Production of biofuel for boiler burners and drying equipment from seeds / castor oil

The objectives of this project are the production of biofuel for industrial and agricultural use from castor seeds and the promotion of castor cultivation in the province of Entre Ríos.

The market study revealed that the use of diesel for the drying of grain in the Argentina Republic exceeds 4000000 liters; this fuel can be replaced by the biofuel castor oil for its high quality and low price.

Ricinus communis is a shrub whose seeds have 52% oil (w/w) inedible. It adapts to subtropical climates and soils in which soy does not grow. Per hectare, up to 5000 kg of seeds are produced.

The processing plant will be located in the city of La Paz, Entre Ríos, because it has access to the most important waterway of grain transportation in the country, on the Paraná river and is a usual point of circulation of grains by land from the Argentine north.

The plant is divided into two naves, one in which castor oil is extracted by extrusion and pressing, and the other in which the obtained oil is subjected to the transesterification process to produce the biofuel. The plant produces biofuel, glycerin, and potassium phosphate and castor expeller.

The plant will process 32 tons of grains per day with an extraction yield of 93% and obtaining 8.3 m^3 of biofuel.

Most of the equipment of the plant is national industry. In the extraction hall, the installed capacity is determined by the three extruders, while in the transformation zone of the oil it is determined by the transesterification tank.

The cleanliness of the plant demands 2.000 liters of water daily. The load of the effluents is very low and can be discharged to the Paraná river without previous treatment.

The greatest consumption of the plant is electrical energy; therefore it has two transformers of 1000KVA each. The demand for steam and water are minimal, but it counts for a water storage tank in case of fires.

The extraction area of the plant has a total enclosure with roofs and walls of zinc sheet, while the conversion does not have side walls only the zinc roof.

The plant will have a staff of 19 professionals and an outsourced service of 6 people.

The feasibility and profitability study yielded a TIR and VAN that shows that it is an excellent option to invest in this project.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El advenimiento de la era del petróleo en 1910 permitió que los combustibles fósiles fueran remplazando paulatinamente otras fuentes energéticas y tomando una mayor preponderancia. Hasta el año 1973, la fuente energética de cierre (es decir, aquella a la cual se recurría cuando debía cerrarse el balance energético) a nivel mundial era el carbón. A partir de 1973, la energía de cierre fue el petróleo, a pesar de que la crisis energética elevó considerablemente el precio del barril ese año y en 1979.

En el año 2002 se consumieron 8034 millones de toneladas de petróleo, cifra que represento un aumento en el consumo de 1,3%, con respecto al 0,3% del año anterior (Collymore Rodriguez y col., 2008). Nada hacía indicar que ese crecimiento se detuviera, más aún, se requerían incrementos mayores para el desarrollo de países como China, India o Brasil.

Con el transcurrir de los años la idea de la escases de petroleó a nivel mundial fue siendo relevante, y si bien la cantidad exacta de petróleo en el planeta se desconoce, se estima que en pocos años, el mundo sufrirá una crisis energética muy fuerte, se espera que las reservas para muchos países productores de petróleo a mediados del siglo estén muy bajas y debido a esto, los precios tanto del crudo como de los combustibles suban considerablemente volviéndose necesario el pensar en buscar combustibles alternativos.

Paralelo a la creciente demanda de combustibles, la preocupación por el cuidado del medio ambiente pasó a un escenario muy activo sobre todo para los países desarrollados. La elaboración y el uso de combustibles fósiles en el 2002 generó 6,44 billones de toneladas de carbono que ascendieron a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, lo que contribuyo a la ocurrencia de lluvias ácidas, contaminación, cambios climáticos impredecibles y aumento de la temperatura global media hasta los 14,52 °C (Collymore Rodriguez y col., 2008). Por lo tanto, es claro que por el agotamiento de los combustibles fósiles, así como la emisión de los gases que aceleran el efecto invernadero, es

imprescindible introducir o ampliar las fuentes de energía para sustituir gradualmente las actuales y a la vez generar menos contaminantes.

Los efectos del cambio climático y el compromiso de varios países (especialmente los europeos) manifestado en el Protocolo de Kyoto(*) están marcando nuevas tendencias en los modelos de abastecimiento energético que ya están teniendo o tendrán en un futuro cercano, repercusión sobre nuestra propia matriz de abastecimiento energético.

(*)El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO2), gas metano (CH4) y óxido nitroso (N2O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %.

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir, en al menos un 5%, los gases de efecto invernadero. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.

Argentina, como país en desarrollo y con aproximadamente el 0,6 % del total de las emisiones mundiales, no estaba obligada a cumplir las metas cuantitativas fijadas por el Protocolo de Kioto. Pese a ello ratificó el acuerdo, previa aprobación del Congreso Nacional el 13 de julio de 2001, a través de la Ley Nacional 25.438.10 En consecuencia, su condición de país adherente hace que deba comprometerse con la reducción de emisiones o, al menos, con su no incremento.

La alternativa del biodiesel

En efecto, las nuevas tendencias, están moviéndose hacia energías alternativas al petróleo y al carbón. Entre ellas aparece el gas natural, basada en recursos fósiles pero menos contaminantes y otras basadas en recursos renovables como las energías eólica, mareomotriz y biocombustibles. En los últimos 5 a 10 años se han propuesto algunas alternativas como ser la producción de hidrógeno, etanol y biodiesel. Este último se presenta como una fuente alternativa entre dichos sustitutos, dado que cuenta con una serie de ventajas respecto su par más cercano, el gasoil.

Los biocombustibles utilizados en motores de combustión interna nacieron junto con ellos. El motor de ignición-compresión diseñado en 1897 por Rudolf

C.K. Diesel funcionó inicialmente con aceite de maní y anunció el uso futuro de biocombustibles. Durante la segunda guerra mundial y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue recién a partir del año 1970, que el biodiesel se desarrollo de forma significativa a raíz de la crisis energética que sucedía en el momento y al elevado costo del petróleo (Knothe y col., 1997).

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero recién en 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora del mismo. Hoy día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malacia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles. Cabe señalar que el biodiesel se encuentra registrado como combustible y como aditivos para combustibles en la Agencia de Protección de Medio Ambiente (Environmental Protection Agency, EPA, EE.UU.).

Los aceites vegetales son renovables y presentan las perspectivas más alentadoras para la producción de biodiesel. La elección del cultivo más conveniente depende del costo local de producción y la oferta, entre otros factores, pero como norma general, el uso de aceites resulta una de las opciones más fuertes en el campo de las energías alternativas.

Su uso garantiza la reducción en la emisión de hidrocarburos, dióxido de carbono y material particulado. Se reduce también la emisión de óxidos de nitrógeno contaminantes.

Consumo de combustibles en la industria

La producción de petróleo y gas convencional en Argentina pareciera encaminarse hacia un declive inexorable. Probablemente la tendencia se pueda revertir parcialmente, pero a un alto costo, debido a que el incremento de producción ocurrirá a partir de reservas de difícil extracción y en el caso del petróleo, su calidad promedio no será equiparable al de la cuenca Neuquina.

Entre los años 2005 y 2014 se produjo un fuerte aumento del consumo de energía en Argentina, acompañando el importante crecimiento económico que se registraron esos años. Entre 2006 y mediados del 2011, la presión de la demanda fue más enérgica por efecto de los menores precios relativos que se registraron en nuestro país, con relación a los precios promedios internacionales. (Fuente: Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno).

Para 2017 existe una crisis energética a nivel mundial y el equilibrio entre oferta y demanda se ha vuelto muy inestable.

Los altos precios de los combustibles afectan directamente el desarrollo del país. Para garantizar el crecimiento económico se requiere un fluido abastecimiento energético, por lo que, la política energética hoy más que nunca, se torna estratégica.

El siguiente cuadro es un resumen del consumo energético en Argentina, presentado por el Ministerio de Energía y Minería:

Cuadro n°1. Balance energético de la República Argentina.

Ministerio de Energía y Minería

BALANCE ENERGETICO NACIONAL

REPUBLICA ARGENTINA

AÑO 2015 REVISION 2 - UNIDADES en MILES DE TEP

ACTIVIDADES	PETROLEO	DERIVADOS DE PETROLEO	GAS NATURAL	CARBON MINERAL	ENERGIA NUCLEAR	ENERGIA HIDRAULICA	OTROS PRIMARIOS	OTROS SECUNDARIOS	ELECTRICIDAD	TOTAL
PRODUCCION	27.496	-	37.786	20	-	3.565	4.362	-	-	73.229
IMPORTACION	837	3.469	9.561	1.432	2.204	-	-	-	775	18.278
VAR.STOCK	- 230	49	- 8	71	-	-	-	-	-	- 118
EXPORTACION	- 1.878	- 1.885	- 73	- 8	-	-	-	- 702	- 5	- 4.552
BUNKER	-	- 1.840	-	-	-	-	-	-	-	- 1.840
NO APROVECHADO	-	-	- 254	-	-	-	-	-	-	- 254
OFERTA TOTAL	**26.225**	**- 207**	**47.012**	**1.514**	**2.204**	**3.565**	**4.362**	**- 702**	**771**	**84.743**
CENTRAL S.PUB.	-	- 4.790	- 12.380	- 526	- 2.204	- 3.526	- 52	- 38	11.322	- 12.193
CENTRAL AUTOP.	-	- 247	- 1.506	- 10	-	- 4	- 719	- 145	1.184	- 1.447
REFINERIAS	- 26.695	24.711	-	-	-	-	-	528	-	- 1.457
P.TRATAMIENTO GAS	-	2.885	- 3.817	-	-	-	-	932	-	- 0
DESTILERIA Y ACEITERA	-	-	-	-	-	-	- 2.098	2.017	-	- 81
OTROS	-	-	-	- 819	-	-	- 495	1.035	-	- 279
CONSUMO PROPIO	- 91	- 1.429	- 5.481	-	-	-	-	- 577	- 383	- 7.960
PERDIDAS	-	-	- 2.926	-	-	- 35	-	-	- 1.747	- 4.708
AJUSTES	561	- 80	216	- 154	-	-	-	- 6	-	537
CONSUMO FINAL	**-**	**20.843**	**21.118**	**5**	**-**	**-**	**997**	**3.048**	**11.147**	**55.487**
RESIDENCIAL	-	1.364	9.361	-	-	-	84	201	4.047	15.057
COMERCIAL Y SERVICIO	-	399	1.464	-	-	-	42	134	2.620	4.642
TRANSPORTE	-	14.363	2.469	-	-	-	-	-	52	15.780
AGROPECUARIO	-	3.835	-	-	-	-	129	-	92	3.521
INDUSTRIAL	-	493	7.824	5	-	-	742	-	4.336	13.383
NO ENERGETICO	-	390	-	-	-	-	-	2.713	-	3.103

Nota: TEP (tonelada equivalente de petróleo) es una unidad de energía. Su valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo, la cual, como varía según la composición química de éste, se ha tomado un valor convencional de 11630 kWh.

Se observa que la industria es totalmente dependiente de combustibles de origen fósil más que los forestales, al igual que la rama agropecuaria que depende de los derivados del petróleo, principalmente gasoil.

El gas natural es el combustible más elegido a nivel industrial ya que este es más barato que varios combustibles líquidos, es más limpio su uso en planta, permite el transporte a grandes distancias mediante redes de conductos lo que minimiza los costos, no requiere almacenamiento, posee alto poder calorífico y es el menos contaminante de los combustibles fósiles.

El principal inconveniente que presenta el gas natural es su escasez cuando aumenta la demanda de la parte residencial. En épocas frías al disminuir la presión de servicio del gas natural las industrias optan por un combustible alternativo de bajo costo pero menos eficientes. Estos están incluidos dentro de los “otros primarios” de la tabla anterior y se refieren principalmente a biomasa.

Se denomina biomasa a todos los productos derivados de los vegetales, que puedan ser incinerados para generar vapor.
La biomasa puede ser obtenida a partir de distintos orígenes, según se indica a continuación:

- Subproductos de aserraderos (corteza, costaneros, aserrín)
- Restos de elaboración de montes
- Productos de las podas y raleos
- Desperdicios de procesos de fabricación de tableros, muebles, aberturas, etc.
- Residuos de cosecha de cultivos agrícolas (paja de trigo, marlo, bagazo, etc.)
- Subproductos de procesos de extrusados y prensado (soja, girasol, etc.)
- Subproductos de procesos de destilación (chips de quebracho), etc.
- Pallets de madera descartables (one way).

La biomasa comparada con otros combustibles presenta dificultades operativas y un bajo poder calorífico (tabla n° 1), por lo que los procesos de obtención de vapor y energía se vuelven menos eficientes.

Tabla n°1. Comparación de poder calorífico entre biomasa y combustibles fósiles.

MATERIALES	PODER CALORÍFICO (kJ/kg)
RENOVABLES	
Bagazo seco	19.200
Madera seca	19.000
Cáscara de maní	17.800
Madera verde	14.400
Cáscara de arroz	13.800
Paja seca de cebada	13.400
Paja seca de trigo	12.500
Bagazo húmedo	10.500
FÓSILES	
Nafta	45.415
Querosene	44.950
Petróleo bruto	44.430
Fuel Oil	41.650
Aglomerados de carbón	33.450
Carbón de madera	32.550

Fuente: Universidad Nacional del Santa, Perú, Dpto. Termodinámica y Termotecnia

En el cuadro n°1 se evidencia el consumo de la industria de la energía eléctrica. La fuerte demanda industrial de energía eléctrica también tiene su dependencia en los combustibles para su generación.

Los datos más actualizados del consumo de combustibles en las centrales de generación de energía eléctrica datan del año 2012. A continuación datos del Ministerio de Energía y Minería:

Cuadro n°2. Combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica.

Provincia	Carbón	Biodísel	Fuel Oil	Gas Nat.	Gasoil	Uranio Enriq.	Uranio Nat.
	Ton	Ton	Ton	Dm3	Ton	Kg	Kg
Capital Federal		19669	1570021	2159476	258780		
Gran Buenos Aires		1031		2165686	229465		
Buenos Aires	962571	4316	923016	2691160	478106	31140	
Catamarca					20314		
Córdoba			106132	1047417	143289		73387
Corrientes					24445		
Chaco					21674		
Chubut				248095	12081		
Entre Ríos				38398	14044		
Formosa				30679	21420		
Jujuy				8510	3003		
La Pampa					3016		
La Rioja				6215	10246		
Mendoza		9584	142206	752651	13085		
Misiones					30730		
Neuquén				1578699	7796		
Rio Negro				34821	4724		
Salta				1246349	17604		
San Juan				13687	2481		
San Luis							
Santa Cruz				150086	9230		
Santa Fé			94146	775474	293456		
Santiago del Estero				13632	14390		
Tierra del Fuego				142660			
Tucumán				1209584	10679		
Total 2012	**962571**	**34600**	**2835521**	**14313279**	**1644058**	**31140**	**73387**

Producción de biocombustibles

La biomasa y algunos residuos han sido unas de las principales fuentes de energía usadas por el hombre y es aún importante su uso en países poco desarrollados, así como en el medio rural. En cuanto a la producción de biocombustibles líquidos, esta es una variante en el uso de cultivos y residuos, que ha sido presentada como una contribución a la seguridad energética, una herramienta de mitigación del cambio climático y además cuenta con un fuerte impacto positivo en el desarrollo de los sectores rurales.

Es lógico que por razones de la insuficiente disponibilidad de recursos de suelo y agua para efectuar el desarrollo de cultivos energéticos en la escala necesaria para satisfacer la demanda de energía cada vez mayor del planeta, los biocombustibles no podrán reemplazar totalmente el uso de fuentes de energía fósil y sólo cumplirán un rol coyuntural y complementario.

A nivel mundial los biocombustibles se producen para ser utilizados en motores de combustión, lo que trae aparejado un proceso de alta refinación que lo encarece.

Estados Unidos es el principal productor de bioetanol en el mundo. Lo obtiene a partir de la fermentación del maíz, y se utiliza en corte al 15% con la gasolina. El proceso es muy eficiente ya que se utiliza como fuente para generar calor, en las calderas, chalas y bagazo provenientes del mismo maíz. En contraste el proceso no es muy amigable con el medio ambiente ya que el dióxido de carbono que fijan las plantas de maíz en el campo no llegan a cubrir el que se genera con la quema de biomasa, el producido por las levaduras durante la etapa de fermentación y el que se producirá con la quema del biocombustible obtenido. Sumado a esto está la controversia del uso de alimentos para producir combustibles; cabe aclarar que más de 43% del maíz utilizado en Estados Unidos para producir bioetanol no es comestible.

Brasil es el segundo productor de bioetanol luego de EE.UU. pero lo obtiene a partir de caña de azúcar y se lo utiliza en corte al 25% en gasolinas. También produce biodiesel a partir de aceite de soja a mayor escala que nuestro país. El biodiesel se exporta casi en su totalidad y el resto se utiliza en corte con el gasoil.

En Argentina el proceso de obtención de alcohol a partir de caña se caracteriza por la conversión de la melaza en etanol, a diferencia de lo que produce la industria brasileña que realiza la conversión a partir de jugo de caña. Este biocombustible es absorbido, en nuestro país, por las petroleras que lo emplean en el corte de naftas.

Cuadro n°3. República Argentina. Capacidad de producción teórica de las plantas de bioetanol en base a maíz.

Empresas	Capacidad de producción en m3 de etanol/año	Coeficiente de consumo (toneladas de maíz utilizadas para obtener un m3 de etanol)	Toneladas teóricas a procesar de míz en el año según coeficiente igual a 2,5	Toneladas teóricas a procesar de míz en el año según coeficiente igual a 3
Promaíz (Alejandro Roca. Provincia de Córdoba)	135000	2,5	337500	405000
ACA Bio (Villa María. Provincia de Córdoba)	125000	2,5	312500	375000
Diaser (Provincia de San Luis)	82500	2,5	206250	247500
Bio 4 (Río Cuarto. Provincia de Córdoba)	82000	2,5	205000	246000
Vicentín (Avellaneda. Provincia de Santa Fe)	60000	2,5	150000	180000
Capacidad de producción teórica de toda la Industria Argentina	484500		1211250	1453500
Fuente: Fundación FADA y J.J. Hinrichsen				

La producción de biodiesel en nuestro país es a partir de aceite de soja y se utiliza en corte, actualmente al 10%, en el gasoil. En el mercado local las plantas productoras lo venden a las petroleras; mientras que el total de las

exportaciones son a la Unión Europea. En los últimos tres años las políticas internacionales de calidad y los precios para los biocombustibles impactaron con una fuerte reducción en las exportaciones argentinas. El recurso actual es promover el mercado interno aumentando el porcentaje de corte.

En el cuadro n°3 se detallan datos del Ministerio de Energía de las empresas que producen biodiesel a partir de aceite de soja en nuestro país.

Cuadro n°4. Capacidad nominal de las plantas productoras de biodiesel de la República Argentina.

EMPRESA	CAPACIDAD MOMINAL (tn/año)	LOCALIDAD	PROVINCIA
RENOVA S.A.	480000	SAN LORENZO	SANTA FE
LDC ARGENTINA S.A.	305000	GENERAL LAGOS	SANTA FE
PATAGONIA BIOENERGIA S.A.	250000	SAN LORENZO	SANTA FE
TERMINAL 6 INDUSTRIAL S.A.	240000	PUERTO SAN MARTIN	SANTA FE
UNITEC BIO S.A.	230000	PUERTO SAN MARTIN	SANTA FE
VILUCO S.A.	200000	FRIAS	SANTIAGO DEL ESTERO
EXPLORA S.A.	120000	PUERTO SAN MARTIN	SANTA FE
MOLINOS RIOS DE LA PLATA S.A.	100000	ROSARIO	SANTA FE
DIASER S.A.	96000	PARQUE INDUSTRIAL SAN LUIS	SAN LUIS
BIO MADERO S.A.	72000	VILLA MADERO	BUENOS AIRES
VICENTIN S.A.	63400	AVELLANEDA	SANTA FE
ARIPAR CEREALES S.A.	50000	DAIREAUX	BUENOS AIRES
OIL FOX S.A.	50000	PARQUE INDUSTRIAL SAN NICOLAS-RAMALLO	BUENOS AIRES
ADVANCE MATERIAL ORGANICS S.A.	48000	PARQUE INDUSTRIAL PILAR	BUENOS AIRES
MAIKOP S.A.	80000	PARQUE INDUSTRIAL CUTRALCO	NEUQUEN
ROSARIO BIOENERGY S.A.	36000	PARQUE INDUSTRIAL ROLDAN	SANTA FE
DIFEROL S.A.	30000	PARQUE INDUSTRIAL ALVEAR	SANTA FE
SOY ENERGY S.A.	18000	VILLA ASTOLFI	BUENOS AIRES
PITEY S.A.	18000	VILLA MERCEDES	SAN LUIS
HECTOR BOLZAN Y CIA S.A.	10800	ALDEA MARIA LUISA	ENTRE RIOS
ECOPOR S.A.	10200	BELLA VISTA	BUENOS AIRES
ENERGIAS RENOVABLES ARGENTINAS SRL	9600	PIAMONTE	SANTA FE
BH BIOCOMBUSTIBLES S.A.	4000	CALCHAQUI	SANTA FE
LDC ARGENTINA S.A.	305000	GENERAL LAGOS	SANTA FE
CARGILL S.A.C.I.	250000	VILLA GOBERNADOR GALVEZ	SANTA FE
TERMINAL 6 INDUSTRIAL S.A.	240000	PUERTO SAN MARTIN	SANTA FE
AGRUPACION DE COLABORACION SAN ANTONIO	50000	QUILMES	BUENOS AIRES
ENERGIAS RENOVABLES S.A.	50000	CATRILO	LA PAMPA
BIOER S.A.	14289	VILLAGUAY	ENTRE RIOS
UNITEC BIO S.A.	230000	PUERTO SAN MARTIN	SANTA FE
PATAGONIA BIOENERGIA S.A.	250000	SAN LORENZO	SANTA FE
HECTOR BOLZAN Y CIA S.A.	30000	NOGOYA	ENTRE RIOS
OTROS	364000		BUENOS AIRES
OTROS	150000		ENTRE RIOS
OTROS	150000		SANTA FE
OTROS	100000		CORDOBA
TOTAL GENERAL	**4704289**		
CAPACIDAD PROMEDIO	**120622,79**		

Cabe aclarar que durante el periodo 2016/17 no todas las plantas productoras trabajaron al máximo de su capacidad.

Aceites alternativos para biocombustibles

A continuación se detalla los resultados de un trabajo realizado por la Facultad de Ingeniería de la UBA que pone de manifiesto el potencial de diferentes cultivos para ser usados en la producción de biodiesel:

Jatrofa

El rendimiento es de 2500kg/ha. El porcentaje de aceite en semilla es de 55%. El rendimiento en kg de aceite es de 1375/ha. Litros de aceites/ha (0,93kg/litro) son 1478. El factor de conversión a biodiesel es de 0,96 y los litros de biodiesel por hectárea son 1419.

Ricino

El rendimiento es de entre 2500 y 5000kg/ha. El porcentaje de aceite en semilla es de 52%. El rendimiento en kg de aceite es de 1250/ha. Litros de aceites/ha (0,93kg/litro) son 1344. El factor de conversión a biodiesel es de 0,96 y los litros de biodiesel por hectárea son 1290.

Colza

El rendimiento es de 1800kg/ha. El porcentaje de aceite en semilla es de 55%. El rendimiento en kg de aceite es de 900/ha. Litros de aceites/ha (0,93kg/litro) son 968. El factor de conversión a biodiesel es de 0,96 y los litros de biodiesel por hectárea son 929.

Soja

El rendimiento es de 2700kg/ha. El porcentaje de aceite en semilla es de 18%. El rendimiento en kg de aceite es de 486/ha. Litros de aceites/ha (0,93kg/litro) son 523. El factor de conversión a biodiesel es de 0,96 y los litros de biodiesel por hectárea son 502.

Cártamo

El rendimiento es de 1100kg/ha. El porcentaje de aceite en semilla es de 35%. El rendimiento en kg de aceite es de 385/ha. Litros de aceites/ha (0,93kg/litro) son 414. El factor de conversión a biodiesel es de 0,96 y los litros de biodiesel por hectárea son 397.

La alternativa del ricino

Los mayores productores de ricino son India, China y Brasil; estos tres países representan el 93% de la producción mundial. En nuestro país no se produce biodiesel a partir de aceite de ricino y la producción primaria de la semilla es escasa, pese a que Argentina presenta un clima con temperaturas ideales para su cultivo.

La característica principal del aceite de ricino es que posee propiedades químicas que lo hacen único. Está compuesto más un 95% de un único ácido graso (ácido ricinoléico) que contiene un radical hidroxilo que lo hace soluble en alcohol a baja temperatura, es muy viscoso y con propiedades físicas especiales. Estas características hacen que sea un producto de gran interés para la industria química como fuente de materia prima. No es casualidad que los principales consumidores del aceite de ricino son los países desarrollados; estos destinan este producto como insumo de la industria química.

El aceite de ricino tiene una gran variedad de aplicaciones en la industria, como ser en la composición de pinturas, barnices, cosméticos, productos terapéuticos, lubricantes y combustibles de aviones, plásticos, nilón, etc. Además tiene un gran potencial para su uso en la producción de biocombustibles utilizando, para su extracción, solventes más baratos y no tóxicos; en la actualidad el solvente utilizado para la extracción de aceites vegetales es el hexano.

La posibilidad de producción de un biocombustible a partir del aceite de ricino, en nuestro país, ha de generar un nuevo producto con alto potencial para introducir al mercado de los combustibles, para este aceite; pero para ello es muy importante la integración de la cadena productiva para disminuir los costos del proceso. Es, también, relevante el fin del combustible obtenido ya que si éste será utilizado en un motor de ignición-compresión requerirá de materias primas específicas, procesos de refinación, características y análisis establecidos dentro normas internacionales; sin embargo no así si el biodiesel

será utilizado en un proceso de combustión en el quemador de una caldera u horno de secado.

El compromiso argentino con el medio ambiente

Actualmente los métodos de producción que son amigables con el medio ambiente no solo agregan valor al producto, sino también lo jerarquizan; permitiendo acceder a mercados mundiales y a una fácil adecuación a las normas internacionales.

Inevitablemente un combustibles al ser quemado para obtener energía, genera gases contaminantes; por lo que es relevante el proceso de obtención de un biocombustible y la proporción de residuos de combustión que este genera para lograr catalogarlo como amigable con el medio ambiente. El cuidado del planeta es cada vez más determinante y se refleja en los mercados internacionales por lo que es, además, una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos y tecnologías.

El 11 de diciembre de 2015 culminó el 21er. Período de Sesiones de la Conferencia de las Partes, de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, en la ciudad de París. En ella 196 países acordaron reducir las emisiones con la meta de limitar el aumento de la temperatura promedio del planeta por debajo de los 2ºC respecto al período re-industrial, y esforzarse en mantener el incremento por debajo de 1,5°C.

Este acuerdo fue refrendado por la República Argentina.

Paralelamente a fines del año 2015 se aprobó la ley 27191 Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de energía Eléctrica. En ella se establece que a partir de 2017 el 8% de la matriz energética deberá ser renovable.

Por su parte dicha reglamentación establece que para el año 2020 dicho porcentaje se incrementa al 20%. El Decreto Reglamentario N° 531/16 se publicó en el Boletín Oficial del 31 de marzo de 2016.

Objetivos de este Proyecto

El objetivo de este trabajo es la obtención de un biocombustible, a partir de semillas de ricino, para ser utilizado en calderas y hornos de secado; procurando:

- Evaluar el potencial productivo de semillas de ricino en la República Argentina.
- Fomentar el cultivo de ricino.
- Obtener aceite de ricino apto para la elaboración de biocombustibles mediante procesos que sean amigables con el medio ambiente.
- Comparar métodos tradicionales utilizados en la extracción de aceite y producción de biocombustibles a fin de seleccionar el proceso más rentable dentro de las condiciones propuestas de trabajo.
- Caracterizar el biocombustible de aceite de ricino a fin de diferenciarlo de un biodiesel tradicional.
- Elegir la forma más conveniente de tratamiento de los residuos, efluentes y subproductos.
- Amortiguar la dependencia industrial y agropecuaria argentina del uso de combustibles fósiles.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE MERCADO

Panorama energético general

A nivel industrial el combustible por excelencia es el gas natural, presenta enormes ventajas operativas, se adapta fácilmente a procesos automáticos y posee una gran eficiencia térmica en comparación con otros combustibles; el sector industrial está dispuesto a pagar un precio más elevado por este combustible fósil a razón de estas ventajas.

Intentar ingresar al mercado con un combustible que compita directamente con el gas natural no es una alternativa, mucho menos si el interés es colocar a la venta un combustible obtenido mediante procesos de fabricación como lo son los biocombustibles. Si bien es posible obtener un precio que compita con el gas y volver esta idea-proyecto rentable, un combustible líquido requiere transporte y almacenamiento de grandes volúmenes, instalaciones y condiciones específicas de operación; que significan gastos adicionales que afectan, obviamente, al costo total que deberá afrontar la industria con el uso de tal combustible líquido.

El principal inconveniente del gas natural es la imposibilidad del abastecimiento de la demanda total en épocas invernales. Al aumentar el consumo residencial la provisión de gas natural al mercado industrial decae. Esto no significa que la industria atenúe su consumo, es más, también aumenta su demanda en épocas frías; es meramente una política de estado que opta por el bienestar social. La solución a este problema involucra grandes inversiones en el sistema de distribución de gas, en las explotaciones petroleras, en investigación y en las importaciones; y a esta situación se suma, no menos importante, la oferta de gas natural en el mercado internacional y el costo del metro cúbico. Bajo estas condiciones sí es posible divisar un futuro para un combustible líquido para la industria, ya no para competir con el gas natural pero sí como complementario, sobre todo en periodos de escases del combustible fósil.

El segundo combustible líquido utilizado por la industria, en mayor escala, es el fueloil. Este presenta como ventaja su disponibilidad durante todo el año y un bajo costo. El bajo precio está relacionado con la calidad del fueloil como combustible, y es de esperar que cualquier cambio que sufra el valor comercial del barril de petróleo, se vea reflejado en todos los combustibles líquidos de origen fósil; y aún así el fueloil seguirá siendo, relativamente, el más barato.

Competir en el mercado contra el fueloil, con un biocombustible no sería factible si lo que se busca es hacerlo con un mejor precio. Pero sí compitiendo respecto de la calidad ya que el fueloil, aparte de los gastos adicionales que demanda cualquier combustible líquido, presenta otras desventajas relacionadas con la parte operativa dentro de la planta que lo utiliza y con los gases producto de su combustión, que tienen un fuerte impacto negativo sobre el medio ambiente.

Una de las desventajas operativas más relevantes que presenta el fueloil es su alta viscosidad; esta propiedad física es, como en cualquier combustible, una de las más importantes ya que influyen en su manipuleo y en el equipo de combustión. Este combustible necesita un precalentado previo para su utilización debido a esta propiedad y se vuelve aún más compleja su operación en épocas invernales.

Un tercer tipo de combustible utilizado por la industria es la biomasa. Se lo adquiere a un bajo costo por que se considera un residuo de otras industrias y el agro. Estos son adquiridos solo si existen en zonas aledañas a la planta de proceso y en cantidades suficientes para satisfacer la demanda. La industria no está dispuesta a pagar transportes para disponer de biomasa provenientes de zonas alejadas.

Estos combustibles presentan muchos inconvenientes para su uso. Al ser sólidos y de bajo poder calorífico se requieren grandes cantidades que involucran amplias zonas de almacenamiento y traslado mecánico hasta el

sector de utilización. Evitar que se humedezcan requiere de inversión para mantenerlos protegidos, sobre todo de lluvias. La biomasa no es homogénea lo que requiere de tiempos prolongados de puesta a punto de calderas, su humedad afecta directamente a este proceso. Las calderas deben de poseer el quemador indicado y en caso que se esté usando biomasa como complemento de otro combustible líquido o gaseoso tendrá que disponer de dos quemadores diferentes. La quema de biomasa genera mucho humo, hollín y cenizas. También con el uso de este combustible, generalmente, se requiere de un operario que abastezca de forma continua a la caldera.

Otro importante consumidor de combustibles en nuestro país es el agro. Se consumen anualmente grandes cantidades de gasoil y en menor proporción keroseno y naftas; además existe consumo de biomasa y gas. Los combustibles líquidos en casi su totalidad son destinados a maquinarias con motores a combustión, mientras que los sólidos y gaseosos se queman en equipos de secado y almacenamiento de granos.

Y en menor escala pero que también demandan grandes cantidades de combustible son las plantas de generación de energía. Las plantas productoras de energía eléctrica, al igual que el agro, utilizan combustibles líquidos, sólidos y gaseosos; solos que en este caso es exclusivamente para la obtención de vapor en las plantas.

Producto: Un combustible amigable con el medio ambiente y eficiente

En los últimos años fue tomando relevancia, a nivel mundial, la problemática del cuidado del medio ambiente por parte de la industria, sobre todo en lo que respecta a las emisiones de gases de efectos invernadero. Junto con esto aflora otra gran problemática, la seguridad alimentaria y la utilización de productos que son aptos para el consumo humano y son destinados para la elaboración de combustibles. En estas condiciones un combustible líquido

como el obtenido a partir de aceite de ricino (aceite no comestible) que proviene de recursos renovables capaces de desarrollarse en terrenos hostiles no aptos para otros cultivos y a la vez fijan grandes cantidades de dióxido de carbono; cuyo proceso de elaboración es amigable con el medio ambiente y garantiza que su combustión completa genera menor cantidad de dióxido de carbono que la que fijaron las plantaciones y que además posee un alto poder calorífico lo que le da una gran eficiencia térmica; presenta una enorme ventaja y promete ser una gran alternativa a la hora de elegir un combustible líquido para calderas u hornos industriales o de secado de granos.

Aspectos generales de la oferta y demanda de combustibles

Para realizar una evaluación de la posibilidad de ubicar un nuevo combustible líquido (biocombustible de uso industrial a partir de aceite de ricino) en el mercado es necesario tener en cuenta ciertos aspectos que son relevantes y se detallan a continuación:

- Para la obtención del aceite de ricino se requiere de una producción primaria que abastezca mínimamente la capacidad instalada y por ende se necesitan hectáreas para el cultivo (suelos que no son aptos para el cultivo de soja).
- Se requiere de transportes adecuados para los granos; los mismos que se utilizan para maíz, girasol, sorgo y soja.
- Se requiere de equipos de extracción y de almacenamiento de aceites; los utilizados en soja se adaptan mejor a la producción de aceite de ricino.
- Se requieren insumos y equipos que también se utilizan en la obtención de biodiesel a partir de otros aceites.
- EL secado de granos es un potencial cliente para este nuevo biocombustible a partir de aceite de ricino.

En relación a lo detallado anteriormente la condición más favorable es plantear el proyecto como la obtención de un combustible que pueda ser un complemento en el mercado de oleaginosas y sus derivados, y no una competencia en ninguna de sus ramas productivas.

Oferta - El mercado de los combustibles en Argentina.

La disponibilidad de recursos energéticos adecuados es crucial para lograr un proceso de crecimiento y desarrollo sustentable. Sin energía, la producción de bienes y servicios no es posible. Se estima, según la International Energy Agency, que el consumo de energía en el mundo se incrementará alrededor del 50% en los próximos 30 años.

Si bien en los primeros años de este siglo, el debate energético mundial estuvo centrado en la preocupación por el agotamiento de los recursos energéticos, particularmente de los combustibles fósiles; en la actualidad el paradigma es como lograr un desarrollo sostenible, es decir como satisfacer nuestras necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras a satisfacer las suyas. Ello involucra tanto consideraciones económicas, como sociales y medioambientales.

Los debates globales se reflejan también en nuestro país, aunque con matices locales. Argentina, después de haber sido por más de una década un exportador neto de energía, a partir de 2005 se ha convertido en importador. Esto tuvo un importante impacto en su equilibrio comercial y cuentas fiscales.

Por otra parte, el desarrollo de los combustibles no convencionales abre al país una nueva oportunidad. Se estima que Argentina cuenta con uno de los recursos de este tipo más grandes del mundo.

La Biomasa

Para estimar el potencial de biomasa sería necesario considerar como tal a toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, clasificándola de la siguiente forma:

- Biomasa natural: producida en la naturaleza sin la intervención humana.

- Biomasa residual: generada por cualquier actividad humana, principalmente en procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tales como basuras y aguas residuales.

- Biomasa producida: cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, como la caña de azúcar, orientada a la producción de etanol para carburante.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), dentro del marco institucional conformado por la Secretaría de Energía, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ha llevado adelante una evaluación de la biomasa natural a nivel detallado; dicha evaluación contempla una estimación realizada en base a información secundaria proveniente de estadísticas productivas con datos sobre la distribución geográfica del potencial de leña, otra biomasa leñosa (generada por el procesamiento de los rollizos), del bagazo, y de residuos agrícolas y agroindustriales.

El estudio del proyecto de la FAO indica que la biomasa total accesible y potencialmente contabilizada por el modelo utilizado, ascendió a más de 148 millones de toneladas, en tanto que la denominada Biomasa Comercial accesible y potencialmente disponible alcanzó a más de 124 millones de toneladas.

A fin de acotar el potencial disponible, la Secretaría de Energía ha realizado un relevamiento de Proyectos Identificados destinados a la generación de electricidad con biomasa, cuantificado mediante estudios de campo. Ese relevamiento indica un potencial de casi 422 MW.

A continuación los proyectos más relevantes del mencionado estudio:

En la Provincia de Entre Ríos

- San Salvador: con un potencial de generación de 7,5 MW utilizando residuos de cáscara de arroz y con tecnología de combustión en lecho fluidizado y grilla vibrante (actualmente en proceso de licitación).

- Villaguay: con un potencial de generación de 2 MW utilizando residuos de cáscara de arroz y con tecnología de grilla vibrante.

- Concordia: con un potencial de generación de 25 MW, utilizando residuos forestoindustriales, mediante tecnología de gasificación y combustión.

- Federación: con un potencial de 25 MW, utilizando residuos forestoindustriales, con tecnología de gasificación y combustión (actualmente en proceso de licitación).

Uno de los mayores aprovechamientos de la biomasa en la actualidad es el empleo de bagazo de caña de azúcar como combustible para las calderas en ingenios azucareros (1014 toneladas equivalentes de petróleo, 145 para autoproducción de energía eléctrica).

En algunos casos, este recurso permite la autosuficiencia energética de los mismos y en otros, los excedentes de energía eléctrica son entregados a la red de servicio público.

También hay equipamientos instalados aprovechando residuos agroindustriales de cáscara de maní, girasol y residuos forestoindustriales. La Secretaría de Energía estima una potencia instalada total de casi 720 MW aprovechando residuos biomásicos.

Otra fuente energética considerada como un subcomponente de la biomasa natural está relacionada a la producción de estiércol de origen pecuario. La tecnología más apta para la utilización de este recurso es la de los biodigestores, que permiten convertir al estiércol en gas (con un contenido aproximado del 60% de metano). El rendimiento medio de esta tecnología ronda aproximadamente el 15%. En la Argentina ya existen algunos aprovechamientos de estos recursos, ejemplo de ello lo constituye una empresa integrada de producción de granos y aves (Las Camelias, **Villaguay-Entre Ríos**). En la misma, se producen alimentos y energía eléctrica a partir de biogás proveniente del tratamiento de los residuos agroindustriales y del stock aviar alcanzando a generar el 50% del consumo total (23 MWh/día).

Demanda - Consumo de combustibles en el campo

El campo argentino tiene una gran pendencia al gasoil, utilizado en maquinaria agrícola, además la agricultura argentina es un fuerte demandante de combustibles para hornos de secado de granos; sumados al consumo industrial para el mismo propósito y también para secado de expeller y desolventizado de harinas.

En el caso de la soja, principal grano cultivado en el país, se consideraron dos condiciones:

- La soja que es cosechada húmeda, es decir por encima de la humedad de recibo (secado desde 16% hasta 13%).
- La soja que es secada previo a su industrialización a humedades inferiores (secado desde 13% hasta 11%).

Con estos porcentajes de secado se calcularon los Kg de agua extraídos y considerando una eficiencia de secado de 1.111 Kcal/Kg de agua se calculó la energía calórica necesaria para secar los granos. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro, con valores de producción del año 2017.

Grano	Producción (tn)	% de secado	Puntos porcentuales	Energía requerida (Kcal)
Trigo	18300000	32	2	151317781552
Maíz	19576000	75	4,5	863646785407
Soja Húmeda	41727755	25	3	399691013311
Soja Industria	41727755	75	2	781418385575
Girasol	3154788	37	3,5	51004359133
Sorgo	3798159	63	4	123660951549
Total				**2370739276527**

La suma de todo los requerimientos de energía calórica para el secado de cada grano da un total de $237X10^{10}$ Kcal. Esta energía calórica para el secado se obtiene de la combustión de distintos combustibles, dependiendo de su precio y disponibilidad.

Existen cuatro combustibles comúnmente usados para el secado de granos en Argentina:

- Gasoil: fue el principal combustible en el pasado y se sigue utilizando en secadoras en acopios y gran parte de la industria.
- Gas licuado de propano (GLP): provisto en forma líquida a alta presión contenido en tanques o cisternas.
- Gas natural (GN): provisto en estado gaseoso a baja presión por la red de gasoductos que abastece a gran parte del país.
- Cascara de girasol: este producto de desecho del proceso de extracción de aceite del girasol es usado por algunas industrias aceiteras como combustible para secadoras modificas para su uso.

Considerando la capacidad calórica (kcal/unidad de volumen) del gasoil, el GLP y el GN se calculó el volumen requerido de estos 3 combustibles y se presentan en el siguiente cuadro:

Grano	Gasoil(miles de L)	GLP (miles de L)	GN (miles de m3)
Trigo	2255,63	5842,70	7141
Maíz	11949,38	30950,27	37827
Soja Húmeda	7267,50	9412,30	23007
Soja Industria	9690	0	48891
Girasol	614	3678	3644
Sorgo	910	5450	5401
Total	**32686,50**	**55333,27**	**125911**

El resultado de los cálculos indica que el gasoil demandado por el secado de granos en Argentina, en el año 2017, fue de 32 millones de litros.

Observaciones: se puede avistar que el mercado de secado de granos es una gran oportunidad para la introducción de un biocombustible que garantice disponibilidad, alto poder calorífico y ausencia de productos tóxicos durante su combustión.

¿Por qué optar por un biocombustible derivado del aceite de ricino?

Principalmente el cambio de gasoil por biocombustible de aceite de ricino significa, para la industria, un ahorro en costos ya que este último posee un precio 49% más bajo que el gasoil.

Además tiene ventajas técnicas:

- El biocombustible derivado del aceite de ricino requiere del mismo tipo de equipos de almacenamiento y distribución que el diesel fósil, solo que el primero es mucho más limpio para la planta.
- El biocombustible no requiere de calentamiento previo y presenta condiciones ideales aún para temperaturas bajo cero.
- El biocombustible de aceite de ricino presenta un mayor poder calorífico que cualquier otro biodiesel y que el diesel fósil.

- El biocombustible en cuestión garantiza una combustión del 100% aún en condiciones que no se trabaje con exceso de aire.
- El biocombustible de aceite de ricino garantiza disponibilidad durante todo el año, y su precio no se ve afectado por el del barril de petróleo.
- El biocombustible de aceite de ricino es amigable con el medio ambiente.

Circuitos de venta de productos y subproductos de la empresa

Tanto el producto principal de la empresa (biocombustible de aceite de ricino) como los tres subproductos (glicerina, expeller de ricino y fosfato de potasio) serán destinados al mercado interno.

Biocombustible

Los circuitos de venta del biocombustible pueden llegar a ser muy diferentes ya que este puede ser utilizado en calderas industriales, hornos o estufas residenciales, y hornos de secado de granos. Cada uno de estos circuitos exige una logística particular basada principalmente en el tipo de venta que puede ser directa o por medio de intermediarios (distribuidores) y en el volumen de venta que está directamente relacionado con la capacidad instalada en la planta.

De principio se analizó, en este proyecto, la venta del combustible líquido para ser utilizado en hornos de secado de granos, principalmente soja. La soja en la República Argentina se cosecha con un grado de humedad bajo (aproximadamente el 13%), esto permite su almacenamiento sin la necesidad de un secado previo salvo en situaciones que las condiciones climáticas (principalmente lluvias) obliguen la cosecha de un grano húmedo. Sin embargo los granos enteros que se destinan a exportación al igual que los que se introduce en la industria para su procesamiento exigen una humedad mínima del 10%; por lo que necesariamente se someten a un proceso de secado.

El consumo de combustible para el secado de granos está bien definido, lo llevan a cabo empresas exportadoras que brindan el servicio de acopio de granos, secado e introducción de los mismos en el mercado (exportación de granos enteros e industrialización con posterior venta al exterior); y es pagado por el campo.

Los distribuidores de combustible compran a las petroleras y venden a los acopiadores e industrias procesadoras de granos en un servicio que incluye el trasporte, que en ocasiones es bimodal (terrestre-marítimo). El principal desarrollo de esta actividad se encuentra en el puerto de Rosario; por lo que por su cercanía a la planta de biocombustible de aceite de ricino, ubicada en el departamento La Paz, no representa un alto valor agregado al combustible por causa de transporte.

Entre los distribuidores la empresa **Oronegro Combustibles SRL** compra y distribuye combustibles líquidos livianos y pesados a la industria y al campo en todo el territorio de la República Argentina. La mencionada empresa está dispuesta a comprar el biocombustible de aceite de ricino a la planta de este proyecto, a un precio de **US$ 476 por m^3** (que se equipara con las pretensiones de la planta). Cabe aclarar que los precios de compra se ajustan en relación a la capacidad mensual de producción de la planta y la distancias para retirarlo desde el origen hacia el puerto de Rosario; la calidad del producto se evalúa una vez y si cumple las expectativas se realiza la compra y se toma como referencia, para las próximas adquisiciones, los datos del análisis de calidad; si se desvía la calidad del producto la empresa compradora aplica sanciones que se traducen en un menor pago por el biocombustible.

Expeller y Fosfato de Potasio

El expeller de ricino junto con el fosfato de potasio serán vendidos a la empresa **Biofertyl SRL** ubicada en Marcos Paz, provincia de Buenos Aires. Esta empresa produce y comercializa enmiendas para recuperación y/o mejoras de

suelo y fertilizantes; su actividad principal es la producción de compost desde residuos orgánicos industriales sólidos, el cual vende de forma mayorista y minorista.

Biofertyl SRL fija el precio de compra en relación a la calidad del producto (relación carbono/nitrógeno del material orgánico) y la distancia para retirarlo desde el origen hacia Marcos Paz. La empresa estaría dispuesta a comprar el expeller de ricino a un precio de **US$ 35,351 por tonelada** y el fosfato de potasio a un precio de **US$ 0,60 por kilo gramo**.

Glicerina

La glicerina que se comercializa a nivel mundial surge como subproducto en la fabricación de jabones a partir de aceites vegetales; siendo hasta la actualidad el principal productor Estados Unidos. El circuito de la glicerina siempre tuvo un mercado demandante que abarcó grandes volúmenes y permitió así introducir fácilmente la glicerina derivada de la industria del biodiesel. La glicerina se comercializa para uso industrial sin purificar (cruda), purificada y de grado alimenticio.

A nivel local la demanda de glicerina cayo drásticamente en los años de mayor producción de biodiesel (2011-2013), y si bien no llegó a recuperarse, actualmente la demanda es alta ya que es escasa debido principalmente al retroceso que tuvo Argentina en la producción de biodiesel de aceite de soja por el cierre de sus principales mercados (Europa – Estados Unidos).

Existen hoy en día empresas que producen, compran y venden glicerina, tanto purificada como cruda (es decir obtenida del proceso de fabricación de biodiesel sin tratamiento posterior). Tal es el caso de la empresa multinacional **Terminal 6** (T6); que produce biodiesel de aceite soja (partiendo de los granos enteros) y glicerina purificada. La empresa se ubica en la provincia de Santa Fe, aledaña al puerto General San Martín sobre el río Paraná.

Anualmente T6 compra grandes cantidades de glicerina para satisfacer su mercado ya que la cantidad por la empresa producida es insuficiente. Cabe aclarar que en la producción de biodiesel la glicerina equivale solo al 3% en volumen del combustible obtenido.

La mencionada empresa estaría dispuesta a comprar la glicerina purificada de la planta de biocombustible de aceite de ricino a un precio de **US$ 327 por m^3**. La condición a satisfacer para realizar la venta es poder entregar (T6 la retira en planta) 105 m^3 por partida.

Conclusiones del estudio de mercado

Del análisis realizado se denota que el agro argentino es una excelente oportunidad para introducir un biocombustible derivado de aceite de ricino; para el secado de granos.

Lo es también el sector de la industria que opta por la biomasa para sus calderas en épocas invernales que disminuye el abastecimiento de gas natural. En este sentido se puede apuntar introducir en el mercado un biocombustible derivado del aceite de ricino que reemplace el 12% de gas oíl utilizado en el secado de granos.

Por último, la venta de los productos puede estar asegurada hacia clientes detallados en el circuito de venta de la empresa pero trae sujeto el riesgo que representa depender de un solo comprador en situaciones tales como acuerdos de precios o en el peor escenario que prescindan de los productos elaborados por la planta; de todas maneras éstos no son los únicos posibles clientes ya que el biocombustible y los subproductos tienen margen de inclusión en el mercado interno y se citaron tales empresas (futuros clientes) por contar con la información del precio de compra propuesto por estas.

CAPÍTULO 3

PRODUCCIÓN PRIMARIA

Introducción. El ricino.

El ricino (ricinus communis), también conocido en nuestro país con el nombre de tártago, es una oleaginosa, de familia botánica Euforbiácea, similar a la mandioca. Es originario de África, de regiones tropicales, se adapta al subtropical, a suelos de baja calidad y clima semiárido, por su sistema radicular que busca humedad en profundidad y hojas con sistema de cierre de estomas (puntos de intercambio de dióxido de carbono), que disminuye la evapotranspiración.

Se desarrolla bien en amplias zonas del noreste y noroeste argentino, donde se naturalizó silvestre. Esta variedad es dehiscente, es decir que no retiene la semilla en la planta y además el contenido de aceite no supera el 20%.

Las primeras semillas de tártago, fueron traídas por los inmigrantes europeos, lo usaban como antiparasitario intestinal y el aceite de semillas como combustibles en sus lámparas. Los rastrojos del cultivo son ricos en fosforo y potasio, aportan más de 80 toneladas/hectárea de materia verde al suelo.

Cada 1000 kg de semilla la planta extrae aproximadamente 34 kg Nitrógeno, 15 kg de Fosforo y 9 kg de Potasio. Y absorbe grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera.

Semillas y aceite

La semilla de ricino es el producto de un cultivo no comestible, con un contenido de aceite superior al 50% (semillas para producción) y que posee, comparativamente, una alta tolerancia a condiciones climáticas adversas como la falta de lluvia y el intenso calor.

El aceite también llamado de castor o de higuerilla, extraído de la semilla de ricino, posee más de 700 aplicaciones, entre las que podemos destacar la manufactura

de jabones, lubricantes, fluidos de freno e hidráulicos, combustible, pinturas, tintas, plásticos, nylon, productos farmacéuticos y perfumes, entre otros. Este aceite posee características químicas que lo califican como el único de su naturaleza. Está compuesto casi exclusivamente (más del 95 por ciento) de un único ácido graso (ácido ricinoleico) que contiene un radical hidroxilo que lo hace soluble en alcohol a baja temperatura, es muy viscoso y con propiedades físicas especiales.

Al realizar Crushing de la semilla de ricino se obtiene por un lado el aceite de ricino y otro subproducto comúnmente denominado torta de castor. Las proporciones entre aceite y torta son aproximadamente 52% y 48% respectivamente. Los usos principales de la torta de castor son como fertilizante y combustible.

Como fertilizante es un excelente producto, contiene nitrógeno, fósforo y potasio en importantes concentraciones, además de otros micronutrientes. Provee una fertilización balanceada y es apto para agricultura orgánica.

Cabe destacar que la harina obtenida de la torta de castor no se puede utilizar para alimentar ganado de forma directa, debido a su toxicidad causada por una proteína llamada ricina. Sin embargo, existen métodos para la destoxificación como el tratamiento con amoníaco, álcalis y el calor, para su posterior uso como alimento animal.

Clima y Suelos

La planta crece entre temperaturas de 18°C a 32°C, completando su desarrollo en aproximadamente 130 días, de acuerdo a variedades o híbridos. Temperaturas inferiores a -4°C, más de cuatro horas continuas, congela la savia de la planta y la destruye. Con más de 32°C cierra los estomas de sus hojas para evitar

evapotranspiración. Crece con 600 mm a mas de 2500mm de precipitación, siendo el ideal 300-400mm distribuidos en los primeros 100 días de crecimiento hasta formación de frutos; una vez formados los frutos la planta soporta stress de sequia o temperaturas altas o bajas. Tiene una raíz pivotante, que crece antes de la emergencia de las hojas de cotiledones, que puede llegar a medir hasta 4 metros si falta humedad en suelo y no existen capas duras.

Se desarrolla mejor en suelos de lomas y bien drenados, texturas francas, profundos, sin capas duras como toscas, etc. Los anegamientos de más de 24 horas matan a la planta, por la infección con complejos de hongos y bacterias, en la base del tallo, sobre todo cuando la planta es joven. No crece en suelos alcalinos o salinos, con más de pH 8 o 4 mmhos de conductividad en solución, tampoco en suelos muy ácidos de pH inferior a 3,5; aunque en este caso, la acidez del suelo, se puede corregir.

Siembra y manejo del cultivo

El manejo del cultivo es distinto, si se cosecha de modo manual o mecánico. Existen variedades e híbridos apropiados para cada sistema. La densidad de siembra para cosecha manual es de 5000 a 10.000 plantas /ha, que permite 3 a 5 cosechas de frutos anuales. Para cosecha mecánica se siembran 20000 a 40.000 plantas por Hectárea, la planta se seca con desecantes y se efectúa una sola cosecha de racimos. Las plantas no deben superponer hojas y ramas laterales porque necesitan sol, por ello con suelos fértiles se siembra menor densidad de plantas por su mayor follaje, lo contrario con suelos de baja calidad en nutrientes.

El ciclo del cultivo es de 110 a 130 días, de acuerdo a la variedad o hibrido sembrado. La floración se produce en parte terminal de cada rama nueva de 1° - 2° - 3° orden, etc. a partir del tallo principal. La semilla germina entre los 7 y 10 días de sembrada, donde emergen 2 hojas decotiledones. La floración se inicia a los 30/40 días de la emergencia de planta, en 20 días más se completa y el fruto termina de madurar en 30 días más. La formación de frutos es continua de acuerdo al desarrollo de planta, clima, fertilidad suelo, etc. Como cualquier cultivo oleaginoso, en mejores condiciones, mejor es la producción de racimos (simpodios).

La altura de planta puede superar los 3 metros. Con cosecha mecánica se aplican reguladores de crecimiento, para evitar el excesivo desarrollo lateral y también existen variedades enanas adaptadas para cosecha mecánica.

En variedades mejoradas, los frutos retienen la semilla por más de 20 días, lo que permite su cosecha. De modo manual, se efectúan 3 o más cosechas. Las variedades para cosecha mecánica, concentran en pocos días la formación y maduración de racimos con frutos, no llegan a medir más de 1,5 metros y retienen las semillas más de 15 días, por lo que se efectúa una sola cosecha, desecando la planta antes de cortar el racimo con maquina.

No se conocen plagas ni enfermedades en los cultivos de tártago en nuestra zona, pero sí se utilizan herbicidas en cultivos mecanizados. Las malezas solo deben controlarse los primeros 30 días, cuidando que no cubran la planta, ya que necesitan sol directo para crecer (plantas muy heliófilas).

El rendimiento por hectárea de semilla tártago depende de las variedades utilizadas, condiciones de cultivo, clima, suelo y manejo de los cultivos. Generalmente el rendimiento se encuentra entre los 1500 y 2500 kg/ha de semilla,

con cosecha manual, utilizando una densidad de aproximadamente 10.000 plantas/ha. Con cosecha mecánica se obtiene entre 3000 y 5000 kg/ha, utilizando una densidad no inferior a 20.000 plantas/ha.

Cabe destacar que las maquinas cosechadoras son las que se utilizan para soja, con una adaptación simple en el cuerpo trillador, que cosechan semilla con cáscara. También las cosechadoras de maíz se pueden adaptar sin problemas.

La semilla de tártago se puede comercializar con o sin cáscara, puesta en fábrica o en chacra. Con cáscara el precio de compra es la mitad que la limpia, ya que el rendimiento en semilla es entre el 55 y 60% aproximadamente (es decir posee entre un 40 – 45% de cáscara). El precio se pacta en fábrica de acuerdo al contenido de aceite de semilla y al porcentaje de materias extrañas o bien por acopiadores en chacra.

Potencial de Argentina para la producción y acopio de semillas de ricino

En la actualidad aún todo el proceso de cultivo, a nivel mundial, es muy artesanal. Los líderes mundiales del cultivo son India (principal productor de granos), China (primer industrializador de aceite) y Brasil. En Argentina sólo crece de manera silvestre.

En todos los países productores de tártago, el cultivo tiene gran importancia social por emplear mucha mano de obra de trabajadores rurales, principalmente para la siembra, control de malezas y la cosecha.

El arbusto requiere de climas cálidos y es apto para zonas marginales como Santiago del Estero, Chaco y Formosa. Según SENASA (Res Senasa Nº350/99) para cumplir con los requisitos para el registro de un nuevo producto es

indispensable testearlo en diferentes zonas agroecológicas de forma tal de conocer el comportamiento y efectividad del mismo ante diferentes condiciones ambientales.

La superficie total de la Argentina es de 286 millones de ha, de las cuales 142 millones están bajo pasturas o praderas permanentes, 34 millones bajo cultivos anuales y un millón de hectáreas bajo cultivos perennes. Se riegan cerca de 1, 6 millones de ha (FAO).

Argentina se puede dividir en tres grandes regiones agrícolas:

- La región húmeda, que abarca cerca de 68 millones de ha (25%).
- La región semiárida, con 48 millones de ha (15%), donde a menudo es necesario regar.
- La región árida, donde el riego es necesario con 170 millones de ha (60%), y consiste prácticamente en toda la Patagonia al sur del Río Colorado.

Las regiones agroecológicas norte del país abarcan:

Noroeste (NOA): Salta, Jujuy, Tucumán, Santiago del Estero y Catamarca.

Nordeste (NEA): Corrientes, Chaco, Misiones y Formosa.

El clima es subtropical con lluvias concentradas en primavera y verano, la precipitación media anual es del orden de los 1500 mm y la temperatura media anual es de 20, 7 °C.

Estas condiciones son ideales para el desarrollo y producción del ricino; inclusive en el informe “Definición de Zonas Agroecológicas correspondiente a los principales cultivos en la Argentina” presentado por SENASA en diciembre del 2014, detalla a Misiones y Corrientes como zonas óptimas para el cultivo de tártago.

Los antecedentes de la producción en Argentina de ricino, si bien de ya hace varios años, muestran plantaciones en Corrientes, Entre Ríos y Chaco.

En un informe presentado por la cátedra de Cultivos Industriales de FAUBA (bajo la dirección del ingeniero agrónomo Diego Wessner) y el Instituto de Estudio Estratégico y Relaciones Internacionales, para el Programa Nacional de Biocombustibles; en las campañas de los años 1967/1976 la provincia de Chaco produjo 1100 toneladas de semillas de ricino, Corrientes 1000 toneladas y Entre Ríos 800 toneladas. En el mismo informe detalla que el último antecedente oficial de producción de aceite de ricino data del año 1988, que en 1990 se instaló una planta para producir aceite de ricino en la localidad de Tartagal pero no dio resultados por problemas con el abastecimiento de semillas y que en el año 2007 mediante un proyecto público y privado entre la provincia de Misiones y el ingeniero Alberto Locher, sembraron 4000 hectáreas en la mencionada provincia.

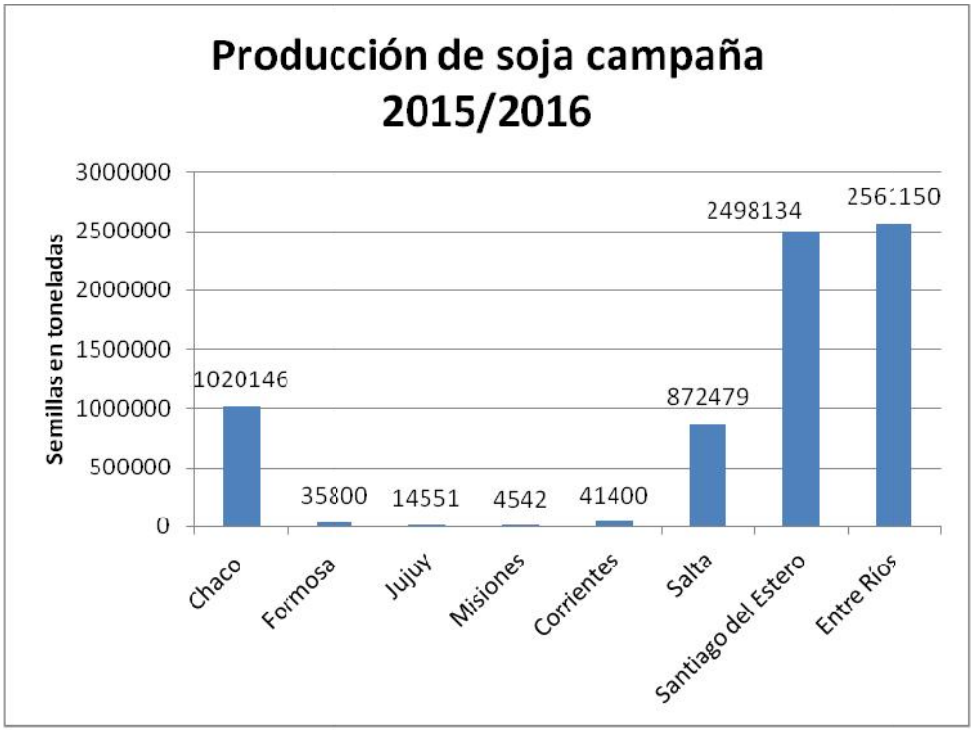
Las provincias argentinas con mayor potencial para el cultivo de ricino son las del sector nordeste. A continuación se presentan datos de la Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación con las producciones agrícolas de la campaña 2015/2016 para estas provincias:

Tabla n°1. Producción agrícola de las provincias del nordeste argentino 2015/2016.

Cosecha fina Campaña 2015/2016					
Cultivo	**Campaña**	**Provincia**	**Sup. Sembrada(ha)**	**Sup. Cosechada(ha)**	**Producción(Tn)**
Algodon	2015/16	CHACO	185.800	179.640	265.534
Arroz	2015/16	CHACO	6.000	6.000	34.800
Girasol	2015/16	CHACO	304.087	297.052	504.086
Maiz	2015/16	CHACO	235.710	213.541	1.186.959
Soja	2015/16	CHACO	551.940	532.757	1.020.146
Sorgo	2015/16	CHACO	64.350	63.770	227.734
Trigo	2015/16	CHACO	113.980	101.980	150.010
Algodon	2015/16	FORMOSA	9.960	9.300	13.950
Arroz	2015/16	FORMOSA	6.520	6.340	31.700
Maiz	2015/16	FORMOSA	35.000	27.000	135.000
Soja	2015/16	FORMOSA	17.900	17.900	35.800
Sorgo	2015/16	FORMOSA	9.500	3.000	10.500
Cartamo	2015/16	JUJUY	150	150	90
Maiz	2015/16	JUJUY	6.630	6.480	27.864
Mani	2015/16	JUJUY	588	588	705
Poroto seco	2015/16	JUJUY	29.184	26.276	23.432
Soja	2015/16	JUJUY	6.840	6.156	14.551
Trigo	2015/16	JUJUY	3.435	3.435	6.980
Maiz	2015/16	MISIONES	23.520	22.190	65.799
Soja	2015/16	MISIONES	1.550	1.515	4.542
Yerba mate	2015/16	MISIONES	171.850	155.600	598.960
Algodon	2015/16	CORRIENTES	900	900	1.350
Arroz	2015/16	CORRIENTES	88.200	86.200	635.900
Maiz	2015/16	CORRIENTES	13.000	10.000	50.000
Soja	2015/16	CORRIENTES	23.000	23.000	41.400
Sorgo	2015/16	CORRIENTES	5.000	4.000	12.000
Yerba mate	2015/16	CORRIENTES	19.200	17.400	93.810
Algodon	2015/16	SALTA	15.340	15.340	37.276
Cartamo	2015/16	SALTA	79.806	79.806	51.460
Cartamo	2016/17	SALTA	26.034	26.034	17.334
Maiz	2015/16	SALTA	313.750	292.430	1.655.739
Mani	2015/16	SALTA	8.130	8.130	6.749
Poroto seco	2015/16	SALTA	285.832	273.749	229.488
Soja	2015/16	SALTA	423.757	407.427	872.479
Trigo	2015/16	SALTA	92.442	80.542	131.110
Algodon	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	132.200	126.000	290.770
Avena	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	4.600	400	400
Girasol	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	5.700	5.700	10.300
Maiz	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	672.320	593.910	4.262.476
Poroto seco	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	49.000	49.000	96.700
Soja	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	980.572	941.572	2.498.134
Sorgo	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	137.000	134.200	484.050
Trigo	2015/16	SANTIAGO DEL ESTERO	245.550	219.050	439.420
Algodon	2015/16	ENTRE RIOS	1.300	900	810
Alpiste	2015/16	ENTRE RIOS	70	70	49
Alpiste	2016/17	ENTRE RIOS	270	270	231
Arroz	2015/16	ENTRE RIOS	72.500	69.400	500.000
Avena	2015/16	ENTRE RIOS	100.500	12.250	18.810
Avena	2016/17	ENTRE RIOS	88.400	12.050	18.500
Cebada cervecera	2015/16	ENTRE RIOS	4.800	3.800	12.680
Colza	2015/16	ENTRE RIOS	10.100	9.480	15.265
Colza	2016/17	ENTRE RIOS	5.380	5.380	9.450
Girasol	2015/16	ENTRE RIOS	2.800	2.800	6.100
Lino	2015/16	ENTRE RIOS	17.000	17.000	20.085
Lino	2016/17	ENTRE RIOS	13.000	13.000	16.610
Maiz	2015/16	ENTRE RIOS	257.900	229.830	1.562.611
Soja	2015/16	ENTRE RIOS	1.466.000	1.313.500	2.561.150
Sorgo	2015/16	ENTRE RIOS	98.500	85.400	399.300
Trigo	2015/16	ENTRE RIOS	234.050	225.750	707.051

Es relevante resaltar la producción de soja (figura n°1) en cada provincia, ya que en tierras que pueda desarrollarse esta oleaginosa no habrá ningún grano, al menos hasta hoy en día, que resulte más rentable que la soja.

Figura n°1. Producción de soja en el nordeste argentino.



El ricino es posible intercalarlo con el maíz, zapallo, sandía, algodón, pino, algarrobo y otros cultivos. De esta manera, el productor se puede beneficiar mejor y obtener más producción de cada hectárea. Además el tártago, según registros agrónomos, favorece el suelo, crea un microclima que favorece también a los cultivos intercalados, aleja a las hormigas del lote y enriquece la tierra.

En Chaco se sembraron 4.500 hectáreas, en el año 2009. La siembra y la zafra se realizan en forma manual (involucrando a 700 familias de agricultores pequeños) y la mayoría de los lotes pertenece a pequeños productores. Esto fue una alternativa económica que permitió la siembra mixta y una rentabilidad asegurada para el pequeño productor. Las semillas fueron vendidas a acopiadores.

En Salta se está desarrollando el cultivo del tártago, así como su industrialización. Motiva el desarrollo del aceite de ricino que además de uso medicinal, con creciente demanda tras la prohibición de la caza de cetáceos, se le han encontrado nuevas aplicaciones industriales en reemplazo del aceite de jojoba, más caro y de difícil obtención. Y aplicaciones que se centran en la utilización de este aceite en la lubricación de ejes de altas revoluciones (turbinas).

En Jujuy, en el año 2010, se llevó a cabo un proyecto para impulsar la producción del tártago como materia prima para la generación de biodiesel y desarrollo social en la región. Se sembraron mil hectáreas de este vegetal, la que estuvo a cargo de 20 productores. Se tenía pensado instalar en la localidad de Chalicán una planta procesadora para la extracción del aceite; pero las semillas fueron vendidas a acopiadores.

Actualmente toda la producción de semilla de tártago que se pueda generar en el Norte argentino es comprada por acopiadores de Brasil o Paraguay y tiene mercado asegurado vía exportación.
Las fabricas de aceite que compran semillas se encuentran en Villeta (próxima a Asunción) Paraguay, y estados del norte de Brasil, Bahía, etc. Los precios de

semilla limpia puesta en fábrica varían de acuerdo a la producción de INDIA y China que son los principales productores mundiales.

Presente y futuro del ricino en Argentina

Hoy en día, en la provincia de chaco el tártago se siembra a más tardar en septiembre y tiene la primera cosecha entre 120 y 150 días. La cosecha continúa cada 21 días hasta la primera helada, que para la producción. Si no llega la helada sigue produciendo. Alrededor de agosto se poda la planta y comienza el segundo año de producción. El ciclo de cada planta es de tres años. Una hectárea rinde entre tres a cuatro toneladas de frutos, dependiendo de las condiciones climáticas.

La producción de esta provincia se destina a la exportación a través del sistema de transporte multimodal, que incluye el puerto de Barranqueras. El transporte multimodal es aquel en el que es necesario emplear más de un tipo de vehículo para transportar la mercancía desde su lugar de origen hasta su destino final, pero mediando un solo contrato de transporte.

Además en Chaco, en la localidad de Corzuela 250 km al noroeste de la capital Resistencia, opera una fábrica que solo procesa aceites no comestibles como Tártago, Jatropha, y compra toda la producción que se realice y no se destine a exportación; actualmente solo trabaja con jatropha.

Cabe aclarar que el precio que reciben por las semillas, los productores que exportan, no es un precio real del mercado de exportación ya que se lo venden a acopiadores quienes quedan con gran parte del valor.

Proyecto de ricino en Argentina

Se trata de un proyecto que incluye innovación agrícola; es integrado y aporta al desarrollo regional ya que está orientado a zonas marginales. Es importante mencionar que el ricino es capaz de desarrollarse en terrenos no aptos para el cultivo de soja, ofreciendo buenos rendimientos. Se puede promover el desarrollo productivo de este cultivo ya que no compite con los tradicionales.

Empresas involucradas

Castor Oíl Argentina S.A. (CASA) es una compañía de capitales nacionales que lleva a cabo actividades de Investigación y Desarrollo con la finalidad de incorporar nuevas tecnologías en el sector agroindustrial Argentino. Sus socios fundadores, pertenecen al sector agrícola y de crushing de oleaginosas. La empresa fue formada en 2015 para dar continuidad al proyecto de ricino en Argentina que había iniciado en 2013 por Terminal 6 SA y AGD. Si bien se tiene como objetivo la venta de aceite de castor en el mercado de especialidad en el mediano plazo, CASA tiene la visión de convertirse en la empresa líder de biocombustibles de segunda generación en Argentina. Para ello, el primer paso necesario es trabajar intensamente en asegurar la materia prima (granos de ricino) a un precio competitivo, para lo cual actualmente el foco está puesto en el desarrollo agrícola del mismo.

Evofuel (subsidiaria de Evogene y líder en el mundo en genómica y biotecnología) es una empresa cuya misión es desarrollar y comercializar semillas de cultivos que puedan ser utilizados como materia prima en la producción de biocombustibles de segunda generación. Sus principales productos son variedades de semilla de ricino. Evogene es una empresa líder mundial en la modificación del genoma de plantas para mejorar aquellos rasgos de la misma que

agregan valor, como son aumento de rindes, tolerancia a sequias, usos de fertilizantes, tolerancias a enfermedades (la empresa posee acuerdos estratégicos con socios claves como Monsanto, Bayer, Syngenta, Dupont, Viterra) entre otros.

Las variedades de semillas de ricino que desarrolla Evofuel presentan grandes ventajas sobre las existentes en el mercado lo que generará una disrupción en el modelo de negocios actual, posibilitando obtener precios de aceite de ricino (y biodiesel en un futuro) altamente competitivos. Las características sobre las cuales trabajaran son:

- Altos rendimientos: Incremento de 1tn/ha a 2 – 2,5 tn/ha
- Cultivo en secano (sólo recibe el agua aportada por lluvias)
- Contenido de aceite en semilla: 48-60% (en comparación a 18% de la semilla de soja)
- Altura de planta reducida: 1.5-1.8 metros, lo que permite cosecha mecánica y producción a escala comercial.
- Alta densidad de plantas y mayor número de racimos por planta (impacto directo sobre rinde)
- Ciclo de crecimiento corto: entre 120 y 150 días

¿De que trata el proyecto?

En el año 2011 Evofuel comenzó a realizar pruebas en Brasil, con la empresa SLC Agrícola como socio estratégico. En el año 2012, Terminal 6 AGD y Evogene llegaron a un acuerdo de colaboración para realizar los primeros ensayos para demostrar la factibilidad de implantar este cultivo en Argentina.

El desarrollo del proyecto comenzó en el año 2013 a raíz del acuerdo entre Evofuel-T6-AGD. Principalmente en este trabajo se llevaron a cabo ensayos de nuevas variedades en Argentina (una variedad puede dar resultados diferentes según el lugar geográfico) y a la validación del sitio cultivable. Contó además con una etapa dentro del proceso de desarrollo que involucró actividades de aumento de escala del cultivo.

La innovación genética lograda por Evofuel trae aparejado un cambio en el modelo de negocio tradicional.

En el modelo tradicional, el productor de semillas para obtener la planta de ricino tenía un rol secundario ya que el productor plantaba el arbusto, de tallo grueso y leñoso, y lo cosechaba una vez por año. Dicha cosecha se realizaba, además, de manera manual. La innovación de genética impacta principalmente en este punto de la cadena de valor. Al desarrollar un cultivo de rápido crecimiento y que posibilita la cosecha mecánica. El productor de semillas se convierte en un eslabón clave en la cadena de valor. El negocio se torna muy similar al de producción de aceite de soja, con algunas particularidades por tratarse de un cultivo cuya torta (residuos sólidos del proceso de extracción de aceite) tiene un factor tóxico asociado y cuyo aceite no tiene un mercado explícito.

Cabe destacar que las empresas que llevan adelante este proyecto en nuestro país lo que buscan es un modelo de negocio cerrado, en el cual Castor Oíl Argentina posee exclusividad de producción y aprovisionamiento de semillas de ricino de Evofuel.

A través de un acuerdo comercial, Evofuel compromete la provisión exclusiva de semillas en la Argentina con Castor Oíl Argentina, con acceso exclusivo a desarrollos genéticos de sus investigaciones y asesoramiento agronómico; a

cambio de un porcentaje sobre los ingresos de comercialización de aceite, granos y torta. Este acuerdo permite el acceso a toda mejora que se incorpore a la semilla en el mediano-largo plazo y que permita mejorar la rentabilidad del negocio (principalmente a través del aumento de rinde por hectárea y la posibilidad de extracción de la toxina de la torta). Esta situación puede llegar a ser muy positiva para el desarrollo de un biodiesel de aceite de ricino ya que lo que se alienta es la producción de semillas a cambio de un porcentaje de las ventas; de modo que ofrece la posibilidad de una oferta constante de materia prima (granos de ricino). Pasa a ser relevante el acopio de semillas; brindarle al productor la posibilidad de la venta total de su producción a un valor similar o mejor que el precio que obtendría de la exportación. Actualmente, disminuyendo los costos de transporte de semillas (zonas de acopio cercanas a las de producción), sumado que existe un 10% de retenciones en la exportación de semillas de ricino impuesta en nuestro país, más los derechos de exportación que también son elevados; es posible competir con el precio internacional de la semilla.

Conclusiones

Con todo lo detallado se aprecia que Argentina posee un gran potencial para la producción de granos de ricino, sin la necesidad de abandonar los cultivos tradicionales y más aún aprovechando zonas que actualmente no son cultivadas.

Con la propuesta en este proyecto de lograr 4 millones de litros anuales de biocombustible (12% del mercado), se requieren 8000 toneladas de semillas lo que equivale 1100 hectáreas (considerando cosecha manual y tres cosechas en el año). Si la cosecha es mecánica el área de cultivo disminuye en un 50%.

CAPÍTULO 4

LOCALIZACIÓN

Macro localización

La provincia de Entre Ríos se divide en 17 departamentos. Con 78 781 kilómetros cuadrados (distribuidos territorialmente en 66 976 km² de tierra firme y 11 805 km² de islas y tierras anegadizas), es la decimoséptima provincia más extensa del país, ocupando el 2,83 % de la superficie total del mismo. Se encuentra situada entre los 30º 9' y 34º 2´, de latitud sur y entre los 57º 48' y 60º 47´ de longitud oeste. Limita al norte con Corrientes, al oeste con Santa Fe; al sur con Buenos Aires, y al este con la República Oriental del Uruguay. Conjuntamente a Misiones y Corrientes, Entre Ríos integra la Mesopotamia argentina.



Gráfico n° 1. Provincia de Entre Ríos

Las fronteras provinciales de Entre Ríos están marcadas por ríos, el Paraná por el oeste y el sur, el Uruguay al este; y al norte, el Guayquiraró con su afluente el arroyo Basualdo y el Mocoretá con su arroyo de las Tunas. Sólo una pequeña franja entre estos arroyos norteños une por tierra a Entre Ríos con Corrientes. La compleja red de ríos y arroyos de esta provincia es la más rica del país.

Población

Según el censo de 2010 (INDEC) posee 1 236 300 habitantes, lo cual la convierte en la séptima provincia más poblada del país. Dicha población equivalía al 3,1 % del total nacional.

Entre la población mayor de 14 años, la mayoría tiene educación primaria completa o bien educación secundaria incompleta; dicho grupo comprende unos 145880 entrerrianos. Le siguen unos 85764 que poseen los estudios secundarios completos o los universitarios incompletos. Hay 29684 y 19087 que terminaron los estudios terciarios y universitarios respectivamente.

Educación

Entre Ríos, ha tenido un papel preponderante en la historia de la educación en Argentina. El primer colegio laico y gratuito del país, el Colegio del Uruguay, fue fundado por Urquiza el 28 de julio de 1849 en Concepción del Uruguay. También en la provincia fueron inauguradas las dos primeras escuelas normales del país, una en Paraná y la otra en Concepción del Uruguay durante la presidencia de Domingo Faustino Sarmiento.

La provincia cuenta con seis universidades con sedes en su territorio: la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), la Universidad Católica Argentina (UCA), la Universidad Adventista del Plata (UAP), la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), la Universidad de Concepción del Uruguay (UCU) y la Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER). Además existen varias universidades con regímenes semi-presenciales dentro de modalidades de educación a distancia que tienen unidades académicas en la provincia; tal es el caso de la Universidad Católica de Salta (UCASAL), la Universidad Blas Pascal (UBP) o la Universidad Nacional del Litoral (UNL), entre otras.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), ubicada en Oro Verde es la primera institución en Sudamérica en brindar la

carrera de Bioingeniería, desde 1985. El 3 de julio de 1992, se produce, con 8 egresados, la primera colación de Bioingenieros, fecha en la que desde entonces se celebra en Argentina el «Día del Bioingeniero».

Geografía

El relieve entrerriano presenta un paisaje de llanura sedimentaria originado en la erosión, levemente ondulada, de alturas no superiores a los 100 metros. Pero lo más destacable es que presenta cauces que se encuentran entre los ríos Gualeguay y Paraná y desembocan en este último, único de esta pendiente que nace fuera de la provincia, en el territorio brasileño, y tras un recorrido de más de 3.800 km, desemboca en forma de Delta, en confluencia con el río Uruguay. La costa entrerriana del río Paraná es alta y barrancosa hasta la ciudad de Diamante, y a partir de aquí, la altura de la costa se invierte, dando lugar a la formación del Delta. Los principales ríos de esta pendiente son: el Guayquiraró (140 km.) que sirve de límite con la provincia de Corrientes; el río Feliciano (198 km.), que nace en la lomada del Mocoretá y desemboca en las inmediaciones de Piedras Blancas; el Hernandarias (limita los departamentos de La Paz y Paraná); el arroyo de Las Conchas, que desemboca en Villa Urquiza; el arroyo Salto, lo hace en las cercanías de La Juanita y el arroyo Ensenada, que desemboca al norte de la ciudad de Diamante. Esta fuerte presencia de cauces hídricos que demarcan su geografía siempre ha influido en la economía de la provincia.

Clima

Por su situación geográfica en Entre Ríos la temperatura disminuye de norte a sur. Dado esto podemos encontrar dos regiones climáticas: una subtropical sin estación seca y otra cálida.

La primera afecta a los departamentos de Federación, Feliciano, Federal y norte de La Paz. Los inviernos son suaves y los veranos con temperaturas promedio superiores a los 26ºC. La temperatura media anual es de 20ºC. Las precipitaciones superan los 1.000 mm anuales y predominan los vientos norte, este y noreste.

La segunda región climática, que corresponde al resto del territorio, presenta inviernos cuya temperatura media oscila entre los 7º C y 10º C, y en verano, entre los 19ºC y 23ºC. La amplitud media varía entre los 10ºC y 16ºC. En esta zona se encuentran presentes vientos del sur, sureste, noreste y pampero. Las precipitaciones, en promedio, son inferiores a los 1.000 mm anuales. Cabe destacar que en la zona del oeste de Entre Ríos las temperaturas son algo distintas a la de la zona este de la provincia, dado que en esta las temperaturas en verano suben a un pico de 41 °C, mientras que en invierno suelen ocurrir heladas y temperaturas que bajan por debajo de 0°C. Los inviernos suelen ser bastante fríos (aunque no gélidos) con heladas y nieblas matutinas continuas muy comunes.

Infraestructura ferrovial

Entre Ríos está ubicada en un corredor estratégico del Mercosur y de la conexión bioceánica sudamericana.

Dado que la provincia está rodeada por ríos en todos sus límites, los puentes revisten una gran importancia para la comunicación vial de la provincia con el exterior. Estos son:

- El túnel subfluvial Hernandarias, que corre bajo el lecho del Paraná y comunica con la provincia de Santa Fe. Tiene una longitud de 2.397 m.,

con dos rampas de acceso de 271 m. cada una y caminos de convergencia de unos 1.500 m.

- Paso Internacional "Gualeguaychú - Fray Bentos": Sureste del país en la Provincia de Entre Ríos. Comunica a la República Argentina con la República Oriental del Uruguay, a través de Puente Internacional “Gral San Martín”, sobre el Río Uruguay. Puente Internacional Puerto Unzué - Fray Bentos "Libertador General San Martín". Une las localidades de Fray Bentos, en la República Oriental del Uruguay, con Gualeguaychú, en Entre Ríos. Los distintos tramos totalizan 5.366m, de extensión.

- Puente Internacional Colón-Paysandú "Gral J. G. Artigas": Este puente fue construido sobre el río Uruguay y une las ciudades de Paysandú (en la República Oriental del Uruguay) y Colón (en Entre Ríos).

- Puente ferrovial Represa Salto Grande: Este es el tercer puente que une la provincia (Concordia) con la República de Uruguay (Salto), atravesando el complejo hidroeléctrico del mismo nombre.

- Puente Victoria - Rosario, con una extensión de 56 Km atraviesa el Paraná hacia la provincia de Santa Fe. El puente Rosario – Victoria; la conexión vial entre la ciudad de Rosario (la tercera urbe más importante del país) y la comunidad de Victoria, se gestará gracias a la conexión de un camino/puente que atraviesa el Río Paraná.

- Complejo ferrovial Zárate - Brazo Largo: Vincula el sur de Entre Ríos con la provincia de Buenos Aires. Este complejo ferrovial está constituido por dos puentes que se encuentran a unos 30 km. entre sí y que cruzan los

ríos Paraná de las Palmas y Paraná Guazú. Cada puente tiene unos 550 m. de longitud y se eleva a 50 m. sobre el nivel del río.

- En el límite con la Provincia de Corrientes, hay tres puentes que cruzan el río Guayquiraró en los pasos Telégrafo, Ocampo y Yunque (este último destruido en 2000 por una creciente del río), y uno carretero y otro ferroviario que cruzan el río Mocoretá. Otros dos puentes atraviesan el arroyo Tunas y el ramal ferroviario Diamante-Crespo-Federal-Curuzú Cuatiá del Ferrocarril General Urquiza pasa por el límite seco entre ambas provincias.

Puertos

- El puerto de Concepción del Uruguay, ubicado sobre el Río Uruguay, junto a la zona franca sobre el corredor Bs. As, tiene un calado de 25 pies, que permite la operación de buques de hasta 225 m. de eslora.
- El puerto Ibicuy, ubicado sobre el río Paraná, a la altura del km 180, tiene un calado natural de 32 pies, lo que posibilita el atraque de cualquier tipo de buque.
- El puerto Diamante, que se encuentra sobre el Río Paraná, en el kilómetro 533, tiene un calado de 26 pies.

Rutas

El trazado de rutas es muy importante para la actividad agropecuaria de la provincia, ya que es la principal forma de traslado de la producción. La provincia posee 2491 kilómetros de ruta pavimentada (red nacional y provincial), siendo las principales rutas la RN 12, 14 ,18 y 127 y las Provinciales 11, 6 y 39.

Gráfico n° 2. Rutas en la provincia de Entre Ríos.



Ferrocarril

El ferrocarril, estrechamente ligado a la historia y al progreso de Entre Ríos, actualmente ha disminuido notablemente su importancia y presta servicios en forma muy limitada (sólo de cargas). El ramal que corre por la provincia corresponde al FFCC Mesopotámico Gral. Urquiza S.A., y comunica a Entre Ríos con Corrientes y Uruguay. Cuenta con servicio de carga en toda la Mesopotamia concesionado a operadores privados. El total de vías instaladas asciende a 2.000 km. y es de trocha media.

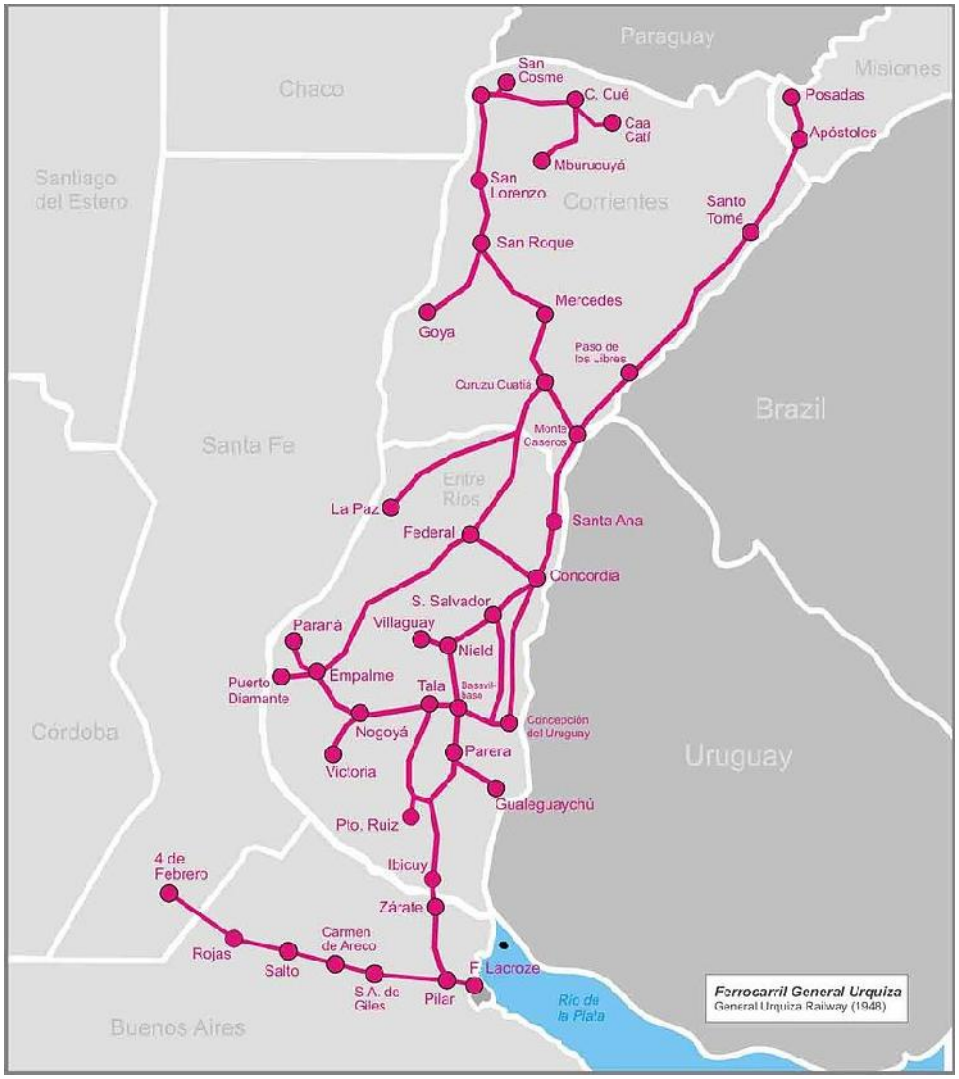


Gráfico n° 3. Vías del ferrocarril en la provincia de Entre Ríos.

Aérea

La comunicación vía aérea se lleva a cabo a través de los aeropuertos de Paraná (de carácter internacional), Concordia y Gualeguaychú, existiendo además, otros 13 aeródromos públicos menores.

Economía

La actividad económica de la provincia se sustenta principalmente en la agricultura, la ganadería, el turismo y en menor medida en la minería y la industria. Entre Ríos es origen de aproximadamente del 2,3 % de las exportaciones totales de la Argentina.

Actividad agrícola: se caracteriza por el cultivo de arroz, soja, trigo, maíz, cítricos y la forestación de eucaliptus. Es la primera productora nacional de mandarinas, naranjas y arroz y la segunda de pomelos. En la provincia se industrializa casi el 80 % del arroz argentino. Entre Ríos es la primera productora del país y la principal provincia exportadora, con ventas que rondan las 750000 toneladas anuales, siendo Brasil su principal comprador.

Del cultivo de trigo, maíz y lino se ha evolucionado hacia una actividad muy diversificada, que responde a las demandas de los estímulos generados por las necesidades de los mercados nacional y mundial. La actividad agrícola fue la transformadora de su población, pues a ella se asocian la inmigración masiva, el establecimiento de las colonias y el surgimiento de nuevos centros urbanos.

La citricultura por su parte, cuenta con una asentada tradición, dedicada mayoritariamente a la producción de naranjas, pomelos, mandarinas y limones frescos para la Comunidad Económica Europea y grandes centros urbanos,

como así también en la elaboración de jugos. Entre Ríos es la primera provincia citrícola exportadora de la República Argentina.

Un vector que registra un crecimiento constante dentro de la economía es el forestal. Actualmente se encuentran implantadas más de 91000 has., principalmente en tierras aledañas a la costa del río Uruguay, al norte, existiendo un potencial en toda la provincia de 2500000 has. La especie de mayor gravitación es el eucaliptus, seguido por el pino y las salicáceas. Junto con la implantación también se desarrolló una infraestructura de aserraderos y establecimientos elaboradores de maderas.

Existen un total de 1347 establecimientos industriales en la Provincia, de los cuales 163 son aserraderos. En general estos últimos en un 90 % están ubicados en el área forestal Gualeguaychu - Chajarí.

Actividad ganadera: hay un claro predominio del sector vacuno y avícola. En menor escala está la producción de ovinos. La actividad ganadera obtuvo un impulso cuando la provincia fue declarada libre de aftosa.

Existen en Entre Ríos aproximadamente 4000000 de cabezas de ganado vacuno, concentrado especialmente en las tierras del norte y del sur de la provincia, cuyas condiciones naturales para la crianza y engorde de los mismos son excepcionales para las razas más cotizadas en el mercado.

Por su parte, la producción láctea ha sufrido en la última década un crecimiento sorprendente, la aplicación de nuevas tecnologías en el ordeñe, el pastoreo, la alimentación en general y la genética, la ampliación de caminos rurales afirmados y la extensión masiva de la electrificación rural han contribuido en forma fundamental a apuntalar este crecimiento.

La avicultura cuenta con un gran desarrollo en la costa del río Uruguay e importantes núcleos productivos en el resto del territorio, la crianza de aves se encuentra integrada con los procesos de faena y comercialización, a través de varias empresas madres que proveen todo el paquete tecnológico a los criadores. Asimismo la producción de huevos está integrada a semejanza de la crianza de aves, lo que permite proveer al mercado nacional con el producto fresco, e internacionalmente con las más avanzadas técnicas de huevo en polvo.

La producción de miel y derivados se concentra en una amplia zona de la provincia de Entre Ríos. Se destacan los departamentos de Concordia, Paraná, Rosario del Tala, Victoria y Gualeguaychú, todos ellos dedicados a esta actividad.

Turismo: la provincia actualmente tiene como uno de sus ejes de desarrollo a la actividad turística, es el cuarto destino más visitado a nivel nacional. Sus principales atractivos turísticos son los complejos termales, el turismo rural, la pesca deportiva, el turismo aventura y los carnavales. Otros productos turísticos son el golf, avistaje de aves, eventos y convenciones.

Actividad industrial: tiene un fuerte vínculo con el sector agropecuario, destacándose la elaboración de alimentos y bebidas, molinos harineros, molinos arroceros y frigoríficos. También existen industrias relacionadas con la madera, los productos químicos, la metalurgia y las maquinarias.

La provincia de Entre Ríos muestra un perfil productivo marcadamente agroindustrial. Las actividades primarias (agraria) participan con el 20,85% del PBI provincial y el sector manufacturero (procesador de materias primas agropecuarias) reúne el 50% del total de establecimientos de la provincia y genera aproximadamente el 10% del PBI provincial.

En orden de importancia, por el número de puestos de trabajo ocupados, las empresas productoras de alimentos y bebidas abarcan el 57,5% del total del sector manufacturero Aproximadamente 10592 puestos de trabajo.

Las principales fuentes energéticas de la provincia son la electricidad y el gas. La producción eléctrica se origina en la Represa Salto Grande. El suministro gasífero se debe a la conexión con el Gasoducto Subfluvial que cruza el río Paraná y continúa con el Gasoducto Troncal Entrerriano, una obra a cargo de la empresa Gas del Norte S.A.

Parques industriales

Para promover la instalación de plantas industriales, en Entre Ríos está vigente la excepción de pago de los ingresos brutos, para las firmas que cumplan con ciertos requisitos. Asimismo, la ley provincial de Promoción Industrial (ley n° 7957), establece exenciones a los impuestos Inmobiliario, de Sellos y Automotor (no particular). Se trata de una eximición de pago a 10 años, en una escala decreciente. Para ese régimen de promoción es necesario justificar anualmente incremento en la producción, en las inversiones en activo fijo y en los niveles ocupacionales.

La provincia cuenta con parques industriales y áreas industriales.

Parques Industriales: Es aquella extensión de terreno destinada al asentamiento de industrias cuyo espacio físico e infraestructura están definidos de antemano al igual que en las áreas, pero que cuentan con servicios comunes a todas las industrias radicadas, y reglamento interno, con un ente administrador organizador y con funciones de control. Este ente puede ser de carácter gubernamental, municipal, mixto o privado. Los servicios son aquellos que colaboran con el desarrollo de las actividades industriales como ser:

tratamientos de efluentes, captación y distribución de agua, sala de primeros auxilios, servicios bancarios, correos, comunicaciones, etc.

• **Área Industrial:** Es aquella extensión de terreno destinada al asentamiento industrial, cuyo espacio físico se organiza de antemano en función de los establecimientos a radicarse, con servicios de infraestructuras básicos y comunicaciones que garanticen el desarrollo de actividades industriales.



Gráfico n° 4. Parques y áreas industriales de la provincia de Entre Ríos.

Parques Industriales:

1-Parque Industrial General Belgrano de Paraná.

2-Parque Industrial Gualeguaychú.

3-Parque Industrial Concordia.

4-Parque Industrial Concepción del Uruguay.

5-Parque Industrial de Villaguay.

6- Parque Industrial de La Paz.

Áreas Industriales

7 - Área Ind. de Chajarí 8 - Área Ind. Federación 9 - Área Ind. Crespo 10 - Área Ind. Ramírez 11 - Área Ind. Gualeguay 12 - Área Ind. Colón 13 - Área Ind. Santa Elena 14 - Área Ind. María Grande 15 - Área Ind. Rosario del Tala 16 - Área Ind. Urdinarrain 17 - Área Ind. Macia 18 - Área Ind. Nogoyá 19 - Área Ind. Seguí 20 - Área Ind. Villa Elisa 21 - Área Ind. Oro Verde 22 - Área Ind. Gdor. Mansilla 23 - Área Ind. Basavilbaso 24 - Área Ind. Larroque 25 - Área Ind. Viale.

Ventajas que brindan los parques industriales y las áreas industriales de Entre Ríos:

- Menor costo de los terrenos.
- Menor costo de la infraestructura y de los servicios comunes centralizados.
- Mayor seguridad en el abastecimiento de energía eléctrica, gas, comunicaciones, etc.
- Permite un mejor control del medio ambiente en el mismo predio y en el ejido urbano.

Micro localización

La planta productora de biocombustible derivado del aceite de ricino, de este proyecto, se ubicará en la ciudad de La Paz. El motivo principal de esta elección es que es un punto estratégico, ya que se encuentra en una zona de acopiadores de granos de ricino que son destinados a Paraguay o Brasil(se puede competir con los precios que ofrecen los acopiadores a los pequeños productores); además limita con la hidrovía Paraná-Paraguay donde se produce el mayor transporte de granos (soja) del país, esto facilita las posibilidades de traslados de granos desde los productores a la planta ya que está garantizado el trasporte terrestre ya instalado. Cabe aclarar que en esta hidrovía se produce un transporte de granos de norte a sur y un elevado transporte de combustibles de sur a norte.

Otros motivos importantes por lo que se optó por la ciudad de La Paz se detallan a continuación.

La Paz

La Paz, departamento de la provincia de Entre Ríos. Se encuentra situada al noroeste de la provincia, en la confluencia del arroyo Cabayú Cuatiá con el río Paraná, a 512 km de Buenos Aires y a 171 de Paraná por la RN 12.

La Paz es una ciudad que por su paisaje y recursos naturales centra su actividad económica en el desarrollo turístico, siendo uno de los principales atractivos la pesca deportiva. La pesca comercial también es importante como aspecto económico, aunque se destacan además las plantaciones de arroz, la ganadería y el desarrollo de la horticultura.

Población y educación

Tiene una población de 24 716 habitantes según el censo 2010 y su ejido una superficie de 119 km².

La ciudad posee centros educativos tanto públicos como de gestión privada para los niveles de EGB y Polimodal en todas las modalidades. En el nivel terciario, hay una subsede de la Universidad Autónoma de Entre Ríos y centros de educación a distancia de la Universidad Nacional del Litoral y la Universidad Católica de Salta. También posee un Instituto de Formación Docente que ofrece profesorados de Matemáticas, Historia, Educación Primaria y Ciencias de la Educación (y anteriormente algunas como Educación Especial, Física, EGB y Lengua) y desde el año 2015 se incorporó la tecnicatura en Enfermería.

Parque industrial la paz

Ubicación: ubicado sobre el camino de acceso a 4 km. de La Paz y a 2 km. de la Ruta Nacional Nº 12 y Ruta Provincial Nº 1. Es una propiedad privada cuya administración y gestión es llevada a cabo por la Asociación de Promoción Económica Regional.

El Parque Industrial La Paz cuenta con 62 hectáreas, de las cuales se han otorgado 19 (hasta el primer cuatrimestre del año 2018), contando con 700 metros de calles internas enripiadas, alumbrado público, agua corriente, energía eléctrica, con una ubicación privilegiada a orillas del Río Paraná, encontrándose disponibles dos puertos, administrados en forma privada, y cercanía a puertos de Rosario y Diamante e Ibicuy, con fácil acceso a la Ruta Nacional Nº 12.

Dentro de las empresas que se encuentran instaladas se destacan: La Cooperativa Agropecuaria La Paz, con su planta productora de alimento balanceado para bovinos, aves y porcinos, DELCRE Construcciones SRL, dedicada a la fabricación de premoldeados en hormigón, La Cooperativa Arroceros Villa Elisa, a través del procesamiento de arroz, el Astillero D´AMFER confeccionando embarcaciones para pesca deportiva y paseo en fibra de vidrio, Congelados Glaciar SA elaborando cremas heladas y masas congeladas.

Beneficios relacionados con la Promoción Industrial que ofrece La Paz.

Beneficios de Orden Municipal:

- Las industrias radicadas en el parque industrial están exentas durante los primeros 5 años de tasas municipales, teniendo un plan de tasa reducida por un total de 10 años.

Beneficios de Orden Provincial:

- Exención permanente del Impuesto a los Ingresos Brutos para ventas mayoristas.
- Exención del Impuesto Inmobiliario, durante los primeros 4 años el 100%, luego en forma decreciente hasta el décimo año, que alcanza al 15%.
- Exención del Impuesto Automotor durante los primeros 4 años el 100%; luego en forma decreciente hasta el décimo año, que alcanza al 15%. Es de destacar que sólo alcanza para camiones, pick-ups, acoplados o similares; no a los automóviles.

- Exención del Impuesto sobre suministro de energía eléctrica durante los primeros 4 años el 100%; luego en forma decreciente hasta el décimo año, que alcanza al 15%.

Facilidad en Adjudicación de Lotes y Apoyo Logístico:

- Los convenios para la propiedad de los terrenos, acorde lo enmarcado en el Reglamento, contemplan la posibilidad de pago en cuotas de hasta el 90% del total de la parcela, con un tope de 36 cuotas mensuales y un período de gracia máximo de 6 meses.

Servicios disponibles en el Parque:

- Red de agua potable municipal.
- Energía eléctrica en media tensión.
- Líneas telefónicas.
- Gas Natural.
- Calles internas enripiadas.

El departamento de La Paz es un polo de producción agropecuaria, con sus propios puertos de embarque de granos hasta Rosario, con bajo costo del flete fluvial. Cuenta con dos puertos fluviales operados en forma privada pero cuya jurisdicción depende de la Dirección de Puertos de la Provincia de Entre Ríos, desde donde se puede transportar mercadería a puertos más importantes como los de Diamante y Rosario.

CAPÍTULO 5

FUNDAMENTACIÓN DEL PROCESO

Introducción

En la década del 60, las plantas de extracción procesaban básicamente semillas de girasol y maní mediante un pre presado, seguido de una extracción por solvente. El motivo era conseguir una materia grasa residual lo más bajo posible para optimizar el proceso, en virtud de que el girasol posee valores elevados de materia grasa. La soja en cambio presenta valores de alrededor del 20%, por lo que directamente se puede procesar mediante extracción por solvente.

Las plantas eran del orden de 100 a 300 toneladas/día y el aceite se destinaba al consumo nacional. Pero cuando comienza a aumentar la producción de soja, se empiezan a instalar nuevas plantas y a ampliar las existentes, con capacidades crecientes, acompañando el aumento de las cosechas.

Hoy en día existen plantas instaladas con capacidades de 5000 a 10000 tn/día; estas deben contar con una reserva de semillas para producir harina o expeller suficiente para completar la carga de un barco. Ello obliga tener una reserva de semilla para un mes de producción y una capacidad equivalente de almacenamiento de harina.

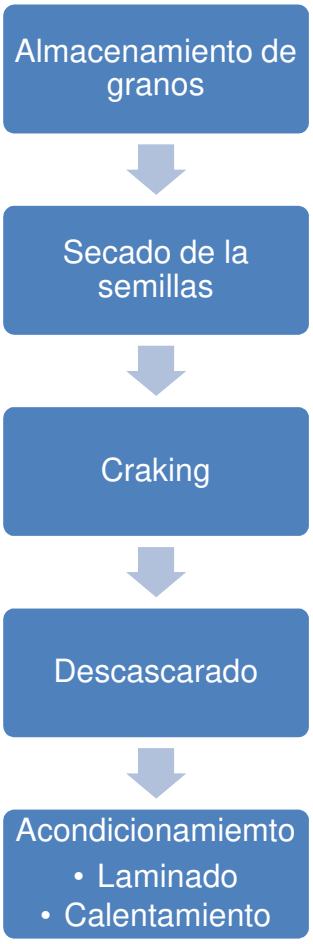
Procesos involucrados en el procesamiento de oleaginosas

La extracción de aceite a partir de semillas es un fenómeno complejo que depende de la naturaleza de la estructura vegetal y normalmente se requiere un acondicionamiento de la semilla, previo a la extracción. El aceite se encuentra dentro de membranas formando una emulsión y es necesario romper la estructura celular para permitir que se libere y sea más accesible para el solvente (en caso de existir esta etapa). Los pre-tratamientos de las semillas

modifican o rompen la estructura de modo que se facilite la liberación del aceite.

Para un análisis de los diferentes métodos de procesamiento de oleaginosas se agrupará los procesos en cuatro conjuntos denominados (1) etapas preliminares, (2) métodos de extracción, (3) refinación y (4) almacenamiento del aceite.

1. Etapas preliminares



Almacenamiento de granos

Una cuestión a tener en cuenta en el almacenamiento de granos, es la compresión que sufren estos cuando están sometidos al peso acumulado ejercido por el material que está por encima de los mismos en instalaciones de almacenamiento a granel. El alcance de dicha compresión depende de varios factores asociados a los materiales almacenados (tipo de grano, peso específico, contenido de humedad) y además las características del silo (tipo de material con el que se construyó la pared, tamaño y geometría del silo).

La compresión de los granos conduce a la compactación y por consiguiente, esto induce a un cambio en la densidad a granel del material. Por lo tanto, es necesario utilizar factores de compactación precisos, ya que las mediciones de volumen del grano almacenado, no nos permite por sí mismas determinar la cantidad exacta de granos dentro del silo.

Las situaciones climáticas anormales como las sequias alterarán el peso específico y otros parámetros de calidad de los granos. Esta variable en la calidad de los granos resultará en escenarios de compactación distintos a los observables normalmente.

Cabe destacar que si la planta trabaja con poco volumen de almacenamiento, al punto que los granos en el silo se van renovando en periodos de tiempos muy cortos; la incertidumbre respecto al volumen total de granos dentro del silo generada por la compactación carece de todo sentido.

Secado de la semilla

El uso de secadores es recomendable para conseguir una humedad máxima de 10% a la entrada de la extrusora, que es generalmente la primera etapa en un proceso de extracción de aceite vegetal.

Normalmente el productor envía las semillas con valores de humedad variables que dependen de las lluvias que haya recibido. La humedad que se mide en la recepción es el promedio de distintos envíos. Si se alimenta la extrusora con semillas con más del 10% de humedad se presentan problemas en el expeller obtenido ya que no llega al nivel de desactivado enzimático deseado. Estas sustancias, presentes naturalmente, producen un efecto negativo en la asimilación de las proteínas y consecuentemente trastornos de tipo gástrico en especial en animales de granja por lo que deben ser eliminadas.

A pesar de que existen muy pocos estudios referentes a la extracción de compuestos minoritarios, se ha demostrado que en muestras de mayor contenido de humedad se extraen más fosfátidos (compuestos que se eliminan en la etapa de desgomado del aceite crudo). Debido a esto no es conveniente que el contenido de humedad de las semillas sea muy bajo (menos del 10%), de ser así existirá una etapa de humidificación con vapor o aire húmedo caliente.

Molienda o Cracking

En este proceso los granos se rompen facilitando las operaciones de descascarado y laminado posteriores. Esta operación se lleva a cabo mediante rodillos estriados y dependiendo del tipo de extracción puede ser omitida, por ejemplo cuando se utiliza extracción y prensado.

Los molinos trituradores o quebradores son equipos con 2 pares de rolos estriados montados en tándem de manera horizontal. Estos son corrugados en forma de espiral de entre 50 y 75 mm en rolos de 1067 mm (42”).

Descascarado

Previo al proceso de extracción de aceite a las semillas se le realiza un descascarado a fin de aumentar tanto el rendimiento industrial, como la calidad del aceite y de la harina obtenida a través del proceso extractivo. Las condiciones del proceso dependen del tipo de grano a tratar. En el caso del girasol, el descascarado es parcial a fin de obtener buenos rendimientos de extracción por solvente y mayor contenido de proteína en la harina. En el caso de la soja la presencia de la cáscara (piel o tegumento) mejora en nivel proteínico de la harina o en el expeller. En el caso del ricino a la semilla no es necesario pelarla (no resultaría práctico) y la cáscara brinda los mismos beneficios que en el caso del girasol.

Acondicionamiento

Esta etapa está presente, generalmente, en el procesamiento de grandes cantidades de granos y consiste en someter a los mismos a una corriente de vapor húmedo para aumentarles la temperatura y así lograr mayor plasticidad a fin de mejorar el laminado posterior. No existen datos de que se haya llevado a cabo, en planta, esta operación en ricino, posiblemente ya que la semilla de ricino presenta una excelente plasticidad comparado con otras oleaginosas.

Laminado

El laminado del material provoca la ruptura de las células oleíferas y aumenta la superficie de contacto. Con esto se logra aumentar la superfície de contacto aceite-solvente en la extracción y se disminuyen las distancias de difusión.

Los molinos laminadores tienen un par o dos pares de cilindros en la misma máquina. Resultará más sencillo extraer el aceite de los granos en láminas si éstas tienen entre 0,15 y 0,20 mm (0,006” a 0,008”) de espesor. La temperatura a la que operan los molinos laminadores varía entre los 60 y 65 °C.

Calentamiento

Esta etapa se utiliza en semillas blandas. El calentamiento ayuda a la rotura de la emulsión celular, disminuye la viscosidad del aceite, facilitando su fluidez y también disminuye la tensión superficial del aceite. Puede realizarse con aire caliente (con humedad ambiente) y dependiendo del tipo de extracción puede no estar presente, tal es el caso de extracción con prensado en el cual la misma extrusora aumenta la temperatura de los granos facilitando la extracción del aceite en la prensa.

2.1 Métodos de extracción. Extrusión y Prensado

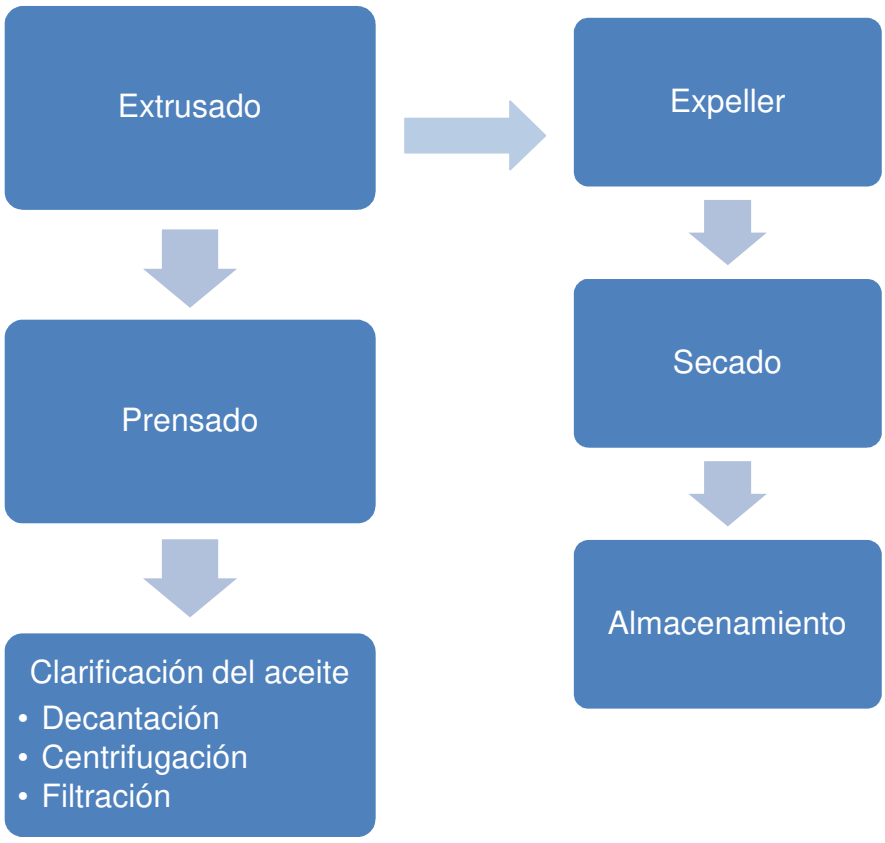
Las plantas de extrusión y prensado son denominadas de baja capacidad debido a que por su elevado consumo de energía eléctrica su capacidad es limitada y oscila entre 50 y 200 toneladas por día.

Los procesos que tradicionalmente se usan para la extracción de aceite de oleaginosas son:

a) Prensado de primera y segunda presión o prensado de presión única. Esta extracción mecánica se realiza cuando la materia grasa de la materia prima a procesar es superior al 30%. En el primer caso la materia grasa en la descarga a la salida de la prensa de primera presión oscila entre el 18-20%, mientras que la materia grasa a la salida de la prensa de segunda presión está entre 6-8%. En el prensado de presión única se obtiene directamente un producto con el valor final, que se denomina expeller o torta de prensa.
b) Prensado de primera presión seguido de extracción por solvente. Se utiliza cuando la materia grasa es alta y se quiere mejorar el rendimiento del proceso. El producto obtenido después de la separación del aceite y

a la salida del extractor por solvente se denomina lex o bien harina blanca, siendo el residual de materia grasa de la misma del orden de entre 0,8 a 1,5%.

c) Extracción como único proceso. Se aplica a oleaginosas de bajo contenido de materia grasa del orden de 20%.



Extrusado

Existen dos procesos involucrados en el mismo equipo: el expandido que es un proceso que aumenta la porosidad del sólido a extraer, además este libera más rápidamente el aceite y genera menos restricciones al flujo del solvente; y el calentamiento que ayuda a la rotura de la emulsión celular, disminuye la

viscosidad del aceite, facilitando su fluidez y también disminuye la tensión superficial del aceite.

La extrusora está compuesta por un cuerpo cilíndrico cerrado dentro del cual gira un eje helicoidal que aumenta la presión interior y obliga los granos que ingresan por el extremo de alimentación a avanzar hacia la descarga en el extremo opuesto. Sobre el eje hay colocadas internamente restricciones al paso de la semilla y la fricción que esto provoca, transforma la energía mecánica en energía calórica, además de romper las celdas que contienen el aceite.

Los granos ingresan a la extrusora a temperatura ambiente y luego de pocos segundos salen del equipo a 110-130°C. Al salir el material de la extrusora, se descomprime súbitamente y esto re-evapora el agua contenida (generando evaporación flash) lo que contribuye a romper las celdas que contienen aceite.

Prensado

En la prensa la presión hace que las semillas suelten todo el aceite que contienen las celdillas que han sido rotas por la extrusora. El aceite, junto con algo de sólidos (aproximadamente 20%) pasa a través de las ranuras del barril de la prensa, para luego ser enviado al decantador. Los sólidos que salen de la prensa se denominan expeller y contienen entre 6 y 8% de materia grasa.

Clarificación del aceite antes del desgomado

El proceso de clarificación de aceite crudo antes del desgomado tiene por finalidad eliminar las impurezas sólidas como ser partículas de harina o aceite polimerizado. Puede llevarse a cabo mediante decantación, con el uso de centrífugas o filtración.

Decantación: el aceite con borra o finos proveniente de la prensa se envía a un decantador que en la jerga industrial se conoce cromo borrero o requechero. Aquí la mayoría de las impurezas (las más gruesas) son retiradas por diferencia de gravedad específica. El aceite decantado se envía luego al filtro prensa o bien a un separador centrífugo horizontal que logra clarificar el aceite despojándolo de los finos remanentes después del pasaje del aceite por el Borrero.

Clarificación del aceite crudo con el uso de centrífugas: este constituye uno de los procesos más sencillos, otorgando resultados similares a los procesos de filtración. Se basa en transferir a través del uso de una bomba, el aceite crudo a una centrífuga especial de tipo alto G (clarificadora) antes del desgomado. Este es un proceso continuo, que no presenta pérdidas significativas de aceite, no produce efluentes (ya que los sólidos removidos son adicionados a la harina), no requiere de filtros auxiliares y el área requerida para la instalación es significativamente más reducida.

Filtración: Mediante filtros (sistema discontinuo) se retiene la pequeña cantidad de finos no separados en el decantador, contenidos en el aceite. Los restos sólidos de los filtros se envían nuevamente a la prensa.

La filtración se puede lograr de diversas maneras:

- Filtración del aceite crudo: este constituye el proceso más tradicional. Consiste, esencialmente, en un sistema de filtración a través de una pre-capa, generada mediante el uso de un ayuda filtrante para eliminar las impurezas sólidas del aceite crudo.
  Después del filtrado el contenido de sólidos en el aceite se reduce hasta un 0,05%.

- Filtrado en fase miscela: este es un proceso relativamente antiguo, su uso resulta poco frecuente debido a las dificultades que presenta en el manejo del coadyuvante agotado, además requiere filtros de presión con una menor área.

Secado del expeller

El expeller que sale por el extremo de la prensa lo hace a temperaturas elevada, superior a 100°C, razón por la cual debe ser transferido a un secador-enfriador. Aquí el producto termina con una temperatura entre 7 y 10 °C por encima de la temperatura ambiente y al mismo tiempo se produce un pequeño secado que permite almacenar el expeller en forma segura por cierto lapso.

El expeller proveniente de la secadora se envía a un depósito de piso plano desde donde, y a través de un sistema de transporte 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 tiempos prolongados.

2.2 Métodos de extracción: Extracción por Solvente

El método consiste en someter a las láminas de las semillas a la acción de un solvente, que mediante difusión extraiga el aceite de las mismas. El aceite debe tener buena solubilidad en el solvente elegido. El solvente debe ser inerte, con alta volatilidad, baja viscosidad y bajo calor latente de evaporación, no ser tóxico ni corrosivo y de bajo costo. El contacto de las semillas con el solvente puede realizarse por completa inundación, o por percolación utilizando solo chorros de solvente que no llegan a cubrir la capa de semillas laminadas en el equipo; este último es el más utilizado.

A grandes rasgos, los extractores se dividen de acuerdo al tipo de inmersión total, que suelen ser de manera estricta a contracorriente, y del tipo de percolación, que por lo general tienen una sección co-corriente y filtrado inicial, seguido de una sección que opera a contracorriente. Los extractores de tipo percolación de uso comercial son el extractor tipo Canastas fabricado por French, el mismo opera como lecho profundo (siendo la altura del material en las canastas de aproximadamente 3 metros), además del extractor desarrollado por Blaw-Knox y los extractores que operan por filtración.

Las operaciones de procesamiento de semillas oleaginosas llevadas a cabo en un extractor por son:



Extracción

Las láminas de las semillas de oleaginosas se introducen primero en lo que se denomina media micela. Se trata de hexano con menos del 15 a 18% de contenido de aceite. La temperatura de extracción ronda los 57 ºC. En algunos

extractores las láminas son sometidas en primer lugar al lavado con hexano en lugar de media micela.

Evaporación

La mezcla de aceite-solvente que egresa del extractor es conocida en la industria como micela y tiene un contenido de solvente de entre el 70 al 80% en peso. El objetivo de la destilación es separar la micela térmicamente, en una fracción de aceite líquido y una fracción de vapor de solvente, y recuperar el solvente para ser reutilizado.

La micela concentrada (*full miscella*) es bombeada luego al evaporador, donde al menos entre un 90 a 95% del hexano es evaporado. Este evaporador opera a temperaturas que oscilan entre 98 y 110 ºC.

Clarificación en fase miscela

Esta operación se lleva a cabo, de manera frecuente, luego del evaporador de primera etapa, con el uso de una centrífuga. Esto da lugar a que la miscela tenga una mayor concentración de aceite, y por lo tanto, el volumen de producto a ser tratado por el separador será menor, esto evita la necesidad de disponer de máquinas grandes dimensiones.

Como resultado, además de mejorar la calidad del aceite también contribuye a incrementar la eficiencia de los sistemas de la destilería de la miscela, ya que se trata de un fluido que presenta menor cantidad de impurezas, lo cual favorece la performance de los evaporadores de casco y tubos, los cuales se mantendrán limpios durante toda la temporada.

Asimismo, esto promueve la economía de vapor, debido a que no hay necesidad de incrementar la presión de trabajo para compensar las pérdidas térmicas producidas por las incrustaciones.

Stripper

Las trazas finales de hexano son eliminadas del aceite, en el *stripper* que opera a una temperatura que varía entre los 108 y 115 ºC y un vacío de entre 550 y 600 mm de Hg.

Desolventizado de la harina

En la extracción por solvente el residuo sólido recibe el nombre de harina y debe ser sometido a un proceso térmico con el fin de retirarle el resto solvente aún presente. El producto sólido sufre un calentamiento durante el desolventizado mediante aplicación de calor utilizando vapor directo e indirecto hasta alcanzar temperaturas, superiores a los 100°C, durante tiempos prolongados, del orden de 30 minutos hasta 90 minutos. De esta manera no solo es posible retirar el solvente retenido en la harina, sino que también son eliminadas las enzimas que generan alteraciones en el aparato gástrico de los animales y en especial de pollos y cerdos pequeños. Antes de su almacenamiento en el depósito de harinas esta se enfría en un túnel mediante aire frío de la atmosfera.

La calidad y la digestibilidad de la harina obtenida mediante el método de extrusión y prensado son mayores que en el proceso de extracción por solvente; además el aceite residual incrementa el valor de energía de estos productos.

Mecanismos involucrados en la extracción por solvente

El principio de la extracción por solvente es simple y se basa en el hecho de que un componente (soluto) se distribuye entre dos fases según la relación de equilibrio determinada por la naturaleza del componente y las dos fases. Sin embargo la extracción con solvente de aceite de semillas oleaginosas es un proceso más complejo que depende de la naturaleza celular del vegetal.

La extracción por solvente es el principal método de extracción de aceites vegetales a partir de material oleaginoso. Las semillas pre-tratadas (sólido poroso) son puestas en contacto con un solvente puro o una mezcla de solvente/aceite llamado micela. Como resultado el aceite es transferido desde la matriz sólida hacia el medio fluido. Normalmente se emplea hexano de calidad comercial (45-90% n-hexano), obteniéndose mayores rendimientos en aceites que utilizando hexano puro. Ello se debe probablemente a la presencia de otros constituyentes presentes en el hexano comercial como el metil pentano, el cual posee mejores propiedades para la extracción.

Si bien se ha propuesto numerosas teorías para explicar el mecanismo de extracción de aceite a partir de semillas oleaginosas por medio de la utilización de solventes; en dicho proceso de extracción deben tenerse en cuenta la difusión en la matriz sólida y la convección en la micela líquida que la rodea.

Los coeficientes de transferencia de masa pueden calcularse a partir de correlaciones experimentales, usualmente expresados en términos de números adimensionales, como una función de las propiedades del líquido y condiciones de flujo a lo largo del extractor.

Por el contrario los coeficientes de difusión efectivos líquido-sólido deben determinarse para cada producto en particular, ya que estos coeficientes dependen de la estructura y composición de la matriz sólida. Por ende, el coeficiente de difusión es una importante propiedad de transporte que permite predecir coeficientes globales de transferencia de masa y diseñar equipamientos como lo son los extractores industriales.

Se ha demostrado el efecto de la naturaleza del solvente, el tamaño de partícula o grosor de las láminas, como así también el efecto de la temperatura y la humedad en el rendimiento de la extracción. Vale la pena mencionar que

no se pueden explicar los resultados experimentales sólo a través de la difusión molecular, en algunos casos se evidencia claramente dos etapas durante la extracción. La primera se refiere a la extracción del aceite ubicado en la superficie de las partículas, el cual es recuperado por un simple lavado, mientras que la segunda corresponde al proceso de difusión que involucra dos mecanismos: difusión lenta desde las células rotas y una difusión más lenta aún desde las células intactas.

En cuanto a la temperatura, esta resulta un factor importante durante la extracción del aceite, ya que no solamente disminuye la viscosidad del solvente, sino también la viscosidad del aceite y por ende de la miscela.

Adicionalmente, la solubilidad del extracto se incrementa. Una menor viscosidad y mayor solubilidad resulta en una mayor velocidad de extracción, influyendo la temperatura no solo en la velocidad de extracción, sino también en la proporción de componentes lipídicos en el aceite crudo.

Es bien sabido que el aceite extraído inicialmente es de mayor calidad que la pequeña proporción extraída con mayor dificultad en las etapas finales de la operación de contacto. La mayor proporción del aceite (alrededor del 80%) se extrae rápidamente, mientras que la última proporción es extraída lentamente y con dificultad creciente. En consecuencia, la composición del material extraído cambia a medida que la extracción tiene lugar, a partir de triglicéridos casi puros en la primera fracción a proporciones conteniendo cantidades crecientes de compuestos no triglicéridos menos solubles.

La clave del proceso. Los extraíbles totales.

Antes de poder discutir la extracción a partir de semillas oleaginosas, es necesario establecer claramente que es lo que se está extrayendo. La tarea se

simplificaría considerablemente si fuese posible decir que estamos preocupados por la extracción de una sustancia química individual a partir de un sólido no extraíble de composición uniforme. Sin embargo, estamos tratando con un producto de una naturaleza que se encuentra sujeta a una variación considerable por lo tanto la definición de extraíbles no es precisa.
La investigación de la extracción del aceite, hasta el momento, ha sido enfocada hacia la obtención de un mayor rendimiento del mismo, explicando teóricamente la extracción de triglicéridos sin considerar la de los componentes minoritarios. Algunos de estos últimos poseen propiedades pro o antioxidantes (por ejemplo tocoferoles, metales, ácidos grasos libres), mientras otros deben ser eliminados en el proceso de refinado (por ejemplo ácidos grasos libres, fosfolípidos y ceras).

Los aceites vegetales son considerados generalmente como un solo componente, debido a la alta solubilidad de los triglicéridos en hexano.

Actualmente, se cuenta con información acerca del proceso de extracción de aceite en general, pero en lo que respecta a los componentes minoritarios que también son extraídos durante el proceso, la información es escasa y proviene de estudios realizados en procesos batch agitado. Su mayor conocimiento podría contribuir al diseño efectivo de los procesos de extracción de aceite por solvente. Por lo tanto, una menor eficiencia de extracción podría resultar en una mejor calidad del aceite, disminuyendo los niveles de sustancias que se deben eliminar en las etapas de refinado, como así también las pérdidas de aceite en los procesos de desgomado y descerado.

Los factores que afectan el total de extraíbles son:
El solvente. Incluso entre los solventes reconocidos como específicos para la extracción de los glicéridos, como por ejemplo el tricloroetileno y las parafinas

comerciales, existe una reducción de aproximadamente 1 % en el total de extraíbles entre el tricloroetileno, el heptano, el hexano y el éter de petróleo en sus puntos de ebullición, en ese orden. Además de los glicéridos, los compuestos extraídos son fosfátidos, insaponificables y pigmentos.

Temperatura de la extracción. Aunque no ha sido claramente establecido, existen algunas evidencias que apoyan la idea de que el total de extraíbles usando cualquier solvente individual es una función de la temperatura de la extracción.

Contenido de humedad de la muestra. Se ha informado en investigaciones que una reducción en el contenido de humedad desde 8 a 5 % sin tratamiento térmico puede reducir el total de extraíbles a partir de la soja en hasta 1 %. Esto se encuentra relacionado con una extracción superior de fosfátidos a partir de la muestra con alto contenido de humedad.

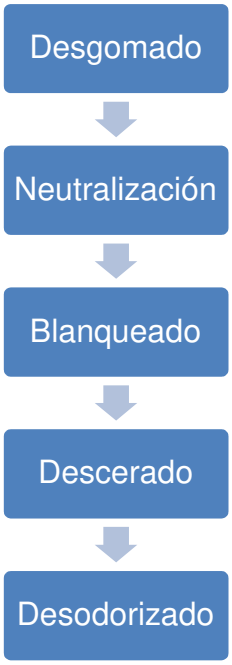
Historia del tratamiento de calor de la muestra. El calentamiento por lo general incrementa el total de extraíbles. Esto es de especial importancia para el proveedor de los equipos de extracción que debe garantizar el contenido residual de aceite en la harina porque se observa en la práctica que el tratamiento térmico posterior a la extracción incrementa los extraíbles en hasta un 0,3 %. Se acostumbra garantizar el contenido residual de aceite de la harina de soja extraída con una muestra tomada luego de la desolventización completa pero antes del tostado; estos últimos son procesos a los que se cometen la torta de extracción.

3. Refinación

El aceite crudo consiste, principalmente, de glicéridos de ácidos grasos saturados e insaturados mezclados con un número de componentes menores, tales como los fosfátidos, esteroles, hidrocarburos de cadena larga, alcoholes y

cetonas, ácidos grasos libres, pigmentos, vitaminas, antioxidantes y sustancias gomosas o mucilaginosas .

A pesar de que los aceites individuales derivados de variedades específicas de semillas pueden exhibir una amplia variación en sus propiedades físico-químicas, se sabe que los aceites de soja de distribución comercial resultan más uniformes debido a la mezcla de diferentes lotes de semillas y de diferentes lotes de aceites durante el procesamiento; esto mismo ocurriría con cualquieras otras semillas oleaginosas y más aún si la producción de las mismas es concentrada en una determinada zona. Asimismo, las numerosas operaciones de refinado tienden a eliminar los componentes secundarios, específicamente las gomas, los fosfátidos, los ácidos grasos libres, los compuestos insaponificables, y los pigmentos.



Desgomado

El aceite decantado y filtrado posee (dependiendo de qué semilla se extrajo) aproximadamente un 2% de fosfátidos conocidos habitualmente como gomas.

Para separar los fosfátidos hidratables del aceite, luego del filtrado se agrega una cantidad similar de agua potable, (2 al 3%) y se envía a un tanque con agitador. La temperatura debe ser superior a 80°C. El tiempo de retención y agitado es de alrededor de 30 minutos.

Una vez que los fosfátidos se hidratan en contacto con el agua, aumentan su peso específico, lo que permite separarlos en una separadora centrífuga preferiblemente de discos. Las gomas separadas es posible agregarlas al material que ingresa a la prensa, para que se incorporen al expeller. El aceite desgomado se envía, mediante bombas, a tanque de stock.

Neutralización

La neutralización o desacidificación, consiste en la neutralización de los ácidos libres grasos en el aceite con el agregado de hidróxido de sodio y agua. La cantidad de solución de soda caústica agregada depende de la acidez del aceite.

La operación se lleva a cabo en un tanque con un agitador y calefacción con vapor. La lejía se añade lentamente y se forma una emulsión en el aceite que luego se rompe. Conforme la temperatura aumenta, la emulsión se une en forma de pasta y pasa a los decantadores (o centrífugas), donde se separa el jabón y el aceite.

Blanqueado

El blanqueado de aceite se lleva a cabo antes de la desodorización y consiste en la eliminación de color, así como fosfátidos residuales, los metales y los jabones.

El proceso se lleva a cabo en un tanque reactor con agitador y camisa. En este equipo se añade el aceite junto con tierras de blanqueo (arcilla) y se calienta

para lograr que se absorba parte de la pigmentación del aceite en las tierras. Luego la mezcla de aceite con arcilla es filtrada y la torta se lava con solvente (hexano) para recuperar el aceite retenido.

La cantidad de tierras de blanqueo utilizada depende de cuánto color se desea extraer del aceite.

Descerado

En los aceites con alto contenido de ceras, como el de girasol, se los somete a un proceso de enfriamiento a una temperatura de 0°C, por un tiempo de 24-48 horas; a fin de poder eliminar las ceras presentes con una filtración posterior. Esto evita que el aceite se enturbie a bajas temperaturas.

Desodorización

La necesidad de generar procesos de desodorización surgió a finales del siglo XIX en Europa; con el advenimiento de la hidrogenación de los aceites (patentado en 1902 por Wilhelm Norman) y la posibilidad de producir margarina a partir de aceites vegetales hidrogenados, fue necesario tener grasas de origen vegetal que sean inodoras y además, agradable al paladar humano.

La desodorización tiene por objeto la eliminación de los ácidos grasos libres y de sustancias que confieren a los aceites sabores y olores desagradables, produciendo características indeseables desde el punto de vista organoléptico, mediante un proceso de destilación con vapor a altas temperaturas y bajas presiones.

Los primeros desodorizadores eran de tipo batch. Con el objetivo de eliminar los componentes que generaban el sabor y olor desagradable, tanto en los aceites como en las grasas, se utilizaban temperaturas elevadas sumando al método de vacío en presencia a un gas portador, tal como el vapor de agua.

Un alto vacío resulta beneficioso para reducir la temperatura requerida durante el proceso de desodorizado y consecuentemente, la cantidad de vapor directo necesario para llevar a cabo dicho proceso, además de proteger al aceite frente a la oxidación.

Durante la desodorización por efectos de la temperatura y el tiempo de exposición se forman cantidades variables de ácidos grasos trans. Esta transformación es común a todos los ácidos grasos insaturados y proporcional al grado de insaturación. Por lo tanto, la elección de una adecuada temperatura y tiempo de operación serán decisivos a fin de obtener aceites desodorizados con bajo contenido de isómeros trans generados.

4. Almacenamiento del aceite

A partir del mismo momento de su elaboración, el aceite comienza a envejecer y por lo tanto a deteriorarse. Para ello contribuyen factores intrínsecos, como la calidad propia del aceite (acidez, contenido de agua, sedimentos, clorofila, etc.) y factores externos como la luz, el aire (oxígeno), el calor, metales, etc.

Existen entonces dos aspectos a tener en cuenta: uno es la calidad inicial del aceite y otro, los factores de conservación que tienden a retardar el envejecimiento y a minimizar el deterioro.

Como en todos los casos, debemos separar la cuestión en aceites crudos y refinados. En el primer caso (crudos), aunque no siempre contamos con un 100% de seguridad, muchas veces se dispone la posibilidad de mejorar su calidad o revertir su deterioro, con la implementación del proceso de refinación. En los refinados, cualquier deterioro ya resulta más difícil de revertir y a veces lleva al reproceso del aceite o a una clasificación de menor calidad.

También la temperatura del aceite es importante a ser considerada, no solo para asegurar su conservación (no debería ser mayor a 5-10°C por sobre la temperatura ambiente y con un máximo de 40°C como límite de carga), sino también para el manipuleo y correcta medición (la temperatura incide sobre la densidad y esta se utiliza para cálculos de las toneladas cargadas).

Para los aceites refinados los tanques de acero inoxidable o con paredes protegidas con pinturas epoxi de aplicación para alimentos son las condiciones ideales. Cabe aclarar que el inertizado con nitrógeno, requiere que los tanques presenten condiciones de hermeticidad con la finalidad de evitar la fuga del gas incorporado, y condiciones adecuadas para el muestreo que permitan obtener la muestra representativa sin necesidad de abrir el tanque (con la consiguiente pérdida de nitrógeno agregado) cada vez que se requiere llevar a cabo este tipo de procedimiento.

Para el caso de aceites crudos es suficiente disponer de tanques de acero común (chapa de acero carbono), en donde además el aceite deposita una capa sobre la superficie del tanque que sirve como protección del resto de la masa de aceite.

Para evitar contaminaciones (sobre todo del aceite refinado con crudo) debe realizarse el barrido de las cañerías con nitrógeno para desplazar el aire y a su vez limpiar la cañería en caso de que se hubiese manejado otro tipo de aceite.

Almacenamiento de Aceite Crudo

Los aceites crudos son generalmente almacenados, previa realización del desgomado acuoso, separando así los fosfátidos hidratables por medio de centrífugas con un dosaje de agua que ronda los 3%.

Los principales parámetros a tener en cuenta en el proceso de almacenamiento son básicamente la humedad residual luego del desgomado y el tiempo de residencia que va tener el mismo dentro del tanque. Si este último va ser prolongado, necesariamente deberá recurrirse a un sistema de agitación.

Esta necesidad se debe a que uno de los componentes del crudo, los fosfátidos, comúnmente denominados mucílagos, son impurezas insolubles. Al estar mucho tiempo inmovilizado, se estratifican en el aceite, provocando una sedimentación en el fondo del tanque. Esto necesariamente conlleva a una remoción mecánica de dichos fondos de tanque, que traen aparejados costos adicionales por mermas en el crudo desgomado y otro tanto, por no poder procesarlo en refinería.

Almacenamiento de Aceite refinado

Si el aceite a almacenar es un aceite refinado las condiciones de almacenamiento cambian, con respecto de un aceite crudo:

Atmósfera Inerte. Usualmente, el período de almacenamiento de los mismos es bajo, dada la rápida utilización de las plantas fraccionadoras, pero dado el caso contrario, es necesaria la utilización de nitrógeno para desalojar el oxígeno presente en el espacio de cabeza del tanque, de modo de evitar la oxidación del aceite, y como consecuencia de generar una atmósfera aislante del oxígeno en el nivel superficial de aceite en contacto con el aire dentro del tanque.

Dosificación de antioxidante. Dadas las condiciones de conservación, que usualmente los aceites vegetales tienen estipulado en su envase final de 18 meses, existen en el mercado diversos atenuantes a la oxidación del aceite, llámense sintéticos como el TBHQ (terbutil hidroquinona), BHT (butil hidroxitolueno), BHA (butil hidroxianisol) entre los más utilizados por la industria

aceitera o aquellos de origen natural. La dosificación utilizada de los mismos en aceite es aproximadamente de 100ppm. Este agregado de antioxidante se realiza en los tanques de almacenamiento.

Temperatura adecuada. La temperatura de almacenamiento no debe ser superior a 15°C. La temperatura influye en la velocidad de oxidación de los aceites.

Nula exposición a la luz. La no protección del aceite vegetal a la luz solar, puede influenciar en la aceleración de la degradación del mismo, modificando considerablemente su color y cualidades organolépticas. La luz es un catalizador de la oxidación de aceites vegetales.

Nula exposición a la humedad. Es otro enemigo importante de la estabilidad del aceite refinado, ya que colabora en la aceleración de la oxidación del mismo, y además ser causal de hidrólisis. En los tanque con serpentines (para mantener la temperatura), estos últimos pueden ser causante de contaminación con agua al presentarse en ellos pérdidas.

En el trasvaso de aceites a los tanques de almacenamiento debe evitarse el contacto con el medio ambiente para evitar la oxidación de los aceites vegetales. Es recomendable, además, que las conexiones de ingreso de aceite a los tanques se realicen a tal modo que el llenado se produzca por la parte inferior.

Producción de biocombustibles (Biodiesel)

Reacciones implicadas

Un biodiesel es una mezcla de esteres que se producen tras la reacción de los alcoholes con los ácidos grasos. Esta reacción se puede llevar a cabo

mediante un ácido graso puro y un alcohol en presencia de un catalizador ácido, recibiendo el nombre de esterificación; o entre un triglicérido (aceite-grasa) y un alcohol en presencia de un catalizador básico, reacción que recibe el nombre de transesterificación.

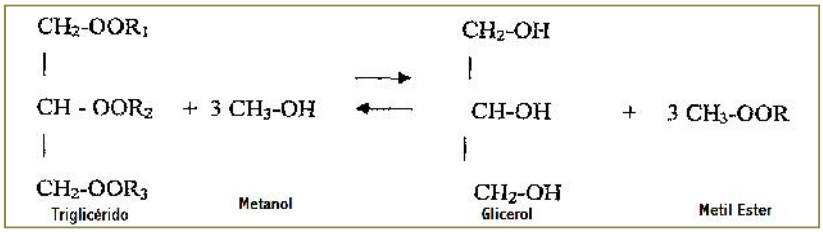
La principal materia prima para producir biodiesel son los aceites vegetales. Estos aceites son básicamente triglicerilésteres de ácidos grasos no saturados, que a temperatura ambiente se encuentran en estado líquido.
Los aceites pueden tener composiciones distintas y esto provoca que presenten una gran diversidad en sus propiedades. Las propiedades del aceite están determinadas por las proporciones de los distintos tipos de ácidos grasos que contengan. Los ácidos grasos que más abundan son el ácido oleico, linoleico, linolénico y palmítico; en el caso del aceite de ricino está formado casi exclusivamente por el ácido graso ricinoleico.

Transesterificación de ácidos grasos

El método utilizado comercialmente para la obtención de biodiesel es la transesterificación o alcohólisis. Se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (de origen vegetal o animal) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina.

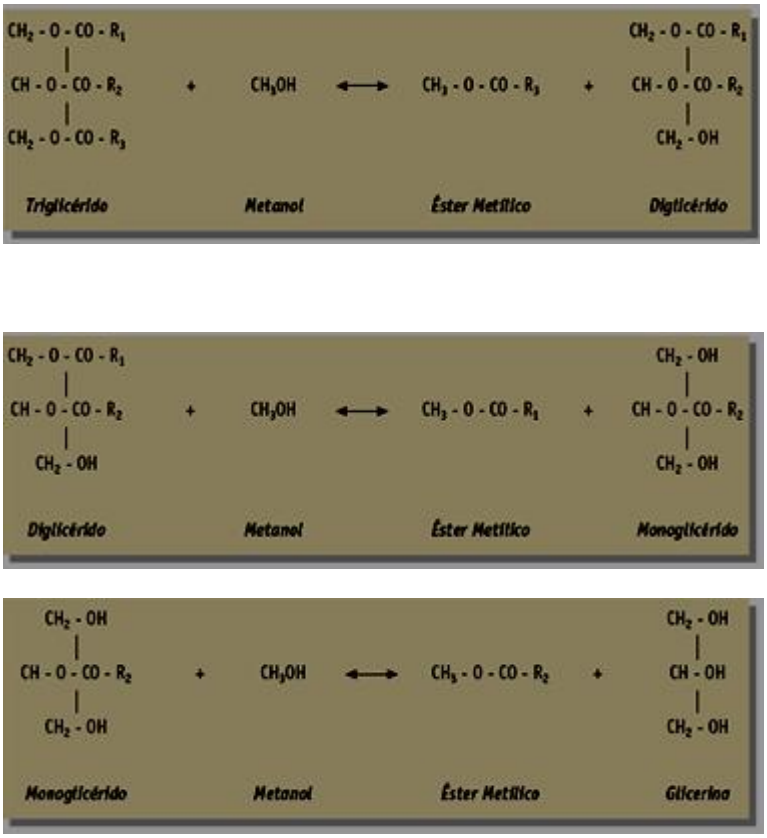
La reacción de transesterificación, que se presenta en las figuras 1 y 2, se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la transesterificación 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol. Además, la formación de la base de la glicerina, inmiscible con los ésteres, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%.

Figura n°1. Reacción de Transesterificación.



En la figura 2, se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster es liberado.

Figura 2. Etapas involucradas en la transesterificación



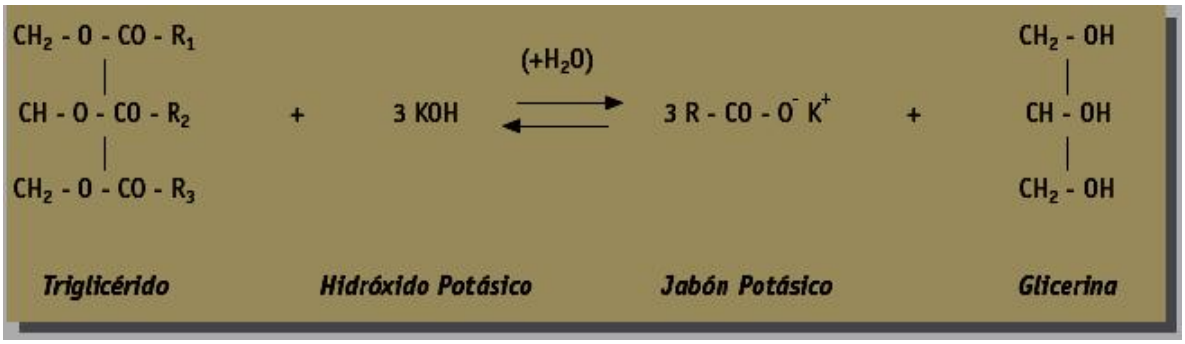
En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, ya que sin él no sería posible esta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H_2SO_4, HCl, H_3PO_4, RSO_3), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas, SO_4/ZrO_2, WO_3/ZrO_2), básicos heterogéneos (MgO, CaO, $Na/NaOH/Al_2O_3$), básicos homogéneos (KOH, NaOH) o enzimáticos (Lipasas: Cándida, Penicillium, Pseudomonas); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos.

Es importante destacar que con la utilización de álcalis (la opción más utilizada a escala industrial), implica que los glicéridos y el alcohol deben ser anhidros (<0,06 % v/v) para evitar que se produzca la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones. De esta manera las reacciones secundarias que se pueden dar son las siguientes:

- Reacción de saponificación
- Reacción de neutralización de Ácidos grasos libres

En la saponificación el triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones.

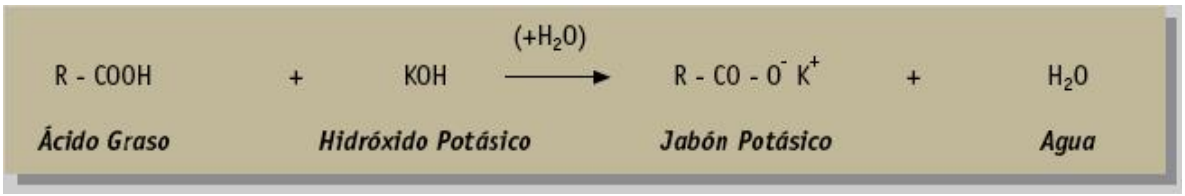
Figura 3. Reacción de saponificación.



La saponificación está favorecida cuando se utiliza el hidróxido potásico o sódico, ya que sus moléculas contienen los grupos OH responsables de esta reacción. Así que, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener especial precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, los metóxidos sólo contienen el grupo OH como impureza, por lo que su utilización no produce prácticamente jabones por saponificación. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación.

Por este motivo es necesario eliminar el agua o los ácidos grasos libres de los aceites antes del proceso de transesterificación. El agua se puede eliminar mediante evaporación y los ácidos grasos por neutralización. Otra manera de eliminar los ácidos grasos libres es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico, con este último caso no se estaría perdiendo materia prima (ácidos grasos) como en la neutralización.

Figura 4. Reacción de neutralización de ácidos grasos.



Esterificación de ácidos grasos

Si bien el proceso que se utiliza para la producción de biodiesel es la transesterificación, la esterificación suele aplicarse combinándola con la transesterificación con el fin de aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir asimismo biodiesel. Dada la importancia de los ésteres se han desarrollado numerosos procesos para obtenerlos. El más común es el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido graso correspondiente con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la formación de ésteres (esterificación de Fischer). El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. Se lo puede sustituir por ácido fosfórico concentrado.

Figura 5. Reacción de esterificación.



Los catalizadores que se utilizan en este tipo de reacción son ácidos o enzimáticos. En el caso de la esterificación, al contrario que en la reacción de transesterificación, al utilizar catalizadores ácidos no es necesario recurrir a trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos.

Factores que afectan las reacciones implicadas en la producción de Biodiesel

Si bien lo más importe en la producción de un biocombustible es la calidad y características propias del aceite a utilizar, aparecen otros factores que también son relevantes y se describen a continuación:

El alcohol

El alcohol es el principal insumo para la producción de biodiesel. En volumen, representa alrededor del 10-15% de los insumos consumidos. Los alcoholes que más comúnmente se utilizan para producir biodiesel son *metanol* y *etanol*. Se puede utilizar otros alcoholes, propanol, isopropanol, butanol y pentanol, pero estos son mucho más sensibles a la contaminación con agua.

El metanol es tóxico cuando se ingiere, se inhala o al contacto con la piel y además altamente inflamable, sus gases se encienden a una temperatura de 12°C. Por encima de esta temperatura las mezclas de aire y vapor de metanol (con al menos 6% de metanol) son explosivas. Existe riesgo de explosión e incendio cuando el metanol está expuesto al calor, chispas, llamas o descargas de energía estática. Además, el metanol arde con una llama incolora, de manera que no es fácil notar si se enciende. Medidas de seguridad contra incendios son necesarias al trabajar con metanol, así como adecuada ventilación y etiquetado, sistemas cerrados de manipulación y equipamiento de protección personal para evitar el contacto, inhalación o ingestión de este alcohol.

El etanol es altamente inflamable pero menos tóxico, aunque puede tener efectos negativos (ebriedad, coma etílico) cuando se ingiere en grandes cantidades. Su uso requiere de menores medidas de seguridad ocupacional,

pero sí de seguridad contra incendios. La desventaja de su uso para producir biodiesel es que es mucho menos reactivo que el metanol, y la transesterificación se ve afectada principalmente por cualquier cantidad de agua presente en los insumos. Se requiere entonces que el etanol utilizado tenga una pureza superior al 99%, y que los otros insumos (aceite y catalizador) sean igualmente de muy alta pureza. Es por esto que en la mayoría de plantas de producción de biodiesel aún se utiliza metanol pese a su toxicidad. Cabe mencionar además que el metanol se obtiene principalmente de fuentes fósiles no renovables; del gas natural o gas metano. También es posible obtenerlo mediante destilación seca de la madera, pero este proceso aún no se aplica a gran escala. El etanol, en cambio, proviene de materias primas renovables; caña de azúcar, remolacha azucarera, papa, otros vegetales celulósicos, etc.

Aparte del tipo y calidad del alcohol es muy importante, para lograr un óptimo rendimiento en la reacción de transesterificación, la razón molar entre el alcohol y los triglicéridos. Por la razón molar se entiende la cantidad de moléculas de alcohol necesarias para reaccionar con una molécula de triglicérido o aceite. Si bien se requieren 3 moléculas de alcohol y una de triglicérido para producir 3 moléculas de biodiesel y una de glicerol; la transesterificación es una reacción de equilibrio reversible, es decir, se necesita un gran exceso de alcohol para forzar la reacción hacia la derecha es decir, hacia los productos buscados (biodiesel y glicerol). Por esto, en la práctica, cuando se trabaja con metanol se suele utilizar una razón molar de 6:1 para asegurar una conversión máxima de los triglicéridos a ésteres. En el caso del etanol, algunos estudios indican que una razón molar de 9:1 sería la más apropiada.

Catalizadores

Es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción y sea posible desde un punto de vista cinético. Como ya se mencionó estos catalizadores, para el caso de la transesterificación, pueden ser ácidos homogéneos, ácidos heterogéneos, básicos homogéneos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial; además deben ser anhidros y el aceite de baja acidez. Se ha observado que la reacción es más rápida cuando se cataliza con un alquilo. En el primer paso de la reacción, un ion óxido alquilo ataca al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido. La reacción de este producto intermedio con un alcohol produce un ion del grupo alcóxido en el segundo paso. En la última etapa la redisposición del compuesto intermedio tetraédrico da lugar a un éster y a diglicerina.

Asimismo, se pueden utilizar catalizadores ácidos de Brönsted, preferiblemente sulfúricos y sulfónicos. Estos catalizadores producen rendimientos muy altos en ésteres alquílicos pero las reacciones son lentas, necesitando temperaturas superiores a los 100 ºC y más de 3 horas para completar la conversión. La acidificación del grupo carbonilo del éster conduce a la carbonatación, y posteriormente, el ataque nucleófilo del alcohol produce el compuesto tetraédrico intermedio. Esto elimina el glicerol para formar un nuevo éster y regenerar el catalizador. Se han realizado estudios probado la metanólisis del aceite de soja en presencia del 1% de H_2SO_4 con una relación molar alcohol/aceite de 30:1. A una temperatura de reacción de 65 ºC se completó la conversión en 20 horas, mientras la butanólisis a 177 ºC y la etanólisis a 78 ºC usando las mismas cantidades de alcohol, necesitaron 3 y 18 horas, respectivamente.

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes en la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de

ácidos grasos libres (AGL), menor al 3%. Cuanta más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. Además, tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón.

El efecto del agua también depende del tipo de triglicéridos presentes en el aceite o grasa. Se ha estudiado la transesterificación del sebo de animales (mayor proporción de triglicéridos saturados) catalizado con NaOH, hallando que en ausencia de agua y ácidos grasos libres la conversión se situaba encima del 75%; con el contenido de 0,9% de agua esta disminuía al 17%, y con 0,6% de ácidos grasos y cualquier concentración de agua la reacción presentaba un rendimiento del 5%.

La adición de catalizadores de hidróxido de sodio compensa la alta acidez en la materia grasa (en caso de existir un alto porcentaje de ácidos grasos libres), pero el jabón resultante provoca un aumento de viscosidad o de formación de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol. Cuando se dan estas condiciones los rendimientos de la reacción se reducen sustancialmente.

El hidróxido y metóxido de sodio o de potasio deben mantener un grado de humedad bajo; además su contacto con el aire disminuye la efectividad del catalizador por su interacción con el dióxido de carbono y la humedad.

Actualmente, la mayor parte del biodiesel producido, procede de aceites vegetales al que se le añade metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo hay muchos aceites de bajo costo y grasas animales que pueden ser utilizados. Su problema radica en que suelen contener gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiesel usando catalizadores alcalinos. En estos casos es necesario hacer la esterificación en dos etapas; inicialmente debe realizarse un pre-tratamiento para convertir los ácidos grasos libres en

esteres metílicos con un catalizador ácido, y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción.

La transesterificación de los triglicéridos puede ser realizada mediante diferentes procesos catalíticos. Los catalizadores utilizados pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Catalizadores alcalinos: hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), metóxido de sodio (NaOMe).
- Catalizadores ácidos: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorhídrico, ácido sulfónico.
- Catalizadores enzimáticos: lipasas
- Catalizadores heterogéneos: catalizadores en fase sólida.

Catalizadores alcalinos

Los tres catalizadores cáusticos tienen ventajas y desventajas; su elección depende de cada caso concreto.

Hidróxido de sodio (NaOH): el NaOH viene en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación. Es un producto muy barato y de alta disponibilidad, pero es cáustico e irritante, y debe evitarse su contacto con la piel así como su manipulación directa sin protección respiratoria. Al igual que en el caso del KOH, la manipulación de este insumo sólido puede ser complicada (especialmente en plantas de gran producción, donde se prefiere evitar operaciones manuales). Además el NaOH es muy higroscópico, absorbe humedad del ambiente lo cual hace que los cristales se

peguen entre sí y sean más difíciles de manipular, y además reduce su eficacia.

La reacción de esta sal con el metanol es exotérmica por lo que el tanque donde se realiza esta disolución debe mantenerse refrigerado para evitar que se evapore el alcohol (causando pérdidas de este insumo y riesgos de incendio y para la salud de los trabajadores).

Hidróxido de potasio (KOH): muy similar al hidróxido de sodio, el hidróxido de potasio viene también en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación. Es un producto barato y disponible. Debido a su mayor peso molecular, se necesita mayor cantidad de KOH que de NaOH para hacer el mismo trabajo, lo cual puede elevar costos. Las dificultades de operación y riesgos son similares a los que existen con NaOH, sin embargo, utilizando KOH se obtienen mejores rendimientos de transformación que con NaOH. Además, el KOH se disuelve más fácilmente que el NaOH en el metanol, lo cual facilita el primer paso previo a la transesterificación. Los jabones de potasio son líquidos, a diferencia de los de sodio que son sólidos. Esto hace que el glicerol crudo sea más fácil de drenar luego de la separación del biodiesel cuando se trabaja con KOH. Por otra parte, las sales de potasio obtenidas como subproducto de la purificación de la glicerina pueden ser utilizadas como fertilizante agrícola, lo cual no es el caso con las sales de sodio.

Metóxido de sodio: El metóxido de sodio no está disponible en estado puro, debido a que es muy inflamable. Se presenta entonces comercialmente como una solución al 30% en metanol. Al ser líquido presenta ventajas respecto de su manipulación que, pese a su alta inflamabilidad y toxicidad, es sencilla, puede ser adaptada a un proceso continuo y realizarse mecánicamente sin

necesidad de intervención de los operarios. En determinados aceites vegetales el metóxido es un catalizador más efectivo que los dos mencionados anteriormente, pero causa la formación de diferentes subproductos, principalmente sales de sodio, que deben ser tratados como residuos, y que además requiere utilizar aceite de alta calidad. Otras desventajas del metóxido de sodio es que su costo es alto y su disponibilidad limitada.

Catalizadores ácidos

Los catalizadores ácidos pueden ser utilizados tanto para la esterificación de ácidos grasos libres, con el fin de convertirlos directamente en ésteres, o para la transesterificación de los triglicéridos. Cuando la materia prima es un aceite con alto contenido de ácidos grasos libres (AGL), la esterificación ácida está recomendada como un primer proceso para tratar estos AGL, pero debe ser seguida por la transesterificación alcalina (con NaOH o KOH como catalizadores) para convertir los triglicéridos subsistentes. Los catalizadores ácidos también pueden ser utilizados directamente para la transesterificación, pero esta reacción es extremadamente lenta y requiere de un exceso aún mayor de alcohol, lo cual la hace poco económica.

Catalizadores enzimáticos

Los catalizadores enzimáticos como las lipasas son capaces de catalizar la transesterificación de los triglicéridos de manera eficiente, con menor consumo de energía y sin generar efluentes. Especialmente se destaca que, el glicerol puede ser removido fácilmente, los ácidos grasos libres pueden ser convertidos totalmente en ésteres, y la presencia de agua no es problemática. Sin embargo, los costos de producción de las lipasas aún son mucho más caros que los de los catalizadores alcalinos.

Existen dos tipos de catalizadores enzimáticos:

- Enzimas extracelulares: estás fueron extraídas de las células que las producen y posteriormente purificadas.
- Enzimas intracelulares: células con un gran reservorio de lipasas, generalmente bacterias.

Catalizadores heterogéneos

Los catalizadores heterogéneos son aquellos que se encuentran en una fase diferente a la de los reactantes. Es decir, que no se encuentran disueltos en el alcohol o aceite, sino que son sólidos, y por lo tanto fácilmente recuperables al final de la reacción. Este tipo de catalizadores permiten superar algunos de los principales problemas de los catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio o potasio, o el metóxido de sodio, como ser los procesos de purificación del biodiesel para separar los restos de catalizador, y los de tratamiento de efluentes contaminados con los catalizadores.

Algunos de los primeros catalizadores sólidos probados fueron óxidos de estaño, magnesio y zinc, pero ellos actúan finalmente de forma similar a los catalizadores homogéneos, pues terminan convertidos en jabones metálicos o gliceratos metálicos. El uso de un óxido mixto de zinc y aluminio permite la transesterificación sin que haya pérdida del catalizador. Durante esta reacción, se requiere mayor temperatura y presión que en la transesterificación alcalina convencional, y además se realiza en dos etapas para alcanzar niveles de reacción máximos. El biodiesel obtenido cumple con las especificaciones de calidad de la norma europea.

Como ventajas del proceso, la purificación del biodiesel sólo requiere la evaporación del metanol sobrante y la adsorción del glicerol, sin necesidad de lavado con agua. Asimismo, el glicerol producido es incoloro, de una pureza del 98%, sin presencia de cenizas u otros componentes inorgánicos. Las

principales impurezas en el glicerol son agua, metanol y ésteres orgánicos. Esta mayor calidad otorga un valor agregado a este subproducto, que puede ayudar a mejorar la rentabilidad de la producción de biodiesel.

Tipo de catalizador y concentración utilizada

En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, ambos en concentraciones de 0.4 a 2% v/v de aceite. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador (tanto hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados.

La metanólisis del aceite de soja específicamente ha producido sus mejores resultados de rendimiento y viscosidad con una concentración de 1% de hidróxido potásico.

La actividad catalítica del óxido de magnesio, hidróxido de calcio, óxido de calcio, metóxido de calcio, hidróxido de bario y, por comparación, hidróxido de sodio se ha evaluado en la transesterificación del aceite de colza, utilizando una proporción de catalizador del 1,5%. De ellos, el hidróxido sódico ha producido la mayor actividad catalítica. El grado de substratos que reaccionaron fue del 85% en 30 minutos y de 95% después de 1,5 horas, lo que representa un valor cercano al equilibrio. El hidróxido de bario tuvo un rendimiento ligeramente inferior con una valor del 75% después de 30 minutos, mientras que el metóxido de calcio reaccionó sólo en un 55%, en este mismo tiempo. Rendimientos menores se obtuvieron con CaO, mientras que el óxido de magnesio y el hidróxido cálcico no presentaron actividad catalítica.

Para la actividad catalítica ácida la proporción de catalizador a utilizar depende del grado de acidez del aceite. En este aspecto el ácido sulfúrico presenta

ventajas frente al clorhídrico si se lo utiliza en un intervalo de concentraciones de 1,5 – 2,25 molar.

Relación molar de alcohol / aceite

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. Ya se mencionó que la relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un mol de glicerol; y además que la transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho (productos). Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. En cambio un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción se revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanólisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanólisis esta emulsión tiende a separarse en dos fases, una inferior rica en glicerol y otra en la parte superior rica en éster metílico. En cambio en la etanólisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los esteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéridos y diglicéridos intermedios, que contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares.

Efecto del tiempo de reacción y la temperatura

La conversión aumenta con el tiempo de reacción. Existen datos experimentales de la transesterificación de aceite de cacahuete, semilla de algodón, girasol y soja con una relación molar de 6:1 de metanol, con un catalizador de metóxido sódico al 0.5% y a 60ºC; en lo cual después de 10 minutos se observó un rendimiento de aproximadamente el 80% para la soja y el girasol, después de una hora la conversión fue la misma para los cuatro, con un valor aproximado del 93%. La transesterificación se puede producir a diferentes temperaturas, dependiendo del tipo de aceite. El rendimiento de la reacción decae a medida que desciende la temperatura, pero es compensado por el tiempo de reacción. Estudios revelaron en el caso de aceite refinado con metanol (6:1) al 1% NaOH, que después de 6 minutos de reacción los rendimientos fueron 94%, 87% y 64% para temperaturas de 60, 45 y 32ºC, respectivamente. Después de una hora la formación del éster era idéntica para 60 y 45ºC y ligeramente menor para 32ºC.

Producción de Biodiesel a Nivel Industrial

El proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. Como ya se mencionó en la trasesterificación el triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina; en cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

En la planta de producción de biodiesel se lleva a cabo una etapa fundamental que es el pre-tratamiento del aceite. Esta etapa depende de las características

del aceite del cual se parte en la planta y muchos de los procesos involucrados en el pre-tratamiento es probable que ya se hayan realizado en la aceitera.

Pre-tratamiento del aceite

La mayor parte del biodiesel se produce a partir de aceites comestibles semirrefinados con buenas características de acidez y humedad. Sin embargo, existe gran cantidad de aceites y grasas de menor calidad y menor costo que también podrían ser convertidos en biodiesel (por ejemplo, aceites vegetales crudos, grasas animales y aceites usados o residuales). El problema para procesar estas materias primas baratas es que suelen tener grandes cantidades de ácidos grasos libres, gomas, humedad y otras impurezas que afectan el proceso de transesterificación alcalina.

El aceite para producir biodiesel debe ser refinado parcialmente, con el objetivo de:

- Eliminar gomas, que podrían resultar en formación de emulsiones durante el proceso.
- Eliminar fosfátidos, de manera que los efluentes del proceso no tengan fosfatos y se reduzcan sus costos de tratamiento.
- Eliminar ácidos grasos libres, para facilitar la transesterificación y posteriormente la purificación de la glicerina.
- Eliminar ceras, para mejorar el desempeño en frío del biodiesel.
- Eliminar otros contaminantes, y obtener una mejor calidad de la glicerina.

La refinación parcial o pre-tratamiento, llevada a cabo en la planta de producción de biodiesel, puede incluir los siguientes procesos:

- Desgomado (en los aceites que tienen alto contenido de gomas, presentes en todos los aceites vegetales).
- Neutralización (en los aceites con alta acidez).
- Lavado (para eliminar residuos de la neutralización)
- Secado (para eliminar el contenido de agua).

Si la acidez del aceite es muy alta, la neutralización no es conveniente porque implica la pérdida de los ácidos grasos libres en forma de jabones. Entonces, el proceso de pre-tratamiento sugerido es:

- Desgomado
- Esterificación ácida
- Secado

Finalmente, para mejorar las propiedades de flujo en frío del biodiesel, se puede requerir un proceso de fraccionamiento o *winterización*, con el fin de separar las fracciones con mayores puntos de fusión del aceite.

Desgomado

El desgomado con agua es la forma más simple de reducir la cantidad de fosfolípidos y fosfátidos en los aceites. El aceite se caliente a aproximadamente 90°C, se agrega pequeñas cantidades de agua para hidratar las gomas y hacerlas insolubles en el aceite. La cantidad de agua a usar debe ser similar al peso seco de las gomas a remover. Después de unos 5 minutos las gomas hidratadas pueden ser removidas por centrifugación. Las impurezas que se pueden eliminar por este método son fosfátidos hidratables, triglicéridos ocluidos y otros compuestos solubles en agua como azúcares.

Se puede utilizar ácido cítrico y/o ácido fosfórico para mejorar la velocidad y la eficacia del proceso y permitir la separación de las gomas no hidratables. El ácido puede estar disuelto en agua para facilitar la separación y luego el aceite es lavado con agua.

Neutralización, lavado y secado

Aceites con un contenido de hasta 5% de ácidos grasos libres pueden ser procesados con catálisis alcalina añadiendo mayor cantidad de catalizador para compensar las pérdidas en el jabón. El jabón que se produce es eliminado en el glicerol y/o durante el proceso de lavado con agua, y la única desventaja de este proceso es la pérdida de materia prima en jabones en lugar de biodiesel. Aceites con más del 5% de AGL no pueden ser transesterificados por catálisis alcalina, porque los jabones inhibirían la separación del biodiesel de la glicerina y además llevarían a la formación de emulsiones durante el lavado.

La neutralización consiste en hacer reaccionar el aceite con una sustancia alcalina como el hidróxido de sodio para eliminar los ácidos grasos libres, responsables de su acidez. El aceite se calienta a 85°C (en caso de aceites muy ácidos a 65°C) y se aplica hidróxido de sodio diluido en una cantidad tal que neutralice los ácidos en el aceite y con un exceso que favorezca la separación de los jabones y evite la formación de emulsiones. Este exceso puede variar entre 10% y 30% para aceites de baja acidez (hasta 1%) y entre 30% y 50% para aceites de alta acidez.

Cuando el álcali reacciona con los ácidos grasos libres, el resultado es un jabón. Este jabón se separa luego centrifugando la mezcla de grasa y jabón. Después, el aceite o grasa se lava con agua una o dos veces para eliminar las últimas trazas de jabón y se centrifuga nuevamente. Finalmente, el material refinado se seca en un secador de vacío para eliminar el agua residual. Aunque

la finalidad del tratamiento con álcalis es la eliminación de los ácidos grasos libres, este proceso puede dar lugar también a una reducción significativa del contenido de fosfolípidos.

Esterificación ácida de los ácidos grasos libres

La esterificación ácida es otra manera de deshacerse de los ácidos grasos libres en el aceite, pero permite, al contrario de la neutralización, reaprovecharlos para producir biodiesel también a partir de ellos.

Al aceite caliente se agrega metanol en cantidad adecuada para reaccionar con los ácidos grasos libres, utilizando ácido sulfúrico como catalizador. Luego de la reacción, se separa el agua mediante decantación o centrifugación, y lo que queda es una mezcla de aceite (triglicéridos) y biodiesel con menos de 1% de ácidos grasos libres. Con esta mezcla ya se puede realizar una transesterificación alcalina. Una de las dificultades de este proceso es la acumulación de agua que se va produciendo durante la esterificación, esta puede llegar a detener la reacción antes de que sea completa. Para solucionar este problema es necesario trabajar en dos o más etapas para ir separando el agua antes de continuar la esterificación.

La esterificación ácida se justifica sólo si las materias primas a utilizar tienen un contenido de ácidos grasos libres realmente alto, proponiéndose el uso de sulfato férrico como catalizador ya que es más eficiente que el ácido sulfúrico y, por ser sólido, es fácilmente separable de los productos.

Filtrado y secado

Si la materia prima es algún aceite crudo, o aceite usado previamente en frituras, es posible que contenga humedad e impurezas sólidas. Para el caso de la humedad, es necesario secar el aceite mediante evaporación al vacío o

mediante el uso de sales absorbentes. Para separar las impurezas sólidas, basta un proceso de filtrado en caliente antes de la transesterificación.

Winterización

La winterización es un método para la eliminación de ciertos constituyentes (ceras, o determinados triglicéridos), que aunque solubles a temperaturas media y alta, cristalizan y enturbian el aceite en climas fríos. El proceso consiste en enfriar el aceite por cierto periodo y filtrarlo en un filtro-prensa o con filtros de baja presión a temperaturas que estén un par de grados por debajo de aquellas a las que el aceite se enturbia. El aceite se enfría con agua fría o salmuera, o enfriándolo en cámara de refrigeración. El enfriamiento debe ser muy lento para lograr que se formen cristales grandes y facilitar la filtración. En la producción de biodiesel, este proceso puede ser aplicado al aceite, o directamente al mismo biocombustible.

Proceso general de transesterificación en la industria

Aunque todos los procesos para la producción de biodiesel tienen en común algunos aspectos, existen múltiples opciones de operación viables para la fabricación de biodiesel. Muchas de estas tecnologías pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador. En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad.

Proceso Discontinuo

Es el método más simple para la producción de biodiesel donde se trabaja, generalmente, con relaciones 4:1 (alcohol-triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65ºC, aunque es posible trabajar dentro de un rango de temperatura desde 25ºC a 85ºC. La agitación empleada es desde rápida a moderada y va desde las 120 hasta las 200 rpm. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en concentraciones del 0,3% al 1,5%. Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase ester. En la transesterificación con catalizadores ácidos, ya que se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción, es común que las plantas en operación utilicen reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas; de esta manera aumenta el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%.

Temperaturas mayores y relaciones superiores de alcohol-aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo del proceso en el reactor suele ser entre 20 minutos y una hora.

Siempre no se utiliza un exceso de alcohol la reacción no ocurre completamente y el producto obtenido no será biodiesel puro; este consistirá en una mezcla de biodiesel, triglicéridos sin reaccionar, y productos intermedios como los monoglicéridos y diglicéridos.

Proceso Continuo

La producción de biodiesel en un proceso continuo se lleva a cabo en reactores del tipo tanque agitado, los llamados CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor). Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores

tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador, la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster. El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa.

Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie. El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

El proceso conocido como transesterificación en dos etapas permite reducir la cantidad de metanol que interviene en la transesterificación, y mejorar la eficiencia de la reacción, consiguiendo altas tasas de transformación del aceite en biodiesel y una mayor pureza del producto. Este proceso consiste en agregar sólo una parte de la mezcla de alcohol y catalizador en cada etapa y separar el glicerol después de cada etapa. Usualmente, se agrega primero un 80% del alcohol y catalizador al aceite, se realiza la transesterificación, se separa el glicerol, y el producto se lleva a una segunda reacción con el 20% de alcohol y catalizador restante. Esto último se fundamenta en el hecho de que la

reacción de transesterificación es una reacción de equilibrio. Cuando se mezclan el aceite, alcohol y catalizador, la reacción transcurre hasta que alcanza un punto de equilibrio en el que ya no se generan más productos. La reacción ocurre en ambos sentidos al mismo tiempo y está en un equilibrio dinámico. Como el objetivo del proceso es obtener la mayor cantidad de ésteres, lo ideal es desplazar lo más posible este equilibrio hacia la derecha de la reacción (es decir, hacia los productos). Hay dos maneras de hacerlo: agregar más insumos, o quitar parte de los productos. Al realizar la reacción en dos etapas se está quitando justamente uno de los productos (el glicerol) y forzando a la reacción a avanzar aún más para producir ese glicerol faltante para restablecer el equilibrio.

Reactores para la producción de biodiesel

El reactor es el único lugar del proceso donde ocurre la reacción, los reactores pueden clasificarse en dos grandes categorías: los reactores batch y los reactores continuos. Dos reactores que entran en la categoría de los continuos son, los ya mencionados, continuos stirred tank (CSTRs) y el plug flow reactor (PFRs).

En el reactor batch los reactivos se introducen en determinadas cantidades, después es cerrado y se lleva a las condiciones de reacción deseadas; la composición dentro del reactor cambia con el tiempo y una vez que se completa un determinado periodo de reacción el contenido del reactor es removido de este. En contraste, los continuos tienen un flujo de reactivos hacia el reactor y de salida de los productos del mismo de forma continua. Una vez que el flujo continuo del reactor alcanza condiciones uniformes, la composición del producto que sale del reactor se vuelve constante.

Para un CSTRs los reactivos son alimentados a un reactor con un buen mezclado en donde la corriente de los productos es idéntica a la composición dentro del reactor. Para un PFRs, los reactivos son alimentados por un lado del reactor y la composición química cambia mientras las sustancias fluyen por el reactor. Dos importantes consideraciones a tomar en cuenta al elegir un determinado reactor es el grado de conversión de los reactivos y la selectividad, ambos aspectos son afectados por variables como la temperatura, la presión y el tiempo de reacción. Por lo general al incrementarse la temperatura se incremente la velocidad de la reacción, sin embargo si más de una reacción se está llevando a cabo los cambios en la temperatura pueden afectar la selectividad. En el caso de la transesterificación, el cambio en la temperatura no afecta la selectividad, sin embargo afecta la presión del sistema. Como la reacción se lleva a cabo en una fase líquida, la presión en el reactor debe mantenerse en un nivel adecuado, de tal forma que el metanol se conserve en la fase líquida. Por lo que es necesario controlar adecuadamente la temperatura durante el proceso para evitar cambios de fase o la variación de la presión. Otro parámetro muy importante en un reactor es el grado de mezclado o de transferencia de masa. Para los reactores batch y CSTRs el grado de mezclado está directamente relacionado con la cantidad de energía introducida a través del agitador. Incrementando la velocidad del agitador se incrementa la entrada de energía al reactor. Para un PFRs, el grado de mezclado es dictado por el diseño del reactor y por el catalizador utilizado dentro del reactor, este tipo de reactores no cuentan con dispositivos de mezclado. Los reactores batch tienen varias características positivas como la de un buen mezclado y fácil manejo de catalizadores homogéneos, como los usados en las reacciones de transesterificación. Sin embargo los reactores batch no son empleados para producir grandes cantidades de sustancias ya que es más eficiente operar de manera continua.

Pos-tratamiento del biodiesel

Luego de la transesterificación y la separación de las dos fases (biodiesel y glicerol) se requiere de un pos-tratamiento para asegurar que el biodiesel cumpla con los estándares de calidad exigidos, pues éste aún contiene impurezas derivadas del proceso, como son el metanol en exceso, posiblemente jabones, y trazas de catalizador.

Los metilésteres se someten a temperatura y vacío para evaporar el metanol y recuperarlo, y luego son llevados a un proceso de lavado para separar todas las impurezas. El lavado se realiza con agua acidulada (con ácido fosfórico o ácido cítrico) que se mezcla con el biodiesel. El ácido neutraliza el catalizador residual presente y separa los jabones que se puedan haber formado en la reacción. Los jabones se convierten en ácidos grasos libres (que se quedan en el biodiesel) y en sales solubles en agua. Así, los restos de catalizador, jabón, sales, glicerina y metanol se quedan en el agua de lavado. Este lavado se realiza mínimamente dos veces con agua nueva cada vez, hasta que se halla eliminado todo el residual de catalizador alcalino. Finalmente, los metilésteres lavados se secan (con calor y vacío) para separar toda el agua restante y se filtran. El secado del biodiesel se realiza al vacío, calentando el producto a 160 ºC en una columna de relleno sin reflujo. La corriente de biodiesel húmedo se divide en dos, la parte inferior más caliente, en la que se produce la mayor parte de la evaporación, y la parte superior en la que se lava con biodiesel frío para evitar arrastres de este producto al sistema de vacío. El producto de este proceso es el biodiesel terminado.

Pos-tratamiento de la glicerina

El glicerol crudo, que en realidad contiene solamente un 50% de glicerol, es un subproducto de poco valor en esta forma ya que contiene gran cantidad de jabones, catalizador alcalino y metanol. Este último lo vuelve un residuo

peligroso. Para poder aprovecharlo, debe ser purificado. Primero es llevado a un proceso de acidulación (se añade ácido sulfúrico o fosfórico) para separar 3 fases; el glicerol propiamente dicho (con metanol aún disuelto), ácidos grasos libres (provenientes del aceite), y una fase sólida que consiste en sales formadas entre el catalizador alcalino y el ácido agregado en esta etapa. Si se utiliza hidróxido de potasio como catalizador de la transesterificación y ácido fosfórico para la neutralización del glicerol, la sal que se forma es fosfato de potasio, producto que puede ser utilizado como fertilizante. El glicerol resultante sólo necesita ser separado del metanol, y esto se consigue mediante evaporación (utilizando vacio) y condensación del metanol. Con este proceso el glicerol tendrá una pureza de aproximadamente 85% y ya está listo para su venta a otros procesos industriales que lo refinen aún más, o que requieran este insumo en este estado.

Procesos de separación en la producción de biodiesel

Cuando se analiza el diseño conceptual de un proceso de producción de biodiesel se puede identificar rápidamente que, en cada etapa del proceso y antes de cada operación propiamente dicha, se realiza un mezclado y a posteriori una separación. El proceso completo es la suma de varios subproceso de este tipo.

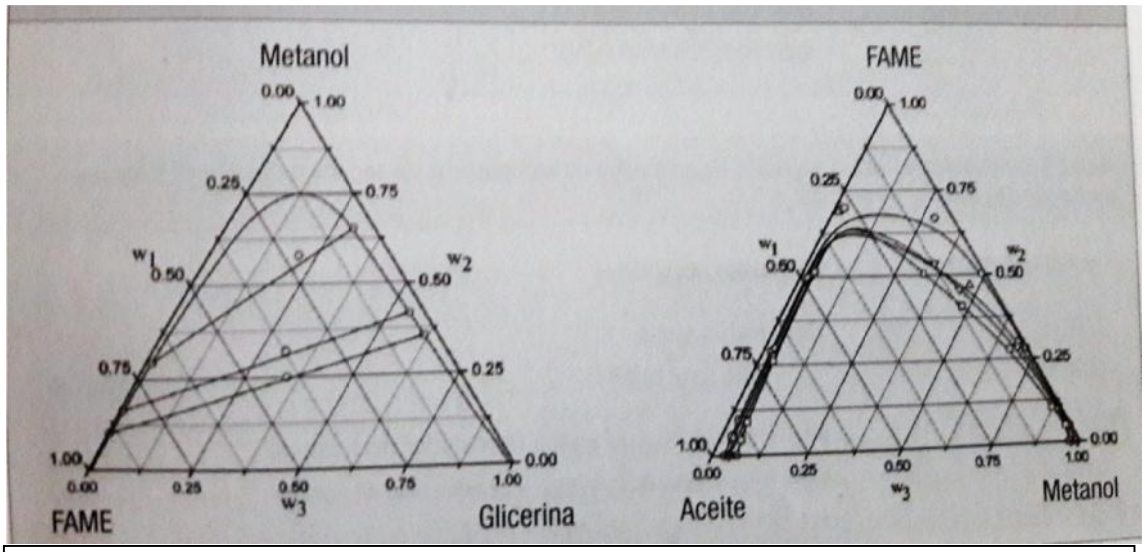
Cada una de estas operaciones está asociada con equipos específicos dentro de la planta, por ejemplo:

Mezclado: se dispone de dos tipos de mezcladores, los denominados estáticos, que se utilizan habitualmente par las líneas de dosificación de reactivos químicos que se agregan en el proceso y los dinámicos, de muy alta eficiencia de contacto para la mezcla de los reactivos con el catalizador durante la reacción de transesterificación, el lavado del biodiesel o la neutralización en el pre-tratamiento del aceite crudo.

Transformación: aquí se incluyen a los reactores de maduración en el pre-tratamiento, los de transesterificación en la síntesis de biodiesel y los de splitting de ácidos grasos.

Separación: las etapas de transformación producen una mezcla de productos en las cuales las fases presentes pueden ser miscibles entre sí, inmiscibles, presentarse en forma de emulsiones o mezclas de dos fases parcialmente miscibles. En la figura 6 se muestran los diagramas de equilibrio de fases que representan estas condiciones.

Figura 6. Diagramas de equilibrio ternario para los sistemas esteres metílicos de ácidos grasos (FAME o Biodiesel) – metanol – glicerina y FAME- aceite – metanol.



Fuente: presentación del Dr. Carlos Querini en el XIII congreso Latinoamericano de grasas y aceites; noviembre de 2009 – Rosario – Argentina.

Las líneas en forma de campana dentro de los gráficos triangulares muestran los límites de las regiones presentes y dentro de estas campanas se encuentran zonas de miscibilidad parcial, es decir, que por ejemplo a la salida del reactor de primera etapa de transesterificación, la corriente de proceso estará compuesta por dos fases parcialmente miscibles que deberán ser

separadas en forma gravitatoria o centrífuga dependiente de la tecnología utilizada.

Si bien es posible clasificar estos sistemas de varias maneras, resulta práctico para la identificación en planta por parte de los operadores, resumirlas en dos grandes grupos bien diferenciados (tabla 1).

Tabla 1

Tipo de FASES	**Procesos Asociados**
Miscibles	Recuperación de metanol – Secado del biodiesel.
Inmiscibles	Separación gravitatoria – Separación centrífuga.

Cuando surgen problemas relacionados con estos procesos en la práctica de una operación industrial es necesario conocer cuáles son las variables que controlan la eficiencia de estos procesos de separación y cuáles son las acciones que el operador o supervisor de la planta debe tomar para corregir un desvío en estas variables para ajustar el proceso.

A continuación se detallan las relaciones de estas variables con los equipos de proceso y algunas acciones básicas para lograr corregir los desvíos:

Recuperación de metanol

Esta operación se lleva a cabo en una columna de destilación de las utilizadas en la industria química y petroquímica para la separación y recuperación de metanol de la corriente que contiene glicerina, agua y ácidos grasos

emulsionados. Todos los componentes se encuentran en una fase prácticamente soluble. Las variables de control de la columna son:

- pH: para una operación eficiente de la columna deberá ajustar el pH dentro de un rango menor a 3,5 en la corriente de ingreso a la misma. Valores superiores pueden inducir la presencia de jabones por reacción de los ácidos grasos libres con los álcalis arrastrados por el agua de lavado del catalizador. La presencia de estos producirá espuma dentro de la columna y será responsable del arrastre de agua por la cabeza de la misma, produciendo la contaminación del metanol recuperado que presentará alta humedad y alcalinidad.
- Temperatura: este parámetro deberá ajustarse en los dos extremos de la columna, es decir, es tan crítica la temperatura al tope (ajustada a un valor máximo de 64,8 °C) como la de fondo. Altas temperaturas en la cabeza producirán arrastre de agua al metanol recuperado y una baja temperatura de fondo producirá pérdida de metanol. Deberá verificarse que, si la columna opera con un lazo de control automático, la moduladora de alimentación de vapor al reboiler en campo responda a los cambios pedidos por el software de control. Es importante también verificar el correcto drenaje del condensado del reboiler a través de la trampa de vapor, para evitar inundaciones del mismo y pérdida de transferencia de calor.
- Caudal de alimentación: el ajuste de caudal deberá controlarse para no superar los valores de régimen para los cuales fue diseñada la columna. Si se opera por encima de estos valores podría producirse la inundación de la misma y, a un caudal demasiado bajo se producen inestabilidades de operación y mala calidad de separación.

- Relación de reflujo: el control de este parámetro es importante para mantener la pureza del metanol recuperado que se obtiene. Altos valores mejoran la calidad, pero para ello es necesario bajar el caudal de operación. El valor óptimo se obtiene de las especificaciones de diseño de la columna, suministradas por el fabricante del equipo.

Secado del biodiesel

En la mayoría de los procesos de producción, el biodiesel crudo que sale de los reactores se somete a una operación de lavado que normalmente se realiza por contacto con agua dentro de una columna o por mezclado con mezcladores dinámicos de alta eficiencia. El biodiesel lavado arrastra un contenido de humedad que está fuera de las especificaciones y deberá ser secado. Esta operación, habitualmente utiliza una columna de secado por aspersión bajo vacio de una o dos etapas.

En esta ocasión la corriente de trabajo contiene biodiesel, agua y metanol en una sola fase miscible; por lo que las variables que el operador debe controlar son:

- Vacio: este valor de la operación del secador debe mantenerse dentro del rango que pueda asegurar un nivel de humedad y flash point en el biodiesel final dentro de las especificaciones de calidad. Si el sistema utiliza condensadores de superficie, deberá controlarse el valor del caudal y temperatura del agua de enfriamiento del mismo para lograr un buen rendimiento y estabilidad del vacío. Periódicamente deberán realizarse pruebas de estanqueidad del sistema para evitar el ingreso del aire, esta situación provoca un aumento de la presión, es decir una disminución del vacío de operación. Además es importante el control de

la presión de alimentación del eyector para evitar fluctuaciones en el nivel de vacío.

- Temperatura: la alimentación al secador se realiza utilizando un economizador que trabaja con e biodiesel de salida y a continuación un calentador que utiliza vapor. Esta temperatura controla la alimentación de vapor al intercambiador previo al secador. No deberían superarse los valores de trabajo recomendados por el diseño para evitar el ensuciamiento del intercambiador (habitualmente esto sucede cuando se está por encima de 130°C). Es importante verificar el control de respuesta del lazo en automático y la apertura de la válvula moduladora en campo. Una revisión periódica de la trampa de condensado de este equipo permite evitar problemas de pérdidas de vapor o bloqueos por inundación del calentador.

Separaciones gravitatorias o centrífugas

Habitualmente, en todos los procesos de producción de biodiesel por ejemplo a la salida de los reactores de transesterificación, es necesario realizar una separación de fases y dependiendo de la tecnología utilizada, éstas se separarán en forma gravitatoria o centrífuga.

Las separaciones gravitatorias se llevan a cabo en tanques donde las fases se separan por tiempo de residencia dentro del mismo y en el caso de que la tecnología utilice separadoras centrífugas en el proceso, no es necesario contar con dichos tanques, sino que directamente desde la etapa de reacción se ingresa en la centrifugación.

Estas separaciones están controladas por dos aspectos, en primer lugar por las condiciones de temperatura y densidad de la fase y en segundo término, por el ajuste mecánico de la operación que incluye en un caso el control de altura de

la interfase en el decantador o del dispositivo fine tuner de la centrífuga. De acuerdo con esto las variables de control que habitualmente es posible seguir para detectar problemas de separación serán:

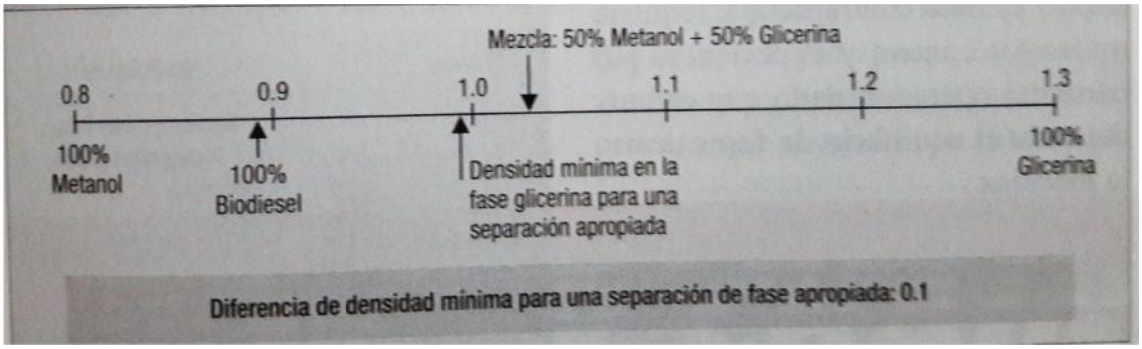
- Diferencia de densidad entre fase: este parámetro tiene una importancia crítica y define los límites por debajo de los cuales no será posible obtener un buen rendimiento en dicha operación. La figura 7 muestra los rangos y límites para la densidad de las mezclas que permitan una separación eficiente, teniendo en cuenta además que por ejemplo: a mayor cantidad de metanol es más eficiente la reacción y a menor cantidad de metanol es mejor la separación de fases.

  En la práctica industrial, es posible controlar la eficiencia de la separación de fase utilizando un ensayo de control de proceso denominado spin test, una técnica de laboratorio que también se puede realizar, por su simplicidad y rapidez, en el piso de la planta y se lleva a cabo de la siguiente manera: se deben tomar muestras de la alimentación y de la salida de la fase liviana y pesada correspondiente y luego se la somete a centrifugación utilizando una centrífuga de laboratorio. En la tabla 2 se resumen, a modo de ejemplo, los posibles resultados de esta prueba.

Tabla 2

Muestra	**Densidad**	**Aspecto visual**
Entrada al separador	923,8 kg/m^3	Homogénea
Fase liviana	886,2 kg/m^3	Sin presencia de sólidos
Fase pesada	1084,7 kg/m^3	Sin aceite o biodiesel en la superficie

Figura 7. Escala de densidades de mezcla para las diferentes fases que se encuentran en los procesos de producción de biodiesel.



- pH de las fases: dentro del proceso de producción de biodiesel, el pH es uno de los controles más sencillos de realizar, dado que puede ser medido en campo con suficiente aproximación mediante los analizadores de papel (tiritas de pH) aunque en las plantas con alto grado de automatización se trabaja con instrumentos de medición automáticos en línea.

  Donde más impacto tiene este control es en el subsistema de tratamiento de glicerina donde se ajusta para optimizar la separación de los ácidos grasos que fueron separados de la fase de biodiesel en forma de jabones. Cuando esta corriente de glicerina alcalina se trata en el reactor de splitting con ácido (clorhídrico por ejemplo), el brusco cambio de pH de la mezcla produce la separación de estos.
- Polaridad de las fases: si bien la polaridad de las especies químicas que forman cada una de las fases no puede ser modificada fácilmente en el proceso y es el resultado de las reacciones químicas que se llevan a cabo, es importante que el operador o supervisor de planta puedan entender que los fenómenos relacionados con los cambios en las polaridades entre estas fases pueden producir contaminaciones por

arrastre de sustancias si no se controlan las condiciones de proceso. Una situación muy común que refleja esto último ocurre en la operación de lavado donde se ponen en contacto una fase muy polar como el agua acidificada con otra poco polar como el biodiesel crudo, el éxito de esta operación estará dado en primer lugar por el tiempo de contacto y, más importante aún por asegurar que durante todo el proceso se mantenga la mayor diferencia posible en la polaridad que garantice la extracción de las impurezas de la fase biodiesel no polar.

Por último en la práctica industrial, cuando se operan separadores gravitatorios, es importante evitar la contaminación de las corrientes de proceso que puedan ser causantes de la aparición de interfases sucias entre ambas fases principales que complican la visualización de los niveles y el ajuste real que mantiene estable la operación de separación. Estas interfases pueden estar compuestas por la formación de emulsiones de jabones o fosfátidos no separadas en el pre-tratamiento en aquellos procesos que utilizan aceite crudo.

El uso de la tecnología de separación centrífuga tiene desde el punto de vista de la eficiencia del proceso de separación, amplias ventajas dado que los tiempos de residencia son cortos y la fuerza impulsora es mayor a 5000 *g* frente a un separador gravitatorio y como contrapartida, requiere un mayor control y experiencia por parte del operador, dado que es muy delicado el equilibrio de fases dentro de la máquina.

Cuando en el proceso de producción se utilizan estas separaciones centrífugas, además de las diferencias de densidades necesarias para la separación de fases, estos equipos deben ser regulados en campo por el operador de planta, en dos parámetros: el fine tuner y la contrapresión de trabajo. La contrapresión se relaciona el tiempo de residencia y mantiene la estabilidad de la posición de la interfase durante el funcionamiento del equipo, y el fine tuner permite obtener una correcta separación de ambas fases.

Para lograr una separación eficiente y exitosa, el operador debe realizar periódicamente ensayos de tipo spin test a los efectos de determinar en forma real la calidad de esta separación.

Los fine tuner pueden operarse en forma manual desde el campo o estar motorizados y su ajuste puede realizarse desde el panel de control. En tanto que, el control de contrapresión se realiza a través de válvulas moduladoras automáticas controladas mediante un lazo de control de presión en la corriente de salida de la fase liviana de la máquina.

CAPÍTULO 6

PROCESO ADOPTADO

Introducción

Entre los métodos de extracción de aceite por solvente o mediante extrusión y prensado, este último presenta varias ventajas desde del punto de vista de inversión inicial, técnica operativa y cuidado del medio ambiente.

Algunas ventajas del método extrusión y prensado frente al de extracción por solvente son:

- Mejor calidad de la proteína y preservación de las propiedades nutricionales al no estar la materia prima en contacto con el vapor, el solvente, ni expuesta al calor por tiempos prolongados.
- Es más sencillo evaluar la trazabilidad, ya que los volúmenes de semilla a procesar son pequeños y lo lógico es que procedan de zonas cercanas a la planta, lo que permite individualizar fácilmente su origen.
- El proceso casi no genera efluentes, por lo que puede ser definido como amigable con el medio ambiente.
- 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 de trabajo, es mucho menor. Es aplicable en las plantas de extrusión y prensado trabajar con semillas de terceros devolviendo la harina al productor y reteniendo la totalidad o parte del aceite como compensación del costo de la elaboración.
- Generan trabajo dentro de su propio ámbito y a su vez es posible operarla con poco personal, no más de dos o tres personas son las necesarias para alimentar la planta, atender el proceso y manipular los productos terminados.

- La calidad del aceite es aceptable y puede comercializarse como orgánico; además si se desgoma puede utilizarse para producir biodiesel.

Impacto ambiental de ambos procesos

La extracción por solvente produce los siguientes efluentes:

- Mayor cantidad de gases de combustión de la caldera generadora de vapor. Los efluentes son más nocivos si quema fueloil.
- Trazas de solvente residual en la harina.
- Trazas de solvente en los incondensables que se emiten a la atmosfera.
- Trazas de solvente que se eliminan con agua de proceso de la planta.
- Pérdidas de solvente en bombas y otros equipos.
- Aire del secador de harina que arrastra polvo y trazas de solvente.
- Efluentes líquidos y sólidos

En la extracción por extrusión y prensado los efluentes se reciclan y sólo se emite los siguientes:

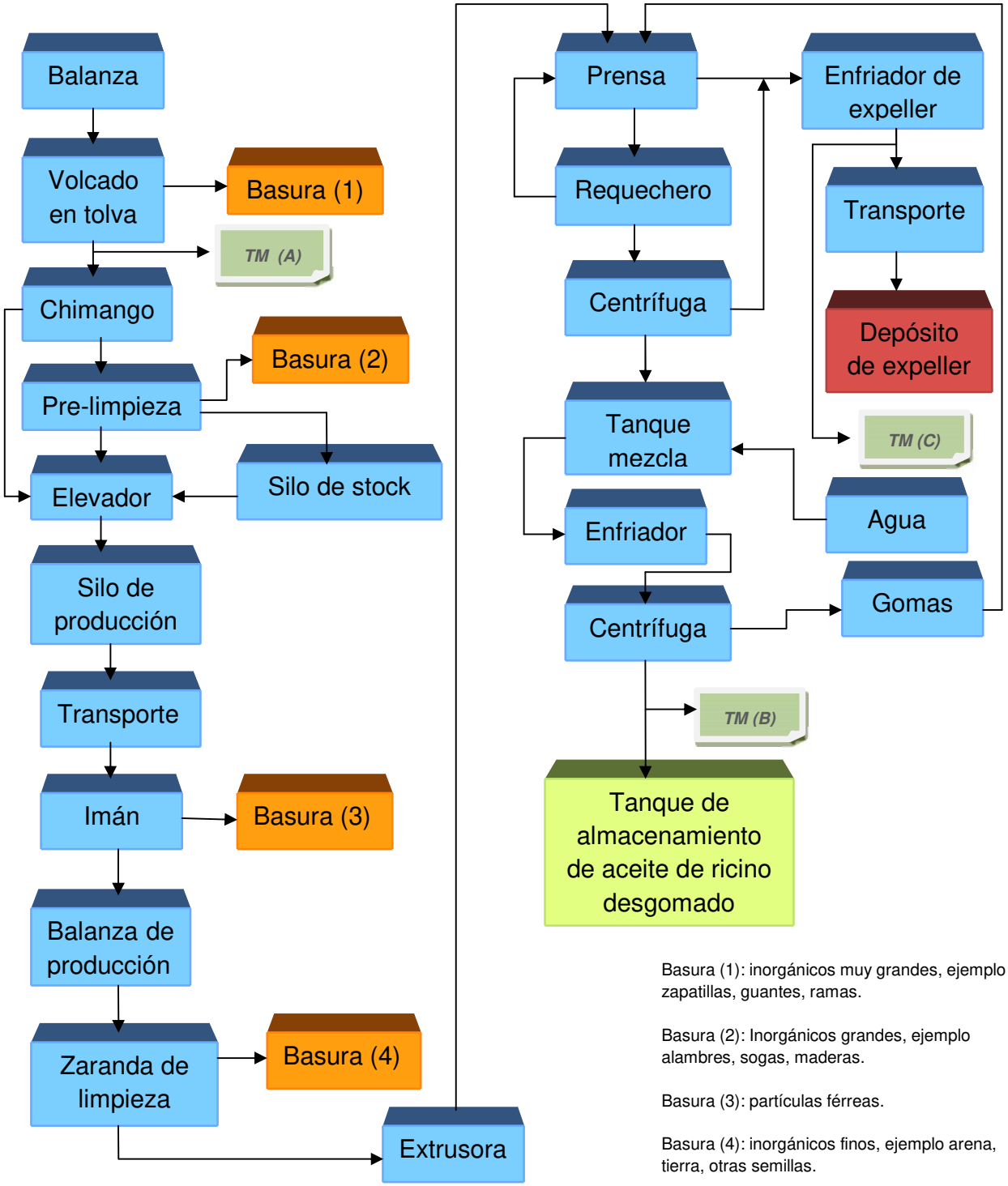
- Gases de combustión de la secadora, que también se producen en la extracción por solvente, pero de una magnitud inferior en la extracción por extrusión y prensado. Cabe aclarar que en el proceso de extracción de aceite de ricino la etapa de secado de granos no aparece.
- Aire húmedo de salida del secador de expeller, que por el tipo de material vale destacar que el expeller tiene menos finos que la harina, por lo que prácticamente no hay contaminaciones en el aire de descarga.

Por último, el tipo de extracción por extrusión y prensado es útil para oleaginosas con elevado contenido de materia grasa. Es importante remarcar que la eficiencia

del proceso depende de las características de la semilla, sobre todo de su relación aceite-fibra.

En ricino con variedades que llegan a tener hasta un 60% de aceite, el método extrusión y prensado presenta un alto rendimiento con un residuo sólido (expeller) de aproximadamente 7% de materia grasa.

Procesos en la planta: sector extracción de aceite de ricino



Basura (1): inorgánicos muy grandes, ejemplo zapatillas, guantes, ramas.

Basura (2): Inorgánicos grandes, ejemplo alambres, sogas, maderas.

Basura (3): partículas férreas.

Basura (4): inorgánicos finos, ejemplo arena, tierra, otras semillas.

Descripción de los equipos involucrados y el proceso

Balanza de camiones: puede ser del orden de 80 toneladas para pesar juntos el tractor y el acoplado, o bien más pequeña para pesar en dos, etapas. En este proyecto se considera la adquisición de este equipo (de elevado costo) para el futuro, mientras tanto se utilizará una balanza privada instalada en el parque industrial de La Paz. Aquí el camión cargado con los granos se pesa, entrega la carga en la planta, y se vuelve a pesar en la balanza al camión vacio para obtener un ticket de validez fiscal que acredita el peso de los granos.

Plataforma volcadora o volcado manual: este equipo sujeta completamente al camión (junto con su carga) y comienza a elevarse formando un ángulo creciente con la horizontal del piso (en forma de rampa) hasta lograr vaciar la carga de granos. En este proyecto la descarga será manual y la adquisición de la plataforma será evaluada para futuro. Los granos serán volcados por los encargados sobre rejillas (a nivel del piso) dentro de la tolva (construida por debajo del nivel del piso). Las rejillas deben ser tal que impidan la entrada de materiales extraños de gran tamaño y a la vez permitir una rápida velocidad de flujo de los granos. Generalmente los camiones, para transporte de granos, tienen la posibilidad de abrir sus laterales provocando la descarga de, aproximadamente, el 70% de la carga; el resto lo retiran los operarios con la utilización de rastrillos de goma de gran longitud. Cabe aclarar que existen camiones volcadores que también realizan el transporte de granos; la desventaja de estos equipos es su baja capacidad.

Toma de muestra (A): El objetivo es obtener una muestra del tamaño adecuado para el ensayo, en la cual la probabilidad de que un constituyente este presente quede solo determinada por su nivel de ocurrencia en el lote de semillas.

La muestra destinada al análisis en laboratorio está compuesta por:

- Muestra primaria. Es una pequeña muestra tomada de un punto del lote, durante una simple acción de muestreo.
- Muestra compuesta. Está formada por la combinación y la mezcla de todas las muestras primarias tomadas del lote.

Al momento de muestrear, el lote debe ser lo más uniforme posible. De ello, dependerá la calidad de los análisis. Los recipientes utilizados para colocar las muestras deben ser adecuados para el propósito no debiendo dañar la semilla y deben estar limpios de toda sustancia para evitar todo tipo de contaminación cruzada.

La intensidad del muestreo debe ser la siguiente:

Tamaño de lote a granel	Nº de muestras primarias a tomar
Hasta 500 kg	Al menos 5 muestras
501 – 3000 kg	1 muestra primaria cada 300 kg – no menos de 5 muestras
3000 – 20000 kg	1 muestra primaria cada 500kg – no menos de 10 muestras
+ de 20000 kg	1 muestra primaria c/700kg – no menos de 40 muestras

En el laboratorio se analizará el contenido de aceite (mediante el método Soxhlet) de las semillas de ricino y la presencia de semillas vanas.

Chimango: este equipo consta de un tubo de chapa de acero en cuyo interior posee un motor eléctrico con un reductor de velocidad para su accionamiento. El

motor mueve una correa transportadora corrugada y de diseño antideslizante que le permite la elevación de los granos.

En uno de los extremos (parte inferior) cuenta con una tolva de carga y en el otro (parte superior) un embudo. Tiene la ventaja de ser móvil.

La función del equipo es el transporte de granos desde la tolva a la pre-limpiadora o directamente al silo de producción y puede ser reemplazado por un transportador de cinta fijo.

Pre-limpiadora: este equipo puede ser del tipo tambor rotativo (tipo scalper), o zarandas de un solo deck. La función es eliminar impurezas de gran tamaño (maderas, malezas, piedras, plásticos, guantes, etc.). Los granos atraviesan la zaranda vibratoria y son destinados al silo de recepción o directos a producción mediante un elevador.

Silo de recepción: son equipos de almacenamiento, en la mayoría de los casos, son de chapas galvanizadas y de cono expuesto. Pueden incluir un equipo de ventilación forzada para mantener estable la temperatura de almacenamiento (la respiración de los granos aumentan la temperatura en el silo, con esto proliferan insectos cuya respiración eleva aún más la temperatura). En esta etapa el único proceso que sufren los granos es su almacenamiento para su posterior procesado.

Elevador: los elevadores pueden ser norias para granos (estos rompen un porcentaje de los granos al dragar y al expulsar), cintas elevadoras o elevadores a cangilones. Los más utilizados son estos últimos ya que no rompen los granos y son capaces de elevar los granos de manera vertical y horizontal entre las diferentes operaciones de la planta.

Silo de producción: similar al de almacenamiento, aunque puede ser de menor capacidad. Garantiza un caudal de granos constante al proceso de extracción de aceite.

Transporte: como la función en esta etapa solo es el traslado de granos, puede tratarse de una cinta transportadora horizontal. Generalmente dentro de la planta de proceso el destino de los granos son las bocas (angostas) de los diferentes equipos que pueden estar elevados o por debajo del nivel del transporte de los mismos, por lo que se utilizan los ya definidos como elevadores que son mucho más versátiles.

Separador magnético: puede tratarse de un equipo rotativo, fijo o de cinta; los hay de tubo, de rejillas o de placas. En este proceso mediante un potente campo magnético se eliminan cuerpos de naturaleza férrea, evitando problemas de desgastes o rotura en los equipos instalados a continuación del imán. Los granos atraviesen el imán por caída libre.

Balanza de producción: las tradicionales son por lotes, aunque se pueden utilizar las de cintas con celdas de pesaje o las de impacto.

El proceso se lleva a cabo con el objetivo de controlar la producción diaria y horaria.

Cabe aclarar que si la producción diaria es baja, es suficiente con contar con un silo de producción.

Limpiadora: las más utilizadas son del tipo zaranda vibratoria con dos o más deck. En el primer paso los granos atraviesan la llama y son retenidos cáscaras, alambres, otras semillas silvestre más grande que los granos de ricino y todo

aquello de gran tamaño que haya superado la etapa de pre-limpieza; en el segundo paso (malla más fina) los granos son retenidos y se eliminan arenas, tierras y semillas silvestres más pequeñas que los granos de ricino.

Extrusora: este equipo 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. Esto eleva rápidamente la temperatura de los granos, llegando en la salida a temperaturas de 110/130°C. La extrusora logra romper las células que contienen los glóbulos de aceite y además logra inactivar la ricina.

La pasta de la semilla, dentro de la extrusora, recibe un aumento de presión progresivo a medida que avanza y al salir de esta, por un pequeño orificio, la presión se libera y la pasta se expande adquiriendo un gran volumen con miles de micro poros que se llenan de aire. Este sólido recibe el nombre de expeller.

El proceso es continuo y la capacidad máxima de procesado de semillas depende de la capacidad del equipo (extrusora).

Prensa: 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 pasta de semillas proveniente de la extrusora. Esta presión hace que el expeller suelte todo el aceite que contienen las celdillas que fueron rotas por la extrusora. El aceite, junto con algo de sólidos (aproximadamente 20%), pasa a través de las ranuras del barril para luego ser enviado al decantador.

Los sólidos que se retiran de la prensa se denominan torta de prensa o expeller y contienen entre 6 y 8% de materia grasa. Estos son enviados al enfriador para su posterior almacenamiento.

Secador – Enfriador de expeller: el expeller que sale por el extremo de la prensa lo hace a temperatura elevada, superior a los 100°C, 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 puedan atravesar el piso no queden acuñados al mismo, a su vez el enfriador dispone de ventiladores que producen una corriente de aire que atraviesa el manto de expeller, lo cual permite disminuir la temperatura a valores que oscilan entre los 7 y 10°C 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.

Toma de muestra (C): se extrae a la salida del secador una pequeña cantidad de expeller a fin de determinar en el laboratorio su humedad y contenido de materia grasa. El contenido de agua en la muestra denota la eficiencia del secado y su contenido de aceite la eficiencia del proceso de extracción.

Transporte – Depósito de expeller: el expeller proveniente de la secadora se envía a un depósito de piso plano desde donde, y a través de un sistema de transporte 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 tiempos prolongados. Se trata de un transporte de cinta horizontal cuyo punto de volcado se acciona manualmente.

Tanque decantador y separador de borra (Borrero o Requechero): el aceite con borra o finos proveniente de la prensa se envía a un decantador. Este equipo consta de un tanque de forma rectangular que en su interior posee separadores y una cadena con cucharas que circula a lo largo del equipo. El aceite con finos cae en un extremo de la parte superior donde hay un piso de chapa perforada para conseguir que se retenga la borra gruesa y el aceite junto con los finos pase a la parte inferior del equipo para que estos decanten y se separen del aceite. Las cucharas que tienen el ancho del borrero se desplazan sobre la chapa mediante dos cadenas y arrastran los gruesos hasta el otro extremo donde los retiran del decantador y mediante una rosca colectora se los reciclan a la prensa.

Como las cucharas circulan luego hacia el fondo del decantador, los finos decantados son recolectados por las cucharas y también se reciclan a la prensa.

El aceite decantado se envía luego a la centrífuga para retirar el resto de los finos.

Separador centrífugo horizontal: gira a más de 4000 rpm para lograr clarificar el aceite despojándolo de los finos remanentes después del pasaje del aceite por el tanque decantador. El aceite separado es enviado al tanque mezcla para su desgomado, mientras que los finos retirados se derivan a la línea de expeller caliente.

Tanque mezcla: tanque de acero inoxidable con cierre hermético, agitador y camisa. En él se introduce el aceite proveniente de la centrífuga y se agrega 3% (en relación a la cantidad de aceite) de agua potable y se calienta, inyectando vapor de la caldera en la camisa del tanque, hasta alcanzar los 75°C. Lograda esta temperatura el tiempo de residencia es de 30 minutos en continua agitación.

Este proceso logra que los fósfatidos (gomas), presentes en el aceite, se hidraten y se aglomeren en una fase que puede ser separada del resto del aceite.

Transcurrido el tiempo necesario el contenido total del tanque mezcla se pasa por la centrífuga.

Enfriador: este equipo puede tratarse de un intercambiador de calor de carcasa y tubos o simplemente una adaptación similar. El objetivo es enfriar el aceite (aproximadamente a 40°C) de manera tal que de haber quedado agua sin reaccionar, también sea eliminada por la centrífuga. El medio refrigerante es el agua de lavado de equipos a fin de aprovechar el calor sensible despedido por el aceite.

Centrífuga: mediante la fuerza centrífuga se logra separar las gomas del aceite. Este último ya desgomado se envía al tanque de almacenamiento mientras que las gomas son derivadas a la prensa.

Toma de muestra (B): se tomará en un recipiente adecuado 200 ml de aceite cada 2 horas de proceso. Se analizará en el laboratorio el pH, la acidez y la humedad. Estos dos últimos parámetros son muy importantes en lo que respecta a la posterior conversión del aceite en biocombustible mediante transesterificación.

Almacenamiento de aceite crudo: Para el caso de aceites crudos es suficiente disponer de tanques de acero común (chapa de acero carbono), en donde además el aceite deposita una capa sobre la superficie del tanque que sirve como protección del resto de la masa de aceite. Desde aquí el aceite se deriva directamente a proceso o, más comúnmente, se fracciona a un tanque pulmón de producción con las mismas características aunque de menor volumen.

Es importante tener en cuenta en el proceso de almacenamiento, la humedad residual luego del desgomado y el tiempo de residencia que va tener el mismo dentro del tanque. Si este último va ser prolongado (generalmente no ocurre), necesariamente deberá recurrirse a un sistema de agitación.

Servicio de extracción de aceite

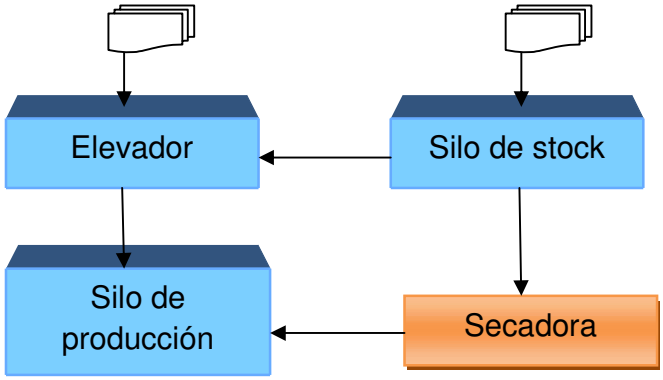
En el eventual caso que no se cuente con semillas de ricino por alguna razón o adicionando un nuevo turno de trabajo, es posible brindar el servicio de extracción de aceites otros granos; de los cuales el más probable es la soja; ya que este último siempre se cosecha, en nuestro país, en cantidades muy por encima de la capacidad de procesamiento instalada.

Para esto es necesario contar con equipos que no son necesarios en el procesamiento de ricino; los mismos agregan etapas pero la línea de procesos es la misma.

Cabe mencionar que los granos se reciben en planta y los productos (aceite y expeller) se retiran de planta por parte del cliente.

Equipos necesarios en la línea de procesamiento de ricino, para procesar soja.

Adaptación a la línea de proceso de la secadora



Secadora: puede ser circular o de forma rectangular; dispone de un quemador (a gas si se dispone en la zona, gas oíl o biodiesel) con el cual se calienta aire extraído del ambiente y se lo hace circular en contra corriente de los granos mientras estos circulan por su interior. En este proceso los granos reducen su humedad hasta valores cercanos al 10%.

Este equipo no aparece en el procesamiento de las semillas de ricino, porque las mismas se recibirán limpias (descascaradas) por lo que este equipo puede omitirse ya que el fruto del ricino (que posee tres o cuatro semillas recubiertas por una cáscara gruesa) necesita un secado previo antes del descascarado para que este último sea eficiente; y este secado garantiza que la semilla en su interior reduzca su humedad al orden del 11%. Si este secado del fruto es insuficiente, al pasar por la descascaradora solo se separará en 3 semillas aún cubiertas por su cáscara.

Figura 1. Frutos y semillas de ricino.



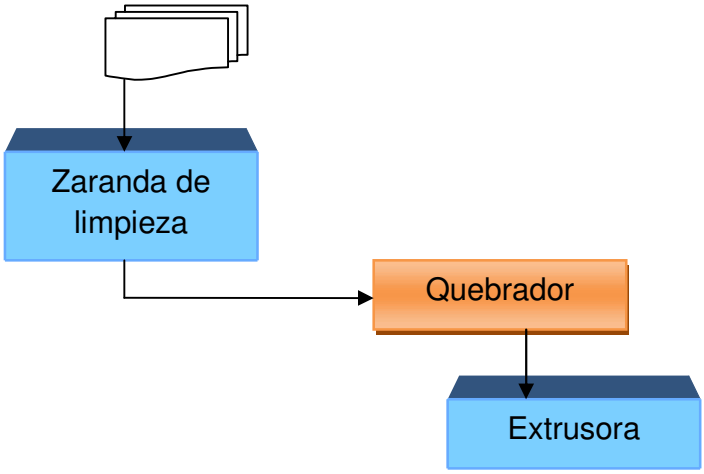
Figura 2. Fraccionamiento del grano húmedo sin llegar a descascarar.



Frutos enteros

Fruto partido sin llegar a obtener la semilla limpia, por secado insuficiente.

Adaptación a la línea de proceso del quebrador



Quebrador: este equipo se utiliza exclusivamente en el procesamiento de la soja. Está compuesto por dos pares de rolos. El superior con corrugado grueso para quebrar los granos en cuatro partes (cinco rayas por pulgada) y el par inferior con corrugado más fino (7,5 rayas por pulgada), para partir los porotos en cuartos o bien en sextos u octavos. Los granos partidos, al tener menor volumen, hacen que el trabajo de la extrusora sea más eficiente; ya que ofrecen menor resistencia al paso por el tornillo helicoidal de este último equipo, además se produce un ahorro de energía.

Cabe aclarar que en el caso del ricino este equipo no es necesario, ya que las semillas son mucho más blandas (similares al girasol).

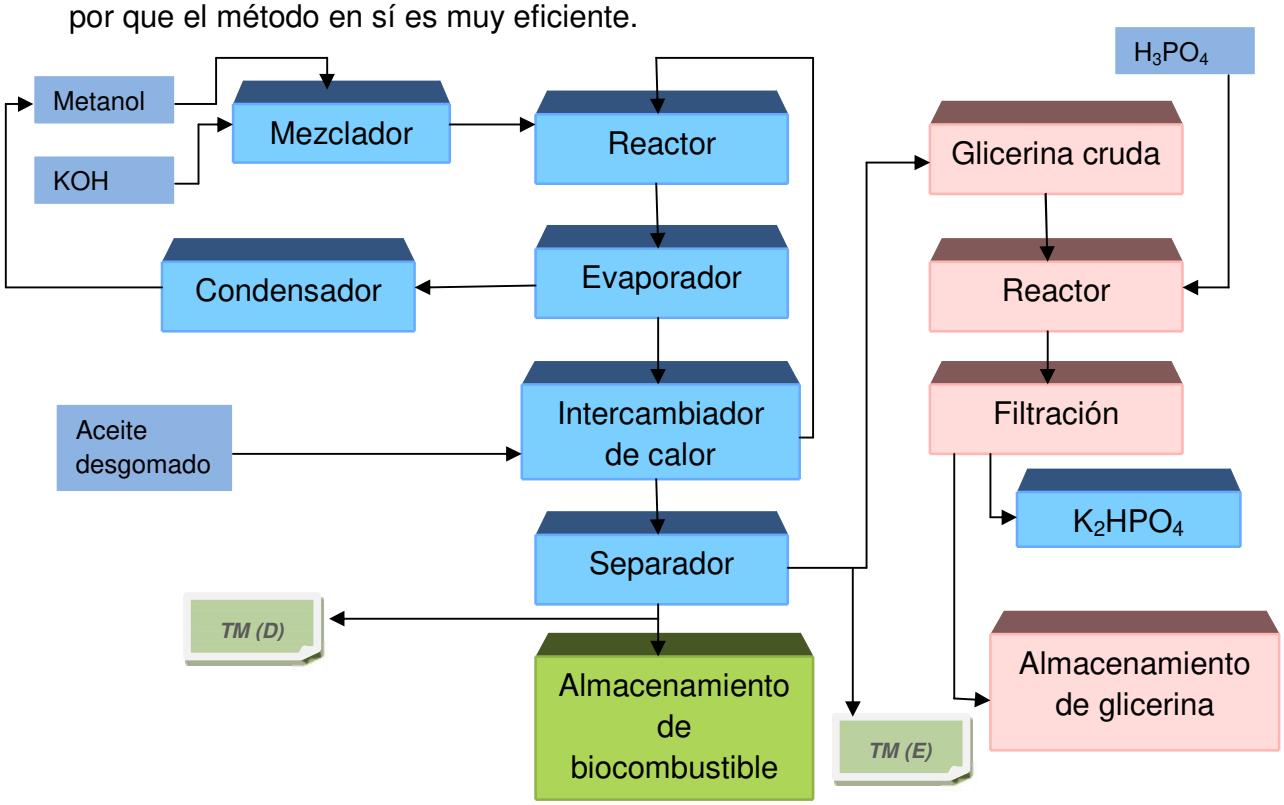
Tanque de almacenamiento de aceite desgomado: similar al de almacenamiento de aceite de ricino desgomado. Es necesario contar con un tanque exclusivo para el aceite de soja para que el servicio ofrecido sea operativo y flexible. Cabe mencionar que este tipo de servicios no incluyen el almacenamiento del producto por tiempo indeterminado; se factura aparte el tiempo transcurrido hasta que el cliente retira el aceite, en concepto de alquiler del tanque y condiciones de almacenamiento.

Depósito de expeller: es necesario contar con un depósito exclusivo para el almacenamiento del expeller de soja, para evitar contaminaciones con los sólidos obtenidos del procesamiento de ricino. Es útil mencionar que en ocasiones el expeller de soja es el producto principal que espera obtener el cliente y el aceite solo un subproducto.

Servicios de laboratorio: los análisis de laboratorio no están incluidos en el servicio de extracción de aceite. Se realizarán solo si el cliente los solicita y los costos estarán incluidos en el total.

Procesos en la planta: sector producción de biocombustible

El método operativo en los procesos que involucran la conversión de aceite de ricino desgomado en biocombustible se separa en dos grandes categorías: continuo y discontinuo o batch. La característica más relevante a la hora de elegir el método más apropiado es la capacidad de producción, ya que el sistema continuo solo se justifica si se procesan grandes volúmenes. Es por esta razón que el proceso adoptado en este sector de la planta es el sistema batch, además por que el método en sí es muy eficiente.



Mezclador - Preparado del catalizador: este equipo posee un cuerpo cilíndrico de acero inoxidable con una turbina que gira a más de 3500 rpm y las fuerzas de corte que genera permiten una eficiente disolución de la sal en el alcohol. Se introduce en el equipo, de forma manual, el peso exacto de hidróxido de potasio (0,5% del total de aceite) y se cierra. A continuación, mediante una bomba, se agrega el alcohol metílico en un volumen 4 veces mayor que la cantidad de triglicérido que se hará reaccionar posteriormente en el reactor. La disolución se lleva a cabo con la máxima velocidad del mezclador durante 30 minutos.

En estas condiciones se logra disolver el hidróxido de potasio en el alcohol metílico para formar metóxido de potasio; es necesario que no queden restos de la base sin disolver ya que podrían reaccionar con los ácidos grasos libres (la presencia de estos depende de la calidad del aceite) y formar jabones. Como se espera que la acidez del aceite sea bajo (baja cantidad de ácidos grasos libres) el principal inconveniente de la formación de jabones es el consumo del catalizador que ya no estará disponible para la reacción de transesterificación. Cabe aclarar que el catalizador es el que aparece en menor proporción entre los compuestos de reacción, por lo que un pequeño cambio en este repercute en el rendimiento del proceso.

Es importante mencionar que bajo ninguna circunstancias debe abrirse el mezclador luego de esta etapa, por los riesgos que genera la posibilidad de volatilización del metanol durante la agitación. Transcurrido los 30 minutos se apaga el equipo y mediante una bomba se deriva el metóxido al reactor.

Por último, esta reacción es exotérmica pero dado que son bajas las proporciones de los reaccionantes no es relevante; no se espera que exista un cambio de temperatura significativo.

Reactor - Reacción de transesterificación: este equipo es un tanque de acero inoxidable con cierre hermético, camisa, manómetro, termómetro y agitador. Aquí se introduce el aceite de ricino desgomado, mediante una bomba, y el metóxido proveniente del mezclador; con el sistema de agitación funcionando en alta velocidad. Una vez introducidas las cantidades necesarias, comienza a circular vapor por la camisa del tanque reactor, proveniente de la caldera, con el objetivo de llevar la tempera de la mezcla líquida a 65°C. A partir del momento de alcanzada la temperatura óptima de reacción, se continúa con alta agitación 45 minutos y luego otros 15 minutos pero con la velocidad de agitación reducida un 50% a fin de que comience a separarse la glicerina.

Pasado los 60 minutos de reacción se detiene la agitación y todo el contenido del reactor se bombea al evaporador.

Evaporación Flash: Como el metanol tiene un punto de ebullición (64,7 °C) mucho más bajo que el biodiesel y que el resto de impurezas que lo acompañan al salir del reactor; el biocombustible crudo se bombea a un evaporador flash en el que se calienta a 75°C y se somete a vacío, para que el metanol se evapore.
Posteriormente, este metanol evaporado y condensado volverá a ser utilizado en la reacción sin necesidad de purificarse, pues en esta etapa se recupera libre de agua.

El metanol se destina al condensador mientras que el biodiesel se deriva al intercambiador de calor para disminuir su temperatura.

Intercambiador de calor: este equipo puede ser de placas, de carcasa y tubos o simplemente un tanque con serpentina. El objetivo es bajar la temperatura del biocombustible, ya sin metanol pero aún con glicerina, aprovechando el calor desprendido para calentar el aceite de ricino destinado al reactor de esterificación.

Condensador: este equipo es similar al utilizado para enfriar el biodiesel. Aquí el metanol será condensado y enfriado para su posterior reutilización. El fluido refrigerante encargado de recibir el calor latente y sensible desprendido del alcohol es el agua para el lavado de las instalaciones.

Separador gravitatorio: este equipo es un tanque cuya parte inferior posee una forma cónica para facilitar la separación de las fases; además cuenta con un visor que se extiende en toda la longitud lateral del tanque que permite visualizar la interfase biodiesel-glicerina.

En esta etapa la mezcla metilésteres-glicerina se deja reposar 30 minutos para permitir la separación en dos fases por diferencia de densidad de los componentes. Transcurrido este tiempo, de forma manual, se retira la glicerina que habrá quedado en la fase inferior y luego el biodiesel menos denso, que formaba la fase superior. Ambos compuestos se envían por canales diferentes para su tratamiento y almacenamiento respectivamente.

El material del tanque puede ser acero inoxidable, aluminio, polietileno fluorado, polipropileno fluorado o teflón.

Toma de muestra (D): se tomaran 100 ml de muestra para determinación de la densidad y el contenido de compuestos de menor densidad que el biodiesel mediante centrifugación.

Tanque de almacenamiento del biocombustible: este tanque puede ser de acero inoxidable o aluminio y en ningún caso poseer partes de plomo, cobre, hojalata o cinc. El exterior del tanque es de fibra de vidrio.

Aquí el biocombustible se almacena para su posterior comercialización.

Toma de muestra (E): se tomaran 100 ml de muestra para determinación, mediante centrifugación, de la cantidad de biodiesel presente en la muestra como impureza. Una alta concentración de este último denota una mala separación, que debe corregirse para evitar pérdidas.

Tanque pulmón de glicerina: este es un tanque simple de acero inoxidable (o materiales no oxidantes), del cual se bombea la glicerina para su purificación hasta alcanzar el nivel de pureza comercial requerido por el mercado. La glicerina proveniente del separador posee impurezas, de las cuales en mayor proporción se encuentran los restos del catalizador (hidróxido de potasio disuelto), además trazas de jabones, de agua, y algo de biodiesel, este último proveniente de una ineficiente separación. La concentración real de la glicerina, ya sin metanol, en este punto del proceso es de aproximadamente 70%, por lo que debe ser purificada aún más para su posterior venta.

Reactor de glicerina: este es un tanque de acero inoxidable con agitador; en él se bombea la glicerina cruda, proveniente del tanque pulmón, y se le adiciona ácido fosfórico puro. La cantidad de este último es la necesaria para llevar la mezcla a un pH cercano a la neutralidad (intervalo de 6,5 a 7); en planta el total de ácido a introducir en el reactor se estima calculando la cantidad necesaria para neutralizar la totalidad del catalizador utilizado en la etapa de transesterificación.

En esta etapa se elimina el hidróxido de sodio, de la glicerina, en forma de cristales de fosfato de potasio.

En el reactor la agitación es constante y el tiempo de residencia es de aproximadamente 7 minutos o menor. El contenido total del reactor se filtra.

Filtración: el equipo más indicado para este propósito es de tipo prensa. Esta etapa separa la glicerina con un nivel de pureza del 95% y fosfato de potasio sólido. La parte líquida se deriva al tanque de almacenamiento para su posterior venta, mientras que durante la limpieza manual del filtro la sal se recupera en bolsas de polipropileno o polietileno que son cerradas térmicamente y llevadas a depósito para su venta a granel.

Tanque de almacenamiento de glicerina: tanque de acero inoxidable (u otro material no oxidante) y exterior de fibra de vidrio, del cual se despacha la glicerina purificada.

Anexo

Seguridad en la manipulación de metanol

Metanol

El metanol es un alcohol volátil, fácilmente inflamable y tóxico por inhalación e ingestión. Debido a esto es necesario el resguardo de la salud de los trabajadores en los procesos que involucren su manipulación directa o indirecta.
Las rutas principales de entrada de metanol al cuerpo son inhalación, absorción a través de la piel como resultado del contacto, contacto con los ojos e ingestión ya sea al comer o beber.

Metabolismo del metanol

El metanol es absorbido fácil y rápidamente por todas las rutas de exposición y se distribuye rápidamente por todo el cuerpo. Los seres humanos absorben del 60% al 85% del metanol inhalado. Los pulmones y riñones excretan una pequeña cantidad sin metabolizar. La velocidad de metabolismo del metanol en el cuerpo es de 25 mg/kg-h (7 veces más lenta que la del etanol) y es independiente de las concentraciones en la sangre. Los seres humanos metabolizan el metanol en formaldehído como primer paso. El formaldehído se convierte después en formiato, que puede ser tóxico a altas concentraciones y, finalmente, en dióxido de carbono y agua. La vida media de eliminación del metanol en el aire que se elimina al respirar después de la exposición oral o dérmica es de 1,5 horas. Debido a su capacidad limitada de metabolizar el formiato en dióxido de carbono, los seres humanos acumulan en el cuerpo el formiato resultante de exposiciones a altas dosis de metanol. Si se sigue generando formiato a una velocidad que exceda su velocidad de metabolización, se establecerá la toxicidad del metanol.

Efectos de la exposición

El metanol puede causar efectos tóxicos graves y a veces mortales de una sola exposición. La preocupación principal se relaciona con la exposición aguda a través de cualquiera de las rutas principales de entrada. Los indicios y síntomas de exposición al metanol no se producen inmediatamente. El tiempo que transcurre entre la exposición y la aparición de los síntomas podría ocasionar diagnósticos equivocados de la causa, particularmente en personas que no sean conscientes de que han estado expuestas, o que desconozcan la naturaleza venenosa del metanol.

Síntomas generales

Sea cual sea la ruta de exposición, la toxicidad del metanol es la misma. Los indicios de efectos tóxicos sistémicos pueden retrasarse de 8 a 36 horas después de la exposición inicial. El metanol irrita los ojos, la piel y el sistema respiratorio. También elimina los aceites y las grasas naturales de la piel, provocando así resequedad y agrietamiento cutáneo. Pueden ocasionarse daños permanentes en el nervio óptico y en el sistema nervioso central y periférico con una sola exposición aguda. Entre otros indicios y síntomas de envenenamiento por metanol figuran dolores de cabeza, mareos, vómitos, fuerte dolor abdominal, dolor de espalda, dificultad para respirar, enfriamiento de las extremidades, letargo y falta de coordinación. La exposición a través de los ojos también puede causar una sensación de quemazón acompañada de lagrimeo, enrojecimiento e inflamación. El contacto directo con el líquido puede causar conjuntivitis y quemaduras en la córnea. La exposición a altas concentraciones puede causar ceguera y muerte.

Higiene y Seguridad en el Trabajo. Resolución 295/03 especificaciones técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas, y sobre radiaciones. Modificación del Decreto N° 351/79. Anexo IV sustancias químicas.

La legislación argentina establece para el metanol una CMP de 200 ppm y una CMP-C de 250 ppm.

La ley recomienda y sugiere para lograr este objetivo un ambiente bien ventilado y en lugares cerrados y estrechos en que se trabaje con metanol, la ventilación forzada.

CMP: concentración media ponderada en el tiempo para una jornada normal de trabajo de 8 horas/día y una semana laboral de 40 horas, a la que se cree pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin efectos adversos.

CMP-C: es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante una exposición en el trabajo.

Métodos Preventivos Establecidos por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de EEUU

Manipulación

Siempre que sea posible, bombee automáticamente el metanol líquido de barriles u otros recipientes de almacenamiento a recipientes de procesamiento para mantener el potencial de exposición a un mínimo. El metanol siempre se debe mantener dentro de sistemas cerrados y no se debe dejar abierto a la atmósfera.

Ventilación

El sistema de ventilación del edificio debe proporcionar aire fresco para la operación normal y debe tomar en consideración la posibilidad de una fuga. En algunos casos podría ser adecuada la ventilación natural; en otros, deberán proporcionarse sistemas mecánicos de ventilación. Los requisitos de ventilación deben determinarse según el sitio específico, pero la meta final es asegurarse de que las concentraciones de metanol en el aire se mantengan por debajo de 200 ppm.

Cuando sea posible, encierre las operaciones y utilice ventilación local de escape adecuada en el sitio de transferencia, uso o fugas de metanol. El tipo de ventilación dependerá de factores como espacios de aire muerto, temperatura del

proceso de metanol, corrientes de convección y sentido del viento. Se deben considerar estos factores al determinar la ubicación, el tipo y la capacidad de los equipos. Si se usa ventilación mecánica, se deben instalar ventiladores a prueba de chispas.

Supervisión de la exposición

El metanol tiene un ligero olor dulce a alcohol, pero no se nota antes de llegar a una concentración de al menos 2000 ppm, que es diez veces superior al límite seguro de exposición a los seres humanos. Debido a que el olor de metanol en sí es un mal indicador de la concentración, es fundamental determinar una medida cuantitativa de exposición. Esto es necesario para garantizar la seguridad de la salud de los trabajadores y para determinar el cumplimiento de todos los reglamentos aplicables.

Las concentraciones de vapor de metanol pueden medirse por medio de tubos de detección de gas de lectura directa (como los tubos de detección colorimétrica) o con instrumentos electrónicos (como los monitores portátiles de gas). Los monitores de gas pueden proporcionar una lectura continua de concentraciones de metanol y se les pueden especificar alarmas a concentraciones específicas.

Equipos de protección personal

Siempre que se use o manipule metanol, puede haber exposición al mismo a través de inhalación, absorción por la piel, contacto con los ojos o ingestión. El nivel de riesgo de exposición al metanol dictará el nivel apropiado de equipos de protección personal requeridos. Como mínimo, se recomienda ponerse protectores laterales o gafas de seguridad con protección a ambos lados, además de guantes apropiados para la tarea que se realice.

Protección del aparato respiratorio

La protección para el aparato respiratorio debe seleccionarse según los peligros presentes y el potencial de exposición. Las máscaras purificadoras de aire con cartuchos de vapor orgánico (OVA) no son protección apropiada contra los vapores de metanol debido a la cortísima vida útil del cartucho OVA. Además, el umbral de olor del metanol puede variar entre 100 y 1500 ppm, así que es posible que el cartucho OVA no proporcione la advertencia adecuada del momento en que los vapores de metanol penetren y la máscara deje de proporcionar protección contra la exposición al metanol. La protección respiratoria recomendada es un equipo respiratorio con tubo de suministro de aire y con careta completa, utilizado en modo de demanda de presión u otro modo de presión positiva.
Si la concentración en el aire de metanol es menor a 200 ppm no es necesario el uso de máscaras pero igual es necesario el uso de guantes y antiparras. Si la concentración es de 200 ppm o mayor debe usarse protección respiratoria.

Ropa y materiales resistentes a productos químicos

Es necesario usar ropa y materiales resistentes a productos químicos si se espera tener contacto repetido o prolongado con metanol en la piel. Ejemplos de dichos materiales son botas de caucho, guantes resistentes y ropa impermeable y resistente. Entre los materiales resistentes a sustancias químicas figuran el caucho butílico y el caucho de nitrilo. Use gafas adecuadas para productos químicos cuando exista la posibilidad de que el metanol (incluido el vapor) haga contacto con los ojos. Puede usarse una mascarilla completa sobre las gafas para obtener una protección adicional, pero no como sustitutiva de las gafas.

Operaciones rutinarias

La electricidad estática puede inflamar el vapor de metanol debido a su inflamabilidad. Por lo tanto, siempre se debe hacer una conexión a tierra y poner a

masa cuando exista el potencial de que haya electricidad estática y se requiere hacerlo para todos los equipos.

Generalmente se usan pinzas de sujeción con puntas de carburo (para garantizar un buen contacto a través de pintura) y sistemas de llenado con tubo profundo para proteger contra el encendido producido por la electricidad estática.

La siguiente es una lista de precauciones adicionales de seguridad que se deben tomar. Es posible que las operaciones especiales o de alto peligro exijan precauciones adicionales:

- Se debe prohibir fumar.
- Debe haber control estricto del acceso de vehículos.
- Debe haber suficiente ventilación para hacer frente a los niveles máximos de vapor que se espera tener en el edificio.
- Es posible que se requiera presión positiva en áreas que no puedan contener metanol, por ejemplo: salas de control, y de equipos de conmutación.
- Es necesario determinar el tamaño de los respiraderos de los tanques de almacenamiento para el desprendimiento de emergencia de vapor calentado por un incendio.
- Los equipos eléctricos deben ser a prueba de explosiones.
- Se recomienda usar espuma formadora de película acuosa resistente al alcohol (ARAFFF) con equipos de suministro de espuma al 6% (con agua) en incendios de metanol.
- Debe haber extintores secos de productos químicos para casos de incendios pequeños. Se debe disponer de un número adecuado de extintores de mano y sobre ruedas.

- Las bocas de incendio deben estar estratégicamente colocadas y contar con mangueras adecuadas.
- Los derrames pequeños deben resolverse con arena, tierra u otro material incombustible absorbente, y luego el área se debe enjuagar con agua. Los derrames mayores deben diluirse con agua y contenerse en diques para luego desecharlos.
- El sistema de iluminación debe estar conectado a tierra. Las estructuras y recipientes altos deben tener conductores de pararrayos bien conectados a tierra.

Manipulación de metanol en la planta de producción de biocombustible de aceite de ricino

Los procesos que involucran el metanol en la planta de producción de biocombustible corresponden al preparado del catalizador (metóxido de potasio) y la recuperación de metanol sometiendo al biocombustible crudo al evaporador.

El preparado del catalizador consiste en colocar de forma manual hidróxido de potasio en el equipo mezclador (tanque con agitador de turbina), cerrarlo, encender la bomba que inyecta metanol en el equipo, encender el agitador durante 30 minutos y descargar el tanque del mezclador mediante otra bomba.

Existen dos situaciones que podrían exponer al operario a vapores de metanol, la primera es considerar una hipotética pérdida del equipo y la segunda es al destapar el mezclador una vez vacio para volver a preparar catalizador.

Teniendo en cuenta que la tapa del equipo es pequeño al igual que el volumen libre que queda en el tanque mezclador, que se trabaja a temperatura ambiente y que el equipo se abrirá al cabo de mínimamente tres horas luego de haber sido vaciado, la posibilidad de que la atmosfera del lugar de trabajo llegue a

contaminarse con una concentración de 200 ppm o más de metanol es casi imposible. Por lo expuesto la ventilación natural con la que contará la planta (no presenta paredes y posee extractores en el techo) es suficiente para proteger la salud de los trabajadores, resguardando el sistema respiratorio de los mismos.

En lo que respecta al contacto con dicho alcohol será obligatorio el uso de antiparras y guantes para preparar el catalizador.

Por otro lado el evaporador con el que se recupera metanol a partir del biocombustible crudo que sale del reactor de transesterificación, es un equipo exclusivo para dicho proceso por lo que su diseño está desarrollado para evitar cualquier tipo de pérdidas y sí de todos modos existieran posee sensores que alertan sobre estas fugas. Para prevenir problemas referentes a un hipotética pérdida, el extractor de aire colocado en el techo justo encima del evaporador será del tipo mecánico anti chispas.

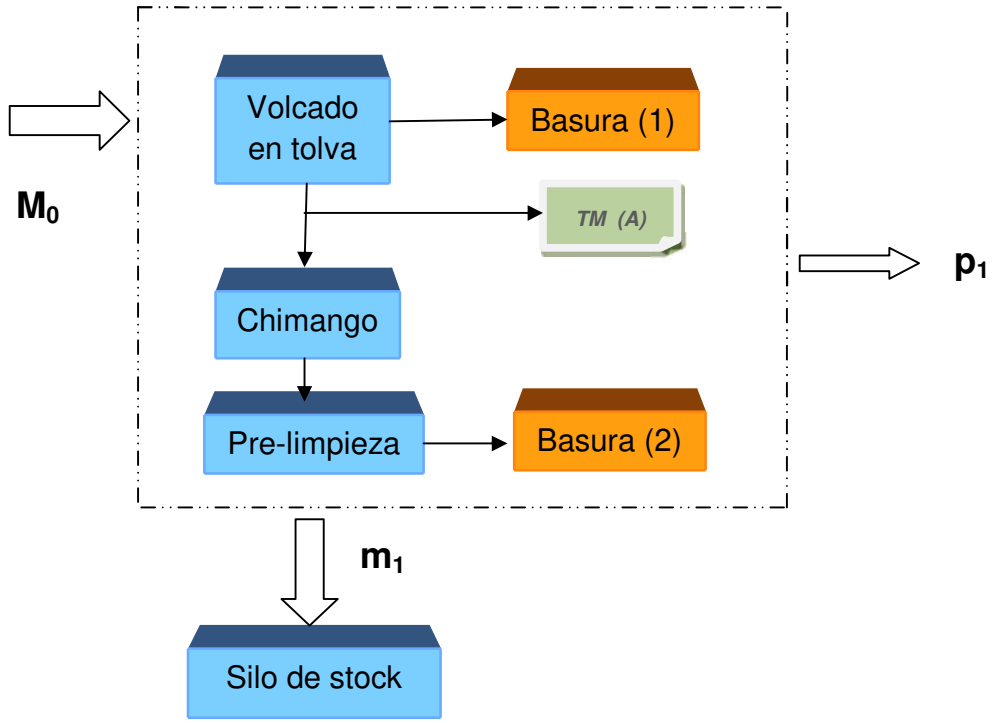
CAPÍTULO 7

BALANCE DE MASA Y ENERGIA

Balance de masa en la planta de extracción de aceite

Volcado en tolva

El caudal de volcado en tolva no es constante ya que el proceso de descarga de camiones es manual; por este motivo se lo determina dividiendo la carga total descargada por el tiempo que lleva la operación. Un camión traslada un peso promedio de granos igual a 27000kilos.



Se consideran las pérdidas que se producen durante el volcado en tolva, denominadas en el cuadro anterior como basura 1 (inorgánicos muy grandes) y las

pérdidas de granos por caídas fuera de la tolva, toma de muestra y los que quedan en el camión.

En la pre-limpieza las pérdidas de peso son superiores a las etapas anteriores y se derivan como basura 2 (Inorgánicos grandes, ejemplo alambres, sogas, maderas), sin embargo las pérdidas de granos son mínimas y se presentan en caso de existir frutos enteros mezclados en el lote de semillas.

Cabe aclarar que existe la posibilidad de recibir las semillas con un proceso de limpieza previo, en este caso no se realiza la pre-limpieza.

Del área limitada en la anterior figura para efectuar el balance de masa se desprende:

$$M_0 = m_1 + p_1$$

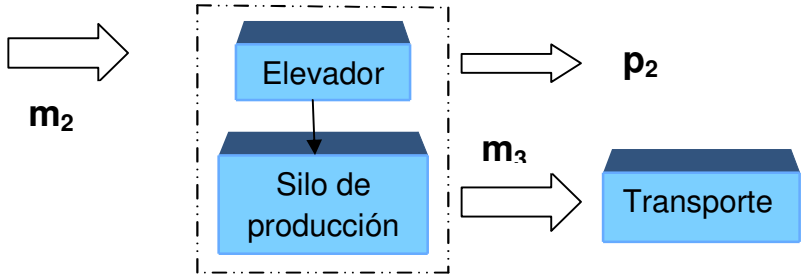
Donde:

- **M_0**, caudal de granos de ricino provenientes de los camiones (dos). Equivale a 27 toneladas/hora.
- **m_1**, caudal de granos de ricino que son introducidos al silo de stock.
- **p_1**, pérdidas de granos de ricino equivalentes al 0,13% del total de granos.

$$27\frac{ton}{h} = m_1 + 0{,}035\ \frac{ton}{h}$$

$$m_1 = 26{,}96\frac{ton}{h}$$

Silo de producción



Las pérdidas que se producen en los silos y en los sistemas de transportes siempre son de muy baja magnitud. Se trata de sistemas cerrados y están diseñados para evitar la pérdida de los granos.

El caudal $\mathbf{m_2}$ debe ser menor que el caudal $\mathbf{m_1}$ para permitir el llenado del silo de stock en caso de que se procese los granos de ricino al mismo tiempo que se produce la descarga de camiones. Además $\mathbf{m_2}$ debe ser mayor al caudal que demanda al menos una de las extrusoras instaladas en la planta (2 ton/h) por si surge la situación de tener que trabajar directamente del silo de stock.

El caudal $\mathbf{m_3}$ debe ser mayor o igual al mínimo que demanda una extrusora y menor a $\mathbf{m_2}$.

$$Caudal\ acumulado = m_2 - (m_3 + p_2)$$

Donde:

- El caudal acumulado es aquel con que se llena el silo de producción.
- $\mathbf{m_2}$, caudal de granos de ricino provenientes del silo de recepción. Equivale a 16 toneladas/hora.

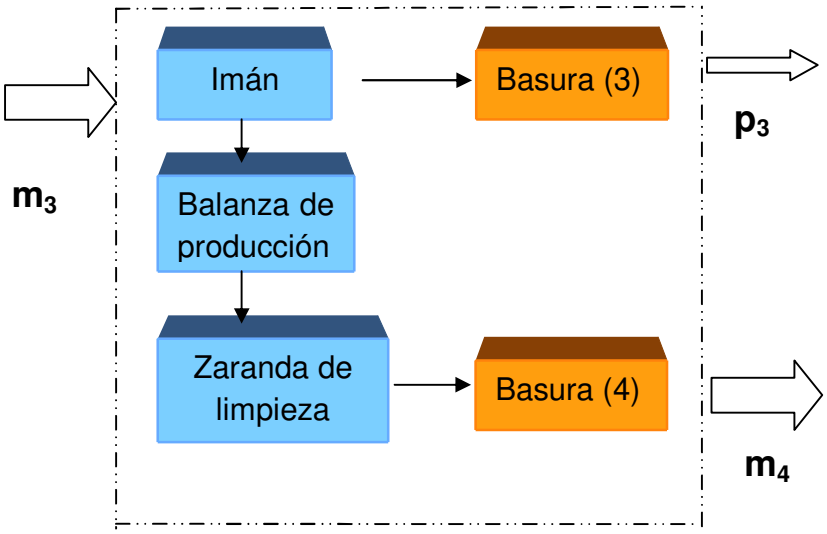
- **m_3**, caudal de granos de ricino destinado al proceso de limpieza. Equivale a 6,1 ton/h.
- **p_1**, pérdidas de granos de ricino equivalentes al 0,03% del total de granos en el caudal de ingreso.

$$\boldsymbol{Caudal\ acumulado} = 16\frac{ton}{h} - (6{,}1\frac{ton}{h} + 4{,}8\,.10^{-3}\frac{ton}{h})$$

$$\boldsymbol{Caudal\ acumulado} = \mathbf{9{,}89}\frac{\boldsymbol{ton}}{\boldsymbol{h}}$$

Este es el caudal con el que se llena el silo de producción en el caso de que esta operación se produzca mientras se procesan los granos de ricino.

Limpieza



En esta etapa de limpieza se pierde un 0,43% de granos de ricino; principalmente en la zaranda que elimina granos partidos o dañados junto con la basura 4 (inorgánicos finos) y además granos enteros que caen al piso producto de golpes

entre los mismos por las vibraciones propias del equipo. La zaranda de limpieza es uno de los equipos cuya adaptación para el proceso de ricino es más difícil.

$$n_3 = n_4 + p_3$$

Donde:

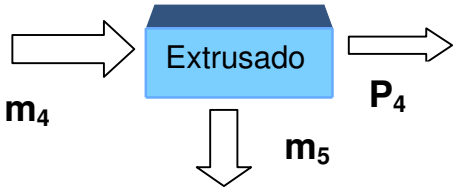
- **m_3**, es el caudal de granos de ricino provenientes del silo de producción. Equivale a 6,1 ton/h.
- **m_4**, es el caudal de granos de ricino que son destinados a las extrusoras (tres).
- **p_3**, son las pérdidas de granos en todo el proceso de limpieza; aproximadamente representan el 0,43% del caudal de ingreso **m_3**.

$$m_4 = 6{,}1\frac{ton}{h} - 0{,}0262\frac{ton}{h}$$

$$n_4 = 6{,}07\frac{ton}{h}$$

Extrusora

La extrusora presenta una pérdida de materia prima cercana al 0,5% durante su puesta en régimen, proceso que se produce en poco tiempo; luego las pérdidas se ubican por debajo del 0,03%.



Donde:

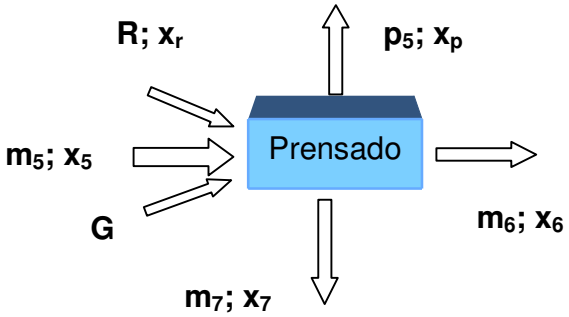
- **m_4**, es el caudal de granos de ricino que proviene de la etapa de limpieza. Equivale a 6,07 ton/h.
- **m_5**, caudal de masa porosa de ricino (expeller) producto del extrusado de las semillas.
- **p_4**, pérdidas que se producen relacionadas con retenciones de materia en las partes fijas del equipo (que son retiradas con la limpieza) y mínimamente por evaporación de agua al descomprimirse la pasta de salida con temperaturas de aproximadamente 105°C. Estás equivalen al 0,03% del caudal entrante.

$$m_4 = m_5 + p_4$$

$$m_5 = 6{,}07\frac{ton}{h} - 1{,}82 \cdot 10^{-3}\frac{ton}{h}$$

$$\boldsymbol{m_5 = 6{,}068\frac{ton}{h}}$$

Prensado



Donde:

- **m_5**, es el caudal de expeller de ricino proveniente de las extrusoras; equivale a 6,068 ton/h. **X_5** es la proporción de aceite en la masa que ingresa a las prensas y equivale al 50% de **m_5**.
- **R**, son los sólidos (impurezas del aceite) reciclados desde el requechero y representan 0,23 ton/h. **X_r**, es la proporción de aceite en la corriente **R**, equivale al 10% de esta última.
- **G**, es el caudal de gomas proveniente del proceso de desgomado. Esta corriente está libre de aceite y su función es mejorar la pasta haciendo así más eficiente el prensado. Equivale a 0,091 ton/h.
- **m_7**, es el caudal de aceite que contiene un 10% de residuos sólidos. **X_7** es la proporción de aceite contenido en m_7.
- **m_6**, es el caudal de expeller de ricino que sale con baja proporción de materia grasa luego del prensado. **X_6** es la proporción de aceite que queda aún en los sólidos ya prensados; equivale al 7% de la masa de expeller.
- **p_5**, pérdidas de pasta de ricino que se producen en las prensas; son propias del equipo; equivalen a 0,00182 ton/h. **Xp** es la proporción de aceite junto con los sólidos que se pierden, equivale al 50% de estos últimos.

Balance de masa

$$m_5 + R + G = m_6 + m_7 + p_5$$

$$6.068\frac{ton}{h} + 0{,}23\frac{ton}{h} + 0{,}091\frac{ton}{h} = m_6 + m_7 + 1{,}82\,.10^{-3}\,\frac{ton}{h}$$

(Ecuación α)

$$\boldsymbol{m_6 = 6{,}39\frac{ton}{h} - m_7}$$

Balance global

$$m_5 \,.x_5 + R\,.x_r = m_6\,.x_6 + m_7\,.x_7 + p_5\,.xp$$

Utilizando la ecuación α:

$$6.068\frac{ton}{h}\,.0{,}5 + 0{,}23\frac{ton}{h}.\,0{,}1 = \left(6{,}39\frac{ton}{h} - m_7\right).\,0{,}07 + \,m_7\,.0{,}9 + \,1{,}82\,.10^{-3}\,\frac{ton}{h}\,.0{,}5$$

$$m_7\,.(0{,}90 - \,0{,}07) \,=\, 3{,}057\frac{ton}{h} - (0{,}4473\frac{ton}{h} + 9{,}1\,.10^{-4}\frac{ton}{h})$$

$$\boldsymbol{m_7 = 3{,}14\frac{ton}{h}}$$

Luego:

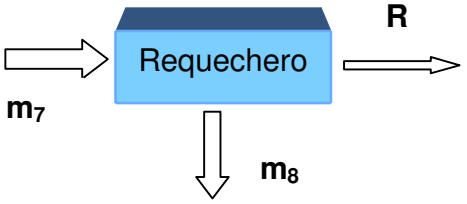
$$m_6 = 6{,}39\frac{ton}{h} - 3{,}14\frac{ton}{h}$$

$$\boldsymbol{m_6 = 3{,}25\frac{ton}{h}}$$

A partir de este punto del proceso la corriente principal es aceite de ricino con impurezas sólidas.

Requechero

Este equipo no se acostumbra a limpiar en la industria, en los primeros días de uso suele quedar cubierto con una capa de aceite que permanece a lo largo de su vida útil; por lo que no representa una pérdida neta de materia prima.



Donde:

- **m_7**, es el caudal de aceite de ricino proveniente de la prensa y equivale a 3,25 ton/h. Posee un 10% de impurezas sólidas.
- **m_8**, es el caudal de aceite de ricino que ha sido reducido en sólidos en un 8%.
- **R**, es el caudal de sólidos que han sido retirados del aceite y se reciclan a las prensas. Equivale a 0,23 ton/h.

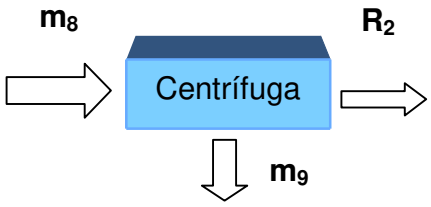
$$m_7 = m_8 + R$$

$$3{,}25\frac{ton}{h} = m_8 + 0{,}23\frac{ton}{h}$$

$$\boldsymbol{m_8 = 3{,}02\frac{ton}{h}}$$

Centrífuga

Este es otro equipo en el que las pérdidas de materia prima son insignificantes.



Donde:

- **m_8**, es el caudal de aceite de ricino, ya despojado de sólidos gruesos, proveniente del requechero. Equivale a 3,02 ton/h.
- **m_9**, es el caudal de aceite de ricino sin residuos sólidos. Este aceite ya está listo para el último proceso de refinación de esta planta, el desgomado.
- **R_2**, es el caudal de sólidos finos que se retiran del aceite de ricino. Estos sólidos no poseen aceite (al menos no de forma medible con el método Soxhlet) y equivale al 2% de **m_7**.

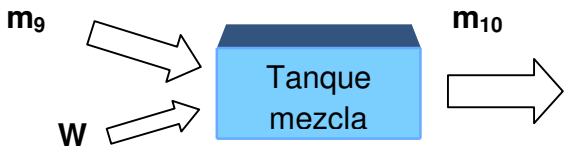
$$m_8 = m_9 + R_2$$

$$m_9 = 3{,}02\frac{ton}{h} - 0{,}065\frac{ton}{h}$$

$$\boldsymbol{m_9 = 2{,}96\frac{ton}{h}}$$

Desgomado-Mezcla

La primera parte del proceso de desgomado es una etapa batch, en la que se carga un tanque de 8,3 m^3 de capacidad y se calienta con agitación.



Donde:

- **m_9**, es la corriente de aceite de ricino libre de sólidos. Equivale a 2,96 ton/h.
- **W**, es el caudal de agua necesario para hidratar las gomas presentes en el aceite de ricino crudo. Equivale al 3% de la corriente **m_9**.
- **m_{10}**, es el caudal de aceite de ricino con gomas ya hidratadas. Estas últimas están suspendidas en el aceite y tienden a precipitar muy lentamente.

Tiempo de llenado del tanque

La corriente **m_9** determinará el tiempo de llenado del tanque ya que el caudal de agua es considerablemente menor. Teniendo en cuenta que la densidad del aceite, a 40°C, es 965 kg/m^3 y que por cada tonelada de aceite se agregará 0,03 toneladas de agua:

$$\textbf{Tiempo de llenado} = \frac{Capacidad\ del\ tanque}{\frac{m_9}{densidad\ del\ aceite} + \frac{W}{densidad\ del\ agua}}$$

$$\textbf{Tiempo de llenado} = \frac{8{,}3\ m^3}{\left(\frac{2{,}96\frac{ton}{h}\ .1000\frac{kg}{1ton}}{965\frac{kg}{m^3}} + \frac{0{,}089\frac{ton}{h}\ .1000\frac{kg}{ton}}{1000\frac{kg}{m^3}}\right)} = \mathbf{2{,}63\ h}$$

El tiempo de llenado de un tanque es de 2 horas 38 minutos.

Balance de masa en el tanque

$$m_{10} = (m_9 + W).tiempo\ de\ llenado$$

$$m_{10} = \left(2{,}96\frac{ton}{h} + 0{,}089\frac{ton}{h}\right).2{,}63h$$

$$\boldsymbol{m_{10} = 8{,}02\ toneladas}$$

El total calculado de masa en el tanque está conformado por 7,552 toneladas de aceite de ricino libre de gomas más 0,4682 toneladas de gomas hidratadas.

Vaciado del tanque

Teniendo en cuenta que se contará en la planta con dos tanques de 8,3 m^3 cada uno que trabajaran de forma alternada, pero habrá una sola centrífuga; la velocidad con que se producirá el vaciado de cada tanque para la etapa posterior del desgomado (centrifugación), no deberá ser menor que:

$$Tiempo\ de\ vaciado = tiempo\ de\ llenado - tiempo\ del\ proceso\ de\ hidratación$$

Donde:

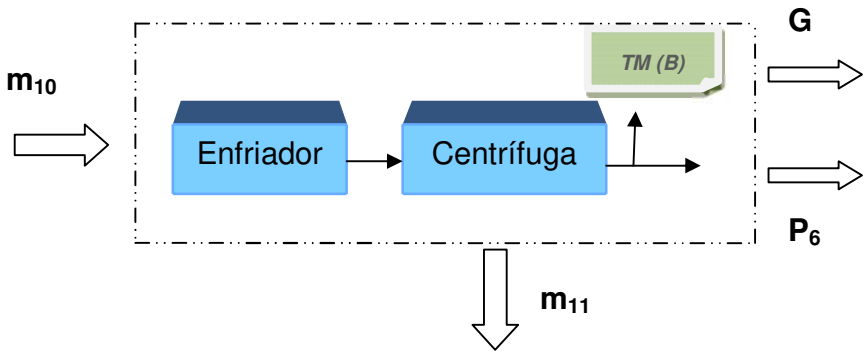
- El tiempo de llenado es 2,63 horas.

- El tiempo del proceso de hidratación equivale a la suma del tiempo de calentamiento de la masa contenida en el tanque (90 minutos), mas el tiempo de agitación para lograr cumplir con esta etapa (30 minutos).

$$Tiempo\ de\ vaciado = 2{,}63\ horas - (1{,}5\ horas - 0{,}5\ horas) = \mathbf{0{,}63\ horas}$$

Por lo que el tiempo de vaciado mínimo será de 38 minutos. Este dato es importante para determinar el caudal que alimentará la centrífuga en la última etapa del desgomado.

Desgomado-Centrifugación



Donde:

- **m_{10}**, es la corriente de aceite de ricino líquido con una masa de fosfolípidos (gomas) hidratados formando una fase semisólida en el medio. Equivale a 12,73 ton/h.
- **m_{11}**, es el caudal de aceite de ricino desgomado que se destina al tanque de almacenamiento, para su posterior transformación en la planta de producción de biocombustible.

- **P6**, son las pérdidas de materia prima que se producen en este proceso. Incluyendo la toma de muestras; equivale a 0,001 ton/h.
- **G**, es el caudal de gomas que se extraen del aceite de ricino crudo. Equivale al 0,4682 ton/h.

$$m_{10} = m_{11} + G + P_6$$

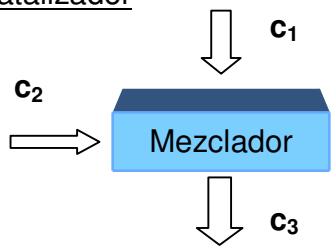
$$m_{11} = 12{,}73\frac{ton}{h} - \left(0{,}4682\frac{ton}{h} + 0{,}001\frac{ton}{h}\right)$$

$$m_{11} = 12{,}26\frac{ton}{h}$$

Este valor obtenido es el caudal con el que se llenará el tanque de almacenamiento de aceite de ricino desgomado.

Balance de masa en la planta de producción de biocombustible

Preparado del catalizador



Donde:

- **c_2**, es la masa de KOH y equivale a 0,0415 toneladas.

- **c_1**, es la cantidad de metanol necesaria para la reacción de esterificación posterior. Equivale a 4 veces el volumen de triglicéridos o lo que es lo mismo 10% del volumen total de aceite de ricino, esto es 0,83 m^3.
- **c_3**, es la corriente de metóxido de potasio (diluido en metanol) ya preparado para la siguiente etapa, a llevarse a cabo en el tanque de transesterificación.
- La densidad del metanol es 792 kg/ m^3.

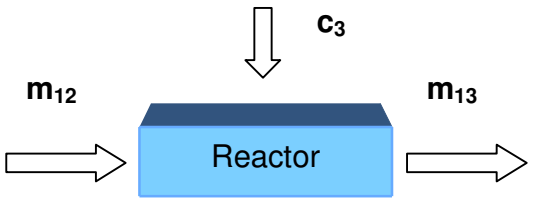
$$c_3 = c_1 \,.\, densidad\, metanol + c_2$$

$$c_3 = 0{,}83 m^3 . 792 \frac{kg}{m^3} + 41{,}5 kg = 698{,}86\ kg$$

$$c_3 = 0{,}70\ toneladas$$

Proceso de transesterificación

Esta etapa es batch, en la que las corrientes de reactivos se mezclan y calientan con constante agitación en el tanque reactor.



Donde:

- **m_{12}**, es el caudal de aceite de ricino desgomado proveniente del tanque de almacenamiento de la planta de extracción. Equivale a 10 ton/h.

- **c_3**, es el caudal de metóxido de potasio (diluido en metanol) necesario para la reacción. Equivale a 0,93 ton/h.
- **m_3**, es el caudal de biocombustible con restos de metanol sin reaccionar, catalizador y glicerina (biocombustible crudo).
- Densidad del aceite de ricino, 965 kg/m^3.

Balance de masa para el tanque lleno

$$m_{13} = m_{12} \,.\, densidad\ del\ aceite + c_3$$

$$m_{13} = 8{,}3m^3 \,.965\frac{kg}{m^3} \,.\frac{1ton}{1000kg} + 0{,}7ton$$

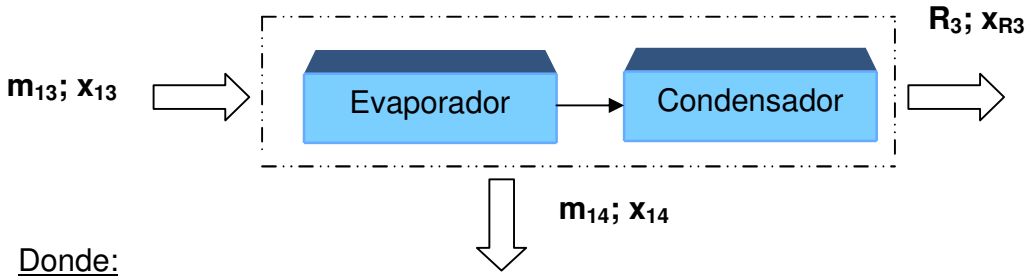
$$\boldsymbol{m_{13} = 8{,}71\ toneladas}$$

Al transcurrir la reacción se consume metanol, se forma glicerina (densidad, 1260 kg/m^3) y el catalizador permanece en su totalidad disuelto en el medio; por esta razón la corriente **m_{13}** está formada por:

- 0,493 toneladas de metanol.
- 0,0415 toneladas de hidróxido de potasio.
- 0,26 toneladas de glicerina.
- 7,92 toneladas de biocombustible.

Esta corriente será evacuada al evaporador; el tiempo de vaciado del tanque reactor no será una variable determinante ya que todo el proceso (mezcla-calentamiento-agitación) ocurre en un total de 2,8 horas; suficiente como para permitir, en la planta de extracción, la producción de aceite de ricino necesario para volver a llenarlo.

Recuperación de metanol



Donde:

- $\mathbf{m_{13}}$, es el caudal másico en estado líquido, sin diferenciación de fases, proveniente del tanque reactor. Equivale a 10,9 ton/h.
- $\mathbf{x_{13}}$ es la proporción peso en peso de metanol en la corriente $\mathbf{m_{13}}$ y equivale a 0,057.
- $\mathbf{m_{14}}$, es el caudal de biocombustible ya sin metanol disuelto.
- $\mathbf{x_{14}}$ es la proporción peso en peso de metanol en la corriente $\mathbf{m_{14}}$ y equivale a $3{,}44 \times 10^{-4}$.
- $\mathbf{R_3}$, es el caudal de metanol recuperado (con $\mathbf{x_{R3} = 1}$).

$$m_{13} = m_{14} + R_3$$

$$m_{14} = 10{,}9\frac{ton}{h} - R_3 \qquad \textit{(Ecuación κ)}$$

Balance global

$$m_{13}.x_{13} = m_{14}.x_{14} + R_3.x_{R3}$$

Con los datos de la ecuación κ:

$$10{,}9\frac{ton}{h}.0{,}057 = \left(10{,}9\frac{ton}{h} - R_3\right).3{,}44 \times 10^{-4} + R_3.1$$

$$(0{,}621 - 0{,}004)\frac{ton}{h} = R_3 - 3{,}44 \times 10^{-4} R_3$$

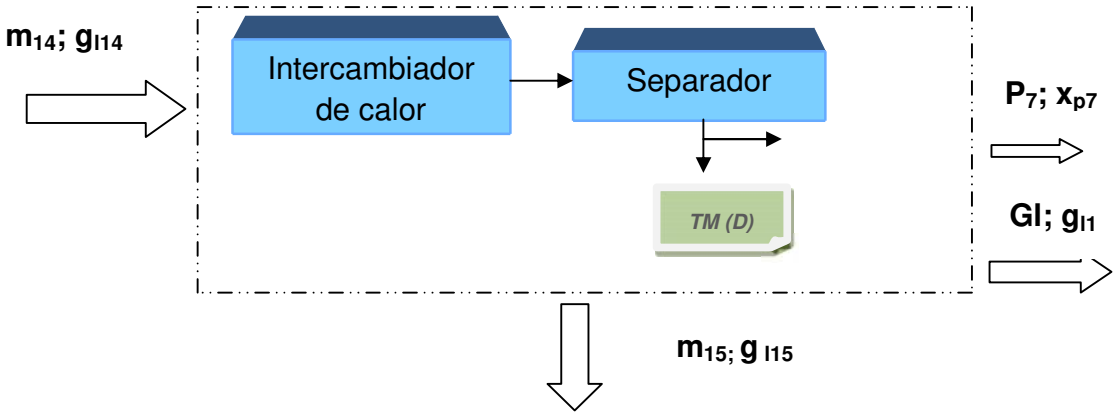
$$\boldsymbol{R_3 = 0{,}61\ ton/h}$$

Luego:

$$\boldsymbol{m_{14} = 10{,}29\ ton/h}$$

Separación de glicerina

Este es un proceso batch. La corriente que ingresa, luego de pasar por el intercambiador de calor, se acumula en el tanque separador y permanece allí durante 30 minutos; luego se separa en dos corrientes.



Donde:

- **m_{14}**, caudal de biocombustible con alto grado de glicerina. Equivale 10,29 ton/h.
- **g_{l14}**, es la proporción peso en peso de glicerina (con hidróxido de potasio disuelto) en la corriente **m_{14}**. Equivale a 0,037.

- **m_{15}**, es el caudal de biocombustible terminado que se destina al tanque de almacenamiento para su posterior comercialización.
- **g_{l15}**, es la proporción peso en peso de glicerina (con hidróxido de potasio disuelto) en la corriente **m_{15}**. Equivale a 0,0007.
- **Gl**, es el caudal de glicerina, formada en el proceso de transesterificación, que se extrae del biocombustible.
- **g_{l1}**, es la proporción peso en peso de glicerina en la corriente **Gl**. Equivale a 1.
- **P_7**, son las pérdidas de biocombustibles que se producen en esta etapa incluyendo las tomas de muestras. Equivale a 0,004 ton/h.
- **x_{p7}**, es la proporción peso en peso de glicerina impura en la corriente **P_7**. Equivale a 0,02.

Es importante aclarar que el catalizador (hidróxido de potasio) se encuentra disuelto solamente en la glicerina. Además, ya que el método de separación es gravitatorio, admitir que la corriente de biocombustible está libre de glicerina o presenta una muy baja proporción de esta, equivale a la existencia de mayores pérdidas del biodiesel de aceite de ricino producido.

$$m_{14} = m_{15} + G_l + P_7$$

$$10{,}29\frac{ton}{h} = m_{15} + G_l + 0{,}004\frac{ton}{h}$$

$$G_l \approx 10{,}286\frac{ton}{h} - m_{15} \qquad \textit{(Ecuación β)}$$

Balance global

$$m_{14} \cdot gl_{14} = m_{15} \cdot g_{l15} + G_l \cdot gl_1 + P_7 \cdot x_{p7}$$

Con datos de la ecuación β:

$$10{,}29\frac{ton}{h}\ .0{,}037 = m_{15}.\,0{,}0007 + \left(10{,}286\frac{ton}{h} - m_{15}\right).1 + 0{,}004\frac{ton}{h}\ .0{,}02$$

$$m_{15} = \frac{(10{,}2861 - 0{,}381)\frac{ton}{h}}{(1 - 0{,}0007)}$$

$$\boldsymbol{n_{15} = 9{,}912\frac{ton}{h}}$$

Luego:

$$\boldsymbol{G_l = 0{,}374\frac{ton}{h}}$$

Multiplicando la corriente **m_{15}** por el tiempo que demanda el llenado del tanque separador (0,8 horas) se obtiene el mismo valor en biocombustible que el detallado en la corriente **m_{13}**.

$$Cantidad\ de\ biocombustible = m_{15}\ .0{,}8\ horas = 9{,}912\frac{ton}{h}.\,0{,}8\ h$$

$$Cantidad\ de\ biocombustible = \boldsymbol{7{,}93\ ton}$$

Además teniendo en cuenta la densidad del biocombustible de aceite de ricino (936,05 Kg/m^3 a 25°C) se obtiene el volumen:

$$Volumen\ de\ biocombustible = \frac{(7{,}93\ ton\ .1000\frac{kg}{ton})}{936{,}05\ kg/m^3} = \boldsymbol{8{,}47 m^3}$$

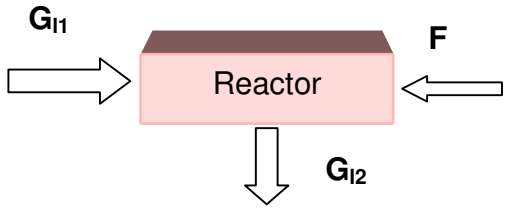
El volumen hallado demuestra que la conversión de aceite a biocombustible fue de 1:1; es decir que con 8,3 m^3 de aceite de ricino se obtuvieron 8,3 m^3 de biodiesel.

Esto es lo que se espera en toda industria de producción de este tipo de combustible.

Purificación de la glicerina obtenida

Neutralización del hidróxido de potasio

Este proceso es batch, en el que se llena el tanque reactor con volumen menor al de su capacidad (0,3 m^3 de volumen útil), se agrega ácido fosfórico, se agita por siete minutos y se vacía hacia la próxima etapa.



Donde:

- **G_{l1}**, es la corriente proveniente del tanque de almacenamiento de glicerina cruda que se obtuvo en el proceso de separación. Equivale a 1,99 ton/h.
- **F**, es la cantidad de ácido fosfórico necesaria para neutralizar el total del hidróxido de potasio presente en la corriente **G_{l1}**. Teniendo en cuenta que un mol del ácido neutralizan dos moles del hidróxido de potasio y que este último está presente en un total de 0,04 toneladas en el reactor lleno; equivale a 0,035 toneladas de H_2PO_4.
- **G_{l2}**, es la corriente de glicerina con cristales de fosfato de potasio.

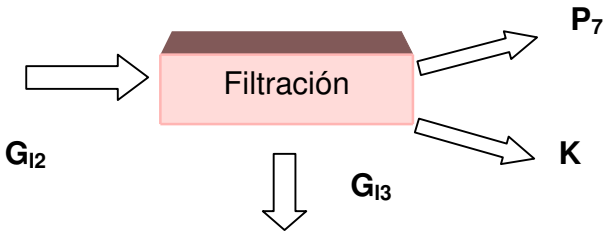
El proceso de llenado del tanque reactor demanda 0,15 horas, por lo que:

$$G_{l2} = (G_{l1}).tiempo\ de\ llenado + F$$

$$G_{l2} = \left(1{,}99\frac{ton}{h}\right).0{,}15\ h + 0{,}035 = \mathbf{0{,}334\ ton}$$

Filtración

El proceso de filtración del contenido del tanque reactor se lleva a cabo en 15 minutos.



Donde:

- **G_{l2}**, es el caudal de glicerina con cristales de fosfato de potasio. Equivale a 1,34 ton/h.
- **G_{l3}**, es el caudal de glicerina, lista para su comercialización, destinado al tanque de almacenamiento.
- **K**, es la corriente de fosfato de potasio que se destina a depósito para su envasado y comercialización. Equivale a 0,248 ton/h.
- **P_7**, son las pérdidas de productos de la corriente **G_{l2}** en esta etapa. Equivale a al 0,04 % del caudal de entrada.

$$G_{l2} = G_{l3} + K + P$$

$$1{,}34\frac{ton}{h} = G_{l3} + 0{,}248\frac{ton}{h} + 0{,}00054\frac{ton}{h}$$

$$\boldsymbol{G_{l3} = 1{,}09\frac{ton}{h}}$$

Balance de Energía en la Planta de Extracción y Biocombustible

Tanque mezcla para desgomado

En la planta se contará con dos tanques de capacidad útil de 8,3 m^3. Trabajarán de forma alternada e independiente; durante el proceso de extracción de aceite de ricino se llenará uno en el total de 2 horas 38 minutos y se procederá al calentamiento y agregado de agua mientras se comienza a llenar con aceite el segundo tanque.

Datos a considerar:

Volumen del tanque = 8,1 m^3	Presión de trabajo = 3 kg/cm^2
Temperatura inicial del aceite = 45°C	Calor latente vapor (λ) = 517,3 kcal/kg
Temperatura final del aceite = 75°C	Volumen de agua = 0,243 m^3
Densidad del aceite a 40°C = 0,965 kg/l	Temperatura inicial del agua = 20°C
Cp del aceite = 0,43 Kcal/kg °c	Temperatura final del agua = 75°C
	Cp del agua = 1kcal/kg °C
	Densidad del agua = 1000 kg/m^3

Demanda de vapor del calentamiento de aceite

$$mv.\lambda = m\,aceite\,.\,Cp\,aceite\,.\,(Tf - Ti)$$

$$mv.517\frac{kcal}{kg} = 8{,}1 m^3\,.\,965\frac{kg}{m^3}.0{,}43\frac{kcal}{kg\,°C}.(75°C - 45°C)$$

$$\mathbf{mv = 195{,}03\,kg}$$

Demanda de vapor del calentamiento del agua

La cantidad detallada de agua se agrega en el tanque ya con el total de aceite (con agitación) y si bien es el aceite el que calienta el agua, la temperatura de la masa total de líquido no sufre ningún cambio apreciable. De todas formas se calcula la demanda de vapor producto de este agregado.

$$mv.\lambda = m\,agua\,.\,Cp\,agua\,.\,(Tf - Ti)$$

$$mv.517\frac{kcal}{kg} = 0{,}243 m^3\,.\,1000\frac{kg}{m^3}.1\frac{kcal}{kg\,°C}.(75°C - 20°C)$$

$$\mathbf{mv = 25{,}85\ kg}$$

La masa de vapor para llevar a cabo el calentamiento del aceite en el tanque mezcla es de **220,88 kg**; el calentamiento se lleva a cabo en un tiempo de 90 minutos por lo que el caudal de vapor para esta operación es de **147,25 kg/h**. Este es el consumo de vapor para uno de los dos tanques de mezclado, por lo que en una jornada laboral la cantidad de vapor utilizada en esta etapa se duplica.

Intercambiador de calor – Enfriador

El aceite de ricino sale del tanque de mezcla con una temperatura de 75°C y antes de pasar por la centrífuga se reduce esta temperatura a 45°C que es la óptima para el proceso de centrifugación. Las fosfátidos presentes en el aceite de ricino, una vez hidratados, tienden a aglomerarse y separarse de la fase triglicéridos, inclusive arrastran agua (de haber en el medio) mientras decantan; este proceso ocurre de manera mucho más acentuada a una temperatura de 45°C. El calor a extraer de estos últimos es despreciable frente al de la masa de aceite.

El refrigerante es el agua que se utilizará para el lavado de la planta.

Datos a considerar:

Temperatura inicial del aceite = 75°C	Temperatura inicial del agua = 20°C
Temperatura final del aceite = 45°C	Cp del agua = 1kcal/kg °C
Densidad del aceite a 40°C (ρ) = 965 kg/m^3	Densidad del agua = 1000kg/m^3
Cp del aceite = 0,43 Kcal/kg °c	Temperatura final del agua = 60°C
Caudal de aceite = 12,86 m^3/h	
Volumen aceite = 8,1 m^3	

Calor a extraer del aceite:

$$Q = m\,aceite \,.\, \rho\, aceite \,.\, Cp\, aceite \,.\, (t_f - t_i)$$

$$Q = 12{,}86\,\frac{m^3}{h} . 965\frac{kg}{m^3} . 0{,}43\frac{kcal}{kg\,°c} . (75°C - 45°C)$$

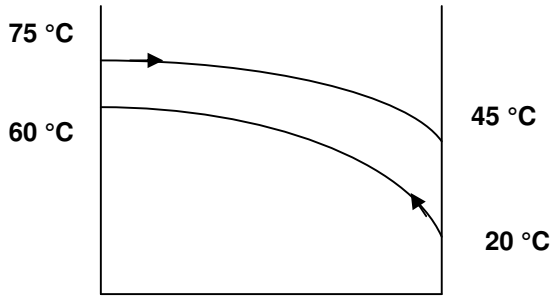
$$\mathbf{Q = 160087{,}71\frac{kcal}{h}}$$

Teniendo en cuenta que el proceso se lleva a cabo en 38 minutos, el calor total desprendido asciende a **100855,26 kcal**. Este último es absorbido por el agua en el intercambiador de calor. Las características de este equipo serán tal que el agua a la salida del mismo tendrá una temperatura de 60°C. Por ello:

$$Q = A \,.\, U \,.\, \Delta Tml \quad \text{(Ecuación π)}$$

Donde:

- A×U = características mínimas buscadas en el intercambiador de calor (área de intercambio por coeficiente de transmisión de calor).
- ΔTml = temperatura media logarítmica.
- Q = calor desprendido por el aceite.



Cambios de temperatura en el intercambiador

$$\Delta Tml = \frac{(45℃ - 20℃) - (75℃ - 60℃)}{Ln\frac{(45℃ - 20℃)}{(75℃ - 60℃)}} = \mathbf{19,6\,℃}$$

Luego en la ecuación π:

$$160087{,}71\frac{kcal}{h} = U.A.19{,}6℃$$

$$\boldsymbol{U.A = 8167{,}74\frac{kcal}{h°c}}$$

El intercambiador de calor usado en esta etapa, para satisfacer las necesidades planteadas en el proceso, deberá cumplir con el requisito de que su superficie de

intercambio multiplicada por su coeficiente de transmisión de calor sea **8167,74 Kcal/h°c** mínimamente.

Cantidad de agua que se podrá calentar a 60°C:

$$Q = m\ agua\ .Cp\ agua\ .(t_f - t_i)$$

$$100855{,}26\ kcal = m\ agua\ .1\frac{kcal}{kg°C}.(60°C - 20°C)$$

$$masa\ de\ agua = 2521\ kg = \mathbf{2{,}5\ m^3}$$

El volumen de agua hallado circulará por el intercambiador de calor a razón de **3,97 m^3/h** a fin de cumplir con el tiempo establecido para este proceso (0,63 horas).

Nuevamente, los cálculos responden a la descarga de uno de los tanques con los que contará la planta; durante la jornada laboral serán dos las descargas por lo que la cantidad de agua que se podrá calentar será el doble de la hallada anteriormente.

Enfriador - Secador de expeller

En esta etapa existe un intercambio de energía desde el sólido que se enfría hacia el aire que aumenta su temperatura, además hay una transferencia de masa en la que el expeller caliente sede parte de su humedad al aire que lo enfría.

Es relevante en este proceso que el expeller baje su temperatura, más que el descenso de humedad. El sólido sale caliente de la prensa y si no se enfría, al almacenarse formando grandes montículos en el depósito, puede tardar varios

días para que su temperatura iguale la del ambiente. Esto arrastra problemas de descomposición (oxidativa-enzimática) y desarrollo de contaminación por microorganismos (sobre todo alterantes).

El expeller pierde aproximadamente 3% de su peso en agua que es arrastrada por la corriente de aire. El aire ambiente se calienta al atravesar el manto de expeller, llegando a una temperatura de 40 °C, ya que toma calor sensible del sólido y calor latente del agua que se evapora para producir el secado.

Es necesario conocer la corriente de aire que deberá entregar el equipo secador para lograr el objetivo propuesto.

Datos a considerar:

Caudal de expeller = 3,25 ton/h	Temperatura Inicial del aire = 20 °C
Cp del expeller = 0,49 Kcal/Kg °C	Temperatura final del aire = 40°C
Temperatura inicial del expeller = 100°C	Cp del aire = 0,24 Kcal/Kg°C
Temperatura final del expeller = 45°C	Humedad relativa del aire = 45%
Calor latente del agua extraída = 539,6 Kcal/Kg	
Caudal de agua a extraer = 0,0975 ton/h	

La temperatura y la humedad del aire se obtuvieron de la media anual y de la media anual durante los años 2016-2017 respectivamente, en base a datos del Servicio Meteorológico Nacional.

El calor extraído del expeler estará dado por:

$$Q = -[m\,expeller\,.Cp\,a\,expeller\,.(T_f - T_i) + m\,agua\,.\lambda\,agua]$$

$$Q = -[3250\frac{kg}{h}\,.0{,}49\frac{Kcal}{kg°C}.(45°C - 100°C) + 97{,}5\frac{kg}{h}.539{,}6\frac{Kcal}{kg}]$$

$$\mathbf{Q = 34976{,}5\frac{Kcal}{h}}$$

Este calor será extraído por el caudal de aire; para obtenerlo se calcula:

$$Q = Caudal\,de\,aire\,.Cp\,aire\,.(Tf - Ti)$$

$$\text{Caudal de aire húmedo} = \frac{34976{,}5\frac{Kcal}{h}}{0{,}24\frac{Kcal}{kg°C}\,.(40°C - 20°C)}$$

$$\text{Caudal de aire húmedo} = \mathbf{7286{,}77\frac{Kg}{h}}$$

El volumen específico del aire húmedo es:

$$Vh = \left(\frac{Haire}{PMagua} + \frac{1}{PMaire\,seco}\right).\frac{R.T}{P}$$

Donde:

- R = 0,08205 atm L/mol °K
- T = 20 °C (293 °K)
- P = 1 atm
- PM_{agua} = 0,018 kg/mol
- $PM_{aire\ seco}$ = 0,029 Kg/mol

- H = 0,009 Kg de vapor/ Kg de aire seco (humedad absoluta del aire mediante diagrama sicométrico considerando una humedad relativa de 45% y una temperatura de 20°C).

$$Vh = \left(\frac{0{,}009 \frac{Kg\ agua}{Kg\ aire\ seco}}{0{,}018 \frac{Kg\ agua}{mol}} + \frac{1}{0{,}029 \frac{Kg\ aire\ seco}{mol}} \right) . \frac{0{,}08205 \frac{atm\ l}{mol°K} . 293\ °K}{1atm}$$

$$\boldsymbol{Vh = 841\ l = 0{,}84 \frac{m^3}{kg}}$$

Conocido el volumen específico y la masa del aire, el caudal necesario será:

$$Caudal\ de\ aire\ necesario = 7286{,}77 \frac{kg}{h} .0{,}84 \frac{m^3}{kg} = \boldsymbol{6120{,}9 \frac{m^3}{h}}$$

Reactor – Proceso de transesterificación

El tanque reactor tendrá un volumen útil de 9,2 m^3, se mezclará el aceite de ricino con el metanol y se calentará utilizando vapor proveniente de la caldera.

Datos a considerar:

Temperatura inicial del aceite = 60°C Temperatura final del aceite = 65°C Densidad del aceite a 40°C (ρ) = 965 kg/m^3 Cp del aceite = 0,43 Kcal/kg °c Volumen aceite = 8,3 m^3	Volumen de metanol = 0,83 m^3 Densidad del metanol = 792 Kg/m^3 Cp del metanol líquido = 0,61Kcal/Kg°C Presión de trabajo = 3 kg/cm^2 Calor latente (λ) = 517,3 kcal/kg

Masa del KOH = 41,5 kg

Cp del KOH = 0,40 Kcal/Kg°C

El Cp de la mezcla se obtuvo mediante la le ley de Kopp en la que se establece de forma empírica que el calor específico de una solución o mezcla (sólida o líquida) es igual a la suma del calor específico de cada uno de los componentes presentes.

$$\text{Cp mezcla} = Cp\ aceite + Cp\ metanol + Cp\ KOH$$

$$\text{Cp mezcla} = 0{,}43\frac{kcal}{kg\,℃} + 0{,}61\frac{kcal}{kg\,℃} + 0{,}40\frac{kcal}{kg\,℃}$$

$$\mathbf{Cp\ mezcla} = \mathbf{1{,}44}\frac{\boldsymbol{kcal}}{\boldsymbol{kg\,℃}}$$

Masa de la mezcla:

$$\text{Masa de la mezcla} = masa\ de\ aceite + masa\ metanol + masa\ KOH$$

$$\text{Masa de la mezcla} = 8{,}3m^3\ .965\frac{kg}{m^3} + 0{,}83m^3\ .792\frac{kg}{m^3} + 41{,}5\ kg$$

$$\mathbf{Masa\ de\ la\ mezcla} = \mathbf{8708{,}36}\ \boldsymbol{kg}$$

Demanda de vapor:

$$mv.\lambda = m\ mezcla\ .\ Cp\ mezcla\ .\ (Tf - Ti)$$

$$mv\ .517{,}3\ \frac{kcal}{kg} = 8708{,}36\ kg\ .1{,}44\ \frac{kcal}{kg°C}\ .(65°C - 60°C)$$

$$\mathbf{mv = 121{,}2\ Kg}$$

Teniendo en cuenta que el calentamiento de la mezcla se producirá en 1 hora, la demanda de vapor para esta etapa del proceso es de **121,2 Kg/h.**

Evaporador

Es factible que en las etapas finales del proceso de transesterificación o más probablemente en el vaciado del reactor, el biocombustible crudo pierda entre 1 y 2°C, producto de la evaporaciones y condensaciones espontaneas del metanol con la agitación.

La primera etapa de purificación del biodiesel se lleva acabo al someterlo a una evaporación flhas, para retirarle el exceso de metanol. En este caso el biodiesel de aceite de ricino crudo se calienta en el evaporador a 75C° mediante vapor proveniente de la caldera y se aplica vació para lograr evaporar el componente con menor punto de ebullición de todos los presentes en el biocombustible; el alcohol.

Cabe aclarar que el metanol se retira del equipo antes que sus vapores se sobrecalienten.

Datos a considerar:

Temperatura inicial del metanol = 63°C

Punto de ebullición del metanol = 64,7°C

Densidad del metanol (ρm) = 792 Kg/m^3

Volumen de metanol recuperado = 0,62 m^3

Cp del metanol líquido = 0,61 Kcal/Kg°C

Calor latente del metanol (λm) = 269,83 Kcal/kg

Temperatura inicial biocombustible crudo = 63°C

Temperatura final del biocombustible crudo = 75°C

Cp del biocombustible crudo = 0,72 Kcal/kg °c

Cantidad de biocombustible = 8,71 ton

Presión de trabajo = 3 kg/cm^2

Calor latente vapor (λ) = 517,3 kcal/kg

Temperatura del vapor = 132,9 °C

Cantidad de vapor necesario:

$$mv.\lambda = m\,biocombustible\,.Cp\,biocombustible\,.(T_f - T_i) + m\,metanol\,.\rho m\,.[Cp_l\,.(T_f - T_i) + \lambda m]$$

$$mv\,.517{,}3\,\frac{kcal}{kg} = 8710kg\,.0{,}72\,\frac{kcal}{kg°C}\,.(75°C - 63°C) + 0{,}62\,m^3.792\,\frac{kg}{m^3}\,[0{,}61\,\frac{kcal}{kg°C}\,.(64{,}7°C - 63°C) + 269{,}83\,\frac{kcal}{kg}]$$

$$\mathbf{mv = 402\ kg}$$

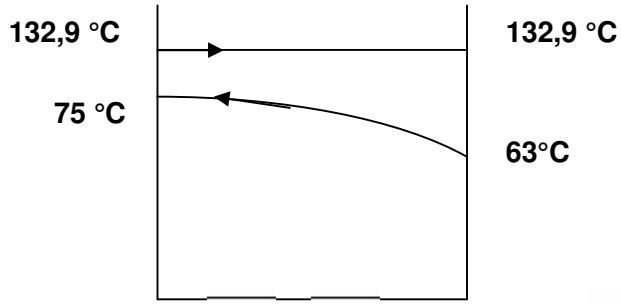
Esta masa de vapor será entregada por la caldera a razón de **503 Kg/h**.

Características del evaporador:

$$Q = mv\,.\lambda = A\,.U\,.\Delta Tml$$

Donde:

- A×U = características mínimas buscadas en el intercambiador de calor (área de intercambio por coeficiente de transmisión de calor).
- ΔTml = temperatura media logarítmica.
- Q = calor entregado por el vapor de caldera.



Cambios de temperatura en el evaporador

$$\Delta Tml = \frac{(132{,}9℃ - 75℃) - (132{,}9℃ - 63℃)}{Ln\frac{(132{,}9℃ - 75℃)}{(132{,}9℃ - 63℃)}} = \mathbf{63{,}7\ ℃}$$

$$503\,\frac{kg}{h} . 517{,}3\,\frac{kcal}{kg} = A\,.\,U\,.\,63{,}7℃$$

$$\mathbf{A\,.U = 4085\ \frac{Kcal}{h℃}}$$

El evaporador usado en esta etapa deberá cumplir con el requisito de que su superficie de intercambio multiplicada por su coeficiente de transmisión de calor sea, mínimamente, **4085 Kcal/h°C.**

Condensador de metanol

El metanol excedente del proceso de transesterificación se recupera en el evaporador y se condensa para su posterior reutilización. Es conveniente que la temperatura del metanol al salir del condensador sea inferior a los 40°C para evitar cualquier posibilidad de pérdida por volatilización.

El refrigerante es agua destinada para el lavado de las instalaciones.

Datos a considerar:

Temperatura inicial del metanol = 75 °C	Cp del agua = 1Kcal/Kg°C
Temperatura final del metanol = 32°C	Densidad del agua = 1000Kg/m^3
Punto de ebullición del metanol = 64,7°C	Temperatura inicial del agua = 20°C
Densidad del metanol = 792 Kg/m^3	Temperatura final del agua = 65°C
Caudal de metanol = 0,61 ton/h	
Volumen de metanol recuperado = 0,62 m^3	
Cp del metanol líquido = 0,61 Kcal/Kg°C	
Cp del metanol gaseoso = 0,33 Kcal/Kg°C	
Calor latente del metanol (λ) = 269,83 Kcal/kg	

Calor desprendido por el metanol:

$$Q = m\,metanol\,.\,[\text{calor latente metanol} + Cp(g)\,metanol\,.\,(T_i - T_f) + Cp\,(l).\,(T_f - T_i)]$$

$$Q = 0{,}62\,m^3\,.\,792\frac{kg}{m^3}\,[269{,}83\frac{Kcal}{Kg} + 0{,}33\frac{Kcal}{Kg\,°C}.\,(75\,°C - 64{,}7°C) + 0{,}61\frac{Kcal}{Kg\,°C}\,.\,(64{,}7 - 32°C)]$$

$$\mathbf{Q = 143961\ Kcal}$$

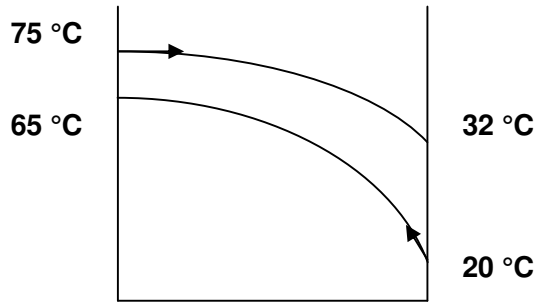
El proceso de condensado del metanol demanda 0,8 horas por lo que el caudal de calor desprendido equivale a **179951Kcal/h.**

El calor desprendido del metanol al condensarse y enfriarse es utilizado para elevar la temperatura del agua (medio refrigerante) a 65°C. A esta última se la envía al tanque de almacenamiento de agua de lavado. Para cumplir con este objetivo se determinarán las características del intercambiador de calor apropiado.

$$Q = m\,agua\,.\,Cp\,agua\,.\,(T_f - T_i) = A\,.\,U\,.\,\Delta Tml$$

Donde:

- A×U = características mínimas buscadas en el intercambiador de calor (área de intercambio por coeficiente de transmisión de calor).
- ΔTml = temperatura media logarítmica.
- Q = calor desprendido por el metanol.



Cambios de temperatura en el intercambiador

$$\Delta Tml = \frac{(32℃ - 20\,℃) - (75℃ - 65℃)}{Ln\frac{(32\,℃ - 20℃)}{(75\,℃ - 65\,℃)}} = \mathbf{10,97\,℃}$$

$$179951\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}} = A\,.\,U\,.\,10{,}97℃$$

$$\mathbf{A\,.U = 16404\,\frac{Kcal}{h\,℃}}$$

El intercambiador de calor usado en esta etapa, para satisfacer las necesidades planteadas en el proceso, deberá cumplir con el requisito de que su superficie de intercambio multiplicada por su coeficiente de transmisión de calor sea, mínimamente, **16404 Kcal/h°C.**

Masa de agua a calentar:

$$\text{Q} = m\,agua\,.\,Cp\,agua\,.\,(T_f - T_i)$$

$$143961\text{ kcal} = m\,agua\,.\,1\,\frac{kcal}{kg\,℃}\,.\,(65\,℃ - 20°C)$$

$$\mathbf{m\,agua = 3199\,kg}$$

El volumen de agua con una temperatura de 65°C, conseguido en esta etapa, haciende a 3,2 m^3. Será almacenada con un caudal de 3,9 m^3/h.

Intercambiador de calor - enfriamiento del biocombustible

Esta etapa tiene por objetivo disminuir la temperatura del biodiesel de aceite de ricino al menos en 10 grados antes de su almacenamiento. Entre los 50 y 60°C el biocombustible presenta ideales condiciones para ser conducido por bombas y

tuberías en lo que respecta a su viscosidad cinemática. El refrigerante es aceite desgomado que posteriormente ingresará a la etapa de transesterificación.

Es necesario aclarar que el uso de tal refrigerante está pensado, sobre todo, para una eventual posibilidad de aumento de la capacidad de producción en la planta de extracción; de tal forma se tendría mayor cantidad de aceite de ricino desgomado almacenado del que se utilizaría en la planta productora de biocombustible por jornada laboral. De darse la situación de que no se cuente con la suficiente cantidad de aceite para ser usado en el intercambiador de calor de esta etapa, podría utilizarse agua.

Datos a considerar:

Temperatura inicial biocombustible = 65°C Temperatura final del biocombustible = 55°C Cp del biocombustible crudo = 0,53 Kcal/kg °c Caudal de biocombustible = 10,29 ton/h Cantidad de biocombustible = 8,23 ton	Temperatura inicial del aceite = 45°C Temperatura final del aceite = 60°C Densidad del aceite a 40°C (ρ) = 965 kg/m^3 Cp del aceite = 0,43 Kcal/kg °c

Calor desprendido del biocombustible

$$Q = m\ biocombustible\ .Cp\ biocombustible\ .(T_i - T_f)$$

$$Q = 8230kg\ .0{,}53\frac{kcal}{kg°C}\ .(65\ °C - 55°C)$$

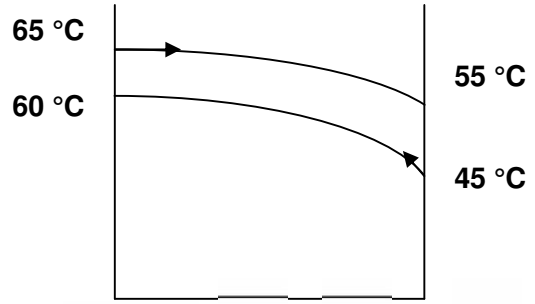
$$\boldsymbol{Q = 43619\ kcal}$$

Este calor se desprenderá del biocombustible a razón de **54524 kcal/h** y será utilizado para elevar la temperatura del aceite desgomado de ricino a 60°C; por lo que es necesario calcular las características del intercambiador de calor indicado.

$$Q = m\,biocombustible\,.\,Cp\,biocombustible\,.\,(T_i - T_f) = A\,.\,U\,.\,\Delta Tml$$

Donde:

- A×U = características mínimas buscadas en el intercambiador de calor (área de intercambio por coeficiente de transmisión de calor).
- ΔTml = temperatura media logarítmica.
- Q = calor desprendido por el biocombustible.



Cambios de temperatura en el intercambiador

$$\Delta Tml = \frac{(55℃ - 45\,℃) - (65℃ - 60℃)}{Ln\frac{(55\,℃ - 45℃)}{(65\,℃ - 60℃)}} = \mathbf{7,21\,℃}$$

$$54524\,\frac{\text{kcal}}{\text{h}} = A\,.\,U\,.\,7{,}21\,°C$$

$$\mathbf{A \cdot U = 7562,3 \frac{kcal}{h°C}}$$

El intercambiador de calor usado en esta etapa, deberá cumplir con el requisito de que su superficie de intercambio multiplicada por su coeficiente de transmisión de calor sea, mínimamente, **7562,3 Kcal/h°C.**

Cantidad de aceite de ricino que se podrá a calentar a 60°C:

$$Q = m\ aceite \cdot Cp\ aceite \cdot (T_f - T_i)$$

$$43619\ \text{kcal} = m\ aceite \cdot 0{,}43 \frac{kcal}{kg\,℃} \cdot (60\,℃ - 45°C)$$

$$\mathbf{m\ aceite = 6762,6\ kg}$$

La cantidad de aceite calculada asciende a **7 m^3** y se obtendrá en la planta de extracción en un tiempo mínimo de **2,22 horas**. Considerando que el tiempo total del proceso de transesterificación equivale a **2,63 horas**, se concluye que sí se dispondrá de aceite de ricino desgomado para ser utilizado como refrigerante.

Balances en caso de que se preste el servicio de extracción de aceite de soja

En caso de que se brinde el servicio de procesamiento de soja, el balance de masa sería diferente en relación al rendimiento de extracción ya que para esta oleaginosa las pérdidas en los mismos procesos suelen ser mayores

(exceptuando la zaranda de limpieza), incorpora el proceso de descascarado que genera pérdidas de materia prima y, además, el porcentaje de aceite en los granos es de solo el 20%.

Respecto del balance de energía demandaría una parte extra para el secado de los granos, cuyo equipo utiliza combustible líquido (biocombustible); mientras que los demás procesos se mantendrían con cambios leves.

CAPÍTULO 8

ADOPCIÓN DE EQUIPOS

Introducción

Al igual que otras oleaginosas el ricino posee una temporada de siembra y otra de cosecha; siempre esta última comprende un periodo mucho más corto y es un dato relevante a la hora de establecer la capacidad de almacenamiento de granos dentro de la planta.

Una mayor capacidad de retención de materia prima brinda flexibilidad a la logística de compra y transporte; más aún teniendo en cuenta que la producción de ricino no es un mercado completamente establecido en nuestro país, es indispensable abarcar la mayor oferta posible para obtener rentabilidad y satisfacer la capacidad de proceso de la planta.

Por otro lado, la compra de biocombustibles se realiza en grandes volúmenes lo que puede llegar a demandar la producción de toda una semana de trabajo; esto indudablemente es importante de considerar a la hora de establecer la capacidad de almacenamiento de producto terminado.

Para esta planta de producción de biocombustible de aceite de ricino se optará por una capacidad de almacenamiento de materia prima y productos equivalente a una semana laboral.

Es importante mencionar, además, que el equipamiento necesario en la planta está especificado en el mercado, para soja; inclusive los equipos de extracción están optimizados para dicho grano.

Equipos de Almacenamiento

Almacenamiento de granos

Se contará en la planta con 3 silos de stock con una capacidad de 188 toneladas cada uno y un silo de producción de 32 toneladas.

Existen en el mercado silos de base plana (silos tanque) o cónica (silos tolva). Para estos últimos se disponen de diferentes ángulos de caídas y además pueden ser inclinados o rectos. Los silos tolvas comerciales se utilizan generalmente en las aplicaciones donde se necesita vaciar el silo a fondo de manera rutinaria. En todos los casos el techo siempre es cónico, por lo general con un ángulo de caída de 23° para eliminar fácilmente la humedad.

Para su mejor funcionamiento, los silos pueden estar equipados con equipo mecanizado para la carga y descarga del grano, piso perforado para el secado del grano ó sistema de aireación a base de duetos y moto-ventiladores y termo-sensores para la medición de la temperatura del grano.

Los silos generalmente son de forma cilíndrica, fabricados con placas (chapas, planchas) de hierro liso ó corrugado, galvanizado, de diferentes grosores; con dimensiones que van de acuerdo a la capacidad del silo y de la empresa que los fabrica.

Teniendo establecidas las capacidades de los silos, es importante determinar el volumen que estos ocuparán en la planta.

Silo tolva stock

Teniendo en cuenta que los granos de ricino poseen una densidad aparente de 800 kg/m^3 y el silo una capacidad de 188 toneladas (para una semana de almacenamiento):

$$Volumen\ del\ silo\ stock = \frac{capacidad\ en\ kilogramos}{densidad\ aparente\ de\ los\ granos}$$

$$Volumen\ del\ silo\ stock = \frac{188000\ kg}{800\ Kg/m^3} = \mathbf{235\ m^3}$$

El valor hallado es la principal característica para la compra de este equipo; de aquí en más las dimensiones pueden establecerse y solicitar a la empresa fabricante la construcción con tales medidas; otra alternativa, más económica, es optar por un silo con las dimensiones ya establecidas (estándar en el mercado) y con la capacidad necesaria calculada anteriormente, la única ventaja es su costo.

Se prefiere, en este proyecto, un silo de dimensiones estándar de la multinacional GSI disponibles en el mercado interno.

Especificaciones técnicas:

- Modelo: silo tolva serie FCHT 45
- Material: acero galvanizado comercial de alta resistencia de corrugado ancho (10,16 cm).
- Capacidad: 243 m^3.
- Ángulo de inclinación de la tapa: 23°.
- Ángulo de caída de la tolva: 45°.

- Altura alero: 12,36 m
- Altura cúspide: 13,79 m.
- Diámetro: 5,49 m.

Cabe aclara que la mencionada empresa ofrece de forma opcional la instalación de puertas, escaleras, plataformas, guardas de protección y compuerta de guillotina; todos estos elementos afectan al diámetro del equipo de almacenamiento pero no a las características antes mencionadas.



Imagen 1. Silo tolva GSI

Silo tolva producción

Teniendo en cuenta que los granos de ricino poseen una densidad aparente de 800 kg/m^3 y el silo una capacidad de 32 toneladas:

$$Volumen\ del\ silo\ de\ producción = \frac{capacidad\ en\ kilogramos}{densidad\ aparente\ de\ los\ granos}$$

$$Volumen\ del\ silo\ stock = \frac{32000\ kg}{800\ Kg/m^3} = \mathbf{40\ n^3}$$

Especificaciones técnicas de la empresa GSI:

- Modelo: silo tolva serie NCHT 45
- Material: acero galvanizado comercial de alta resistencia de corrugado ancho (10,16 cm).
- Capacidad: 60 m^3.
- Ángulo de inclinación de la tapa: 23°.
- Ángulo de caída de la tolva: 45°.
- Altura alero: 7,37 m
- Altura cúspide: 8,36 m.
- Diámetro: 3,66 m.

Almacenamiento de líquidos

Tanque de aceite desgomado

El aceite de ricino desgomado puede almacenarse en tanques de hierro, aluminio o acero inoxidable. Es conveniente para todos los aceites vegetales el uso de tanque de acero inoxidable, inclusive para el almacenamiento del aceite crudo (con solo un proceso de desgomado como refinación); la inversión se recompensa a largo plazo debido a la ausencia de cualquier variación en la calidad y se minimizan o anulan las tareas de mantenimiento de los mismos. Para el caso de

aceite vegetal crudo para uso no alimenticio es suficiente con un tanque de acero al carbono.

Otro criterio para la compra, aparte del material de fabricación del tanque de almacenamiento es, obviamente muy importante, la capacidad útil de este.

En la planta se contará con un tanque de almacenamiento de aceite desgomado de ricino con una capacidad mínima necesaria de 8,3 m^3.

El tanque adoptado es el de la empresa Gelvez S.R.L. que realiza la fabricación y el montaje.

El tanque se realiza bajo las normas API 650 (American Petroleum Institute) que han creado estándares para el diseño, fabricación y montaje de tanques de almacenamiento de acero soldado, para almacenamiento de petróleo, combustibles, solventes, aceites vegetales y minerales, y agua.

Cabe aclarar que en Argentina, estos equipos comúnmente se diseñan según normas API que hacen referencia a los materiales fijados por las normas ASTM (American Society for Testing Materials), y se siguen las normas de seguridad dadas por NFPA (National Fire Protection Association).

Características:

- Capacidad: 55 m^3 (equivale al contenido, en aceite, de uno de los silos de stock).
- Material: acero soldado.
- Base plana – techo cónico fijo.
- Uso exterior: protección contra incendio y condiciones ambientales.
- Boca de sondeo para la medición manual de nivel y temperatura, y para la extracción de muestras.
- Temperatura y presión máxima: 90°C – 15 psi.

- Diámetro interior: 3,4
- Diámetro exterior: 4,3 m.
- Altura total: 7 m.



Imagen 2. Tanques externos provistos por Gelvez srl.

Tanque de glicerina cruda

Para el almacenamiento de la glicerina cruda, proveniente del tanque reactor de transesterificación, es suficiente contar con uno de polietileno ya que este material no afecta a este producto y además se consiguen en el mercado recipientes de bajas capacidades.

El criterio de compra es que posea una capacidad mínima de 0,4 m^3 y facilidades operativas para sobre todo para el vaciado. Se opta por un tanque tolva fabricado por la empresa Bertotto-Boglione S.A.

Características del tanque:

- Capacidad: 0,7 m^3.
- Material: Polietileno 100% virgen de alta densidad.
- Base metálica especial que fortalece al cono de la tolva.
- Cono a 45º.
- Boca pasa hombre central y lateral.
- En líquidos: accesorios para agitación (opcional)
- Sujetada con cuatro riendas de poliester, montada sobre estructura metálica construida con tubos estructurales IRAM 2592.



Imagen 3. Tanque tolva de polietileno provisto por la empresa Bertotto-Boglione S.A.

Tanque de glicerina purificada

Se opta por un tanque de polietileno de capacidad de 5 m^3, provisto por la misma empresa Bertotto-Boglione S.A. Para este caso se elige un tanque de base plana y de uso externo.

Características:

- Tipo: tanque aéreo horizontal con apoyo integral.
- Capacidad: 5 m3.
- Alto: 1,57 m.
- Largo: 2,18 m.
- Ancho: 1,42 m.
- Construido íntegramente de polietileno virgen de alta densidad por proceso de rotomoldeo.
- Con protección UV para uso a la intemperie.

- Provisto de boca pasa hombre de 400 mm, con tapa inyectada de polipropileno y salida roscada de 2" de polipropileno.



Imagen 4. Tanque horizontal de polietileno provisto por la empresa Bertotto-Boglione S.A.

Tanque de ácido fosfórico

Por sus características físico-químicas el ácido fosfórico debe ser almacenado en un lugar ventilado, seco y fresco, alejado de fuentes de calor, humedad y luz solar directa. Además es corrosivo al acero por lo que se deberá almacenar en plástico, o acero inoxidable especial para ácido fosfórico.

Se opta por un tanque de polietileno fabricado por la empresa Rotoplas.

Características del tanque:

- Capacidad: 3 m^3.
- Material: capa interior producida en polietileno de alta densidad, sin pigmentos, lo que le otorga una superior capacidad inerte a los ataques químicos que el de los polímeros coloreados. Además permite una

inspección más rápida y sencilla. Capa exterior de polietileno de alta densidad compuesto, lo que le brinda una mejor protección a la intemperie y/o atmósferas corrosivas

- Diseñada bajo los lineamientos de la norma ASTM D1998 de los EE.UU.
- Superior resistencia estructural, para brindar mayor duración y más seguridad en los productos almacenados
- Optimo diseño geométrico, la relación ideal altura/diámetro genera la menor fatiga (mayor stress crack resistance) de los tanques disponibles en el mercado, garantizando mayor vida útil.
- Altura: 1,4 m.
- Largo: 2,56 m.
- Diámetro: 1.25 m.
- Tapa: 0,46 m.
- Capas: tricapa



Imagen 5. Tanque horizontal de polietileno provisto por la empresa Rotoplas.

Tanque de alcohol metílico

El almacenamiento de metanol está básicamente sujeto a las mismas disposiciones del almacenamiento de la gasolina; con el adicional de que de existir fugas de alcohol representan un riego tóxico más peligroso que el mencionado combustible. Por lo general, el metanol se almacena en tanques con tapas flotantes. Los tanques deben tener conexión a tierra para evitar los peligros asociados con las descargas de electricidad estática. Todos los materiales de almacenamiento, incluso las cubas y los tambores, requieren que haya ventilación adecuada.

En este caso se opta por un tanque de almacenamiento de la empresa Fimaco S.A.

Características del tanque:

- Capacidad: 10 m^3. Equivale a la cantidad de alcohol necesaria para la transformación (de aceite a biocombustible) de un tanque de almacenamiento de aceite de ricino de la planta.
- Material: acero templado.
- Sistema contra incendios: provisto de dos tuberías alrededor del tanque para arrojar desde la superficie agua y espuma.
- Techo flotante.
- Base plana de gran resistencia a la presión impuesta por el líquido.
- Escalera lateral de uso rudo.
- Diámetro interior: 2 m.
- Diámetro exterior: 2,46 m.

- Altura total: 3,97 m.

Tanque de biocombustible

El tanque para este propósito es similar, en sus características, al utilizado para el almacenamiento de aceite desgomado. La planta contará con 2 tanques de almacenamiento de biocombustible.

Existen en el mercado una importante oferta junto con servicio de instalación y mantenimiento. Los criterios de compra se reducen a la capacidad del tanque, facilidad de descarga (se realiza directo hacia un camión cisterna) y presencia de sistema contra incendios.

En este caso se opta por un tanque de almacenamiento de la empresa Fimaco S.A.

Características del tanque:

- Capacidad: 110 m^3. Equivale a la transformación (de aceite a biocombustible) de un tanque de almacenamiento de aceite de la planta.
- Material: acero soldado.
- Sistema contra incendios: provisto de dos tuberías alrededor del tanque para arrojar desde la superficie agua y espuma.
- Techo flotante.
- Base plana de gran resistencia a la presión impuesta por el líquido.
- Escalera lateral de uso rudo.
- Diámetro interior: 7,72 m.
- Diámetro exterior: 10 m.

- Altura total: 12,4 m.

Las escaleras, plataformas y boca de salida adaptadas a la industria en cuestión (por ejemplo: boca de salida provista de un brazo articulado que facilita la carga de los camiones sin la necesidad de usar mangueras) son opcionales con la adquisición del tanque.



Imagen 6. Tanque para almacenamiento de biodiesel provisto por Fimaco S.A.

Equipos de procesos

Limpieza de granos

Imán

La limpieza magnética de los granos de ricino es muy importante para la preservación de los equipos de extracción posteriores. Existen en el mercado imanes de potencia fija (electro-permanentes) o variable (electroimanes). Estos últimos son útiles cuando se trabaja con grandes caudales de granos.

Se opta por un imán permanente para caída libre provisto por la empresa Magnum S.R.L.

Características:

Separador Magnético para Caída Libre tipo Cuña y Romboidales, especialmente diseñado para productos livianos y alturas reducidas.

Construcción en acero inoxidable anti-magnético. Puerta de inspección tipo cuchilla perimetral desmontable con cierre rápido. Imán fijo en puerta desmontable. Hermético apto para granos y polvos, juntas de calidad sanitaria.



Imagen 7. Separador magnético para caída libre, Magnum S.R.L.

Zaranda de limpieza

Antes del ingreso de los granos de ricino a la extrusora, pasan por la zaranda de limpieza donde se retiran las impurezas más pequeñas que los mismos. En el mercado existen zarandas de tipo fijas o transportables y de diferentes pasos (los mismos están determinados por el tipo de grano a limpiar). El criterio para la compra de este equipo es la capacidad horaria y el paso de la malla.

Se opta por una zaranda de limpieza para soja de la empresa Metalúrgica Prioti H.

Características:

Equipo construido con plegados de chapa de distintas medidas. Consta de bandejas porta zarandas basculantes de 1,22 x 2,44 m montadas sobre cuatro cadenas registrables. La oscilación de las bandejas está dada por ejes excéntricos unidos a éstas y solidarios a un eje vertical rotatorio. Este diseño exime la máquina de mantenimiento. Producción máxima equivalente a 30 ton/h.



Imagen 8. Zaranda de limpieza provista por Metalúrgica Prioti H.

Equipos de extracción

Extrusora

Este equipo, junto con la prensa, son los más importantes en la línea de extracción de aceite de ricino; acondiciona los granos formando una pasta de la que se extrae el aceite posteriormente en la prensa. El criterio de compra más relevante para adquirir la extrusora es su capacidad horaria de producción, la cual debe satisfacer la demanda de la planta procesadora y estar alineada con la capacidad operativa de la prensa, con esto último se logra que no se genere más pasta de la que pueda procesar la prensa en el mismo intervalo de tiempo. Otro aspecto importante de este equipo es su alto consumo de energía eléctrica, a tal punto que en la mayoría de los casos conviene adquirir varios de baja capacidad antes que uno solo que cubra toda la demanda.

La planta constará con tres extrusoras; se opta por el tipo que ofrece la empresa Mapca S.A. (Allocco).

Características:

- Modelo: AC-2500.
- Capacidad: 2,75 ton/h.
- Motor: 1x 92 kw.
- Peso del equipo: 2000 kg.
- Equipo autoportante.
- Cuerpo extrusor de fácil acceso e intercambiabilidad.
- Sinfines y difusores construidos de aleaciones de alta resistencia al desgaste.

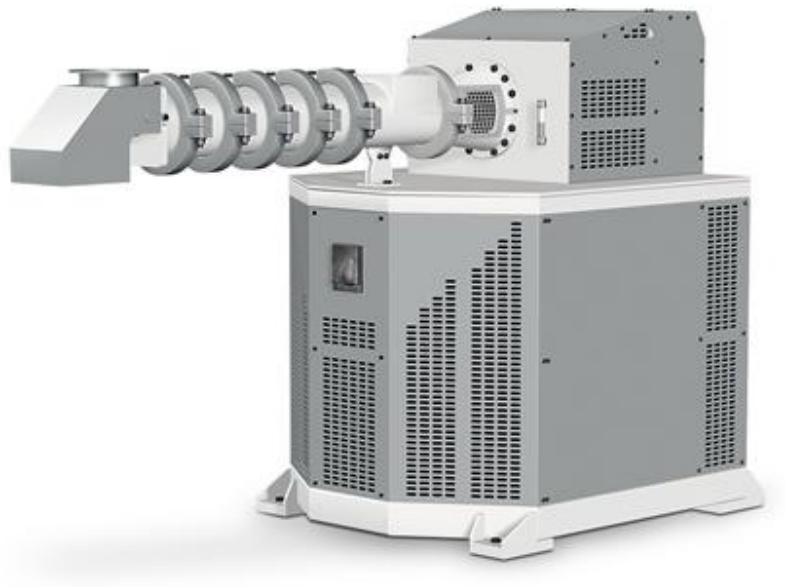


Imagen 9. Extrusora AC-2500 Allocco.

Prensa

Este equipo separa, mediante fuerza mecánica, la pasta proveniente de la extrusora en una corriente sólida (expeller) y otra corriente líquida (aceite vegetal). Es otro importante demandante de energía eléctrica dentro de la línea de extracción, aunque el aumento de la capacidad operativa del equipo no es tan acentuado en su consumo energético (como en el caso de las extrusoras), por esta razón es posible tener en planta una misma prensa que atienda el trabajo realizado por dos o más extrusoras. Cabe aclarar que esto último trae aparejado dificultades operativas, ya que parar el equipo significa parar la línea de extracción no así si se cuenta con más de uno que hagan igual cantidad de trabajo.

La planta constará con tres prensas de presión única; se opta por el tipo que ofrece la empresa Mapca S.A. (Allocco).

Características:

- Modelo: AC-45.
- Capacidad: 3 ton/h.
- Motor: 1x 100 kw.
- Canasto prensador de mayor superficie de drenaje por tonelada producida.
- Sinfines revestidos con material de alta resistencia al desgaste.
- Cuchillas revestidas con material de alta resistencia al desgaste.
- Reductor de accionamiento principal de primera marca.
- Sistema de enfriamiento para eje prensador.

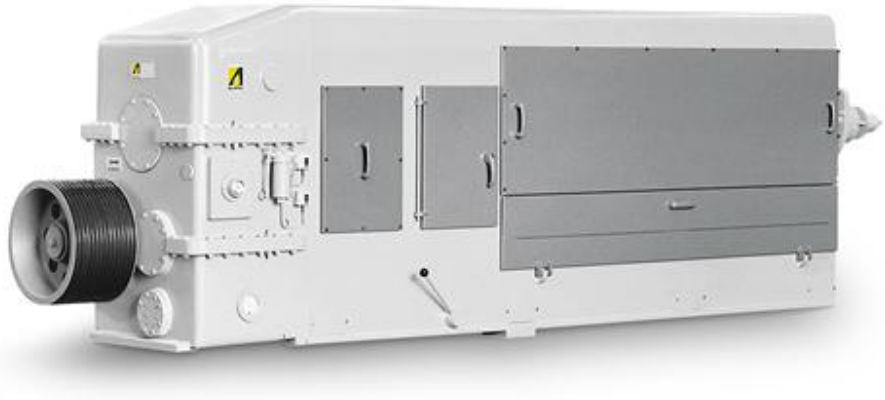


Imagen 10. Prensa AC-45 Allocco.

Requechero

Este equipo es un decantador de los sólidos gruesos con los que sale el aceite desde las prensas. Trabaja de forma continua, por lo que a mayor volumen del equipo mejor separación de sólidos. Para el caso del aceite de ricino sus

impurezas gruesas poseen una densidad que se asemeja más a las del girasol que a las de soja, por lo que sería conveniente que el equipo (si bien de sencillo funcionamiento) esté optimizado para trabajar con aceite de girasol. El equipo debe permitir recuperar los sólidos para enviarlos nuevamente a la prensa.

En la planta se contará con un solo decantador para la línea de extracción; se opta por el tipo que ofrece la empresa Mapca S.A. (Allocco).

Características:

- Volumen de decantación: 4,3 m^3.
- Motor: 1x 2,2 kw.
- Largo: 3 m.
- Ancho: 1,2 m.
- Alto: 1,5 m.
- Equipo auto-portante de proceso continuo.
- Parrilla de clasificación auto-limpiante.



Imagen 11. Decantador Allocco.

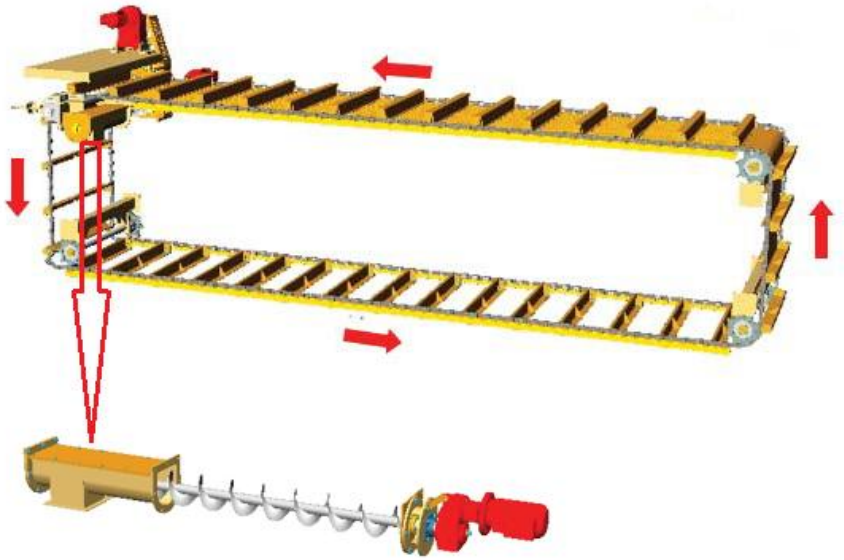


Imagen 12. Esquema del decantador Allocco.

Centrífuga

Este equipo despoja del aceite los sólidos más finos que no son separados en el decantador. Las centrífugas más eficientes para realizar esta tarea son las denominadas decantadoras horizontales; generalmente el caudal de alimentación está comprendido dentro de un intervalo en el cual el óptimo de trabajo tiende al caudal máximo; y ya que la centrífuga decantadora trabaja de forma continua, será necesario cumplir con esto último o deberá incorporarse un tanque pulmón para realizar el proceso de forma bach y así lograr mayor eficiencia.

En la planta se contará con una centrífuga decantadora horizontal que trabajará de forma continua (el caudal de alimentación es de 3,13 m^3 de aceite de ricino), se opta por un equipo provisto por la empresa Vortecnica Industrial S.A.

Características:

- Capacidad de alimentación: 1-5 m^3.
- Peso del equipo: 910 kg.
- Potencia total instalada: 15 kw.
- Posee sistema de lubricación automática.



Imagen 13. Centrífuga decantadora horizontal.

Equipos para el desgomado

Tanque agitado – Reactor

Este equipo cumple la función de hidratar los fosfolípidos (gomas) del aceite de ricino para que puedan ser retirados posteriormente mediante fuerza centrífuga. El tanque debe poseer abertura (independiente de la de alimentación) para el agregado de agua, comisa para poder calentar la mezcla y sistema de agitación. Es importa que el proceso realizado por agitador sea suave para evitar la formación de emulsiones y a la vez que mueva completamente toda la masa líquida para permitir la correcta hidratación de las gomas. Los criterios de compra obedecen las características antes mencionadas, el volumen útil y la potencia, tipo y velocidad de agitación.

Se opta por un tanque agitado de la empresa M y V Mixing.

Características del equipo:

- Capacidad: 9 m^3.
- Material: acero inoxidable.
- Motor: 1x 2,2 HP.
- Agitador: turbina de 6 palas.
- Velocidad: 20 – 120 rpm.
- Posee tapa con cierre hermético, medidor de temperatura, conexión para tres tipos de caudales de alimentación, camisa para trabajar con agua o vapor, base interior cónica para vaciado completo.



Imagen 14. Tanque agitado provisto por M y V Mixing.

La característica más relevante del aceite de ricino es la presencia de un grupo hidroxilo en la cadena hidrocarbonada del ácido graso que lo forma en casi su totalidad (aproximadamente el 99% es ácido ricinoleico); este grupo le brinda propiedades únicas, una de las cuales es su viscosidad que se encuentra por encima de cualquier otro aceite vegetal.

Para el caso de un proceso de agitación es relevante la masa total, densidad y la viscosidad del líquido; por lo que es conveniente hallar la potencia teórica necesaria a fin de adoptar el equipo más conveniente. Cabe aclarar que los cálculos se basan en ecuaciones empíricas.

Cálculo de la potencia

La potencia que el agitador suministrará a la masa líquida viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{N_P \cdot n^3 \cdot Da^5 \cdot \rho}{g_c} \qquad \textit{(Ecuación } \alpha\textit{)}$$

Donde:

- N_{Po} = es el número de potencia; surge de la multiplicación entre la función de potencia (específica del agitador) y el número de Froude (que interviene cuando hay vórtices y el número de Reynolds es mayor a 300).
- n = equivale a la velocidad de giro del agitador.
- Da = diámetro del agitador (rodete).
- ρ = densidad de la masa de líquido.

Cuando el tanque de agitación cuenta con placas deflectoras (como en este caso) y el número de Reybolds es mayor de 10000 el número de potencia resulta:

$$N_{Po} = KT$$

Donde KT es una constante que depende solamente del tipo de agitador y es función de los factores de forma.

En estas condiciones es necesario conocer el número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{n \,.\, Da^2 \,.\, \rho}{\mu}$$

Donde:

- NRe = número de Reynolds.
- μ= viscosidad del líquido, equivale a 615 kg/m.min (10250 cP).
- Da = diámetro del rodete, equivale a 0.68 m.
- ρ = densidad del líquido, equivale a 965 kg/m^3.
- n = velocidad de de giro del rodete, equivale a 70 rpm.

$$N_{Re} = \frac{70\ rpm \,.\, (0{,}68\ m)^2 \,.\, 965\ kg/m^3}{615\ \frac{kg}{m \,.\, min}}$$

$$\boldsymbol{N_{Re} = 50{,}78}$$

Al ser el número de Reynolds menor a 10000, N_{Po} se obtiene de gráficas específicas (N_{Po} vs N_{Re}) para cada tipo de rodete; si este último es una turbina de seis palas y el tanque posee cuatro placas deflectoras, para el valor de N_{Re} hallado N_{Po} es aproximadamente igual a 4 y equivale a flujo turbulento.

Luego de la ecuación α:

$$P = \frac{4 \,.\, (1{,}17 rps)^3 \,.\, (0{,}68\ m)^5 \,.965\ kg/m^3}{9{,}8\ m/s^2}$$

$$P = 91{,}72 \frac{kgm}{s} = \mathbf{1{,}23\ HP}$$

La potencia calculada significa que el equipo adoptado cumplirá con las condiciones necesarias para el proceso: agitación en flujo turbulento de toda la masa de aceite de ricino con 3% de agua a fin de hidratar los fosfolípidos.

Intercambiador de calor

El principal objetivo de este equipo será disminuir la temperatura del aceite de ricino a fin de lograr una óptima separación en la etapa de centrifugación posterior y además se logrará el calentamiento de agua para lavado que actuará como refrigerante.

Se calculó en el balance de energía (capítulo 7) que el criterio de compra de este intercambiador de calor sería que su superficie de intercambio multiplicada por el coeficiente global de transmisión de calor sea, mínimamente, igual a 8167,74 kcal/ h°c y apto para trabajar con un caudal de 12,86 m^3/h de aceite de ricino.

Como todos los aceites de origen vegetal conocidos, el de ricino posee excelentes condiciones como aislante tanto eléctrica como térmica; lo que hace que los procesos de transmisión de calor resulten muy complejos. Por este motivo es importante mencionar que las propiedades detalladas anteriormente (calculadas en el capítulo 7) se refieren a un aceite vegetal refinado; en esta etapa del proceso el aceite de ricino proviene del tanque de desgomada y trae consigo, entre otras

impurezas, fosfolípidos hidratados, fosfolípidos no hidratables (se eliminan con tratamientos que incluyen ácidos), agua sin reaccionar, ácidos grasos libres y glucósidos. Estos últimos no se eliminan totalmente aún aplicando todos los procesos de refinación (conocidos actualmente) y son responsables de la turbidez en aceites sometidos a altas temperaturas o largos periodos de almacenamiento.

Estás impurezas modifican principalmente la conductividad térmica del aceite de ricino y si bien la viscosidad del triglicérido no resulta afectada, la de la mezcla que sale del tanque de desgomado no es la misma que la del aceite puro.

Se opta por un intercambiador de calor modular provisto por la empresa Ingeniería Bernoulli S.A.

Características:

- Es útil para cuando la superficie de intercambio calórico es grande y pequeñas las cantidades de líquidos a enfriar o calentar, en cuyo caso el número de pasos necesarios en un aparato tradicional de casco y tubos sería mayor de lo prácticamente factible.
- Tienen la ventaja de trabajar en contracorriente y son aptos para trabajar a elevadas presiones.
- Su organización modular permite incrementar la superficie, simplemente con el agregado de módulos.
- Cada módulo posee en su interior 9 tubos de 0,0508 m (2”) de diámetro y 2 mm de espesor.
- Realizado en aleación de acero-cromo- tungsteno que le brinda una alta resistencia y mayor eficiencia en el intercambio calórico.
- Un modulo mide 6 metros de largo y representa una superficie de intercambio calórico de 8,62 m^2.



Imagen 15. Intercambiador de calor modular tipo hair pin provisto por Bernoulli S.A.

Es necesario conocer la cantidad de módulos que cubren el requerimiento calculado en el balance de energía ($\boldsymbol{A.U = 8167,74 \frac{kcal}{h°C}}$) para realizar la compra.

Conociendo la superficie de intercambio que ofrece cada paso del equipo, deberá hallarse el coeficiente global de intercambio calórico que interviene en el proceso y luego despejar el área total necesaria.

El coeficiente global se obtiene a partir de los coeficientes de transmisión de calor individuales empleando la siguiente expresión:

Número de Nussel

$$N_{Nu} = a \,.\, {N_{Re}}^{b} \,.\, {N_{Pr}}^{c} \,.\, (\frac{\mu_s}{\mu_w})^{d} = \frac{h \,.\, D}{\lambda}$$

Donde:

- N_{Re} = número de Reynolds.
- N_{Pr} = número de Prandt.
- a = coeficiente cuyo promedio es igual a 0,275.
- b = coeficiente cuyo promedio es igual a 0,75
- c = coeficiente cuyo promedio es igual a 0,375
- d = coeficiente cuyo promedio es igual a 0,125
- μ_s = viscosidad del fluido a la temperatura media.
- μ_w = viscosidad del fluido a la temperatura media de la pared.
- h = coeficiente individual de transmisión de calor.
- D = diámetro hidráulico.
- λ = conductividad térmica del fluido.

Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D \,.\, V \,.\, \rho}{\mu}$$

Donde:

- V = velocidad de flujo.
- ρ = densidad del fluido.
- μ = viscosidad del fluido.

Número de Prandt

$$N_{Pr} = \frac{C_p \,.\, \mu}{\lambda}$$

Donde:

C_p = calor específico del fluido.

Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del aceite de ricino para un solo módulo del intercambiador

Datos:

- El aceite de ricino ingresa al equipo a una temperatura de 75 °c y sale con 45 °c.
- Densidad (ρ) del aceite = 965 kg/m^3.
- Viscosidad ($\mu_{60°c}$) = 1017,88 kg/m h.
- λ = 0,367 kcal/m h °c.
- C_p = 0,43 kcal/ kg °c
- Caudal = 12,86 m^3/h.
- Área transversal de un tubo interior de un módulo = 0,002 m^2.

$$Velocidad\ de\ flujo(V) = \frac{Caudal}{cantidad\ de\ tubos\ .\ área\ transversal\ de\ cada\ tubo}$$

$$\boldsymbol{V} = \frac{12{,}86\ \frac{m^3}{h}}{9\ .\ 0{,}002\ m^2} = \boldsymbol{714{,}44\ \frac{m}{h}}$$

$$Diámetro\ hidráulico\ (D) = \frac{4\ .\ área\ transversal}{perímetro\ mojado}$$

$$\boldsymbol{D} = \frac{4\,.\,\pi\,.\,(0{,}0254\,m)^2.9}{2\,.\,0{,}0254\,m\,.9} = \mathbf{0{,}16\,m}$$

$$\boldsymbol{N_{Re}} = \frac{0{,}16\,m\,.\,714{,}44\,\frac{m}{h}\,.\,965\frac{kg}{m^3}}{1017{,}88\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{108{,}37}$$

$$\boldsymbol{N_{Pr}} = \frac{0{,}43\frac{kcal}{kg\,°c}\,.1017{,}88\frac{kg}{m\,h}}{0{,}367\frac{kcal}{m\,h\,°c}} = \mathbf{1192{,}61}$$

$$\boldsymbol{N_{Nu}} = 0{,}275\,.108{,}37^{0{,}75}\,.\,1192{,}61^{0.375}\,.(\frac{1017{,}88\frac{kg}{m\,h}}{1017{,}88\frac{kg}{m\,h}})^{0{,}125} = \mathbf{131{,}58}$$

Luego

$$131{,}58 = \frac{h_{aceite}\,.\,D}{\lambda}$$

$$\boldsymbol{h_{aceite}} = \frac{131{,}58\,.\,0{,}367\frac{kcal}{m\,h\,°C}}{0{,}16\,m} = \mathbf{301{,}81\frac{kcal}{m^2\,h\,°c}}$$

Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del agua para un solo módulo del intercambiador

Datos:

- El agua ingresa al equipo a una temperatura de 20 °c y sale con 60 °c.
- Densidad (ρ) = 1000kg/m^3.

- Viscosidad a la temperatura media ($\mu_{40°c}$) = 2,35 kg/m h.
- Viscosidad a la temperatura media de la pared ($\mu_{50°c}$) = 1,97 kg/m h.
- λ = 0,499 kcal/m h °c.
- C_p = 1 kcal/ kg °c
- Caudal = 12,86 m^3/h.
- Área transversal de un tubo interior del módulo = 0,002 m^2.

$$Velocidad\ de\ flujo(V) = \frac{Caudal}{cantidad\ de\ tubos\ .\ área\ transversal\ de\ cada\ uno}$$

$$\boldsymbol{V = \frac{12{,}86\ \frac{m^3}{h}}{9\ .\ 0{,}002\ m^2} = 714{,}44\ \frac{m}{h}}$$

$$Diámetro\ hidráulico\ (D) = \frac{4\ .\ área\ transversal}{perímetro\ mojado}$$

$$\boldsymbol{D = \frac{4\ .\ \pi\ .\ (0{,}0254\ m)^2\ .\ 9}{2\ .\ 0{,}0254\ m\ .\ 9} = 0{,}16\ n}$$

$$\boldsymbol{N_{Re} = \frac{0{,}16\ m\ .\ 714{,}44\ \frac{m}{h}\ .\ 1000\ \frac{kg}{m^3}}{2{,}35\ \frac{kg}{m\ h}} = 48642{,}72}$$

$$\boldsymbol{N_{Pr} = \frac{1\ \frac{kcal}{kg\ °c}\ .\ 2{,}35\ \frac{kg}{m\ h}}{0{,}499\ \frac{kcal}{m\ h\ °c}} = 4{,}71}$$

$$\boldsymbol{N_{Nu}} = 0{,}275 \,.\, 48642{,}72^{0{,}75} \,.\, 4{,}71^{0.375} \,.\, (\frac{2{,}35 \frac{kg}{m\,h}}{1{,}97 \frac{kg}{m\,h}})^{0{,}125} = \mathbf{1646{,}47}$$

Luego:

$$789{,}55 = \frac{h_{agua} \,.\, D}{\lambda}$$

$$\boldsymbol{h_{agua}} = \frac{1646{,}47 \,.\, 0{,}499 \frac{kcal}{m\,h\,°C}}{0{,}16\,m} = \mathbf{5134{,}93 \frac{kcal}{m^2\,h\,°c}}$$

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{aceite}} + \frac{1}{h_{agua}} + \frac{x}{\lambda_{material}}$$

Datos:

- X= espesor de los tubos interiores, equivale a 0,002 m.
- $\lambda_{material}$ = conductividad térmica del material de los tubos, equivale a 60,19 kcal/h m °C.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{301{,}81 \frac{kcal}{m^2\,h\,°c}} + \frac{1}{5134{,}93 \frac{kcal}{m^2\,h\,°c}} + \frac{0{,}002\,m}{60{,}19 \frac{kcal}{h\,m\,°c}}$$

$$\boldsymbol{U = 282{,}38 \frac{kcal}{m^2\,m\,°c}}$$

Luego teniendo en cuenta que el criterio de compra es $\boldsymbol{A \,.\, U = 8167{,}74 \frac{kcal}{h°C}}$:

$$\boldsymbol{A} = \frac{8167{,}74 \frac{kcal}{h°C}}{282{,}38 \frac{Kcal}{m^2\,h\,°c}} = \mathbf{28{,}92\ m^2}$$

Finalmente los módulos necesarios son:

$$Cantidad\ de\ módulos = \frac{área\ total\ de\ intercambio\ térmico}{área\ de\ intercmbio\ termico\ de\ un\ módulo}$$

$$\boldsymbol{Cantidad\ de\ módulos} = \frac{28{,}92\ m^2}{8{,}62\ m^2} = \mathbf{3{,}35}$$

Para las condiciones del proceso en las que ha de operar la planta serán necesarios la compra de 4 módulos del intercambiador de calor, mínimamente para esta etapa.

Centrífuga

Este equipo ha de garantizar la completa separación de los fosfolípidos hidratados en fase anterior y en las condiciones dadas del proceso (temperatura de 45°C) también lograr separar restos de agua en caso de haber quedado esta sin reaccionar, en ambos casos procurando que las pérdidas de aceite sean mínimas. Con esto se concluye que el factor de compra más relevante es la eficiencia del equipo para realizar este trabajo con aceite de ricino, además del caudal de trabajo.

Se prefiere un equipo de la marca Flottweg; existen en nuestro país varios proveedores de esta marca por lo que se optará por el más conveniente. Características:

- Capacidad máxima: 15 m^3/h.
- Potencia: 25 kw.
- Peso: 2580 kg.
- Largo: 1,85 m.

- Ancho: 1,5 m.
- Alto: 1,85 m.
- Descarga: automática.



Imagen 16. Centrífuga marca Flottweg.

Equipos para la transformación del aceite de ricino en biocombustible

Mezclador (preparado del catalizador)

La preparación del metóxido de potasio es una operación compleja debido a la lenta disolución del hidróxido de potasio en el alcohol; este equipo debe ser suficiente para disolver completamente la sal sólida en metanol y garantizar una solución final homogénea. Es indispensable que cuente con un cierre hermético para evitar los vapores tóxicos del alcohol y que no deje sal sin disolver por las dificultades que el hidróxido de potasio puede causar en las etapas posteriores (principalmente formación de jabones con los ácidos grasos de los triglicéridos). Otros criterios de compra son la capacidad y facilidad de vaciado con el tanque cerrado.

Se opta por un equipo ofrecido por la empresa Empresa Pulvex.

Características del equipo:

- Modelo: AD 1000
- Capacidad: 1 m3.
- Fabricados de acero inoxidable de la más alta calidad.
- Sistema de elevador hidráulico.
- Diseñados para una fácil ejecución y limpieza.
- Descarga inferior.
- Eje y turbina certificados para aplicaciones sanitarias.
- Vibración nula y no hace ruido.
- Disco dispersor: Se utiliza para la dispersión de sólidos o polvos dentro de líquidos. Esta turbina se caracteriza por su corte elevado, turbulencia fuerte y gran eficiencia de mezcla.
- Motor: 1x3 HP
- Diámetro del agitador: 2x 0,47 m.
- Diámetro del tanque: 0,9 m.

- Altura del tanque: 1,75m.



Imagen 17. Mezclador AD1000 Empresa Pulvex.

Tanque reactor- Proceso de transesterificación

Se opta por un tanque agitado de la empresa M y V Mixing con las mismas característica que el tanque detallado para el proceso de desgomado (provisto por la misma empresa). Ver imagen 14.

Equipos para la purificación del biocombustible de ricino

Destilador (Evaporador – Condensador)

Este proceso se realiza, aplicando vacio, para recuperar el metanol excedente presente en el biocombustible crudo.

En los cálculos de energía (capítulo 7) se determinó que el evaporador debía cumplir con la consigna de que su superficie de intercambio calórico por el coeficiente global de transmisión de calor del proceso sea igual a 4085 kcal/h°c; mientras que en el condensador la misma relación asciende a 16404 kcal/h°c. Teniendo en cuenta estos valores, sumados a que la conductividad térmica de ambos líquidos (biocombustible crudo - metanol) es relativamente baja y que además la cantidad de metanol a condensar es aproximadamente el 7% del volumen de aceite a calentar en el evaporador; se concluye que la superficie para condensar el alcohol es muy grande y la del evaporador pequeña. Esto es esperable cuando se aplica vacio ya que se generan grandes cantidades de vapores, pero en estas condiciones es muy probable que el proceso de recuperación no sea rentable.

Para las condiciones detalladas es ideal un destilador de camino corto, los equipos de uso industrial están optimizados para diferentes tipos de mezclas y trabajan en un gran intervalo de presión de vacio ofreciendo una alta eficiencia.
La presión de trabajo (vacio) y la diferencia de los puntos de ebullición caracterizan cada tipo de mezcla, con las que trabaja el evaporador.
Para el caso de la recuperación del metanol mezclado con biocombustible de aceite de ricino, al existir una gran diferencia entre los puntos de ebullición de ambos líquidos los criterios de compra de este equipo son la presión de trabajo, el caudal de alimentación y el caudal de los componentes agotados recuperados.
Se opta por un destilador de camino corto de Ingeniería Bernoulli S.A.

Características del equipo:

- El condensador está colocado dentro del destilador, suficientemente cercano a la superficie de evaporación, para que los vapores no encuentren obstáculos en su viaje al condensador, sin la pérdida de carga de los destiladores tradicionales.
- El líquido a destilar, entra a un distribuidor giratorio, que lo reparte uniformemente para que forme una película descendente sobre la superficie de evaporación, calefaccionada con una camisa. Una serie de rodillos, ligados a dicho plato y comandados por un motorreductor, giran a moderada velocidad y la fuerza centrífuga los proyecta contra la película de líquido a destilar. Este rolado impide el ensuciamiento, incrementa el coeficiente de transferencia calórica y es muy eficiente cuando se manejan líquidos viscosos.
- La evaporación en película, elimina el aumento del punto de ebullición y reduce el tiempo de residencia a valores seguros para la estabilidad de los productos.
- El condensado y el residuo agotado, se recogen en el fondo del destilador, en compartimientos separados.
- En la parte inferior, está la conexión de vacío por donde salen los no condensables.
- Presión de trabajo entre 0,01 – $10x10^{-6}$ bar, generada por una bomba de vacío de 4 etapas de ½ HP.
- Capacidad: destila y condensa el componente más volátil de mezclas con una diferencia entre sus puntos de ebullición de hasta 10°C a razón de 2 m^3/h.
- Tipo de mezcla: binaria.



Imagen 18. Evaporador de camino corto, Ingeniería Bernoulli S.A.

Intercambiador de calor (economizador)

Se opta por un intercambiador de calor modular provisto por la empresa Ingeniería Bernoulli S.A. Ver figura 15.

En este caso será necesario calcular nuevamente la cantidad de módulos necesarios (para así realizar la compra), teniendo en cuenta que las corrientes frías y caliente han cambiado. Ahora es biodiesel crudo con impurezas (en mayor

proporción glicerina) el fluido caliente y el aceite de ricino desgomado el refrigerante.

Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del aceite de ricino para un solo módulo del intercambiador

Datos:

- El aceite de ricino ingresa al equipo a una temperatura de 45 °c y sale con 60 °c.
- Densidad (ρ) del aceite = 965 kg/m^3.
- Viscosidad ($\mu_{60°c}$) = 1017,88 kg/m h.
- λ = 0,155 kcal/m h °c.
- C_p = 0,43 kcal/ kg °c
- Caudal = 8,75 m^3/h.
- Área transversal de un tubo interior del módulo = 0,0113 m^2.

$$Velocidad\ de\ flujo(V) = \frac{Caudal}{cantidad\ de\ tubos\ .\ área\ transversal\ de\ cada\ uno}$$

$$\boldsymbol{V = \frac{8{,}75\ \frac{m^3}{h}}{9\ .\ 0{,}002\ m^2} = 486{,}11\ \frac{m}{h}}$$

$$Diámetro\ hidráulico\ (D) = \frac{4\ .\ área\ transversal}{perímetro\ mojado}$$

$$\boldsymbol{D = \frac{4\ .\ \pi\ .\ (0{,}0254\ m)^2\ .\ 9}{2\ .\ 0{,}0254\ m\ .\ 9} = 0{,}16\ n}$$

$$\boldsymbol{N_{Re}} = \frac{0{,}16\,m\,.\,486{,}11\frac{m}{h}\,.\,965\frac{kg}{m^3}}{1017{,}88\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{73{,}74}$$

$$\boldsymbol{N_{Pr}} = \frac{0{,}43\frac{kcal}{kg\,°c}\,.1017{,}88\frac{kg}{m\,h}}{0{,}155\frac{kcal}{m\,h\,°c}} = \mathbf{2823{,}80}$$

$$\boldsymbol{N_{Nu}} = 0{,}275\,.73{,}74^{0{,}75}\,.\,2823{,}80^{0.375}\,.\left(\frac{1017{,}88\frac{kg}{m\,h}}{1017{,}88\frac{kg}{m\,h}}\right)^{0{,}125} = \mathbf{136{,}20}$$

Luego

$$136{,}20 = \frac{h_{aceite}\,.\,D}{\lambda}$$

$$\boldsymbol{h_{aceite}} = \frac{136{,}20\,.\,0{,}155\frac{kcal}{m\,h\,°C}}{0{,}16\,m} = \mathbf{131{,}94}\,\boldsymbol{\frac{kcal}{m^2\,h\,°c}}$$

Cálculo del coeficiente individual de transmisión de calor del biocombustible para un solo módulo del intercambiador

Datos:

- El biocombustible ingresa al equipo a una temperatura de 65 °c y sale con 55 °c.
- Densidad (ρ) = 926,05 kg/m^3.
- Viscosidad a la temperatura media ($\mu_{60°c}$) = 49,67 kg/m h.

- λ = 0,68 kcal/m h °c.
- C_p = 0,73 kcal/ kg °c
- Caudal = 11,11 m^3/h.
- Área transversal de un tubo interior del módulo = 0,0113 m^2.

$$Velocidad\ de\ flujo(V) = \frac{Caudal}{cantidad\ de\ tubos\ .\ área\ transversal\ de\ cada\ uno}$$

$$\boldsymbol{V = \frac{11{,}11\ \frac{m^3}{h}}{9\ .\ 0{,}002\ m^2} = 617{,}22\ \frac{m}{h}}$$

$$Diámetro\ hidráulico\ (D) = \frac{4\ .\ área\ transversal}{perímetro\ mojado}$$

$$\boldsymbol{D = \frac{4\ .\ \pi\ .\ (0{,}0254\ m)^2 . 9}{2\ .\ 0{,}0254\ m\ .9} = 0{,}16\ m}$$

$$\boldsymbol{N_{Re} = \frac{0{,}16\ m\ .\ 617{,}22 \frac{m}{h}\ .\ 926{,}05 \frac{kg}{m^3}}{46{,}67 \frac{kg}{m\ h}} = 1959{,}55}$$

$$\boldsymbol{N_{Pr} = \frac{0{,}73 \frac{kcal}{kg\ °c}\ .\ 46{,}67 \frac{kg}{m\ h}}{0{,}68 \frac{kcal}{m\ h\ °c}} = 50{,}10}$$

$$\boldsymbol{N_{Nu} = 0{,}275\ .\ 1959{,}55^{0{,}75}\ .\ 50{,}10^{0.375}\ .\ (\frac{46{,}67 \frac{kg}{m\ h}}{46{,}67 \frac{kg}{m\ h}})^{0{,}125} = 351{,}47}$$

Luego

$$351{,}47 = \frac{h_{agua} \cdot D}{\lambda}$$

$$\boldsymbol{h_{biocombustible} = \frac{351{,}47 \cdot 0{,}68 \frac{kcal}{m\ h\ °C}}{0{,}16\ m} = 1493{,}75 \frac{kcal}{m^2\ h\ °c}}$$

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{aceite}} + \frac{1}{h_{biocombustible}} + \frac{x}{\lambda_{material}}$$

Datos:

- X= espesor de los tubos interiores, equivale a 0,002 m.
- $\lambda_{material}$ = conductividad térmica del material de los tubos, equivale a 60,19 kcal/h m °C.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{131{,}94 \frac{kcal}{m^2\ h\ °c}} + \frac{1}{1493{,}75 \frac{kcal}{m^2\ h\ °c}} + \frac{0{,}002\ m}{60{,}19 \frac{kcal}{h\ m\ °c}}$$

$$\boldsymbol{U = 120{,}74 \frac{kcal}{m^2\ m\ °c}}$$

Luego teniendo en cuenta que el criterio de compra es $\boldsymbol{A \cdot U = 7562{,}3 \frac{kcal}{h°C}}$:

$$\boldsymbol{A = \frac{7562{,}3 \frac{kcal}{h°C}}{120{,}74 \frac{Kcal}{m^2\ h\ °c}} = 62{,}63\ n^2}$$

Finalmente los módulos necesarios son:

$$Cantidad\ de\ módulos = \frac{área\ total\ de\ intercambio\ térmico}{área\ de\ intercmbio\ termico\ de\ un\ módulo}$$

$$\textbf{Cantidad de módulos} = \frac{62{,}63\ m^2}{8{,}62 m^2} = \mathbf{7{,}26}$$

Será necesario adquirir 8 módulos del intercambiador para esta etapa del proceso. Cabe aclarar que era esperable mayor superficie de intercambio calórico que la correspondiente para enfriar el aceite del tanque de desgomado (se necesitaron 4), ya que en este caso el fluido refrigerante es aceite de ricino (menor coeficiente de transmisión de calor) y no agua como en el caso anterior.

Separador gravitatorio

En esta etapa el biocombustible con una gran proporción de glicerina, como impureza, se deja en reposo a fin que por la diferencia de peso específico se separen en dos fases. Es suficiente contar con un tanque estático con el volumen suficiente. En la planta será necesario contar con dos tanques con las mismas características.

Se opta por un tanque decantador de la empresa Fimaco S.A.

Características del equipo:

- Capacidad: 9 m^3.
- Material: acero inoxidable. Revestido con hierro galvanizado.
- Visor vertical a lo largo del tanque con medidor de volumen.
- Separación: gravitatoria.
- Fondo interior cónico.



Imagen 19. Decantador gravitatorio Fimaco S.A.

Equipos para subproductos

Secador de Expeller

A este equipo más que para secar se lo utiliza para enfriar el expeller mediante aire ambiente. Su funcionamiento es sencillo por lo que el criterio de compra es solamente la capacidad.

Se opta por un equipo provisto por la empresa Nilso Torre S.A.

Características:

- Secador de piso fijo para secar y enfriar el expeller proveniente de la prensa.
- El piso que es fijo, lo que asegura la robustez del equipo.
- Está compuesto de barras metálicas de sección trapezoidal.

- El material circula arrastrado sobre el piso mediante cadenas metálicas. Un ventilador genera una corriente de aire que atraviesa el piso y la masa de expeller en circulación, necesaria para secar y enfriar el material.
- Capacidad entre 3 y 9 ton/hora.



Imagen 20.Secador de expeller de piso fijo, Nilso Torre S.A.

Reactor- Neutralización de glicerina

En este proceso se requiere mezclar la glicerina cruda con ácido fosfórico. Esta etapa se lleva a cabo a temperatura ambiente, el volumen es bajo (0,2 m^3) y el proceso rápido (7 minutos); como criterio de compra es importante la capacidad del tanque (tanque agitado) y el material que lo constituye teniendo en cuenta que puede llegar a ser atacado por el ácido fosfórico.

Se opta por un tanque tolva agitado fabricado por la empresa Bertotto-Boglione S.A. Ver imagen 3.

Características del tanque:

- Capacidad: 0,7 m^3.
- Material: Polietileno 100% virgen de alta densidad.
- Base metálica especial que fortalece al cono de la tolva.
- Cono a 45º.
- Tipo de agitador: turbina 4 palas.
- Motor: 1 x ½ HP
- Sujetada con cuatro riendas de poliester, montada sobre estructura metálica construida con tubos estructurales IRAM 2592.

Filtro (purificación de la glicerina)

Luego de la neutralización esta es la última etapa de purificación de la glicerina; de esta se deben retirar los cristales de fosfato de potasio que son otro subproducto del proceso.

Ya que el caudal a filtrar es pequeño y los sólidos que formaran la torta de filtración están presentes en baja proporción, como criterios de compra serán suficientes el caudal de trabajo y la porosidad del filtro. En estas condiciones el filtro podrá limpiarse manualmente (para recuperar la torta) 1 vez por jornada laborales.

Se opta por un filtro de placas verticales de la empresa brasileña Ecirtec.

Características del equipo:

Cuerpo cilíndrico con cierre rápido por anillo tipo castillo, con movimiento del cuerpo para abertura y cerramiento por pistón neumático. El filtro es equipado con placas verticales, revestido con mallas de acero inoxidable. Todas las placas están montadas y prensadas sobre un eje colector, en cuya extremidad se encuentra un

vibrador neumático o mecánico. Posee 1,5 m de alto (con el largo de sus cuatro patas incluidas) y un volumen total de 0,38 m^3. Opera con un caudal máximo de 2,2 m^3/h y una presión de hasta 4 atm.



Imagen 21. Filtro de placas verticales Ecirtec.

Equipos de transportes

Transporte de líquidos:

Bomba para el intercambiador de calor en la planta de extracción

Este equipo proveerá al intercambiador de agua (refrigerante), la presión de trabajo debe ser suficiente para que el líquido luego de abandonar el enfriador a mayor temperatura que la de ingreso, sea depositado en el tanque de almacenamiento de agua de lavado.

Es necesario conocer la potencia de la bomba para realizar esta operación, ya que esta es el principal criterio de compra. Para tal fin se utilizará la ecuación de Bernoulli.

Trabajo de la bomba:

$$\eta W = \frac{g \cdot z_2}{g_c} + \frac{\alpha_2 \cdot \mu_2^{\,2}}{2g_c} + h_f - \frac{g \cdot z_1}{g_c}$$

Donde:

- ηW es el trabajo realizado por la bomba.
- $g \times Z / g_c$ es la energía potencial debida al hecho de que el fluido a bombear se encuentra a una altura Z en metros. Los subíndices 1 y 2 de Z están referidos a la succión y descarga de la bomba respectivamente.
- $\alpha\, u_2^{\,2}/2g_c$ es la energía cinética
- h_f representa la sumatoria de la energía perdida por fricción en el sistema.

Pérdidas por fricción

Para obtener el factor de fricción es necesario conocer previamente el factor de Fanning (F*f*), que depende del N_{RE} y de la rugosidad de la superficie de la tubería en cuestión (condiciones de flujo del fluido por la cañería), y se obtiene mediante gráficas. Una vez hallado Fanning, las pérdidas debidas a la fricción resultan de la siguiente expresión:

$$Ff = \frac{4f \,.\, \Delta L \,.\, v^2}{2D \,.\, g_c}$$

Donde:

- *f* es el número de Fanning.
- L es la longitud de la cañería hasta la bomba.
- v es la velocidad del fluido.
- D es el diámetro de la tubería.
- g_c es la aceleración debido a la gravedad.

Pérdidas en la succión:

Se adopta una longitud máxima de la cañería de succión equivalente a 2 metros. No existe un máximo de velocidad sugerido para el trasporte de agua en estas condiciones por lo que se adopta un diámetro de tubería de 2 ½" (0,0635 m; referida a la reducción en la línea de succión y equivalente a la rosca de la bomba); teniendo en cuenta que el caudal calculado es 3,97 m^3/h, la velocidad del fluido en estas condiciones será:

$$Caudal(Q) = velocidad\ (v)\ .Sección\ del\ tubo$$

$$v = \frac{3{,}97\,\frac{m^3}{h}}{0{,}0032\ m^2} = \mathbf{1240{,}62\,\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{D \,.V \,.\rho}{\mu}$$

Donde:

- D es el diámetro de la tubería, equivale a 0,0635 m.
- V es la velocidad del fluido, equivale a 1240,62 m/h.
- $\rho_{(20°c)}$ es la densidad del agua a la entrada de la bomba, equivale a 1000 kg/m^3.
- $\mu_{(20°c)}$ es la viscosidad del agua a la entrada de la bomba, equivale a 3,611 kg/m h.

$$N_{Re} = \frac{0{,}0635\ m\ .1240{,}62\frac{m}{h}\ .\ 1000\ kg/m^3}{3{,}611\frac{kg}{m\ h}} = \mathbf{21816{,}50}$$

Con gráficas de bibliografía, según el número de Reynolds calculado, se obtiene el número de Fanning el cual es igual a 0,008.

Solo queda determinar el factor de pérdidas en la succión que equivale a:

$$Ff = \frac{4f\ .\Delta L\ .\ v^2}{2D\ .\ g_c}$$

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}008\ .\ 2\ m\ .\ (0{,}345\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0635\ m\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\ 1\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}0061}\ \frac{\boldsymbol{kg\ n}}{\boldsymbol{kg}}$$

<u>Pérdidas en la descarga:</u>

En este caso el fluido al salir de la bomba atraviesa el intercambiador de calor y es enviado al tanque de almacenamiento de agua de lavado por una cañería de una longitud máxima de 3,8 m y que cuenta con dos codos de 90°. Las pérdidas

producidas en la conexión entre la salida de la bomba y el intercambiador son despreciables.

Pérdidas en la cañería de descarga:

El caudal de agua refrigerante que circulará por el intercambiador fue calculado para un tiempo de 0,63 horas, una vez atravesado este equipo (si bien el caudal se mantiene) la velocidad del fluido que llenará el tanque de almacenamiento de agua de lavado no necesariamente debe ser el mismo; se propone para liberar presión de la bomba una tubería de 3" (0,0762 m) para este trayecto.

Aplicando la ecuación de continuidad:

$$v_1 . s_1 = v_2 . s_2$$

$$v_2 = \frac{0{,}345 \frac{m}{s} . 0{,}0032\ m^2}{0{,}00456\ m^2} = \mathbf{0{,}24 \frac{m}{s}}$$

El agua sale del intercambiador a 60 °C por lo que su densidad equivale a 983,13 kg/m^3 y su viscosidad es 0,000467 kg/m s.

$$N_{Re} = \frac{0{,}0762\ m . 0{,}24 \frac{m}{s} . 983{,}13 \frac{kg}{m^3}}{0{,}000467 \frac{kg}{m\ s}} = \mathbf{38500}$$

Para el N_{Re} hallado, las condiciones y tipo de cañería, el número de Fanning es 0,007.

Factor de pérdidas:

$$Ff = \frac{4f \,.\, \Delta L \,.\, v^2}{2D \,.\, g_c}$$

$$Ff = \frac{4 \,.\, 0{,}007 \,.\, 3{,}8\, m \,.\, (0{,}24 \frac{m}{s})^2}{2 \,.\, 0{,}0762\, m \,.\, 9{,}81 \frac{m}{s^2} \,.\, 1 \frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}0041} \; \frac{\boldsymbol{kg\ n}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas producidas por los codos:

Existen dos codos de 90° en la cañería de descarga, para obtener las pérdidas que producen se los expresan como longitud de cañería equivalente.

$$Longitud\ de\ cañería\ equivalente = 2{,}74\, m \,.\, 2\ codos = \mathbf{5{,}48\ m}$$

Luego:

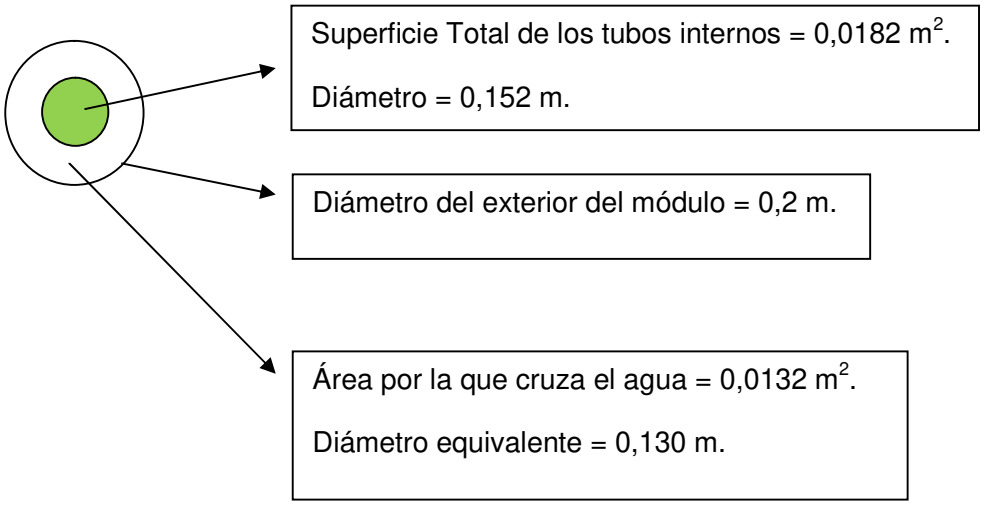
$$Ff = \frac{4 \,.\, 0{,}007 \,.\, 5{,}48\, m \,.\, (0{,}24 \frac{m}{s})^2}{2 \,.\, 0{,}0762\, m \,.\, 9{,}81 \frac{m}{s^2} \,.\, 1 \frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}0059} \; \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas que se producen en el intercambiador:

El intercambiador está compuesto de seis módulos de 6 metros cada uno, en cuyo interior existen 9 tubos de 0,0508 m de diámetro. El agua refrigerante cruza por fuera de los tubos internos y no se ve afectada por las curvas de 90° en los extremos del equipo ya que estas últimas solo conectan los tubos internos.

Para estimar las pérdidas en este equipo se calculará las producidas al rozar el agua la superficie interna del diámetro del módulo (0,2 m) como si los tubos en su interior formaran uno solo y se le sumará las producidas por el roce sobre las

superficies externas de los tubos internos del módulo considerándolos como una sola superficie sumergida.



Pérdidas generadas en la superficie interna del módulo:

Velocidad del fluido:

$$v = \frac{3{,}97\frac{m^3}{h}}{0{,}0132 m^2} = \mathbf{300{,}76\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}130\ m\ .300{,}76\frac{m}{h}\ .\ 1000\ kg/m^3}{3{,}611\frac{kg}{m\ h}} = \mathbf{10827{,}69}$$

El número de Fanning es 0,0075 entonces:

$$Ff = \frac{4\,.\,0{,}0075\,.\,6\,m\,.\,(0{,}083\,\frac{m}{s})^2}{2\,.0{,}130\,m\,.\,9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,1\,\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}0005}\ \frac{\boldsymbol{kg\ n}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas generadas en la superficie externas de los tubos:

Para este caso el diámetro es igual a la de un disco sumergido con la cara en dirección perpendicular a la del fluido; tal superficie representa la totalidad de los tubos internos del módulo.

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}152\,m\,.300{,}76\,\frac{m}{h}\,.\,1000\,kg/m^3}{3{,}611\,\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{12660{,}07}$$

Con el N_{Re} hallado se obtiene, de gráficas de la bibliografía, el coeficiente de rozamiento (C_D = 1,3), luego:

$$Ff = \frac{4\,C_D\,.\,\Delta L\,.\,v^2}{2D\,.\,g_c}$$

$$Ff = \frac{4\,.\,1{,}3\,.\,6\,m\,.\,(0{,}083\,\frac{m}{s})^2}{2\,.0{,}130\,m\,.\,9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,1\,\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0.08}\ \frac{\boldsymbol{kg\ n}}{\boldsymbol{kg}}$$

Finalmente las pérdidas en el intercambiador se obtienen:

$$Perdidas\ en\ el\ intercambiador = pérdidas\ en\ un\ módulo\ .\ cantidad\ de\ módulos$$

$$Perdidas\ en\ el\ intercambiador = (0{,}0005 + 0{,}08)\ \frac{kgm}{kg}\ .\ 4 = \mathbf{0{,}322}\ \frac{\boldsymbol{kgm}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas de cargas totales:

$$Pérdidas\ de\ cargas\ totales = (0{,}0061 + 0{,}0041 + 0{,}0059 + 0{,}322)\ \frac{kgm}{kg}$$

$$Pérdidas\ de\ cargas\ totales = \mathbf{0{,}34}\ \frac{\boldsymbol{kgm}}{\boldsymbol{kg}}$$

Luego reemplazando en la ecuación de Bernoulli:

$$\eta W = \frac{9{,}8\ \frac{m}{s^2}\ .\ 2{,}8\ m}{9{,}81\ \frac{m}{s^2}\ .\ \frac{kg}{kg}} + \frac{1\ .\ (0{,}083\ \frac{m}{s})^2}{2\ .\ 9{,}81\ \frac{m}{s^2}\ .\ \frac{kg}{kg}} + 0{,}34\ \frac{kgm}{kg}$$

$$\eta W = \mathbf{3{,}14}\ \frac{\boldsymbol{kg\ n}}{\boldsymbol{kg}}$$

Potencia al freno:

El último valor necesario para llegar al criterio de adopción de la bomba, es la potencia al freno que es aquella suministrada por una fuente externa para accionar la bomba.

$$P_b = \frac{m\ .\ w_p}{76{,}04\ \eta}$$

Donde:

- η es el rendimiento de la bomba, existen en el mercado equipos muy eficientes, de todos modos se adopta, por seguridad, igual al 80%.
- m es el flujo másico equivale a: $m = \rho . v . s$ (se considera la densidad igual que a la de la entrada a la bomba ya que de ser así sería la situación más desfavorable)

$$m = 1000 \frac{kg}{m^3} . 0{,}083 \frac{m}{s} . 0{,}0132\ m^2 = \mathbf{1{,}096 \frac{kg}{s}}$$

$$P_b = \frac{1{,}096 \frac{kg}{s} . \ 3{,}14 \frac{kgm}{kg}}{76{,}04 \frac{kgm}{s\ HP} . 0{,}80} = \mathbf{0{,}56\ HP}$$

Por lo que la potencia de la bomba necesaria para este proceso es de 0,56 HP mínimamente. Se adopta una bomba de **1HP.**

Bomba para el transporte de metanol

Existen en la planta de biocombustible tres bombas centrífugas que realizarán el trabajo de transportar metanol. Según su distribución dentro de la planta el equipo que realizará un mayor trabajo será el encargado de transportar el metóxido (metanol más hidróxido de potasio) desde el tanque del catalizador al reactor de transesterificación; por lo que se adoptaran tres bombas que cumplan con tal requisito.

Velocidad de flujo:

$$v = \frac{1{,}17 \frac{m^3}{h}}{0{,}0032\ m^2} = \mathbf{365{,}62 \frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}0635\,m\,.365{,}62\frac{m}{h}\,.\,792\,kg/m^3}{2{,}124\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{8657{,}13}$$

Para cañerías de acero al carbono de 2 1/2" y el N_{Re} hallado, el número de Fanning es 0,009 luego:

$$Ff = \frac{4\,.\,0{,}009\,.\,3\,m\,.\,(0{,}102\,\frac{m}{s})^2}{2\,.0{,}0635\,m\,.\,9{,}81\frac{m}{s^2}\,.\,1\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}0011}\ \frac{\boldsymbol{kg\,n}}{\boldsymbol{kg}}$$

Existen en la línea 2 codos de 90° cuyas pérdidas de carga por fricción ya se determinaron anteriormente (0,0059 kgm/kg), por lo que las pérdidas totales son:

$$h_f = (0{,}0011 + 0{,}0059)\,\frac{kgm}{kg} = \mathbf{0{,}007}\,\frac{\boldsymbol{kgm}}{\boldsymbol{kg}}$$

Trabajo de la bomba:

$$\eta W = \frac{9{,}8\frac{m}{s^2}\,.\,3\,m}{9{,}81\frac{m}{s^2}\,.\frac{kg}{kg}} + \frac{1\,.(0{,}102\frac{m}{s})^2}{2\,.\,9{,}81\frac{m}{s^2}\,.\frac{kg}{kg}} + 0{,}007\frac{kgm}{kg}$$

$$\eta W = \mathbf{3{,}004}\,\frac{\boldsymbol{kg\,m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Potencia al freno:

$$m = 792\frac{kg}{m^3}\,.0{,}102\frac{m}{s}\,.0{,}0032\,m^2 = \mathbf{0{,}258}\frac{\boldsymbol{kg}}{\boldsymbol{s}}$$

$$P_b = \frac{0{,}258\frac{kg}{s}\,.\,3{,}004\frac{kgm}{kg}}{76{,}04\frac{kgm}{s}HP\,.0{,}75} = \mathbf{0{,}014\,HP}$$

Presión suministrada por la bomba adoptada:

Teniendo en cuenta que la presión de vapor del metanol (a 25°c) es 1713 kg/m^2 es muy importante y necesario que la presión que adquiere el fluido provista por la bomba sea superior, para evitar evaporaciones del alcohol (con el riesgo toxico y explosivo que esto significa).

Considerando que la velocidad de succión y descarga son iguales, y despreciando las alturas al ingreso y salida del fluido a la bomba, la presión que ejerce ésta sobre el fluido viene dada por:

$$Presion\ suministrada\ por\ la\ bomba = \eta w\ .\rho = 3{,}004\frac{kgm}{kg}\ .792\frac{kg}{m^3}$$

$$Presion\ suministrada\ por\ la\ bomba = 2379{,}17\frac{kg}{m^2}$$

La presión suministrada por la bomba asegura que no habrá evaporaciones de metanol, más aún si se elige una de mayor potencia que la calculada.

Se adopta dos bombas de ½ **HP** (una de ellas es para el vaciado del mezclador del catalizador).

Bomba para el transporte de biocombustible crudo

En la planta habrá tres bombas que han de trasportar biocombustible y como el mayor trabajo lo realizará cual transporte el crudo (desde el evaporador al tanque de separación de glicerina haciéndolo pasar, previamente, por el intercambiador de calor) se calculará las características de ésta para llegar al criterio de compra.

Pérdidas en la succión:

Velocidad de flujo:

$$v = \frac{8{,}71\,\frac{m^3}{h}}{0{,}0032\,m^2} = \mathbf{2721{,}87\,\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

El biocombustible en esta etapa posee glicerina y ya fue despojado del metanol residual; se estima su densidad en 944,8 kg/m^3 y su viscosidad 53,07 kg/m h.

$$N_{Re} = \frac{0{,}0635\,m\,.2721{,}87\,\frac{m}{h}\,.\,944{,}8\,kg/m^3}{53{,}07\,\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{3077{,}03}$$

Para cañerías de acero al carbono de 2 ½" y el N_{Re} hallado, el número de Fanning es 0,013 luego:

$$Ff = \frac{4\,.\,0{,}013\,.\,4\,m\,.\,(0{,}756\,\frac{m}{s})^2}{2\,.0{,}0635\,m\,.\,9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,1\,\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}095\,\frac{kg\,m}{kg}}$$

Existen en la línea 2 codos de 90° cuyas pérdidas de carga por fricción ya se determinaron anteriormente (0,00295 kgm/kg cada uno), por lo que las pérdidas totales en la línea de succión asciende a:

$$h_f = (0{,}095 + 0{,}0059)\,\frac{kgm}{kg} = \mathbf{0{,}101\,\frac{kgm}{kg}}$$

<u>Pérdidas en la descarga:</u>

Velocidad de flujo:

$$v = \frac{8{,}71\,\frac{m^3}{h}}{0{,}0032\,m^2} = \mathbf{2721{,}87\,\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}0635\ m\ .2721{,}87 \frac{m}{h}\ .\ 944{,}8\ kg/m^3}{53{,}07 \frac{kg}{m\ h}} = \mathbf{3077{,}03}$$

Para cañerías de acero al carbono de 2 ½" y el N_{Re} hallado, el número de Fanning es 0,013 luego:

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}013\ .\ 2{,}5\ m\ .\ (0{,}756 \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0635\ m\ .\ 9{,}81 \frac{m}{s^2}\ .\ 1 \frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}0601}\ \frac{\boldsymbol{kg\ n}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas en el intercambiador de calor:

En este caso el biocombustible fluye por los tubos internos de cada módulo y cruza de uno a otro de estos últimos a través de curvas de 90°. Cada módulo posee 9 tubos internos de 2" (0,0508 m) de diámetro y una longitud de 6 metros.

La velocidad de flujo cambia dentro del intercambiador de calor ya que se modifica la sección de los tubos por donde pasa el fluido, luego:

$$v = \frac{8{,}71 \frac{m^3}{h}}{0{,}002\ m^2} = \mathbf{4355}\ \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}0508\ m\ .4355 \frac{m}{h}\ .\ 944{,}8\ kg/m^3}{53{,}07 \frac{kg}{m\ h}} = \mathbf{3938{,}61}$$

Para cañerías de hierro galvanizado y el N_{Re} hallado, el número de Fanning es 0,01 luego:

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}01\ .\ 54\ m\ .\ (1{,}21 \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\ m\ .\ 9{,}81 \frac{m}{s^2}\ .\ 1 \frac{kg}{kg}} = \mathbf{3{,}17}\ \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas ocasionadas por las curvas de los extremos del intercambiador:

Fue calculado para esta operación que el intercambiador de calor necesario contaría con 8 módulos y 6 curvas de 90° cada una. Estas últimas tienen una longitud equivalente de una cañería de 0,2 m de diámetro igual a de 9,13 m cada una.

La velocidad de flujo cambia dentro de las curvas del intercambiador de calor ya que se modifica la sección por donde pasa el fluido, luego:

$$v = \frac{8{,}71\,\frac{m^3}{h}}{0{,}0314\,m^2} = \mathbf{277{,}39\,\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}2\,m\,.277{,}39\,\frac{m}{h}\,.\;944{,}8\,kg/m^3}{53{,}07\,\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{967{,}66}$$

Para cañerías de hierro galvanizado y el N_{Re} hallado, el número de Fanning es 0,02 luego:

$$Ff = \frac{4\,.\,0{,}02\,.\,(9{,}13\,.6)m\,.\,(0{,}08\,\frac{m}{s})^2}{2\,.0{,}2\,m\,.\,9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,1\,\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}007\,\frac{kg\,m}{kg}}$$

Finalmente las pérdidas en el intercambiador se obtienen:

$$Perdidas\ totales = pérdidas\ en\ un\ módulo\,.\,cantidad\ de\ módulos\,.\,pérdidas\ de\ las\ curvas$$

$$Perdidas\ totales = 3{,}17\,\frac{kgm}{kg}\,.\;8 + 0{,}007 = \mathbf{25{,}37\,\frac{kgm}{kg}}$$

Existen además 2 codos de 90° cuyas pérdidas de carga por fricción ya se determinaron anteriormente (0,00295 kgm/kg cada uno), por lo que las pérdidas totales en la línea de descarga asciende a:

$$h_f = (0{,}0601 + 25{,}37 + 0{,}0059)\frac{kgm}{kg} = \mathbf{25{,}44}\frac{\mathbf{kgm}}{\mathbf{kg}}$$

Trabajo de la bomba:

Se toma la velocidad promedio en toda la línea igual a 0,28 m/s^2.

$$\eta W = \frac{9{,}8\frac{m}{s^2}\,.\,5\,m}{9{,}81\frac{m}{s^2}\,.\frac{kg}{kg}} + \frac{1\,.(0{,}28\frac{m}{s})^2}{2\,.\,9{,}81\frac{m}{s^2}\,.\frac{kg}{kg}} + 25{,}53\frac{kgm}{kg}$$

$$\eta W = \mathbf{30{,}53}\frac{\mathbf{kg\ m}}{\mathbf{kg}}$$

Potencia al freno:

$$m = 944{,}8\frac{kg}{m^3}\,.0{,}28\frac{m}{s}\,.0{,}002\,m^2 = \mathbf{0{,}53}\frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{s}}$$

$$P_b = \frac{0{,}53\frac{kg}{s}\,.\,30{,}53\frac{kgm}{kg}}{76{,}04\frac{kgm}{s\,HP}\,.0{,}80} = \mathbf{0{,}27\ HP}$$

En este caso adoptará una bomba de **1 HP.**

Por último existe en esta rama del proceso una bomba que alimenta al intercambiador de calor con aceite de ricino desgomado, cual cumple la función de refrigerante. Las características de esta bomba se adoptarán igual a la calculada anteriormente, es decir **1 HP.**

Bomba para el transporte de glicerina neutralizada

Esta bomba transportará la glicerina neutralizada con ácido fosfórico en el reactor, la hará cruzar por el filtro de presión para depositarla finalmente en el tanque de glicerina pura.

En la planta habrá otras dos bombas que han de trasportar la glicerina en una de sus etapas de producción, por lo que como criterio de compra se adoptará las características de la que realice el mayor trabajo; en este caso la que bombea la glicerina neutralizada que se mencionó al principio.

Velocidad de flujo:

$$v = \frac{1{,}06\,\frac{m^3}{h}}{0{,}0032\,m^2} = \mathbf{331{,}25\,\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{0{,}0635\,m\,.331{,}25\,\frac{m}{h}\,.\;1260\,kg/m^3}{5012{,}28\,\frac{kg}{m\,h}} = \mathbf{5{,}29}$$

Para cañerías de acero al carbono y el N_{Re} hallado, el número de Fanning (que se determina con la ecuación de Hagen-Poiseuille) es 3,4 luego:

$$Ff = \frac{4\,.\,3{,}4\,.\,10{,}8\,m\,.\,(0{,}092\,\frac{m}{s})^2}{2\,.0{,}0635\,m\,.\,9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,1\,\frac{kg}{kg}} = \mathbf{1{,}05\,\frac{kg\,n}{kg}}$$

Pérdida de carga debida al filtro:

$$Ff = \frac{33400\,\frac{kg}{m^2}}{1260\,\frac{kg}{m^3}} = \mathbf{26,51\,\frac{kgm}{kg}}$$

Existen en la línea 5 codos de 90° cuyas pérdidas de carga por fricción ya se determinaron anteriormente (0,00295 kgm/kg cada uno), por lo que las pérdidas totales son:

$$h_f = (1{,}05 + 26{,}51 + 0{,}015)\,\frac{kgm}{kg} = \mathbf{27,57\,\frac{kgm}{kg}}$$

Trabajo de la bomba:

$$\eta W = \frac{9{,}8\,\frac{m}{s^2}\,.\,10{,}8\,m}{9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,\frac{kg}{kg}} + \frac{1\,.\,(0{,}092\,\frac{m}{s})^2}{2\,.\,9{,}81\,\frac{m}{s^2}\,.\,\frac{kg}{kg}} + 27{,}78\,\frac{kgm}{kg}$$

$$\eta W = \mathbf{38,36\,\frac{kg\,m}{kg}}$$

Potencia al freno:

$$m = 1260\,\frac{kg}{m^3}\,.\,0{,}092\,\frac{m}{s}\,.\,0{,}0032\,m^2 = \mathbf{0,37\,\frac{kg}{s}}$$

$$P_b = \frac{0{,}37\,\frac{kg}{s}\,.\,38{,}36\,\frac{kgm}{kg}}{76{,}04\,\frac{kgm}{s\,HP}\,.\,0{,}80} = \mathbf{0,23\ HP}$$

Se adoptará una bomba de **½ HP**. Existe en la planta una bomba que transporta ácido fosfórico desde el tanque de su almacenamiento hacia el reactor de neutralización de glicerina; estás se adoptara con las características similares a la calculada (es decir ½ HP).

Todas las bombas calculadas y adoptadas serán del tipo centrífugas y suministras por la empresa Alfa Laval. Cabe aclarar que se tiene conocimiento que el hecho

de adquirir una gran cantidad de equipos provistos solo por un proveedor puede generar dependencia de la planta en concepto de accesorios, repuestos y reemplazos. Pero por otro lado tratándose de bombas, la situación de que todas posean características similares brinda importante ventajas operativas y de mantenimiento (ejemplo: no será necesario un gran inventario de repuestos ya que uno de un solo tipo puede ser utilizado en cualquiera de las bombas, las tareas mantenimiento son las mismas para cada una e intercambiarlas en la planta, en caso de alguna eventualidad, no representa demasiada complicación).

Transporte de sólidos:

Los sólidos transportados en la planta incluyen granos, expeller, gomas y borras del aceite. Los sistemas comúnmente utilizados en las aceiteras se resumen en tornillos helicoidales, transportes de cadenas y de cajillones (cuando se manejan grandes volúmenes). El principal criterio de compra es la capacidad de trabajo (caudal), la potencia del motor una vez fijado el caudal lo determina el largo del transporte.

Transportes Helicoidales

Los transportes helicoidales son equipos de transporte de granos y otras materias primas granuladas muy útiles para distancias cortas y bajas capacidades, ya que cuando se trata de distancias medias o largas y alta capacidad de transporte, resulta más conveniente la instalación de otros sistemas.

Existen básicamente dos modelos: Uno en donde la caja exterior es un tubo y otro donde ésta es en forma de “U”, con bocas de acceso superiores con tapas planas removibles. Pueden tener múltiples puntos de carga y descarga y hasta pueden construirse de manera que el mismo equipo transporte en ambos sentidos, colocando espiras dextrógiras y levógiras.

Se adoptaran los tornillos helicoidales provistos por la empresa Fabrimac S.A.

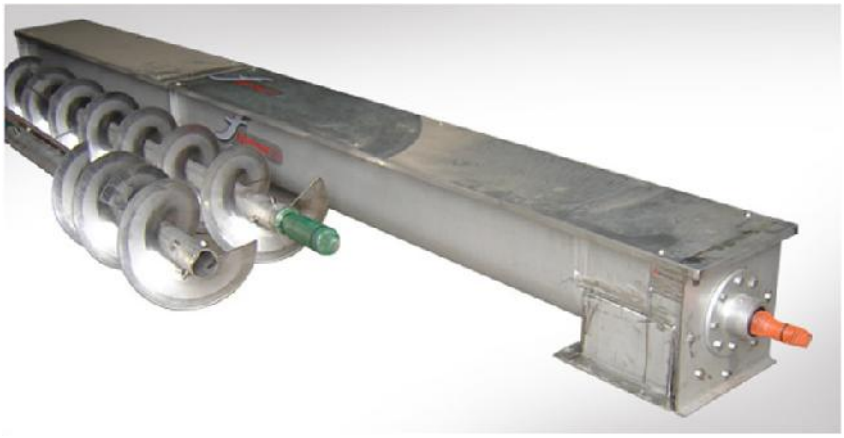


Imagen 22. Tornillos helicoidales Fabrimac S.A.

Transportes a cadena

Los transportadores a cadena, son adecuados para el movimiento de materiales a granel cuando se requiere que el producto esté confinado y no haya contaminación del ambiente.

Se fabrican para trabajar en forma horizontal, inclinada o vertical, cumpliendo en éste último caso las funciones de un elevador.

Dependiendo de la capacidad y requerimientos, pueden ser de un simple ramal de cadenas, doble ramal, o de más ramales.

Se adoptaran los transportes a cadena provistos por la empresa Fabrimac S.A.

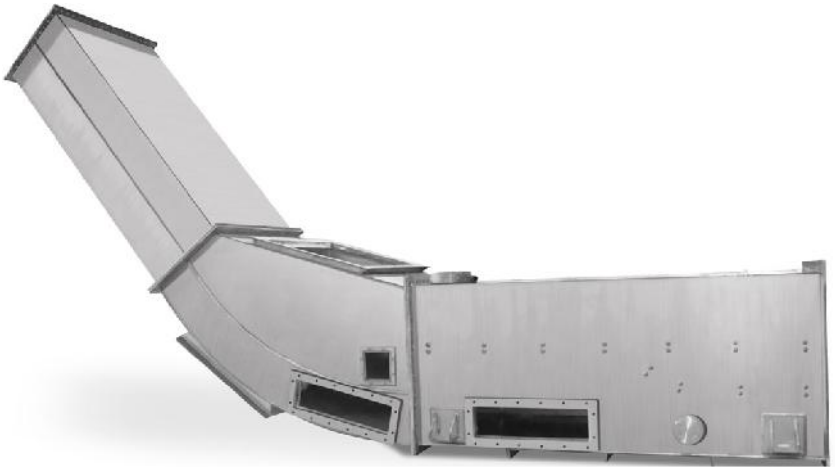


Imagen 23. Transportes a cadena Fabrimac S.A.

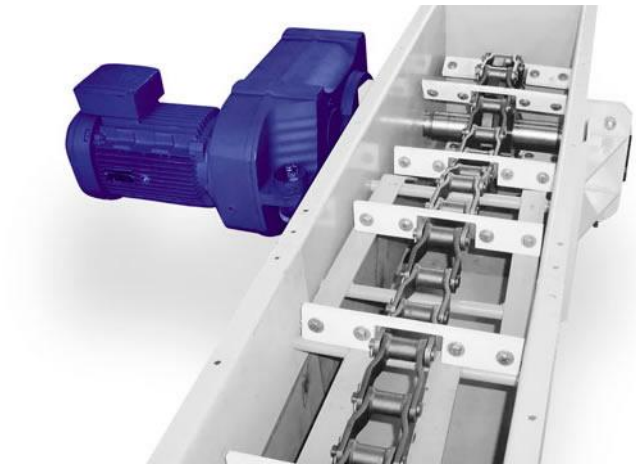


Imagen 24. Transportes a cadena Fabrimac S.A.

Accesorio para la carga y descarga de camiones cisternas

Brazo articulado

En el proceso de carga y descarga de camiones es una dificultad operativa el trabajar con mangueras (dado que estas se envejecen rápidamente por el uso y

los agentes atmosféricos), por lo que se opta por adquirir un brazo de carga provisto, por la empresa Pefow Equipamientos S.A. para que la operación resulte más práctica y segura.

Características del producto:

Se adapta en la carga de camiones que tienen la boca en la parte superior o posterior del tanque. La cualidad principal de este brazo es la maniobrabilidad que le dan las diferentes articulaciones reemplazando el uso de las clásicas mangueras. La base brinda un ángulo de rotación de 360º en un plano horizontal. Sus movimientos son muy suaves, aptos para que lo manipule un solo operario sin hacer grandes esfuerzos. Con el comando a distancia se puede abrir o cerrar la válvula de bloqueo desde arriba del contenedor o transporte sin necesidad de bajarse hasta la plataforma. Los materiales de construcción pueden variar de acuerdo a las condiciones de operación.



Imagen 25. Brazo de carga provisto por Pefow Equipamientos S.A.

Equipos necesarios en caso de brindar el servicio de extracción de aceite de soja

Secadora de granos

Para el caso de la soja es necesario contar con un equipo secador de granos, para llevar la humedad de estos a valores comprendidos entre el 10 y 11%; que es el punto optimo para su procesamiento. El criterio de compra es la capacidad de secado por hora, ya que los granos se secarán justo antes de ingresar a la línea de proceso y no se realizará acopio en silos de stock por tiempos prolongados. La capacidad instalada en la planta es de 9 toneladas por hora.

Se opta por un equipo provisto por la empresa Ingeniería Mega.



Imagen 26. Secadora de granos provista por Ingeniería Mega

Tanque de almacenamiento de aceite de soja desgomado

Trabajar a la capacidad máxima de la planta procesando soja, no necesariamente requiere modificar la capacidad de almacenamiento de aceite desgomado, debido a que esta oleaginosa solo posee aproximadamente un 20% de aceite (el ricino posee entre el 50 y 60%). De todos modos es necesario contar con un tanque de almacenamiento exclusivo para brindar el servicio de extracción.

Se opta adquirir un tanque de almacenamiento de acero inoxidable de 30 m^3, provisto por la empresa Gelvez S.R.L. Ver imagen 2.

CAPÍTULO 9

LIMPIEZA DE LA PLANTA

Introducción

Las plantas de biocombustibles a partir de aceites vegetales no requieren de una exhaustiva limpieza de sus equipos (debido a que se trata de un circuito cerrado de un flujo líquido en todas las etapas del proceso), la misma se centra en la higiene exterior de todas las instalaciones. Para aquellas industrias de este tipo que producen su propio aceite, el foco de contaminación y por ende el que demande operativos sincronizados de limpieza y desinfección será la planta de extracción. Por lo detallado es útil mencionar las características de las aceiteras a la hora de introducirse en temas relacionados con la generación de efluentes, el cuidado del medio ambiente, la limpieza y desinfección.

En nuestro país una de las mayores industrias instaladas son las aceiteras. Si bien también se extrae aceite de girasol, maíz y colza, el de mayor producción es el aceite de soja. La limpieza de estas plantas en la mayoría de los casos es manual y las que poseen un sistema automatizado solo está vinculado con la limpieza de tanques de procesos y almacenamiento mediante un CIP (Cleaning In Place). A diferencia de la mayoría de las industrias alimenticias las aceiteras no se caracterizan por ser grandes demandantes de agua para proceso y limpieza (exceptuando la de aceite de oliva).

El efluente líquido de la industria aceitera presenta como principales contaminantes aceites y grasas; sólidos suspendidos, DBO, DQO y alta conductividad. La mayoría de estos componentes son productos y subproductos que se pierden; por lo que es necesario prevenir las posibles pérdidas para minimizarlos. Un programa de prevención de la contaminación en la industria aceitera se justifica debido a que aproximadamente el 90-97% de la DBO es proporcionada por la pérdida de productos. Por consiguiente minimizar la generación de corrientes contaminantes no apunta solamente al

cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que permite aumentar la rentabilidad de la empresa en términos de recuperación de productos comercializables (también en términos de reducción de los costos de tratamientos de los efluentes).

Limpieza y desinfección

En términos generales la limpieza es la acción de eliminar la suciedad. Existen diferentes formas y métodos de lograr este objetivo. Como en toda industria siempre será necesario un programa para limpiar las instalaciones y otro para el caso de los equipos. En la industria aceitera la suciedad más difícil de eliminar es la depositada en los equipos luego de una jornada laboral. Este tipo de desecho se compone de materia grasa y proteína vegetal desnaturalizada y requiere de un tratamiento especial para su completa eliminación.

La desinfección consiste en la eliminación de microorganismos patógenos. Para las aceiteras que procesan granos las posibilidades de contaminación del producto con patógenos son muy bajas. Los problemas más frecuentes relacionados con microorganismos aparecen en los silos cuando el almacenamiento es prolongado, aún aquí los más relevantes son los alterantes y no los perjudiciales para la salud humana.

Los equipos de extracción trabajan a elevadas temperaturas por lo que no es necesario un programa de desinfección de estos, luego del lavado. Si es necesario en el ambiente de la planta, por la posible presencia de polvo y hongos. Además es necesaria la desinfección en zonas de trabajo para evitar la proliferación de insectos que pueden estar presentes junto con la materia prima.

La humedad residual, de persistir luego de la limpieza, no es un problema en los equipos de extracción ya que es arrastrada por los granos y evaporada por las condiciones de proceso de estos equipos.

Efluentes generados en la planta productora de biocombustible de aceite de ricino

Los efluentes producidos en la planta de extracción de aceite de ricino son similares a los de cualquier otra aceitera.

Residuos sólidos generados

- Sólidos provenientes de la prensa (expellers): los mismos tienen un elevado porcentaje de proteínas y entre un 6 y 8% de materia grasa. Se almacenan en un depósito cerrado para su posterior. Se realiza la venta semanalmente.
- Sólidos provenientes de la centrífuga clarificadora de aceite crudo: son destinados al sector de depósito y almacenamiento de expellers.
- Gomas producidas en el proceso de desgomado del aceite: las mismas son destinadas al sector de depósito y almacenamiento de expellers (se mezcla con los mismos previamente en la prensa).
- Basura en general: se acopia y es retira por el servicio del parque industrial de La paz, Entre Ríos.

Efluentes líquidos generados

- Agua del lavado de equipos e instalaciones. Se destinan a la planta de tratamiento de efluentes.

- Efluentes cloacales. Se destinan al servicio de cloaca del parque industrial.

Es importante destacar que la materia prima, al tratarse de granos, no produce residuos de agua vegetal durante la extracción; como ocurre por ejemplo en la extracción de aceite de oliva que genera un líquido oscuro conocido como alpechín, que de no ser tratado genera un fuerte impacto ambiental negativo.

Procedimiento de limpieza de equipos e instalaciones en la planta

En las industrias que procesan alimentos, independientemente de que se trabaje manualmente, en circuito cerrado o por medio de maquinas, las operaciones básicas a realizar incluyen las siguientes etapas:

- Pre- enjuague.
- Limpieza alcalina.
- Primer enjuague intermedio.
- Limpieza ácida.
- Segundo enjuague intermedio.
- Desinfección.
- Enjuague final.

Tanto la limpieza ácida como la desinfección se llevan a cabo solo en algunos casos ya que puede ser suficiente con una limpieza alcalina; tal es el caso de las industrias aceiteras.

Las materias grasas son insolubles en agua y solubles en álcalis, son difíciles de limpiar y sobre una superficie caliente se polimeriza lo que hace más difícil su eliminación. Además de su naturaleza química tiene gran influencia sobre la

resistencia al lavado el tiempo que lleva formado el depósito y la forma en que se ha originado.

El tiempo del procedimiento de limpieza debe permitir que ocurran cambios físicos y físico-químicos que garanticen un correcto lavado de las superficies. Estos cambios son:

- Físicos: para que el lavado pueda arrastrar las partículas de grasa sólidas, es necesario trabajar a una temperatura superior a la del punto de fusión. Si la solución de lavado está demasiado caliente, el agua podrá desnaturalizar proteínas y polimerizarlas dificultando su eliminación. Por otro lado hay que evitar los desperdicios de agua caliente porque los gastos de energía de las operaciones de limpieza suelen ser más elevados que los de detergentes.

- Físico-químicos: Desde el punto de vista químico, el depósito atacado por el detergente se descompone en sub- productos, total o parcialmente solubles, que pueden eliminarse fácilmente. Los agentes humectantes o tensioactivos se usan para reducir la tensión interfacial, los detergentes penetran en el depósito, lo separan de la superficie y facilitan su dispersión. Generalmente los lípidos se descomponen parcialmente por la acción de los álcalis para dar glicerina y jabones. Las proteínas se eliminan con ácidos diluidos o con álcalis, y también se pueden usar oxidantes muy fuertes. El enjuague final puede realizarse con agua tibia o fría.

Programa de limpieza adoptado

El plan de limpieza general será llevado a cabo por personal tercerizado. Las actividades serán realizadas al término de cada jornada laboral. Los elementos, insumos y equipos de limpieza serán provistos por la planta.

Existen tareas específicas de limpieza que se llevaran a cabo durante el proceso (barrido de pisos, secado de derrames de agua, etc); habrá un solo operario de la planta que realice estas tareas durante su jornada laboral.

Limpieza del ambiente laboral

En las oficinas la limpieza se llevará a cabo en el siguiente orden:

- Limpieza de escritorios, recogiendo residuos sólidos y luego desinfectando la superficie con un paño húmedo. Se utilizará un líquido desinfectante domisanitario de uso comercial que no deje como residuos olores fuertes. No se utilizarán aerosoles.
- Las sillas serán aspiradas.
- Limpieza seca de pisos, con escoba plástica recogiendo luego los residuos en bolsas destinadas para tal fin.
- Desinfección de pisos con paños húmedos. El piso deberá quedar con una leve humedad de tal forma que esta se volatilice rápidamente. No se arrojará líquido en el piso para luego secarlo. Se utilizará un desinfectante domisanitario de uso comercial.

En los baños la limpieza se llevará a cabo en el siguiente orden:

- Se recogerá todos los residuos sólidos en una bolsa destinada para tal fin.
- Se lavarán inodoros y piletas con un agente tensioactivo y se enjuagarán.

- Se lavarán los pisos con un agente tensioactivo y se enjuagarán. En este caso se arrojará el líquido al piso y se refregará con escoba plástica.
- Se desinfectará inodoros, piletas y pisos con solución de hipoclorito de sodio.
- Se secarán los pisos con paños.
- Se repondrán, de ser necesario, los elementos de higiene personal.
- En todos los casos se utilizará agua del tanque de almacenamiento de agua caliente.

En la planta de extracción se llevará a cabo la limpieza de la siguiente manera:

- Se limpiará el piso con un barrido y recolección de sólidos. No se barrerá zonas del piso que por alguna razón se encuentren húmedas.
- Se procederá a mojar el piso con agua del tanque de almacenamiento de agua caliente, con el uso de mangueras; de ser necesario se cepillará con escoba plástica y se secará con escurridor de goma. No se utilizarán paños ni agentes químicos en esta operación.
- Con atomizador manual se arrojará muy próximo al piso un desinfectante líquido (antifúngico de uso permitido para la industria alimenticia) sin llegar a inundar ninguno de los sectores rociados.

En la planta de biocombustible se llevará a cabo la limpieza de la siguiente manera:

- Un operario de la planta barrerá el piso regularmente y recogerá los residuos sólidos durante el proceso.
- No se le estará permitido el ingreso del personal de limpieza tercerizado a este sector durante horas de proceso.

Limpieza de otros sectores de la planta:

- La zona de volcado de granos y la tolva, será mantenida limpia y seca por el personal encargado del volcado. Se barrerá y atomizará un desinfectante (antifúngico) al término de las funciones en esta área. Salvo casos excepcionales, no se arrojará agua para limpiar.
- El laboratorio será mantenido limpio por el personal que trabaja en el mismo. Se aplicaran las tareas que se realizan en la limpieza de las oficinas. Permanecerá cerrado luego de cada jornada laboral.
- La zona de la caldera será mantenida limpia y seca por personal de la planta. Se recogerán residuos barriendo el área. No se arrojarán líquidos de ningún tipo.

Limpieza de los equipos

Se limpiarán diariamente equipos específicos de la planta de extracción como ser extrusoras, prensas y tanque de desgomado. Respecto del sector de biocombustible solo se limpiará el filtro utilizado en la purificación de glicerina.

Las operaciones generales son:

- Preparado de la solución alcalina.
- Pre-enjuague.
- Limpieza alcalina.
- Enjuague final.

Preparado de la solución alcalina

Antes de comenzar las tareas de eliminación de la suciedad de equipos el personal de limpieza (tercerizado) debe preparar una solución de hidróxido de sodio al 2% p/v.

En un tanque elevado de 1,2 m^3 de capacidad se agregará 20 kg de hidróxido de sodio (las cantidades de sal ya estarán fraccionadas y pesadas, colocadas en envases individuales en un depósito) y se accionará manualmente la bomba (B1) que transporta agua caliente desde el tanque de almacenamiento de agua de lavado; está cortará mediante una bolla al cargar 1 m^3 de agua (y en ese momento hay que accionar el interruptor para desconectar la bomba de la energía eléctrica). Entre la cañería que conecta la bomba B1 con el tanque de solución existe una válvula de retención o anti-retorno.

Finalizadas las operaciones de preparado de la solución de hidróxido de sodio, se abrirá manualmente la válvula que alimenta con vapor la camisa del tanque y se cerrará cuando la temperatura que registre el termostato de este último registre 70°C (aproximadamente a los 10 minutos).

La cantidad y temperatura del agua (70°C), la turbulencia y el tiempo de reposo serán suficientes para disolver la sal.

Pre-enjuague

La cañería que se desprende desde el tanque de almacenamiento del agua de lavado se bifurca antes de llegar a la bomba B1 que llena el tanque de solución alcalina y termina en una válvula en la que se conecta una hidrolavadora. Con este último equipo se realiza un barrido de los sólidos adheridos en el interior de los equipos, continuando por la zona exterior que se pueda mojar. Cabe aclarar que el agua se encuentra a 70 °C para facilitar el desprendimiento de la suciedad.

Este procedimiento se aplica para las extrusoras, las prensas y el filtro.

Limpieza alcalina

El tanque con la solución de hidróxido de sodio posee en su base una válvula con una conexión para una manguera de 1 ½". Con esta se lava el interior de los equipos, utilizando solamente la presión que ejerce el agua al salir del tanque. Se deja reposar 15 minutos y se enjuaga. Esta operación se realiza solamente para las extrusoras y prensas.

Cabe aclarar que no se ocupará la totalidad del tanque de soda caústica para realizar esta limpieza; solo entre un 40 y 45%, el resto será empleado para limpiar el tanque de desgomado.

Enjuague final

Transcurrido el tiempo necesario para que actúe la soda cáustica, los equipos se enjuagan con agua caliente. Para ello se vuelve a accionar la bomba B1 de provisión de agua caliente y al comenzar a cargar el tanque se abre nuevamente la válvula de la manguera de 1 ½" y se procede a enjuagar los equipos. Finalizada esta tarea se cierra el caudal y se deja que el tanque siga llenándose hasta que la bomba se detenga B1 una vez más tras llenarlo (luego se desconecta la bomba B1 de la energía eléctrica).

Limpieza del tanque de desgomado

Este equipo no necesita pre-enjuague, por el sistema empleado para su limpieza.

Mientras transcurren los 20 minutos necesarios para la acción del álcali en extrusoras y prensas; se procederá a limpiar el tanque de desgomado. Para ello se accionará manualmente una bomba (B2) que extrae el resto de la solución de hidróxido de sodio al 2% y la esparce dentro del tanque mediante máquinas de impacto rotativo (se detalla posteriormente). Acabada la solución se espera enjuagar los demás equipos antes detallados y que se vuelva a

llenar el tanque. Cumplido lo mencionado se acciona nuevamente la bomba B2 para proceder al enjuague mediante impacto rotativo. La operación termina cuando se vacía el tanque de preparado de la solución caústica, que había sido llenado solamente con agua caliente.

Máquinas de impacto rotativo para limpieza de tanques

Las máquinas de impacto rotativo para la limpieza de tanques se instalan de forma fija dentro del tanque mediante una cañería auxiliar. Las mismas combinan presión y flujo para generar chorros que limpian por impacto. Optimizan la fuerza mientras reducen el uso de agua y químicos.

Éstas cuentan con dos a cuatro boquillas de rociado, que rotan sobre un plano vertical y otro horizontal, y emiten chorros de agua de alto impacto en el interior del tanque. El incremento de la fuerza entregada a través de las boquillas reduce automáticamente la cantidad de agua, tiempo y químicos necesarios para lograr una limpieza eficiente y efectiva. Los chorros de agua de alto impacto eliminan fácilmente y en pocos minutos los residuos difíciles de limpiar. Cabe aclarar que otros métodos comunes pueden requerir una limpieza manual y el ingreso al tanque, con excesivo uso de agua y múltiples etapa de lavado; y los sistemas automáticos como el CIP requiere el llenado completo del tanque.

Costos energéticos ocasionados por la limpieza de equipos en la planta

El principal costo energético en la limpieza es el necesario para disponer de agua caliente para preparar la solución de hidróxido de sodio. Se cálculo en el balance de energía (capítulo 7) que utilizando agua como refrigerante en el intercambiador de calor se obtendrían 5 m^3 de agua a 60°C, por jornada laboral. Esta cantidad sería almacenada en un tanque y utilizada para la limpieza en toda la planta en general.

Para preparar la solución caústica solo se requieren 1 m^3, es esperable que la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento haya disminuido varios grados por lo que se calculará el vapor necesario para calentar 1 m^3 de agua desde 50°C hasta llevarlos a 80°C.

Requerimiento de vapor para el calentamiento de agua

$$mv\,.\left[\lambda + C_p\,.\ (T_i - T_f)\right] = m_{asol}\,.\ C_p\,.(T_{isol} - T_{fsol})$$

Donde:

- mv es la masa de vapor necesaria.
- λ es el calor latente del vapor, equivale a 517,3 kcal/kg.
- T_i es la temperatura inicial del vapor, equivale a 132,9 °c.
- T_f es la temperatura final del vapor, equivale a 80°c.
- m_{sol} es la masa de la solución caústica, equivale a 1000 kg.
- C_p es el calor específico de la solución caústica, equivale a 0,92 kcal/ kg °c
- T_{isol} es la temperatura inicial de la solución caústica, equivale a 50°c.
- T_{fsol} es la temperatura final de la solución caústica, equivale a 80°c.
- Presión de trabajo = 3 kg/cm^2

$$mv\,.\left[517{,}3\,\frac{kcal}{kg} + 0{,}92\,\frac{kcal}{kg\,°c}.\ (132{,}9 - 80)°c\right] = -1000\ kg\,.\ 1\,\frac{kcal}{kg\,°c}\,.(50 - 80)°c$$

$$\boldsymbol{mv = 53{,}01\ kg}$$

La demanda de vapor para las operaciones de limpieza asciende a 53,01 kg. Teniendo en cuenta que el valor hallado es bajo y que la caldera entrega vapor

a razón de 503 kg/h (determinado este caudal en el balance de energía del capítulo 7), será necesario disponer de este cuando la caldera esté en régimen por otro proceso de la planta; es decir no se encenderá la caldera solamente por 53,01 kg de vapor.

Equipos necesarios para llevar adelante la limpieza

Tanques

Será necesario disponer en la planta de un tanque de 6 m^3 de capacidad con aislación térmica, a fin de recoger el agua a 60°C que proviene del intercambiador de calor.

Además será necesario un tanque con camisa y termostato de 1,2 m^3 de capacidad, para preparar la solución de hidróxido de sodio.

Ambos tanques serán provistos por la empresa M y V Mixing.

Bombas

Para el sistema de limpieza serán necesarias dos bombas. Se calculará la potencia de la que realiza el mayor trabajo (la que bombea agua del depósito de almacenamiento hacia el tanque elevado en la que se prepara la solución alcalina) y el valor hallado será el criterio de compra para adquirir ambas.

Pérdidas en la succión

La tubería es de acero al carbono de 2" y el caudal se adopta igual a 3 m^3/h.

$$Caudal(Q) = velocidad\ (v)\ .Sección\ del\ tubo$$

$$v = \frac{3{,}0\ \frac{m^3}{h}}{0{,}002\ m^2} = \mathbf{1500}\ \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{D \,.\, V \,.\, \rho}{\mu}$$

Donde:

- D es el diámetro de la tubería, equivale a 0,0508 m.
- V es la velocidad del fluido, equivale a 1500 m/h.
- $\rho_{(50°c)}$ es la densidad del agua a la entrada de la bomba, equivale a 988,02 kg/m^3.
- $\mu_{(50°c)}$ es la viscosidad del agua a la entrada de la bomba, equivale a 1,97 kg/m h.

$$N_{Re} = \frac{0{,}0508\ m \,.\, 1500\ \frac{m}{h} \,.\ 988{,}02\ kg/m^3}{1{,}97\ \frac{kg}{m\ h}} = \mathbf{38216{,}8}$$

Con gráficas de bibliografía, según el número de Reynolds calculado y las condiciones de la cañería, se obtiene el número de Fanning el cual es igual a 0,007.

Factor de pérdidas:

$$Ff = \frac{4f \,.\, \Delta L \,.\, v^2}{2D \,.\, g_c}$$

Donde:

- *f* es el número de Fanning.
- L es la longitud de la cañería hasta la bomba.
- v es la velocidad del fluido.
- D es el diámetro de la tubería.
- g_c es la aceleración debido a la gravedad.

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}007\ .\ 4\,m\ .\ (0{,}417\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\,m\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\ 1\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0,02}\ \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas en la descarga

La tubería es de acero al carbono de 2" y el caudal es el mismo que en la succión; la velocidad de flujo sigue siendo la misma (1500 m/h) al igual que el número de Reynolds y el de Fanning.

Factor de pérdidas:

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}007\ .\ 9\,m\ .\ (0{,}417\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\,m\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\ 1\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0,044}\ \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Existen dos codos de 90° en la cañería de descarga y para obtener las pérdidas que producen se los expresan como longitud de cañería equivalente.

$$Longitud\ de\ cañería\ equivalente = 2{,}74\,m\ .\ 3\ codos = \mathbf{8,22\ m}$$

Luego:

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}007\ .\ 8{,}22\,m\ .\ (0{,}417\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\,m\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\ 1\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0,04}\ \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Para las mismas condiciones las pérdidas producidas por la válvula de retención en la línea de descarga, equivale a **0,12 kgm/kg**

Pérdidas de cargas totales en la línea

$$Pérdidas\ de\ cargas\ totales = (0{,}02 + 0{,}044 + 0{,}04 + 0{,}12)\frac{kgm}{kg}$$

$$Pérdidas\ de\ cargas\ totales = \mathbf{0{,}224}\frac{\mathbf{kgm}}{\mathbf{kg}}$$

Trabajo de la bomba

$$\eta W = \frac{g\ .z_2}{g_c} + \frac{\alpha_2\ .{\mu_2}^2}{2g_c} + h_f - \frac{g\ .z_1}{g_c}$$

Donde:

- ηW es el trabajo realizado por la bomba.
- g x Z / g_c es la energía potencial debida al hecho de que el fluido a bombear se encuentra a una altura Z en metros. Los subíndices 1 y 2 de Z están referidos a la succión y descarga de la bomba respectivamente.
- $\alpha\ {u_2}^2/2g_c$ es la energía cinética
- h_f representa la sumatoria de la energía perdida por fricción en el sistema.

Luego:

$$\eta W = \frac{9{,}8\frac{m}{s^2}\ .\ 12\ m}{9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\frac{kg}{kg}} + \frac{1\ .(0{,}417\frac{m}{s})^2}{2\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\frac{kg}{kg}} + \ 0{,}224\frac{kgm}{kg}$$

$$\eta W = \mathbf{12{,}22}\frac{\mathbf{kg\ m}}{\mathbf{kg}}$$

Potencia al freno

El último valor necesario para llegar al criterio de adopción de la bomba, es la potencia al freno que es aquella suministrada por una fuente externa para accionar la bomba.

$$P_b = \frac{m \,.\, w_p}{76{,}04\,\eta}$$

Donde:

- η es el rendimiento de la bomba, existen en el mercado equipos muy eficientes, de todos modos se adopta, por seguridad, igual al 80%.
- m es el flujo másico equivale a: $m = \rho \,.\, v \,.\, s$

$$m = 988{,}02\,\frac{kg}{m^3}\,.\,0{,}417\,\frac{m}{s}\,.\,0{,}002\,m^2 = \mathbf{0,82}\,\frac{\boldsymbol{kg}}{\boldsymbol{s}}$$

$$P_b = \frac{0{,}82\,\frac{kg}{s}\;.\;12{,}22\,\frac{kgm}{kg}}{76{,}04\,\frac{kgm}{s\,HP}\;.\,0{,}80} = \mathbf{0,16}\;\boldsymbol{HP}$$

Se adoptaran dos bombas centrífugas de ½ HP de la empresa Alfa Laval.

CAPITULO 10

SERVICIOS AUXILIARES

Consumo de Vapor. Introducción

En la industria existen innumerables procesos que requieren de la transferencia de calor y la más acentuada en la demanda de este calor es la industria alimenticia. Esta última consume, anualmente, enormes cantidades de combustibles para generar la energía calórica necesaria para llevar a cabo sus procesos.

Dentro de las aceiteras cuales producen aceite comestible utilizando el método de extracción por solvente son las más demandantes de energía calórica; mientras las que utilizan la extracción por extrusión y prensado se destacan por su alto consumo de energía eléctrica más que la calórica (para una misma producción diaria). Cabe aclarar que estas últimas no realizan el refinado del aceite, por lo que solamente existe un proceso de transferencia de calor en toda línea de producción y es durante el desgomado.

Las industrias que producen biodiesel poseen un consumo de energía calórica que está directamente relacionado con el volumen de producción diaria, es decir no existen procesos de acondicionamiento de fluidos, como en la industria petrolera, que hacen variar el consumo de calor dependiendo no solamente del volumen de producción sino también de la época del año.

Para satisfacer los requerimientos detallados anteriormente el vapor es el medio natural más eficiente de transferencia de calor en la industria. Para obtenerlo se utiliza una máquina térmica que convierte el agua en vapor aplicando calor; la caldera.

Dentro de una definición general, se entiende por caldera a un recipiente cerrado que genera vapor de agua a presiones superiores a la atmosférica, absorbiendo el calor que desarrolla en el hogar la combustión.

Si a un líquido (en este caso agua) que se encuentra sometido a una determinada presión se le suministra calor, su temperatura aumenta hasta un valor determinado, que se mantiene constante mientras el líquido se convierte en vapor. Dicha temperatura es la de vaporización y depende solamente de la presión a la que está sometido el líquido, es decir que entregando más calor se seguirá evaporando pero la temperatura permanecerá sin variación o dicho de otro modo a cada presión le corresponde una temperatura de ebullición; esto es importante a la hora de adquirir una caldera ya que el intervalo de presión en la cual trabaje determinará la temperatura del vapor y por ende la cantidad necesaria en un determinado proceso. Otro aspecto también de relevancia para la compra de uno de estos equipos es su producción específica de vapor que es igual al cociente entre la cantidad de vapor producida por hora (capacidad de producción de vapor kg/h) y la superficie de calefacción en contacto con el agua (m^2).

Clasificación de las calderas

Las calderas de vapor se clasifican atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua en acuotubulares y pirotubulares; por la posición de los tubos, en verticales, horizontales e inclinados; por la forma de los tubos, de tubos rectos y de tubos curvados; y por la naturaleza del servicio que prestan, en fijas y portátiles.

Calderas Pirotubulares

En estas calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua. Al comienzo de la revolución industrial, este tipo de equipos fueron muy populares. Actualmente las calderas pirotubulares horizontales con hogar integral, se utilizan en instalaciones de calefacción a baja presión, y algunos tipos de grandes tamaños para producir vapor a baja presión.

Las presiones relativas del vapor llegan hasta 12 Kg/cm^2, ya que a presiones más altas obligarían a espesores de carcasa demasiados grandes. Estas calderas pueden ser para combustibles líquidos o para combustibles gaseosos.

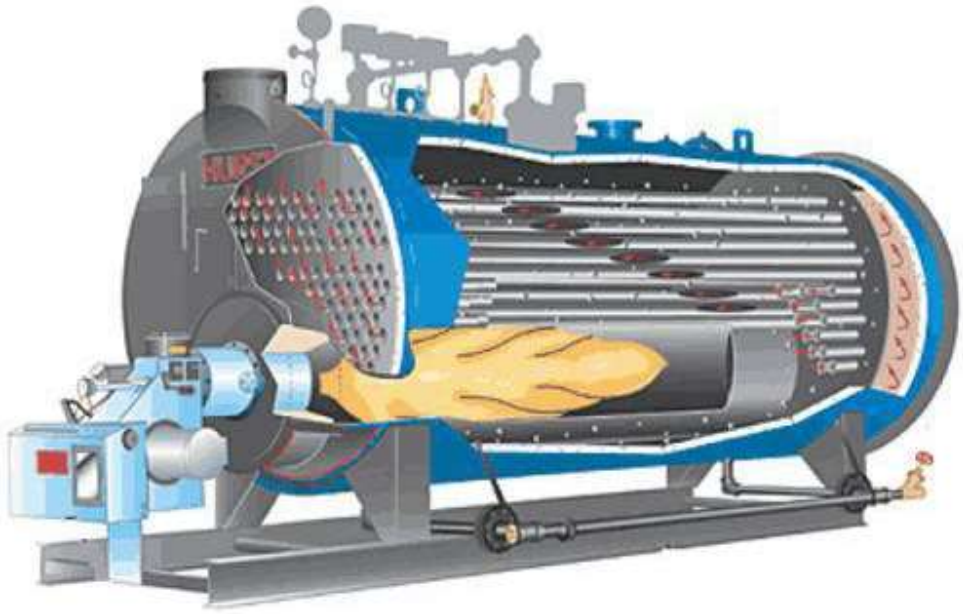


Imagen N°1. Caldera pirotubular.

Calderas Acuotubulares

En estas calderas por el interior de los tubos pasa agua o vapor, y los gases calientes se hallan en contacto con las superficies externas de estos. Estas son las más usadas cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimientos, debido a que los esfuerzos en los tubos son de tracción y no de compresión, como ocurre en los pirotubos. Tienen en general mayor simplicidad en su forma constructiva; sus tubos pueden ser rectos o curvos, de un solo cuerpo o de varios, longitudinales o transversales; la limpieza de estos equipos se lleva a cabo de forma sencilla, quitando las escamas o incrustaciones externas con agua o vapor.

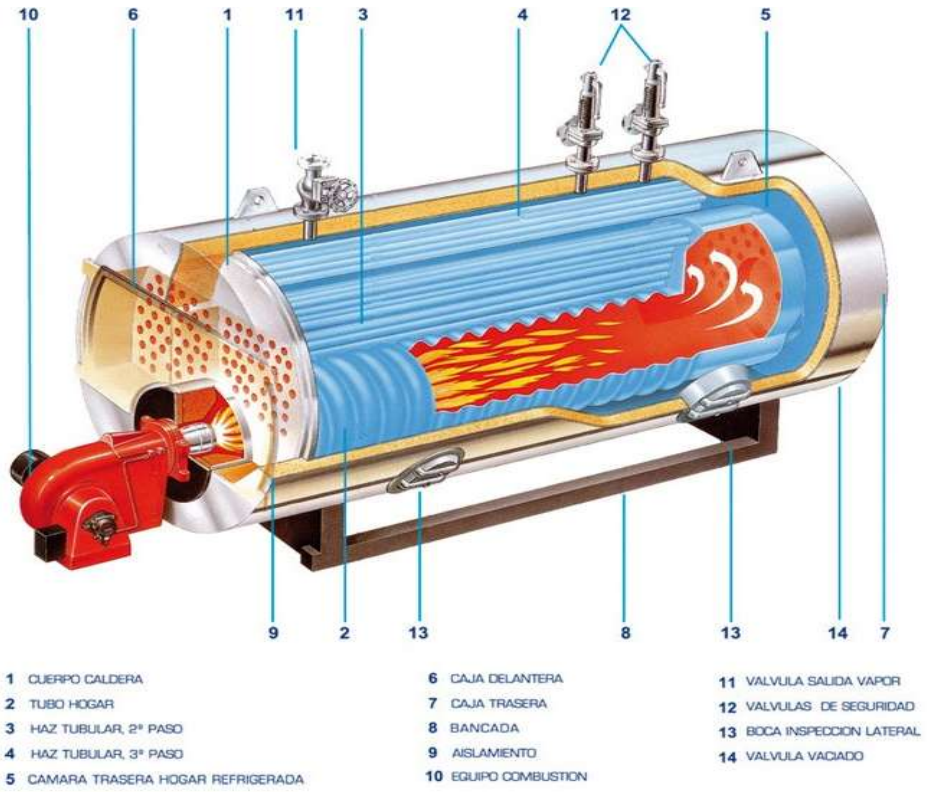


Imagen N°2. Caldera acuotubular.

Combustibles utilizados

El agua que se encuentra en la caldera se transforma en vapor a expensas del calor que le ceden los productos de la combustión a través de las paredes metálicas de las mismas. La eficiencia en esta transferencia está relacionada con el rendimiento del combustible utilizado.

Otro criterio para la elección de una caldera es la disponibilidad y tipo del combustible a utilizar. Los comburentes más utilizados se clasifican en sólidos (carbón, madera, coque, celulósicos), líquidos (fuel-oíl, diesel-oíl, gas-oíl, mezclas de los mismos) y gaseosos (gas natural, gas de destilería, gas licuado).

Demanda de Vapor en la Planta de Producción de Biocombustible de Aceite de Ricino

Al tratarse de una planta de extracción por extrusión y prensado y de generación de biocombustible en bajo volumen (16 m^3/día) los requerimientos de vapor son reducidos.

Los procesos que requieren el uso de vapor en la planta son los siguientes:

- Desgomado: es necesario calentar la masa de aceite de ricino crudo más un 3% de agua hasta los 75°c y mantenerla a esa temperatura por un tiempo de 30 minutos, agitada en el reactor. En el balance de energía (capítulo 7) se determinó que el caudal de vapor necesario para esta operación asciende a los **147,25 kg/h.**
- Transesterificación: se debe calentar la masa de aceite de ricino desgomado (con una temperatura de 60°c) más un 10% de catalizador

(metóxido de potasio) hasta los 65°c y mantenerla a esa temperatura por un tiempo de 60 minutos. En el balance de energía (capítulo 7) se determinó que el caudal de vapor necesario para esta operación asciende a los **121,2 kg/h.**

- Evaporación: es necesario calentar la masa de biocombustible crudo desde los 63 hasta los 75°c a fin de evaporar el metanol en exceso recuperándolo para su reutilización. En el capítulo 7 se determinó que la demanda de vapor de este proceso equivale a **503 Kg/h**.
- Limpieza: es necesario el uso ve vapor para elevar la temperatura del agua de la solución de hidróxido de sodio de 50 hasta los 80°c. Se determinó en el capítulo 9 que esta operación demanda solo **53 kg** de vapor.

Si bien los procesos que requieren vapor se llevan a cabo en dos ocasiones por jornada laboral (excepto la limpieza) no es factible que ambos se lleven a cabo al mismo tiempo ya que existe un solo equipo para cada uno de estos procesos; pero sí es posible que se lleven a cabo dos etapas diferentes simultáneas (sería un caso excepcional pero posible) por la que la demanda de vapor por hora ascendería. Esto último se adoptará como criterio para la compra de una máquina térmica, sumado a un factor de seguridad del 10 % y a la posibilidad de incremento de producción de aceite vegetal desgomado al brindar el servicio de extracción.

Teniendo en cuenta que el proceso de evaporación se lleva a cabo a medida que se vacía el reactor de transesterificación (ya que no existe tanque pulmón para alimentar el evaporador, más que la que trae este último) las posibles combinaciones de procesos que puedan llevarse de manera simultánea son:

desgomado-transesterificación, desgomado-evaporación, transesterificación-limpieza y evaporación-limpieza. De estas posibles combinaciones la peor situación respecto a la demanda de vapor es que se lleven a cabo los procesos de desgomado y evaporación juntos; para lo cual la demanda energética equivale a **650,25 kg/h** de vapor.

Cabe aclarar que todos los cálculos de balances de energía se hallaron en función de una presión de trabajo equivalente al 3 kg/cm^2; por lo que no se espera trabajar por debajo de este valor.

Se adopta un equipo de la empresa Fontanet, humotubular modelo HC-HM12.

Características del equipo:

- Tipo: Humotubular tres pasos fondo húmedo.
- Quemador tipo monobloque.
- Hogar corrugado.
- Combustible: Líquidos y/o gaseosos.
- Funcionamiento: Dos etapas progresivas (Alto – Bajo fuego) o en operación modulante.
- Diseñadas para quemar combustibles líquidos livianos y/o gaseosos.
- Hogar dimensionado para una combustión completa con baja carga térmica. Su ubicación central, muy por debajo de los tubos superiores, garantiza una mejor circulación de agua en el interior con respecto a las calderas de hogar lateral elevado. Además un margen de seguridad generoso entre el hogar y el nivel de agua, que pudiera ser crítico de ocurrir

una condición de bajo nivel en las de hogar lateral, permite una operación más segura.

- Fondo húmedo con cámara de retorno de gases totalmente refrigerada, sin partes refractarias.
- Bocas para las tareas de inspección y limpieza, puertas delanteras giratorias y posteriores desarmables, dejan accesible todas las superficies en contacto con agua, vapor y gases de combustión.
- Construcción tipo paquete, con todos los equipos auxiliares incorporados, sistema que permite un rápido montaje y puesta en marcha luego de realizarse las conexiones de agua, condensado, combustible y electricidad.

Detalles técnicos:

- Potencia Efectiva: desde 430167,15 kcal/h hasta 759118,5 Kcal / h
- Producción de vapor: 800 - 1400 Kg/h con agua a 20 ºC.
- Consumo de combustible: 104 Kg/h gas oíl.
- Rendimiento: 85 %
- Motores eléctricos: quemador (2HP), agua de alimentación y recuperación de condensado (1 X 2HP).
- Presión de trabajo: 8 Kg/cm^2
- Presión de prueba hidráulica: 15 Kg/cm^2
- Alto total: 2150 mm
- Largo total: 4100 mm
- Ancho: 2150 mm
- Diámetro de la chimenea: 400 mm

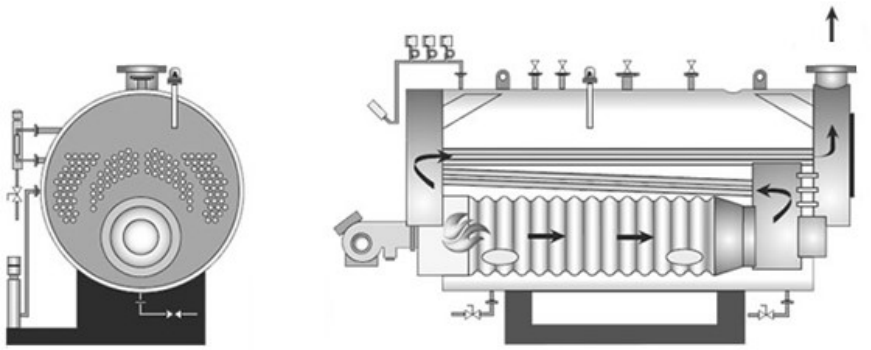


Imagen 3. Esquema de la caldera humotubular Fontanet, modelo HC-HM12.



Imagen 4. Caldera humotubular Fontanet, modelo HC-HM12.

Consumo de combustible de la caldera

La caldera necesitará para su funcionamiento una constante provisión de combustible; en este caso el carburante será el mismo biocombustible que se produce en la planta a partir de aceite de ricino. Por tal motivo el poder calorífico de éste es relevante para determinar el consumo de combustible. Cabe aclarar que no es necesario realizar ningún cambio en el quemador del equipo para la utilización del biocombustible producido en la planta.

El poder calorífico es la energía que es capaz de desprender una cantidad de materia cuando se produce una reacción química de combustión. Esta medida permite poder comparar las cantidades necesarias de combustible.

El biocombustible obtenido en la planta, al no tener procesos de lavados y secados (estos procesos de refinación elevan el poder calorífico del biocombustible de ricino por encima del de diesel de petróleo), mantendrá un poder calorífico de 9761686 kcal/m^3, mínimamente inferior al del diesel de petróleo (promedio 10822167 kcal/m^3) por lo que la cantidad en m^3 de combustible a utilizar, teniendo en cuenta un funcionamiento de 6 horas de la caldera por jornada laboral, será:

$$Comsumo\ de\ diesel\ diario = \frac{104\frac{kg}{h}\ .6\ h}{865{,}97\frac{kg}{m^3}}$$

$$Comsumo\ de\ diesel\ diario = \mathbf{0{,}72\ m^3}$$

$$Energía\ equivalente\ del\ diesel\ diario = 10822167 \frac{kcal}{m^3}\ .0{,}72\ m^3$$

$$Energía\ equivalente\ del\ diesel\ diario = \mathbf{7791960\ kcal}$$

$$Consumo\ diario\ de\ biocombustible\ de\ ricino = \frac{Energía\ equivalente\ del\ diesel}{poder\ calorífico\ de\ ricino}$$

$$Consumo\ diario\ de\ biocombustible\ de\ ricino = \frac{7791960\ kcal}{9761686 \frac{kcal}{m^3}}$$

$$Consumo\ diario\ de\ biocombustible\ de\ ricino = \mathbf{0,8\ m^3}$$

Luego, el consumo mensual de biocombustible de aceite de ricino asciende a **17,6 m^3.**

Tanque de combustible

Para llevar un mejor control del consumo, se espera realizar una recarga mensual de biocombustible por lo que se opta por un tanque de polietileno de capacidad de 18 m^3, provisto por la empresa Bertotto-Boglione S.A.

Características:

- Tipo: tanque aéreo con apoyo integral.
- Capacidad: 18 m^3.
- Alto: 3 m.

- Largo: 2,5 m.
- Ancho: 2,5 m.
- Construido íntegramente de polietileno virgen de alta densidad por proceso de rotomoldeo.

Bomba de provisión de combustible

La cañería para por la cual fluye biocombustible desde el tanque de almacenamiento principal al tanque de provisión de la caldera, será de acero al carbono y con un diámetro interno de 2". Se espera llenar el tanque de combustible de 18 m^3 de capacidad en un tiempo máximo de 30 minutos. Respecto de esto último es útil aclarar que no existe una velocidad de flujo máxima para el biocombustible de ricino.

Pérdidas en la succión

$$Caudal(Q) = velocidad\ (v)\ .Sección\ del\ tubo$$

$$v = \frac{35{,}2\frac{m^3}{h}}{0{,}0132\ m^2} = \mathbf{2666{,}67\frac{m}{h}}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{D\ .V\ .\rho}{\mu}$$

Donde:

- D es el diámetro de la tubería, equivale a 0,0508 m.
- V es la velocidad del fluido, equivale a 2666,67 m/h.

- ρ es la densidad del biocombustible a la entrada de la bomba, equivale a 926,05 kg/m^3.
- μ es la viscosidad del biocombustible a la entrada de la bomba, equivale a 49,63 kg/m h.

$$N_{Re} = \frac{0{,}0508\ m\ .\ 2666{,}67 \frac{m}{h}\ .\ 926{,}05\ kg/m^3}{49{,}63 \frac{kg}{m\ h}} = \mathbf{2527{,}68}$$

Con gráficas de bibliografía, según el número de Reynolds calculado, se obtiene el número de Fanning el cual es igual a 0,008.

Factor de pérdidas en la succión:

$$Ff = \frac{4f\ .\Delta L\ .v^2}{2D\ .g_c}$$

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}008\ .\ 40\ m\ .\ (0{,}741\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\ m\ .\ 9{,}81 \frac{m}{s^2}\ .\ 1 \frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}71}\ \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas en la descarga

Al mantenerse las mismas condiciones que en la succión el número de Fanning es igual a 0,008; por lo que el factor de pérdida es:

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}008\ .\ 3\ m\ .\ (0{,}741\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\ m\ .\ 9{,}81 \frac{m}{s^2}\ .\ 1 \frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}053}\ \frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Pérdidas producidas por los codos

Existen cuatro codos de 90° en la cañería de descarga, para obtener las pérdidas que producen se los expresan como longitud de cañería equivalente.

$$Longitud\ de\ cañería\ equivalente = 2{,}74\ m\ .\ 4\ codos = \mathbf{10{,}96\ m}$$

Luego:

$$Ff = \frac{4\ .\ 0{,}008\ .\ 10{,}96\ m\ .\ (0{,}741\ \frac{m}{s})^2}{2\ .0{,}0508\ m\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\ 1\frac{kg}{kg}} = \mathbf{0{,}193\ \frac{kg\ m}{kg}}$$

Pérdidas de cargas totales

$$Pérdidas\ de\ cargas\ totales = (0{,}71 + 0{,}053 + 0{,}193)\frac{kgm}{kg}$$

$$Pérdidas\ de\ cargas\ totales = \mathbf{0{,}956\frac{kgm}{kg}}$$

Trabajo de la bomba (ecuación de Bernoulli)

$$\eta W = \frac{g\ .z_2}{g_c} + \frac{\alpha_2\ .{\mu_2}^2}{2g_c} + h_f - \frac{g\ .z_1}{g_c}$$

Donde:

- ηW es el trabajo realizado por la bomba.
- g x Z / g_c es la energía potencial debida al hecho de que el fluido a bombear se encuentra a una altura Z en metros. Los subíndices 1 y 2 de Z están referidos a la succión y descarga de la bomba respectivamente.

- $\alpha\, u_2^2/2g_c$ es la energía cinética
- h_f representa la sumatoria de la energía perdida por fricción en el sistema.

Luego:

$$\eta W = \frac{9{,}8\frac{m}{s^2}\ .\ 14\,m}{9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\frac{kg}{kg}} + \frac{1\ .(0{,}741\frac{m}{s})^2}{2\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\frac{kg}{kg}} + \ 0{,}956\frac{kgm}{kg}$$

$$\eta W = \mathbf{14{,}97}\frac{\boldsymbol{kg\ m}}{\boldsymbol{kg}}$$

Potencia al freno

$$P_b = \frac{m\ .\ w_p}{76{,}04\ \eta}$$

Donde:

- η es el rendimiento de la bomba igual al 80%.
- m es el flujo másico equivale a: $m = \rho\ .\ v\ .\ s$

$$m = 926{,}05\frac{kg}{m^3}\ .0{,}741\frac{m}{s}\ .0{,}0132\ m^2 = \mathbf{9{,}06}\frac{\boldsymbol{kg}}{\boldsymbol{s}}$$

$$P_b = \frac{9{,}06\frac{kg}{s}\ .\ 14{,}97\frac{kgm}{kg}}{76{,}04\frac{kgm}{s\ HP}\ .0{,}80} = \mathbf{2{,}23}\ \boldsymbol{HP}$$

Por lo que la potencia de la bomba necesaria para este proceso es de 2,17 HP mínimamente. Se adopta una bomba de **2,5 HP** provista por la empresa Alfa Laval.

Condiciones del agua de caldera

La caldera es uno de los equipos de mayor importancia dentro de una planta industrial, por lo que su correcto funcionamiento, asociado a un mantenimiento efectivo puede resultar de vital importancia, contribuyendo a reducir los gastos de combustibles de la planta y a la vez, generando vapor de buena calidad. Uno de los aspectos más relevantes es el correcto tratamiento del agua de alimentación. El mismo impide la formación de incrustaciones de sales de calcio, magnesio y sílice, las cuales puede provocar la generación de una capa aislante que dificulta de sobremanera la transferencia de calor, maximizando a su vez, el consumo de combustible y pudiendo provocar daños importantes en el haz tubular por sobrecalentamiento del mismo.

Las reacciones químicas principales que se producen en las calderas con las sales que aporta el agua de alimentación son las siguientes:

$Ca^{++} + 2\ HCO^{3}$ - ---------- $CO_3\,Ca + CO_2 + H_2O$ (sales de calcio)

$Mg^{++} + 2\ CO_3\,H^{-}$ ---------- $CO_3\,Mg + CO_2 + H_2O$ (sales de magnesio)

$CO_3\,Mg + 2\ H_2O$ ---------- $(HO)_2\,Mg + CO_2Mg$ (sales de magnesio)

$CO_2Mg + SiO3$ -----> $SiO3\,Mg$ (sales de silicio)

En todas las calderas, prevenir la formación de incrustaciones en las superficies de transferencia de calor puede producir ahorros energéticos sustanciales. Los depósitos e incrustaciones ocurren cuando el calcio, magnesio y sílice, elementos que pueden encontrarse usualmente en la alimentación de agua a los generadores de vapor, reaccionan para formar una capa de material sólido de espesor variable (conocida como incrustación) en el lado del agua de los tubos de intercambio de calor. Incluso, aún capas finas de incrustaciones pueden servir como un aislante eficiente y así dificultar la transferencia de calor. El resultado es el sobrecalentamiento del haz tubular y la posibilidad de provocar daños en el mismo, además de generar una importante pérdida de la eficiencia energética.

En la tabla número 1 puede verse las pérdidas de energía atribuidas a las incrustaciones:

Tabla 1 - Pérdidas de energía y eficiencia térmica debido al espesor de los depósitos por incrustaciones

Espesor de los depósitos expresados en pulgadas y milímetros	Pérdida total, de acuerdo al % de uso		
	Tipo de depósito		
	Normal	Alto contenido de hierro	Contenidos de hierro y sílice.
1/64" – 0,4 mm	1,0	1,6	3,5
1/32" – 0,8 mm	2,0	3,1	7
3/64" – 1,2 mm	3,0	4,7	---
1/16 – 1,6 mm	3,9	6,2	---

Nota: las incrustaciones de tipo normal se encuentran en generadores de baja presión.
Las incrustaciones con alto contenido de hierro y aquellas que se componen de hierro y sílice se presentan en generadores bajo condiciones de servicio de alta presión

Para prevenir la acumulación de incrustaciones, es vital inspeccionar visualmente los tubos de las calderas cuando la unidad se detiene para realizar tareas de mantenimiento. Además es necesario remover cualquier tipo de incrustación presente, ya sea utilizando dispositivos mecánicos o bien, realizando una limpieza con ácido.

Purgas de la caldera

La purga de la caldera es necesaria con la finalidad de remover sólidos en suspensión o disueltos que se concentren en la misma debido a la evaporación del agua. Los sólidos en suspensión pueden presentar la forma de lodo o sedimentos, los cuales inhiben la transferencia de calor. La purga de fondo es en general un procedimiento manual que se realiza por unos pocos segundos en un intervalo determinado y se utiliza con el objetivo de remover los sólidos en suspensión que se depositan en la parte inferior de los generadores de vapor. Por su parte, los sólidos disueltos que se concentran en la interface del agua; usualmente son removidos a través de lo que se denomina purga de superficie o continua, siendo éste un proceso continuo.

Las purgas ineficientes pueden llevar a una alta concentración de sólidos en suspensión y disueltos, que a su vez pueden causar arrastres de agua, contaminando el vapor y empeorando su título, además de provocar la corrosión del metal y posibilitar la formación de incrustaciones. Por lo contrario las purgas excesivas incrementan los costos asociados con el combustible, el agua y los tratamientos químicos.

Tasa óptima de purga

Esto depende de diversos factores que incluyen el tipo de caldera, la presión de operación, los tratamientos de agua y la calidad del agua de reposición. Típicamente, las tasas de purga efectiva varían entre el 4% y 10% del caudal de alimentación del agua a la caldera.

Contaminantes del agua de caldera

Es necesario evitar la contaminación del agua por grasas, aceites e hidrocarburos. La presencia de estos compuestos, inclusive en bajas proporciones, genera depósitos y formación de espuma. Esta última, de existir dentro de la caldera, arrastra agua a la línea de vapor y condensado generando incrustaciones y depósitos en las secciones que se encuentran post caldera.

La formación de espuma es un grave problema que debe evitarse actuando sobre el tratamiento del agua de caldera; está vinculado con la presencia de ácidos grasos (grasas o aceites) que se saponifican favorecidos por las condiciones dentro de la caldera.

Por otro lado la presencia de determinados hidrocarburos genera un film aislante en las superficies de intercambio de calor dentro de la caldera.

Corrosión

La corrosión aparece con la formación de condensados ya que el vapor seco no es corrosivo aún en presencia de oxígeno. Cabe esperar que las zonas más vulnerables a sufrir este problema, en la línea de vapor, sean aquellas en las que se acumulan agua.

La corrosión puede darse por diferentes mecanismos, siendo uno muy frecuente la producida por una reacción electroquímica, en la que una corriente circula debido a una diferencia de potencial existente en la superficie metálica. En estas condiciones los metales se disuelven en el área de más bajo potencial, para dar iones y liberar electrones del hierro de las cañerías, iniciando una cadena que da como resultado la precipitación de hidróxido ferroso (color blanco) y óxido ferroso-diférrico (color negro).

Otro tipo de corrosión frecuente y la más severa es la producida por el oxígeno. Puede darse por el ingreso de aire al sistema en el cual el dióxido de carbono acelera la corrosión generada por el oxígeno (el dióxido de carbono, a bajo pH, junto con el vapor forman una mezcla muy corrosiva); mientras que el oxígeno disuelto ataca las tuberías de acero al carbono formando montículos o tubérculos, bajo los cuales se encuentra una cavidad o celda de corrosión activa formada por óxido ferroso- diférrico hidratado.

Tratamientos del agua de caldera

Todas las aguas naturales contienen sustancias que desde el punto de vista del funcionamiento de las calderas se consideran como impurezas, que afectan su rendimiento.

Para el agua de caldera es necesario reunir las siguientes características:

- Alcalinidad: 100-200 ppm.
- Fosfatos: 20-30 ppm.
- Cloruros: 500 ppm.
- pH: 10,5 a 11.
- Sólidos disueltos: 2000-3000 ppm.

- Sulfatos y Carbonatos: de 4/1 a 3/1.

Para lograr estas características es necesario realizarles tratamientos por medios químicos o físicos.

Uno de los procesos más relevante de acondicionamiento del agua para ser utilizada en la caldera, está relacionados con la dureza de la misma. El agua dura (o calcárea) es aquella que contiene elevadas cantidades de minerales, principalmente sales de magnesio y calcio. Por esto último la dureza se expresa normalmente como la cantidad equivalente de carbonato de calcio (mg de $CaCO_3$/l), aunque esta sal no está presente en el agua (se obtiene a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresadas en miligramos por litro).

El tratamiento más común para corregir la dureza del agua es el agregado de hidrato de calcio (cal); también puede utilizarse carbonato sódico o silicatos hidratados de sodio y aluminio denominados zeolitas (naturales o artificiales).

Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de ablandadores de agua y el más utilizado son las resinas catiónicas.

Se adopta como ablandador una resina catiónica fuerte; para este caso el criterio de compra más relevante es la disponibilidad del producto. Se opta por la resina Purolite c-100 E.

<u>Características de la resina:</u>

- PUROLITE C-100 E es una resina catiónica de poliestireno sulfonado tipo gel, de elevada pureza, diseñada especialmente para el tratamiento de

alimentos, bebidas, aguas potables, y agua empleada en la manipulación de alimentos e industrias.

- Estructura del polímero: poliestireno reticulado con divinilbenceno
- Forma física y aspecto: perlas esféricas transparentes
- Grupo funcional: Poliestireno sulfonado
- Forma de suministro: Na+
- Densidad aparente (aprox.): 800-840 g/l (50-52.5 lb/ft3)
- Rango tamaño de partícula: 1.2 mm < 5% - 0.3 mm < 1%
- Retención humedad, forma Na+: 46-50%
- Hinchamiento, Ca2+⟶Na+ (max.): +8%
- Densidad forma Na+ (húmeda): 1.27 kg/l
- Capacidad total, forma Na+, húmeda (min.): 1.9 eq/l
- Temperatura de trabajo, forma Na+ (max.): 140ºC (285ºF)
- Rango estabilidad pH 0 - 14
- Rango operativo pH, ciclo Na+ 6 - 10

Cantidad de ablandador a utilizar

La cantidad de agua que se utilice diariamente en la caldera se obtiene:

$$Agua\ por\ jornada\ laboral = producción\ de\ vapor\ .horas\ de\ trabajo$$

$$Agua\ por\ jornada\ laboral = 1400\frac{kg}{h}\ .\ 16\ h$$

$$Agua\ por\ jornada\ laboral = \mathbf{22400\ kg}$$

Cabe aclarar que se utilizó el doble de las horas laborales y el máximo de producción de la caldera para contemplar un factor de seguridad, en caso de que cambien las características del agua o aumente la demanda de vapor.

Los procesos que requieren vapor fueron calculados en capítulos anteriores y arrojaron la demanda de **1931,6 kg** de vapor por jornada laboral; este vapor ha de condensar y se recupera el líquido para su posterior utilización, por lo que hay que restar el condensado a la cantidad de agua a tratar. Considerando que no existen pérdidas significativas en la recuperación del condensado:

$$Agua\ total\ por\ jornada\ laboral = 22400\ kg - 1931{,}6\ kg$$

$$Agua\ total\ por\ jornada\ laboral = \mathbf{20468{,}4\ kg}$$

La dureza del agua provista por el parque industrial La Paz equivale a 180 ppm, lo que la ubica en el rango de agua blanda. Por lo que la dureza a remover por jornada laboral es:

Utilizando un factor de conversión de la bibliografía,

$$dureza\ total = \frac{dureza\ del\ agua}{facto\ \ de\ conversión} = \frac{180\ ppm}{64{,}809}$$

$$dureza\ total = \mathbf{2{,}78\ g/l}$$

El valor hallado significa que utilizando resinas para suavizar agua de 180 ppm de dureza, serán necesarios 2,78 gramos de resina por litro de agua.

La dureza a remover por jornada laboral es:

$$dureza\ a\ remover = agua\ total\ por\ jornada\ laboral\ .\ dureza\ total$$

$$dureza\ a\ remover = 20468{,}4\ l\ .\ 2{,}78\frac{g}{l} = \mathbf{56902{,}15\ g}$$

Teniendo en cuenta que 28,32 litros de resina remueven 25 kg de dureza, la cantidad de resina a utilizar será entonces:

$$Cantidad\ de\ resina = \frac{28{,}32\ l\ .\ 56{,}902\ kg}{25\ kg} = \mathbf{64{,}46\ kg}$$

Considerando que la densidad de la resina es de 1,27 kg/l la cantidad de resina por jornada laboral será **50,75 litros.**

Por último la cantidad se ClNa para regenerar la resina calculada para una jornada laboral, considerando que este producto necesita 0,16 kg de sal por litro de resina:

$$Cantidad\ de\ sal(ClNa) = \frac{50{,}75\ l\ .\ \ 0{,}16\ kg}{1\ l} = \mathbf{8{,}12\ kg}$$

Tanque de almacenamiento de agua de caldera

Para la provisión de agua a la caldera será necesario contar con un tanque de almacenamiento. El mismo se llenará con agua de red y estará conectado al banco de resinas para el tratamiento del agua antes de su ingreso a la caldera.

Se opta por un tanque de la empresa Bertotto-Boglione S.A.

- Características del tanque:
- Tanque aéreo cilíndrico vertical.
- Capacidad: 26 m^3.
- Diámetro: 3,09 m.
- Alto total: 3,93

- Para almacenamiento exclusivo de agua, construido íntegramente en polietileno virgen de alta densidad por proceso de rotomoldeo, con protector UV para uso a la intemperie, provisto de boca pasa hombre Ø400mm con tapa rotomoldeada roscada de polietileno, 1 venteo de 5" y 1 salida de tanque de 2" c/chupador.



Imagen 5. Tanque provisto por la empresa Bertotto-Boglione S.A.

Scaletron

Se instalará un scaletron en la cañería que abastece el tanque de almacenamiento de agua de la caldera, para garantizar la ausencia de incrustaciones en la caldera y las cañerías de vapor. Será un complemento importante en la eliminación de la dureza del agua junto con el ablandador granulado detallado anteriormente.

Es un elemento utilizado para tratamiento de aguas duras, que actúa de forma totalmente ecológica y en un solo paso. Posee catalizadores galvánicos constituidos por una aleación especial, que al contacto con el agua genera una

pila electroquímica cuyo efecto es evitar y eliminar la formación de incrustaciones calcáreas en cañerías y circuitos de aguas industriales (también domésticas).

Su funcionamiento se basa en su diseño que produce turbulencia y cambios de presión en el agua que circula por su interior, y su material interior que actúa como un catalizador, aprovechando el aumento del PH generado por la aleación para inducir la precipitación del carbonato cálcico en el seno del agua en forma de cristales de aragonita de muy pequeño tamaño (menor de 0,5 micras); de esta forma los coloides formados no tienen la posibilidad de depositarse ni de aglutinarse entre ellos por lo que son arrastrados por el flujo del agua pasando inofensivamente por equipos y cañerías.

Características del equipo

- Presión máxima: 13 atm.
- Temperaturas máximas y mínimas de trabajo: indistinto mientras el agua se encuentre en estado líquido.
- pH recomendado: entre 6,5 y 8,2.
- Dureza máxima del agua: Sin límites.
- Diámetro: 1” (interno 28mm, externo 305mm).
- Peso: 1,2 kg.
- Caudal: 4,8m^3/h.
- Longitud: 2,6m.

Distribución de vapor en la planta

El vapor se genera en la caldera (ubicada en la sala de calderas) y se trasladas por cañerías hacia los equipos de la planta. La velocidad de flujo del vapor corresponde a 25 m/s ya que velocidades muy elevadas pueden provocar erosión en los asientos de las válvulas.

Las cañerías en cuestión deben ser diseñadas de manera que las pérdidas de calor por radiación sean mínimas, permita trasladar el vapor con la presión requerida por los equipos y no representar grandes costos; todo lo detallado se logra obteniendo el tamaño correcto de los caños de vapor.

Los caños desde la caldera hacia lo equipos deben ser colocados con una pendiente descendente, es suficiente con un 0,5%, para evitar el depósito de condensado en las cañerías. Las gotas de condensado acumuladas a lo largo de la tubería, acaban formando una bolsa (líquida) de agua que será arrastrada por la tubería a la velocidad del vapor. Esta bolsa de agua es incompresible y, cuando discurre a una velocidad elevada, tiene una energía cinética considerable. Cuando se obstruye su paso, a causa de una curva u otro accesorio de tubería, la energía cinética se convierte en un golpe de presión (golpe de ariete) que es aplicado contra el obstáculo. Normalmente se produce un ruido de golpe, que puede ir acompañado del movimiento de la tubería. En casos serios, los accesorios pueden incluso romperse con un efecto casi explosivo, con la consecuente pérdida de vapor vivo en la rotura, creando una situación peligrosa.

Otro punto importante relacionado con la distribución es la presión; la caldera está diseñada para entregar vapor a 8 kg/cm^2 de presión si este valor disminuye también lo hará y de forma notable la eficiencia de la misma. Será necesario contar con una válvula reductora de presión, para obtener vapor a alta presión en

la caldera (máxima eficiencia) y de baja presión en las cañerías. Esta última se adoptó (en el capítulo 7 – Balance de energía) igual a 3 kg/cm^2.

Cuanto más cerca se encuentre la válvula de reducción de presión de los equipos que utilizan vapor, se logrará una velocidad de flujo más elevada y lo que es más importante aún, el costo de la instalación será menor ya que se necesitarán cañerías de menor diámetro (en la línea de alta presión).

Cañería de alta presión

Comprende la rama desde la caldera hasta la válvula reductora de presión.

Datos a considerar:

- Presión: 8 Kg/cm^2.
- Flujo másico vapor (máximo): 1400 Kg/h.
- Densidad: 4,085 Kg/m^3.
- Velocidad: 90000 m/h

$$Caudal\ de\ vapor = \frac{1400\,\frac{kg}{h}}{4{,}085\,\frac{kg}{m^3}} = \mathbf{342{,}72\ \frac{m^3}{h}}$$

$$Sección = \frac{Caudal\ de\ vapor}{Velocidad}$$

$$Sección = \frac{342{,}72\ \frac{m^3}{h}}{90000\,\frac{m}{h}} = \mathbf{0{,}0038\ m^2}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ sección}{\pi}}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ 3800\ mm^2}{\pi}} = \mathbf{69,56\ mm}$$

Se opta por una cañería de hierro negro normalizado (norma ASTM) de 3" de diámetro nominal, 88,90 mm de diámetro exterior y 7,62 mm de espesor (cédula 80). En las medidas detalladas se incluyó un factor de seguridad respecto de la medida calculada.

Válvula Reductora de Presión

Todos los cálculos de consumo de vapor en la planta se determinaron para una presión de trabajo de 3 kg/cm^2, teniendo en cuenta que desde la caldera se distribuye vapor a 8 kg/cm^2 (línea de alta presión) es necesario contar con una válvula de reducción de presión.

Se opta por dos válvulas reductoras de presión de acción directa provista por la empresa Spirax Sarco.

Funcionamiento de la válvula:



En la puesta en marcha, la presión aguas arriba empuja el obturador lejos del asiento permitiendo que el vapor fluya al sistema aguas abajo. Con una llave se comprime el resorte mediante el plato de control. La fuerza del resorte es transmitida a través del plato al empujador de la válvula que mantiene el obturador en posición totalmente abierta. A medida que la presión aguas abajo aumenta, actúa a través de la línea de toma de presión en la parte inferior del diafragma unido al extremo del empujador de la válvula.

La presión aguas abajo sigue aumentando hasta que la presión que actúa sobre el diafragma, supera la fuerza que ejerce el resorte y que mantiene el obturador en posición abierta, moviéndolo hacia el asiento de la válvula para modular el flujo y mantener la presión requerida aguas abajo.

Una característica importante en el funcionamiento de la válvula es el uso de un fuelle de compensación para eliminar el efecto de la diferencia de presión aguas arriba y aguas abajo en el obturador que puede producir ruidos y vibraciones.

Características de la válvula:

- Tipo: DVR.
- Material del cuerpo: fundición nodular.
- Sellado del vástago: sellado con fuelle de acero inoxidable.
- Orientación: instalación en línea horizontal.
- Máxima presión de entrada: 15 kg/cm^2.

- Tamaño de conexión: 1 ½" (roscada).

Cañería de baja presión

Comprende la rama desde la válvula reductora de presión hasta los equipos.

- Tanque de desgomado

Datos a considerar:

- Presión: 3 Kg/cm^2.
- Flujo másico vapor: 147,25 kg/h.
- Densidad: 1,621 Kg/m^3.
- Velocidad: 90000 m/h

$$Caudal\ de\ vapor = \frac{147{,}25\,\frac{kg}{h}}{1{,}621\,\frac{kg}{m^3}} = \mathbf{90{,}84\ \frac{m^3}{h}}$$

$$Sección = \frac{Caudal\ de\ vapor}{Velocidad}$$

$$Sección = \frac{90{,}84\,\frac{m^3}{h}}{90000\,\frac{m}{h}} = \mathbf{0{,}00101\ m^2}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ sección}{\pi}}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ 1010\ mm^2}{\pi}} = \mathbf{35,86\ mm}$$

Se opta por una cañería de hierro negro normalizado (norma ASTM) de 1 ½" de diámetro nominal, 48,30 mm de diámetro exterior y 5,08 mm de espesor (cédula 80). En las medidas detalladas se incluyó un factor de seguridad respecto de la medida calculada.

- ❖ Reactor de trasesterificación

El caudal de vapor (calculado en el capítulo 7) en este equipo asciende a los 121,2 kg/h; por tal motivo la cañería adoptada es de igual especificación que la que se utilizará en el tanque de desgomado.

- ❖ Evaporador

Datos a considerar:

- Presión: 3 Kg/cm^2.
- Flujo másico vapor: 503 Kg/h
- Densidad: 1,621 Kg/m^3.
- Velocidad: 90000 m/h

$$Caudal\ de\ vapor = \frac{503\frac{kg}{h}}{1{,}621\frac{kg}{m^3}} = \mathbf{310,30\ \frac{m^3}{h}}$$

$$Sección = \frac{Caudal\ de\ vapor}{Velocidad}$$

$$Sección = \frac{310{,}30\ \frac{m^3}{h}}{90000\frac{m}{h}} = \mathbf{0{,}00345\ m^2}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ sección}{\pi}}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ 3450\ mm^2}{\pi}} = \mathbf{66{,}27\ mm}$$

Se opta por una cañería de hierro negro normalizado (norma ASTM) de 2 ½" de diámetro nominal, 73 mm de diámetro exterior y 7,01 mm de espesor (cédula 80). En las medidas detalladas se incluyó un factor de seguridad respecto de la medida calculada.

- ❖ Tanques de limpieza

Datos a considerar:

- ➢ Presión: 3 Kg/cm^2.
- ➢ Flujo másico vapor: 106 Kg/h
- ➢ Densidad: 1,621 Kg/m^3.
- ➢ Velocidad: 90000 m/h

$$Caudal\ de\ vapor = \frac{106\frac{kg}{h}}{1{,}621\frac{kg}{m^3}} = \mathbf{65{,}39\ \frac{m^3}{h}}$$

$$Sección = \frac{Caudal\ de\ vapor}{Velocidad}$$

$$Sección = \frac{65{,}39\ \frac{m^3}{h}}{90000\ \frac{m}{h}} = \mathbf{0{,}00073\ m^2}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ sección}{\pi}}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4\ .\ 730\ mm^2}{\pi}} = \mathbf{30{,}49\ \ mm}$$

Se opta por una cañería de hierro negro normalizado (norma ASTM) de 1 ¼" de diámetro nominal, 42,20 mm de diámetro exterior y 4,85 mm de espesor (cédula 80). En las medidas detalladas se incluyó un factor de seguridad respecto de la medida calculada.

Accesorios de la línea de vapor

Trampas de vapor

Cuando se inicia la circulación de vapor por las cañerías es inevitable la formación de condensado, ya que estas últimas están a menor temperatura que el vapor que fluye por ellas provocando que parte de éste seda calor y condense. Además siempre habrá flujo de calor desde el vapor hacia el medio ambiente a través de las cañerías por lo que la aislación de estas es indispensable para evitar pérdidas energéticas y condensados. Debido a lo detallado anteriormente es indispensable contar con trampas de vapor en las tuberías y separadores de condensado. Estos accesorios eliminan la humedad del vapor, mantienen la eficiencia de transferencia de calor, reducen la erosión y corrosión en el sistema de vapor y reducen las incrustaciones en las tuberías y superficies de transferencia de calor.

Se opta por una trampa de vapor termodinámica provista por la empresa Spirax Sarco, para la línea de alta presión.

Características:

- Modelo: TD45.
- Presión máxima de trabajo: 45 bar.
- Tipo de conexión: roscada de 1”.
- Material: acero inoxidable.
- Tapa aislante y tamiz incorporado.

Para la línea de baja presión se opta por 4 trampas de vapor a flotador de doble asiento provistas por la empresa Spirax Sarco.

Características:

- Modelo: FTD con dispositivo TV.
- Presión máxima de trabajo: 18 bar.
- Tipo de conexión: roscada de 2”.
- Material: tapa y base de hierro fundido, tornillos de acero y el resto de los componentes en acero inoxidable.
- Con eliminador termostático de aire.

Separador de condensado

Los separadores están diseñados para retener las pequeñas gotas de agua arrastradas por el vapor y separarlas del flujo. Se opta por dos separador de condensado provisto por la empresa Spirax Sarco.

Características:

- Modelo: CS 10-1.
- Presión hidráulica máxima de diseño: 15 bar.
- Tamaño: 1".
- Material: acero inoxidable.

Válvulas – Filtros – Eliminadores de aire.

La línea de vapor contará con dieciséis válvulas mariposas simple efecto y una válvula de corte con fuelle (ubicada específicamente en la línea de alta presión), un eliminador de aire termostático (para la línea de alta presión) y cinco filtros de carcasas; todos estos accesorios serán provistos por la empresa Spirax Sarco.

Aislación de las cañerías de vapor

Una red de distribución de vapor es un sistema energético y como tal, no es un sistema aislado sino que interactúa con el ambiente exterior que le rodea.

Esta situación plantea la posibilidad de fugas energéticas del sistema hacia el entorno.

Las pérdidas energéticas de una red de vapor pueden encuadrarse en tres tipos fundamentales:

- Pérdidas internas debidas a la fricción que se traducen en pérdidas de presión a lo largo de la red de distribución. Esta situación se previene y evita con el correcto diseño de las cañerías.
- Pérdidas debidas al intercambio de calor con el ambiente exterior.

- Pérdidas debidas a fugas del fluido energético hacia el exterior de la red. Su origen está en un mal mantenimiento de la red y de sus componentes. Fugas de este tipo se producen por un mal diseño de purgadores cuando descargan a la atmosfera, por mal mantenimiento de los purgadores que se puede traducir en que no cierren correctamente y dejen fugar vapor vivo, o por fallos en los acoplamientos.

La transmisión de calor desde una tubería caliente hacia el ambiente se produce mediante los tres modos de intercambio (conducción-convención-radiación) y se evitan utilizando materiales que otorguen una gran resistencia al flujo de calor; aislantes térmicos.

El uso de aislantes en las tuberías aumentan notablemente los costos, al punto de que puede suceder que evitar las pérdidas energéticas sea más caro de lo que cuesta generar la energía que se intenta evitar perder. Por ello lo correcto es lograr un equilibrio entre los costos de inversión y las pérdidas de calor; es aceptable que la temperatura externa de las cañerías se encuentre entre los 30 y 40°c.

Para este proyecto se opta aislar las cañerías con hidrosilicato de calcio recubierto con chapa de aluminio pulido.

Temperatura externa de la cañería de alta presión con aislante

Datos:

- Diámetro de la tubería (D_t): 0,0762 m.
- Diámetro del aislante (D_e): 0,256 m.

- Conductividad térmica del Hidrosilicato de calcio (Cd_t): 0,104 w/m°k; para un espesor de 90 mm, una densidad de 270 kg/m^3 y un rango de temperatura entre 149°C y 260°C.
- Coeficiente de radiación del aluminio pulido (C_r): 2,8.10^{-9} w/m^2 °k^4.
- Temperatura de la superficie del caño sin aislar (T_i): 169,6 °C.
- Temperatura de la superficie del caño con aislante (T_e): 30 °C (es la que se intenta conseguir).
- Temperatura ambiente (T_a): 20°C (promedio anual).

Índice de flujo del calor

$$índice\ de\ flujo = {D_e}^3 . \Delta T = (0{,}256m)^3 . (30 - 20)\ °C$$

$$índice\ de\ flujo = \mathbf{0,17\ m^3\ °C}$$

El valor de índice de flujo hallado indica flujo laminar (por ser menor a 10 m^3°C), por lo que el coeficiente exterior convectivo (h_{cv}) será:

$$h_{cv} = 1{,}25 \frac{w}{m°k^2} . \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D_e}} = 1{,}25 \frac{w}{m°k^2} . \sqrt[4]{\frac{(303-2\quad)°k}{0{,}256\ m}}$$

$$\boldsymbol{h_{cv} = 3{,}12\ \frac{w}{m^2°k}}$$

Para la parte radiante, el coeficiente (a_r) es:

$$a_r = \frac{{T_e}^4 - {T_a}^4}{T_e - T_a} . C_r = \frac{(303^4 - 293^4)\ °k^4}{(303 - 293)°k} . 2{,}8 . 10^{-9} \frac{w}{m^2\ °k^4}$$

$$\boldsymbol{a_r = 0,3\ \frac{w}{m^2\ °k}}$$

El coeficiente exterior total (h_e) es la suma de ambos:

$$h_e = h_{cv} + a_r = (3{,}12 + 0{,}3)\frac{w}{m^{2°}k}$$

$$\boldsymbol{h_e = 3,42\frac{w}{m^{2°}k}}$$

Temperatura sobre la superficie del caño con aislante:

$$T_e = T_a + \frac{(T_i - T_a)}{\frac{h_e + D_e}{2\,.\,Cd_t}\,.\ln\frac{D_e}{D_t} + 1}$$

$$T_e = 293\ °k + \frac{(442{,}6 - 293)°k}{\frac{3{,}42\frac{w}{m^{2°}k} + 0{,}256\ m}{2\,.\,0{,}104\frac{w}{m°K}}\,.\ln\frac{0{,}256\ m}{0{,}0762\ m} + 1}$$

$$\boldsymbol{T_e = \ 299,7°k\ (26,7°c)}$$

El valor obtenido para la temperatura de la superficie de la cañería aislada está próximo al sugerido como aceptable (30°c); por lo que será suficiente con un espesor de hidrosilicato de calcio de **90 mm**. Cabe aclarar que el cálculo corresponde a una cañería cilíndrica horizontal, en el interior de la planta (no se considera el efecto de viento), con las condiciones del vapor y el aislante en las condiciones detallas anteriormente (datos).

Temperatura externa de la cañería de baja presión con aislante

Datos:

- Diámetro de la tubería (D_t): 0,0635 m.
- Diámetro del aislante (D_e): 0,2035 m.
- Conductividad térmica del Hidrosilicato de calcio (Cd_t): 0,107 w/m°k; para un espesor de 70 mm y una densidad de 240 kg/m^3 y un rango de temperatura entre 80°C y 149°C.
- Coeficiente de radiación del aluminio pulido (C_r): 2,8.10^{-9} w/m^2 °k^4.
- Temperatura de la superficie del caño sin aislar (T_i): 132,9 °C.
- Temperatura de la superficie del caño con aislante (T_e): 30 °C (es la que se intenta conseguir).
- Temperatura ambiente (T_a): 20°C (promedio anual).

Índice de flujo del calor

$$índice\ de\ flujo = {D_e}^3 . \Delta T = (0{,}2035m)^3 . (30 - 20)\ °C$$

$$índice\ de\ flujo = \mathbf{0{,}084\ m^3\ °C}$$

El valor de índice de flujo hallado indica flujo laminar (por ser menor a 10 m^3°C), por lo que el coeficiente exterior convectivo (h_{cv}) será:

$$h_{cv} = 1{,}25 \frac{w}{°c^2} . \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D_e}} = 1{,}25 \frac{w}{m°k^2} . \sqrt[4]{\frac{(303-293)°k}{0{,}2035\ m}}$$

$$\boldsymbol{h_{cv} = 3{,}31\ ° \frac{w}{m^2 °k}}$$

Para la parte radiante, el coeficiente (a_r) es:

$$a_r = \frac{{T_e}^4 - {T_a}^4}{T_e - T_a} . C_r = \frac{(303^4 - 293^4)\ °k^4}{(303 - 293)°k} . 2{,}8 . 10^{-9} \frac{w}{m^2\ °k^4}$$

$$\boldsymbol{a_r = 0{,}3\ \frac{w}{m^2\ °k}}$$

El coeficiente exterior total (h_e) es la suma de ambos:

$$h_e = h_{cv} + a_r = (3{,}31 + 0{,}3)\frac{w}{m^{2°}k}$$

$$\boldsymbol{h_e = 3{,}61\frac{w}{m^{2°}k}}$$

Temperatura sobre la superficie del caño con aislante:

$$T_e = T_a + \frac{(T_i - T_a)}{\frac{h_e + D_e}{2 . Cd_t} . \ln\frac{D_e}{D_t} + 1}$$

$$T_e = 293\ °k + \frac{(405{,}9 - 293)°k}{\frac{3{,}61\frac{w}{m^{2°}k} + 0{,}2035\ m}{2 . 0{,}107\frac{w}{m°K}} . \ln\frac{0{,}2035\ m}{0{,}0635\ m} + 1}$$

$$\boldsymbol{T_e = \ 298{,}2°k\ (25{,}2°c)}$$

El valor obtenido para la temperatura de la superficie de la cañería aislada está próximo al sugerido como aceptable (30°c); por lo que será suficiente con un espesor de hidrosilicato de calcio de **70 mm**.

Pérdidas energéticas en la línea de vapor

Densidad de flujo de calor (Q_l) en la cañería de alta presión:

$$Q_l = \frac{\pi \,.\, (T_i - T_a)}{\frac{1}{2\,.\,Cd_t}.\ln\frac{D_e}{D_t} + \frac{1}{h_e\,.\,D_e}}$$

$$Q_l = \frac{\pi \,.\, (442{,}6 - 293)°k}{\frac{1}{2\,.\,0{,}104\,\frac{w}{m°K}}.\ln\frac{0{,}256\,m}{0{,}0762\,m} + \frac{1}{3{,}42\,\frac{w}{m^2°k}\,.\,0{,}256\,m}}$$

$$\boldsymbol{Q_l = 67{,}45\,\frac{w}{m}\;(55{,}42\,\frac{kcal}{h\,m})}$$

Densidad de flujo de calor (Q_l) en la cañería de baja presión:

$$Q_l = \frac{\pi \,.\, (405{,}9 - 293)°k}{\frac{1}{2\,.\,0{,}107\,\frac{w}{m°K}}.\ln\frac{0{,}2035\,m}{0{,}0635\,m} + \frac{1}{3{,}61\,\frac{w}{m^2°k}\,.\,0{,}2035\,m}}$$

$$\boldsymbol{Q_l = 52{,}13\,\frac{w}{m}\;(44{,}82\,\frac{kcal}{h\,m})}$$

Las pérdidas energéticas totales ascienden a **100,24 kcal/h m.** Considerando el poder calorífico del combustible utilizado en la caldera (biocombustible de aceite

de ricino) se puede expresar las pérdidas en cantidades de este último por metro de cañería, por jornada laboral (tiempo que está encendida la caldera):

$$Pérdidas\ de\ combustible = \frac{pérdidas\ energéticas\ .\ jornada\ laboral}{Poder\ calorífico}$$

$$Pérdidas\ de\ combustible = \frac{100{,}24\,\frac{kcal}{h\,m}\ .\ 6\,\frac{h}{dia}}{9761686\,\frac{kcal}{m^3}} = \mathbf{6{,}16.\ 10^{-5}}\ \frac{\boldsymbol{m^3}}{\boldsymbol{m\ día}}$$

Las pérdidas de combustible ocasionadas por flujo de calor en las cañerías de vapor, en una jornada laboral equivalen a 61 cm^3 por cada metro de cañería instalada. Es útil detallar que para los cálculos se sumó las pérdidas de los tubos de alta y baja presión, ya que las pérdidas en ambos tipos son similares. Además se consideró que el 100% de las kilocalorías desprendidas por cada m^3 de combustible quemado fue absorbido por el vapor, situación que en la práctica no sucede; aún así se obtuvo de forma teórica una buena aproximación.

Consumo de Agua

Las industrias de extracción de aceite vegetal por extrusión y prensado no se caracterizan por elevados consumos de agua; los requerimientos son mínimos.

En la planta de producción de biocombustible a partir de las semillas de ricino será suficiente, para la producción y limpieza del personal, con la red de agua potable del parque industrial de La Paz Entre Ríos.

Se contará además con un depósito de agua, necesario para la limpieza de los equipos (detallado en el capítulo 9) y sobre todo para el sistema contra incendios; el mismo será calculado en el capítulo 11 (obras civiles).

Consumo de Energía Eléctrica

Fuerza Motriz

Dimensionamiento de conductores

El cálculo eléctrico de una línea consiste en calcular la sección del conductor de forma que satisfaga las condiciones de uso; los criterios que se tienen en cuenta para llevar adelante los cálculos son:

Calentamiento del conductor. La densidad de corriente en el conductor debe ser limitada para disminuir el calentamiento producido al circular la corriente eléctrica. Este criterio fija la máxima intensidad de corriente por el conductor.

Caída de tensión en el conductor. La caída de tensión se limita para así evitar el efecto que la disminución de la tensión de utilización tiene sobre el funcionamiento de los receptores, los cuales deben estar conectados a la tensión nominal para su correcto funcionamiento. Relacionado con la caída de voltaje, en las líneas de baja tensión se tiene en cuenta la resistencia eléctrica de los conductores. Estás pueden ser de tres tipos:

- Resistencia óhmica. Es directamente proporcional a la longitud del conductor, e inversamente proporcional a su sección y depende del tipo de material y de la temperatura. Se expresa según $\boldsymbol{R = \rho \frac{l}{s}}$, donde R es la

resistencia del conductor (expresada en ohm), l es la longitud del conductor (en metros), s en la sección del conductor (en mm^2) y ρ es el coeficiente de resistividad (se expresa en ohm mm^2/m y depende del material y la temperatura).

La resistencia de los conductores metálicos aumenta al aumentar la temperatura por lo que disminuye su conductividad que es exactamente la inversa de la resistencia.

- Efecto Kelvin. En corriente alterna, debido a que el flujo magnético producido por la corriente es alterno, se inducen fuerzas electromotrices en el interior del conductor que originan un desplazamiento de las cargas eléctricas a la periferia del mismo, produciendo un aumento de la resistencia cuando la sección es grande.
- Efecto de proximidad. Cuando dos o más conductores están paralelos y próximos entre sí, el campo magnético producido por la corriente eléctrica que recorre un conductor actúa sobre las corrientes en los otros, produciendo una modificación de la distribución de densidad de corriente, lo que hace aumentar la resistencia del conductor.

Capacidad del conductor para soportar la corriente de corto circuito. Debe limitarse la intensidad de la corriente de corto circuito, porque su valor muy elevado produce un excesivo calentamiento del conductor y pueden originar que las fuerzas que tienden a separar o juntar conductores próximos, recorridos por esa corriente, tomen un valor excesivo. Cabe aclarar que en las instalaciones de interiores o receptoras de baja tensión, alejadas del centro de trasformación que las alimenta, no se suele tener en cuenta este criterio para el cálculo de sección, porque se considera que la intensidad de corriente y el calentamiento producido

no llegan a valores peligrosos antes de que actúen las protecciones contra cortocircuitos.

Conductores adoptados para la distribución de energía eléctrica en la planta

Criterio térmico. Cuando circula corriente por un conductor se produce un calentamiento del mismo (efecto Joule), aumentando su temperatura hasta que llega al equilibrio térmico cuando todo el calor producido es cedido al exterior. Para mantener una determinada temperatura, la densidad de corriente admisible debe disminuir al aumentar la sección del conductor.

El cálculo de la sección de los conductores de baja tensión según el calentamiento, se realiza mediante tablas del Reglamento Electrotécnico que fijan las intensidades o las densidades de corriente máximas admisibles en función de la sección, del material conductor, del aislamiento y según el tipo de instalación que marca las condiciones de enfriamiento.

Cuando la temperatura ambiente o las condiciones de la instalación no coinciden con las de las tablas se utilizan factores de corrección para las intensidades admisibles, que están fijados en las instrucciones correspondientes del reglamento mencionado anteriormente.

Resulta que en las líneas de poca longitud, el criterio de calentamiento suele dar secciones con las que se obtienen caídas de tensión inferiores a las permitidas. Sin embargo en líneas largas, por el criterio de caída de tensión se suelen obtener secciones que permiten más intensidad que la que circulará por el conductor. Es por lo detallado el párrafo anterior que, generalmente, se utiliza el criterio de caída te tensión para determinar la sección de los conductores.

Criterio de la caída de tensión. La sección del conductor es función de la caída de tensión admisible en la línea. Las empresas distribuidoras de energía eléctrica suelen limitar la caída de tensión en las líneas distribuidoras de baja tensión como máximo a un 5%. En las instalaciones interiores la caída de tensión desde el origen de la instalación, considerando todos los aparatos susceptibles de funcionar simultáneamente, debe ser inferior al 3% para alumbrado y al 5% para los demás usos.

En base a lo detallado se determinará la sección del conductor necesario para alimentar la bomba (B2) encargada de limpiar el tanque de desgomado mediante las máquinas rotativas. La misma está conectada en el tablero de mando T2M2.

Características del equipo:

- Potencia: ½ HP.
- Rendimiento: 85%.
- Factor de potencia (Cos φ): 0,88.
- Tensión: 380V.

Cabe aclarar que para el cálculo de la potencia de la bomba (Capítulo 8) se adopto, por seguridad, un rendimiento igual al 80% pero todos los proveedores de estos equipos los ofrecen con rendimientos del 85% o superiores.

Potencia eléctrica

Es la cantidad de energía absorbida (o entregada) por un elemento en un momento dado.

$$PE = \frac{PM}{\eta}$$

Donde:

- PE, es la potencia eléctrica.
- PM, es la potencia del motor eléctrico. Equivale en este caso a ½ HP.
- η, es el rendimiento. Equivale a 85%.

$$PE = \frac{\frac{1}{2}\ HP\ .\ \frac{745{,}7\ w}{1\ HP}}{0{,}85} = \mathbf{438{,}65\ W}$$

Potencia efectiva

Es la potencia que realmente entrega el motor; el resto es absorbida por las resistencias pasivas del mismo; por lo que existen factores que afectan la potencia eléctrica (PE).

$$PE_e = k_s\,.\,k_l\,.\,k_p\,.\,PE$$

Donde:

- PE_e, es la potencia eléctrica efectiva.
- K_S: factor de simultaneidad. Este factor es la relación entre la potencia simultánea máxima que puede entregar una instalación eléctrica y la suma de las potencias nominales de todos los receptores que pueden conectarse a esta. Se considera igual a 1 (obedece a la situación más desfavorable).

- K_U: factor de utilización. Este factor mejora el análisis de las cargas con alta distorsión, teniendo en cuenta su relación con la fuente de alimentación. Se adopta igual a 1.
- K_P: factor de seguridad, se adiciona un 25 %.

$$PE_e = 1 \,.1\,.1{,}25\,.438{,}65\; w = \mathbf{548{,}31\; W}$$

Corriente que toma el motor

$$I = \frac{PE_e}{\sqrt{3}\,.V\,.\cos\varphi} = \frac{548{,}31\; w}{\sqrt{3}\,.\;380\; V\,.\cos 0{,}88}$$

$$\boldsymbol{I = 1{,}31\; Ampere}$$

El resultado hallado corresponde a la corriente de operación que toma el motor; con este valor se adopta la sección del conductor procurando que la corriente admisible sea mayor o en el peor de los casos igual a la magnitud calculada.

Todo el equipamiento para la distribución de energía eléctrica de la planta será provisto por la empresa Marlew S.A., por lo que la sección del cableado se tomará de los catálogos de dicha empresa que los fabrica según la norma IRAM NM 280 /IEC 60228.

Se adopta un cable de potencia tripolar de sección igual a 3x1 mm^2 (con siete alambres de 0,425 mm de diámetro cada uno) con una resistencia de 18,1 ohm/km a 20°C y una corriente admisible en línea de aire de 21 Ampere.

Caída de tensión para la sección del cable adoptado

La caída de tensión, como se detalló anteriormente, debe ser menor al 5%. Para el total de las instalaciones de la planta se adopta que las acometidas que conecten los equipos (incluyendo los de iluminación) con los tableros seccionales no superen una caída de tensión del 3%.

Luego la caída de tensión admisible es:

$$\Delta V_{\text{admisible}} = \frac{\Delta V_{\text{adoptada}} \,.\, \text{V}}{100} = \frac{3\,.\,380\ \text{V}}{100}$$

$$\boldsymbol{\Delta V_{\text{admisible}} = 11,4\ \text{V}}$$

La caída de tensión en el conductor calculado y adopta será:

$$\Delta V_{\text{calculada}} = \left(\frac{k}{\sigma\,.\,sección}\right).\left(\frac{PE_e\,.\,l}{V}\right)$$

Donde:

- K, es el coeficiente que toma en cuenta el carácter inductivo de la línea. En este caso por ser una longitud corta k es igual 1; es decir se considera una línea resistiva pura.
- Sección del conductor adoptada igual a 1 mm^2.
- σ es la conductividad eléctrica del cobre. Equivale a 56 $m/\Omega\ mm^2$ (es la inversa de la resistividad).
- l, es la longitud del conductor. Equivale para este equipo a 15 m.

$$\Delta V_{\text{calculada}} = \left(\frac{1}{56 \frac{m}{\Omega\, mm^2} \,.1\, mm^2} \right) . \left(\frac{548{,}31\ W\ .\ 15\ m}{380\ V} \right)$$

$$\boldsymbol{\Delta V_{\text{calculada}} = 0{,}39\ V}$$

La caída de tensión calculada es menor que la admisible (11,4 volts) por lo que la sección del cable calculado y adoptado es suficiente para el propósito de alimentar a la bomba de limpieza del tanque de desgomado.

De igual manera se calculan y se hallan las secciones de los cables del resto de los equipos, teniendo en cuenta que todos los motores eléctricos fueron considerados con un rendimiento del 85%, que para todos la caída de tensión calculada no debía superar la admisible (de 11,4V) y que se consideró al determinar el largo de las acometidas la altura de los tableros y las líneas. Los resultados se resumen en la tabla número 2.

Es importante mencionar que todos los equipos de las plantas de extracción y conversión poseen motores trifásicos; por lo que los cálculos fueron realizados para una diferencia de potencial de 380V, y cada sección determinada se corresponde con un cable tripolar.

Tabla n°2.

Equipos	PM (kw)	PE (kw)	PEe (kw)	I calculada(A)	Tablero	L (m)	Sección (mm2)	I admisible (A)	$\Delta V_{calculada}$
Motor 3M1-1	0,75	0,88	1,10	2,63	T3M1	24,50	1,00	20,00	1,27
Zaranda de limpieza	2,30	2,71	3,38	8,07	T3M1	19,63	1,00	20,00	3,12
Motor 3M1-2	0,75	0,88	1,10	2,63	T3M1	16,81	1,00	20,00	0,87
Motor 3M1-3	2,25	2,65	3,31	7,90	T3M1	8,13	1,00	20,00	1,26
Extrusora A	92,00	108,24	135,29	322,90	T3M1	9,44	150,00	344,90	0,40
Extrusora B	92,00	108,24	135,29	322,90	T6M1	6,88	150,00	344,90	0,15
Extrusora C	92,00	108,24	135,29	322,90	T7M1	12,00	150,00	344,90	0,37
Prensa A	100,00	117,65	147,06	350,98	T3M1	9,50	185,00	394,30	0,35
Prensa B	100,00	117,65	147,06	350,98	T6M1	12,00	185,00	394,30	0,33
Prensa C	100,00	117,65	147,06	350,98	T7M1	18,00	185,00	394,30	0,56
Motor 6M1-1	0,75	0,88	1,10	2,63	T6M1	18,38	1,00	20,00	0,78
Requechero	2,20	2,59	3,24	7,72	T2M1	5,00	1,00	20,00	0,76
Motor 2M1-1	0,75	0,88	1,10	2,63	T2M1	9,31	1,00	20,00	0,48
Centrífuga horizontal	15,00	17,65	22,06	52,65	T2M1	7,75	10,00	64,60	0,80
Agitador (desgomado)	1,64	1,93	2,41	5,76	T1M1	2,56	1,00	20,00	0,29
Bomba 1M1-3	0,75	0,88	1,10	2,62	T1M1	8,94	1,00	20,00	0,46
Centrífuga (clarificadora)	25,00	29,41	36,76	87,74	T1M1	11,63	25,00	166,30	0,80
Secador de expeller	0,75	0,88	1,10	2,62	T2M1	2,63	1,00	20,00	0,14
Bomba 2M2-1	0,38	0,44	0,55	1,32	T2M2	12,75	1,00	20,00	0,33
Bomba 2M2-2	0,38	0,44	0,55	1,32	T2M2	15,00	1,00	20,00	0,39
Bomba 4M2-4	0,37	0,44	0,55	1,31	T4M2	2,04	1,00	20,00	0,05
Mezclador (catalizador)	2,30	2,71	3,38	8,07	T4M2	2,50	1,00	20,00	0,40
Bomba 4M2-5	0,38	0,44	0,55	1,32	T4M2	3,06	1,00	20,00	0,08
Bomba 4M1-6	0,75	0,88	1,10	2,63	T4M1	4,25	1,00	20,00	0,22
Agitador (transesterificación)	1,64	1,93	2,41	5,76	T4M1	7,00	1,00	20,00	0,79
Bomba 4M3-7	0,75	0,88	1,10	2,63	T4M3	11,00	1,00	20,00	0,57
Evaporador	0,37	0,44	0,55	1,31	T4M3	8,25	1,00	20,00	0,21
Bomba 4M3-8	0,38	0,44	0,55	1,32	T4M3	1,25	1,00	20,00	0,03
Bomba 4M3-9	0,75	0,88	1,10	2,62	T4M3	19,88	1,00	20,00	1,02
Bomba 4M4-10	0,75	0,88	1,10	2,63	T4M4	8,75	1,00	20,00	0,45
Bomba 4M4-11	0,38	0,44	0,55	1,32	T4M4	6,75	1,00	20,00	0,17
Bomba 4M4-12	0,38	0,44	0,55	1,32	T4M4	5,38	1,00	20,00	0,14
Bomba 4M4-13	0,75	0,88	1,10	2,62	T4M4	5,38	1,00	20,00	0,28
Agitador (reactor de glicerina)	0,37	0,44	0,55	1,31	T4M4	4,38	1,00	20,00	0,11
Bomba 4M4-14	0,37	0,44	0,55	1,31	T4M4	3,13	1,00	20,00	0,08
Caldera	3,00	3,53	4,41	10,53	T5M1	5,00	1,00	20,00	1,04
Bomba 5M1-15	1,88	2,21	2,76	6,58	T5M1	9,75	1,00	20,00	1,26

Detalles de los motores y bombas:

- El motor 3M1-1 pertenece al tornillo sin fin que transporta granos desde el silo de producción hacia la zaranda de limpieza.

- El motor 3M1-2 pertenece al tornillo sin fin que transporta y eleva los granos desde el imán hacia el transporte de cadenas que alimenta las extrusoras.
- Motor 3M1-3 pertenece al transporte de cadenas que alimenta con granos a las extrusoras.
- Motor 6M1-1 pertenece al tornillo sin fin que transporta el expeller.
- Motor 2M1-1 pertenece al tornillo sin fin que transporta los finos desde el requechero hacia las prensas.
- Bomba 1M1-3 provee agua al intercambiador de calor en la planta de extracción.
- Bomba 2M2-1 provee agua al tanque de solución de lavado.
- Bomba 4M2-4 provee metanol al mezclador de catalizador.
- Bomba 4M2-5 provee de catalizador al tanque de transesterificación.
- Bomba 4M1-6 provee de aceite de ricino al tanque de transesterificación.
- Bomba 4M3-7 provee de biocombustible crudo al evaporador.
- Bomba 4M3-8 transporta el alcohol metílico recuperado desde el evaporador al tanque de almacenamiento del alcohol.
- Bomba 4M3-9 transporta el biocombustible crudo desde el evaporador al separador gravitatorio (pasándolo a través del economizador).
- Bomba 4M4-10 transporta el biocombustible desde el separador gravitatorio hacia el tanque de almacenamiento.
- Bomba 4M4-11 transporta glicerina cruda desde el separador gravitatorio hacia el tanque pulmón.
- Bomba 4M4-12 transporta glicerina cruda desde el tanque pulmón hacia el reactor de glicerina.
- Bomba 4M4-13 transporta ácido fosfórico hacia el reactor de glicerina.
- Bomba 4M4-14 transporta glicerina neutraliza desde el reactor hacia el tanque de almacenamiento pasándola, previamente, por el filtro.
- Bomba 5M1-15 provee de biocombustible al tanque de almacenamiento de la caldera.

Iluminación

El alumbrado debe producir una buena visibilidad de los objetos y crear un ambiente visual satisfactorio.

Según la forma en que las luminarias, suspendidas sobre el plano de trabajo, repartan la luz el alumbrado se clasifica en:

- **Alumbrado directo.** Todo el flujo luminoso producido se dirige al plano de utilización, es decir hacia abajo.
  Las luminarias de alumbrado directo se clasifican según su ángulo de apertura del haz (ángulo bajo el cual se irradia el 50% de su flujo luminoso). Estás pueden ser intensivas (semiángulo formado entre el haz y el eje de simetría entre 0° y 30°), semi-intensivas (semiángulo entre 30° y 40°), dispersoras (semiángulo entre 40° y 50°) semi-extensivas (semiángulo entre 50° y 60°), extensivas (semiángulo entre 60° y 70°), e hiper-intensivas (semiángulo entre 70° y 90°).
- **Alumbrado indirecto.** Todo el flujo luminoso se dirige hacia el techo del local (o hacia arriba).
- **Alumbrado mixto.** El flujo luminoso se dirige al techo y al plano de utilización. Es semi-directo cuando la mayor parte del flujo luminoso se dirige al plano de trabajo, y es semi-indirecto cuando la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el techo.

La iluminación también puede ser general (iluminación uniforme); localizada (iluminación sobre puntos determinados) y suplementaria (iluminación localizada dentro de la general).

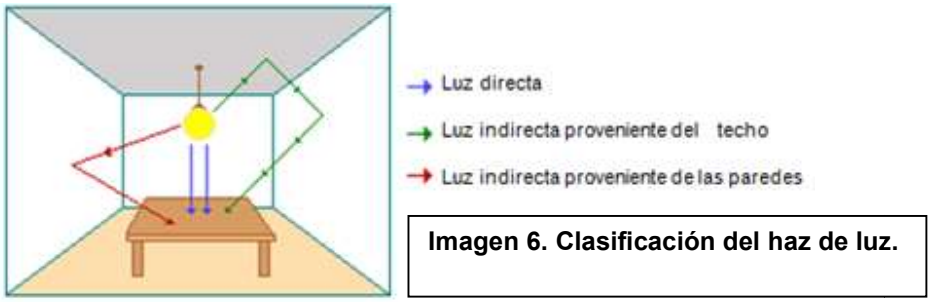


Imagen 6. Clasificación del haz de luz.

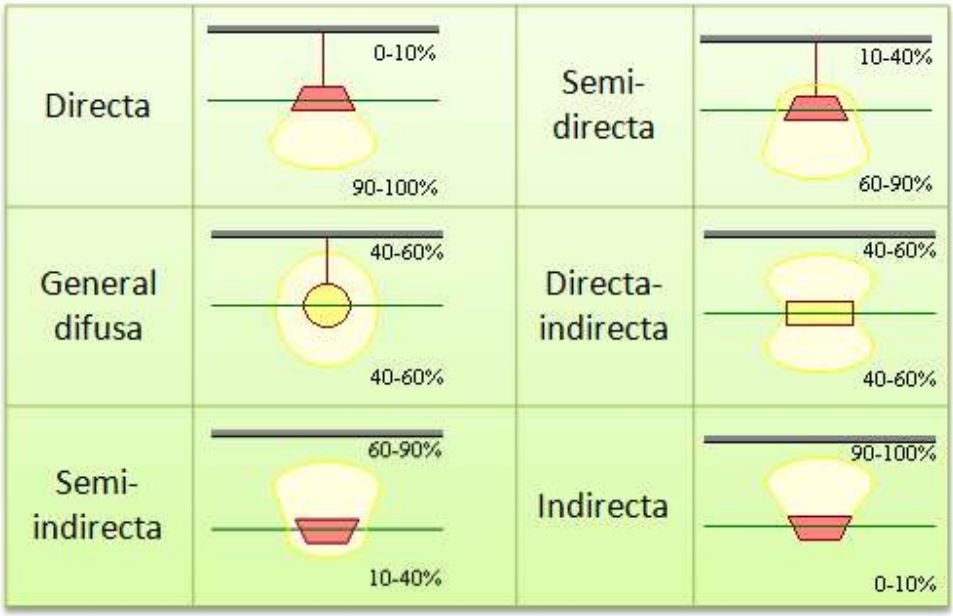


Imagen 7. Clasificación del haz de luz según el plano de la luminaria.

Consideraciones generales de iluminación

Es necesario tener presentes unidades, magnitudes luminosas y leyes fundamentales, previo a realizar los cálculos que arrojen el sistema de iluminación más conveniente para la planta y que se ajuste a la reglamentación vigente.

Flujo luminoso (Φ)

Es la energía luminosa emitida por unidad de tiempo. Su unidad es el lumen (lm). El lumen es el flujo luminoso emitido por un foco puntual de una candela de intensidad sobre una porción de superficie esférica de 1 m^2 a la distancia de 1 m, que corresponde a un ángulo sólido de 1 estereorradián.

Nota: El ángulo sólido es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, que se corresponde con la zona del espacio limitada por una superficie cónica. Mide el tamaño aparente de ese objeto. Su unidad en el SI es el estereorradián(sr).

El valor de flujo luminoso de una lámpara viene dado por el fabricante. Su rendimiento luminoso o eficacia es la relación entre el flujo que emite y la potencia que consume.

Intensidad luminosa

Es el flujo luminoso emitido en una dirección dada por unidad de ángulo sólido. Su unidad es la candela (cd). La candela se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente de luz que emite una radiación monocromática de frecuencia $540x10^{12}$ Hz, y cuya intensidad energética en dicha dirección es 1/683 vatios por estereorradián.

Iluminación o iluminancia

Es el flujo luminoso recibido por unidad de superficie ($E = \frac{\Phi}{s}$) y se mide en lux (lx). El lux es la iluminación de una superficie de 1 m^2 que recibe el flujo luminoso de un lumen ($1\ lux = \frac{1\ lm}{1\ m^2}$).

Luminancia o brillo

Es la intensidad luminosa (I) en una dirección dada por unidad de superficie aparente luminosa o iluminada. Se mide en nit (nt), aunque se utiliza también la cd/cm^2. El nit es la luminancia de una superficie aparente de 1 m^2 en una dirección en que la intensidad luminosa es una candela ($1\ nt = \frac{1\ cd}{1\ m^2}$).

Ley de la inversa de los cuadrados

La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada ($E = \frac{I}{D^2}$).

Esta ley es válida únicamente tratándose de fuentes puntuales, superficies perpendiculares a la dirección del flujo y cuando la distancia es grande en relación al tamaño de la fuente. La distancia debe ser al menos cinco veces la dimensión máxima de la luminaria. No es aplicable a fuentes de iluminación extensas.

Ley del coseno

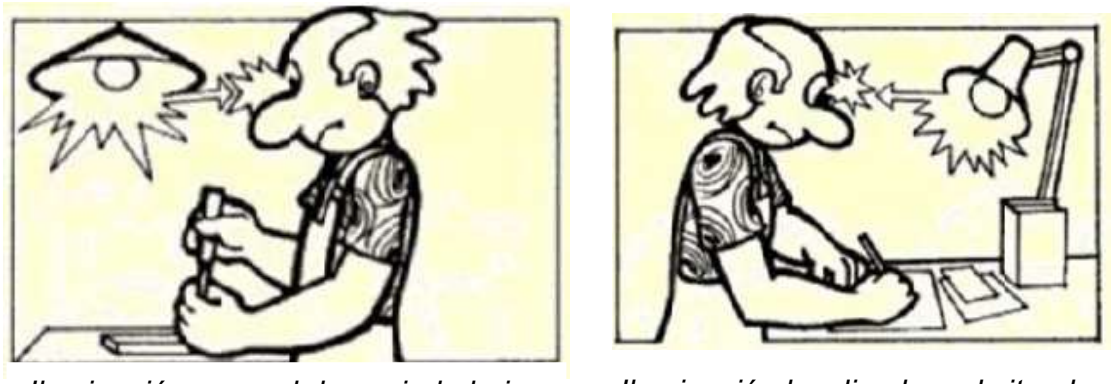
La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia ($E = \frac{I}{D^2} . \cos \alpha$). El ángulo α es el formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto de incidencia.

De lo detallado se deduce que en la ley de la inversa de los cuadrados, la superficie iluminada es perpendicular a la dirección de los rayos por lo que el ángulo de incidencia es 0° y el coseno (cos0°) corresponde a 1.

Luminarias en la planta de extracción de aceite de ricino y en la de conversión del aceite en biocombustible

La más importante de las funciones que cumple una luminaria es la de modificar la distribución del flujo luminoso que emana de la fuente a la cual contiene. Así podrá convertirse en un proyector, haciendo que la emisión sea fuertemente concentrada, o en difusora, y apantallar las lámparas ocultándolas del ángulo de visión para evitar deslumbramientos (Pérdida momentánea de la visión producida por una luz o un resplandor muy intensos).

Imagen 8. Tipos de deslumbramientos.



Iluminación general demasiado baja *Iluminación localizada mal situada*



Reflejos en la superficie de trabajo

La óptica de las luminarias es el elemento que define el tipo de emisión luminosa que tendrá esta. Las ópticas tienen un componente básico que es el espejo o reflector. Este último será el encargado de modelar la distribución luminosa de cada luminaria.

El material por excelencia para la construcción de los espejos es el aluminio en sus versiones básicas de brillante o semi-mate. El aluminio brillante pulido a espejo, liso y anodizado, es el material indicado para todas aquellas ópticas en las que la precisión en el direccionamiento de los haces de luz sea fundamental. Cuando lo que se busca es que la luminaria tenga una emisión de luz del tipo dispersa, el espejo que se utiliza generalmente es del mismo material pero gofrado, es decir con un efecto de martillado de aluminio.

En la planta de extracción de aceite de ricino se optará por una iluminación general, y una puntual para los tableros de comandos y los equipos que requieran limpieza una vez por jornada laboral.

En la planta de producción de biocombustible se optará por una iluminación general solamente.

Intensidad luminosa adoptada

La intensidad mínima de iluminación de las zonas especificadas y todas las demás de la planta se adoptarán según lo establecido en el anexo IV correspondiente a los artículos 71 a 84 de la Ley número 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo, reglamentada por el decreto 352/79.

Tabla 3. Intensidad luminosa sobre los ambientes de la planta.

Zona	Tipo	Intensidad mínima sobre el plano de trabajo (lux)
Laboratorio	General	400
Oficinas	General	300
Pasillos	General	100
Baños	General	100
Planta de extracción	General	100
Planta de extracción	Puntual	300
Planta de conversión	General	100
Sala de caldera	General	100
Tableros	Puntual	150

Es necesario traducir la intensidad luminosa mínima que exige la ley en cantidades de lámparas y las potencias de las mismas, para así poder diseñar el plano de iluminación de la planta.

Para calcular el nivel medio de iluminación (en interiores) existen varios métodos denominados, Método del Flujo Luminoso, Método del Rendimiento de la Luminaria y el Método de las Cavidades Zonales. Este último es el adoptado en Argentina y para el cual diseñan los informes fotométricos de las luminarias los laboratorios nacionales.

Método de las Cavidades Zonales

El método de las cavidades zonales divide al local en cavidades individuales (la cavidad cielo raso, la cavidad local y la cavidad piso). Esta forma de analizar por separado el comportamiento de los tres sectores más importantes del volumen total de un local a iluminar, confiere a los cálculos realizados por este método una mayor precisión.

Nivel medio de iluminación:

$$E_m = \frac{\phi_t \cdot c_u \cdot f_m}{s} \qquad \textit{Ecuación } \kappa$$

Donde:

- E_m es el nivel medio de iluminación sobre el plano de trabajo.
- ϕ_t es el flujo luminoso total instalado en el local.
- c_u es el coeficiente de utilización de la instalación.
- f_m es el factor de mantenimiento o depreciación de la instalación.
- s es la superficie total del local.

La jornada laboral será en horario diurno. La planta de extracción y conversión contarán con posibilidad de iluminación natural desde el techo y en el caso de esta

última no contará con paredes laterales (lo expresado se detalla en el capítulo 11, obras civiles). Aún así los cálculos se basan sin tener en cuenta la iluminación natural, contemplando días nublados o en el caso de que por alguna razón se trabajo en horario nocturno. Se contempla además los días de invierno en que amanece próximo a las 8 horas de la mañana.

Para aplicar el método de las cavidades zonales se evaluará la cantidad de lámparas necesarias en una de las oficinas (gerencia) de la planta.

Datos del local:

- Ancho: equivale a 3,7 metros.
- Largo: equivale a 5,25 metros.
- Plano de las luminarias: corresponde a la distancia desde el techo o el piso en que se ubican las luminarias. Equivale a 2,5 metros desde el piso y 0,5 metros desde el techo. Este último valor es el de la altura de la cavidad del techo.
- Plano de trabajo: al realizarse un trabajo específico con documentos y computadoras se considera la medida del plano de trabajo equivalente a la altura de los escritorios, en este caso igual a 0,75 metros desde el piso.
- Altura: comprendida entre el plano de las luminarias y el plano de trabajo, corresponde a 1,75 metros.
- Techo y paredes de color blanco y piso claro.

Nivel medio de iluminación (E_m)

Este valor se adopta según la ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo, corresponde a 300 lux.

Factor de mantenimiento de la instalación (f_m)

Las condiciones de conservación o mantenimiento de la instalación de iluminación, configuran un factor de gran incidencia en el resultado final de un proyecto de alumbrado. Todos los elementos que contribuyen a la obtención del nivel de iluminación deseado sobre el plano de trabajo, sufren con el tiempo un cierto grado de depreciación.

Las lámparas sufren pérdidas en el flujo luminoso emitido, ya sea por envejecimiento, acumulación de polvo sobre su superficie, efectos de la temperatura, etc. Las pantallas reflectoras y los louvers de las luminarias pierden eficiencia. Las paredes y cielorrasos se ensucian y disminuye su poder reflectante.

Existen tablas que detallan, en forma orientativa, la magnitud del factor de mantenimiento referidas a la periodicidad de la limpieza (clasifica los ambientes como sucio o limpio), al tipo de luminaria y a al tipo de ambiente de trabajo. Para este caso (oficina de la planta) el factor equivale a **0,85**. Cabe aclarar que el factor de mantenimiento varía entre 0 y 1; siendo este último valor el óptimo.

Superficie

La superficie total del local corresponde al área vacía del ambiente de trabajo, es decir sin tener en cuenta si la luz llega o no a todos los puntos (por ejemplo puede estar ubicado un mueble que cubra parte de la superficie del local).

$$Superficie\ del\ total\ del\ local = ancho\ .largo = (3{,}7\ .\ 5{,}25)m$$

$$Superficie\ del\ total\ del\ local = \mathbf{19{,}43\ m^2}$$

Coeficiente o factor de utilización

Este coeficiente permite conocer el comportamiento de una luminaria determinada en un local determinado. Para poder hallar el coeficiente de utilización, es necesario antes calcular el índice del local y el factor de reflexión.

Índice del local

Este valor depende de las características de construcción del local; se obtiene tres magnitudes diferentes, una para el piso (K_1), otra para el cuarto (K_2) y la tercera para el techo o cielo raso (K_3).

Estos índices serán necesarios para corregir, mediante el uso de tablas, el factor de reflexión del piso, paredes y techo.

$$\boldsymbol{K_3} = 5\,.\,altura\ de\ cavidad\ del\ techo\,.\frac{(largo + ancho)}{(largo\ .\ ancho)}$$

$$\boldsymbol{K_3} = 5\,.\,0{,}5m\,.\frac{(5{,}25 + 3{,}7)m}{(5{,}25\ .\ 3{,}7)m^2} = \mathbf{1,16}$$

$$\boldsymbol{K_2} = 5\,.\,altura\ de\ cavidad\ del\ cuarto\,.\frac{(largo + ancho)}{(largo\ .\ ancho)}$$

$$\boldsymbol{K_2} = 5\,.\,1{,}75m\,.\frac{(5{,}25 + 3{,}7)m}{(5{,}25\ .\ 3{,}7)m^2} = \mathbf{4,03}$$

$$\boldsymbol{K_1} = 5\,.\,altura\ de\ cavidad\ del\ piso\,.\frac{(largo + ancho)}{(largo\ .\ ancho)}$$

$$\boldsymbol{K_1} = 5\,.\,0{,}75m\,.\frac{(5{,}25 + 3{,}7)m}{(5{,}25\ .\ 3{,}7)m^2} = \mathbf{1,73}$$

Factor de reflexión

Para las condiciones de la oficina en cuestión, existen valores promedios de reflexión para el piso (por ser claro equivale a 30%), las paredes (por ser blancas equivalen a 50%) y el techo (por ser blanco equivale a 70%). Los porcentajes de cada uno se corrigen con los índices calculados anteriormente, utilizando valores tabulados.

La reflexión efectiva equivale a:

- Piso. Para un índice (K_1) de 1,73 con paredes y techo de reflectancias del 50% y 70% respectivamente; la reflexión efectiva es del 25%.
- Techo. Para un índice (K_3) de 1,16 con paredes y piso de reflectancias del 50% y 30% respectivamente; la reflexión efectiva es del 57%.
- Pared. Permanece constante e igual al 50%.

Obtenidas las reflactancias efectivas se halla el coeficiente de utilización del local mediante tablas utilizadas por los laboratorios argentinos. Estás tablas varían dependiendo del tipo de luminaria (imagen 9).

$$\boldsymbol{Coeficiente\ de\ utilización\ del\ local = 0,37}$$

Reflactancias de las cavidades																		
Techo %	80				70				50			30			10			
Pared %	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	
Índice del local	Coeficientes de Utilización																	
1	0,58	0,56	0,53	0,51	0,56	0,54	0,52	0,50	0,52	0,50	0,49	0,50	0,48	0,47	0,48	0,47	0,46	
2	0,53	0,49	0,45	0,42	0,52	0,48	0,45	0,42	0,46	0,43	0,41	0,45	0,42	0,40	0,43	0,41	0,39	
3	0,49	0,44	0,40	0,36	0,48	0,43	0,39	0,36	0,41	0,38	0,35	0,40	0,37	0,35	0,38	0,36	0,34	
4	0,45	0,40	0,35	0,32	0,44	0,38	0,34	0,31	0,37	0,34	0,31	0,36	0,33	0,30	0,35	0,32	0,30	
5	0,42	0,35	0,31	0,27	0,41	0,35	0,30	0,27	0,33	0,30	0,27	0,31	0,29	0,27	0,31	0,29	0,26	
6	0,39	0,32	0,27	0,24	0,38	0,31	0,27	0,24	0,30	0,27	0,24	0,30	0,26	0,24	0,29	0,26	0,23	
7	0,36	0,29	0,25	0,22	0,35	0,29	0,25	0,22	0,28	0,24	0,21	0,27	0,24	0,21	0,27	0,23	0,21	
8	0,34	0,27	0,22	0,20	0,33	0,27	0,22	0,20	0,25	0,22	0,19	0,25	0,21	0,19	0,24	0,21	0,19	
9	0,31	0,24	0,20	0,17	0,31	0,24	0,20	0,16	0,23	0,20	0,17	0,23	0,19	0,17	0,22	0,19	0,17	
10	0,29	0,22	0,18	0,16	0,29	0,22	0,14	0,14	0,22	0,18	0,16	0,21	0,18	0,15	0,21	0,18	0,15	

Imagen 9. Tabla para hallar el factor de utilización con ejemplo de empleo.

Flujo luminoso total (ϕ_t)

Remplazando las magnitudes obtenidas en la ecuación κ:

$$\phi_t = \frac{E_m \,.\, s}{c_u \,.\, f_m} = \frac{300\ lux \,.\, 19{,}43\ m^2}{0{,}37 \,.\, 0{,}85}$$

$$\boldsymbol{\phi_t = 18534{,}18\ lux\ m^2}$$

Cantidad de luminarias

Para obtener el número de luminarias se aplica la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\phi_t}{n \,.\, \phi_l}$$

Donde:

- N es el número de luminarias necesarias.
- Φ_l es el flujo luminoso de una lámpara. En este caso (oficina de la planta) se utilizarán tubos led marca Philips de 36 w de potencia, 4800 lm, con factor de potencia igual a 0,95 y una vida útil de 20000horas.
- n es el número de lámparas por luminarias, en este caso es igual a 2.

$$N = \frac{18534{,}18\ lm}{2\ .\ 4800} = \mathbf{1,93}$$

Por lo tanto será necesario disponer en la oficina de la gerencia de 2 luminarias con dos tubos led cada una para lograr los objetivos de iluminación propuestos dentro del marco de la Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

De igual manera se procede a calcular en los diferentes ambientes laborales de la planta las cantidades de luminarias necesarias. Los resultados se resumen en las siguientes tablas:

Tabla número 4. Iluminación General

Zona	Superficie (m2)	Indice del local	C_u	F_m	Lux (objetivo)	lm calculado	lm/ lámpar	Luminarias	Potencia/luminaria (w)	Tablero
Porteria	16,00	3,13	0,41	0,85	300	13773,31	4800	1	46	T1L1
Baño de porteria	3,00	7,29	0,22	0,85	100	1604,28	800	1	9	T1L1
Oficina 1	12,40	4,98	0,33	0,85	300	13256,68	4800	1	46	T1L1
Oficina 2	12,40	4,98	0,33	0,85	300	13256,68	4800	1	46	T1L1
Gerencia	19,43	4,03	0,37	0,85	300	18529,41	4800	2	46	T1L1
Cocina	12,21	5,02	0,33	0,85	200	8705,88	4800	1	46	T1L1
Laboratorio	20,91	3,91	0,37	0,85	400	26588,24	4800	3	46	T1L1
Baño laboratorio	5,55	8,20	0,25	0,85	100	2611,76	800	2	9	T1L1
Hall de entrada	21,09	3,90	0,37	0,85	300	20117,65	4800	2	46	T1L1
Baño administrativo	8,14	6,34	0,3	0,85	100	3192,16	800	2	9	T1L1
Baños caballeros	11,84	5,10	0,33	0,85	100	4221,03	800	3	9	T1L1
Baños damas	11,84	5,10	0,33	0,85	100	4221,03	800	3	9	T1L1
Pasillo 1	7,40	6,74	0,28	0,85	100	3109,24	800	2	9	T1L1
Pasillo 2	74,56	4,95	0,33	0,85	100	26579,32	2400	6	30	T1L1
Depósito de expeller	138,87	6,07	0,3	0,85	200	108917,65	12000	5	100	T1L1
Planta de extracción	354,65	3,16	0,41	0,85	200	203526,54	12000	8	100	T1L1
Planta de conversión	350,77	2,74	0,38	0,85	100	108598,76	12000	9	100	T4M1
Carga de camiones	152,60	4,25	0,35	0,85	300	153882,35	12000	6	100	T4M3
Descarga de granos	82,00	6,13	0,29	0,85	200	66531,44	12000	3	100	T1L1
Caldera	108,00	1,85	0,46	0,85	200	55242,97	4800	6	46	T5M1

Zona	Superficie (m2)	Indice del local	C_u	F_m	Lux (objetivo)	lm calculado	lm/ lámpar	Luminarias	Potencia/luminaria (w)	Tablero
Tableros	1,30	8,86	0,23	0,85	300	1987,21	800	2	15	Varios
Extrusoras	1,80	7,50	0,27	0,85	300	2352,94	1600	1	20	T3M1
Prensas	3,60	6,39	0,3	0,85	300	4235,29	2400	2	30	T6M1
Zaranda	9,58	5,71	0,3	0,85	200	7513,33	4800	1	46	T1L1
Tanque de glicerina	7,70	6,26	0,3	0,85	200	6035,76	4800	1	46	T4M1

Iluminación exterior

La iluminación exterior constara de 5 reflectores led con un flujo luminoso de 38600 lm y una potencia de 275 W, aledañas a la planta industrial, que permanecerán encendidas todos los días durante la noche. Además contará con la instalación para 11 luminarias led con flujo luminoso de 53600 lm y una potencia de 380 W; esta instalación se prevee en caso de surgir la implementación de un turno laboral en horario nocturno y recorre el alrededor de la planta desde las calles de circulación de los vehículos de transporte (con cableado subterráneo). Ambos ramales estarán conectados al tablero L1M1.

Las luminarias exteriores adoptadas serán de la marca Philips.

Acometidas para el sistema de iluminación

De igual manera como se calculó el dimensionamiento de cables para la fuerza electromotriz, se procede para las luminarias. Los cables serán provistos por la empresa Marlew S.A., los resultados se resumen en las siguientes tablas:

Tabla número 6. Acometidas para el sistema de iluminación general.

Equipo	lámparas/luminaria	Potencia instalada(w)	I corregida (A)	Sección (mm2)	Largo (m)	ΔVadmisible (V)	ΔV Calculado (V)
Porteria	2	92	0,84	1	45	4,4	0,34
Baño de porteria	2	18	0,16	1	47	4,4	0,07
Oficina 1	2	92	0,84	1	26	4,4	0,19
Oficina 2	2	92	0,84	1	11	4,4	0,08
Gerencia	2	184	1,68	1	19	4,4	0,14
Cocina	2	92	0,84	1	22	4,4	0,16
Laboratorio	2	276	2,51	1	33	4,4	0,25
Baño laboratorio	2	36	0,33	1	35	4,4	0,05
Hall de entrada	2	184	1,68	1	15	4,4	0,11
Baño administrativo	2	36	0,33	1	15	4,4	0,02
Baños caballeros	2	54	0,49	1	27	4,4	0,04
Baños damas	2	54	0,49	1	22	4,4	0,03
Pasillo 1	2	36	0,33	1	22	4,4	0,03
Pasillo 2	2	360	3,28	1	25	4,4	0,12
Depósito de expeller	2	1.000	9,11	1	26	4,4	0,42
Planta de extracción	2	1.600	14,57	1	32	4,4	0,52
Planta de conversión	1	900	8,20	1	28	4,4	0,45
Carga de camiones	2	1.200	10,93	1	30	4,4	0,49
Descarga de granos	2	600	5,46	1	42	4,4	0,68
Caldera	2	552	5,03	1	17	4,4	0,13

Tabla número 7. Acometidas para el sistema de iluminación Localizado.

Equipo	lámparas/luminaria	Potencia instalada(w)	I corregida (A)	Sección (mm2)	Largo (m)	ΔVadmisible (V)	ΔV Calculado (V)
Tableros	1	30	0,27	1	1,50	4,4	0,0037
Extrusora	1	20	0,18	1	12,44	4,4	0,0404
Prensas	1	60	0,55	1	18	4,4	0,0877
Zaranda	2	92	0,84	1	22,63	4,4	0,1690
Tanque de glicerina	2	92	0,84	1	17	4,4	0,1269

Tabla número 8. Acometidas para el sistema de iluminación Exterior.

Equipo	lámparas/luminaria	Potencia instalada(w)	I corregida (A)	Sección (mm2)	Largo (m)	ΔVadmisible (V)	ΔV Calculado (V)
Zona de almacenamiento de biocombustible	1	275	2,50	1	16	4,4	0,71
Zona de almacenamiento de aceite desgomado	1	275	2,50	1	7	4,4	0,31
Zona de almacenamiento de granos	1	275	2,50	1	15	4,4	0,67
Frente de la planta	1	550	2,50	1	35	4,4	1,56
Zona de circulación de vehículos	1	4180	3,46	1	15	4,4	0,93

Acometidas para los tableros de la planta

Todos los tableros de la planta cuentan con una línea principal que los provee de energía eléctrica y una línea seccional de salida, los equipos y luminarias se conectan a estas últimas a través de otras líneas de acuerdo al siguiente esquema:

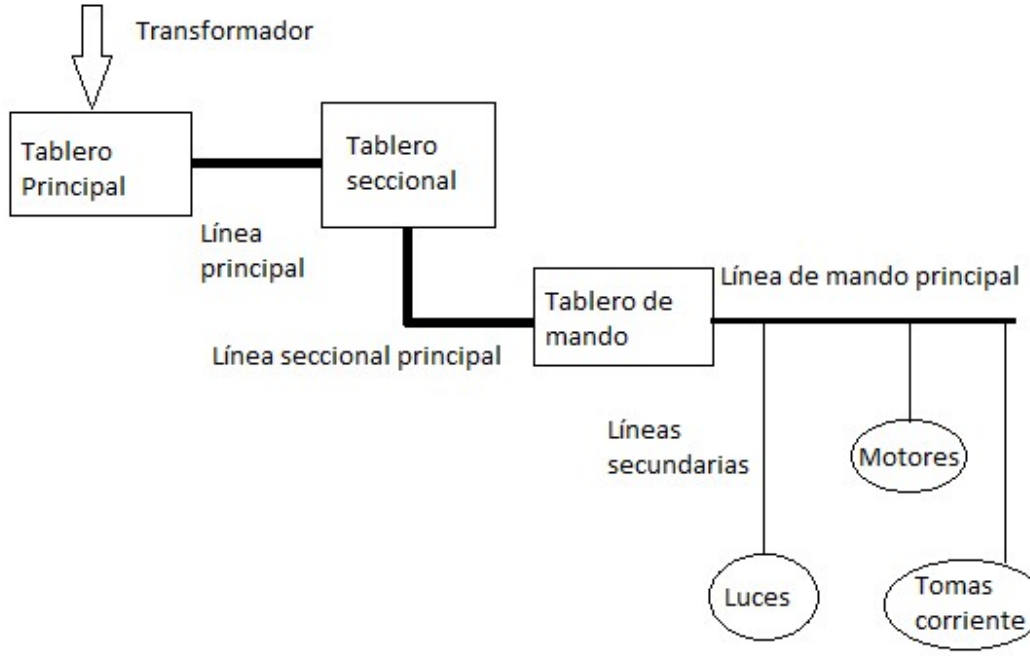


Imagen número 10. Esquema de la forma de distribución eléctrica en la planta.

Cabe aclarar que la figura 10 no representa la distribución de la instalación real, ya que para cada motor una línea de mando principal contará de tres cables (3 fases, sin neutro) y para iluminación serán dos cables (una fase y un neutro).

Para el cálculo de las acometidas principal, seccional, de mando y secundarias es necesario conocer la potencia a la cual se encuentra conectada cada una.

Tablero seccional T3

El tablero T3M1 recibe energía del T3 y entrega carga a una de las tres extrusoras (135,29 kW), a una de las tres prensas (147,06 kW), a la zaranda de limpieza (3,38 kW), a los motores 3M1-1 (1,1 kW), 3M1-2 (1,1 kW), 3M1-3 (3,3 kW) y a la iluminación localizada de las extrusoras (20 W) y del mismo tablero T3M1 (30 W). Para este caso la línea de mando principal que sale del T3M1 (tres fases) se conecta a cada uno de los equipos y estos se operan de forma individual desde el dicho tablero; mientras que el sistema de iluminación está conectado mediante otra línea de mando principal (una fase) y la carga se opera de forma conjunta desde el T3M1. Como es posible conectar el sistema de iluminación a cualquiera de las tres fases que utiliza la fuerza electromotriz se considerará como si toda la potencia recae sobre una única línea principal de mando tripolar. La potencia total a la cual está conectado dicho tablero asciende a 291,28 kW y demanda una corriente eléctrica (detallada en las tablas de 2 y 7) de 694,58 A; por lo que para la línea seccional de tres fases que conecta el tablero T3 con el T3M1 tendrá una sección de 400 mm^2 (provisto por la empresa Marlew S.A.). La caída de tensión en esta línea será:

$$\Delta V_{\text{calculada}} = \left(\frac{k}{\sigma \,.\, sección}\right).\left(\frac{PE_e \,.\, l}{V}\right)$$

$$\Delta V_{\text{calculada}} = \left(\frac{1}{56 \frac{m}{\Omega\, mm^2} \,.\, 400\, mm^2} \right) . \left(\frac{291280\, W \,.\, 11\, m}{380\, V} \right)$$

$$\Delta V_{\text{calculada}} = \mathbf{0,38}$$

Para el resto de los tableros se realizó el mismo cálculo obedeciendo el esquema de la figura 11 y los resultados se exponen en la tabla 9.

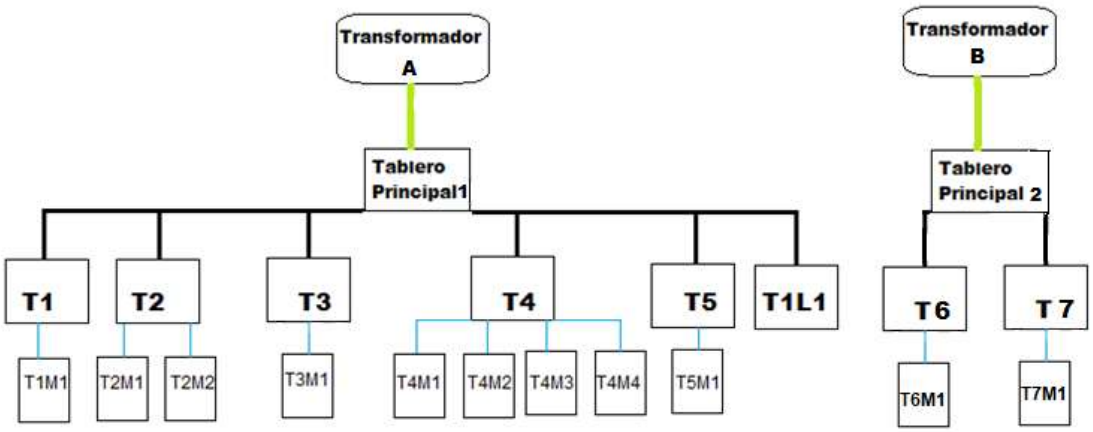


Imagen 11. Esquema de la distribución de energía eléctrica hacia los tableros.

Tabla número 9. Acometidas hacia los tableros.

Tableros	Tipo	Potencia total (kW)	Corriente (A)	Sección mm2	Largo (m)	ΔV	Desde	Hasta
TP 1	Subterráneo	470,47	1122,00	927	60	1,43	TF A	TP 1
TP 2	Subterráneo	565,90	1349,44	927	63	1,8	TF B	TP 2
T1	Subterráneo	40,30	96,39	16	14	1,66	TP 1	T1
T2	Subterráneo	35,55	85,26	16	23	2,40	TP 1	T2
T3	Subterráneo	291,28	694,58	400	36	1,20	TP 1	T3
T4	Subterráneo	14,70	50,65	6	7	0,81	TP 1	T4
T5	Subterráneo	7,75	22,41	2,5	36	5,25	TP 1	T5
T6	Subterráneo	283,50	676,03	400	32	1,06	TP 2	T6
T7	Subterráneo	282,40	673,41	400	30	1,06	TP 2	T7
T1M1	Aéreo	40,30	96,39	25	9	0,68	T1	T1M1
T2M1	Aéreo	27,52	65,89	16	18	1,45	T2	T2M1
T2M2	Aéreo	8,03	19,37	2,5	4	0,60	T2	T2M2
T3M1	Aéreo	291,28	694,58	400	10	0,31	T3	T3M1
T4M1	Aéreo	4,53	17,70	2,5	7	0,60	T4	T4M1
T4M2	Aéreo	4,51	10,97	1,5	22	3,11	T4	T4M2
T4M3	Aéreo	4,53	19,08	2,5	29	2,47	T4	T4M3
T4M4	Aéreo	1,13	2,90	1	20	1,06	T4	T4M4
T5M1	Aéreo	7,75	22,41	2,5	5	0,73	T5	T5M1
T6M1	Aéreo	283,50	676,03	400	14	0,47	T6	T6M1
T7M1	Aéreo	282,40	673,41	400	16	0,53	T7	T7M1
T1L1	Subterráneo	39,79	369,45	185	25	0,25	TP	T1L1

NOTA: *TF (Transformador); TP (Tablero Principal).*

Toma corrientes

Para los resultados expuestos en la tabla 9 se sumó la potencia requerida por toma corrientes, de la siguiente manera:

Tablero T2M2 cuenta con un toma corriente trifásico de 25 A;

$$Potencia = \sqrt{3}\,.\ I\ .\ V\ .\cos\varphi\,.\,k_s\,.\,k_u$$

$$Potencia = \sqrt{3}\,.\ 25\,A\ .\ 380V\ .1\,.0{,}7.\,0{,}6$$

$$Potencia = 6910{,}9\,W$$

Tablero T1L1cuenta con 37 toma corriente monofásicos distribuidos, diez en el laboratorio, seis en la oficina 1, seis en la oficina 2, dos en la cocina, ocho en la gerencia, cuatro en el hall de ingreso y uno en el baño administrativo, cada uno de 10 A;

$$Potencia = (I\ .\ V\ .\cos\varphi\ .k_s\ .k_u).\ cantidad\ de\ tomas$$

$$Potencia = (10\ A\ .\ 220V\ .1\ .0{,}7.\ 0{,}6).37$$

$$Potencia = \mathbf{34188\ W}$$

Los cálculos, en el tableroT1L1, se realizaron adicionando este último valor de potencia hallado aunque es muy poco probable que se encuentren, en algún momento, todos los tomas corrientes ocupados.

Corrección del factor de potencia

El factor de potencia o cos(φ) es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, o bien la relación entre la potencia real y la aparente.

La potencia activa usada en un circuito, es la que efectivamente se aprovecha como potencia útil en el eje de un motor (se expresa en vatios o kilovatios).

La potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, es la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo y la corriente que éste demanda, esta potencia es lo que limita la utilización de transformadores, líneas de alimentación y demás elementos componentes de los circuitos eléctricos (se expresa en voltio-amperios o kilovoltio-amperios).

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de la carga.

La potencia reactiva, es la que los campos magnéticos de los motores, de los reactores ó balastos de iluminación intercambian con la red sin significar un consumo de potencia activa en forma directa.

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos. En la práctica el factor de potencia indica el porcentaje de aprovechamiento de la potencia eléctrica que el usuario está obligado a respetar en sus consumos.

La mejora del factor de potencia en una planta puede significar ahorros considerables en la facturación de energía eléctrica que consume, como así también en la prolongación de la vida útil de sus máquinas, equipos e instalaciones.

En una planta el factor de potencia puede corregirse de forma individual o grupal.

Corrección individual del factor de potencia

A modo de ejemplo se calculará el capacitor necesario para corregir el factor de potencia de una de las extrusoras de la planta. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$C = \frac{P\ .\ (tg(\varphi) - tg(\varphi_c))}{V^2\ .\ 2\ .\ \pi\ .\ f}$$

Donde:

- C es la magnitud del capacitor necesario para corregir el factor de potencia.
- P potencia del equipo, equivale a 135290 W.
- φ es el ángulo formado entre la potencia activa y la potencia aparente cuando se las representan en forma de fasores. En la práctica generalmente se dispone del factor de potencia por lo que simplemente se lo despeja; para la extrusora $\cos(\varphi) = 0{,}88$ entonces φ = 0,495.
- φ_C es el ángulo del factor de potencia que exige el distribuidor de energía eléctrica; $\cos(\varphi) = 0{,}95$ entonces φ = 0,317.
- V es el potencial en la línea del equipo, equivale a 380V.
- f es la frecuencia de la corriente alterna, equivale a 50 ciclos/segundo.

Luego,

$$C = \frac{135290\ W\ .\ (tg(0{,}495) - tg(0{,}317))}{380V^2\ .\ 2\ .\ \pi\ .\ 50\frac{c}{seg}} = \mathbf{6{,}3.10^{-4}\ faradios}$$

Es decir que para corregir el factor de potencia de una de las extrusoras será necesario colocar en su circuito eléctrico un capacitor de $6{,}3.10^{-4}$ faradios.

Corrección grupal del factor de potencia

En este caso se toma un grupo de equipos conectados en un determinado circuito eléctrico y se halla el factor de potencia del conjunto.

A modo de ejemplo se determinará el capacitor necesario para corregir el factor de potencia de los equipos conectados a los tableros principales 1 y 2 de la planta. Para ambos casos se adoptará la condición más desfavorable que equivale a un factor de potencia igual a 0,8; presente en la bomba trifásica que transporta alcohol metílico hacia el mezclador de catalizador.

Tablero Principal 1

$$C = \frac{470470\ W\ .\ (tg(0{,}643) - tg(0{,}317))}{380V^2\ .\ 2\ .\ \pi\ .\ 50\frac{c}{seg}} = \mathbf{4{,}37.10^{-3}\ faradios}$$

Tablero Principal 2

$$C = \frac{565900\ W\ .\ (tg(0{,}643) - tg(0{,}317))}{380V^2\ .\ 2\ .\ \pi\ .\ 50\frac{c}{seg}} = \mathbf{5{,}25.10^{-3}\ faradios}$$

Para este proyecto se optara por la corrección grupal del factor de potencia, instalando un corrector automático del factor de potencia.

Este aparato es un relé varimétrico que se conecta al tablero que alimenta a los equipos (posee hasta doce pasos) y mediante un microprocesador mide la tensión y la corriente del sistema; en función de la determinación del factor de potencia y de la potencia reactiva necesaria para corregirlo, habilita la conexión o desconexión de su banco de capacitores.

Transformador – Características generales

Los dos tipos fundamentales de estructura de transformador son el tipo de núcleo, en el cual dos grupos de devanados abrazan a un núcleo único, y el tipo acorazado, en el cual un único grupo de devanados abraza, al menos, dos núcleos dispuestos en paralelo. Una modificación de este tipo es el llamado tipo acorazado distribuido, corrientemente empleado en transformadores de distribución.

Para transformadores de potencia y algunos de distribución para alta tensión se utiliza con frecuencia la estructura tipo de núcleo.

Dependiendo de la red de suministro de energía a la cual se conecte el transformador se distinguen básicamente tres grupos:

- Transformadores de distribución: para montaje en postes, opera con potencias hasta de 150 y transformación de 13200 a 240 o 120 Voltios.
- Transformadores tipo subestación: para montaje sobre el piso o en plataforma especialmente construida, opera con potencias de 225 a 2000 kVA y tensiones hasta de 34500 Voltios.
- Transformadores de potencia: para montaje sobre el piso o en plataformas especiales, opera con potencias superiores a 2000 kVA y con tensiones hasta 115000 Voltios.

Cabe aclarar que las características técnicas, normalmente, están coordinadas con los requerimientos específicos de cada proyecto.

Con relación al tipo de medio aislante y refrigerante se clasifican en:

- Transformadores sumergidos en aceite: pueden ser con ventilación natural o con ventilación forzada, ésta última aplicable por costos, a transformadores con potencias superiores a 2000 kVA.
- Transformadores tipo seco: son de fabricación especial y se caracterizan porque el núcleo y los devanados no están sumergidos en un líquido aislante y refrigerante. Las bobinas están fabricadas con arrollamientos de aluminio y el aislamiento está constituido por una mezcla de resina epóxica y harina de cuarzo, siendo un material resistente a la humedad e ignífugo. Ocupan normalmente un espacio más reducido que un transformador sumergido en aceite y son apropiados para operar en sitios con alto riesgo de incendio o explosión. La refrigeración puede ser natural o forzada por medio de ventiladores controlados por temperatura con lo cual se logra un incremento de la potencia hasta un 40% para servicio permanente.

Aceites dieléctricos

Los aceites cumplen dos funciones principales dentro del transformador:

- La función más importante que debe desarrollar un aceite dieléctrico es la de enfriamiento y disipación del calor generado durante la operación de los transformadores. Para cumplir de una forma eficaz con este propósito, el aceite debe poseer no solo una buena fluidez, sino también excelente estabilidad térmica y a la oxidación que le permita circular libremente sin dejar depósitos (lodos producto de la oxidación).
- La función eléctrica de un aceite para transformador es prevenir la formación de un arco entre dos conductores con una diferencia de potencial grande. Solamente con un aceite que esté esencialmente libre de

contaminantes y permanezca así a través de todo el periodo de su vida de servicio pueden cumplirse totalmente los requisitos de aislamiento eléctrico.

Existen dos tipos de aceites utilizados en transformadores:

- Aceites minerales: los aceites dieléctricos de origen mineral se obtienen de un derivado secundario del petróleo en cuya composición predominan los hidrocarburos nafténicos. Existen varios procesos de fabricación siendo el más aceptable (para el medio ambiente) el de hidrogenación. Una composición típica de un aceite dieléctrico equivale a 4 a 7% de hidrocarburos aromáticos, 45 a 55% de hidrocarburos isoparafínicos y 50 a 60% de hidrocarburos nafténicos.
- Aceites sintéticos: la aplicación de aceites sintéticos como aislantes eléctricos ha sido muy limitada. Recientemente se han empleado fluidos sintéticos a base de silicona y ésteres de ftalato en aplicaciones especiales donde un alto grado de seguridad y muy amplio tiempo de servicio es requerido.

Cabe aclarar que los aceites minerales representan el 90% del volumen de ventas de aceites dieléctricos a nivel mundial, casi todo usado en transformadores e interruptores de potencia. Una cantidad menor es usada en capacitores y cables.

Características específicas del transformador necesario

Como se mencionó en el capítulo 4 el parque industrial La Paz dispone del servicio de energía eléctrica en media tensión (13,2kV) por lo que será necesario reducirla hasta la tensión de trabajo de la planta 220/380 V. Por esto último la relación de transformación (R) del transformador necesario deberá ser:

$$R = \frac{tensión\ de\ servicio}{tensión\ de\ trabajo}$$

$$\boldsymbol{R = \frac{13200V}{380V} = 34,74}$$

La capacidad del transformador debe ser mínimamente:

$$S = \sqrt{3}\,.V\,.I$$

Donde,

- S es la potencia aparente y define la capacidad del transformador.
- V es la tensión de trabajo, equivale a 380 V.
- I es la corriente total consumida, cual fuera calculada anteriormente y equivale a 2670,92 A.

$$S = \sqrt{3}\,.380V\,.2670{,}92\,A = \boldsymbol{1758\ KVA}$$

Elección del transformador para la planta

A la hora de seleccionar un transformador para un proyecto determinado, si lo que se busca es gran eficiencia y menor costo de inversión la opción ideal es un trasformador de refrigeración por aceite mineral. Pero para este proyecto, es relevante el impacto que cada equipo o proceso desarrolle sobre el medio ambiente, por sobre el costo de inversión.

Desventajas de los transformadores sumergidos en aceite mineral frente a los secos.

- Requieren de un mayor mantenimiento.

- Son comunes las pérdidas de aceite mineral.
- La obtención del aceite mineral se realiza con métodos que tienen un impacto negativo en el medio ambiente.
- El riesgo de incendio siempre está latente y en esta planta en cuestión (con grandes almacenamientos de combustibles) no es viable esta situación.
- La oxidación del aceite producto del aire dentro de la cámara, de la humedad, de una ruptura dieléctrica o el calentamiento (cabe mencionar que el hierro y el cobre son catalizadores de la oxidación del aceite) producen gases de efecto invernadero, gases tóxicos y gases explosivos, tal es el caso del hidrógeno que al ocurrir un arco eléctrico dentro de la cuba de aceite se produce en niveles que es explosivo en su combinación con el aire (59% v/v).

Por lo detallado anteriormente se opta por dos transformadores trifásico de tipo seco encapsulado en vacío en una resina epoxi, de 1000 KVA, diseñado, fabricado y comercializado por la empresa multinacional Schneider Electric S.A., modelo Trihal Dyn11. Cabe aclarar que el hecho de elegir la colocación de dos transformadores obedece a la elevada magnitud de corriente eléctrica puesta en juego durante el proceso, principalmente en la planta de extracción.

El aislamiento de resina epoxi empleado en este tipo de transformador permite poder prescindir del aceite, lo que reduce el riesgo de incendio y mejora la reciclabilidad del material. Es amigable con el medio ambiente.

Características del equipo

- Está compuesto de materiales nobles como el acero, aluminio, cobre y materiales estériles como las resinas y los aislantes. Las distintas partes del transformado son fácilmente disociables, su desmontaje requiere pocos medios y supone un costo despreciable, permitiendo separar, por un lado, los metales ferrosos y, por otro, las bobinas de MT y BT. El 80% del transformador es reciclable después de desmontarlo.
- El núcleo magnético está hecho con láminas de acero al silicio de grano orientado. Diseñado para minimizar las pérdidas y la corriente en vacío, lo que mantiene muy bajo el nivel de ruido.
- El bobinado de baja tensión (BT) está hecho de lámina de aluminio o cobre para eliminar la tensión axial en condiciones de cortocircuito; la lámina está aislada por una película intercalada de clase G, pre-impregnada con resina epoxi activada por calor.
- Cada bobinado de BT termina en un punto de conexión de aluminio o cobre estañado que permite realizar conexiones sin interfaces de contacto.
- El bobinado de media tensión (MT) es de hilo de aluminio o cobre aislado, y está hecho utilizando un método de bobinado continuo con gradiente lineal sin entre-capas.
- El bobinado (MT) está encapsulado y moldeado en vacío utilizando resina ignífuga de clase F. Estos procesos confieren a las bobinas unas propiedades dieléctricas muy elevadas con un nivel de descargas parciales muy bajo.
- Posee un sistema encapsulado ignifugado con alúmina tri-hidratada que garantiza una excepcional resistencia al fuego gracias a su inmediata autoextinguibilidad. Además, sus productos de descomposición no son

tóxicos ni corrosivos y la opacidad del humo es muy débil, lo que facilita la intervención en caso de emergencia.

- Las salidas de conexión MT en las barras de acoplamiento de cobre permiten realizar conexiones sin usar una interfaz de contacto (grasa, banda bimetálica).
- El bobinado de media tensión está centrado en el núcleo magnético y se mantiene verticalmente en su posición mediante un sistema de cuñas.

La empresa fabricante ofrece la alternativa de aquirir el equipo con un encapsulado metálico anticorrosivo de protección y ventilación forzada. Si bien la temperatura ambiente máxima de trabajo en condiciones optimas del transformador es de 40°C, se optará por el equipo encapsulado y con ventilación forzada. Cabe aclarar que la ventilación forzada aumenta la eficiencia del equipo en un 40%.



Imagen número 12. Transformador Schneider Electric Trihal Dyn11, base y encapsulado.

Otras características:

Potencia asignada (kVA)*(2)			160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Tensión primaria asignada (kV)			10 o 10/22,9											
Nivel de aislamiento asignado (kV)			24											
Tensión secundaria en vacío (V)			440											
Grupo de conexión			Dyn 11											
Pérdidas (W)		en vacío	650	880	1030	1200	1400	1650	2000	2300	2800	3100	4000	5000
Debidas a la carga		a 75 °C	2350	3300	4000	4800	5700	6800	8200	9600	11400	14000	17400	20000
		a 120 °C	2700	3800	4600	5500	6500	7800	9400	11000	13100	16000	20000	23000
Tensión de cortocircuito (%)			6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Corriente de vacío (%)			2,3	2	1,8	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1
Corriente transitoria de conexión	Ie/In valor de cresta		10,5	10,5	10	10	10	10	10	10	10	10	9,5	9,5
	Constante de tiempo		0,13	0,18	0,2	0,25	0,25	0,26	0,3	0,3	0,35	0,4	0,4	0,5
Caída de tensión a plena carga (%)														
	Cos φ = 1	a 75 °C	1,64	1,49	1,44	1,37	1,31	1,25	1,20	1,14	1,09	1,05	1,05	0,98
		a 120 °C	1,85	1,69	1,63	1,55	1,47	1,41	1,35	1,27	1,22	1,18	1,18	1,10
	Cos φ = 0,8	a 75 °C	4,74	4,64	4,61	4,57	4,53	4,49	4,45	4,41	4,38	4,35	4,35	4,30
		a 120 °C	4,87	4,77	4,73	4,68	4,63	4,59	4,55	4,50	4,47	4,44	4,44	4,38
Rendimiento (%)	Cos φ = 1	a 75 °C	98,16	98,355	98,428	98,522	98,6	98,676	98,741	98,824	98,877	98,943	98,941	99,01
Carga 100%		a 120 °C	97,95	98,16	98,24	98,35	98,44	98,52	98,60	98,69	98,74	98,82	98,81	98,89
	Cos φ = 0,8	a 75 °C	97,71	97,95	98,04	98,16	98,26	98,35	98,43	98,53	98,60	98,68	98,68	98,77
		a 120 °C	97,45	97,71	97,81	97,95	98,06	98,16	98,25	98,36	98,43	98,53	98,52	98,62
Carga 75%	Cos φ = 1	a 75 °C	98,38	98,56	98,63	98,72	98,79	98,85	98,91	98,98	99,03	99,09	99,09	99,14
		a 120 °C	98,22	98,42	98,49	98,59	98,67	98,74	98,80	98,88	98,93	99,00	98,99	99,05
	Cos φ = 0,8	a 75 °C	97,99	98,21	98,29	98,40	98,49	98,57	98,64	98,73	98,79	98,87	98,86	98,93
		a 120 °C	97,79	98,03	98,12	98,24	98,34	98,43	98,50	98,61	98,66	98,76	98,75	98,82
Ruido (3)	Potencia acústica Lwa		62	65	67	68	69	70	72	73	75	76	78	81
dB (A)	Presión acústica Lpa a 1 metro		54	56	58	59	60	61	63	64	65	66	66	68

CAPÌTULO 11

OBRAS CIVILES

Introducción

El aceite de ricino no es un producto comestible, por lo que la planta de extracción no necesariamente debe ajustarse al mismo diseño que las de manufactura de alimentos; mucho menos la planta de elaboración de biocombustible.

De todas formas en este proyecto se contempla la posibilidad de brindar el servicio de extracción de aceite de soja mediante extrusión y prensado, el cual sí es un producto comestible. Debido a esto es necesario que la planta de extracción se adecue a los estándares de construcción de una industria de alimentos; en otras palabras debe obedecer a un diseño sanitario.

Principios de diseño sanitario

Separar crudo de terminado

En una planta de alimentos debe existir una separación física entre las áreas de materias primas crudas y de producto terminado. Esta separación se debe aplicar al personal, tráfico de personal, manejo del aire, equipos, sistemas de limpieza, vestuarios u otras situaciones en que pueda existir contaminación del producto terminado.

Debe ser fácil de limpiar

Las plantas y equipos de alimentos deben ser construidos y mantenidos para sostener su facilidad de limpieza, y para prevenir el ingreso, la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de bacterias e insectos.

Esto incluye: equipos, paredes, pisos, cielos rasos, puertas y aislamiento.

Fabricado con materiales compatibles

Los materiales de construcción utilizados para la estructura deben ser compatibles con el producto, ambiente, materiales de limpieza y método de limpieza. Los materiales de construcción de equipos deben ser inertes, no porosos y no absorbentes.

Superficies lisas y accesibles

Todas las áreas de una zona de producto deberán estar libres de hoyos, rajaduras, corrosión, huecos, uniones abiertas, brechas, uniones traslapadas, rebordes protuberantes, roscas internas, pernos, remaches y extremos cerrados, y deberán ser fácilmente accesibles para su limpieza e inspección, y fácilmente desarmadas para su limpieza sin herramientas. Deberá existir espacio libre para permitir la limpieza entre equipos y áreas adyacentes.

Debe ser auto-drenable

El equipo debe ser auto-drenable para asegurar que el agua u otros líquidos no se estanque en las zonas de producto y que el líquido no pueda ser drenado, absorbido, o que gotee sobre las áreas de la zona de productos.

Estructura no penetrada

La estructura de acero tubular del equipo deberá ser totalmente sellada y no penetrada. Los tornillos, husillos, etc., deben ser soldados a la superficie de la tubería y no adheridos mediante hoyos taladrados y perforados.

Ventilación apropiada

Se debe proveer una adecuada ventilación de aire correctamente filtrado (según la sensibilidad del producto) para prevenir la formación de condensado, olores o moho, lo que pudiera resultar en la contaminación de las materias primas o de los alimentos.

Estándares para la construcción de edificios en la industria alimenticia

Localización de la planta

La construcción del edificio debe ser lo suficientemente elevada para evitar la acumulación de agua de lluvia. Se debe tener en cuenta la orientación de los vientos para evitar el ingreso de polvo y en zonas fría, que puede darse la acumulación de nieve, es importante tener en cuenta la orientación del sol.

Siendo que la planta debe estar diseñada para la manufactura sana y segura de alimentos, el área donde se instale debe estar libre de contaminaciones aéreas y terrestres. Se debe evitar proximidad con plantas químicas, refinerías de petróleo, basureros, incineradores, plantas de tratamientos de efluentes, zonas residenciales, zonas inundables etc.

Terrenos - Drenaje del agua

Debe existir pendiente suficiente para evitar la acumulación de agua y para el correcto drenaje de cloacas. Se debe evitar zonas húmedas.

Vegetación

Se debe evitar plantas o arbustos que atraigan insectos, el pasto debe mantenerse cortado y los árboles podados. No deben existir arbustos apoyados en las paredes de la planta; en una distancia de 0,90 m desde la pared no debe existir vegetación (pueden colocarse veredas de cemento). De colocarse plantas (sin flores) deberán estar a 1,8 metros mínimos de la pared y de existir árboles debe ser a mínimamente 9 metros.

Cerca perimetral

La cerca perimetral debe estar instalada alrededor de todo el contorno de la planta e impedir el ingreso de animales, basura y niños.

Accesos a Planta

Todos los caminos de acceso deben ser construidos en materiales duros para minimizar el polvo, deben permanecer limpios, libres de agua y con desniveles adecuados.

Luces externas

Las luces de mercurio deben estar colocadas a 10 metros del edificio ya que atraen insectos. Las de sodio pueden colocarse cerca del establecimiento ya que no atraen insectos.

Techos

Con buen drenaje, deben ser aislantes y de fácil acceso para su limpieza.

Cimientos

Evitar madera, ladrillos o bloques de fundición. Preferiblemente bases de concreto con asfalto impermeable de mínimamente 0,6 m de profundidad y a prueba de roedores.

Columnas

De concreto liso, molduras de hierro (son de construcción rápida y fácil de modificar). Se debe eliminar toda dificultad para la limpieza.

Paredes

Debe ser resistentes al agua, insectos, pájaros y roedores, sólida, plana, lisa resistente al clima y la humedad, fácil de reparar, blanca o de colores claros. Pueden ser de paneles aislantes, concreto, ladrillos o azulejos.

Pisos

Los pisos deben tener el desnivel adecuado para el correcto drenaje; es recomendable un desnivel de entre 1/8 a ¼ de pulgada por pie, es decir entre 1 y 2%. Las juntas y uniones deben estar selladas.

Los pisos deben ser limpiables y estar bien mantenidos; pueden ser de baldosas, polímeros o concreto.

Cielo raso

Deben ser de material adecuado, liso no poroso. Los espacios superiores deben evitarse y si esto no es posible, deben ser ventilados para evitar la formación de hongos y olores.

Ventilación

Los ductos de ventilación y los filtros finales deben ser apropiados para las condiciones microbiológicas del producto a elaborar. Las aberturas para ventiladores y extractores deben estar protegidas por mallas metálicas desmontables.

Sistema eléctrico

El sistema eléctrico tiene grandes riesgos de infestación por plagas, existen aberturas por donde pueden ingresar insectos, en las bandejas se puede acumular suciedad y al ser tibio los insectos ponen huevos. En los tableros los roedores hacen nidos.

Las bandejas eléctricas deben ser verticales y los tableros limpiables.

Zonificación

La planta debe estar dividida en zonas tanto para el personal como para los equipos. Esto permite manejar efectivamente la identificación y diferenciación de las distintas áreas de proceso dentro de la planta de manufactura, donde la contaminación cruzada microbiológica de productos por microorganismos esporulados o patógenos puede ocurrir durante la recepción, procesado, almacenamiento y empaque.

Planta de producción de biocombustible de aceite de ricino

Cercos Perimetrales

Se opta por un alambrado tipo olímpico. Este tipo de alambrado se construye con postes de hormigón con curvatura en la parte superior donde se colocan 3 hilos de alambre de púas.

El tejido utilizado será de 2 metros de alto tensado con 3 hilos de alambre liso y planchuelas galvanizadas las cuales se sostienen a los postes esquineros o refuerzos con 4 ganchos "J".

El alambre liso y el de púas van tensados con torniquetas.

Características del cerramiento

Postes

- Esquineros: 3,20 m de largo con una sección de 14 x 13 cm, armados con malla soldada de 4 hierros de 8 mm alentado, con separadores plásticos cada 25 cm. Estos postes se colocan en los ángulos de aproximadamente 90º.
- Refuerzos: 3,20 m de largo con una sección de 14 x 13 cm, armados con malla soldada de 4 hierros de 8 mm aletado, con separadores plásticos cada 25 cm.
- Intermedios: 3,20 m de largo con una sección de 10 x 9 cm, armados con malla soldada de 4 hierros de 6 mm aletado, con separadores plásticos cada 25 cm.
- Puntales: 2,40 m de largo con una sección de 7 x 9 cm. Estos se acoplan a los postes esquineros y/o refuerzos.

Tejido Romboidal

- Rombo de 2 " (50 mm) alambre calibre 12 (2,64 mm de Ø).

Alambre Liso y de púas

- El alambre de púas 16-101 línea Baqueano.
- Para ataduras alambre galvanizado calibre 14 (2 mm de Ø).

Accesorios

- Planchuelas Galvanizadas de 1" x 3/16".
- Ganchos Galvanizados 3/8" x 10"

- Espárragos Galvanizados de 3/8" x 12" o 14"
- Torniquetas Nº 7 Galvanizadas

Frente

Presenta dos columnas 40x40 cm en mampostería de ladrillo común con centro de hormigón armado con estructura de hierro aletado de 15x15 cm de 6 mm de Ø y estribos cada 25 cm de 4 mm de Ø. Terminación ladrillo a la vista con junta total.

Portón de hierro de dos hojas con un largo total de 15 metros y una altura de 2 metros.

Zona Edilicia

Sector administrativo

Consta de una superficie total de 229,71 m^2 y una altura máxima de 4 metros, con pendiente.

Los diferentes sectores que conforman esta área son:

- Laboratorio con una superficie de 20,90 m^2.
- Baño del laboratorio con una superficie de 5,55 m^2.
- Oficina 1 con una superficie de 12,4 m^2.
- Cocina con una superficie de 12,21 m^2.
- Gerencia con una superficie de 19,43 m^2.
- Hall de ingreso con una superficie de 21,08 m^2.
- Oficina 2 con una superficie de 12,4 m^2.
- Baño administrativo con una superficie de 8,14 m^2.
- Baños damas con una superficie de 11,84 m^2.
- Baños caballeros con una superficie de 11,84 m^2.

- Pasillo 1 con una superficie de 7,41 m^2.
- Pasillo 2 con una superficie de 74,56 m^2.
- Portería con una superficie de 19 m^2.

Pisos

Platea de hormigón armado de 10 cm de espesor, con estructura de malla de hierro sima 15x15 de Ø 4 mm, en paños de 25 m² con pasadores de hierro aletados de Ø 6mm cada 0,50 metros.

Terminación en cerámicos alto tránsito de 51x51 cm, color claro.

Paredes

La pared frente tendrá un espesor de 15 cm y la de los laterales tendrá 20 cm. Se realizarán en mampostería de ladrillo hueco de 12x18x33 cm y 18x18x33 cm respectivamente. La superficie exterior contará con un revocado salpicre, mientras que las interiores estarán revocadas con cemento y terminación fina con cal y pintadas de blanco.

La pared sur y las de las divisiones interiores de cada módulo serán de 15 cm de espesor revocadas y pintadas de ambos lados, como se detalló anteriormente.

Las paredes de los baños y sobre la mesada de la cocina y las del laboratorio estarán revestidas con azulejos blancos de 15x15 cm, hasta una altura de 1,7 metros desde el nivel del piso.

Todas las oficinas y los baños contarán con una ventana rectangular elevada tipo oscilante de aluminio con cristal. Mientras que la pared sur (que separa el pasillo 2 de la planta de extracción) contará con ventanas de aluminio fijas con

cristales de seguridad (resistentes y en caso de rotura quiebran en pequeños cubos).

La paredes frente y sur contarán con, cada cuatro metros, columnas de hormigón armado de 12X20 cm con estructura de hierro aletado de Ø 6 mm y estribos de Ø 4 mm separados entre sí 25 cm. Los laterales tendrán columnas con las mismas características pero de 15x20 cm.

Posee a 2 metros sobre el nivel del piso y a lo largo de todo el perímetro un encadenado de hormigón armado con estructura de hierro aletado de Ø 8 mm y estribos de Ø 4 mm separados entre sí 20 cm.

Techo

El cielo raso será de paneles de Durlok anti-hongo color blanco, sobre bastidor de aluminio.

El techo será de una sola caída, de chapa trapezoidal sobre estructura metálica de perfiles C galvanizados de 80x50x15 de 3,2 mm y con membrana de aislación térmica.

El desagüe pluvial constará de canaleta rectangular de de zinc, con salidas en los extremos y en la parte central hacia 4 caños de pvc de Ø 110 mm finalizado en codos de 90° Ø110 mm. En el caso de la portería solo tendrá una salida, es decir un solo caño.

Nave Fabril

Planta de extracción

Se pueden diferenciar dos zonas que están separadas físicamente; la zona de extracción de aceite que cubre una superficie de 354,24 m^2 y la zona de

secado y almacenamiento de expeller con una superficie de 140,38 m^2. Dentro de esta última se encuentra el depósito de fosfato de potasio, con una separación física de una pared de media altura y límites no bien definidos.

Pisos

De hormigón armado de 15 cm de espesor, con estructura de malla sima 15x15 de Ø 6 mm, con pasadores de hierro aletado de Ø 10 mm y Ø 8mm cada 60 cm. Terminación alisado con ferrocementado sanitario llaneado.

El piso contara con pendiente del 2% hacia las alcantarillas de desagüe y zonas de tránsito identificadas con pintura epoxi.

Paredes

Paredes de mampostería de ladrillo común de 1,8 metros de altura. Terminación revoque alisado pintado con pintura lavable en el interior y revoque salpicre en el exterior.

Terminará la pared, hasta la altura del techo (8 metros), un revestimiento de chapa galvanizada calibre n°25 sin perforación (chapa conformada), pintada en la parte interior de color blanco. El sistema de chapa sin perforación elimina empalmes lo que reduce, considerablemente los riesgos de filtración; la fijación de las chapas se realiza con clips de sujeción y luego con un sistema de engrafado se logra hermeticidad. Además este sistema admite la posibilidad de agregar una fijación central extra lo que le da mayor resistencia, sobre todo en el viento succión.

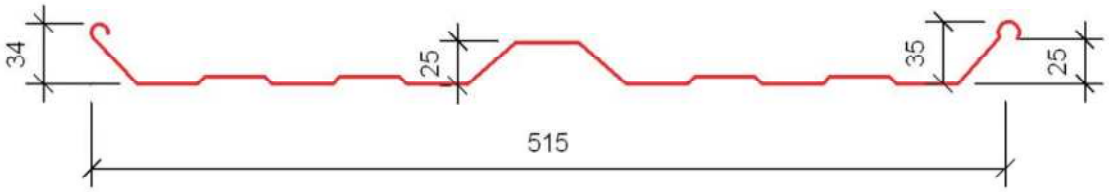


Imagen 1. Modelo de chapa conformada calibre N° 25. Medidas en centímetros.

Las paredes laterales presentarán columnas conformadas por cabriadas bulonadas en zapatas (de 60x60 cm y 0,7 m de profundidad del cimiento) de hormigón armado con estructura metálica de hierro aletado de Ø 10 mm; estas conformaran un tinglado tipo alma llena sin apoyos internos. Las vigas y columnas se conforman de tres lonjas de chapa lisa de ½" de espesor soldadas en forma de perfiles doble "T", lo que les ofrece una gran resistencia.

Las paredes divisorias son de 15 cm, similares a las de la zona administrativa.

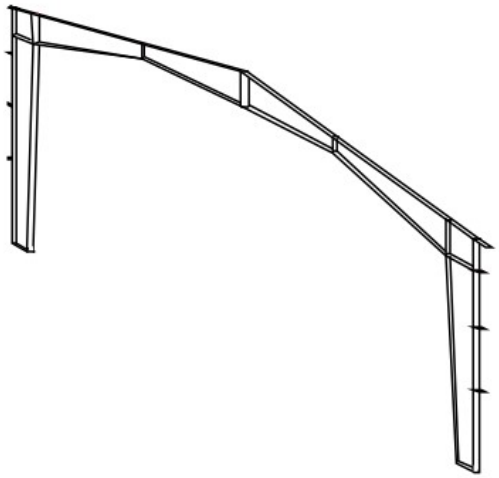


Imagen 2. Estructura para tinglado alma llena sin apoyo interno.

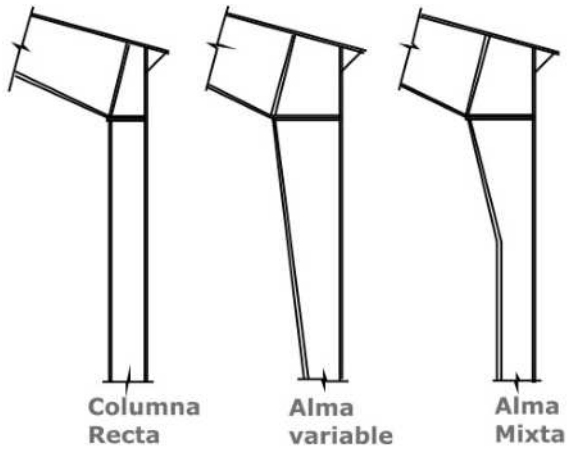


Imagen 3. Columnas metálicas típicas en el armado de tinglados.

Techo

Tendrá el mismo tipo de chapa conformada utilizada en los laterales; el tinglado le confiere el diseño de dos aguas. En el lado interior contará con manta de aislación térmica finalizada con tejido plástico. Además se colocarán en el techo líneas de chapas de policarbonato transparentes, para aprovechar la luz solar.

Desagüé pluvial con canaleta rectangular de zinc con dos salidas, una en cada extremo (cuatro en total al ser de dos aguas) de caños de pvc de Ø 315 mm.

Planta de conversión

La planta de conversión del aceite de ricino en biocombustible no posee zonas separadas físicamente, y ocupa una superficie de 350,52 m^2.

Pisos

El piso es de iguales características que el de la planta de extracción detallado anteriormente. Las principales diferencias es que las zonas de operación (con

biocombustible) estarán separadas con rejilla perimetral para recoger, exclusivamente, posibles derrames y tendrá una terminación impermeable antideslizante. Las diferencias detalladas obedecen a la adecuación a la resolución 1296/2008 de la ley n° 26093 que establece las condiciones mínimas que deben cumplir las Plantas de Elaboración, Almacenamiento y Mezcla de Biocombustibles en la República Argentina.

Paredes

Contará, la planta de conversión, con el mismo tipo de tinglado que la planta de extracción. La diferencia es que la cubierta lateral con chapa conformada será de 5,15 metros desde el techo y el resto hasta el nivel del piso será descubierto.

Techo

Similar a la planta de extracción.

Sala de caldera

En este sector se alberga la caldera y los tanques de combustible y agua que la alimentan. Comprende una superficie de 107,99 m^2 y una altura máxima de 4 metros.

Piso

De iguales características que el de la nave fabril.

Paredes y techo

Se armará un galpón con vigas y columnas de hierro redondo liso. Cada viga y columna estarán formadas de 4 hierros de Ø 10 mm como vértices, unidos con hierros de Ø 6 mm en forma de zigzag a fin de formar 4 caras. Las columnas

estarán afirmadas con zapata (de 45x45 cm de 0,6 m de profundidad del cimiento) de hormigón armado.

Se cubrirán los laterales con chapa de zinc atornillada.

El techo será de dos aguas de chapa trapezoidal intercaladas con las de policarbonato, ambas atornilladas. Contará con manta aislante.

Desagüe pluvial similar al detallado en la edificación de la zona administrativa.

Plataforma de carga y descarga de camiones

El sector destinado para la carga y descarga de camiones cisternas ocupa una superficie de 152,47 m^2, con una altura máxima de 6 metros.

Pisos

Hormigón armado de 25 cm de espesor. Contará con rejilla perimetral y jabalina a fin de conectar los camiones a tierra durante la operación de carga o descarga (Artículos 36 y 38 de la Resolución 1298/2008 de la Ley n° 26093).

Paredes

Tinglado similar al de la sala de calderas sin cubierta lateral.

Techo

De una sola caída de chapa de zinc atornillada.

Descarga de granos

Este sector cuenta con una zona a nivel del piso techado que cubre una superficie de 59 m^2 y un sector por debajo del nivel del piso (tolva de volcado) con un volumen de 40 m^3.

Piso

El piso tendrá las mismas características que el de la zona de carga y descarga de camiones cisterna, con la diferencia que en este caso existe una rejilla (de planchuelas de hierro) que comunica con la tolva de volcado. La rejilla ocupa una superficie de 6 metros de largo por 4 metros de ancho.

Paredes y techo

Mismo sistema que el utilizado en el sector de carga de biocombustible.

Tolva de volcado

Piso de hormigón armado similar al utilizado en la nave fabril, paredes de ladrillos común de 20 cm de espesor con terminación en cemento alisado. Las paredes y el techo (cual soportará el peso de los camiones que circularán sobre este) estarán sostenidas con columnas de hormigón armado de 50x50 cm, con estructura de hierro aletado de Ø 16 y Ø 12 mm, con zapata de hormigón.

La tolva contará con una puerta de ingreso del personal (normalmente cerrada) y una abertura para recolectar los granos mediante un tornillo sin fin elevador (chimango); tendrá forma de pirámide invertida.

Bases de hormigón en lugares específicos

Existen diferentes parcelas de hormigón donde apoyan los equipos de almacenamientos que se encuentran a la intemperie; la característica de este es similar al utilizado en la nave fabril. Las superficies ocupadas son las siguientes:

- Tres silos de almacenamiento de granos, con 24 m^2 cada uno.

- Silo de producción con 11 m^2.
- Tanque de almacenamiento de aceite desgomado, con 15 m^2.
- Tanque de almacenamiento de glicerina, con 7,7 m^2.
- Tanque de ácido fosfórico, con 6,66 m^2.
- Zaranda de limpieza, con 9,54 m^2.

La zaranda de limpieza tendrá un resguardo formado por un techo de chapas de zinc atornilladas a vigas de hierro redondo (4 varillas de Ø 6 mm soldadas con varillas en zigzag de Ø 4mm), apoyadas y soldadas sobre cuatro columnas de iguales dimensiones que las vigas.

Adecuación a la resolución 1298/2008 de la Ley 26093 Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles

Zona de almacenamiento

La ley define los endicamientos como una estructura resistente al fuego e impermeable construida en hierro, hormigón, mampostería o cualquier otro material incombustible e impermeable destinada a cercar un derrame originado por pérdidas o destrucción de un recipiente que contenga líquido evitando que, en el caso de incendio se posibilite la propagación del fuego o, en casos de derrame se pueda contaminar el suelo.

Establece que los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y líquidos combustibles deberán estar rodeados de un endicamiento con capacidad de contención de un 10 % mayor al volumen útil del tanque, con pendiente hacia la descarga. Cuando se trate de un agrupamiento de tanques, la capacidad de contención será igual a un 10% mayor del volumen útil del tanque de mayor capacidad.

En la planta existen dos tanques de almacenamiento de biocombustible con capacidad de 110 m^3 cada uno, los mismos estarán contenidos en un único endicamiento en una superficie total de 345,8 m^2. Este último tendrá piso de hormigón con características similares al de la planta de conversión, con pendiente hacia una rejilla (de hierro) de recolección colocada dentro del endicamamiento. Las paredes serán de hormigón armado con estructura de hierro de Ø 6 mm y Ø 4 mm hasta una altura total de 0,5 metros por sobre el nivel del piso.

Un segundo endicamiento es necesario para el tanque de alcohol metílico y cubrirá una superficie de 29,81 m^2. Las características serán similares al anterior endicamiento detallado, y teniendo en cuenta que la capacidad del tanque de almacenamiento de alcohol metílico es de 10 m^3 la altura mínima de las paredes deberá ser de 0,37 metros. Se opta por una altura de 0,5 metros.

El acceso a los endicamientos será mediante escaleras metálicas.

Estas disposiciones detalladas también se adecuan a la ley, en el hecho de que la misma establece que los muros de los endicamientos estarán restringidos a una altura máxima respecto del nivel del suelo de 1,80 m y a una profundidad máxima de 1 m. Los accesos a los endicamientos contarán con escaleras o rampas de acceso situadas en sentido opuesto, construidas de material incombustibles de un ancho suficiente para que se pueda acceder al recinto con los elementos y dispositivos contra incendio.

Además la ley permite colocar en un mismo endicamiento diferentes tanques de almacenamiento, siempre que se respete que los líquidos inflamables se almacenen solo con líquidos inflamables; mientras que los líquidos combustibles pueden estar compartiendo el mismo dique con otras clases de compuestos.

Respecto de esto último es útil aclarar que para la ley:

- Se considera líquido inflamable, miscible o no con agua, aquel que es capaz de entrar en combustión con el oxígeno del aire, aun cuando no sea destinado exclusivamente a ser utilizados como "combustible" y su "flash point" sea menor o igual a 40º C. Ejemplo el alcohol metílico.
- Se considera líquido combustible, miscible o no con agua, aquel que es capaz de entrar en combustión con el oxígeno del aire, aun cuando no sea destinado exclusivamente a ser utilizados como combustible y su "flash point" sea mayor a 40 ºC e igual o menor a 140 ºC. Ejemplo el biocombustible de aceite de ricino.

Cabe aclarar que el aceite de ricino, el ácido fosfórico y la glicerina no pertenecen a ninguna de las dos definiciones.

Zona de proceso

El reactor de transesterificación y los tanques de separación gravitatoria se encontraran sobre una base de hormigón armado de 25 cm de alto por encima del nivel del piso. Una rejilla de hierro de 50 cm de alto ha de rodear estos equipos para recoger derrames en caso de accidentes.

Las rejillas de drenaje dentro de la planta y la de los endicamientos drenarán los derrames hacia una pileta de contención con capacidad mínima de 132 m^3.

El artículo 27 de la resolución determina: *el líquido contenido en los endicamientos de los tanques aéreos, deberá drenar con la pendiente adecuada hacia la pileta de recuperación, cuya capacidad no será inferior a un 10 % mayor que la capacidad del mayor tanque.*

La pileta tendrá piso y techo de hormigón armado y paredes de ladrillos común revocadas con cemento. Todas las superficies terminarán en cemento alisado. Existirán dos tapas para inspección de 1,5x1,5 m realizada en hormigón armado.

La pileta tendrá 7,5 metros de largo, 6 m de ancho y una profundidad de 3 metros.

Lo ideal es que en caso de derrames por accidentes o incendios, los líquidos recogidos dentro de la pileta sean tratados y recuperados; pero teniendo en cuenta que es una planta de baja producción y que una línea de purificación de los derrames demandaría una gran inversión se opta, en caso de que suceda un siniestro, en destinar a los líquidos contenidos en la pileta a tratamientos de efluentes o contratar un servicio para que se lleve el contenido para su tratamiento específico.

Disponibilidad de agua y red de incendios

El artículo 54 establece: *cuando la capacidad de almacenamiento total en líquidos combustibles sea inferior a 300 m^3 y el almacenamiento total de líquidos inflamables se realice en tanques hasta un volumen total de 30 m^3, se podrá prescindir de la red de cañerías de agua contra incendios, pudiendo suplirla con sistemas ignífugos y aparatos extintores de tipo adecuado, que estarán determinados por la entidad auditora actuante. Cuando cualquiera de estos volúmenes de almacenamiento, sea superado se deberá contar con red de cañerías de agua contra incendios.*

En la planta la capacidad de almacenamiento de líquidos combustibles (dos tanques de biocombustible de aceite de ricino) asciende a 220 m^3, mientras que para líquidos inflamables (un tanque de alcohol metílico) es de 10 m^3. Por

lo detallado no es prescindible contar con una red de incendios, por lo que no existirá en la planta mientras se manejen los volúmenes detallados.

El artículo 56 menciona: *los equipos y tanques de almacenamiento que contengan mezcla inflamable deberán estar protegidos por sistemas de enfriamiento por agua pulverizada, debiendo contar con las reservas de agua necesarias para poder refrigerar las instalaciones con dispositivos fijos, que permitan la formación de cortinas de agua aisladoras, con un caudal de agua de 0,030 $m^3/(h \times m^2)$ de superficie exterior (techo más envolvente) garantizando una operación mínima del sistema de refrigeración de dos horas.*

Si bien la ley menciona la protección para mezclas inflamables, los tanques de biocombustibles de la planta cuentan con sistema de rociadores para espuma y/o agua (se mencionó en el capítulo 8); por lo que se opta por utilizar estas protecciones, para ello es necesario calcular la cantidad de agua de reserva necesaria.

Agua de reserva

$$A = Caudal \times Tiempo \times superficie$$

Donde:

- **A** es el agua necesaria por tanque.
- El caudal exigido por la ley **es 0,030 $m^3/(h \times m^2)$** de superficie exterior (lateral mas techo).
- La superficie exterior es de **468,1 m^2** (12,4 m de alto y 10 m de diámetro exterior).
- El tiempo mínimo exigido por la ley es de **2 horas**.

$$\boldsymbol{A} = 0{,}030\ \frac{m^3}{h\ .\ m^2}\ .\ 468{,}1\ m^2\ .\ 2\ h = \ \mathbf{28{,}09\ m^3}$$

Para el tanque de alcohol metílico:

$$\boldsymbol{A} = 0{,}030\ \frac{m^3}{h\ .\ m^2}\ .\ 35{,}43\ m^2\ .\ 2\ h = \ \mathbf{2{,}12\ m^3}$$

Por lo que para los tres tanques será necesario disponer de **58,3 m^3** de agua de reserva.

Será necesaria la compra de un tanque de reserva de agua. Se opta por uno comercializado por la empresa Bertotto-Boglione S.A.

Características del tanque:

- Tanque simple pared aéreo de formato cilíndrico vertical. Construido íntegramente con virolas de acero al carbono. Provisto de un cabezal plano inferior pestañeado, un cabezal superior pestañeado tipo toriesféricos, conexiones roscadas BSP de 2", 1" y 1/2" para carga, succión, venteo normal, drenaje e indicador de nivel. Boca de hombre inferior Ø610mm abulonada.
  Terminación superficial exterior con proceso de granallado metálico, aplicación de fondo epoxy y terminación con esmalte poliuretano (blanco).
- Capacidad: 70 m^3. Se contemplan, además, los 6 m^3 que se utilizan para la limpieza de los equipos (Capítulo 9).
- Diámetro exterior: 3,41 metros.
- Alto: 8 metros.



Imagen 4. Tanque para el almacenamiento de agua.

El tanque estará apoyado y ensamblado sobre una superficie de hormigón armado con las mismas características que las usadas para los silos de almacenamiento de granos.

Otras especificaciones de la resolución 1298/2008

La ley establece: *se define como Planta categoría I aquella que tiene un volumen de producción diario menor a 30 m^3/día.*

Según esta definición, a la planta de producción de biocombustible de aceite de ricino le corresponde la categoría I; de aquí existen ciertas disposiciones generales exigidas por la ley que deberá cumplir el diseño de la planta. Las mismas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla n°1. Separaciones mínimas exigidas por la resolución 1298/2008.

DISTANCIAS	CATEGORIA I
Distancia entre equipos	1 diámetro, no inferior a 2 m
Distancia de zona de operación a almacenamiento de inflamables	6 m
Distancia de zona de operación a almacenamiento de combustibles	6 m
Distancia de zona de operación a pileta de recuperación	7,50 m
Distancia de zona de operación a cargaderos	7,50 m
Distancia entre tanques en el mismo endicamiento	1/6 de la suma de diámetros no inferior a 1,50 m
Distancia entre tanques enterrados	no inferior a 1 m
Distancia entre tambores	0,30 m
Distancia de zona de operación o almacenamiento a quemadores o lugares con fuego	7,50 m
Distancia de la pared del tanque a la pared del endicamiento que lo contiene	no inferior a 1,50 m
Distancia de zona de almacenamiento a pileta de recuperación	1 diámetro del tanque mayor, no inferior a 7,50 m
Distancia de zona de almacenamiento a cargado	4,50 m
Distancia al límite de la propiedad	1 diámetro del tanque mayor, no inferior a 7,50 m
Distancia a vías férreas generales	15 m
Distancia a casa habitación	15 m
Distancia a bosques circundantes mínimo	30 m

Notas:

a) Si el recipiente no posee sección cilíndrica se considerará el diámetro de la circunferencia que contenga la superficie del equipo;

b) Si el recipiente es cilíndrico horizontal y dispuesto en batería, la distancia mínima de separación entre generatrices de los mismos se basará exclusivamente en el diámetro.

CAPÌTULO 12

PPERSONAL, ESTRUCTURA ORGANIZATIVA Y JURÍDICA DE LA EMPRESA

Personal de la Empresa

Introducción

Para llevar adelante de forma organizada todas las funciones de la empresa, existirá un orden jerárquico y cada persona involucrada tendrá bien definidas las tareas a realizar dentro de su área de trabajo. Las diferentes direcciones de trabajos se conectarán solo a través de los supervisores, que trasladarán las inquietudes de sus supervisados, inconvenientes y progreso de sus áreas, a los pares y/o superiores.

Directorio

La dirección estará a cargo de los dueños de la empresa; que serán dos de los tres socios de la empresa. Mínimamente se reunirán una vez al mes (incluyendo al tercer socio, que se desempeñará como gerente general) para analizar el movimiento de la empresa.

Gerencia General

El cargo será ocupado por uno de los socios de la empresa. Este puesto requiere de una persona dinámica, con antecedentes en puestos de liderazgo, dirección, organización, control y con conocimientos en Recursos Humanos. Deberá ser un profesional del área de Ciencias Económicas o afines.

Departamento de Producción

Contará con un Jefe de Producción, el cual deberá ser Ingeniero en Alimentos. Su función específica será supervisar los procesos y además tendrá a su cargo a los supervisores (dos) de la planta de extracción de aceite de ricino y de la planta de transformación.

Personal del área de proceso

Supervisores de planta

Existirán dos personas que llevarán a cargo la supervisión, una para la planta de extracción de aceite de ricino y otra para la planta de transformación del aceite en biocombustible. Tendrán personal a cargo y sus funciones serán coordinar las tareas, llevar el control y registro de los procesos a fin de facilitar su trazabilidad, cumplir con los pedidos de clientes, optimizar los procesos (desarrollando y presentando propuestas de nuevos métodos y/o formas de trabajo) para lograr mejoras en los rendimientos, llevar el completo control de todo el stock de la planta y solicitar los insumos necesarios.

Recepción

Habrá dos personas destinadas a la función de descarga de los camiones de granos de ricino. Lo harán de forma manual utilizando las herramientas indicadas, y registrarán datos del camión y la carga en documentos que hacen a la trazabilidad del producto. Además tendrán la función de mantener la limpieza en la zona de volcado y parquizado de la empresa. Otra persona (una tercera) será la encargada del recibimiento y despacho de los productos de la planta de transformación. Este último será un operario de la planta mencionada y

desarrollará, además, funciones específicas (que se detallan más adelante) dentro de esta.

Operarios

La planta de extracción de aceite de ricino contará con tres operarios, que bajo la coordinación de un supervisor, pondrán en funcionamiento las maquinarias desde los tableros correspondientes. No tendrán una tarea específica cada uno; los tres estarán capacitados para llevar adelante cualquiera de las funciones que se realicen en la planta de extracción y el registro de cada proceso. Además uno de ellos (en forma rotativa) será el encargado de cargar el expeller a los vehículos que determinen los clientes. Esta última tarea se realizará mediante una mini-cargadora motorizada (alquilada por la empresa).

La planta de transformación contará con dos operarios que bajo las órdenes del supervisor llevarán a cargo las tareas que demande este sector. Serán, además los encargados de mantener el ambiente laboral limpio y llevar los registros correspondientes de cada proceso. Uno de ellos será el encargado del despacho y recibimiento de materia prima de la planta de transformación; en este caso será siempre el mismo, no habrá rotación (ya que no demanda un gran esfuerzo físico).

Control de calidad

El personal de esta área trabajará en el laboratorio de la planta. Contará con un jefe de área, quien será una persona graduada en Ingeniería en Alimentos o Ingeniería Química. Coordinará las tareas del laboratorio, llevará los registros de lo realizado en forma digital, determinará y pondrá en ejecución un Sistema de

Gestión de Calidad, Higiene y Control de Plagas dentro de la empresa. Será además quien monitoree y registre digitalmente la trazabilidad de los productos.

Una persona graduada en Técnico Superior en Tecnología de los Alimentos realizará la función de Ayudante de Laboratorio. Realizará toma de muestras, análisis físico-químicos, verificación de desinfección mediante técnicas microbiológicas y mantendrá el orden y limpieza del área de trabajo; siempre bajo la supervisión del jefe de esta área.

Portería

Habrá una persona encargada de registrar la entrada y salida de vehículos; verificando la documentación pertinente de los productos y materia prima que estos trasladan. Además llevará el control de los horarios de ingreso y de salida del personal. Asentará toda la información en un libro de actas y de forma digital. El encargado de portería trabajará junto al personal de seguridad que se detalla más adelante.

Compras y Ventas

El encargado de esta área será una persona con título relacionado en Marketing y Comercialización. Será una persona dinámica y con experiencia previa. Trabajará junto al área de administración, será el encargado de la compra de insumos y la promoción y venta de los productos (y/o subproductos) de la empresa.

Administración

Esta área requiere de una persona con el título de Contador Público, Licenciado en Administración de Empresas o título relacionado con las ciencias económicas.

Estará a cargo de llevar a cabo la administración general de la empresa y tendrá a su cargo el departamento de Tesorería.

Asesoría externa

Se mencionó en el capítulo 9 que el servicio de limpieza será tercerizado; de igual manera, hasta que la empresa cuente con el área de mantenimiento, se contratará una persona graduada de Técnico o ingeniero mecánico (o electromecánico) para tareas de mantenimiento y servicios auxiliares. Trabajará solo cuando la empresa lo requiera.

Hasta que la empresa incorpore el departamento de Recursos Humanos, el mismo será llevado a cabo por el directorio junto a un asesor externo vinculado a las ciencias sociales.

De forma tercerizada se contará con personal de seguridad que trabajarán las 24 horas del día. Uno en horario diurno y dos personas en horario nocturno.

Cabe aclarar que todo el personal tercerizado, con título o no, será capacitado por la empresa y sobre esta última recae la responsabilidad de los contratados mientras estén brindando el servicio.

La siguiente tabla resume el personal de la empresa:

Tabla nº 1. Personal de la empresa

Dependencia	Área	Cargo	Cantidad de personas
Directorio	Directorio	Directorio	2
	Gerencia	Gerente General	1
Gerencia	Departamento de Producción	Jefe de producción	1
	Departamento de Producción	Supervisor de Planta de Extracción	1
	Departamento de Producción	Supervisor de Planta de Transformación	1
	Departamento de Producción	Operario de la Planta de extracción	3
	Departamento de Producción	Operario de la Planta de transformación	2
	Control de Calidad	Jefe de Control de Calidad	1
	Control de Calidad	Auxiliar de Laboratorio	1
	Administración	Jefe Encargado de Administración	1
	Compras y Ventas	Jefe Encargado de Compras y Ventas	1
Departamento de Producción	Portería	Encargado de Porteria	1
	Recepción	Operarios de recepción	2
Control de calidad	Limpieza	Operario de Limpieza	1
Tercerizado	Seguridad	Empleado de Vigilancia	3
	Limpieza	Empleado de Limpieza	2
	Mantenimiento	Empleado de Mantenimiento	1
Total			**25**

En capítulos los capítulos 2 y 3 (Estudio de Mercado – Producción Primaria) se evaluaron el ciclo de siembra y cosecha del ricino que sumados a las pretensiones productivas de la empresa, permitía estimar un año laboral de 2112 horas procesando 32 toneladas por día. Lo detallado junto a la capacidad instalada en la planta de extracción y producción de biocombustible de aceite de ricino se corresponde, para lograr los objetivos propuestos en este proyecto (cuatro millones de litros de biocombustibles anuales), con una semana laboral de mínimamente 44 horas.

En la siguiente tabla se expresan los horarios a cumplir por el personal:

Dias Laborables	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total de horas semanales
Personal	Hora ingreso/egreso	Hora ingreso/egreso	Hora ingreso/egreso	Hora ingreso/egreso	Hora ingreso/egreso	Hora ingreso/egreso	
Gerente General	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44
Jefe de producción	07:00 - 15:00	07:00 - 15:00	07:00 - 15:00	07:00 - 15:00	07:00 - 15:00	07:00 - 11:00	44
Supervisor de Planta de Extracción	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 10:00	44
Supervisor de Planta de Transformación	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44
Operario de la Planta de extracción	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 10:00	44
Operario de la Planta de transformación	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44
Jefe de Control de Calidad	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44
Auxiliar de Laboratorio	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 10:00	44
Jefe Encargado de Administración	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44
Jefe Encargado de Compras y Ventas	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44
Encargado de Porteria	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 10:00	44
Operarios de recepción	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 14:00	06:00 - 10:00	44
Operario de Limpieza	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 16:00	08:00 - 12:00	44

Estructura Organizativa de la Empresa

Directorio - Área Estratégica y de Planeamiento.

Como se mencionó anteriormente el directorio está formado por dos socios y la gerencia general. El objetivo principal es lograr que la organización cumpla con el objetivo básico propuesto y sirva a la sociedad (ejemplos: mediante la generación de empleos, el desarrollo de la agricultura en zonas que hasta el momento poseen escasa producción, etc.). Esto se satisface mediante el planeamiento a largo plazo en lo que respecta al directorio y a mediano y corto plazo en lo que refiere a la gerencia general.

Funciones generales del área estratégica

Los socios de la empresa se reunirán mensualmente, para analizar el movimiento y desarrollo de la empresa.

Los temas principales a tratar en las reuniones serán:

- La política económica y estado financiero de la empresa.
- Los convenios y relaciones externas de la empresa.
- Discutir y efectuar modificaciones en las líneas de procesos.
- Se tratará la política de precios acorde al mercado actual (precios de ventas y ganancia pretendida).

- Situaciones relacionadas con el personal como ser incorporaciones, políticas de sanciones, beneficios e incentivos.
- Medidas correctivas respecto del funcionamiento general de la empresa, fijar horizontes.

Como ya se mencionó uno de los socios de la empresa llevará a cabo las funciones de gerente general, por lo que además de las reuniones realizará las siguientes funciones:

- La ejecución y puesta en funcionamiento de todas las decisiones surgidas de la reunión de socios.
- La Coordinación y el control del funcionamiento de todas las áreas de la empresa, evaluando los planes de trabajo establecidos y si fueron o no alcanzado los objetivos propuestos a corto y mediano plazo por cada área.
- La continúa comunicación con proveedores a fin de lograr acuerdos que favorezcan el desarrollo de la empresa (garantizar la disponibilidad y calidad de la materia, acordar precios y mantener los clientes, sobre todo los productores).
- Obrar para que la empresa trabaje, cada día, con mayor eficiencia hasta alcanzar su máxima capacidad.
- Fijar la política de gastos de acuerdo con lo acordado en la reunión de socios.
- Intervenir en todas las cuestiones relacionadas con el personal como nombramientos, renuncias, despidos, ascensos, sanciones y licencias, según lo soliciten los departamentos.
- Llevar el control y dirección bancaria de la empresa.

Con lo detallado hasta aquí, la reunión de los socios y las funciones del gerente general representan el área estratégica de la empresa. De aquí surgirán los lineamientos hacia los jefes de cada sector que representan el área ejecutiva, es decir los departamentos de producción, compras - ventas, control de calidad y administración. Existirá entre los funcionarios de todas las unidades de trabajo y de un mismo nivel, un ajuste mutuo para la coordinación de las funciones

Área de Producción

Las funciones principales de esta área, llevadas a cabo a partir del jefe hacia sus subordinados, son:

- Establecer los objetivos del departamento, transmitirlos y ejecutarlos.
- Organizar y controlar las actividades a realizar.
- Optimizar los procesos de modo de elevar el rendimiento, con el menor costo posible.
- En caso de ser necesario decidirá sobre el emplazamiento de maquinarias e instalaciones para lograr que los procesos sigan una línea lógica e eficiente.
- Controlar el correcto uso de los bienes instrumentales, tomar decisiones sobre el uso de materia prima y materiales secundarios necesarios a fin de lograr un alto nivel de producción.
- Programar la producción y las actividades diarias.
- Controlar el desarrollo de la producción programada a fin de llegar a satisfacer los objetivos.

- Realizar propuestas de mejoras permanentes en procesos y presupuestos; elevarlos a la gerencia general para su análisis, autorización y posterior implementación.
- Registrar y documentar el stock de los materiales que se utilizan en la fábrica a fin de facilitar la reposición de estos antes de que se agoten y así evitar dificultades a la producción.

Supervisores de planta

Las funciones y responsabilidades (dentro del área de producción) del supervisor, son:

- Desarrollar pautas de trabajo con el Jefe de área.
- Traducir las indicaciones del jefe del área de producción en métodos y estrategias de encarar los procesos de elaboración de los productos y subproductos.
- Supervisar el personal necesario para la producción y el correcto funcionamiento y uso de las maquinarias.
- Garantizar producciones de alto rendimiento y el eficiente uso de materia prima.

Operarios

Los operarios son el pilar de la parte productiva de la empresa y en forma general sus funciones serán:

- Cumplir, mediante la acción física, con las instrucciones de sus superiores.

- Deberán cumplir con las normas establecidas dentro de la empresa e informar los resultados de las actividades progresivamente se vayan realizando durante la jornada laboral.

Área de Control de Calidad

Las funciones y responsabilidades del Jefe de área son:

- Establecer los objetivos del departamento, transmitirlos y ejecutarlos.
- Realizar el desarrollo de un sistema de Control de Calidad y aplicarlo en lo que respecta a procesos, materias primas, productos y subproductos.
- Coordinar, previa planificación, el trabajo del laboratorio (principalmente el control y evaluación de la materia prima y los productos).
- Llevar la trazabilidad de los productos y atender a inquietudes o reclamos de los clientes.
- Capacitarse y proponer e implementar capacitaciones hacia el personal de la planta (seminarios de capacitación y actualización principalmente sobre calidad, higiene y seguridad industrial).
- Participar activamente con las demás áreas para lograr una mejora continua de la empresa.

.

Portería y vigilancia

Las principales responsabilidades de esta área son:

- Guardar la seguridad en todo el predio de la empresa.

- Controlar y vigilar la entrada y salida de personas (incluyendo al personal de la empresa) al predio de la fábrica. Documentar.
- Controlar el ingreso y egresos de transportes (documentación de los vehículos, de los choferes y mercadería trasportada). Registrar y documentar.

Área de Compras y Ventas

Las funciones principales de esta área, llevadas a cabo a partir del jefe de la misma, son:

- Establecer los objetivos del departamento, transmitirlos y ejecutarlos.
- Efectivizar precios de ventas determinados y establecidos por sus superiores.
- Mantener comunicación directa y permanente con el área de producción. Esta última actualizará los productos necesarios para llevar a cabo los procesos y los disponibles para la venta.

Área de Administración

Esta área depende de la gerencia general. Las funciones y responsabilidades del Jefe del área de administración son:

- Establecer los objetivos del departamento, transmitirlos y ejecutarlos.
- Organizar, controlar y documentar las actividades a realizar en su área.
- Controlar la contabilidad de la empresa (movimientos de dinero).
- Realizar los balances de la empresa, que serán presentados y analizados en cada reunión de los socios.

Área de Mantenimiento y Servicios Auxiliares

En principio las funciones de esta área serán designadas hacia los operarios por los supervisores. A futuro la empresa incorporará personal exclusivo para desarrollar las tareas; las mismas serán:

- Realizar y aplicar un plan de mantenimiento de los equipos para optimizar sus funcionamientos. Documentar.
- Controlar el funcionamiento de los equipos, y de ser necesario realizar reparaciones en estos y en las instalaciones.
- Realizar un permanente control del inventario del área. Documentar. Llevar un correcto stock del material que es necesario tener de modo permanente.
- Informar al área de compras y ventas sobre las necesidades de compra de repuestos e insumos dentro de plazos que no comprometan el funcionamiento de los equipos.
- Contralará e informará a supervisores del sector de producción sobre el mantenimiento y la limpieza general de la empresa.

Estructura Jurídica de la Empresa

La personalidad jurídica de una empresa la adquiere a través del reconocimiento del estado a través de una aprobación por un organismo provincial (Dirección de Personas Jurídicas) y al ser con fines de lucro se denomina Sociedad.

Definir el vehículo de inversión es una cuestión central para el destino del emprendimiento. Las implicancias de elegir una sociedad anónima (SA), sociedad de responsabilidad limitada (SRL) o sociedad de hecho (SH), dependen del tipo de

proyecto, la recepción de inversiones, la rotación de socios, sus responsabilidades e impuestos a pagar.

Sociedad de hecho

Actualmente existen numerosos emprendimientos que funcionan como empresas unipersonales o bien como las conocidas y denominadas sociedades de hecho. Bajo esta denominación la empresa presentará un estado de informalidad lo cual no es del todo muy favorable; aunque con la de la sanción de la Ley 26.994, que unificó el Código Civil y Comercial, surgieron cambios jurídicos que impactaron positivamente en las Sociedades de Hecho. Los cambios más relevantes son:

- En primer lugar, son sociedades que pueden tener un contrato social. De ser así, sus cláusulas pueden ser invocadas entre socios, ante terceros y por los terceros (en el régimen anterior esto no era así).
- En segundo lugar, cualquier socio ya no representa a la Sociedad de Hecho, ya que ahora valen las cláusulas referentes a la administración y representación. Es decir que quien celebra negocios ya no son más los socios de la de la sociedad, sino la mismísima Sociedad de Hecho.
- En tercer lugar, se despeja toda duda acerca de los bienes registrables. Anteriormente se consideraba que una Sociedad de Hecho no tenía personalidad jurídica para ser titular de bienes registrables (casas, barcos, propiedades) o para realizar actos de disposición patrimonial (préstamos, garantías, contragarantías) y que eran sus socios quienes los realizaban a título personal. Ahora las Sociedad de Hecho tienen capacidad y facultad de realizar estos actos.

Por otro lado la Sociedad de Hecho por la informalidad de los procesos, tiene menores costos de inscripción. A nivel impositivo, tiene condición de sujeto responsable inscripto frente al IVA. No así frente al Impuesto a las Ganancias. Además, posee la viabilidad de ser sujeto adherido al monotributo siempre y cuando sean hasta tres socios. No están incluidas en el pago del impuesto a las ganancias del 10% sobre los dividendos cobrados.

Al formar una Sociedad de hecho se debe redactar ante un escribano un contrato social a efectos de que tengan valor sus términos, cláusulas, derechos y defensas.

Sociedad Anónima – Sociedad de Recursos Limitada

Si se pretende formalizar el emprendimiento, las opciones son crear una sociedad de responsabilidad limitada (SRL) o anónima (SA); para esto previamente hay que poner en la balanza una serie de cuestiones ligadas a la naturaleza del proyecto para prever cuánto habrá que desembolsar para crear la sociedad.

Algunas diferencias sensibles entre ambas sociedades son:

- La SRL se divide en cuotas y tiene un límite de hasta 50 socios.
- La SA se divide en acciones; no hay límite y la incorporación de nuevos accionistas no requiere una modificación del estatuto, como tampoco la transferencia de acciones.
- En las SRL, los cambios deben informarse ante el Registro de Personas Jurídicas, con una modificación al estatuto y nueva publicación de edictos, lo que acarrea costos para la empresa.
- Las acciones que componen el capital de una SA son de libre transmisibilidad, mientras que las cuotas de la SRL requieren conformidad por reunión de socios.

Costos

Respecto a los valores, constituir una SRL cuesta entre 30% y 50% menos que una SA. En primer lugar, las SA requieren obligatoriamente de un instrumento público, con los correspondientes cargos de escribanía. Las SRL pueden constituirse por instrumento privado, sólo con firmas certificadas por escribano público. Además, no están obligadas a pagar la tasa de fiscalización en el Registro de Personas Jurídicas (RPJ) como sí lo están las SA. Respecto de términos administrativo-contables estas últimas deben presentar balances anuales ante el RPJ, no así las SRL.

En cuanto a la inversión inicial, si bien no existe para la constitución de una SRL un capital legal mínimo, lo aconsejable es que sea de no menos de $25.000 para evitar objeciones del ente regulador. Para una SA, el capital mínimo obligatorio es $100.000.

Impuestos

Las SA tienen una mayor carga impositiva. Si existen retiros de los socios, la AFIP puede aplicar intereses presuntos, algo que no ocurre en las SRL. Estos intereses, si efectivamente son presuntos, no podrán ser deducidos por los socios y también implica un mayor costo en ganancias.

Evidentemente los costos son menores al constituir una SRL y existe la posibilidad de que se pueden evitar los balances; aún así si el proyecto es de magnitud, una SA puede cotizar en la Bolsa de Comercio ya que sus acciones son negociables y transferibles de forma más rápida y menos burocrática. Además, una SA puede ser parte de otra compañía, o adquirirla totalmente. Y, de acuerdo al proyecto, en

la SA se pueden emitir diferentes clases de acciones. Esto puede dar a un grupo de accionistas mayor poder político, a través de la emisión de acciones preferenciales, o bien mayores beneficios económicos, a través de la emisión de acciones preferidas. En las SRL, todas las cuotas-partes dan derecho a un voto y a ninguna clase de beneficios en la distribución de utilidades.

Responsabilidad de los socios

Un punto importante es la responsabilidad de los socios en cada tipo societario. En ambos tipos de sociedades, está limitada al capital aportado. Cabe aclarar que en las SRL la responsabilidad de los socios se extiende solidaria e ilimitadamente mientras el capital esté suscripto pero no integrado (la diferencia entre suscripto e integrado es que el primero es el capital prometido y el segundo es el capital efectivamente aportado).

Si bien se mencionó que al estar inscripta como persona jurídica es la sociedad la responsable ante la ley; es importante tener en cuenta y destacar el denominado Corrimiento del Velo Societario, que lo que hace es ampliar la responsabilidad de los socios. La Ley de Sociedades número 19550 regula esta cuestión en su artículo 54, y hace responsable solidaria e ilimitadamente a los socios (de una SA o una SRL) cuando la personalidad de la sociedad sea empleada para llevar a cabo actos fraudulentos o abusivos, y en esos casos se imputa directamente a los socios.

Por último, ya que si bien en ambos casos la personalidad de la sociedad es independiente de la de sus socios (es decir, la suerte de la sociedad no compromete a los individuos), los límites están más claros en la SA. De hecho,

existen en nuestro país fallos sobre SRL que extienden a los socios la responsabilidad de la empresa.

Posibilidades de créditos y gobierno de las sociedades

Las SA están mejor vistas a la hora de tomar crédito. Cuentan con mayores facilidades, en parte por la mayor exigencia contable que recae sobre ellas. También hay que tener en cuenta que la mayor parte los programas de incentivos tanto industriales como comerciales están destinados a SA, dado que su estructura permite una mayor capacidad de concentración de capitales. Además las SA encuentran mayor facilidad para abrir el negocio a inversores y terceros; mientras que las SRL enfrentan trabas burocráticas.

En cuanto a la forma de administración y gobierno, la SRL tiene gerentes cuyas funciones se prolongan indefinidamente y las decisiones se toman en reuniones de socios. Las SA está administrada por un directorio (la duración de los cargos de los directores es de tres años) y las decisiones las toma la asamblea de accionistas.

Inversión Extranjera

Respecto a la inversión extranjera en el país, la forma jurídica preferida por los inversores es la SA. Argentina es el cuarto país sudamericano en stock de inversión extranjera y el sexto en flujos entrantes.

Ventajas y desventajas según el tipo societario

Tipo societario	**Ventajas**	**Desventajas**
Sociedad Anónima	✓ Posibilidad de integrar otras sociedades.	✓ Altos costos de constitución. ✓ Mayores exigencias legales. ✓ Mayor capital comprometido.
Sociedad de Responsabilidad Limitada	✓ Responsabilidad limitada. ✓ Costos medios de constitución. ✓ Menores exigencias legales.	✓ Dificultad en la trasmisión de cuotas parte.
Sociedad de Hecho	➢ Velocidad de constitución. ➢ Bajos costos de constitución.	➢ Responsabilidad ilimitada. ➢ Representación promiscua. ➢ Dificultad para acceder a créditos.

Resumen

Por todo lo expuesto, en general, el formato de SRL es más conveniente para emprendimientos chicos, de pocos socios y que no tienen intenciones en el corto plazo de comprar otras empresas o negociar sus cuotas-parte. Es una buena opción para Pymes que quieren ahorrar en los costos iniciales.

La SA, por su parte, parece ser la solución para emprendimientos de mayor magnitud, que tengan libertad para transferir sus acciones con mayor facilidad y que requieran de una demanda de asistencia crediticia más fluida.

Tipo de sociedad comercial adoptado para este proyecto

Se optará por una sociedad de responsabilidad limitada integrada por 3 socios, de los cuales uno será el gerente de la planta (como ya se mencionó anteriormente). Será denominada **RicinusERBio S.R.L.** El nombre se compone de la palabra **Ricinus** que es el género cuya única especie es el *Ricinus communis*, conocido como ricino (tiene innumerables nombres en cada parte del mundo donde crece; el vernáculo argentino es Tártago), **ER** se refiere a la provincia de Entre Ríos y **Bio** que proviene del latín βιο y significa vida, haciendo alusión a que la empresa produce un producto con recursos renovales y no comestibles de manera amigable con la vida y el medio ambiente. Esta denominación está contemplado por el artículo número 147 de la ley 19550, que establece que la denominación social puede incluir un nombre de fantasía o el de uno o más socios y debe contener la indicación "sociedad de responsabilidad limitada", su abreviatura o la sigla S.R.L.

Es obvio que por las características del proyecto una sociedad de hecho es descartada y se prefirió una SRL (en lugar de una sociedad anónima) por el menor costo de inversión inicial, por ser el manejo contable menos oneroso, y porque no se tiene pensado un flujo continuo de socios. Respecto de esto último, que es un rasgo decisivo a la hora de elegir un tipo de sociedad, se tendrá un mayor control sobre los socios y se evitará que ingresen aquellos no deseables.

Por último, siendo una SRL se evita lo complejo de una estructura de directorio y de asambleas de accionistas para llevar así una gestión más ágil a través de los gerentes.

Características principales de una Sociedad de Responsabilidad Limitada

Caracterización

El capital se divide en cuotas; los socios limitan su responsabilidad de la integración de las que suscriban, adquieran, sin perjuicio de la garantía (garantía de los aportes detallada más adelante).

Número máximo de socios.

El número de socios no excederá de cincuenta.

Exclusión de socios

Cualquier socio puede ser excluido si mediare justa causa. Es nulo el pacto en contrario.

Justa causa

Habrá justa causa cuando el socio incurra en grave incumplimiento de sus obligaciones. Excepcionalmente, también existirá en los supuestos de incapacidad, inhabilitación, declaración en quiebra o concurso civil.

Extinción del derecho

El derecho de exclusión se extingue si no es ejercido en el término de noventa (90) días siguientes a la fecha en la que se conoció el hecho justificativo de la separación.

Acción de exclusión

Si la exclusión la decide la sociedad, la acción será ejercida por su representante o por quien los restantes socios designen si la exclusión se refiere a los administradores. En ambos supuestos puede disponerse judicialmente la suspensión provisoria de los derechos del socio cuya exclusión se persigue.

Si la exclusión es ejercida individualmente por uno de los socios, se sustanciará con citación de todos los socios.

Cuotas

División en cuotas

Cada socio abonará cuotas de igual valor. El capital social mínimo indispensable se fija en función al presupuesto de inversión y será siempre múltiplo de 10.

Suscripción íntegra

El capital debe suscribirse íntegramente en el acto de constitución de la sociedad.

Aportes en dinero

Los aportes en dinero deben integrarse en un veinticinco por ciento, como mínimo y completarse en un plazo de dos años. Su cumplimiento se acreditará al tiempo de ordenarse la inscripción en el Registro Público de Comercio, con el comprobante de su depósito en un banco oficial.

Aportes en especie

Los aportes en especie deben integrarse totalmente y se valuarán en la forma prevenida en el contrato o, en su defecto, según los precios de plaza o por uno o más peritos que designará el juez de la inscripción. Para este último caso cesa la responsabilidad por la valuación que les impone la garantía de los aportes.

Garantía por los aportes

Los socios garantizan solidaria e ilimitadamente a los terceros la integración de los aportes.

Transferencia de cuotas

La garantía del cedente subsiste por las obligaciones sociales contraídas hasta el momento de la inscripción. El adquirente garantiza los aportes sin distinciones entre obligaciones anteriores o posteriores a la fecha de la inscripción.

El cedente que no haya completado la integración de las cuotas, está obligado solidariamente con el cesionario por las integraciones todavía debidas. La sociedad no puede demandarle el pago sin previa interpelación al socio moroso.

Cuotas suplementarias

El contrato constitutivo puede autorizar cuotas suplementarias de capital, exigibles solamente por la sociedad, total o parcialmente, mediante acuerdo de socios que representen más de la mitad del capital social.

Deben ser proporcionadas al número de cuotas de que cada socio sea titular en el momento en que se acuerde hacerlas efectivas. Figurarán en el balance a partir de la inscripción.

Los socios estarán obligados a integrarlas una vez que la decisión social haya sido publicada e inscripta.

Cesión de cuotas

Las cuotas son libremente transmisibles, salvo disposición contraria del contrato.

La transmisión de la cuota tiene efecto frente a la sociedad desde que el cedente o el adquirente entreguen a la gerencia un ejemplar o copia del título de la cesión o transferencia, con autentificación de las firmas si obra en instrumento privado.

La sociedad o el socio solo podrán excluir por justa causa al socio así incorporado, sin que en este caso sea de aplicación la salvedad del derecho de extinción.

La transmisión de las cuotas es oponible a los terceros desde su inscripción en el Registro Público de Comercio, la que puede ser requerida por la sociedad; también podrán peticionarla el cedente o el adquirente exhibiendo el título de la transferencia y constancia fehaciente de su comunicación a la gerencia.

El contrato de sociedad puede limitar la transmisibilidad de las cuotas, pero no prohibirla.

Son lícitas las cláusulas que requieran la conformidad mayoritaria o unánime de los socios o que confieran un derecho de preferencia a los socios o a la sociedad si ésta adquiere las cuotas con utilidades o reservas disponibles o reduce su capital.

Gerencia (designación)

La administración y representación de la sociedad corresponde a uno o más gerentes, socios o no, designados por tiempo determinado o indeterminado en el contrato constitutivo o posteriormente. Podrá elegirse suplentes para casos de vacancia.

Gerencia plural

Si la gerencia es plural, el contrato podrá establecer las funciones que a cada gerente compete en la administración o imponer la administración conjunta o colegiada.

Derechos y obligaciones

Los gerentes tienen los mismos derechos, obligaciones, prohibiciones e incompatibilidades que los directores de la sociedad anónima. No pueden participar por cuenta propia o ajena, en actos que importen competir con la sociedad, salvo autorización expresa y unánime de los socios.

Responsabilidad

Los gerentes serán responsables individual o solidariamente, según la organización de la gerencia y la reglamentación de su funcionamiento establecido en el contrato. Si una pluralidad de gerentes participó en los mismos hechos

generadores de responsabilidad, el Juez puede fijar la parte que a cada uno corresponde en la reparación de los perjuicios, atendiendo a su actuación personal.

Resoluciones sociales

El contrato dispondrá sobre la forma de deliberar y tomar acuerdos sociales. En su defecto son válidas las resoluciones sociales que se adopten por el voto de los socios, comunicando a la gerencia a través de cualquier procedimiento que garantice su autenticidad, dentro de los diez días de habérseles cursado.

Asambleas

Los socios reunidos en asamblea resolverán sobre los estados contables de ejercicio, para cuya consideración serán convocados dentro de los cuatro meses de su cierre.

Las resoluciones sociales que no se adopten en asamblea constarán también en el libro de actas; éstas serán confeccionadas y firmadas por los gerentes dentro del quinto día de concluido el acuerdo.

En el acta deberán constar las respuestas dadas por los socios y su sentido a los efectos del cómputo de los votos. Los documentos en que consten las respuestas deberán conservarse por tres años.

CAPÍTULO 13

PRESUPUESTO DE INVERSIÓN Y COSTOS DE PRODUCCIÓN

Introducción

El presupuesto para llevar adelante este proyecto involucra por un lado todo el equipamiento de la planta de proceso y sus instalaciones, y por el otro todo lo referido a las obras civiles incluyendo el terreno físico que abarcará la empresa.

Todas las cotizaciones se expresarán en moneda estadounidense. El dólar en nuestro país, en los últimos meses, presentó variaciones muy marcadas llegando a la fecha actual (28/05/2018) a un valor de $25,20.

Por otro lado si se analiza la evolución anual de la moneda norteamericana en nuestro país, su tendencia ha sido claramente en alza como se puede observar en la siguiente imagen:



Fuente: Banco Central de la Nación Argentina

Por lo expresado hasta aquí se adoptará, para los cálculos, el precio del dólar a valor actual.

Inversión en Activo Fijo

El activo fijo lo comprenden los bienes propiedad de la empresa que tienen una vida útil dada y que se relacionan directamente o indirectamente con la producción industrial.

Los componentes del activo fijo y que tienen una vida útil determinada sufren una depreciación de su valor hasta que se hace cero o adquieren un cierto valor residual.

Maquinarias y Equipos

Equipos de almacenamiento			
Detalle	**Equipos**	**Unidades**	**Precio total US$**
Almacenamiento de granos	Silo tolva 243 m3 instalado (188 tn)	3	25949,40
	Silo stock 60 m3 instalado (32tn)	1	2393,51
Almacenamiento de líquidos	Tanque aceite desgomado 55 m3 de acero al carbono	1	25325,94
	Tanque glicerina cruda 0,7 m3	1	136,08
	Tanque glicerina purificada 5 m3	1	883,78
	Tanque ácido fosfórico 3 m3	1	540,87
	Tanque de alcohol metílico 10 m3	1	2615,01
	Tanque de biocombustible 110 m3	2	52300,24
	Costo total US$		**110144,84**

Equipos de procesos			
Detalle	**Equipos**	**Unidades**	**Precio total US$**
Limpieza de granos	Imán	1	19,71
	Zaranda	1	2033,90
Extracción	Extrusora	3	129472,15
	Prensa	3	10487,65
	Decantador	1	620,00
	Centrífuga decantadora	1	29985,47
Desgomado	Tanque agitado 9 m3	1	8861,99
	Intercambiador de calor 4 módulos	1	174,33
	Centrífuga clarificadora	1	19370,46
Transesterificación	Mezclador 1 m3	1	702,18
	Tanque agitado 9 m3	1	8861,99
Separación	Evaporador	1	9685,23
	Economizador 8 módulos	1	348,67
	Separador gravitatorio 9 m3	1	760,29
Sub-productos	Secador de expeller	1	644,07
	Reactor glicerina 0,7 m3	1	281,36
	Filtro	1	20590,80
	Costo total US$		**242900,24**

Equipos de transporte de materia			
Detalle	**Equipos**	**Unidades**	**Precio total US$**
Sólidos	Tornillos sin fin (metros)	33	4399,18
	chimango (metros)	14	1777,44
	Cinta transportadora (metros)	31	3306,05
Líquidos	Bomba 1M1-3 (1HP)	1	225,99
	Bomba 4M2-4 (1/2HP)	1	118,65
	Bomba 4M2-5 (1/2HP)	1	118,65
	Bomba 4M1-6 (1HP)	1	225,99
	Bomba 4M3-7 (1HP)	1	225,99
	Bomba 4M3-8 (1/2HP)	1	118,65
	Bomba 4M3-9 (1HP)	1	225,99
	Bomba 4M4-10 (1HP)	1	225,99
	Bomba 4M4-11 (1/2HP)	1	118,65
	Bomba 4M4-12 (1/2HP)	1	118,65
	Bomba 4M4-13 (1HP)	1	225,99
	Bomba 4M4-14 (1/2HP)	1	118,65
	Costo total US$		**11550,49**

Equipos para la limpieza		
Equipos	**Unidades**	**Precio total US$**
Tanque 6 m3	1	1060,53
Tanque 1,2 m3	1	357,38
Bomba 2M2-1 (1/2HP)	1	118,65
Bomba 2M2-2 (1/2HP)	1	118,65
Hidrolavadora Black & Decker	1	115,45
Aspiradora Stihl	1	206,25
Pulverizador	1	43,32
Costo total US$		**2020,23**

La inversión total en Maquinarias y Equipos asciende a **US$ 366615,80.**

Servicios Auxiliares

Vapor			
Detalle	**Equipos**	**unidades**	**Costo total US$**
Equipamiento	Caldera	1	41845,04
	Tanque de combustible 18 m3	1	2393,74
	Bomba 5M1-15 (2,5HP)	1	48,86
	Tanque de agua 26 m3	1	3457,63
Cañerías	Alta presión (metros)	27	596,48
	Baja presión (metros)	80	1021,45
Accesorios e instalaciones	Linea de vapor y condensado		6751,07
	Costo total US$		**56114,27**

Agua			
Detalle	**Equipos**	**unidades**	**Costo total US$**
Almacenamiento	Tanque de agua 70 m3	1	3196,13
	Costo total US$		**3196,13**

Energía eléctrica			
Detalle	**Equipos**	**unidades**	**Costo total US$**
Reducción de tensión	Transformador	1	33525,80
Iluminación	Lámparas led	139	4216,09
Distribución	Conductores	1292	52289,72
Accesorios e instalaciones	Ramal eléctrico		5619,58
	Costo total US$		**95651,18**

La inversión total en Servicios Auxiliares asciende a **US$ 154961,58.**

Equipamiento General de la Planta

Equipamiento y amueblamiento			
Sector	**Detalles**	**unidades**	**Costo total US$**
Oficinas (1, 2 y Gerencia)	Escritorios 0,7x1,2 m C/cajones Cuyoplacas	3	158,06
	Sillas de oficina Dakot	7	365,76
	Sillas de escritorio Dakot	6	561,94
	Mesas 1,8 X0,9 m Dadone	1	154,96
	Mueble 1,2x0,56 m C/cajones Platinum	2	222,76
	Computadoras PC Exo	3	1503,49
	Impresoras multifunción Epson	3	419,85
	Teléfonos fijo Noblex	3	47,80
	Librería general		96,85
	Aire acondicionado portátil BGH	1	545,23
	Climatizador portátil ATMA	2	309,83
	Cesto de papeles	3	7,26
	Costo total US$		**4393,80**

Equipamiento y amueblamiento			
Sector	**Detalles**	**unidades**	**Costo total US$**
Portería	Escritorios 0,7x1,2 m C/cajones Cuyoplacas	1	52,69
	Sillas de oficina Dakot	3	156,76
	Mueble 1,2x0,56 m C/cajones Platinum	1	111,38
	Cesto de residuos	1	2,42
	Costo total US$		**323,24**

Equipamiento y amueblamiento			
Sector	**Detalles**	**unidades**	**Costo total US$**
Cocina	Mesa 1,2X0,8m Barcelona + 6 sillas Carola	1	250,56
	Mesada 1,9x0,7 de marmol sintetico con bacha Durafort	1	123,73
	Cocina Escorial	1	208,23
	Cafetera ATMA	1	25,62
	Microondas ATMA	1	130,75
	Heladera Diplomatic	1	416,90
	Cesto de residuos	1	2,42
	Costo total US$		**1158,208232**

Equipamiento y amueblamiento			
Sector	**Detalles**	**unidades**	**Costo total US$**
Baños	Inodoros Pringles	11	1885,18
	Lavatorios vogue plus	6	677,29
	Duchas Aquaflex	3	36,76
	Cestos de residuos	14	33,90
	Espejos de baño con botiquin (Sanitarios Martines)	5	105,81
	Bidets Capea	2	107,99
	Costo total US$		**2846,92**

Equipamiento y amueblamiento			
Sector	**Detalles**	**unidades**	**Costo total US$**
Laboratorio	Escritorio 0,7x1,2 m C/cajones Cuyoplacas	1	52,69
	Sillas de oficina Dakot	3	156,76
	Mueble 1,2x0,56 m C/cajones Platinum	2	222,76
	Mesada acero inoxidable 2,1x0,55 m con bacha	1	225,04
	Cesto de residuos	2	4,84
	Aire acondicionado Portatil BGH	1	545,23
	Computadoras PC Exo	1	501,16
	Impresoras multifunción Epson	1	139,95
	Librería general		48,43
	Balanza digital Gama	1	25,62
	Vasos Precipitados graduados	3	7,26
	Buretas 50 cc	1	10,27
	Soportes buretas (base + pinza)	1	23,58
	Pipetas	3	6,10
	Probetas	2	11,14
	Erlenmeyers	3	13,08
	Pizetas común	1	3,00
	Espátulas	2	2,71
	Banquetas	2	82,32
	Insumos		128,31
	Costo total US$		**2210,25**

La inversión total en Equipamiento General de la planta asciende a **US$ 10932,43.**

Obras Civiles

Obras Civiles		
Detalles	**Unidades**	**Costo total US$**
Edificación en mampostería (m2)	651,14	534912,30
Edificación en chapa (m2)	765,69	126347,22
Techo nave fabril (m2)	704,76	28907,11
cerramiento (metros)	445,87	3657,72
Terreno (m2)	13267	171024,32
Costo total US$		**864848,67**

La inversión total en Obras Civiles asciende a **US$ 864848,67.**

Otros costos generales incluidos dentro de la inversión de la planta

Otros Costos			
Averturas	**Detalles**	**Unidades**	**Costo total US$**
Puertas	Puertas placas 0,6 m	17	699,76
	Puertas 0,6 vidrio	2	484,26
	Puerta doble de vidrio 1,8x2 m	1	677,97
	Puertas reforzada 0,86 X2 m aluminio	3	566,59
	Puertas PVC pleglable 0,9 m PG	2	87,17
	Puerta corrediza de chapa 3x4 m	5	1571,91
	Puerta hierro 0,9m Barmetal	1	235,11
	Puerta corrediza de chapa 3x4 m	1	314,38
	Puerta hierro 0,9m Barmetal	1	235,11
Ventanas	ventanas oscilante 0,75 x 0,98 m de aluminio	6	1043,10
	Costo total US$		**5915,35**

Seguridad		
Detalle	**Unidades**	**Costo total US$**
Zorra hidráulica manual Ecovi	1	338,98
Matafuegos	1	46,00
Vestimenta del personal	2	3447,94
Costo total US$		**3832,93**

Organización	
Detalle	**Costo total US$**
Gastos de imprevistos y puesta en marcha	209603,77
Ingeniería y dirección de obras	43242,43
Gastos de estudio y proyecto	18330,79
Costo total US$	**271176,99**

La inversión total en Otros Costos Generales asciende a **US$ 280925,27.**

Resumen de la inversión

Inversión	
Detalle	**Costo US$**
Máquinas y Equipos	366615,80
Servicios Auxiliares	154961,58
Equipamiento General	10932,43
Obras Civiles	864848,67
Organización	271176,99
Otros	9748,28
Costo US$	**1678283,75**

La inversión para llevar adelante este proyecto equivale a **US$ 1678283,75.**

Costos de Producción

Determinada la inversión para llevar a cabo el proyecto es necesario conocer la rentabilidad del mismo; para ello se evaluará los costos industriales de las diferentes etapas de producción.

La elaboración del biocombustible de aceite de ricino involucra gastos directos que se generan en sintonía con los caudales de producción y gastos indirectos y costos fijos que están presentes aunque no exista la manufactura del producto en cuestión.

Como se mencionó en capítulos anteriores la línea de producción está integrada por dos plantas de proceso; la de extracción en cual se obtiene aceite de ricino como producto intermedio principal y expeller como subproducto a partir de semillas de ricino, mientras que la planta de conversión genera biocombustible como producto principal y como subproductos glicerina y fosfato de potasio, a partir de aceite de ricino.

Por lo mencionado hasta aquí es lógico interpretar que los costos de la producción generados en cada línea, por los productos y subproductos deben ser prorrateados a cada uno en proporciones equivalentes; al menos en las etapas comunes de elaboración. Esto último está condicionado, además, por la importancia entre productos y subproductos respecto de su salida y valor comercial en los mercados.

El criterio de prorrateo se basará en la importancia económica del producto, o dicho de otro modo en su potencial para recuperar la inversión. Por ejemplo, en la planta de extracción se produce aceite de ricino y expeller de forma simultánea

abarcando aproximadamente un 80% de la instalación y como cabe esperar que el aceite pueda absorber el total de los costos y seguir teniendo una precio rentable para el mercado, se le asignará el 90% de los gastos comunes que posee con el expeller.

Los costos indirectos y gastos fijos afectan a productos y subproductos por igual; se adoptará el criterio de que el biocombustible será cual absorba la totalidad de estos gastos por ser el principal medio de ingreso de la empresa.

Costo del Producto

Los costos se evaluaran para una producción mensual y serán expresados en dólares estadounidense por litro de biocombustible terminado.

Costos directos. Planta de extracción

Aceite de ricino y expeller. Etapas comunes

Materia Prima

La materia prima se refiere a granos de ricino limpios (sin cáscara) puestos en fábrica.

Materia Prima		
Detalle	**Ton/mes**	**US$/ton**
Granos de ricino	666,67	122,30
Agua industrial	5,00	0,03
Costo por litro de producto US$		**0,03**

Energía Eléctrica

Según el último cuadro tarifario (vigente hasta abril de 2018) de la empresa distribuidora de energía en la provincia de Entre Ríos (Enersa), para una vinculación en media tención de 13,2 kV el precio del kW/h por consumo en hora pico asciende a US$ 0,0626.

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kwh**	**Costo total US$**
Motor para el llenado del silo de producción	27,04	0,0626	1,69
Motor para el envío de granos a la zaranda	45,83	0,0626	2,87
Zaranda de limpieza	371,10	0,0626	23,23
Motor de la cinta de transporte de granos (2)	484,18	0,0626	30,31
Extrusora (3)	44561,14	0,0626	2789,53
Prensa (3)	48437,89	0,0626	3032,21
Motores de los tornillos sin fin para expeller (2)	241,54	0,0626	15,12
Centrífuga decantadora	2422,00	0,0626	151,62
Motor tornillo sin fin para finos	120,77	0,0626	7,56
Costo total mensual US$			6054,14
Costo por litro de producto US$			**0,02**

Prorrateo

De las etapas comunes se desprenden los siguientes costos:

Prorrateo			
Detalle	**US$/mes**	**Prorrateo**	**Costo total mensual US$**
Aceite de ricino	6150,04	90%	5535,03
Expeller	6150,04	10%	615,00
Costo por kg de expeller US$			0,001845011
Costo por litro de aceite US$			**0,016605095**

Etapas particulares. Aceite de Ricino

Energía Eléctrica

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kw**	**Costo total US$**
Decantador	355,73	0,0626	22,27
Motor del agitador del tanque de desgomado	120,50	0,0626	7,54
Bomba que alimenta de agua al tanque de desgomado	0,46	0,0626	0,03
Bomba que alimenta de agua al intercambiador de calor	29,79	0,0626	1,86
Centrífuga clarificadora	995,58	0,0626	62,32
Motor tornillo sin fin para gomas	29,79	0,0626	1,86
Costo total mensual US$			95,90
Costo por litro de producto US$			**0,000287686**

Vapor

Se calculará primero el costo de un kilogramo de vapor, esto incluye el combustible, la energía eléctrica y el agua consumida por la caldera. El precio hallado será común para todas las etapas que utilicen vapor.

Cabe aclarar que en al comienzo la planta utilizará gasoil como combustible de caldera hasta que pueda autoabastecerse.

Combustible			
Detalle	**Litros/mes**	**US$/litro**	**Costo total mensual US$**
Consumo de la caldera (gas oíl)-6h de trabajo	15000	1,02	15254,24
Costo por kg de vapor US$			**0,49**

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kwh**	**Costo total US$**
Caldera	551,25	0,0626	34,522
Bomba de provisión de combustible	0,25	0,0626	0,015
Costo total mensual US$			34,53722833
Costo por kg de vapor US$			**0,001113984**

Agua tratada			
Detalle	**Unidades/mes**	**US$/unidad**	**Costo total US$**
Agua industrial (litros)	31250	2,70218E-05	0,84
Regenerador del ablandador (kg)	12,50	0,05	0,58
Costo total mensual US$			1,43
Costo por kg de vapor US$			**4,59804E-05**

Se estima que la puesta en régimen de la caldera tiene un costo del 15% el valor del vapor. Luego el precio de la producción de un kilogramo de vapor asciende a **US$ 0,56.**

Consumo de vapor			
Detalle	**kg/mes**	**US$/kg**	**Costo total mensual US$**
Proceso de desgomado	9203,33	0,56	5153,87
Costo por litro de aceite US$			**0,0154616**

Resumiendo el costo total (solo incluyendo costos directos) de un litro de aceite de ricino asciende a **US$ 0,0323.**

Etapas particulares. Expeller

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kwh**	**Costo total mensual US$**
Tornillo sin fin para de expeller	120,77	0,0626	7,56
Costo por Kg de expeller			**2,26808E-05**

Costos directos. Planta de conversión

Biocombustible, glicerina y fosfato de potasio. Etapas comunes

Materia Prima e Insumos

Materia Prima e Insumos			
Detalle	**Litros/mes**	**US$/litro**	**Costo mensual total US$**
Aceite de ricino	333333,33	0,0323	10766,67
Alcohol metílico	415	0,889	368,94
Costo por litro de producto US$			**0,03**

Energía eléctrica

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kwh**	**Costo total US$**
Bomba de provisión de aceite al tanque de transesterificación	36,67	0,0626	2,30
Bomba de llenado del mezclador de catalizador	1,72	0,0626	0,11
Bomba provisión de catalizador al tanque de transesterificación	1,72	0,0626	0,11
Motor del agitador del tanque de transesterificación	100,42	0,0626	6,29
Bomba que alimenta el evaporador	36,67	0,0626	2,30
Evaporador	18,33	0,0626	1,15
Bomba de llenado del separador gravitatorio	36,67	0,0626	2,30
Costo total mensual US$			14,54
Costo por litro de biocombustible US$			**4,3622E-05**

Vapor

Consumo de vapor			
Detalle	**kg/mes**	**US$/kg**	**Costo total US$**
Transesterificación	5050	0,56	2828
Evaporador	16750	0,56	9380
Costo mensual del vapor US$			12208
Costo del vapor por litro de producto US$			**0,036624**

Prorrateo

De las etapas comunes se desprenden los siguientes costos:

Prorrateo			
Detalle	**US$/mes**	**Prorrateo**	**Costo total mensual US$**
Biocombustible	23358,15	65%	19854,4275
Glicerina	23358,15	10%	2335,8150
Fosfato de potasio	23358,15	5%	1167,9075
Costo por kg de fosfato de potasio US$			0,4738
Costo por litro de glicerina US$			**0,271673524**
Costo por litro de biocombustible US$			**0,059563283**

Etapas particulares. Biocombustible

Energía Eléctrica

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kw**	**Costo total mensual US$**
Bomba de vaciado del separador gravitatorio	33,23	0,0626	2,08
Costo por litro de biocombustible US$			6,24306E-06

Etapas particulares. Glicerina y Fosfato de potasio

Materia Prima

Materia Prima			
Detalle	**Litros/mes**	**US$/litro**	**Costo mensual total US$**
Ácido fosfórico	41,54	1,095	45,49
Costo por kg de fosfato de potasio US$			**0,02**

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kwh**	**Costo total US$**
Bomba de vaciado del separador gravitatorio	3,44	0,0626	0,22
Bomba de provisión de glicerina cruda al reactor	3,44	0,0626	0,22
Bomba de provisión de ácido fosfórico al reactor	6,88	0,0626	0,43
Bomba de filtrado	5,73	0,0626	0,36
Costo total mensual US$			1,22
Costo por litro de glicerina US$			**0,000141733**

Resumen de los gastos directos de los productos y subproductos para la venta

Costos Directos		
Detalle	**US$/unidad**	**US$/mes**
Biocombustible (litro)	0,06	19856,51
Glicerina (litro)	0,27	2337,03
Expeller (Kg)	0,0019	622,56
Fosfato de potasio (Kg)	0,49	1213,39

Costos indirectos y cargos fijos

Limpieza de equipos			
Detalle	**Unidades/mes**	**US$/unidad**	**Costo total US$**
Vapor (kg)	1104,17	0,56	618,33
Agua (m3)	125,00	0,03	3,38
NaOH (kg)	416,67	0,37	154,17
Costo total mensual US$			775,88
Costo de la limpieza por litro de biocombustible US$			**0,002327633**

Energía Eléctrica			
Detalle	**Kw/mes**	**US $/Kwh**	**Costo total mensual US$**
Iluminación y Equipos de Oficinas	6631,67	0,0626	415,14
Costo por litro de biocombustible US$			**0,001245427**

Depreciaciones y Amortizaciones			
Concepto	**Detalle**	**Costo anual US$**	**Costo mensual US$**
Depreciación	Obras Civiles 3% anual	25945,46	2162,121675
	Máquinas y Equipos 10% anual	36661,58	3055,131667
	Equipamiento General 10 % anual	1093,24	91,10358333
Amortización	Estudio y Proyecto 25% anual	4582,70	381,8914583
	Instalaciones 25% anual	1404,89	117,0745258
	Gastos de Imprevistos y Puesta en Marcha 25% anual	52400,94	4366,745208
	Costo total US$	122088,82	10174,06812
	Costo total por litro de biocombustible US$		**0,030522204**

Vestimenta		
Detalle	**Entregas anuales**	**Costo Mensual US$**
Ropa del personal	2	287,33
Costo total por litro de biocombustible US$		**0,000861985**

Tarifa eléctrica mensual			
Detalle	**US$/kW-mes**	**kW totales**	**Costo total US$**
Por capacidad de suministro contratada en horas de punta	4,34	948,80	4113,61
Por capacidad de suministro contratada en horas fuera de punta	4,00	40,30	161,28
Cargo fijo mensual			357,88
Costo total mensual US$			4632,77
Costo por litro de Biocombustible US$			**0,013898317**

Sueldo del Personal				
Personal	**Cantidad**	**Sueldo bruto $**	**Sueldo neto $**	**Costo total $**
Gerente General	1	42960	33066,31	56277,60
Jefe de producción	1	35800	27555,26	46898
Supervisor de Planta de Extracción	1	30204	23248,02	39567,24
Supervisor de Planta de Transformación	1	30204	23248,02	39567,24
Operario de la Planta de extracción	3	15500	11930,35	60915
Operario de la Planta de transformación	2	15500	11930,35	40610
Jefe de Control de Calidad	1	30204	23248,02	39567,24
Auxiliar de Laboratorio	1	20000	15394	26200
Jefe Encargado de Administración	1	23490	18080,25	30771,90
Jefe Encargado de Compras y Ventas	1	23490	18080,25	30771,90
Encargado de Portería	1	11000	8466,70	14410
Operarios de recepción	2	15500	11930,35	40610
Operario de Limpieza	1	15500	11930,35	20305
Empleado de Vigilancia	3	10000	7697	39300
Empleado de Limpieza	2	12000	9236,40	31440
Empleado de Mantenimiento	1	15500	11930,35	20305
Costo total mensual US$				27966,88232
Costo por litro de Biocombustible US$				**0,083900647**

Los costos indirectos y cargos fijos, como se mencionó anteriormente, serán agregados directamente a los gastos del biocombustible; además este último

deberá absorber los costos que producen la carga de camiones de expeller mediante una pala mecánica alquilada (**US$ 1250** por mes) y el costo de los envases del fosfato de potasio (**US$ 291,67** por mes).

Costos totales de los productos y subproductos

Costos de Producción-Precio de venta			
Detalle	**US$/unidad**	**Precio de venta US$/unidad**	**Precio de venta US$/ton**
Biocombustible (litro)	0,197	0,470	440,011
Glicerina (litro)	0,27	0,314	395,573
Expeller (kg)	0,0019	0,035	35,351
Fosfato de potasio (kg)	0,49	0,595	595,206

Evaluación del proyecto. Recupero de la inversión

Conociendo los costos de producción y las utilidades se puede determinar el tiempo en que se ha de recuperar la inversión inicial de la empresa. Para ello es necesario sumar al costo de inversión calculado el capital de trabajo, establecido para un año completo de trabajo de todo el personal.

$$Recupero\ de\ la\ inversión = \frac{Inversión + capital\ de\ trabajo}{Ingreso\ anual\ estimado}$$

$$Recupero\ de\ la\ inversión = \frac{2013886{,}34\ US\$}{2097474{,}81\ \frac{US\$}{año}} = \mathbf{1}\ \boldsymbol{año s}$$

Es decir que el recupero de la inversión ocurrirá en **1 año** de producción.

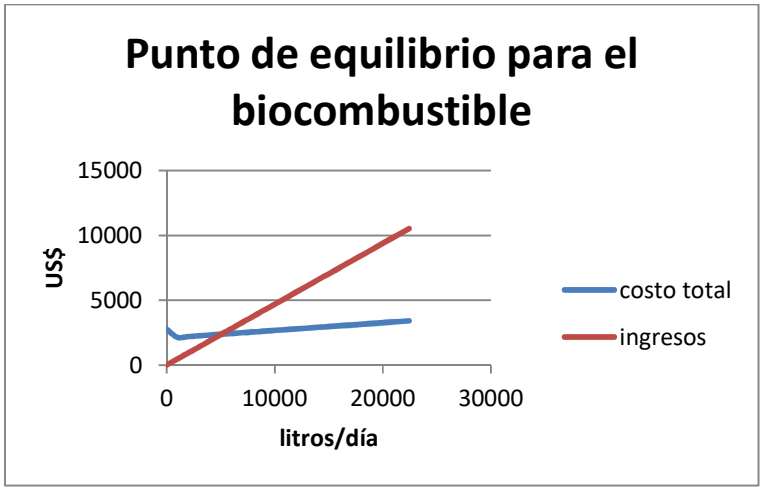
Punto de equilibrio

El punto de equilibrio tiene un carácter orientativo y relaciona los costos totales generados por la producción y el ingreso pretendido para lo producido; permite ver claramente sí el volumen propuesto de elaboración es suficiente para generar un retorno de capital a la empresa por encima de los gastos. En otras palabras ofrece una idea de la rentabilidad del proyecto en función de su producción.

Para encontrar el punto de equilibrio se evaluarán tres situaciones:

- La empresa trabaja por debajo de la capacidad propuesta.
- La empresa trabaja con la capacidad propuesta en el proyecto.
- La empresa trabaja a máxima capacidad (40% por encima de lo propuesto).

Punto de equilibrio - Biocombustible			
Detalle	**8 000 litros/día**	**16 000 litros/día**	**22400 litros/día**
Costos variables US$	480	960	1344
Costos fijos US$	2080	2080	2080
Ingreso por ventas US$	7521	7521	10530



Puede verse en el gráfico que la producción propuesta está alejada del punto de equilibrio (positivamente) lo que garantiza un ingreso neto para la empresa. De todas formas el punto de equilibrio no es suficiente para evaluar la rentabilidad del proyecto por lo que se recurre al cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y al Valor Actual Neto (VAN).

VAN

Para tomar una decisión sobre la rentabilidad del proyecto, hay que compararlo con las alternativas de inversión, es decir con el beneficio que el dinero invertido en el proyecto hubiera podido generar si fuese invertido en el mejor uso alternativo (ejemplo invertirlo en un plazo fijo).

El VAN representa el valor presente de los beneficios netos por encima del costo de oportunidad del dinero. Por lo tanto, un VAN igual a cero no significa que no hay beneficios, sino significa que los beneficios alcanzan tan sólo a compensar los costos de oportunidad de sacrificar otras alternativas de inversión. Un VAN negativo no necesariamente implica que no hay beneficios, sino que los beneficios no alcanzan a compensar los costos de oportunidad de dejar de lado alternativas de inversión; en tal caso será más rentable invertir en las alternativas y optar por no invertir en el proyecto. Asimismo, un valor presente neto positivo implica que el proyecto arroja un beneficio aún después de cubrir el costo de oportunidad de las alternativas de inversión.

TIR

La tasa interna de retorno es otro criterio para la toma de decisiones sobre el proyecto de inversión. Se define como la tasa de interés que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero; es decir indica la tasa de interés de oportunidad para la cual el proyecto será apenas aceptable. Para cualquier tasa de interés de oportunidad por encima de la TIR, el VAN va a ser negativo. La TIR es, entonces, un valor crítico de la tasa de interés de oportunidad que mide la rentabilidad del dinero mantenido dentro del proyecto.

Estado de resultado proyectado

Para la evaluación de este proyecto se establecerá un periodo de 5 años en que la producción aumenta progresivamente hasta la capacidad máxima de la planta.

Parte de la inversión, más precisamente el 47%, será abordada mediante la solicitud de un crédito en una entidad bancaria, con un sistema alemán y una tasa de interés del 23%, en 60 cuotas.

Además se diferenciará el impuesto a las ganancias que para medianas empresas corresponde al 35%.

Datos

Demanda					
Años	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Litros Biocombustible estimados	4000000	4400000	4800000	5200000	5600000
Precio unitario Biocombustible US$	0,470	0,470	0,470	0,470	0,470
Litros Glicerina estimados	103242	113566,2	123890,4	134214,6	144538,8
Precio unitario Glicerina US$	0,314	0,314	0,314	0,314	0,314
Kg de Expeller estimados	4000000	4400000	4800000	5200000	5600000
Precio unitario Expeller US$	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
Kg Fosfato de Potasio estimado	29577,5	32535,25	35493	38450,75	41408,5
Precio unitario Fosfato de Potasio US$	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595

Ingresos					
Años	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Ventas del producto US$	2097474,815	2307222,297	2516969,78	2726717,26	2936464,74
Total US$	**2097474,815**	**2307222,297**	**2516969,78**	**2726717,26**	**2936464,74**

Egresos					
Años	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Costos de producción variables US$	837968,32	921765,15	1005561,98	1089358,81	1173155,64
Costos fijos US$	64022,91	64022,91	64022,91	64022,91	64022,91
Total US$	**901991,229**	**985788,0609**	**1069584,89**	**1153381,72**	**1237178,56**

Depreciaciones			
Detalle	**Vida útil**	**Valor**	**Total US$**
Obras Civiles	25	864848,67	34593,9468
Máquinas y Equipos	10	366615,80	36661,58
Equipamiento General	5	10932,43	2186,486
Total anual US$			**73442,0128**

Inversión	
Detalle	**Costo US$**
Máquinas y Equipos	366615,80
Servicios Auxiliares	154961,58
Equipamiento General	10932,43
Obras Civiles	864848,67
Organización	271176,99
Capital de Trabajo (1er año)	335602,588
Otros	9748,28
Costo total US$	**2013886,34**

El capital de trabajo fue agregado al monto de la inversión, el mismo constituye el conjunto de recursos necesarios para la operación normal y eficiente de un proyecto durante un ciclo productivo y para una capacidad y tamaño determinados. Cabe aclarar que el ciclo productivo es el proceso que se inicia con el primer desembolso para cancelar los insumos de la operación y finaliza cuando éstos se venden transformados en productos terminados, y se percibe el producto de la venta, quedando disponible para cancelar nuevos insumos.

Análisis

Como se mencionó anteriormente parte de la inversión será financiada a través de un préstamo bancario.

Financiación						
Años	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Préstamo US$	946527					
cuotas US$		-384341,6555	-341398	-298454	-255510	-212567
Flujo de fondos US$	**-1067359,76**	**486690**	**596471**	**706253**	**816034**	**925816**

Estado de resultado proyectado						
Años	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Ingresos		2097474,82	2307222,30	2516969,78	2726717,26	2936464,74
Costos de producción variables		837968,32	921765,15	1005561,98	1089358,81	1173155,64
Costos fijos		64022,91	64022,91	64022,91	64022,91	64022,91
Depreciaciones		73442,01	73442,01	73442,01	73442,01	73442,01
Intereses		195036,34	152092,56	109148,78	66205,00	23261,21
Utilidades antes de impuesto a las ganancias		**927005,23**	**1095899,66**	**1264794,10**	**1433688,53**	**1602582,96**
Impuesto a las ganancias		324451,83	383564,88	442677,93	501790,98	560904,04
Utilidades después del impuesto a las ganancias		**602553,40**	**712334,78**	**822116,16**	**931897,54**	**1041678,92**
Mas depreciaciones		73442,01	73442,01	73442,01	73442,01	73442,01
Mas intereses(*65%)		195036,34	152092,56	109148,78	66205,00	23261,21
Inversión	-2013886,34					
Flujo de fondos US$	**-2013886,3**	**871032**	**937869**	**1004707**	**1071545**	**1138382**

Detalle	**US$**	**Ponderación**	**Tasa**
Capital	1067359,76	0,53	40%
Deuda	946526,579	0,47	13%
Total intereses			**0,2731**

Evaluación	
TIR	**38,41%**
VAN	**US$ 484.155,77**
TIRF	**50,81%**

La **tasa interna de retorno** expresada para este proyecto es alta en comparación al capital de descuento que suelen ofrecer las entidades bancarias en operaciones financieras; por lo que muestra que es conveniente invertir en el proyecto.

El **valor actual neto** por su parte, al ser positivo, muestra que habrá beneficios que estarán por encima de los valores invertidos en el proyecto; y en este caso corresponde a un 24% el valor de la inversión inicial.

Por último la **tasa interna de retorno financiero** me permite ver que al pedir el préstamo tengo un efecto palanca positivo de 12,4 puntos porcentuales; es decir es mejor que invertir todo de mi capital.

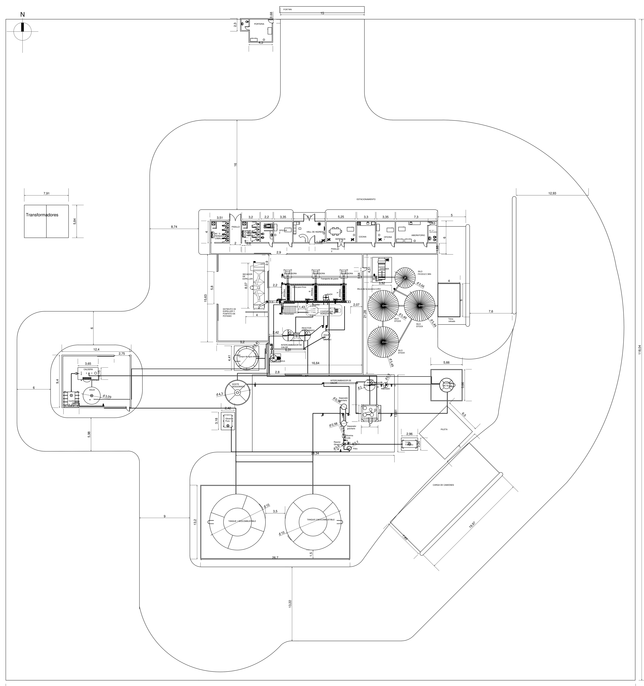
Periodo de repago actualizado						
Años	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Flujo de fondo US$	-2013886	871032	937869	1004707	1071545	1138382
Flujo actualizado US$	-2013886	777707	747664	715131	680986	645949
Flujo acumulado US$	**-1236179**	**-458472**	**289191**	**1004322**	**1685308**	**2331256**

Puede observarse que a los dos años ya se comienzan a tener utilidades y se puede inclusive volver a invertir.

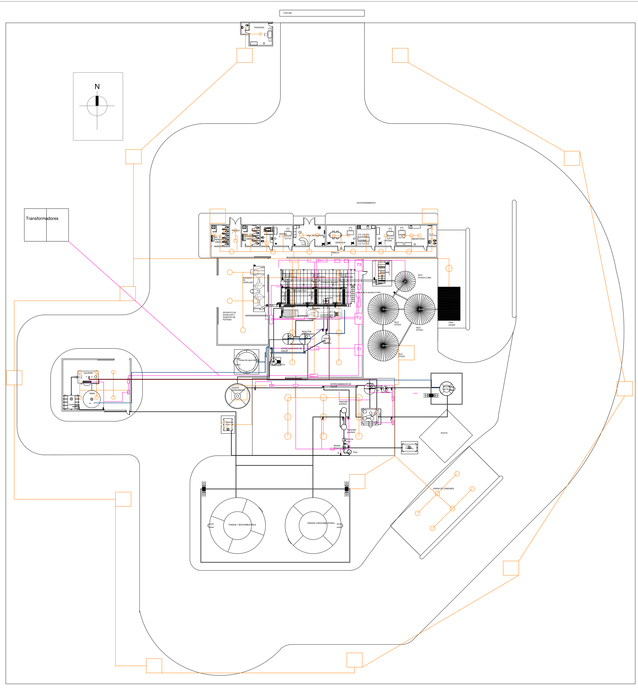
Anteriormente se determinó el punto de equilibrio para el biocombustible; en este caso se hallará la cantidad de producto necesario a producir para cubrir los costos fijos:

Punto de equilibrio	
Costo fijo total	332501,27
Contribución marginal	0,26058056
Punto de equilibrio en unidades de producto	**1276002**

Es necesario producir **1276002 litros** de biocombustible para lograr superar los costos totales de producción de la empresa.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RIOS	FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ALIMENTACION	
	CATEDRA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS	
	Alumno: Fernando Javier Ramirez	Docentes: Ing. Carlos Chiarella Ing. Eduardo Enders
Producción de biocombustible para quemadores de caldera o secadores, a partir de semilla/aceite de ricino		
Plano Nº 1 Fecha: Junio 2018	PLANO GENERAL DE PLANTA	Escala: 1:200



Vapor
Agua
Corriente eléctrica 380V
Luminaria y cableado 220V

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RIOS	FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ALIMENTACION	
	CATEDRA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS	
	Alumno: Fernando Javier Ramirez	Docentes: Ing. Carlos Chiarella Ing. Eduardo Estrada
Producción de biocombustible para quemadores de calderas a secadores, a partir de semillas/aceite de Ricino		
Plano Nº 2	SERVICIOS AUXILIARES	Escala: 1:100
Fecha: Junio 2018		