del equipo se hace a través de válvulas rotativas. Todas las válvulas rotativas varían su velocidad a través de un variador de frecuencia. Esto permite controlar el nivel en cada piso del DT [20].

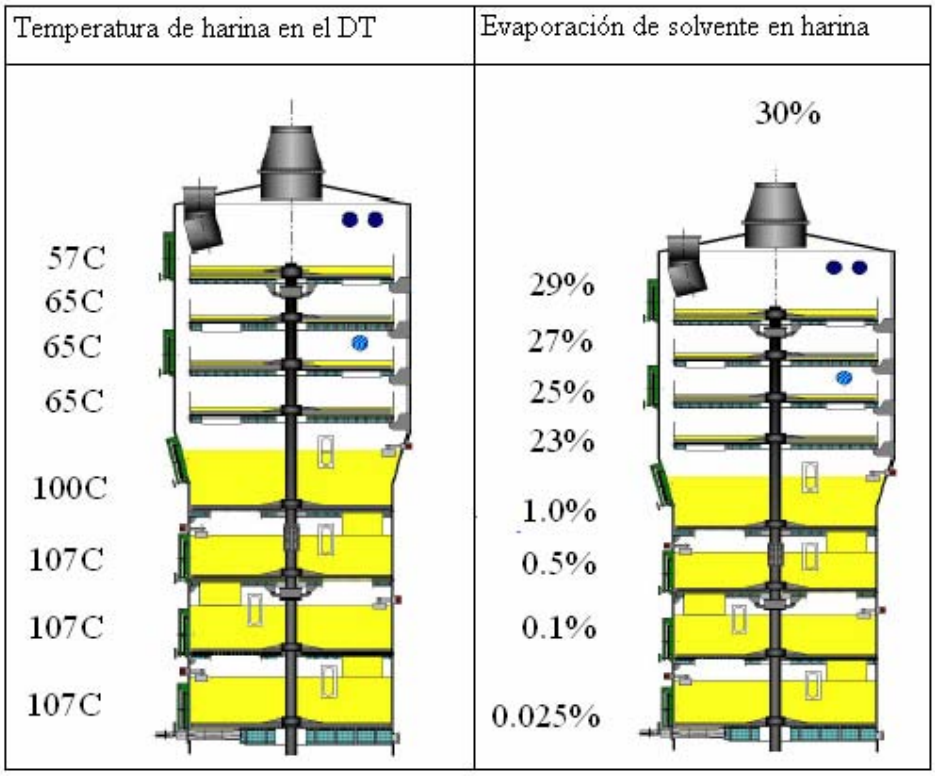


Figura 20. Esquema del lado izquierdo muestra el aumento de temperatura de la harina a medida que desciende por las bandejas del DT y el del lado derecho muestra el porcentaje de desolventización de la harina.

En un DT clásico, el vapor directo proporciona aproximadamente el 75% del calor total. El contenido de humedad que ingresa al extractor es generalmente del 10%. Luego de la extracción del aceite el contenido de humedad en la harina alcanza un 12% y luego de la condensación del vapor directo en la bandeja de contracorriente superior del DT, la humedad se eleva a alrededor de un 19%. En un DT clásico, luego de que la harina descarga de la bandeja de contracorriente superior, es sometida, durante un determinado lapso de tiempo (30 min), a un tratamiento térmico, siendo la humedad de la harina alrededor del 19% y la temperatura alcanza los 107°C, lo que permite que la harina sea tostada. En el procesamiento de semillas de soja, el tostado es importante para desactivar los factores antinutricionales de la harina, como por ejemplo los inhibidores de tripsina, que actúan como factores retardadores de crecimiento, restringiendo la digestión de la proteína en animales monogástricos. El grado de tostado se puede medir por el nivel de unidades inhibitorias de tripsina (UIT) por miligramos de harina. Un análisis más común para verificar el grado de tostado, es el análisis de la ureasa, que tiene resultados similares al análisis de inhibidores de tripsina pero que, a su vez, es mucho más sencillo de llevar a cabo.

El proceso de tostado depende en gran parte del tiempo. La harina resultará más tostada cuanto más tiempo sea sometida a la humedad del 19% y a 107°C de temperatura.

Desafortunadamente, a medida que aumenta el tiempo de tostado de la harina, la solubilidad de la proteína disminuye, deteriorando su valor alimenticio. Por lo tanto, existe un sensible equilibrio de tiempo entre la maximización de la desactivación de los

factores antinutricionales y la minimización del daño de la solubilidad de la proteína. Según lo manifestado por Parsons, la harina de soja de calidad óptima para aves de corral, generalmente se obtiene con un tiempo de tostado de 10 minutos, lo que corresponde a un valor de actividad de ureásica de 0,05 – 0,20 unidades pH (lo cual es una medida del amoníaco liberado) y una solubilidad de la proteína en solución de hidróxido de potasio (KOH) dentro del rango del 70 al 85% [21].

Secado y enfriado de harinas:

El agua agregada en el paso anterior, debe ser eliminada para conservar la calidad de la materia prima. Se realiza a continuación del tostado y se puede eliminar mediante distintos tipos de maquinas, como por ejemplo el secador vertical.

Secador de tipo vertical:

Se lo conoce por la sigla DC (del inglés *dryer cooler,* secador enfriador), y puede ser una parte integral del DT, o una unidad separada, esta última opción es la más utilizada debido al riesgo de explosión.

El DT descarga sobre el redler que alimenta al DC. Antes de ingresar al DC, la harina pasa por un rompetortas para triturar pelotones y una vez dentro del DC la harina es secada con aire caliente y enfriada con aire a temperatura ambiente. Como se observa en las Figuras 21A y 21B, el DC tiene seis pisos, cinco pisos de secado y uno de enfriado, este último es para evitar problemas de apelmazado durante el almacenaje. El nivel de harina dentro de los pisos es regulado mediante palpadores y clapetas con contrapesos. Cada piso tiene un ciclón asociado para separar y recuperar finos de la corriente de aire. Los seis ciclones descargan mediante una válvula rotativa sobre el redler colector de finos. Este a su vez descarga sobre el redler de transferencia de finos que vuelve los finos al sistema.

El D.C. descarga en el redler que transporta la harina hacia la preparación.

Cómo se observa en la Figura 21A, el aire de secado es tomado de la atmósfera y haciéndolo circular por radiadores con vapor se calienta entre 160°C y 170°C. Ingresa a los pisos por adentro de las cámaras de aire y atraviesa el lecho de harina, cuya altura puede regularse entre 300 y 500 mm efectuando el secado a contracorriente [20].

El secador enfriador Schumacher (DC), como el que se presentó en la (Figura 16), es menos costoso, utiliza menos energía, tiene menores emisiones de polvo y ocupa menos espacio. El flujo de aire a través de cada etapa de la unidad es a contraflujo, dando como resultado un secado/enfriado excelente, a menudo inferior a 38°C o dentro de los +5°C de temperatura por sobre la ambiente. Dichas unidades a menudo requieren sólo 2/3 de vapor, comparado con sistemas de estilo más antiguo [22].

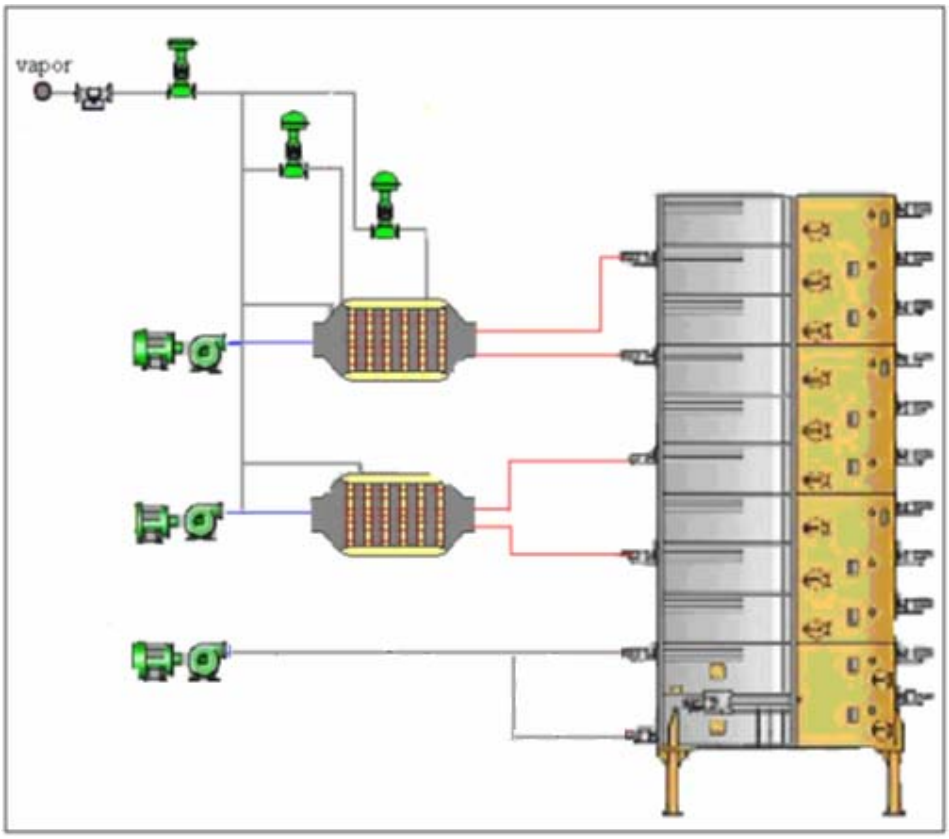


Figura 21A. Se muestra el circuito de vapor hacia los radiadores para calentar el aire ambiente y poder secar la harina proveniente del DT.

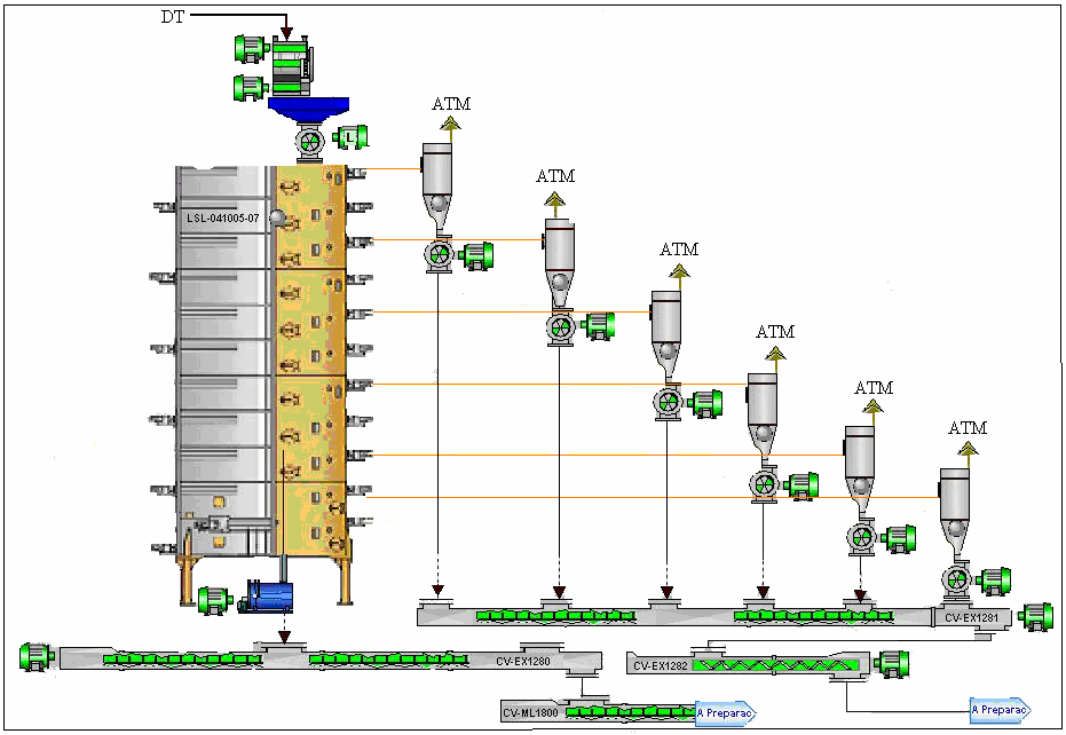


Figura 21B. Muestra la salida del aire caliente, una vez que ya atravesó el DC, a el cual mediante ciclones se le extraen los finos que arrastra antes de ser liberado a la atmósfera. Los finos, mediante readler, son enviados al proceso de preparación de harinas.

Tamizado y molienda de harinas:

El proceso de tamizado y molienda de la harina de soja después de haber sido desolventizada, secada y enfriada, pretende otorgar a la misma una granulometría uniforme, mejorando su presentación, así como también, su densidad.

Habitualmente esta harina presenta entre un 40 y 50 % de harina que atraviesa una malla 10 (mesh 10) y que a su vez puede separarse, para evitar gastar energía de molienda. Esta separación puede efectuarse con 3 tipos de tamices: de banco, centrífugos y estáticos. La elección de uno u otro dependerá de la disponibilidad de recursos y la eficiencia deseada, lo cual se discute en el siguiente párrafo y se encuentra claramente graficado en las Figuras 22 A y B.

El tamiz centrífugo, si bien es el de mejor eficiencia de separación, enviando 50-60 % del caudal de proceso a la corriente de harina terminada y dejando sólo el 40-50 % para ser molido, presenta alto costo de inversión inicial, mayor costo de mantenimiento y un costo energético moderado. Esta formado por un tamiz cilíndrico que cuenta con un conjunto giratorio montado, concéntricamente. El rotor puede contar con cepillos, rasquetas o una combinación de ambos. Funciona diseminando la harina sobre la superficie del tamiz y forzando el material a través de los orificios del mismo. Debido a la acción agresiva del rotor, muchas de las aglomeraciones reducen su tamaño, lo cual permite que la harina pase a través de la malla.

El tamiz tipo bandeja o de banco presenta un alto costo de inversión inicial, pero bajo costo de mantenimiento y bajo costo energético, mostrando rendimientos del 35-40 %. Su eficiencia está limitada a la superficie disponible y al porcentaje de la harina *"de buen tamaño"* en la descarga del DTDC. Es un tamiz plano, tipo plataforma que utiliza algún tipo de transmisión mecánica para hacer oscilar o vibrar la plataforma.

Por último, el estático posee como ventajas: bajos costos de inversión y mantenimiento con costo energético nulo, mientras que su principal desventaja es su muy baja eficiencia y las superficies de tamizado tienden a obturarse con los finos o las partículas de harina húmeda. Logran generalmente un 20 a 30 %, respecto al caudal de ingreso, enviando entre el 70 y 80 % del flujo de proceso al equipo de molienda.

Su nombre proviene del hecho de que no cuenta con partes móviles. Los tamices estáticos están construidos en dos configuraciones básicas, el estilo bandeja y el estilo pirámide. El tipo bandeja es, simplemente, un tamiz de gran superficie de tamizado con una inclinación de 45°, distribuyéndose las láminas desengrasadas sobre el borde superior del tamiz. En el de tipo pirámide, los tamices de forma triangular se colocan dentro de un bastidor para formar una superficie continua, ingresando las láminas por la parte superior de la *"pirámide"*. A medida que las láminas se deslizan por la superficie del mismo, algunas de las partículas en tamaño caen a través de los orificios del tamiz y, de esa manera, evitan la etapa de molienda.

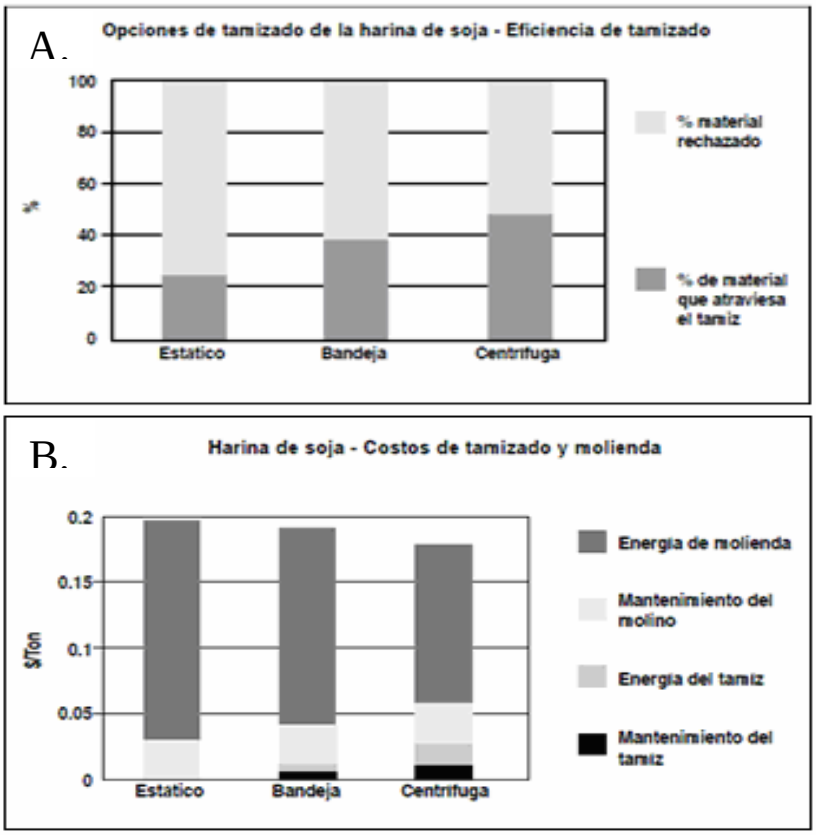


Figura 22. Comparación de tres tipos de tamizados: estático, de bandeja y centrífuga. A. Se compara la eficiencia de los tres tamices. A mayor % de material que atraviesa el tamiz mayor es la eficiencia del proceso. **B.** Se comparan los costos de tamizado y Molienda. Fuente: AYG Libro 10mo Aniversario, Tomo 1, pág. 1961.

Generalmente, la harina se muele en un molino aceitero debido a que algunos, o tal vez un gran número de clientes no son capaces de moler la harina ellos mismos, y su presentación física como sale del proceso de extracción, no es aceptable para usos normales, ya que el agregado de humedad y la acción de mezclado en el DT, a menudo hacen que parte de las láminas se aglomeren y formen lo que normalmente se denominan *"pelotas o bolas húmedas"*. Además, muchas plantas utilizan expanders en la planta de preparación, que forman collets razonablemente densos y duros, los cuales deben ser reducidos. Antes de poder despachar la harina terminada, es necesario reducir estas aglomeraciones para satisfacer las especificaciones comerciales o las exigencias de un cliente determinado. Habitualmente la harina descargada del DT/DC (desolventizador / tostador seguido por un secador/enfriador) contiene, aproximadamente, un 40 % de material *"aceptable"* (< 2 mm ó 10 Mesh). y 60 % de sobre tamaño. Este material, de tamaño excesivo, debe ser reducido (molido) para producir la harina terminada [23].

A modo de resumen en la Figura 23 se esquematiza un proceso típico de molienda de harina.

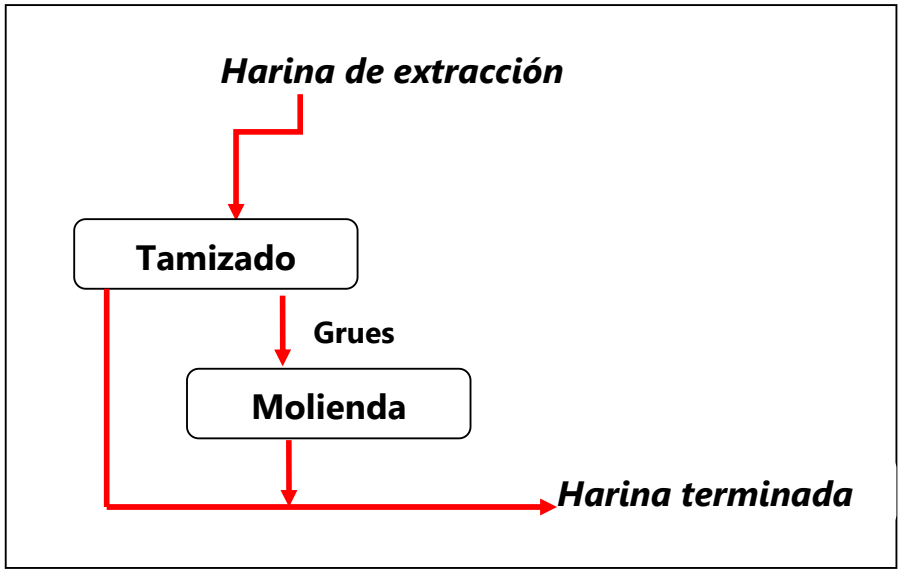


Figura 23. Esquema de un proceso típico de molienda de harina.

Alternativa de procesamiento de la harina desengrasada (ya tratada con solventes).

Peletizado o Granulado.

Una vez finalizado el proceso de desolventizado de la harina, la misma pasa por una granuladora o una pelletizadora, las dos opciones son válidas.

Si se utilizan granuladoras, se trabaja con la harina tal como sale del DT, o sea alrededor de los 90 / 100°C de temperatura y entre 16 / 20 % de humedad, luego se seca y enfría, para poder almacenar.

Pero si se utilizan peleteras, en general, se suele secar previamente la harina, aunque luego en la peletera se la vuelve a humectar con agregado de vapor directo para facilitar el peleteado. Luego se seca (más fácilmente que en el caso del granulado, por ser humedad superficial), y se enfría para almacenar.

En algunos casos, se han adaptado las peleteras, de modo tal de poder trabajar en forma similar al proceso de granulado, o sea con harina tal como sale del DT.

Los gránulos tienen un tamaño aproximado de 15mm de diámetro por 20mm de largo. El secado y enfriado del pellet o granulo se realiza mediante una secadora horizontal para disminuir el porcentaje de desgranación del material.

Los motivos de la elección de producir harina molida, pellets o gránulos no son técnicos, sino comerciales. Los importadores prefieren harina molida porque si bien el flete es más costoso, ya que se cobra por viaje y no por kilo, el proceso de molienda de pellets en destino afronta un costo aun mayor.

Las ventajas del pellets son su mayor densidad 680kg/m3 contra 610m3/kg de la harina molida, brindando mayor capacidad de almacenamiento y facilidad de manipulación.

La granuladora, es un equipo que cuenta con un eje helicoidal, que trabaja como una extrusora, con una matriz de forma de disco perforado.

La peletera, (puede ser para cáscara de soja, para harina de soja, harina de girasol, de maní, de alimentos balanceados, etc.) básicamente es una matríz en forma de aro, con perforaciones radiales, giratoria, y el producto es prensado contra la misma a través de dos o tres rolos ubicados en el interior del aro.

Molienda y pelletizado de cáscara.

La cáscara de soja es otro de los subproductos que se puede obtener en la industria aceitera. Se obtienen de los procesos de descascarado en frío o caliente y de los sistemas de limpieza del grano. Tiene dos destinos, se puede mezclar con la harina, según oportunidades comerciales o bien pelletizarla.

No se utilizan tamices para procesar los flujos de cáscaras separadas, sino que la procesan a través del uso del molino de martillos y de allí se envían directamente a pelletizar, aumentando su densidad de 100 kg/m^3 a 640kg/m^3, esto permite un manejo más eficiente en cuanto a su manipulación, transporte y almacenamiento [23].

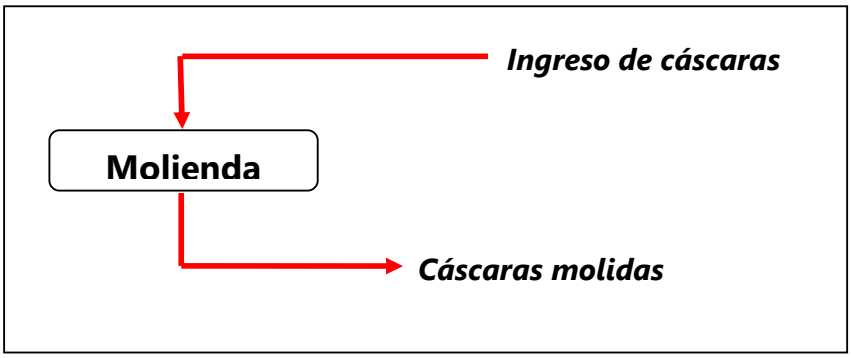


Figura 24. Esquema de preparación de cáscara previo al proceso de pelletizado.

Como se muestra en el esquema de la Figura 25, las cáscaras ya molidas son enviadas a un silo para preparación de pellets. Para la producción de pellets es necesario trabajar con agua y vapor para realizar una masa estéril, la cual se prensa mediante una máquina pelletera. El agua ingresa a la pelletera con una presión de 6 kgf./cm^2. y el vapor lo hace a 3 kgf./cm^2. La humedad final del pellet no debe superar el 13% debido a que puede fermentar en las celdas de almacenamiento. La temperatura de trabajo de la pelletera se regula entre 85 a 98°C.

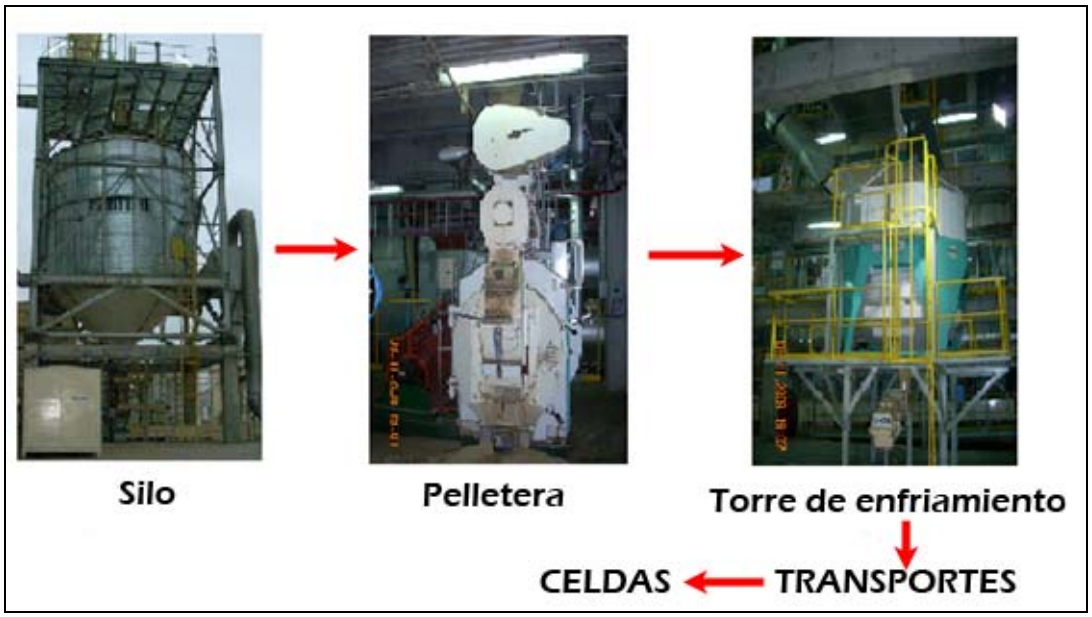


Figura 25. Diagrama de pelleteado. Se muestran fotos del tren de maquinarias típicamente utilizado para pelletizar las cáscaras.

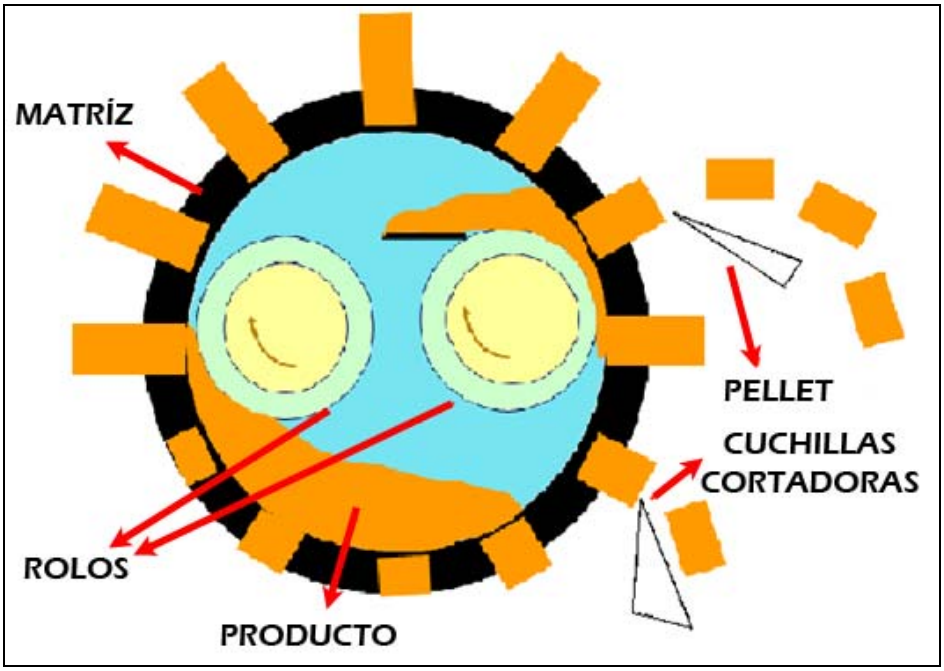


Figura 26. Esquema de forma de trabajo de máquina pelletera. Los rolos presionan el material contra la matriz, obligándolo a pasar por los orificios de la misma (regula el diámetro del pellet). Luego es cortado mediante cuchillas (se regula el largo del pellet).

Ya explicado el camino que sigue la harina de soja desde la salida del extractor hasta su almacenamiento, se detalla a continuación el proceso que se aplica al otro producto que se obtiene del extractor, la micela.

Destilación y recuperación de solvente.

El proceso completo que se describirá a continuación se presenta esquematizado en la Figura 28 y, durante la descripción, se resaltará en negrita el nombre de cada equipo que integra el sistema de destilación.

Este proceso está diseñado para separar el aceite y el solvente presentes en la corriente de micela que sale de extracción, produciendo aceite libre de solvente como producto final, y reciclando el solvente al extractor en las condiciones requeridas para esta operación. La otra corriente principal que ingresa con la micela corresponde a los vapores de desolventizado de harina, constituidos por una mezcla de agua y solvente. Esta corriente se condensa para separar el solvente y reciclarlo a extracción, junto con el solvente de la micela. Por su parte esta corriente constituye un importante aporte de energía al proceso.

Como corrientes secundarias ingresan a su vez aire y agua al proceso. Aire con el material de entrada al extractor, y en menor medida por infiltraciones en las líneas y equipos a vacío. Esta corriente de aire debe tratarse para liberarla de solvente antes de disponerla nuevamente a la atmósfera, ya sea por el atractivo económico de recuperar el solvente como por las cuestiones de seguridad y medioambientales.

La humedad presente en la semilla y el vapor directo necesario en las distintas operaciones del proceso terminan como efluente acuoso, el cual debe retirarse del proceso libre de solvente.

El conjunto de operaciones unitarias que hacen a la conformación del proceso de destilación y recuperación de solvente, caracterizadas fundamentalmente por la transferencia de masa y calor, manejo de líquidos y vapores [24].

Evaporación.

Resulta fundamental para la economía del proceso la utilización de la corriente disponible de vapores de desolventizado y tostado de la harina como fuente de calor, ya que de lo contrario, esos vapores deberían condensarse con agua de enfriamiento para recuperar el solvente.

Esta mezcla agua/solvente tiene un contenido de agua que varía de acuerdo a la temperatura de trabajo del tope del DT, a mayor temperatura, mayor contenido de agua y energía disponible en la mezcla de vapores.

Suponiendo una condición estándar del proceso, con los vapores del Desolventizador-Tostador a 72ºC, la curva de condensación de estos vapores comienza en 72ºC, condensa el agua hasta llegar a 60ºC, temperatura a partir de la cual condensa el solvente.

Es por ello que para aprovechar esta fuente de calor para evaporar miscela, la curva de evaporación de micela debe situarse por debajo de la curva de condensación de estos vapores, para que exista la fuerza impulsora necesaria para transferencia de calor.

Esta es la razón por la cual se debe hacer vacío en la evaporación, y tanto mayor sea el vacío mayor transferencia de calor se logra y por ende concentración de micela.

La disponibilidad de esta importante fuente de energía divide esta etapa de evaporación en dos sub-etapas:

- **Primera Etapa de Evaporación (baja temperatura):** Es llevada a cabo por el 1º Evaporador Economizador **Ítem 60A** (Figura 27). Se utiliza un único evaporador economizador que condensa casi todo el vapor de agua y solvente proveniente del DT.

En este evaporador economizador se evapora la mayor parte del solvente contenido en la micela, proveniente del Extractor.

Para el vacío típico de verano (410-450 mmHg) se logra concentrar la micela, proveniente del extractor, de 25-30% a 75-80%, mientras que para vacío típico de invierno (540 mmHg) la concentración sube hasta 85-90%, e incluso puede llegar a ser mayor.

Como se analizó previamente, en invierno la micela evapora a menores temperaturas, esto se debe a que la diferencia de temperatura entre ésta y los vapores del DT es superior y en consecuencia lo es la transferencia térmica en el equipo.

En esta etapa de economización se reutiliza hasta el 95% de la energía de los vapores de desolventizado y tostado de la harina.

Se caracteriza esta etapa como evaporación a baja temperatura porque la micela se evapora a bajas temperaturas, llegándose a calentar hasta no más de 45-55ºC, dependiendo del vacío.

El evaporador 60 A posee un domo separador líquido/vapor integrado en la parte superior **(ítem 60B)**, que permite la separación de la micela líquida de los vapores de solvente. La micela continúa su proceso de concentración en la 2º etapa de evaporación y los vapores de solvente son condensados en el sistema de condensación de vacío [24].

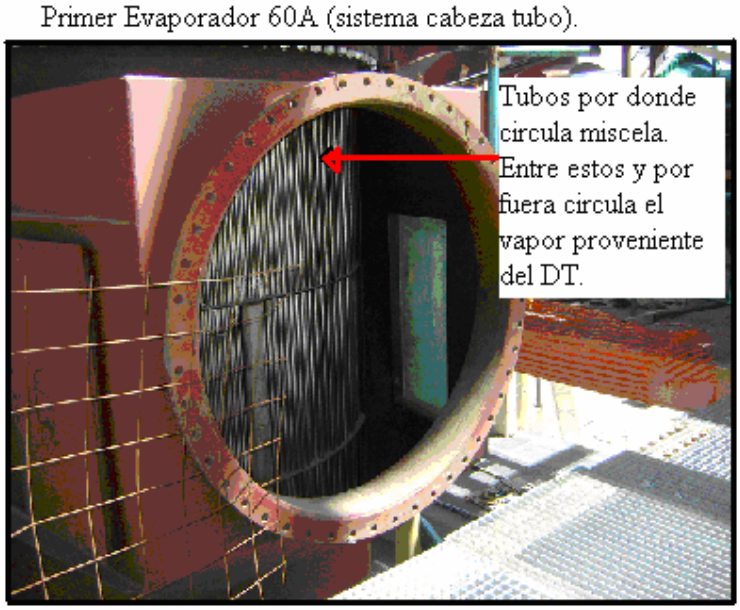


Figura 27. Primer evaporador 60 A.

- **Segunda Etapa Evaporación (alta temperatura):**

Habiéndose agotado la posibilidad de recuperar calor de los vapores del DT, al haber llegado la micela a una temperatura cercana a la temperatura de condensación de dichos vapores, se debe recurrir a otra fuente de calor para continuar la concentración de micela.

El vapor de calefacción permite lograr una concentración de 95-98%, al calentar la micela hasta una temperatura final de 95-105ºC, con lo cual el método de evaporación permite llegar hasta una micela con un residual de solvente de 2-5%.

La micela concentrada del domo separador del ítem 60A (Item 60B) es bombeada pasando primeramente por un economizador Aceite-Micela **(Ítem 81A)**.

En éste último se precalienta recuperando calor del aceite caliente del Stripper de Aceite Vegetal **(ítem 22)**, y continua calentándose con vapor hasta la temperatura final en el **ítem 18 A**.

La mezcla líquido-vapor resultante ingresa al separador líquido/vapor **ítem 18B**, donde la micela con 2-5% de solvente queda disponible para los procesos posteriores y los vapores de solvente son condensados en el condensador de vacío de la planta, junto con los vapores de solvente de la 1º etapa de evaporación.

Habiéndose entonces agotado la posibilidad de seguir concentrando la micela por las limitaciones de temperatura en el aceite, se inicia un nuevo proceso de separación basado en otra propiedad [24].

Stripping o Despojamiento.

El proceso de separación por transferencia de calor da lugar entonces a un nuevo proceso basado en la transferencia de masa. El principio de separación sobre el cual se basa esta operación de stripping es la difusión molecular entre fases.

Cuando la concentración de un componente o más en una solución es no uniforme, el sistema espontáneamente evoluciona por difusión molecular hacia la condición uniforme de equilibrio. Las especies se mueven desde zonas de mayor a menor concentración, diferencia que determina la fuerza impulsora de este fenómeno de transferencia de masa.

La fase aceite (líquida) se pone en contacto con una fase gaseosa (vapor de agua) para dar origen al proceso de transferencia del solvente entre ambas fases. Es el apartamiento de la condición de equilibrio del solvente en fase vapor el que origina la difusión del mismo a través de la interfase. Dado que la solubilidad del vapor de agua en fase líquida en las condiciones de operación es muy baja, el vapor no pasa a la fase líquida.

Como además la presión de vapor del aceite muy baja, el aceite no pasa a la fase vapor. En consecuencia, al poner en contacto la micela concentrada con vapor de agua, la única especie que se transfiere del líquido al vapor es el solvente. Esta operación por la cual se

remueve un componente de la fase líquida al ponerla en contacto con una fase vapor se denomina Stripping o Despojamiento.

La micela ingresa con un 2-5% de solvente, dependiendo de la temperatura de calentamiento en la 2º etapa de evaporación, y del vacío, y sale con un contenido de solvente del orden de 100 ppm (mg solvente/Kg aceite).

El stripping se lleva a cabo a vacío, ya que el vacío favorece la transferencia del solvente a la fase vapor. El equipo para realizar esta función es una columna de contacto líquido/vapor en etapas **(ítem 22)**. El líquido y el vapor fluyen en contracorriente y se ponen en contacto íntimo a través de múltiple etapas o platos. El líquido desciende por gravedad mientras que el vapor pasa en sentido ascendente por diferencia de presión. En el íntimo contacto de cada etapa se da el proceso difusivo del solvente.

La mayor parte del vapor de stripping proviene del vapor motriz del eyector del Secador de Aceite **(ítem 506)** y se completa con vapor adicional para llegar al caudal necesario.

El aceite con trazas de solvente (50/100 ppm) se envía al sector de desgomado para finalizar en el secado y enfriado, antes de ser almacenado en los tanques como aceite crudo. El valor de humedad final a la salida del secado es menor de 0.1% p/p (1000 ppm) [24].

Desgomado.

El aceite destilado lleva en su masa algunos elementos que son indeseables y que dificultan su almacenaje y posterior utilización, ya que producen alteraciones como oxidación y enranciamiento. Estos elementos son derivados del fósforo y ya fueron descriptos en la introducción de la tesis, son los llamados fosfátidos o gomas, una parte de estos elementos tienen la particularidad de combinarse con el agua formando compuestos de gruesa viscosidad (fosfátidos hidrosolubles). Esta propiedad se usa para efectuar su separación (desgomado): se agrega al aceite un 2-3% de agua blanda en un tanque hidratador, allí se mantiene bajo agitación y se le asegura un tiempo de residencia para que la reacción de hidratación se lleve a cabo. Si el aceite se encuentra por debajo de los 80°C al salir de la destilería se lo hace circular por un calentador con vapor para acondicionar su temperatura. El agua que se utiliza para realizar la hidratación también pasa por un calentador con vapor para alcanzar 60°C, luego esta emulsión se hace pasar por una clarificadora centrífuga que separa los compuestos de alta densidad (gomas) del aceite. La tolerancia de gomas en el aceite es de 200 ppm, si bien es importante lograr valores menores a la tolerancia por cuestiones comerciales. Las gomas o fosfátidos son el insumo para producir lecitina. La decisión de producir o no lecitina depende del interés comercial de cada firma. En el caso de no producir lecitina las gomas son incorporadas a la harina antes de ingresar al DC.

El aceite desgomado que se obtiene es almacenado en tanques y luego se puede vender como aceite crudo desgomado o pasar a un proceso de refinado [24].

Secado y Enfriamiento del Aceite.

Luego de la hidratación producida en el proceso de desgomado el aceite debe secarse antes de ser enviado a los tanques de almacenamiento. El motivo por el cual se elimina el agua del aceite es la evaporación flash.

El agua en las condiciones de presión y temperatura de salida del proceso de desgomado se encuentra disuelta en el aceite (0.5%-0.8%) dependiendo de la hidratación producida en desgomado). El aceite se calienta en el calentador **ítem 521** a aproximadamente 85-90 ºC y presión superior a la atmosférica. Luego al ingresar al secador se produce una descompresión a vacío a 700/690 mmHg. El agua pasa a estar sobrecalentada en esa nueva condición de presión y temperatura, y se transfiere espontáneamente a la fase vapor, produciendo el secado del aceite. Al igual que el ítem 22, este equipo también posee platos que le dan tiempo de residencia al aceite, para facilitar el desprendimiento del agua.

El vacío es generado por el **eyector 41/506**, que descarga al fondo del stripper de aceite vegetal. El vapor motriz de eyector es aprovechado como vapor de stripping del ítem 22, de esta manera, el consumo de vapor de secado se recupera totalmente y, al mismo tiempo, se reduce el efluente acuoso generado en la planta, por reducción del consumo de vapor directo. Luego del secado, el aceite pasa por un enfriador antes de ser enviado a tanques de almacenaje o embarcado directamente. Para ello utiliza agua de enfriamiento o agua de reposición de caldera, realizando una economización energética en este último caso. El aceite normalmente se enfría desde la temperatura de secado hasta 45-50 ºC [24].

Condensación.

Se pueden distinguir dos vías distintas y complementarias de condensación de los vapores generados en el proceso. La primera opera a vacío y condensa los vapores que se generan en el proceso de concentración de la micela y stripping de aceite, y la otra opera a presión atmosférica y condensa los vapores provenientes del DT, el venteo del Extractor y los venteos de otros recipientes y equipos que operan a presión atmosférica. A continuación detallo ambos procesos.

Condensación a vacío.

Los gases provenientes de los evaporadores (ítem 60A y 18A) y strippers de aceite vegetal y mineral (ítem 22 e **ítem 122**) son condensados en el Condensador de Vacío (**Ítem 19**), que utiliza agua de enfriamiento para tal propósito. La corriente gaseosa a condensar está compuesta por:

· Solvente de la evaporación de micela.
· Agua con solvente en menor cantidad del stripping de aceite vegetal y mineral.
· Aire infiltrado al sistema de vacío por pérdidas en juntas de equipos y cañerías, más el aire que ingresa disuelto en la micela de extracción.

El equipo tiene un diseño “flujo dividido” que permite separar la condensación en 2 etapas, lo que posibilita maximizar el vacío. Los niveles de vacío que logra el equipo dependen de la temperatura del agua disponible, normalmente 440 mmHg a 30ºC (verano) y 540 mmHg a 21ºC (invierno).

Los gases no-condensables son succionados por un eyector (**ítem 41/19**) que descarga sobre el Stripper de Efluente (**ítem 45**), aprovechándose esta corriente como fluido de despojamiento del solvente que pueda traer el agua residual, y finalmente como fuente de calor adicional en el ítem 60A. Los condensados de vacío del ítem 19 son conducidos por drenaje natural o por bomba al Separador-Acumulador (**ítem 32/34**) [24].

Condensación atmosférica.

Los vapores provenientes del DT (**Ítem 70**) están compuestos principalmente por solvente y agua, con una composición que depende prácticamente de la temperatura de tope del DT. La presión operativa del DT es muy cercana a la atmosférica. Estos vapores son enviados primeramente al Lavador de Gases (**Ítem 29**), donde se ponen en contacto directo con una lluvia de agua caliente que retiene la mayor parte del contenido de sólidos que pudieran ser arrastrados desde el DT. Como el agua de lavado se recircula, la misma se calienta y en consecuencia los gases del DT no condensan en este equipo.

Los gases del DT ya lavados son enviados hacia el ítem 60A, donde condensan transfiriendo calor latente a la micela. La mayor parte de los gases del DT condensan en este Economizador.

Los gases no condensados en el Primer Evaporador ítem 60A pasan al Precalentador de Solvente **Ítem 20A**. En este equipo los gases se utilizan como medio de calefacción para precalentar el solvente proveniente del Separador Agua/Solvente (ítem 32/34), previo a ser alimentado nuevamente al extractor. Los gases que no condensan en el ítem 20A pasan al Condensador de Gases del Extractor y DT (**Ítem 20B/C**), donde terminan de condensar contra agua de enfriamiento.

Casi el 90% de la energía de los vapores del DT es recuperada en los economizadores 60A y 20A, quedando un 10% remanente de calor que se entrega al agua de enfriamiento.

Este equipo recibe el agua de enfriamiento de salida del ítem 19, logrando un acercamiento de temperaturas de 1-3 ºC entre los gases de salida y el agua de entrada.

Como normalmente en el Condensador de vacío el agua se calienta 4-5 ºC, asumiendo una temperatura de verano de 30 ºC, el agua al equipo llega a 35 ºC por lo que los gases son enfriados en esa condición hasta 37 ºC aproximadamente.

El equipo 20B/C también recibe los venteos del Extractor y de recipientes y equipos atmosféricos, entre los que se encuentra el Separador de solvente ítem 32/34.

Los gases que no condensan en el ítem 20B/C, principalmente aire con un contenido de solvente que depende de la temperatura de salida, pasan a la última etapa de condensación.

En el Condensador Final de Venteos **ítem 20D** se lleva a cabo la última etapa de condensación de solvente contra agua de enfriamiento de suministro, intercambio de calor que permite disminuir la temperatura de los gases hasta prácticamente 1-2 ºC por encima de la temperatura disponible del agua. El objetivo es disminuir el contenido de solvente en equilibrio en el aire hacia el último equipo del tren atmosférico, la Columna Absorbedora de Aceite Mineral (**Ítem 120**), para reducir la carga que recibe el sistema de recuperación.

La mezcla de solvente y agua que sale como condensado de los equipos 60A, 20A, 20B/C y 20D drena por gravedad hacia el Separador-Acumulador ítem 32/34, donde el solvente es separado de la fase acuosa.

Los gases circulan a través de todo el tren de condensación atmosférico succionados por el Ventilador (**ítem 136**), que provee la despresurización requerida en el tope de la columna 120 para que el DT no aumente su presión operativa por encima de la presión atmosférica [24].

Calentamiento de Solvente.

El solvente condensado y frío proveniente del separador ítem 32/34 (Figura 28C) debe calentarse para alimentarse nuevamente a la extracción. Como se observa en la Figura 28A, tanto en el condensador de vacío (ítem 19) como en los economizadores/condensadores del tren atmosférico, las distintas corrientes de condensado han sido enfriadas a diferentes temperaturas, llegando la mezcla en el separador a temperaturas 10-15ºC por encima del agua de enfriamiento (40-45ºC para verano y 30-35ºC para invierno).

Para calentar el solvente hasta 55-60ºC, temperaturas requeridas normalmente para una adecuada extracción, se recupera primeramente calor de los vapores del DT, precondensados en el ítem 60A, y disponibles a 60ºC. Es el ítem 20A el que permite este intercambio y economizar energía, calentando el solvente hasta 50-55ºC, dependiendo de la temperatura de alimentación del mismo, y prácticamente agotando la energía de los vapores del DT.

Para continuar el calentamiento, en caso de requerirse, la instalación cuenta con un calentador de solvente (ítem 49) que utiliza vapor de calefacción. El calentador de solvente se diseña con una gran capacidad de calentamiento reservada para condiciones como la de puesta en marcha, donde normalmente se requiere un calentamiento rápido del extractor, y también se utiliza para proporcionar un leve calentamiento en caso que el solvente de salida del ítem 20A no alcanzase la temperatura deseada de entrada al extractor. En invierno puede ser necesario un mayor calentamiento ya que el solvente proveniente del ítem 32/34 está a menor temperatura [24].

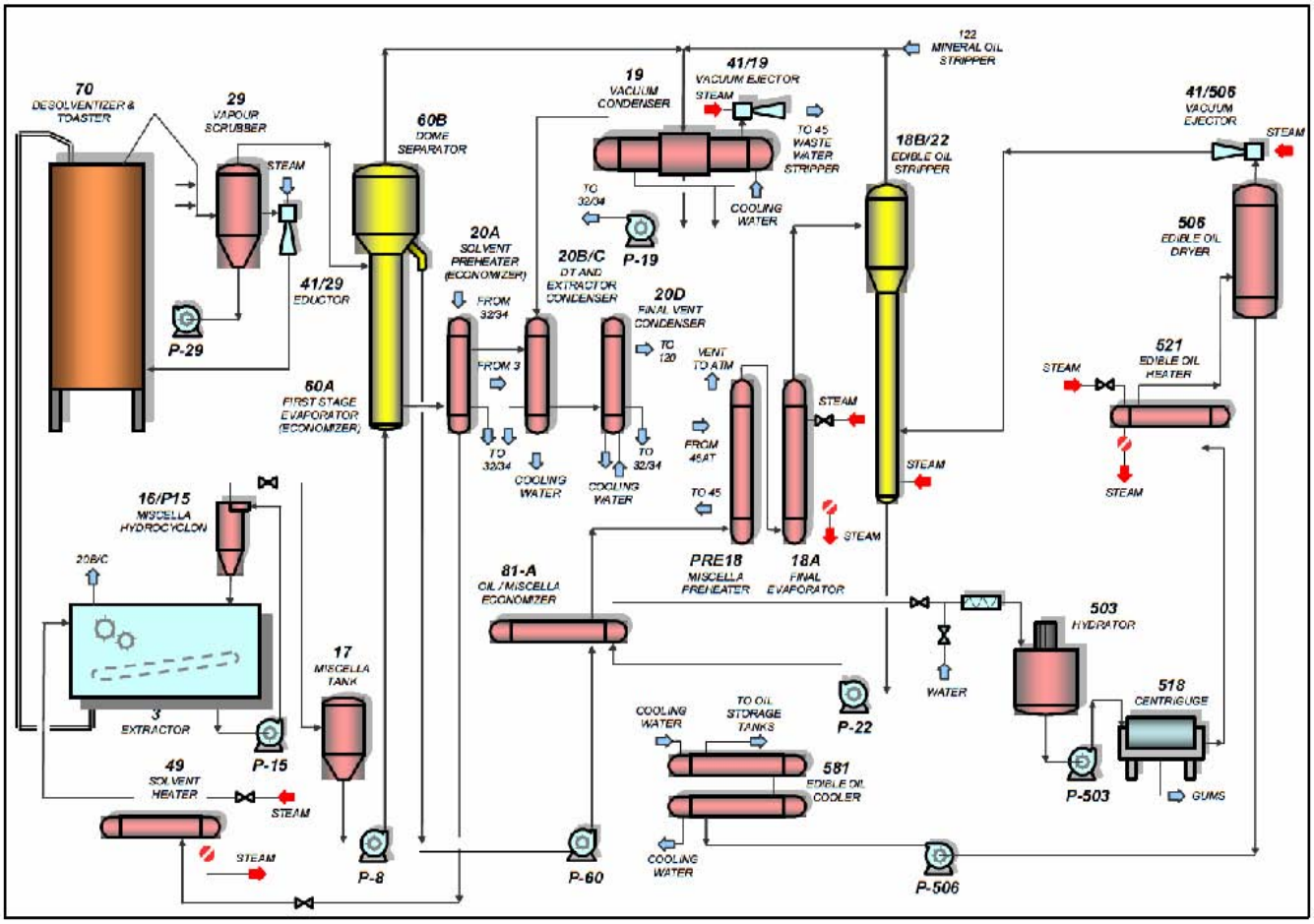


Figura 28A. Diagrama de flujo destilación de micela y recuperación de solvente ‘‘parte1/2”. Del DT (ítem 70) provienen vapores que son utilizados mediante intercambiadores de temperatura para comenzar la destilación de la micela proveniente del extractor. Para la destilación se usan los ítems 60 A, 60 B y los 18B/22, todo acompañado de intercambiadores de calor. Los vapores provenientes de destilación, desolventización y extracción son condensados bajo vacío mediante el ítem 19 y a presión atmosférica mediante los ítems 20 A-D. En el extremo inferior derecho se esquematizan los ítems del desgomado y secado del aceite.

TORRE DE ENFRIAMIENTO.

En el proceso de destilación, desolventizado, strippeo y extracción de aceite en general se producen vapores de hexano, los que deben condensarse para así poderlos utilizar. Para tal fin es necesario enfriarlos hasta que vuelvan nuevamente al estado líquido. Este efecto de cambio de estado se consigue en los diversos condensadores, enfriados por el agua que proviene de las torres (Figura 28B).

Este equipo es una suerte de pileta en la que se mantiene un reservorio de agua que garantice una correcta alimentación a los condensadores de la planta. En la parte superior cuenta con el retorno de planta que ingresa a una serie de canales mandándola al relleno que aumenta la superficie de contacto con el medio, favoreciendo la disminución de temperatura por evaporación. El agua ya enfriada es enviada a la planta

por medio de bombas centrifugas. En la parte superior de la estructura civil, se encuentran los ventiladores que arrastran aire desde el ambiente hasta el interior del relleno de la torre para generar el intercambio térmico con el agua. Más tarde, el vapor producto del efecto anterior pasa a través de un separador de gotas para minimizar el arrastre de agua al exterior.

Para el mantenimiento del agua se dosifica hipoclorito de sodio que es un biocida para el control microbiológico, un dispersor de sólidos para evitar incrustaciones y un anti-algas [20].

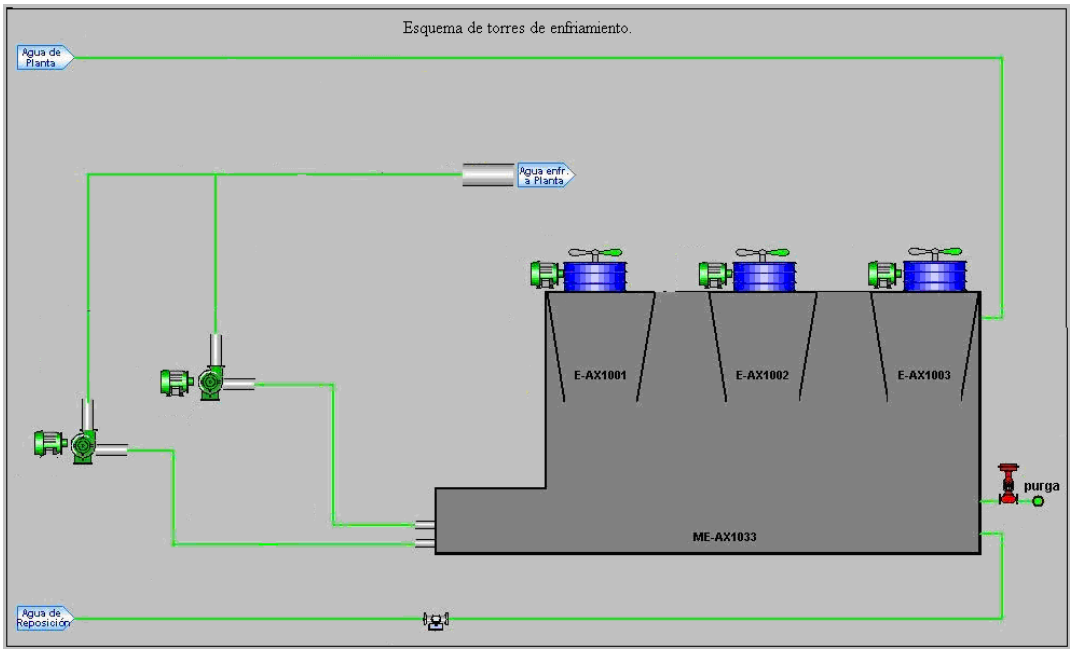


Figura 28B. Esquema de Torres de enfriamiento. Gráfico que muestra la circulación del agua proveniente de la planta hacia la torre de enfriamiento y como regresa a la misma ya con la temperatura de trabajo adecuada.

Separación Agua/Solvente.

Los condensados provenientes de la condensación del tren atmosférico y de la condensación de vacío conforman una corriente compuesta por solvente y agua, compuestos que deben ser separados para poder reciclar el solvente al extractor.

Siendo el agua un compuesto polar y el solvente una sustancia orgánica no polar, resultan inmiscibles en fase líquida y a su vez presentan una marcada diferencia de densidades, por lo cual, con estas características, una decantación gravitatoria es propicia para lograr su separación.

El separador ítem 32/34 es un recipiente atmosférico que se compone de un primer sector (**ítem 32**) donde se produce la separación agua/solvente y un segundo sector (**equipo 34**) que funciona como acumulador de solvente.

El sector de separación posee un dispositivo interno (pack de placas) por donde el fluido es forzado a pasar. Este interno está especialmente diseñado para permitir una separación eficiente evitando retro-mezclado por turbulencias, lo cual permite maximizar la eficiencia de separación y reducir el volumen necesario del equipo para una dada capacidad.

El equipo posee una única entrada para la mezcla agua-solvente, que ingresa en un extremo del mismo, y se dirige al pack de placas, donde se separa en dos fases.

El solvente, menos denso (fase superior), desborda por encima del bafle separador y pasa al compartimiento de acumulación de solvente, ubicado en el extremo opuesto al de alimentación (ítem 34). El agua, más densa (fase inferior), drena por gravedad por el fondo del equipo hacia el regulador de interfase.

El regulador de interfase es un pequeño recipiente externo a la envolvente principal del equipo que permite, mediante un ajuste manual, regular la altura de la interfase agua-solvente en el interior del equipo.

El efluente acuoso se envía hacia el Stripper de Efluente (Ítem 45) vía el Economizador Agua/Agua ítem **81C**. El solvente ya libre de agua es enviado nuevamente al extractor, previo calentamiento hasta la temperatura adecuada para la extracción.

El equipo posee un sistema de limpieza "*in-situ*" que permite eliminar, en operación normal, la harina y demás suciedad que pudiera haberse acumulado en el fondo.

Stripping de Seguridad de Efluente Acuoso.

Como se detalla en la Figura 28C, el **ítem 45** es una columna de stripping del efluente líquido proveniente del Separador de Solvente 32/34. La función del equipo consiste en vaporizar cualquier posible presencia de solvente en la fase acuosa proveniente del ítem 32/34. El fundamento del funcionamiento es el mismo explicado en el ítem 22, solo que en este caso se remueve el solvente del agua en lugar del aceite.

El equipo está provisto de platos de rejas o bafles, diseñados para darle al líquido que ingresa por el tope un tiempo de residencia suficiente y un buen contacto vapor-líquido, que asegure, además de la transferencia de masa, una buena transferencia de calor.

Como fluido de stripping se aprovecha la descarga permanente de gases del **eyector 41/19**. De esta manera dispone de una fuente continua de calor latente (vapor de agua) para calentar/vaporizar fluidos. En condiciones operativas normales, el vapor de agua de descarga del eyector 41/19 condensa parcialmente, y calienta el agua, alcanzándose aproximadamente 97- 101°C en el fondo del equipo, y 85-95 °C en el tope.

La mayor parte de los gases del eyector pasan a través del equipo sin condensar, y son finalmente aprovechados como fuente de calor en el ítem 60A. De este modo los vapores de stripping condensan en el tren atmosférico.

Se dispone además como seguridad de un ingreso de vapor adicional de caldera.

El efluente líquido sale del equipo por rebalse hacia el Economizador Agua-Agua **ítem 81C**, y luego circula hacia el drenaje final a la trampa de solvente (**ítem 99**).

Este intercambiador ítem 81C permite intercambiar calor entre las corrientes de entrada y salida del ítem 45, precalentando el agua de salida del separador de 40 ºC hasta 80 ºC aproximadamente, y enfriando la salida de agua del stripper de 100 ºC a 60 ºC.

El contenido residual de solvente en el efluente acuoso luego del stripping es de 10-20 ppm.

Recuperación de solvente de los gases de venteo.

Maximizar la recuperación de solvente tiene importancia tanto desde el punto de vista económico como medioambiental, debiéndose cumplir con las normativas de restricciones de emisión de gases.

Los gases incondensables que salen del condensador final de venteos ítem 20D, contienen todavía una importante concentración de solvente. Dado que por transferencia de calor no se puede sacar más solvente del aire a las temperaturas normales de enfriamiento con agua de torre, se debe recurrir a otra operación para bajar aún más el contenido de solvente.

La absorción es la operación inversa al stripping o despojamiento, donde por el mismo principio de difusión molecular entre las fases ya analizado, pero en sentido inverso, el solvente pasa de la fase gaseosa a la fase líquida, disolviéndose en el aceite. Este proceso es generalmente exotérmico y se ve favorecido por las bajas temperaturas.

Los gases provenientes del condensador 20D pasan entonces a través de la Columna de Absorción (ítem 120) (Figura 28C). Para absorber el solvente se utiliza un aceite mineral que debe reciclarse o regenerarse. Es por ello que se habla de un sistema de recuperación de solvente, que consiste de un circuito cerrado de aceite mineral donde el aceite se carga de solvente en la absorción, y luego debe despojarse de solvente en un stripping, para ser devuelto a la absorción con mínimo contenido de solvente.

La absorción se realiza a presión levemente inferior a la atmosférica y a temperatura cercana a la ambiente, mientras que el stripping o despojamiento se lleva a cabo a vacío y a una temperatura de 95-100°C. El aceite mineral normalmente utilizado es del tipo ISO 22 (con una viscosidad cinemática de 22 cSt a 37.77°C), el cual es de baja viscosidad y presenta mejor absorción de este tipo de solvente utilizado, que los aceites de mayor viscosidad.

Además de las columnas de absorción y de stripping, el circuito cuenta con intercambiadores de calor para lograr las distintas temperaturas a las que se opera en cada columna.

La Absorbedora de Aceite Mineral (ítem 120) es una columna de relleno desordenado que brinda un contacto continuo entre la fase líquida y vapor. Contiene un lecho de anillos pall, donde los gases ascendentes se encuentran en contracorrriente con el aceite descendente. Posee además un distribuido superior que permite el mojado uniforme del

relleno, lo cual permite maximizar el contacto entre las fases líquida y gaseosa, obteniendo así una eficiente absorción. El aceite concentrado en solvente (3-4% de solvente) sale por el fondo de la columna 120 hacia la regeneración. El contenido residual de solvente en el aire venteado es normalmente inferior a 10 g/m^3 (20% L.E.L.). El aire de salida de la columna de absorción es succionado por un ventilador (**ítem 136**) que lo envía de vuelta a la atmósfera, previo paso por un arresta llama, en concordancia con las recomendaciones de la norma NFPA36.

El fundamento del stripping de aceite mineral es el mismo que el visto en aceite vegetal (ítem 22), solo que en este caso se realiza un contacto continuo en lugar de un contacto por etapas en platos **(ítem 122)**.El equipo en el cual se realiza esta operación es una columna rellena con anillos Pall, que posee un distribuidor de entrada de aceite que asegura también un uniforme mojado del relleno, para maximizar su eficiencia.

El equipo opera con el vacío disponible de planta y una temperatura de 95-100°C. En estas condiciones operativas, el aceite de fondo es regenerado lográndose un contenido residual de solvente de aproximadamente 0.05 - 0.1%.

Dado que las operaciones de absorción y stripping se llevan a cabo a diferentes temperaturas, es necesario enfriar y calentar el aceite, por lo cual existen intercambiadores y economizadores entre ambas columnas (el ítem 120 y 122). El calentador de Aceite Mineral **ítem 121** es un intercambiador de calor que utiliza vapor de calefacción y permite el calentamiento final del aceite antes de ingresar al ítem 122.

La temperatura de calentamiento del aceite es de 95- 100°C, no siendo recomendable regenerar a mayor temperatura por la mayor degradación del aceite, lo que redunda problemas de ensuciamiento del sistema, pérdidas de performance y consecuente incremento en las pérdidas de solvente en aire.

El economizador Aceite/Aceite **ítem 181A** permite transferir energía entre el aceite caliente y regenerado de stripping, y el aceite frío y rico en solvente de absorción.

El enfriador de aceite mineral permite continuar el enfriamiento del aceite regenerado que sale del ítem 181A hasta una temperatura muy cercana a la del agua de enfriamiento (2-3ºC mayor), quedando el aceite acondicionado en contenido de solvente y temperatura para ingresar nuevamente a la absorción [24].

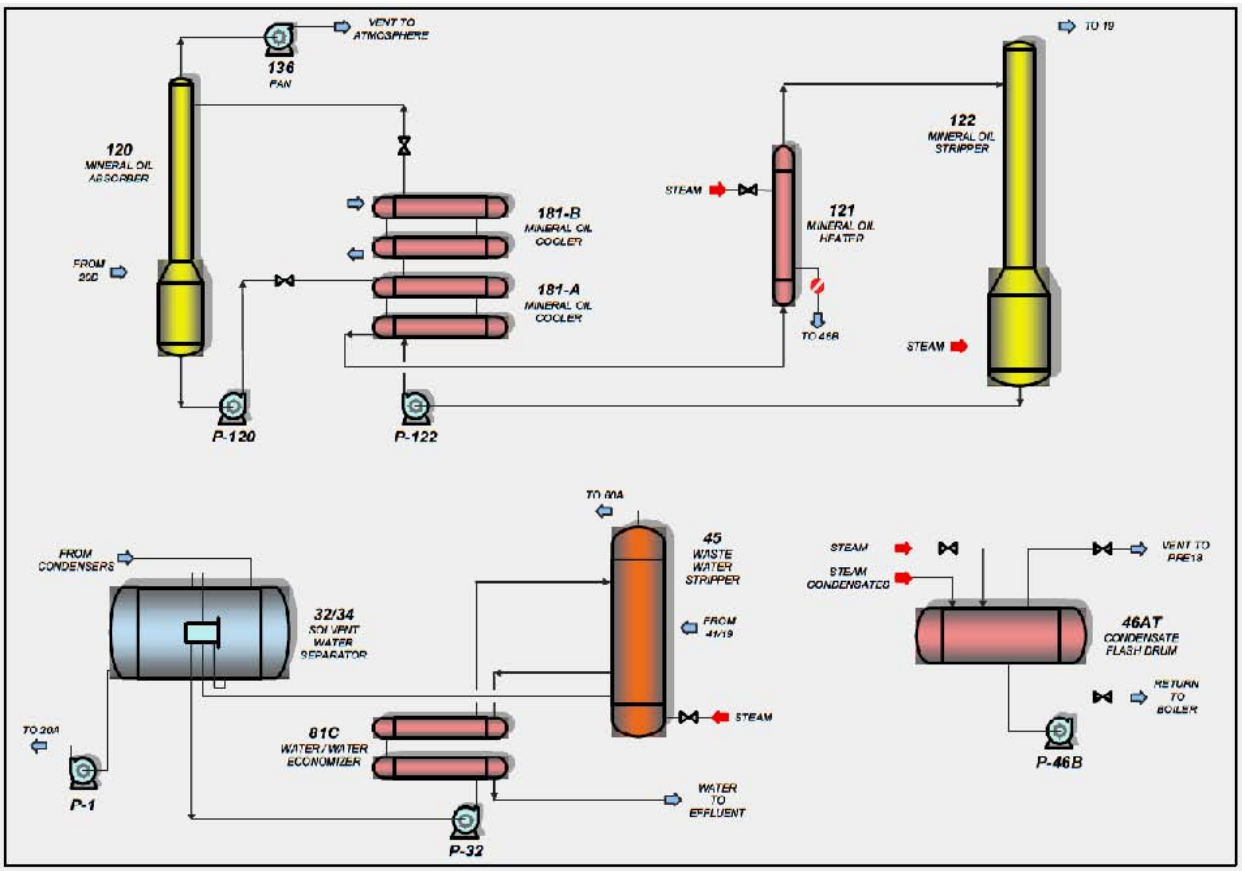


Figura 28C. Diagrama de flujo destilación de miscela y recuperación de solvente ‘‘parte2/2”. Procesos de eliminación del solvente. En la parte superior del equema se muestran los ítems involucrados en la eliminación del solvente del aire. En la parte inferior se destacan el separador agua-solvente, y los ítems involucrados en el stripping de los efluentes acuosos. (item 45 y 81C)

Generación de Vapor.

En la Tabla 7, se presentan detallados los valores medios de consumo de vapor en los distintos procesos de una planta aceitera. A modo orientativo, para una planta de 8.500 ton/día se utilizan dos calderas y cada una produce 60ton/hr de vapor. Dicho vapor mediante colectores, provistos de válvulas reguladoras de presión y atemperadoras, se distribuye a distintas presiones por toda la planta. De las calderas sale con una presión de 42 Kg/cm^2 y 280°C, este se dirige a una turbina para generar electricidad que con esta presión vapor genera 10MW/hr. El vapor a 42 Kg/cm^2 que es guiado hacia la sala de preparación, mediante las válvulas anteriormente mencionadas se modifica a 6 kg/cm^2 y 150°C y el que va a sala de extracción y destilación a 10 kg/cm^2 y 180°C.

El agua necesaria para alimentar la calderas se toma del río, se pasa por filtros de arena (retienen gruesos), luego por un floculado (retienen finos), obteniéndose agua clarificada. Esta última se la dirige al tratamiento de osmosis inversa para eliminar minerales, metales, sulfuros.

Una vez que el agua se encuentra en óptimas condiciones para ingresar a la caldera, pasa por un desaireador, donde se calienta el agua hasta 105 grados, para que la misma no ingrese fría a la caldera. También sirve para eliminar los gases que pueda tener el agua [25].

Fuente de consumo	Consumo de vapor (kg / ton sem)	% del total
Acondicionamiento de semilla	45	20
Recuperación de solvente en aceite	25	12
Recuperación de solvente en efl. líq.	4	2
Recuperación de solvente en gases	2.4	1
Recuperación de solvente en sólidos	130	60
Sistema de vacío	10	5
Totales	216.4	100

Tabla 7. Valores Medios de consumo de vapor en plantas de extracción. Fuente: ASAGA, AYG Libro 10º Aniversario, Tomo I. Tomado de distintas fuentes (Schumacher H., 1983; Dada S., 1983; De Smet, 1989).

Tratamiento efluentes.

El proceso de barros activados, con recirculación de barros biológicos, es un método de tratamiento biológico aeróbico que produce un efluente de calidad aceptable por eliminación de sustancias orgánicas que tienen demanda de oxígeno, utilizando reacciones metabólicas de microorganismos. Los contaminantes orgánicos del agua se encuentran parcialmente en estado disuelto y en estado suspendido.

El sistema de barros activos, es un proceso que convierte sustancias no sedimentables naturalmente, por estar finamente divididas en estado coloidal, en flocs biológicos, dióxido de carbono y agua. El floc biológico formado, que se denomina barro biológico, es eliminado del sistema por sedimentación, con lo cual se produce un alto grado de depuración del efluente tratado.

El barro biológico, se desarrolla en el REACTOR AERÓBICO. El floc bacteriano, posee capacidad de absorción de materia orgánica y se separa por sedimentación en un SEDIMENTADOR SECUNDARIO. Al absorber materia orgánica, el barro biológico crece y aumenta en forma continua. Por tal motivo, es necesario retirar periódicamente una cierta cantidad de lodos del sistema y enviarlos a un DIGESTOR AERÓBICO DE LODOS, luego al sistema de deshidratación y posteriormente a disposición final.

El efluente industrial que se genera en el establecimiento es recogido en una primera pileta (skim peek) y luego ingresa en una segunda pileta que cumple la función de ecualizador (POZO ECUALIZADOR Y BOMBEO). Desde allí el efluente, ecualizado y neutralizado, es bombeado hacia la planta de tratamiento a un caudal constante. El efluente industrial ecualizado y neutralizado llega entonces por bombeo y a caudal

constante a torres de enfriamiento en donde la temperatura es disminuida de 55ºC hasta aproximadamente a 30/35ºC.

El principio de funcionamiento del la planta es continuo y a caudal constante. Para una mejor comprensión del funcionamiento de la Planta, podemos dividirla en 5 Sectores.

SECTOR 1 – INGRESO DEL EFLUENTE CRUDO
SECTOR 2 – PRETRATAMIENTO
SECTOR 3 – TRATAMIENTO BIOLOGICO
SECTOR 4 – SALIDA EFLUENTE TRATADO
SECTOR 5 – DESHIDRATACION DE LODOS

SECTOR 1 – INGRESO DEL EFLUENTE CRUDO

En esta etapa se produce la recepción del efluente industrial a tratar y su correspondiente enfriamiento antes del paso a la siguiente etapa.

SECTOR 2 – PRETRATAMIENTO

Este proceso se denomina separador DAF. En esta etapa se logra remover la mayor cantidad de grasas y aceites que el efluente pudiera contener mediante la inyección de una corriente de efluente recirculado que contiene aire disuelto, lográndose separar por flotación los compuestos antes mencionados. Las grasas y aceites son separados de la superficie mediante un barredor y depositados en un contenedor para su disposición final.

SECTOR 3 – TRATAMIENTO BIOLOGICO

Luego de su paso por el separador DAF el efluente ingresa en un REACTOR AEROBICO donde se mezcla con los barros biológicos recirculados y con el efluente cloacal.

Aquí la mezcla recibe una incorporación constante de aire mediante equipos soplantes, de manera tal de garantizar que la oxidación biológica de los compuestos degradables se produzca en el ambiente más favorable durante un funcionamiento normal, el equipo se ocupa de entregar la cantidad de aire suficiente como para mantener la concentración de oxígeno disuelto a un nivel mayor de 2 mg/L. Luego de una permanencia de más de 24 hs, la mezcla de efluente y barro activado ingresa en un SEDIMENTADOR SECUNDARIO para que se produzca la separación de los sólidos decantables del líquido clarificado.

Una parte importante de esta etapa la constituye el manejo de las concentraciones de lodos, tanto en el REACTOR como en el SEDIMENTADOR. Para ello la planta cuenta con un sistema de recirculación de lodos que se extraen del SEDIMENTADOR SECUNDARIO y que permite enviarlos al REACTOR AEROBICO o bien el exceso al DIGESTOR AEROBICO DE BARROS en donde los mismos son estabilizados y digeridos antes de su posterior deshidratación.

A los efectos de mantener una concentración de nutrientes ideal para el crecimiento de los microorganismos, el tratamiento biológico instalado cuenta con un sistema de dosificación de productos químicos compuesto por 2 bombas dosificadora y sus correspondientes tanques de preparación de productos, que pueden utilizarse a voluntad para corregir las deficiencia en Nitrógeno (N) y Fósforo (P) que generalmente presentan los efluentes industriales. Como fuente de N se utiliza urea y fosfato di amónico como

fuente de P. Las concentraciones de N y P óptimas en este tipo de tratamiento están dadas por la relación: DBO:N:P =100:5:1

Esto significa que cada 100 mg/l de DBO que ingresan en el REACTOR AEROBICO, la concentración de N total debe ser de 5 mg/l y la de P de 1 mg/l.

SECTOR 4 – SALIDA EFLUENTE TRATADO

El liquido clarificado que sale del SEDIMENTADOR SECUNDARIO, antes de su descarga al curso receptor, recibe una dosis de una solución de Hipoclorito de Sodio que cumple la función de esterilizante o sanitizante que permite reducir, dentro de los parámetros exigibles, la concentración de coliformes y degradar además aquellas fracciones de DBO y DQO que no se eliminaron durante el proceso. Este sector involucra además el bombeo del efluente tratado hacia la descarga final.

SECTOR 5 – DESHIDRATACION DE LODOS

Parte de los lodos se re-circularán al REACTOR AEROBICO para mantener la concentración de sólidos suspendidos volátiles requeridos en el proceso de lodos activados y el exceso se enviara al DIGESTOR AEROBICO DE BARROS.

La función del DIGESTOR es almacenar y concentrar aquella cantidad de lodos que llevan la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el REACTOR AEROBICO por encima de los valores de diseño y que en consecuencia se deben purgar del sistema.

Los lodos tendrán allí una permanencia mínima de 20 días, dependiendo esto de la cantidad de lodos generados que está en relación directa con la carga ingresante (Kg DBO/día) y con la eficiencia del sistema. Está provisto de un sistema de difusores de burbuja gruesa alimentados desde el colector principal de aire que aportan la cantidad necesaria para mantener los barros en constante agitación y mezcla. La digestión aeróbica de lodos es un proceso bacteriano que ocurre en presencia de oxígeno y que tiene como objetivo la reducción en la cantidad de sólidos. Bajo estas condiciones, las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica presente y la convierten en CO_2. Una vez que el alimento se haya terminado, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias en un proceso que se denomina “respiración endógena”. Una vez digeridos, los fangos son extraídos para su posterior deshidratación en el filtro de bandas y luego enviado disposición final. Los barros que ingresan en el DIGESTOR tienen una concentración aproximada del 0,81% de SST (total de sólidos suspendidos) y al final del proceso en el Filtro de bandas se obtiene una concentración por arriba del 15% de SST. Esto quiere decir que el volumen de sólidos a disponer se reduce más de 15 veces.

El filtro de bandas producirá por un lado la “torta” de barro deshidratado y por otro un líquido producto del prensado del barro y del agua de lavado de las bandas. Este líquido es colectado en un pozo de drenaje e incorporado nuevamente al REACTOR AEROBICO mediante una bomba sumergible.

A modo de ejemplo, se detalla el tipo de efluente que se produce en la industria (Fuente confidencial). El mismo se cuantificó para una producción de 8500 ton/día (Tabla 8) y a su vez se comparan sus características con los valores del efluente tratado (Tabla 9), que cumple con los límites obligatorios de la Ley N°: 11.220 ANEXO B del Ente Regulador de Servicios Sanitarios de la Provincia de Santa Fe.

Tabla 8. Aportes diarios de efluentes de una planta con capacidad de producción de 8500 ton/día.

CAUDALES	
Aporte cloacal	53,75 m^3/día
Aporte industrial	720 m^3/día
Total caudal diario	773,75 m^3/día

Tabla 9. Comparación de las características físico-químicas del efluente aportado por la industria con las características del efluente ya tratado como se describe en el texto.

Efluente Industrial	**Valores**	**Efluente tratado**	**Valores**
Temperatura	30°C	Incremento de la temperatura	< o igual a 3°C
DBO	1.500 ppm.	DBO	50 mg/l
DQO	4.500 ppm.	DQO	75 mg/l
Total de Fósforo	5 ppm.	Total de Fósforo	2 mg/l
Total de nitrógeno	2 ppm.	Total de nitrógeno	10 mg/l
SSEE	116 ppm.	Sustancias solubles en éter etílico	100 mg/l**
SST	400 ppm.	Total de sólidos suspendidos	20 mg/l
Sol. Sedimentables en 10 min	1 ml/l.	Sólidos sedimentables en 10 min.	< a 0,5 ml/l
Sol. Sedimentables en 2 hs	15 ml/l.	Sólidos sedimentables en 2 horas	1 ml/l*
Detergentes	3 mg/l	Detergentes (SSAM)	3 mg/l
Hidrocarburos totales	70 mg/l	Hidrocarburos totales	50 mg/l
Sulfuros totales	< 3 mg/l	Sulfuros totales	< a 1 mg/l
		pH	6 – 9
		Aceite y grasa	10 mg/l
		Total de bacterias coliformes	400 MPN/100 ml

*exigido para desagüe a conducto pluvial cerrado y a pozos o a campos de drenaje.

**para descarga en cursos de agua superficial 50 mg/l para descarga en colectoras cloacales

2-Descripción sobre el método extrusado-prensado (EP).

El procesamiento por extrusión seca se desarrolló en la década de los sesenta para permitir a los agricultores norteamericanos del Medio Oeste tratar térmicamente a la soja y a otros cereales para su posterior utilización como forraje para el ganado.

El proceso usa la fricción como única fuente de calor para desactivar los factores antinutritivos presentes en las oleaginosas. Hasta hace no mucho tiempo atrás el producto principal del proceso de extrusado en seco, era el poroto de soja con un contenido promedio del 38 % de proteína cruda y 18 % de aceite. Dicho producto se usa con éxito en dietas de alta energía destinadas a todas las especies de ganado.

Por otra parte, la prensa tornillo continua (prensado mecánico) era una importante técnica para el procesamiento de soja antes de la Segunda Guerra Mundial. Más tarde se la reemplazó por la extracción por solvente (hexano), proceso que describí a lo largo de esta tesis y a través del cual se puede extraer más de un 99 % del aceite contenido en la semilla. Los principales obstáculos en el uso de este proceso que enfrentan los productores de soja son los montos de inversión de capital, el tonelaje de materia prima básica requerida y la capacitación técnica que se necesita para evitar accidentes, en

virtud de que se trata de un proceso que requiere ser operado bajo estrictas normas de seguridad.

Nelson y colaboradores desarrollaron un método mecánico para extraer el aceite de las oleaginosas mediante la extrusión seca como tratamiento previo. Descubrieron que los porotos de soja quebrados en fragmentos gruesos con un contenido de humedad que oscile entre 10 y 14 % podían extrusarse y cocerse en menos de 30 segundos a una temperatura de 130-150 ºC y que el extrudido semilíquido también se podía prensar inmediatamente en una prensa de tornillo para obtener aceite y una torta de prensa de alta calidad.

La extrusión realizada previamente al prensado genera un incremento de la capacidad de la prensa. Se obtiene a su vez una recuperación del 70 % en el prensado de un paso, usando prensas tornillo. El breve proceso de extrusión-cocción en prensa a alta temperatura evita el calentamiento prolongado de la materia prima tal como se realiza en el prensado convencional [26].

Descripción de los equipos y del proceso.

La planta se puede dividir en tres sectores, el de recepción (Figura 29), el de producción y el de almacenamiento. Dichos sectores pueden diseñarse de diferentes maneras, según la inversión que se desee realizar y las posibilidades y/o facilidades que se puedan obtener en la zona donde se va a montar la industria.

Recepción.

Este sector se encuentra integrado por:

a) Oficina: en la cual se pueda realizar la documentación necesaria para la recepción y despacho de mercadería, así como también realizar los análisis de calidad del grano que ingresa a la planta y controlar balanza.

b) Balanza de camiones: puede ser del orden de 80 ton para pesar juntos el tractor y el acoplado, o bien más pequeña para pesar en dos etapas. Es un equipo optativo ya que puede usarse una balanza pública o privada si existe en zonas cercanas.

c) Plataforma volcadora: Es un equipo optativo ya que puede descargarse el camión manualmente sobre rejilla.

d) Silos de recepción: Preferiblemente se utilizan los de chapa galvanizada y de cono expuesto.

e) Secadora: Provista de secador a gas si se dispone en la zona, ya que esto optimiza los costos si se lo compara con otro tipo de combustibles y con gases de combustión menos contaminantes. Si se utiliza gas licuado el costo es superior. El uso de secadoras es recomendable para conseguir una humedad máxima de 10% a la entrada de la extrusora, ya que humedades superiores disminuyen la temperatura de la extrusión debido a que el agua trabaja como lubricante disminuyendo la presión y disipando el calor de fricción, lo que lleva a una desactivación menos eficiente y a una menor cantidad de células oleíferas rotas. Se calcula que cada 1% de humedad extra disminuye 10 grados centígrados la temperatura. Si estuviese muy seco, el grano eleva demasiado la

temperatura y puede quemar el expeller (color marrón) reduciendo la digestibilidad del mismo.

f) Silo diario de producción: Similar al descripto en el item d.

Figura 29. Sector Recepción de plantas de extrusado-prensado. Izquierda se muestra una foto tomada de una oficina de recepción con balanza, la foto central muestra una plataforma volcadora y a la derecha una planta de almacenamiento con secadora y silos diarios de producción.

Sector de producción y almacenamiento de productos elaborados.

a) Limpiadora: Se utilizan zarandas del tipo vibratoria para separar finos y gruesos.
b) Balanza de producción: Para controlar la producción horaria y diaria. Lo recomendable es utilizar la del tipo tradicional por lotes o bien otras opciones del tipo cinta con celdas de pesaje o bien de impacto.

c) Separador magnético: Elimina los cuerpos de naturaleza férrea, evitando problemas de desgaste o rotura en los equipos instalados a continuación del imán. Puede ser rotativo, fijo de placas, de cinta.

d) Quebrador de soja: Compuesto por dos pares de rolos. El superior con corrugado grueso para quebrar soja en cuartos (5 rayas por pulgada) y el par inferior más fino (7,5 rayas por pulgada) para partir los porotos en cuartos.

e) Extrusora: Consta de un cuerpo cilíndrico dentro del cual gira un eje que lleva montadas secciones con helicoides de paso variable para generar presión y varias restricciones entre esos sectores para producir fricción (Figura 30). Esto eleva rápidamente la temperatura de la soja, dependiendo de la humedad del grano, entre 110 a 130ºC durante el período de circulación en el cañón, que no excede los 3 segundos [27]. También es sometida a una presión interna cercana a las 40 atmósferas y al salir por un orificio al exterior, en forma de chorro pasa a presión atmosférica súbitamente, produciendo la evaporación del agua y reduciendo la humedad (4-6 %). Estos valores son ideales para la extracción de aceite además de que dicha súbita descompresión produce la rotura de las celdas que contienen el aceite. Esta ruptura de las celdas produce también la liberación de tocoferoles, que actúan como antioxidantes naturales, prolongando la duración del aceite y expeller.

La cocción a alta temperatura y en corto tiempo logra desactivar los factores antinutricionales de la soja, disminuyendo la digestibilidad de sus proteínas en menor grado que los demás métodos de desactivación [28].

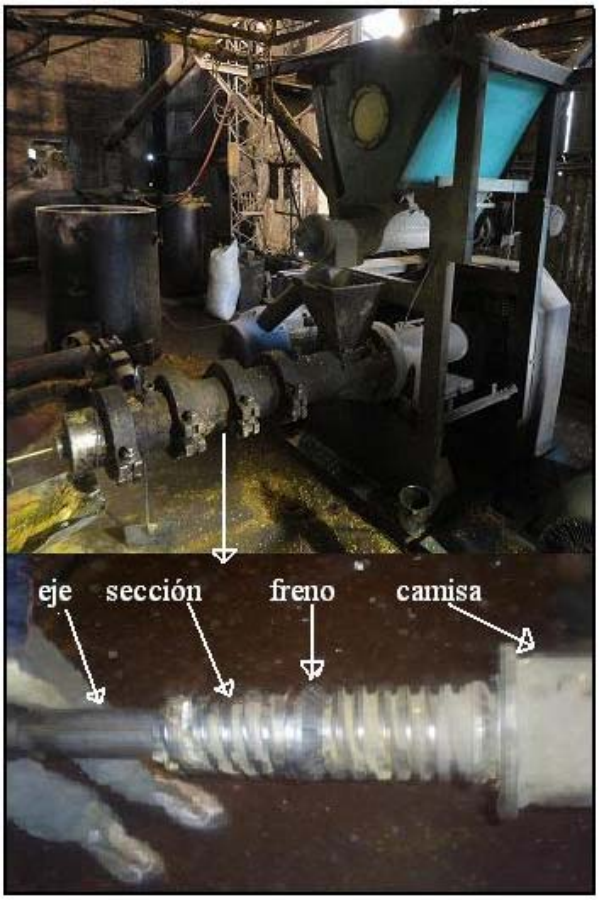


Figura 30. Arriba, extrusor Bronto, con capacidad de 1ton/hra**. Abajo,** se muestra en detalle el eje del extrusor, las secciones, frenos y camisas.

Figura 31. Imagen de planta de EP de Córdoba, en el sector de limpieza y Extrusado.

f) Prensa: Luego del paso por la extrusora el grano de soja llega a la prensa como una pasta de soja caliente. El principio del prensado es someter al grano previamente extrusado a una gran presión con el fin de poder extraer la mayor cantidad de aceite posible. Consta de un cuerpo (barril) formado por planchuelas o cuchillas trapezoidales separadas unas de otras por placas de espesor variable que dejan ranuras para que a través de estos espacios pueda escurrir el aceite de la prensa. Dentro de este cuerpo gira un eje con helicoides de paso variable, lo que comprime la soja proveniente de la extrusora. Esta presión logra que la soja libere el aceite que contienen las celdillas que han sido rotas por la extrusora. El aceite crudo 12 a 14% junto con algo de sólidos (8% aproximadamente) pasa a través de las ranuras del barril, para luego ser enviado al decantador (Figura 32 y 33). Los sólidos que salen de la prensa se denominan expeller, representan un 84-86%, contienen de 6 a 8% de materia grasa y 5-12% humedad.

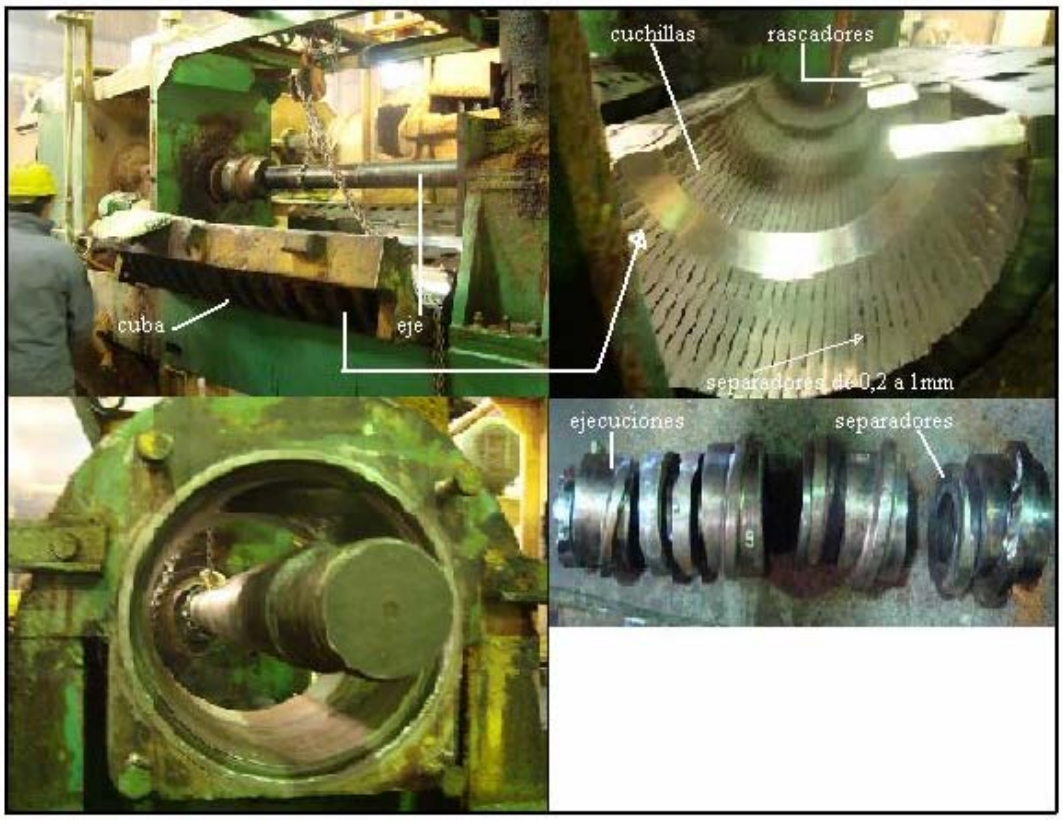


Figura 32. Prensa para extracción de aceite. Fotos de prensa con capacidad de 5 ton/hora., en las cuales se señalan diferentes partes.

Figura 33. Prensas con capacidad de trabajo de 500 kg/hra.

g) Secador-enfriador y depósito de expeller: El expeller que sale del extremo de la prensa lo hace a temperatura elevada, superior a los 100 ºC, razón por la cual debe ser transferido a un secador-enfriador de piso fijo formado por piezas de sección trapezoidal (wedge bars), con el propósito de que los finos que pueden atravesar el piso no queden acunados al mismo, a su vez el enfriado dispone de ventiladores que producen una corriente de aire que atraviesa el manto de expeller disminuyendo su temperatura unos 10 ºC por encima de la temperatura ambiente y al mismo tiempo se produce un pequeño secado que permite almacenar el expeller en forma segura por un cierto lapso.

Como se observa en las fotos de la Figura 34, el expeller proveniente de la secadora se envía a un deposito de piso plano desde donde y a través de un sistema de trasportes se produce la carga de camiones. El transporte que une el secador con el depósito debe permitir mediante descargas a lo largo, variar el punto de llenado del mismo para evitar que haya expeller sin movimiento durante periodos de tiempo prolongados.

Lo ideal es que el despacho de expeller se maneje bajo el flujo denominado FIFO (first In – First Out), lo primero que ingresa a la celda será lo primero que salga de la misma.

Figura 34. Alternativas de almacenamiento y despacho de expeller. En las fotos superiores se muestra un galpón desde el interior (izquierda), con su fosa de noria alimentada mediante el tractor con pala, y desde el exterior (derecha) donde se observa la noria para el despacho de expeller. En la imagen inferior se observa a la izquierda el alimentador de expeller que mediante un sistema de sinfines despachan el material.

h) Separación de sólidos del aceite: El aceite con borra y finos proveniente de la prensa se envía a decantación, mediante un gusano que recolecta el aceite de todas las prensas y lo envía a un foso. Al circular por el foso la carcasa del sinfín se remplaza por una malla metálica que deja caer el aceite y finos, reteniendo la borra (gruesos). Esta última se incorpora nuevamente al sistema mezclándolo con el extrudido. El aceite con finos es bombeado del foso hacia la línea de decantación.

El material decantado también se recicla a las prensas junto con el material extrudido. El aceite decantado se envía luego a un filtro prensa o bien a un separador centrífugo horizontal (decanter) o vertical donde se logra clarificar el aceite despojándolo de los finos remanentes.

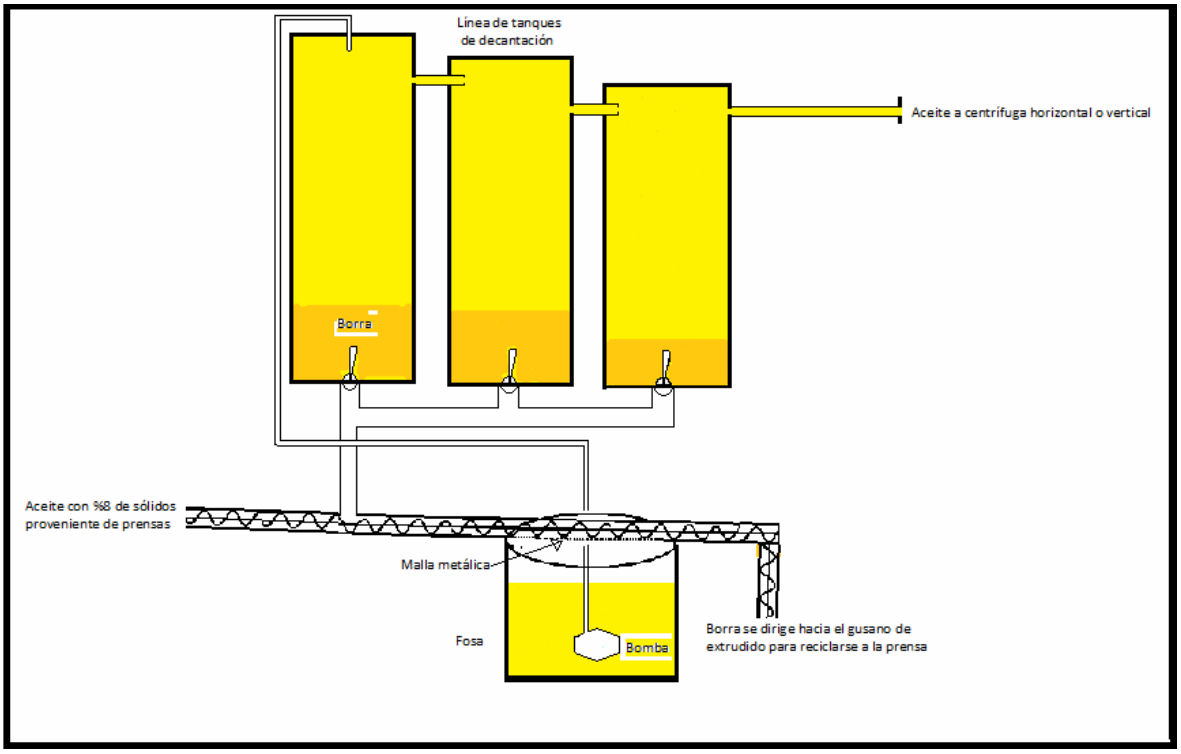


Figura 35. Sistema de separación de sólidos. En el esquema superior se observa el sistema de separación de sólidos del aceite y la recirculación de los mismos a las prensas.

i) Hay dos alternativas, la más económica es el llamado Filtro Prensa y la más costosa las centrífugas horizontal y vertical.

Filtro prensa: Es de placas de aluminio con lonas que se colocan entre las placas y que son atravesadas por el aceite permitiendo retener la pequeña cantidad de finos no separados en el borrero. Cuando se limpian las lonas obstruidas por los finos, el material extraído se envía a la prensa.

Centrífuga horizontal: Los decanters son utilizados para la separación continua de sólidos suspendidos en líquidos. Como se observa en la Figura 36, la parte esencial de un decanter es el rotor, el cuál consiste en un tambor cilíndrico-cónico, con tornillo sinfín transportador incorporado, que gira con una velocidad diferencial. El rotor está accionado por un motor eléctrico. Ambos se unen a través de poleas y correas. El producto entra al rotor a través de un tubo de alimentación central gracias a las boquillas de salida (toberas) situadas en el cuerpo del sinfín, el producto pasa al tambor, dónde tiene lugar la separación por fuerza centrífuga. En el decanter el producto se separa en una fase líquida (aceite) y una fase sólida. La descarga del aceite se realiza por gravedad. Finalmente, el tornillo sinfín transporta los sólidos a la parte cónica para su descarga.

Cabe destacar que el uso de un decanter centrífugo si bien involucra una mayor inversión, es un sistema que da continuidad y que a su vez evita la realización de tareas manuales y consecuentemente una disminución de los costos de mano de obra. A la

salida del decanter los sólidos (borra) se envían a prensado y el aceite puede ser enviado el desgomado.

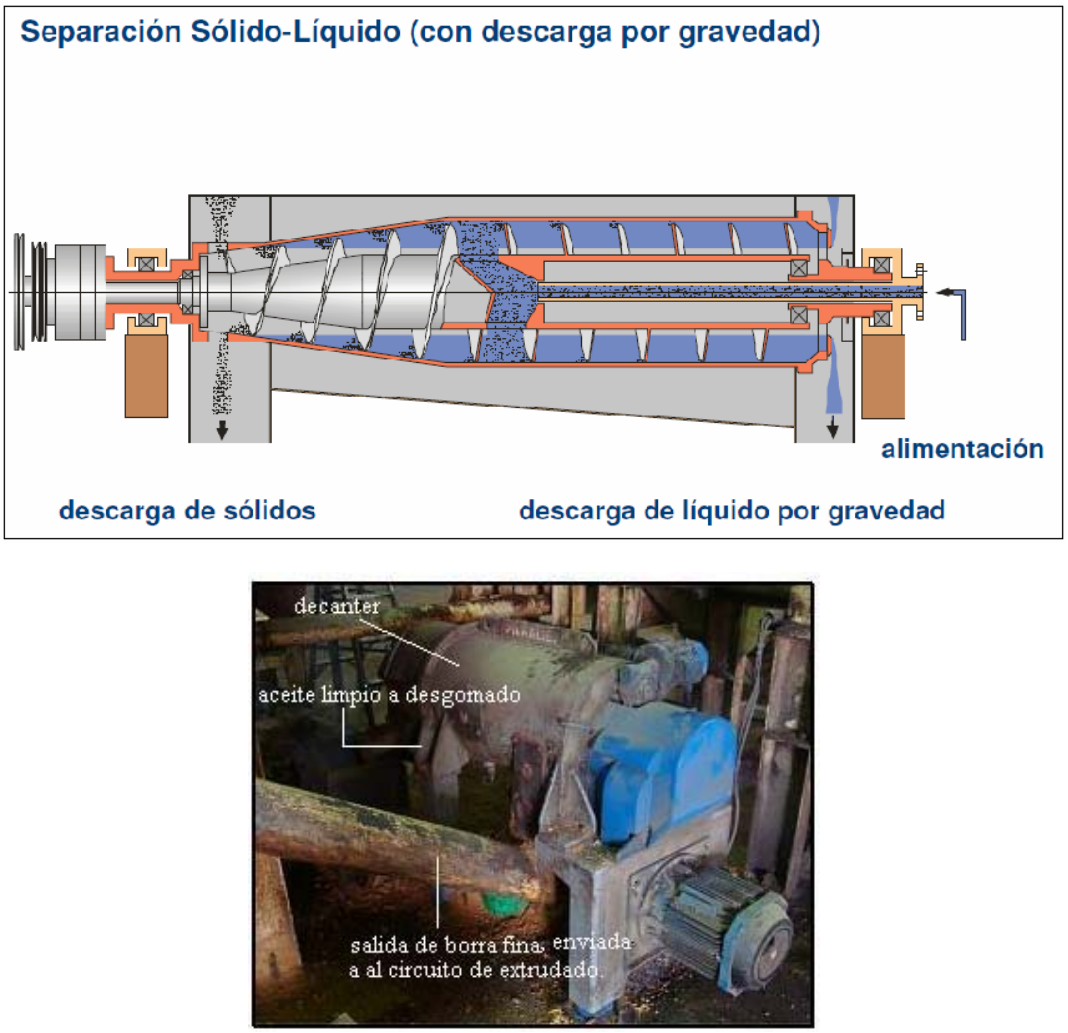


Figura 36. Decanter. En la figura superior se esquematiza el principio de funcionamiento de la centrífuga horizontal y en la foto inferior se observa un ejemplar de una planta visitada.

j) Tanque mezclador. Centrífuga separadora de gomas: Como se expuso en la introducción, el aceite de soja contiene una cierta cantidad de fosfátidos (2% sobre aceite) conocidos habitualmente como gomas.

Para separar los fosfátidos hidratables del aceite, luego del filtrado, se le agrega una cantidad similar de agua potable (2-3%) y se envía a un tanque con agitador. La temperatura debe ser superior a 80 ºC. El tiempo de retención y agitado es alrededor de 30 minutos. Una vez que los fosfátidos se hidratan en contacto con agua, aumentan su peso específico, lo que permite separarlos en una separadora centrífuga (Figura 37). También se las puede separar por decantación, pero es menos eficiente. Las gomas separadas es posible agregarlas al material que ingresa a la prensa para que se incorporen al expeller. Se consideran “desgomado” al aceite con menos de 200 ppm de fósforo.

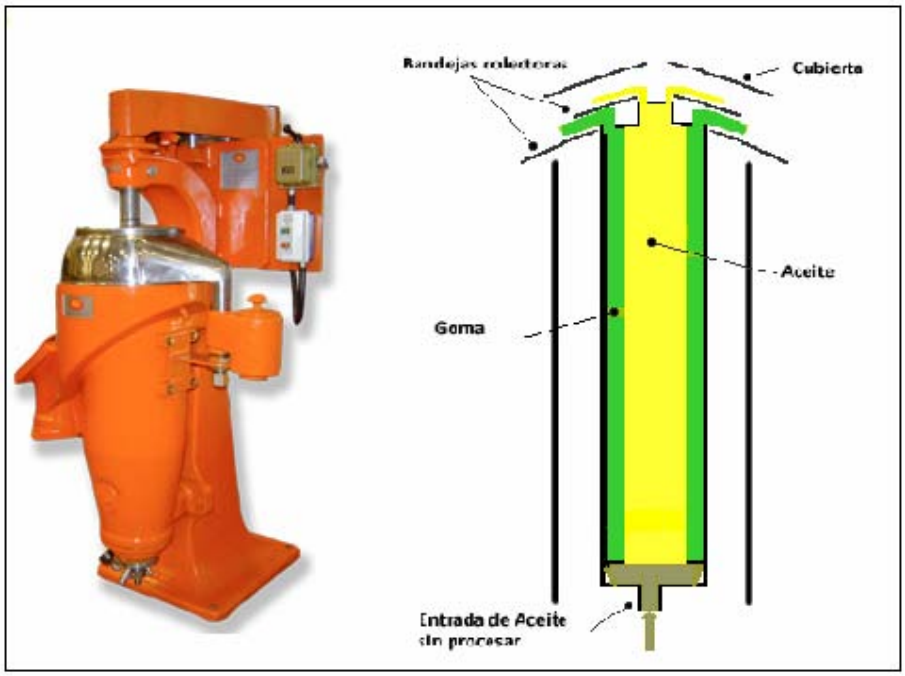


Figura 37. Separadora Centrífuga de fosfátidos hidratables. A la izquierda una foto de la apariencia externa y a la derecha se esquematiza el principio de separación.

k) Tanque de almacenamiento de aceite desgomado. El aceite desgomado se envía a los tanque de almacenamiento desde donde, a través del uso de bombas, se carga en los camiones que lo retiran de la planta.

Figura 38. Tanque de almacenamiento del aceite desgomado.

Controles de proceso:

A fin de mantener una adecuada calidad del expeller y del aceite, se deben realizar una serie de controles en planta o en laboratorio:

1. Control de humedad del grano ingresante al proceso y de la calidad de la misma (granos averiados, contaminación con otras especies de semillas, granos verdes, impurezas, metales).

2. Control de humedad del grano a la salida de la secadora-enfriadora.

3. Control de la calidad del quebrado, semillas sin partir o en trozos grandes (de ¼ o superiores).

4. Temperatura a la salida de la extrusora.

5. Materia grasa del expeller a la salida de la prensa.

6. Disminución del inhibidor tripsina y de la ureasa, mediante la medición de la actividad ureásica o mediante otro sistema de medición como el valor de PDI (Índice de dispersabilidad de la proteína) o la medición de la solubilidad en hidróxido de potasio. También puede medirse la calidad de la proteína (proteína bruta y digerible).

7. Temperatura y humedad del expeller a la salida del secador.

8. Temperatura del aceite a desgomar y porcentaje de agua agregada en el tanque mezclador.

9. Fosfátidos presentes en el aceite desgomado, determinando P (fósforo) en ppm [30].

Personal operativo.

El equipo de personal tentativo para operar la planta en turnos rotativos de 24 horas seria:

1. Un encargado en horario diurno que también realizaría los controles de la semilla que ingresa a la planta y el control del peso en la balanza. Con conocimientos de mecánica y electricidad.

2. Cuatro operadores de planta en turnos rotativos de ocho horas (uno por turno), con conocimientos básicos de mecánica y electricidad.

3. Dos ayudantes en la recepción de semilla. Para el trabajo diurno, debe resolverse como proceder si no hay un ingreso uniforme de grano. Pueden colaborar con el control operativo de la secadora. También podrían colaborar en la carga de expeller y aceite.

4. Las tareas de mantenimiento para la corrección de desperfectos de mayor envergadura o mantenimientos programados, pueden encargarse a una empresa contratista tercearizada que aporte personal de mecánicos y electricistas idóneos [30].

Desgaste de equipos.

Es muy importante mantener las extrusoras y prensas en buenas condiciones de trabajo, ya que un desgaste de los interiores puede conducir a pérdidas en la extracción de aceite y riesgos de mala desactivación del expeller.

En el caso de la extrusora, cuando cuesta lograr la temperatura de trabajo, se deberían cambiar frenos, luego aros, y revisar los gusanos y camisas por desgaste. Si bien el desgaste está relacionado con la limpieza de la soja y la humedad sucede que generalmente a, aproximadamente, las 1500 toneladas de uso los frenos se encuentran gastados y se deberían cambiar.

Es muy riesgoso trabajar a bajas temperaturas (por debajo de 130 ºC), ya que puede no desactivarse bien el expeller. Además las bajas temperaturas ocasionan bajas en la extracción de aceite, con importantes pérdidas.

En el caso de las prensas, se debe analizar con frecuencia el nivel de materia grasa en el mismo para examinar el nivel de extracción de aceite. Si el mismo se elevara por encima de 6,5 %-7% se deberá examinar el interior de las prensas y posiblemente cambiar los gusanos y anillos. Una pérdida del 1% de aceite en el expeller se estima que representa, en una producción de 25 ton/día, 250 Kg de aceite por día de pérdida.[30]

Electricidad:

El proceso de extrusado-prensado de soja consume unos 100 Kw por tonelada de soja procesada incluyendo todos los equipos involucrados. Se recomienda un transformador de 200 Kva en la entrada de la planta, para una producción de 2ton/hora. En la Figura 39 se muestran detalladamente los componentes eléctricos de una planta de EP.

Figura 39. Componentes eléctricos de una planta EP.

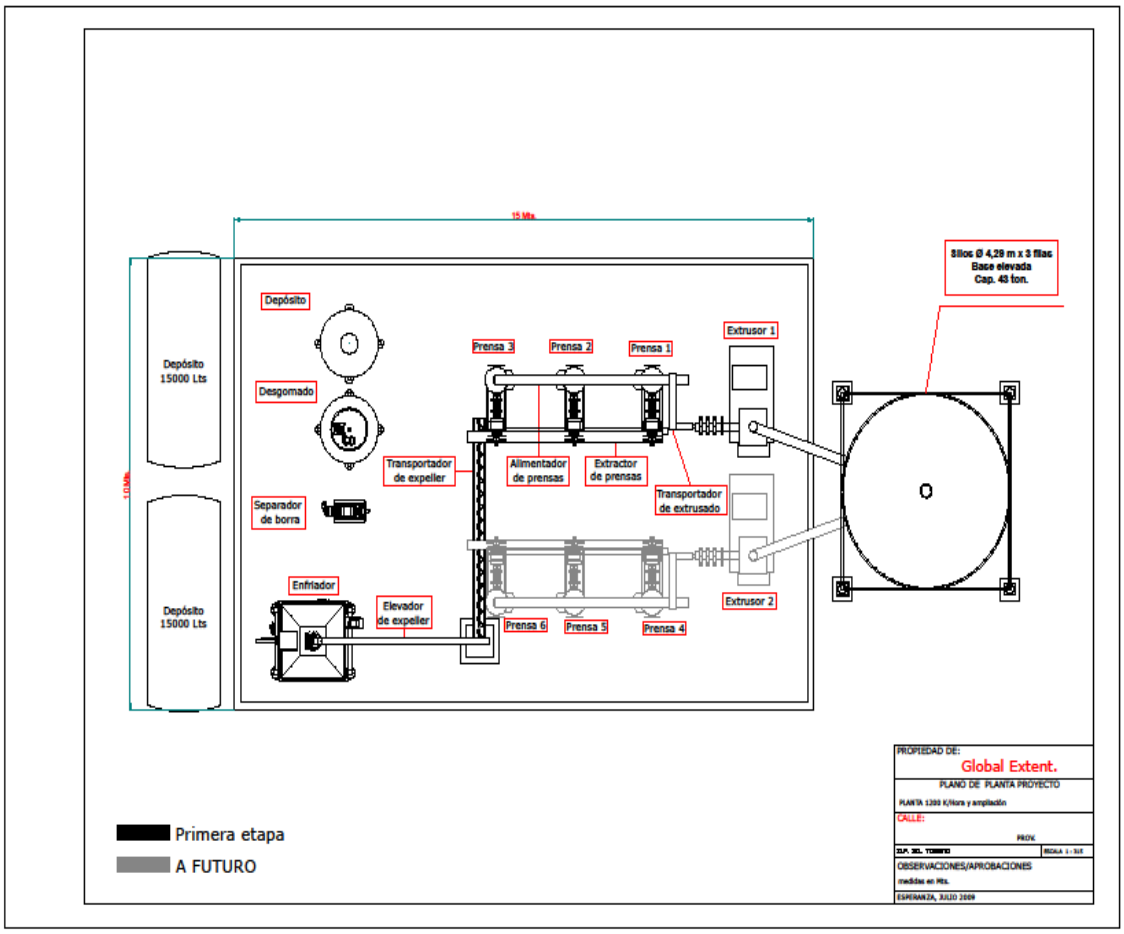


Figura 40. Ejemplos de plano de planta de EP. (Fuente Global exent)

Habilitaciones necesarias para operar una planta:

Municipal, SENASA y ONCAA. La ONCAA requiere 2000 toneladas de acopio para la habilitación pero se puede pedir una excepción. Ya hay varias plantas habilitadas mediante esta excepción [30].

Ventajas y desventajas.

Ventajas:

1. Mejor calidad de la proteína (digestibilidad) y preservación de las propiedades nutricionales al no estar la materia prima en contacto con vapor, el solvente, ni expuesta al calor por tiempos prolongados.

2. El proceso no genera efluentes, por lo que puede ser definido como amigable con el medio ambiente.

3. Se minimizan los fletes ya que tanto la materia prima, como así también el expeller pueden ser utilizados por el procesador, mientras que el aceite tal vez deberá ser comercializado a terceros.

4. La inversión por tonelada en instalaciones es inferior a la que se incurre cuando se adquiere una planta de extracción convencional y la inversión total incluyendo el capital trabajo es mucho menor. Una solución aplicable a las plantas EP puede ser trabajar con semillas de terceros devolviendo la harina al productor y reteniendo la totalidad o parte del aceite como compensación de los costos de elaboración.

5. Generan trabajo dentro de su propio ámbito y a su vez es posible operarla con poco personal, no mas de dos o tal vez tres personas por turno son las necesarias para alimentar la planta, atender el proceso y manipulear los productos terminados.

6. La calidad de aceite es aceptable y puede comercializarse como orgánico. Si se lo desgoma puede resultar apto para producir biodiesel. No se destruyen los antioxidantes naturales (tocoferoles), lo cual preserva la calidad y estabilidad del aceite crudo.

7. Permite realizar instalaciones donde varios productores de soja, que posean algún tipo de explotación pecuaria como por ejemplo aviar, porcina, tambera o de engorde vacuno a corral, se unan para operarla de manera conjunta.

Desventajas:

1. Alto consumo de energía eléctrica, lo que puede significar un factor limitante si no existe suficiente disponibilidad en la zona. Aproximadamente 160 KW/h. para una producción de 1 ton/hr.

2. Solo son plantas para producciones pequeñas del orden de 50 a 200 ton/día.

3. Altos costos de producción que puede compensarse con el mejor precio de venta.[30]

Comparación del impacto ambiental en planta de extracción por solvente y EP.

La extracción por solvente produce los siguientes efluentes:

1. Gases de combustión de caldera generadora de vapor
2. Trazas de solvente residual en la harina.
3. Trazas de solvente en los gases incondensables que se emiten a la atmósfera.
4. Trazas de solvente que se eliminan con el agua del proceso de planta.
5. Pérdidas de solvente en bombas y otros equipos.
6. Aire de secado de harinas, arrastra polvo y trazas de solvente.

En la planta EP todos los efluentes se reciclan y solo se emite lo siguiente:

1. Gases de combustión de la secadora, que también se producen en la planta de solvente.
2. Aire húmedo de salida del secador de expeller. El expeller tiene menos finos que la harina, por lo que prácticamente no hay contaminantes en el aire de descarga.

Esto hace que la planta sea amigable con el medio ambiente [30].

Calidad del aceite de soja obtenido por EP.

Cuando se lo compara con el aceite de soja crudo extractado por solvente, el aceite de soja EP es notablemente estable a la oxidación, debido a la desactivación de las enzimas que favorecen el enranciamiento y a la aparición de sabores desagradables, como la lipasa y la lipooxigenasa.

De acuerdo con Hill, el aceite prensado contiene menor cantidad de peróxidos, ácidos grasos libres, trazas de metales, esteroles, fosfátidos, materia no saponificable, humedad y materia volátil, en comparación con el aceite crudo extractado por solvente (Tabla 10). El mismo autor menciona que el aceite prensado contenía iguales cantidades de pigmentos, ácidos grasos y triglicéridos que el aceite crudo extractado por solvente. Asimismo comunica que la estabilidad del aceite de soja obtenido a través del proceso de EP se debe a la presencia de antioxidantes naturales (carotenoides y tocoferoles) y bajos niveles de fosfolípidos y peróxidos (Tabla 11). El aceite obtenido por prensado es de altísima calidad, estabilidad y duración, mostrando una estabilidad de 15 horas según el método de oxígeno activo (AOM). El proceso de EP no exige el uso de solventes ni productos químicos y no genera corriente de desechos, como ya lo presenté con anterioridad. El único desecho obtenido en esas operaciones es una cierta humedad en forma de vapor. Muchos productores, sin embargo, regulan la humedad en la harina prensada para solucionar la pérdida de volumen [29].

Tabla 10. Características del aceite de soja crudo obtenido por EP, crudo extractado por solvente, y RBD.

Composición	Crudo E-P [b]	Crudo E-S [c]	RBD comercial
Materia Insaponificable (%)	0,98	1,6	0,3
Valor de peróxido (meq/kg)	0 - 1,00	2,4	0
Humedad y volátiles (%)	0,03	0,3	0,06
Acidos grasos libres (%)	0,14	0,3 - 0,7	0,05
Fosfátidos (%)	0,2	1,5 - 2,5	0,01 - 0,5

[a] Refinado, blanqueado y desodorizado
[b] Extrusado-prensado
[c] Extracción por solvente

Tabla 11. Efectos de las etapas de procesamiento sobre el contenido de componentes menores en aceite de soja.

Muestra de Aceite	Clorofila (ppm)	Acidos grasos libres (%)	Peróxidos(meq/kg)	Tocoferoles (ppm)
Extrusión-prensado crudo	0,42	0,16	0,1	1.516
Desgomado	0,4	0,15	8,24	1.477
Refinado	0,32	0,08	7,02	1.430
Blanqueado	0	0,08	1,58	1.236
Desodorizado	0	0,03	0	790

De acuerdo a la normativa vigente en Argentina (SAGPyA, Norma XIX: 317/99) "se entiende por subproductos oleaginosos, a los residuos sólidos resultantes de la extracción industrial del aceite de granos oleaginosos, obtenidos por presión y/o disolvente, provenientes de la elaboración de mercadería normal, sin el agregado de cuerpos extraños ni aglutinante". En función del proceso de industrialización a que se someta la materia prima, la norma establece para la comercialización de estos insumos la siguiente clasificación:

a) **Expellers:** "Son los residuos de elaboración por prensa continua".

b) **Harina de extracción:** "Son los residuos de la elaboración por disolvente y salvo estipulación especial no se diferencian por su granulación, pudiendo ser fina, en grumos, aglomerados o pedazos, según los distintos sistemas de extracción y secado". En la siguiente Tabla 12 se exponen comparativamente las propiedades de las harinas que hoy en día más se producen en la industria.

Tabla 12. Composición harinas de baja y alta proteína.

Propiedades			
		Harinas de soja	
		Baja proteína	Alta proteína
Proteína	Mínimo	44%	48%
Materia grasa	Mínimo	0,5%	0.5%
Fibra	Máximo	7%	3,50%
Humedad	Máximo	12%	12%
Actividad ureásica		0,05-0,2	0,05-0,2
Densidad		36-40 libras/pie3	41-42 libras/pie3
Características primarias de harinas de soja			

c) **Pellets:** "Son los comprimidos (cilindros) provenientes de los residuos de la extracción del aceite de los granos oleaginosos definidos anteriormente. El largo y el diámetro de los comprimidos podrán ser de cualquier medida, salvo estipulaciones expresas en el boleto de compra-venta.".

Entonces, de acuerdo a la normativa, cuando se hace referencia a "expeller" se trata del material de extracción por prensado, "harina" es el material obtenido por solvente y "pellets" se denomina a la forma física (comprimidos) de presentación de estos subproductos. Pero cuando se habla de "pellets" (los cilindros compactos de largo y diámetros variables) se debe considerar que éstos pueden fabricarse tanto a partir de expeller como de harinas.

Desde el punto de vista de la nutrición animal los expeller y las harinas de soja en sus diferentes formas son alimentos de alto valor alimenticio porque representan la principal fuente de proteína (y de aminoácidos esenciales) para muchas especies de interés comercial: aves, cerdos y ganado de leche y carne.

Sin embargo, la composición química y el valor nutritivo de estos residuos industriales es muy variable y el método industrial utilizado para la extracción de aceite, junto a la calidad de la materia prima de origen (porotos) representan las fuentes de variación más importantes.

A pesar de su elevado valor nutritivo el poroto de soja "crudo" contiene un buen número de factores antinutritivos (Figura 41). Los más importantes son los factores antitrípsicos, la ureasa y las lectinas que son termolábiles, por lo que su contenido después de un correcto procesado térmico se reducen significativamente (<2,5 ppm, <0,3 ud pH y 0,5 mmoles/g para estos compuestos, respectivamente). El poroto posee también principios antigénicos termoestables (glicinina y ß-conglicinina) que causan respuesta

inmunológica, daños en la mucosa intestinal y diarrea en animales jóvenes (especialmente en terneros). Por esta razón es fundamental un correcto control de la temperatura durante el proceso de manufactura porque la falta de cocción (soja "cruda") puede causar serios problemas de salud y desempeño de los animales (monogástricos y rumiantes muy jóvenes) [27].

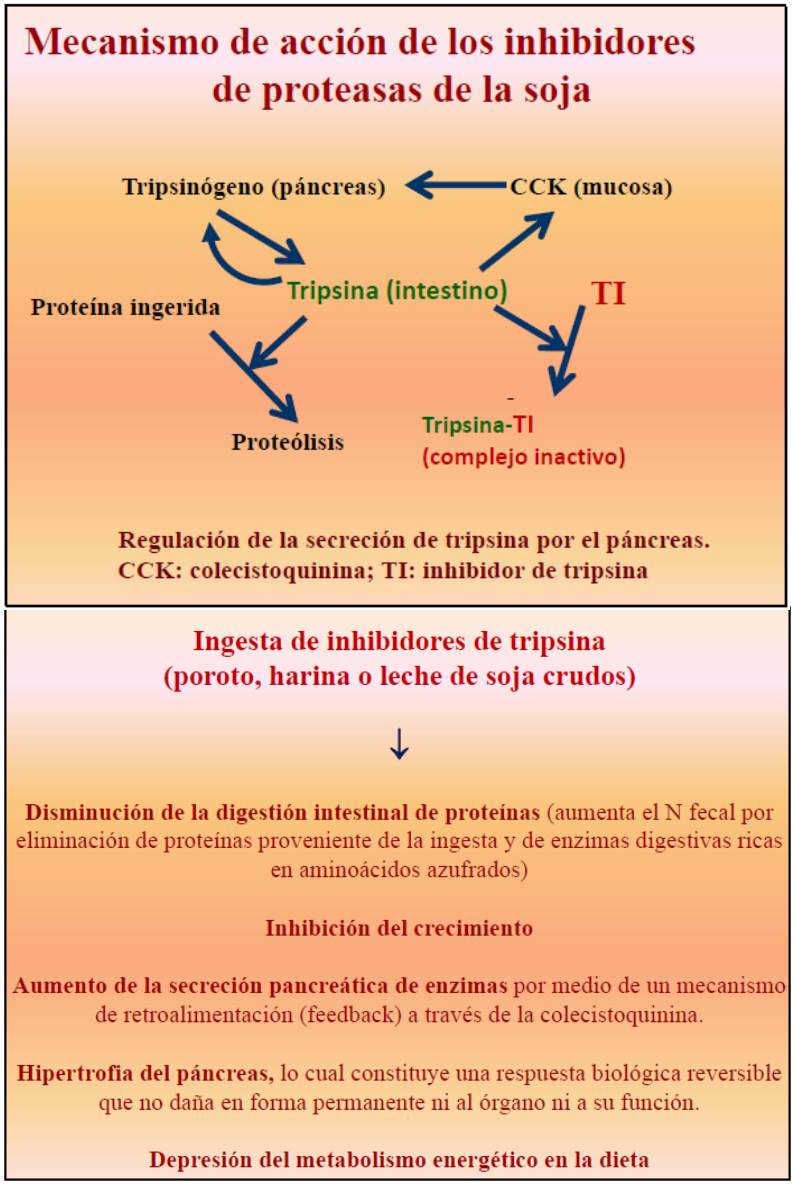


Figura 41. Factores antinutritivos de la soja. En la figura superior se explica el funcionamiento de factores anti-tripsina a nivel intestinal y sus consecuencias [2]. En la inferior se detallan las consecuencias de su ingesta.

Por otro lado, los excesos de calor también pueden dañar la calidad del poroto, principalmente sus proteínas. Si las temperaturas son excesivamente altas y aplicadas por tiempos muy prolongados las proteínas cambian su configuración, disminuyendo

significativamente la digestibilidad. Pero si el calor y el tiempo de cocción se controlan adecuadamente, los efectos pueden ser positivos al disminuir la degradabilidad ruminal de las proteínas e incrementar la fracción de proteína no-degradable o "pasante". Con una cocción equilibrada también puede mejorar la digestibilidad de los demás componentes del poroto (carbohidratos, aceites).

Para obtener una adecuada cantidad de "proteína pasante" de alta digestibilidad duodenal las condiciones del calentamiento (tiempo y nivel de humedad) deben controlarse estrictamente ya que el exceso de calor conduce a la formación de productos indigestibles, a través de la conocida *reacción de Maillard*.

La *reacción de Maillard e*s un proceso no-enzimático de "caramelización", donde los residuos de los azúcares se condensan con ciertos aminoácidos, seguido de una polimerización, para formar una sustancia de color marrón que posee muchas de las características químicas de la lignina. La lignina (compuestos fenólicos que se encuentran normalmente en los vegetales maduros) es totalmente indigestible para todos los animales. Además, durante la reacción de Maillard se pierden importantes cantidades de aminoácidos esenciales, como el caso de la lisina que es particularmente sensible al daño por calor.

Como indicadores de calidad del proceso de extracción y del valor nutritivo de las harinas se observan los niveles de factores antinutricionales y la solubilidad de la proteína en KOH (Tabla 13). El nivel de factores antinutricionales se estima de manera indirecta mediante el test de actividad ureásica (incremento en las unidades de pH). En la soja "cruda", la enzima ureasa se desnaturaliza a la misma velocidad que el inhibidor de la tripsina y en virtud de que es más sencillo determinar en el laboratorio la actividad ureásica que los inhibidores de tripsina, es que en la industria se utiliza esta prueba como una rutina rápida y sencilla y un indicador muy confiable de la presencia o no de factores antinutricionales. Las harinas con elevada actividad ureásica, cuyos valores exceden holgadamente los límites de tolerancia (límite máximo: 0.30 y límite exigido por los exportadores: 0.10) son siempre muy inestables y proclives a su contaminación. La solubilidad de la proteína con de hidróxido de potasio se utiliza como indicador de la calidad del procesado de la soja. Cuando el poroto está "crudo" la solubilidad de la proteína es del 100% y va disminuyendo a medida que la temperatura aumenta.

Mediante esta prueba analítica se consideran insuficientemente procesadas harinas con valores de solubilidad superior al 85% y las dañadas por calor aquellas cuya solubilidad es inferior al 75%. El procedimiento consiste en la extracción en solución 0,2% KOH con agitación magnética a temperatura ambiente o mayor durante un intervalo de tiempo que va entre los 30 y 90 min. La proteína soluble se mide en el sobrenadante de centrifugación por Kjeldahl [27].

Tabla 13. Valores de Referencia de los Métodos utilizados para caracterizar como ha sido procesada la soja mediante cualquier método industrial de extracción [31].

Análisis	Unidades	Rango Aceptado	Fuente
Inhibidores de Tripsina	mg/g de soja	2 -5	ASA
Actividad Ureásica	Δ pH	0,11	ASA
Proteína Soluble KOH	% N en 0,2 M KOH	75 – 80	Nutron
		70 – 85	Dale et al. 1990
PDI	% de N en agua	15 – 28	ASA
NSI	% de N en agua	17,5 – 22,5	Provimi BV
		15 -30	ASA

Asa: Amercian Soybean Association

Actualmente se cuenta con técnicas de laboratorio muy confiables para determinar la calidad y estimar el valor nutritivo de harinas y expeller. A continuación se describen las más significativas:

Proteína bruta (% PB), esta fracción incluye también las sustancias nitrogenadas no proteicas (NNP) como aminas, amidas, urea, nitratos, péptidos y aminoácidos aislados. No siempre un alto nivel de PB significa buen nivel proteico. Los compuestos NNP, solubles o muy degradables, poseen menor valor nutricional que las proteínas verdaderas.

Nitrógeno insoluble en detergente ácido e insoluble en detergente neutro (siglas NIDA y NIDIN/%NT, respectivamente), son indicadores indirectos de la proporción de proteínas y de carbohidratos dañados por calor y por lo tanto, no disponibles para el animal. No son adecuados los valores superiores al 15% de nitrógeno total e indican que en el material se ha producido la reacción de Maillard.

Fibra detergente ácido (% FDA): Valores altos de NIDA generalmente están correlacionados con valores también altos de FDA, parámetro muy correlacionado con la digestibilidad completa del alimento.

Fibra detergente neutro (% FDN): Representa los componentes de la pared celular del alimento: hemicelulosa, celulosa, lignina, etc. En los procesos donde no se ha "descascarillado" el poroto previamente, los valores de FDN suelen ser elevados. Sin embargo, si no hay daño por calor, las cascarillas son muy digestibles.

Degradabilidad de las proteínas: En nutrición de rumiantes, la proteína se clasifica de acuerdo su tasa de degradación ruminal en: proteína soluble (PS ó fracción "a"), degradable (PDR ó fracción "b") y no-degradables en rumen (PNDR ó fracción "c"). Se determinan mediante la técnica de digestión "*in situ*", utilizando "bolsitas de nylon" incubadas en el rumen de un animal canulado *ad-hoc*. La PS ó fracción "a" es el

porcentaje de PB que instantáneamente se degrada en rumen y básicamente está compuesto por nitrógeno no proteico (NNP). Si el material posee mucha PS y las proteínas son muy degradables en rumen (fracción "b") se pueden producir excesos de nitrógeno amoniacal (N-NH3) durante la digestión ruminal y con ello grandes pérdidas de eficiencia metabólica. Pero si los subproductos se dañaron por calor, la fracción "c" (PNDR) puede aumentar demasiado, dejando menos nitrógeno disponible para las bacterias del rumen y con serios riesgos de dejar una proteína de baja digestibilidad duodenal (digPNDR). La fracción "c", junto a la proteína microbiana en el caso del rumiante, representa la fuente de aminoácidos esenciales (AE) para el animal.

Cenizas (%) Esta fracción está compuesta de minerales (macro y micro-elementos), tanto propios del vegetal como adquiridos del ambiente. En casi todos los alimentos para el ganado esta fracción es inferior al 10%. Si supera este valor, y no hay agregados de minerales ex profeso, hay fuertes sospechas de contaminación con tierra. En muchos casos es recomendable analizar en las cenizas los contenidos de minerales clave para el balance de la dieta (calcio, potasio; fósforo, magnesio, etc.).

Extracto etéreo (%EE). Es la fracción de lípidos del alimento que contiene los aceites remanentes de la extracción. Los expeller y soja extrusada con valores de EE superiores al 7 % deben manejarse con precaución ya que si se almacenan de manera poco apropiada se alteran rápidamente (rancidez). Además, en la formulación de la dieta estos ingredientes con altos lípidos deben incorporarse de manera equilibrada ya que los excesos pueden ser tóxicos para las bacterias ruminales.

Aminoácidos esenciales (AE): Para monogástricos, sobre todo animales en crecimiento, es conveniente analizar periódicamente en las partidas el nivel (%) de los AE más importantes en nutrición, principalmente lisina y metionina. Como se mencionara, ambos AE son muy sensibles al sobre-calentamiento [27].

Valores comparativos de calidad y valores nutritivos del expeller y harina.

En términos generales, las harinas soja son de excelente calidad comparadas con las harinas de extracción de otras oleaginosas. A modo orientativo, en la Tabla 14 se muestran los rangos de la composición química de expeller y harinas y algunos parámetros representativos del valor nutritivo, para bovinos de carne y leche. La información fue obtenida de la base de datos del laboratorio de Producción Animal INTA- Rafaela y de bibliografía nacional e internacional consultada.

Tabla 14: Composición química y valor nutricional, rangos máximos y mínimos promedios de expeller y harinas de soja para ganado de leche y carne.

Tipo de residuo de extracción	Harina (S)	E-P
	% base seca	
Materia seca	88 – 93	91-94
Proteína Bruta	44.0 – 53.8	45- 46
PND/% PB 1	31- 42	65-70
Dig PND 2	87 -93	95
Lisina	2.7 -3.02	2.6-3.0
Metionina	0.6- 0.7	0.5-0.6
FDN	9.8 -14.9	10 a 12
FDA	6.0- 10.0	7 a 12
NIDA/NT	1.2-2.8	2.6-5.0
NIDIN	0.1-0.2	0.1-0.6
Lignina	0-0.5	0- 0.6
Extracto etéreo	0.42-2.57	5.5 -9.0
Cenizas	6.2-7.4	5.2- 7.5
Calcio	0.2-0.4	0.33
Fósforo	0.6-0.7	0.71
Magnesio	0.29-0.31	0.3-0.4
Potasio	2.40-2.46	2.1-2.5
Carbohidratos no Fibrosos (CNF)	21.5- 39.5	25.5-28
ENl (Mcal/kg MS) 3	2.41-2.7	2.5-2.7
ENgp (Mcal/kg MS) 4	1.7-1.85	1.7-1.9

1 – 2: Estimación de la cantidad de proteína no degradable (PND) que puede llegar al duodeno y su digestibilidad (digPND), para vacas lecheras, de acuerdo a los cálculos de NRC 2001. **3 – 4** ENl y ENgp (Mcal/kg MS): energía neta lactancia y ganancia de peso, respectivamente.

Con respecto a la proteína las diferencias tanto en concentración como en calidad pueden ser notables. En la medida en que el proceso de extracción se hace más eficaz (menos aceite remanente) y además se procesen porotos descascarillados (sin fibra), el nivel de proteínas aumentará. En términos generales, los procesos EP bien controlados son los que pueden generar los materiales de mejor calidad (más digestibilidad), con menor daño de la proteína.

Los aceites remanentes de la extracción son nutrientes energéticos de gran valor nutricional para el ganado. Los niveles son mayores en el expeller. Sin embargo, durante la extracción, se deberían controlar y estandarizar los remanentes ya que si quedan niveles muy elevados (+ 9%) además de evidenciar una baja eficiencia industrial, exponen al material a la "rancidez", principalmente cuando las condiciones de almacenamiento no son adecuadas. Por otro lado, el exceso de aceites podría entorpecer otros procesos industriales, por ejemplo, cuando se desee incorporar estos subproductos en un balanceado comercial "pelletizado". En la pelletizadora los materiales aceitosos no "corren" bien. Para la referencia, las harinas deberían poseer no

más de 9 % de EE cuando la extracción es de tipo mecánica (prensado-extrusión) y no más de 2 % cuando es por solvente [27].

Presente y futuro de las plantas EP.

En Argentina se encuentran instaladas y funcionando 200 plantas de extrusado-prensado de soja que producen aceite y expeller a nivel de Pymes.

Según el relevamiento del Proyecto PRECOP de INTA (Proyecto Específico Agroindustria en Origen), realizado en el 2010, en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, se detectaron 153 plantas en funcionamiento (50 en Córdoba, 60 en Buenos Aires y 43 en Santa Fe). En otras provincias como Santiago del Estero, Salta, Tucumán, San Luis, La Pampa y Entre Ríos, su ubican las demás plantas, donde el relevamiento se está desarrollando actualmente. En estas provincias se puede apreciar un notable crecimiento de la actividad industrial.

Entre 70 y 80% de las plantas reveladas tienen menos de tres años de antigüedad y no comercializan la producción de expeller a distancias mayores a los 60 – 70km del lugar de producción.

Existen sistemas productivos que utilizan como suplemento proteico a la harina de soja (extracción con solvente). Se vende grano de soja con destino a Puerto Rosario y a la vez se compra harina de soja procesada en el complejo industrial – exportador de Rosario, con el consiguiente pago de un doble flete. En este aspecto, cuanto más lejos del puerto, más atractiva es la compra del expeller en la región de producción y menos la compra de harina.

Los sistemas productivos de leche, fundamentalmente, y carne que no utilizaban el expeller por no disponerlo localmente o por desconocimiento de su utilización en la composición de la raciones de los animales, actualmente al tener fácil acceso comienzan a incorporarlo.

En cuanto a la comercialización de los subproductos los precios de referencia consideran al expeller un 90 a 120% respecto del valor del grano de soja y al aceite del 80 a 85% del valor del aceite crudo de las plantas de extracción por solvente.

En la actualidad la oferta sigue siendo menor a la demanda por lo que no existe problemas para la colocación de los productos en el mercado. El gran dilema es que sucederá en el futuro. En este sentido hay quienes piensan que pueden seguir siendo una muy buena alternativa. Este concepto lo sostienen en función de lo siguiente:

A. Expeller:

1. El potencial de consumo por parte de los sistemas de producción de carne y leche actuales (transformación de proteínas vegetales en animales), aún hoy no están cubiertos.

2. La posibilidad de avanzar en la transformación de la proteína vegetal en proteína animal generando nuevos sistemas intensivos de producción de cerdos, aves, carne bovina, leche es realmente interesante atendiendo a las demandas (internas y externas) de este tipo de alimentos en el corto, mediano y largo plazo.

3. Cristina Fernandez de Kichner, anunció mediante el “Plan Estratégico Agroalimentario 2020” el aumento de la producción de carne bovina en un 46%, de carne aviar en un 88% y triplicar la producción porcina.

4. También los es la posibilidad de avanzar en el agregado de valor transformando el expeller (junto con otros ingredientes) en raciones diferenciadas para otras especies, hoy poco desarrolladas. Ejemplo: alimento para mascotas, peces y consumo humano.

5. Así mismo se observa la posibilidad de salir al mercado exterior con este producto en función de la demanda sostenida que se presenta en el corto, mediano y largo plazo.

B. Aceite:

1. Es de destacar la posibilidad de continuar con el agregado de valor instalando en origen plantas para el refinado de aceite para el consumo humano, diferenciándose del aceite producido por extracción con solventes por su proceso físico y no químico, en donde una planta de refinado demande la producción de un grupo de plantas de extrusado y prensa.

2. La posibilidad de instalar plantas para la producción de biodiesel donde una de estas plantas se abastezcan de un grupo de plantas de extrusado y prensado.

Presente y futuro de plantas mediante solvente.

Las plantas de procesamiento de soja mediante solventes se constituyeron en el principal polo agro-exportador del país y lo hicieron incorporando tecnología de última generación que las posicionaron entre las más eficientes del mundo. La mayoría de ellas se instalaron en la ribera del río Paraná, permitiendo la carga directa de buques de ultramar sin deterioro de la calidad del producto procesado. Se posibilitó así que Argentina abasteciera mercados internacionales, con la consecuente entrada de divisas al país, y agregar valor al producto primario. Este emprendimiento ha sido exclusivamente privado, excepto algunas obras de infraestructura (mantenimiento de rutas, seguridad, dragado de ríos entre otros).

La capacidad instalada de procesamiento del sector “up river” concentra más del 80% de la capacidad total del país, incluso la ampliación proyectada no altera esta proporción. La industria aceitera Argentina tiene las plantas con la mayor capacidad promedio de molienda a nivel mundial. Si consideramos la capacidad de procesamiento media de las 5 – 6 plantas más grandes, ese valor se eleva a más de 14.000 ton/día y más aún si promediamos la capacidad instalada de los 5 – 6 grupos empresarios mayores, trepa a 21.000 – 25.000 ton/día. (Bunge, Cargill, Molinos Río de la Plata, Vicentin, Louis Dreyfus).

Esta característica si bien permite una reducción de costos operativos y de procesamiento y una mayor competitividad en el mercado externo de nuestro complejo aceitero, también indica una gran concentración de la actividad y de su ingreso. Además implica concentración geográfica de la demanda de mano de obra, de vías de transporte y otras obras de infraestructura y servicios públicos.

En los Estados Unidos y en Brasil las cinco empresas más grandes tiene distribuida su capacidad de molienda en plantas localizadas en distintos estados y por este motivo la cantidad de plantas es mucho mayor que en la Argentina y su capacidad de molienda mucho menor. Esto se debe a que tanto Brasil como Estados Unidos tiene orientado el negocio de procesamiento de aceite para abastecer su mercado interno, con grandes distancias entre estados, mientras que la Argentina es un país orientado básicamente a la exportación.

La Argentina es exportador marginal de poroto de soja debido a que más del 80% de la soja se industrializa y se exporta como aceite y harina de soja. Actualmente las exportaciones de poroto de soja se ubican en 9,5 millones de toneladas, el 18% de la producción. Nuestro saldo exportable depende de cómo se comporten la oferta de poroto de soja de Estados Unidos y de Brasil.

El comercio mundial de harina de soja ha tenido un aumento de 23,7 millones de toneladas equivalente al 70% entre la campaña 1995/96 y la 2007/08, pasando de 33,7 millones a 57,4 millones de toneladas. Los tres principales países productores de soja, son también los principales países que procesan soja y exportan. Con exportaciones totales por 8,2 millones de toneladas durante la campaña 1995/96, equivalentes al 24% del comercio mundial, Argentina exportó en el (2007/08) por un volumen de 30 millones de toneladas, equivalente al 51% del comercio total.

De las 23,7 millones de toneladas de aumento en el comercio mundial, Argentina incrementó sus exportaciones en 21,3 millones de toneladas, quiere decir que “capturó el 90% del incremento de la demanda mundial de harina de soja”. Las exportaciones de harina de soja de Argentina representan el 93% de la producción total de harina de soja, mientras que el mercado de consumo interno apenas se ubica en el 5 al 7% de la producción.

Durante la campaña 1995/6 las exportaciones de aceite de soja de EEUU, Argentina y Brasil llegaba a 3,6 millones de toneladas y representaba el 68% del comercio mundial. En el 2007/8 las exportaciones llegaron a 9,4 millones de toneladas y equivalen al 87% del total mundial. El principal país que aumentó sus exportaciones de aceite de soja ha sido, al igual que en el caso de harina de soja, Argentina. En efecto las exportaciones de aceite de soja han aumentado en 4,8 millones de toneladas (cifra equivalente al 310%) capturando el 88% del incremento que se produjo en el comercio mundial que fue de 5,5 millones de toneladas.

En la actualidad se están realizando fuertes inversiones para la producción de biodiesel, se estima que para el 2017 Argentina destinará 3,6 millones de toneladas de aceite para su producción.

Un dato sorprendente es el crecimiento sostenido que ha tenido la demanda de importación de soja por parte de China. En una situación sin precedentes a nivel mundial China aumentó sus importaciones en un 4150 % pasando de apenas 800 mil toneladas importadas durante 1995/96 al record de 34 millones de toneladas durante la campaña 2007/08. China ha sido sin lugar a dudas el principal factor de demanda de todo el complejo soja en estos últimos años, y las proyecciones a futuro indican que lo seguirá siendo.

Este tipo de industria seguirá en crecimiento, aunque en menor proporción a lo logrado en estos últimos 20 años, debido a que cada vez se hace más difícil aumentar la producción de soja Nacional.

La Presidenta de la Nación, anunció que para el 2020 Argentina incrementará la superficie de siembra de soja en un %20, pasando de 18,3 millones de has. a 22 millones.

Análisis Final:

Luego de un estudio profundo y una descripción exhaustiva de los procesos de extracción por solventes y de EP se nombran algunas de sus características distintivas.

La primera diferencia que debemos nombrar cuando se comparan estos procesos es la capacidad de procesamiento de las plantas. En el proceso de extracción de aceite por solvente se utilizan equipamientos para el manejo de grandes volúmenes de grano (promedio de molienda nacional por planta 3.040ton/día), mientras que el proceso mediante EP es para menores escalas (promedio de molienda de plantas existentes en las Provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires 40ton/día).

La demanda de mano de obra para una planta de EP es de 6 a 7 personas en forma directa, lo que representa para la capacidad promedio de molienda 1 persona cada 6 toneladas. En comparación con las plantas de solventes que requieren de 1 persona cada 29 toneladas procesadas.

Los principales obstáculos que enfrentan los productores de soja para implementar la extracción mediante solvente, son los montos de inversión de capital, el tonelaje de materia prima básica requerida y la capacitación técnica que se necesita para evitar accidentes, en virtud de que se trata de un proceso que requiere ser operado bajo estrictas normas de seguridad**.**

Por otro lado, el método de EP requiere un alto consumo de electricidad por tonelada procesada, aproximadamente (120kw/ton) contra (34 kw/ton) que consumen las plantas mediante solvente. Esta elevada demanda de electricidad por parte de las plantas de EP constituye una de sus grandes limitantes a la hora de poder procesar grandes volúmenes de grano.

Es por los motivos arriba expuestos que las plantas de extracción por solventes pertenecen en su gran mayoría a empresas de capitales multinacionales, mientras que las de EP son generalmente de productores nacionales.

El subproducto proteico que originan ambos procesos industriales (harina y expeller), representan la principal fuente de proteína y de aminoácidos esenciales para muchas especies de interés comercial: aves, cerdos y ganado de leche y carne. Sin embargo existen diferencias importantes en cuanto a los aportes que hacen cada uno de ellos, al formular una ración para producción animal.

El EP bien controlado (temperaturas elevadas por un período corto de tiempo) puede generar los materiales de mejor calidad (mayor digestibilidad), con menor daño de la proteína y mayor contenido de aminoácidos esenciales, fundamentalmente Lisina.

Los productores pecuarios consumidores de harinas y expellers, deberían enviar muestras a laboratorios para poder cuantificar la calidad de los mismos, ya sea en cuanto al contenido real de proteína bruta, su digestibilidad y actividad ureásica.

La eficiencia de extracción de aceite ronda el 65% en las plantas de EP y un 92% en las plantas mediante solventes.

El aceite crudo desgomado o sin desgomar resultante del proceso de EP se vende, por lo general a las grandes empresas aceiteras para su posterior proceso de refinamiento. No se ha desarrollado un mercado alternativo que demande en forma fluida este producto.

Entre 70 y 80% de las plantas de EP tiene menos de tres años de antigüedad y no comercializan la producción de expeller a distancias mayores a los 50 – 60km del lugar de producción.

Las plantas de extracción por solventes destinan el 93% de la producción de harina y un 95% de la de aceite a la exportación.

Conclusión.

A lo largo de este trabajo queda en evidencia que hay una gran eficiencia de producción a favor de las plantas de solventes, de todas maneras se considera que las plantas de EP promueven el desarrollo a nivel regional.

Este desarrollo a nivel regional implica un mayor número de pequeñas industrias, distribuidas en las zonas productoras, con mayor necesidad de mano de obra y agregado de valor en origen.

Un planeamiento del desarrollo regional que considere el aumento de plantas de EP permitiría proyectar un uso racional de la infraestructura de transporte, y aumentar la oferta proteica a productores bovinos, porcinos, avícolas, piscícolas y plantas de alimentos balanceados que se encuentren lejos del puerto de Rosario.

Bibliografía.

Libros:

[19] Anderson D. *Extracción por solventes aplicación, principios, teoría y práctica del proceso extractivo. Parte 2* ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 4, año 2000. pág. 287 y ss.

[10] Bartosik R. y Rodriguezcos J. *Sistemas de secado de alta temperatura.* ASAGA (ed), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 4, año 2000 pág. 155.

[12] Brueske G. *Procesos de separación aceite/harina*. ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 527 y ss.

[30] Capurro C. *Plantas de baja capacidad para procesar semillas oleaginosas a través de extrusión y prensado*. ASAGA (ed.), AYG Rosario Amalevi Tomo XXI Vol. 2, año 2011 pág 236-244,

[5] Cordone G. *Mirando el suelo a través de la cadena agroindustrial soja*. Fernández Alsina Mario (ed.) Para mejorar la producción 45, INTA, Estación Experimental Agropecuaria Oliveros, año 2010 Pág. 147 y ss.

[3] Endre F. Sipos y Bernard F. Szuhaj. *Aceite de soja composición y propiedades físicas.* ASAGA (ed), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, pág. 53 y ss.

[27] Gallardo M. *Harinas de extracción para la alimentación de ganado.* ASAGA (ed), AYG Tomo XXI Vol. 2, año 2011 pág. 246-250.

[16] Glenn D. Brueske. *Procesos de separación aceite/harina.* ASAGA (ed), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi, Tomo 1, año 2000 pág. 531 y ss..

[14] Heimann M. *Operación de molinos laminadores y control de rodillos*. ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 384 y ss.

[23] Heimmann M. *Molinos a rodillo para molienda de harinas extraídas por solvente* ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 1961.

[25] Información suministrada por técnico de planta aceitera.

[20] Manual de operación de extracción, planta Villa Gobernador Galvez, Rosario.

[26] Nabil Said. *Extrusión seca – prensado Mecánico* ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 455 y ss.

[28] Nabil Said, *Extrusores Secos*. Mian N. Riaz. (ed.) Extrusores en las aplicaciones de alimentos, Zaragoza, ACRIBIA SA. Capítulo 3 año 2004. pág 51 y ss.

[29] Nabil Said. *Extrusión seca – prensado Mecánico* ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 458 y ss.

[1] Pouzet A. .*Conociendo la soja por dentro.* ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 50 y ss.

[18] Rataus M. *La extracción por solvente*. ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 489 y ss.

[22] Van Damme J. *Desolventizado y acondicionamiento de harinas vegetales*. ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi Tomo 1, año 2000 pág. 567 y ss.

[15] Watkins L., Johnson W. y Doty S. *Extrusión - Expansión de oleaginosas para mejorar la extracción, reducir la energía y mejorar la calidad del aceite*. ASAGA (ed.), AYG Libro 10º Aniversario, Rosario Amalevi, Tomo 1, año 2000 pág. 472 y ss.

Cursos:

[17] Autino H. Curso avanzado sobre Crushing de semillas oleaginosas. ASAGA, año 2010.

[31] Bártoli F. Exposición Calidad de productos derivado de la soja y su aplicación en nutrición de aves y cerdos año 2010.

[4] Capurro C., Curso avanzado sobre Crushing de semillas oleaginosas. ASAGA, Rosario año 2010.

[21] Demarco A. Curso avanzado sobre Crushing de semillas oleaginosas. ASAGA, año 2010.

[24] Ferrero M. Curso avanzado sobre Crushing de semillas oleaginosas. ASAGA, año 2010.

[6] Grabois R. Curso avanzado sobre Crushing de semillas oleaginosas. ASAGA, año 2010.

[2] Wagner J. Curso sobre proteínas de soja. ASAGA, Rosario año 2011.

Sitios web:

[13] Crown Iron Works Company. www.crowniron.com. *Manual del proceso de descascarado en caliente. 8/4/2010.*

[9] Degessi. www.degessi.com.ar 1/04/2010.

[7] Fabrimac SA. www.fabrimac.com.ar 15/02/2010.

[8] Innova SA. www.innova-ing.com 10/01/2010.

[11] MEGA. www.secadorasmega.com.ar 11/09/2010.

Agradecimientos.

Profesor Ing. Agr. Pablo A. Peruzzotti.
Facultad de Ciencias Agrarias de la UCA.
Familia Fox.
Familia Morero.
Marcelo Bistotto.
Julio Lorenzzatti.
Mariana Krajnc.
Mariano Gonzalez.
Ing. Agr. Laura Bezzola.
Profesionales del INTA.
AFA (Los Cárdos).
AFA (Chovet).
Global Exent.
ASAGA.
CIARA.