

# BIODIESEL

## Tecnología & Procesos

Ing. Eduardo Trombini



Eduardo Trombini

**Ingeniero Químico** (Universidad Nacional de Río Cuarto).

**Licenciado en Química Industrial** (Universidad Católica Argentina).

Ex Director de la Carrera de Ingeniería Química. UCA Campus Rosario.

Docente de la Cátedra de *Procesos Industriales*, en la carrera de Ingeniería Ambiental. UCA Campus Rosario.

Experiencia en empresas nacionales y multinacionales liderando operaciones de grandes plantas industriales de proceso continuo.

Disertante en el "XIII Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites". Nov. 2009 sobre el tema: "Consideraciones de Procesos en la Producción de Biodiesel".

Publicaciones de artículos para la Revista A&G, de ASAGA:

"Procesos de separación en la producción de biodiesel. Tecnología y práctica en la Industria". Tomo XXI Vol. 1. Marzo 2011.

"Planta de producción de LDC Argentina. Procesos y Tecnología". Tomo XXI Vol. 3. Septiembre de 2011.

Empresas en las que he trabajado durante mi recorrido laboral:

*Molinos Río de la Plata SA.*

*Louis Dreyfus Commodities Argentina SA.*

*Terminal 6 SA. (Grupo Bunge - AGD).*

# Desarrollo

Caracterización biológica de semillas de uso industrial.

01

02

Aceites y Grasas para Producción de Biodiesel.

Reacciones Químicas de los Aceites.

03

04

Fundamentos de los Procesos de Reacción.

Procesos de Separación Físicoquímica.

05

06

Seguridad en Plantas de Producción de Biodiesel.

# Caracterización biológica de semillas de uso industrial

# Breve historia del comercio de granos en el mundo

## Comercio de granos en el Antiguo Egipto (2.000 años A.C.)

- La economía del Antiguo Egipto se basaba en el trueque.
- Hasta el Imperio Nuevo, el comercio exterior no supero el ámbito de la pequeña escala. Egipto exportaba granos de trigo, lino y papiros e importaba madera del Líbano, Cobre de Chipre e incienso del este.
- En el mes de Setiembre, cuando disminuían las crecientes se iniciaba el ciclo agrícola anual. Se iniciaba la siembra de trigo, cebada y lino, principales productos de la agricultura Egipcia.
- La cosecha comenzaba en Abril, el grano era transportado a graneros, donde era almacenado para su consumo básicamente para elaborar pan y una pequeña parte se conservaba para utilizarla como semilla para la siguiente siembra.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920

Las áreas sembradas de trigo, maíz y lino muestran una fuerte expansión en el período; de poco más de **cien mil hectáreas en 1872 a más de doce millones en 1920.**

Las exportaciones de granos, de inexistentes, pasaron al orden de **diez millones de toneladas en 1920.**



(1) Tomado del artículo: "Sobre los orígenes de la comercialización de granos en Argentina (c. 1870-1920)".  
Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario.

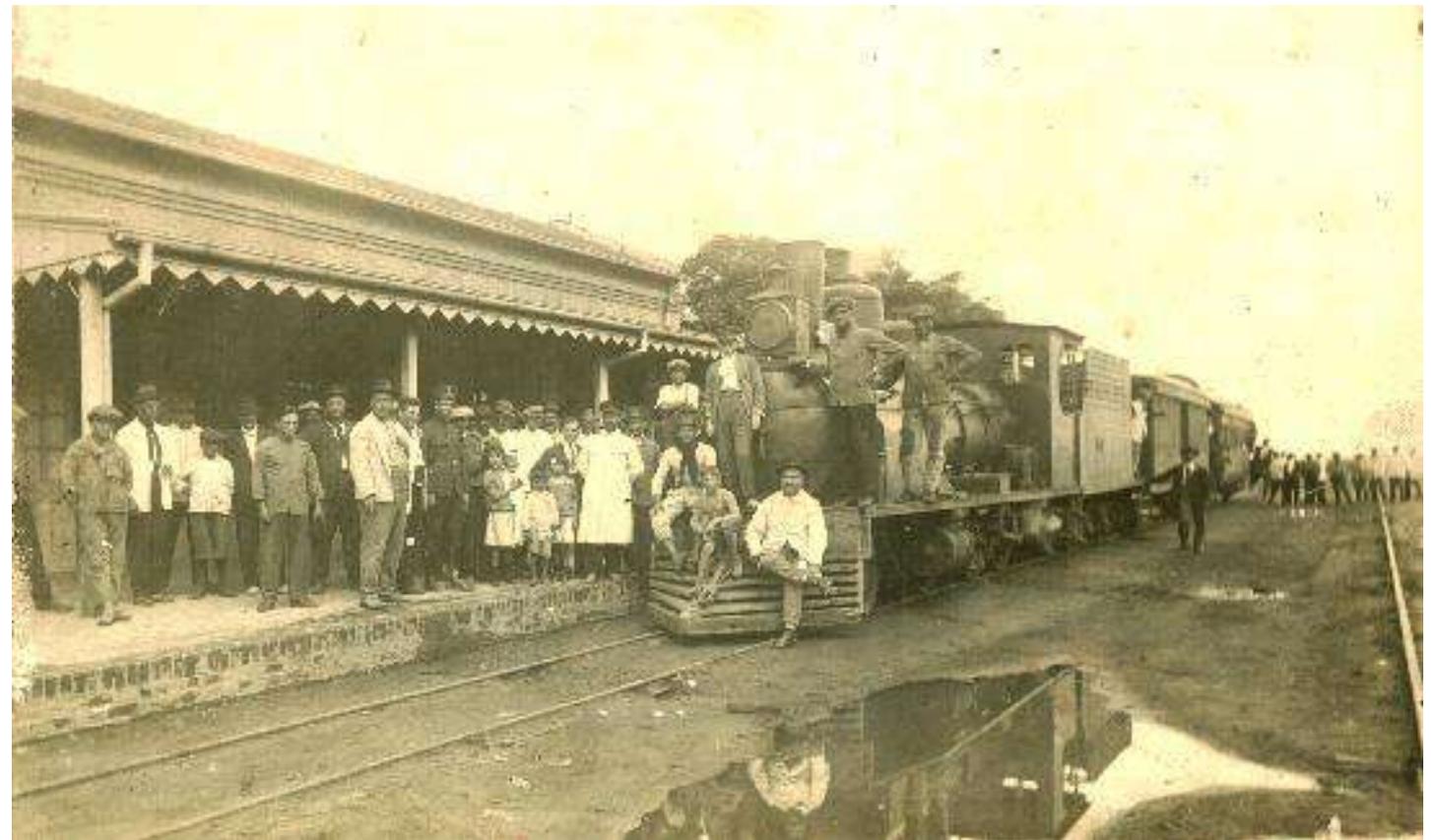
# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920 – Aspectos Logísticos

En cuanto al **transporte**, en **1857** se había inaugurado el primer tramo del Ferrocarril Oeste, dando así inicio a una nueva etapa en la producción agrícola.

El ferrocarril permitió adherir al sistema productivo superficies no consideradas antes debido a la dificultad para acercar la mercadería hasta el mercado.

Se abarató el traslado de los bienes, ya sea al lugar de consumo interno o hacia los puertos, para luego ser exportados.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920 – Aspectos Logísticos

En cuanto al **almacenamiento**, los granos eran almacenados y transportados en **bolsas**; prácticamente no hubo almacenamiento ni transporte a granel.

El transporte no estaba especializado y el cereal era transportado conjuntamente con “productos del país” (lanas, cueros, etc.) en un mismo vagón del ferrocarril y en una misma bodega de un barco, pero luego con grandes volúmenes y especialización en el transporte, este sistema se convirtió en una dificultad.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920 – Aspectos Logísticos

En los primeros tiempos había escasez de galpones y silos, lo que era subsanado por estibas cubiertas con lonas.

Aunque los ferrocarriles proveyeron almacenamiento construyendo grandes galpones en las estaciones ferroviarias, éste fue un problema muy importante a resolver.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920 – La Institucionalización de la Comercialización

**Año 1854:** Se presenta en Buenos Aires, primeramente la Sala de Comercio de Frutos del País del Mercado Once de Septiembre.

**Año 1898:** Adopta el nombre de “**Bolsa de Cereales**”, siendo su denominación oficial “Bolsa de Cereales, Oleaginosos, Frutos y Productos”.

En sus inicios, las operaciones que se realizaban no tenían gran complejidad ni requerían fuertes controles de calidad.



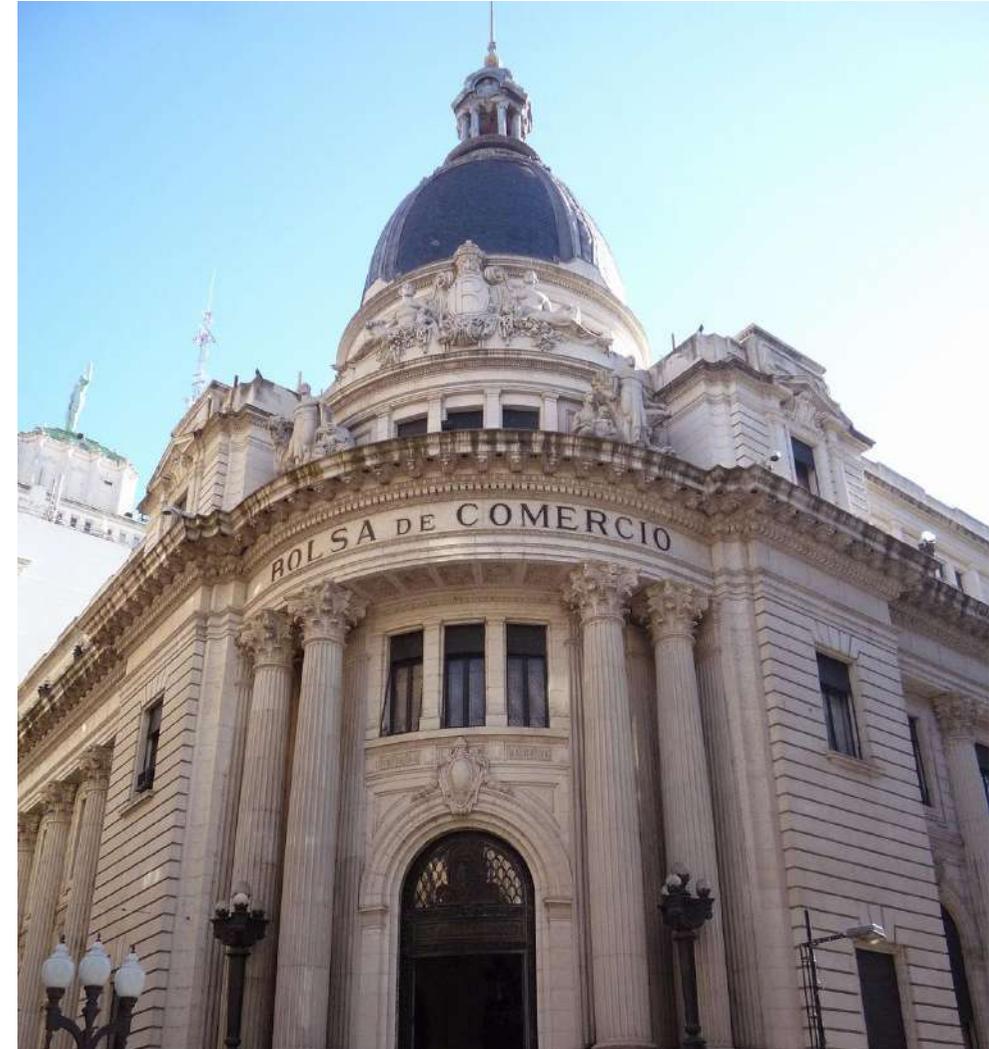
# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920 – La Institucionalización de la Comercialización

**Año 1858:** Una de las instituciones que se formó con el fin de mejorar el comercio fue el **Casino Mercantil**, el cual se considera primer precursor de la Bolsa de Comercio de Rosario.

**Año 1884:** quedó formalmente constituido el **Centro Comercial del Rosario**.

**Año 1899:** el Centro Comercial del Rosario pasó a denominarse **Bolsa de Comercio del Rosario**.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## Periodo 1872 -1920 – La Institucionalización de la Comercialización

**Año 1902:** Se establece la **Comisión Arbitral** dentro de la Bolsa de Comercio de Buenos Aires que luego pasaría a denominarse Cámara Gremial de Cereales en el año 1905, y cambiaría nuevamente de nombre al integrarse a la Bolsa de Cereales de Buenos Aires en 1966, pasando a llamarse **Cámara Arbitral**.

Las actividades cotidianas de la Cámara se centraban en **la inspección y certificación de las muestras recibidas**, y en la determinación y publicidad de los precios oficiales en la pizarra.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

## La primera exportación de granos desde Rosario

**Carlos Casado del Alisal**, (fundador también del Banco Provincia de Santa Fe) fue el iniciador de las exportaciones a Liverpool, en una operación emblemática.

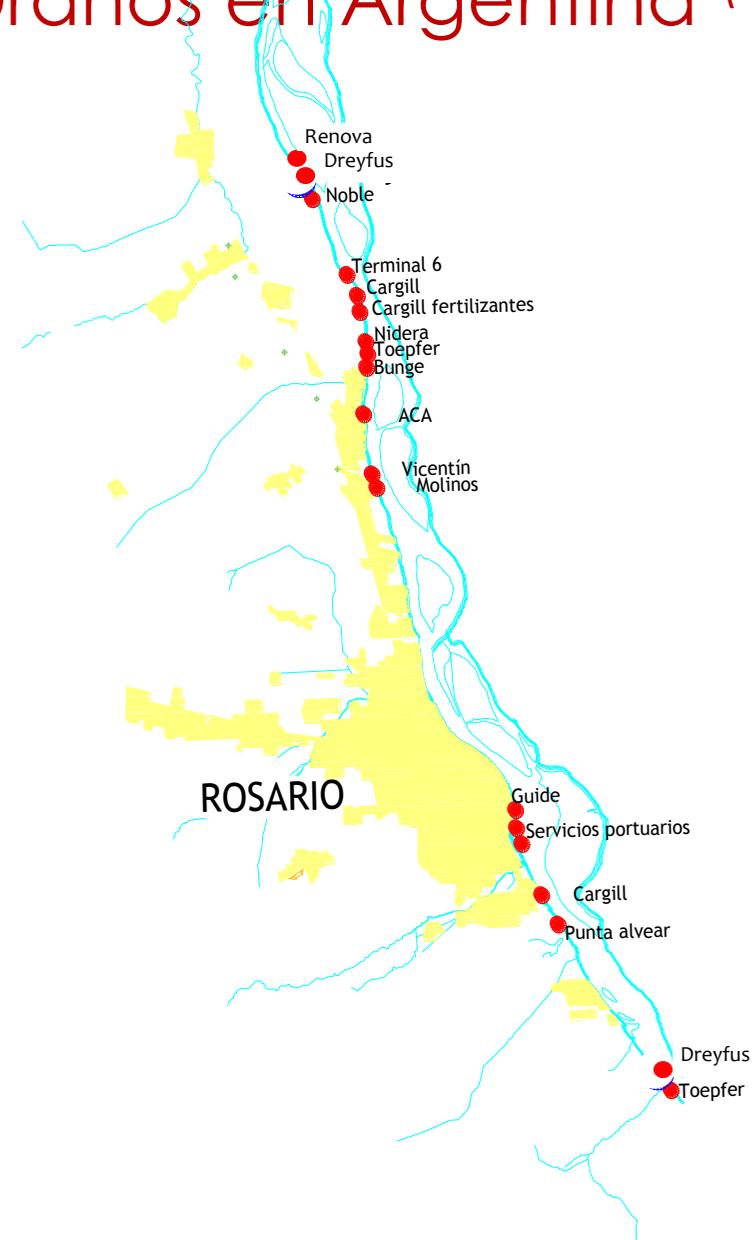
El **12 de abril de 1878**, los muelles rosarinos fueron testigos de la primera exportación de trigo argentino, a través de seis grandes veleros de ultramar que partieron hacia Gran Bretaña llevando 4.500 toneladas del cereal provenientes de Colonia La Candelaria, hoy la ciudad de Casilda.



# Breve historia del Comercio de Granos en Argentina <sup>(1)</sup>

En lo que respecta a Rosario,  
**Domingo Faustino Sarmiento** en 1851  
al encontrarse en esta ciudad decía  
que:

*“Rosario está destinado por su  
posición geográfica a ser uno  
de los más poderosos centros  
comerciales de la República  
Argentina”.*



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial



# Introducción a la Biología de los Granos

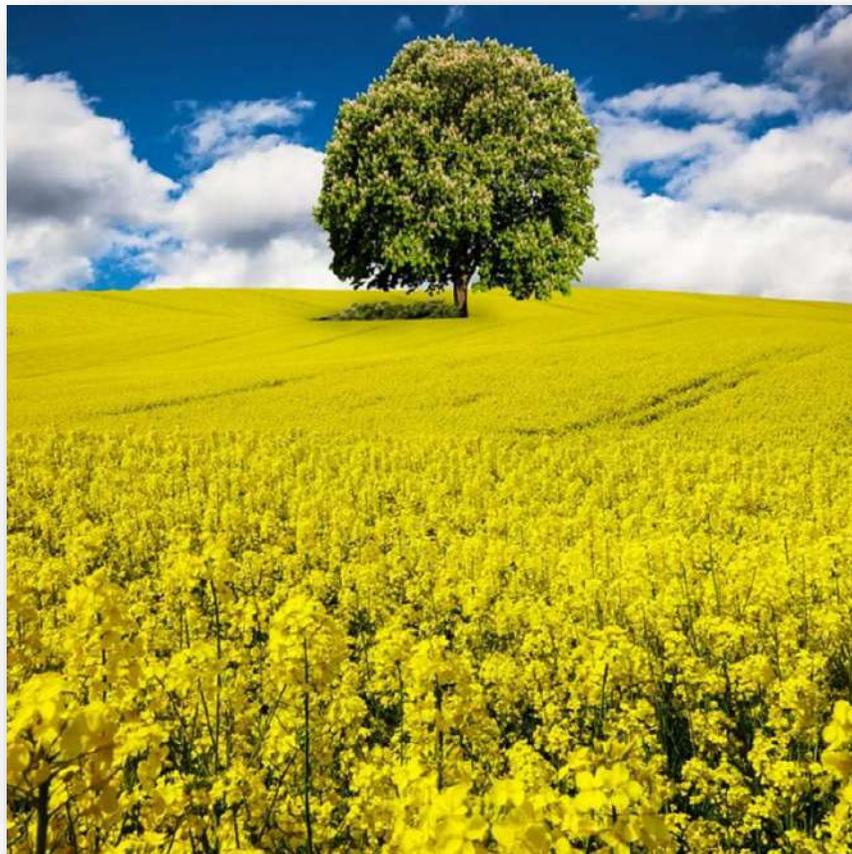
## Las semillas de uso industrial



**SOJA**

# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial



**COLZA**

# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

<b>CEREALES</b>	<b>OLEAGINOSAS</b>
<b>Monocotiledóneas Albuminadas</b>	<b>Dicotiledóneas Exalbuminadas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Trigo</li><li>➤ Maíz</li><li>➤ Arroz</li><li>➤ Cebada</li><li>➤ Centeno</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Soja</li><li>➤ Girasol</li><li>➤ Colza</li><li>➤ Maní</li><li>➤ Cártamo</li></ul>

# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Origen de la SEMILLA

Deriva del óvulo fecundado de la flor y sus componentes principales son:

- **Embrión**
- **Endosperma**
- **Cubierta seminal**



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Embrión

Futura planta en estado primordial y sus componentes más importantes son:

- **Plúmula**
- **Talluelo**
- **Radícula**
- **Cotiledón/es**



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Endosperma

Son las reservas nutritivas para el embrión

- **Albumen en los Cereales**
- **Cotiledones en las Oleaginosas**



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Cubierta Seminal

Estructura derivada de los tegumentos del óvulo y proporciona:

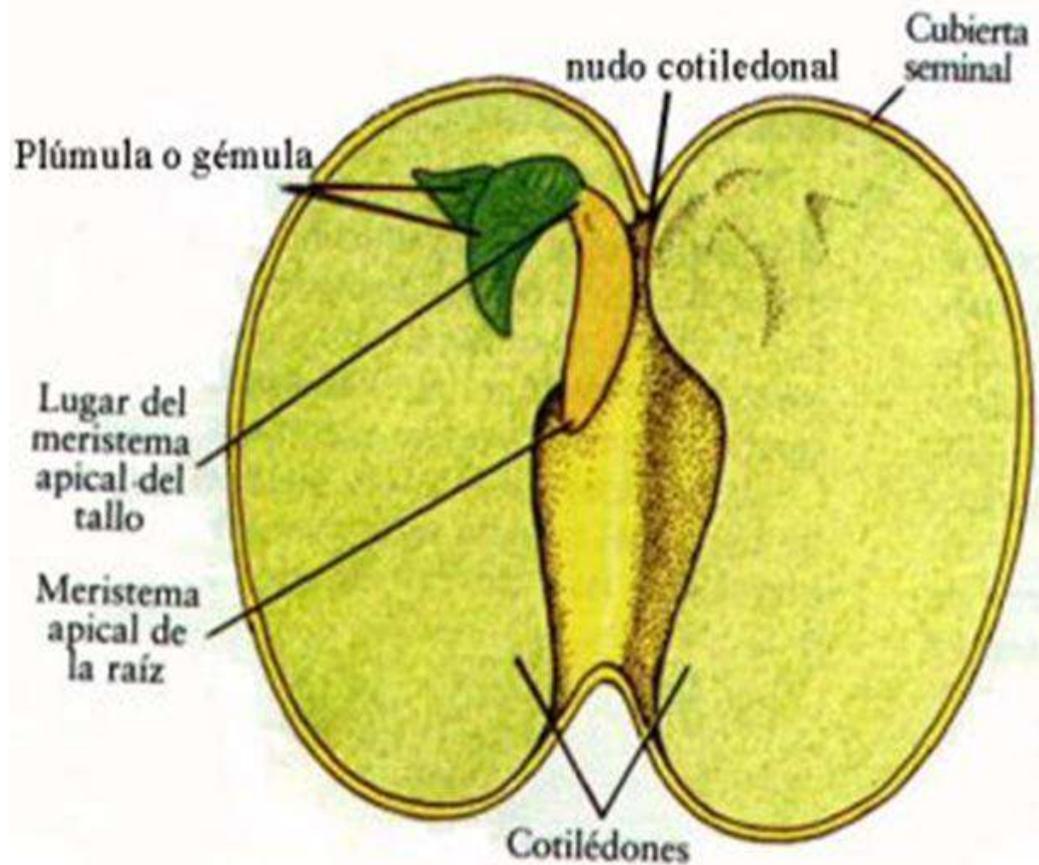
- **Protección física y biológica**
- **Impermeabilidad frente a gases y agua**



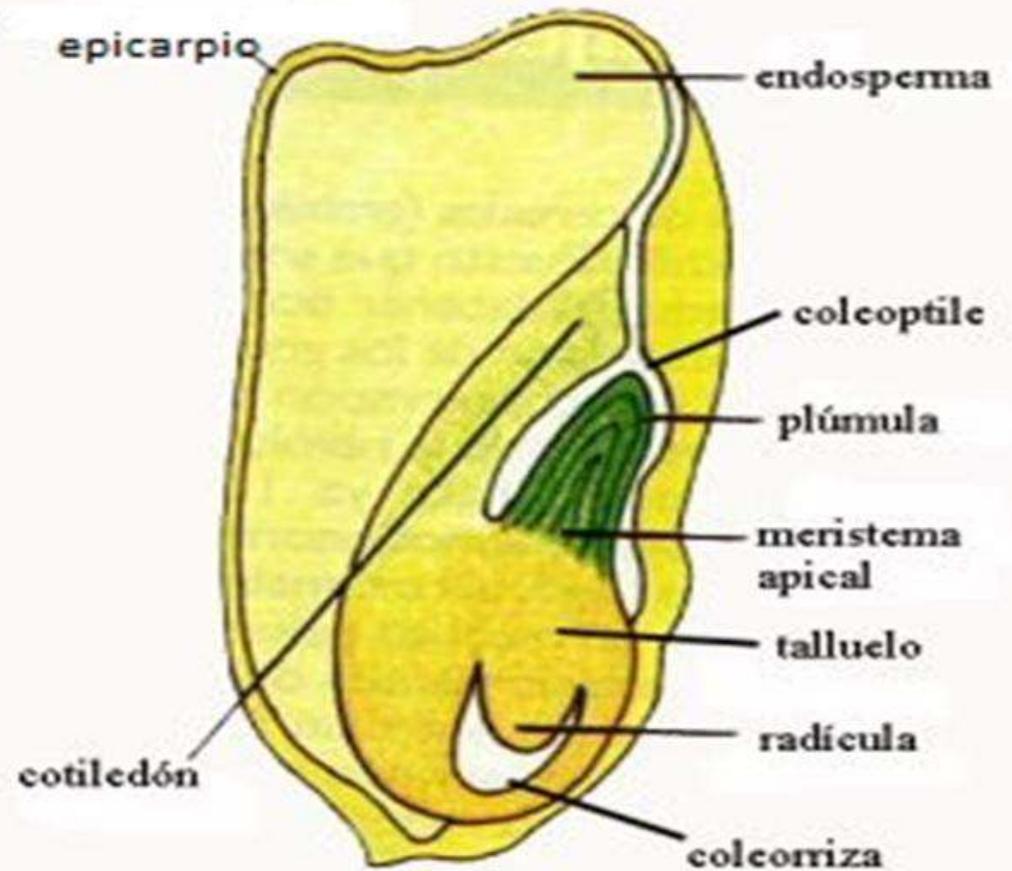
# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Dicotiledónea Exalbuminadas



### Monocotiledónea Albuminada



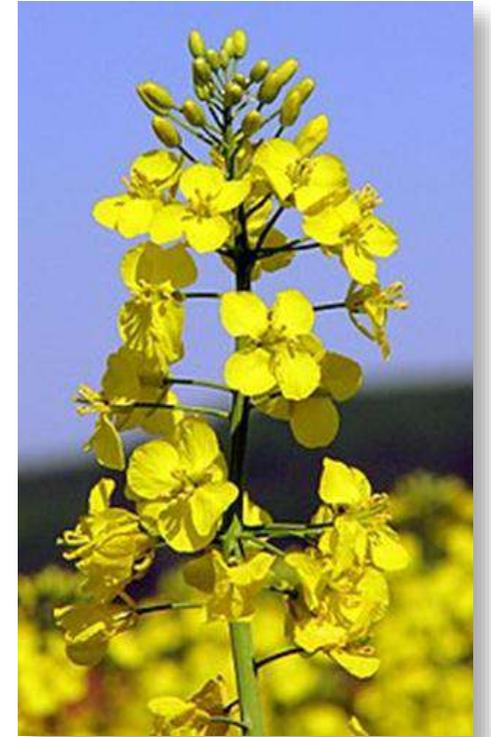
# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Colza (*Brassica napus* L.)

Especie oleaginosa

La colza (*Brassica napus* L.) es una planta herbácea perteneciente a la familia de las Brasicáceas (Crucíferas) que alcanza hasta 2 m de altura y produce una semilla pequeña y redonda, de color negro, marrón o amarillo, de alto contenido de aceite (40-45 % de aceite).



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Colza (*Brassica napus* L.)

Especie oleaginosa

El aceite de colza con bajo contenido de ácido erúxico se utiliza como aceite comestible, así como para hacer margarinas.

Los aceites de alto contenido de ácido erúxico se utilizan como lubricantes y para la síntesis de plásticos. La harina de extracción posee un alto contenido de proteína (36-37 %) de alto valor nutricional, utilizándose como suplemento proteico.

Otro uso del aceite de colza es la producción de biodiesel, el cual es conocido como RME (rapeseed methyl éster).



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Colza (*Brassica napus* L.)

#### Especie oleaginosa

Uno de los aspectos más importantes en el desarrollo del cultivo de la colza, además de los incrementos en los rendimientos, fueron los cambios asociados con la calidad del aceite y de la harina de extracción.

Las variedades más antiguas poseen un aceite con alto contenido de ácido erúcico (50-55 %), el cual es no deseable desde el punto de vista nutricional.

A través de mejoramiento genético se bajó el nivel de erúcico a prácticamente cero. Por otra parte, la harina de extracción contiene grandes cantidades de glucosinolatos, compuestos también considerados anti nutricionales, especialmente en animales mono gástricos.



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las semillas de uso industrial y su clasificación

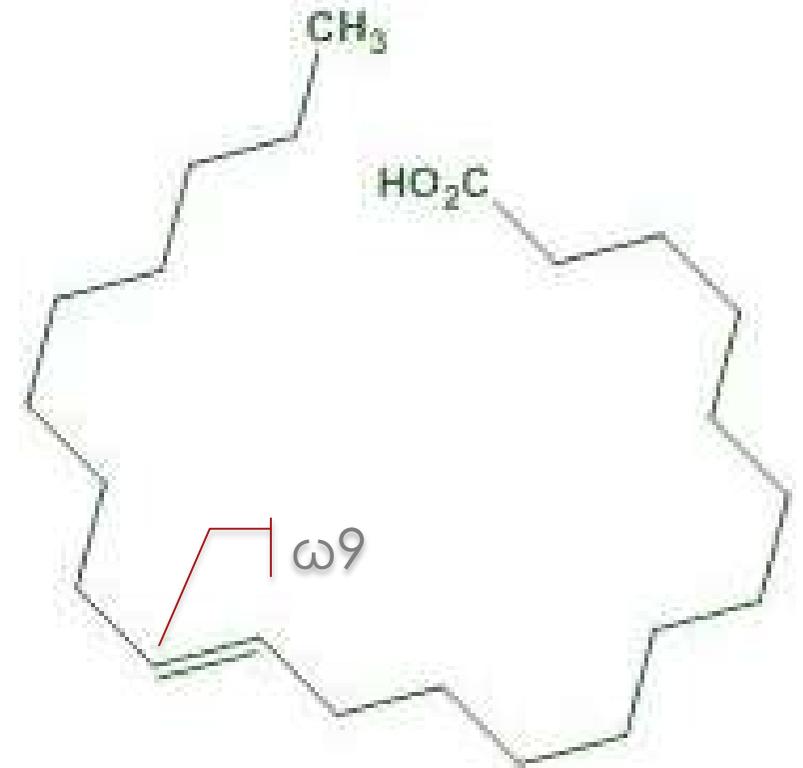
### Colza (*Brassica napus* L.)

Especie oleaginosa

El ácido erúcido es una grasa mono insaturada tipo ácido graso omega 9, es decir que tiene un doble enlace C=C en la posición del carbono 9 ( $\omega$ -9).

Su fórmula química es C=22, H=42, O=2.

La fórmula molecular es:



# Introducción a la Biología de los Granos

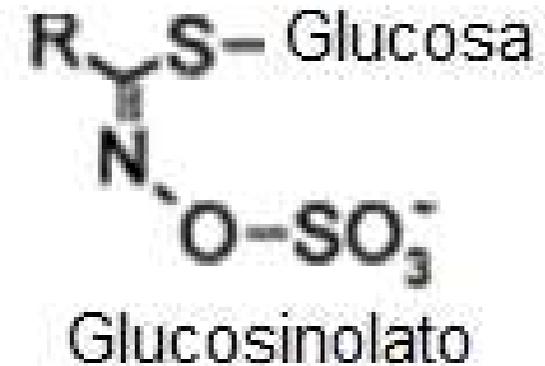
## Las semillas de uso industrial y su clasificación

### Colza (*Brassica napus* L.)

Especie oleaginosa

Por técnicas de mejoramiento genético se lograron variedades con bajo nivel de glucosinolatos, con lo cual la aceptación de este cultivo oleaginoso creció enormemente.

Como consecuencia de estos cambios cualitativos, la colza pasó a ser llamada "canola" o "colza doble-cero" (cero contenido de ácido erúxico y glucosinolatos) para diferenciarla de los viejos cultivares, siendo su nivel de erúxico inferior al 2% y su contenido de glucosinolatos alifáticos menor a 30  $\mu$ moles por gramo.



# Introducción a la Biología de los Granos

## Las reservas energéticas y biológicas almacenadas

**Almidón:** El más generalizado. Las semillas con alto contenido en almidón tienen endosperma farináceo, como en el maíz.

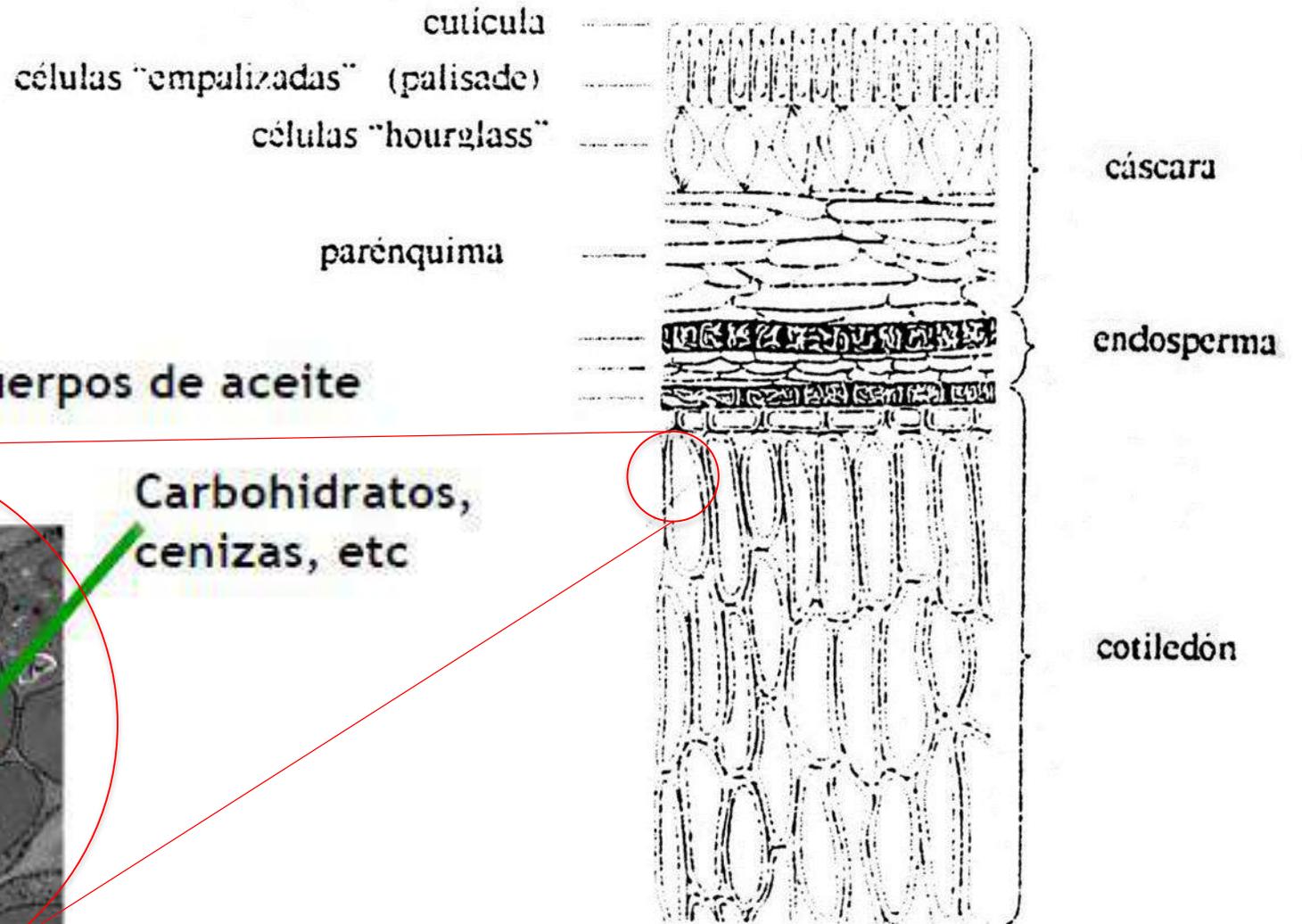
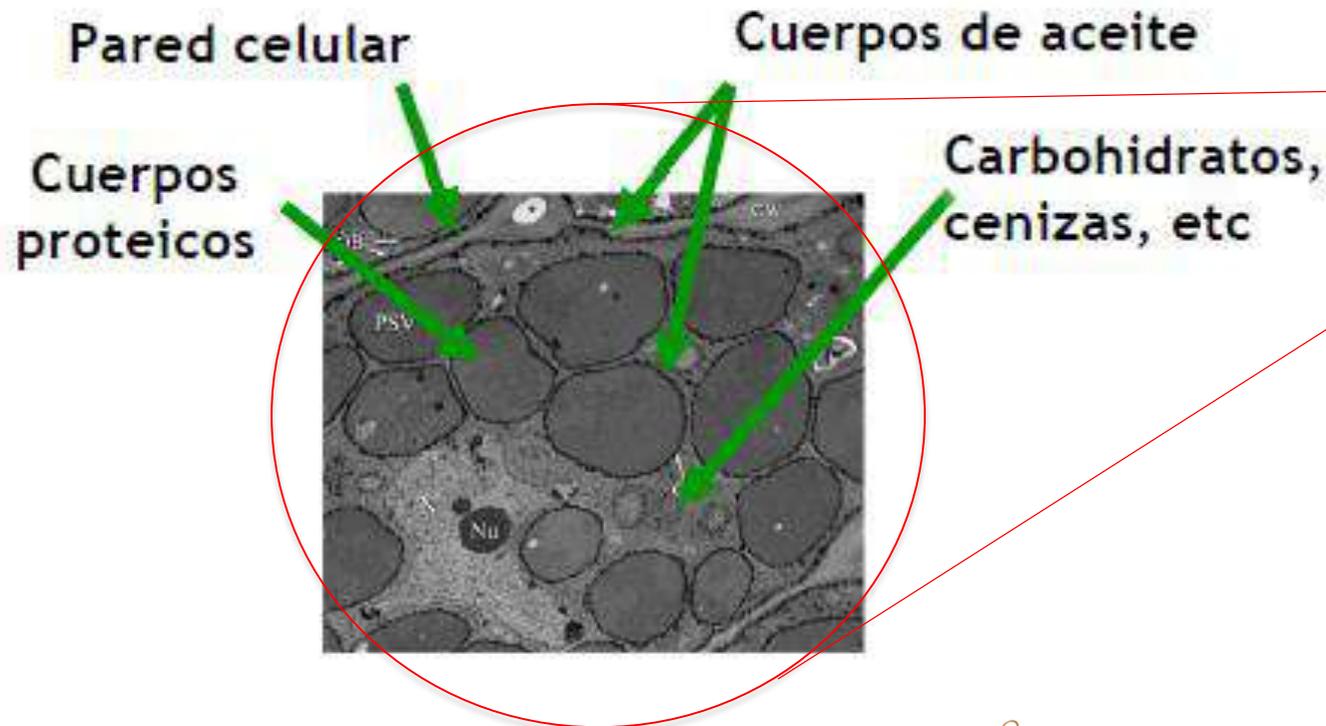
**Proteínas:** se encuentran en una capa llamada aleurona en los cereales, o como gluten, que determina las posibilidades de panificación de las distintas harinas: capacidad de hacer masas consistentes y plásticas. También se acumulan en los cotiledones, y tienen gran valor alimenticio, tanto que reemplazan a las proteínas de origen animal como en el caso de la soja (*Glycine max*).

**Grasas y aceites:** Generalmente se acumulan en los cotiledones como en la soja, el girasol y el maní, que son semillas de alto contenido lipídico.

# Introducción a la Biología de los Granos

## La estructura de la Soja

El aceite dentro de una celdilla de soja se presenta dentro de pequeños cuerpos lipídicos (con materia grasa) adheridos a la pared celular y fuera de los cuerpos proteicos.



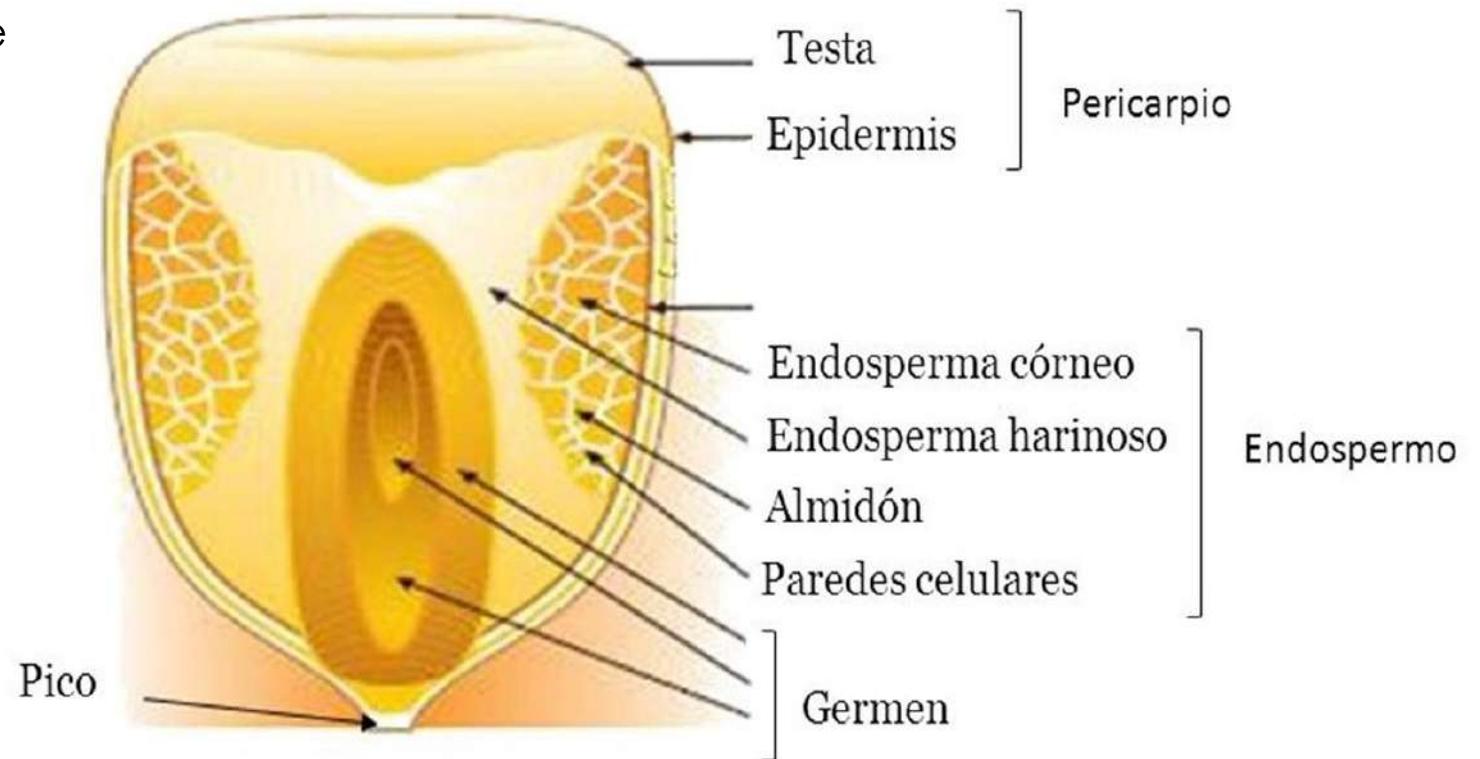
# Introducción a la Biología de los Granos

## La estructura del Maíz

En este caso el endosperma es la estructura más voluminosa pero, desde el punto de vista de la obtención de aceite, el embrión (germen) sigue siendo el órgano más importante porque almacena la casi totalidad del aceite que contiene el grano.

El contenido de aceite oscila entre el 3,0 y el 5,7% del peso total del grano y el 83% de ese contenido graso se ubica en el germen.

Este se separa del resto del grano en la primera etapa del proceso de molienda húmeda, obteniéndose de esta manera la materia prima para la recuperación del aceite.



# Introducción a la Biología de los Granos

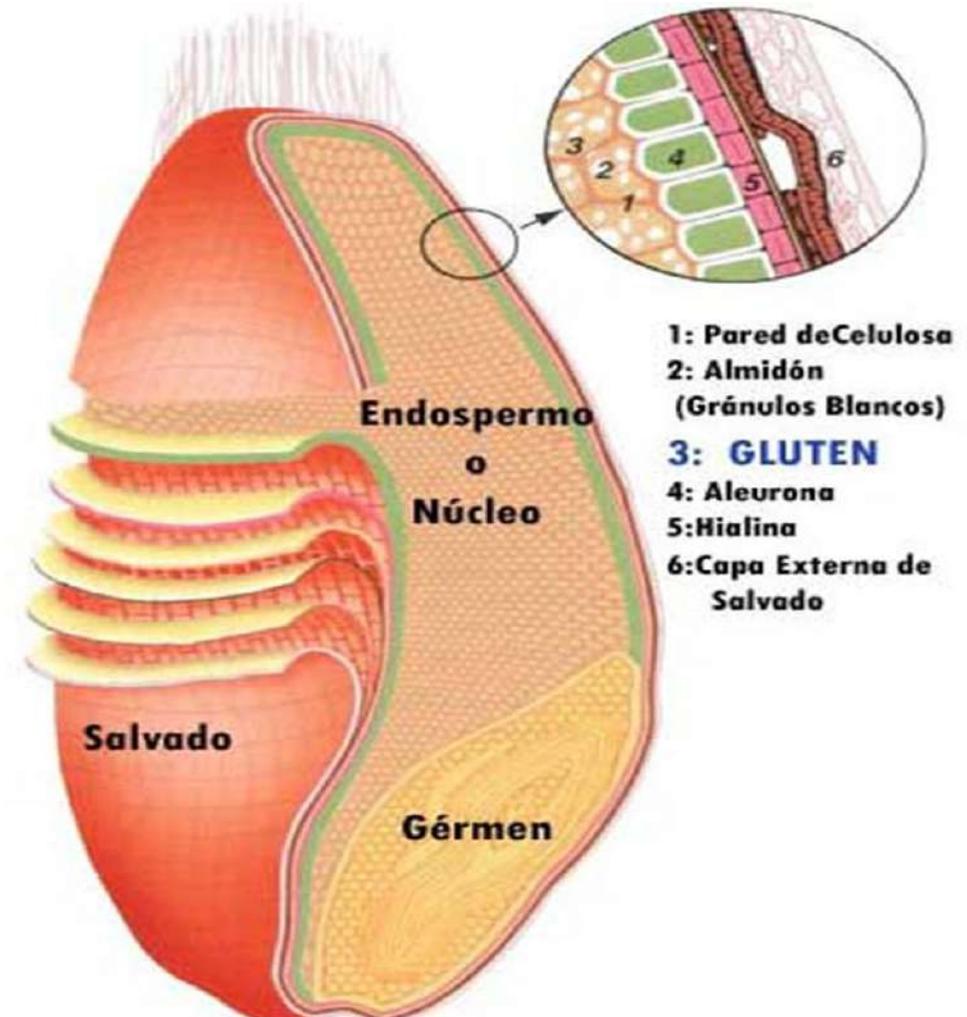
## La estructura del Trigo

En el grano se pueden diferenciar tres partes importantes:

**Salvado** (14%): Alto en fibra, contiene pequeñas cantidades de proteínas.

**Endosperma** (83%): es rico en hidratos de carbono, especialmente almidón. Es la fracción empleada en la elaboración de harinas refinadas.

**Germen o Embrión** (2,5%): Es la fracción que germina y da origen a una nueva planta. Contiene proteínas de alta calidad, vitaminas y aceites esenciales. Esta fracción no se incluye en las harinas refinadas.



# Introducción a la Biología de los Granos

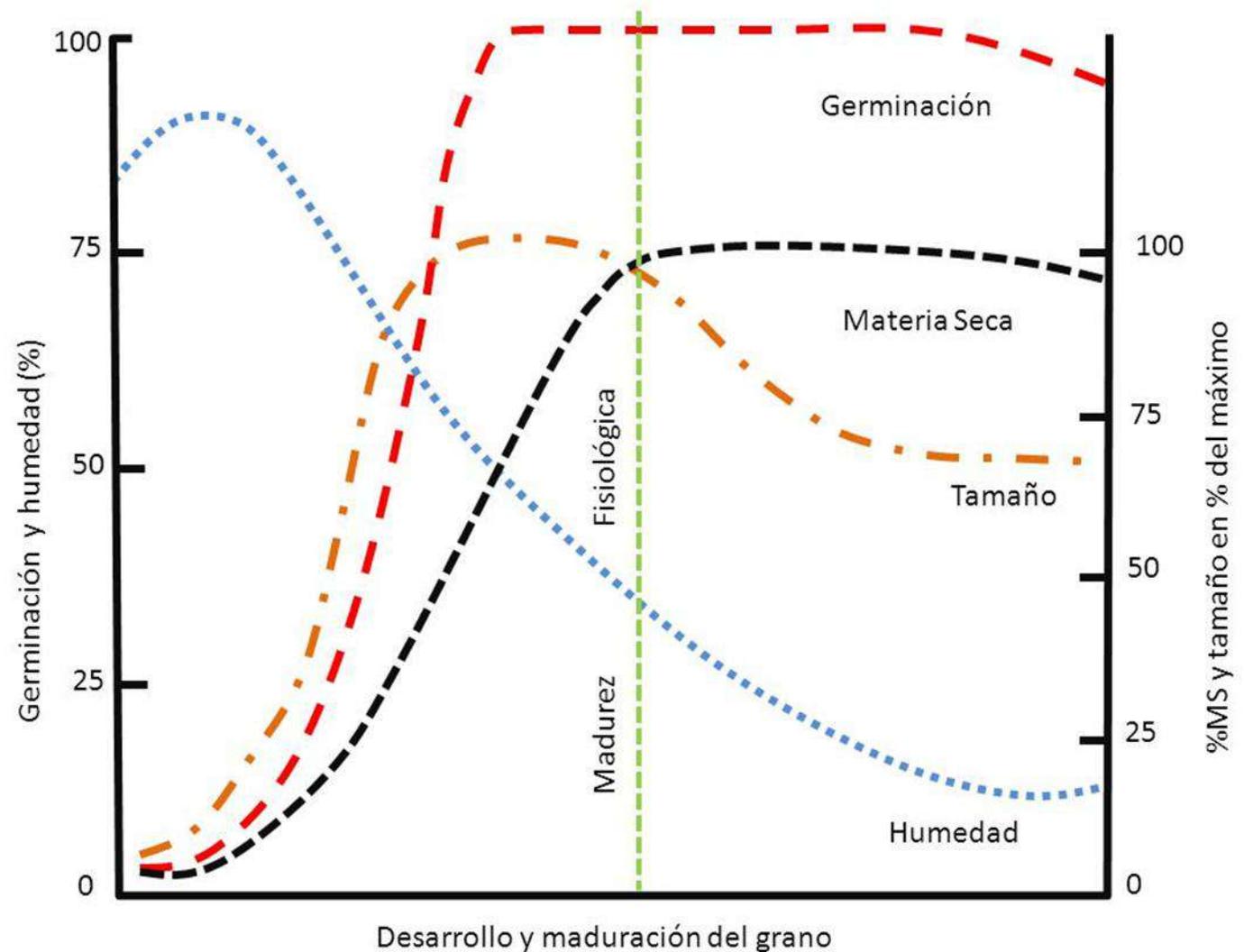
## Composición promedio de las principales SEMILLAS

Componente	Total (%)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)
<b>SOJA</b>					
Semilla completa	100,0	40,3	21,0	33,9	4,9
Cotiledones	90,3	42,8	22,8	29,4	5,0
Embrión	2,4	40,0	11,4	43,4	4,4
Pericarpio	7,3	8,8	1,0	85,9	4,3
<b>GIRASOL</b>					
Semilla completa	100,0	16,0	50,0	16,0	3,0
Embrión	75,0	21,0	66,0	29,4	3,0
Pericarpio	25,0	3,0	2,0	60,0	3,0
<b>MAÍZ</b>					
Semilla completa	100,0	9,8	4,8	74,6	1,5
Endosperma	82,4	8,6	0,9	87,2	0,3
Embrión	11,5	18,5	34,4	19,3	10,3
Pericarpio	5,3	9,7	1,0	7,6	0,7
<b>COLZA</b>					
Semilla completa	100,0	26,2	41,5	8,2	4,7
Embrión	82,0	28,0	47,0	3,0	4,7
Pericarpio	18,0	16,0	16,0	34,3	4,6

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Características Biológicas y Físicas Del Grano

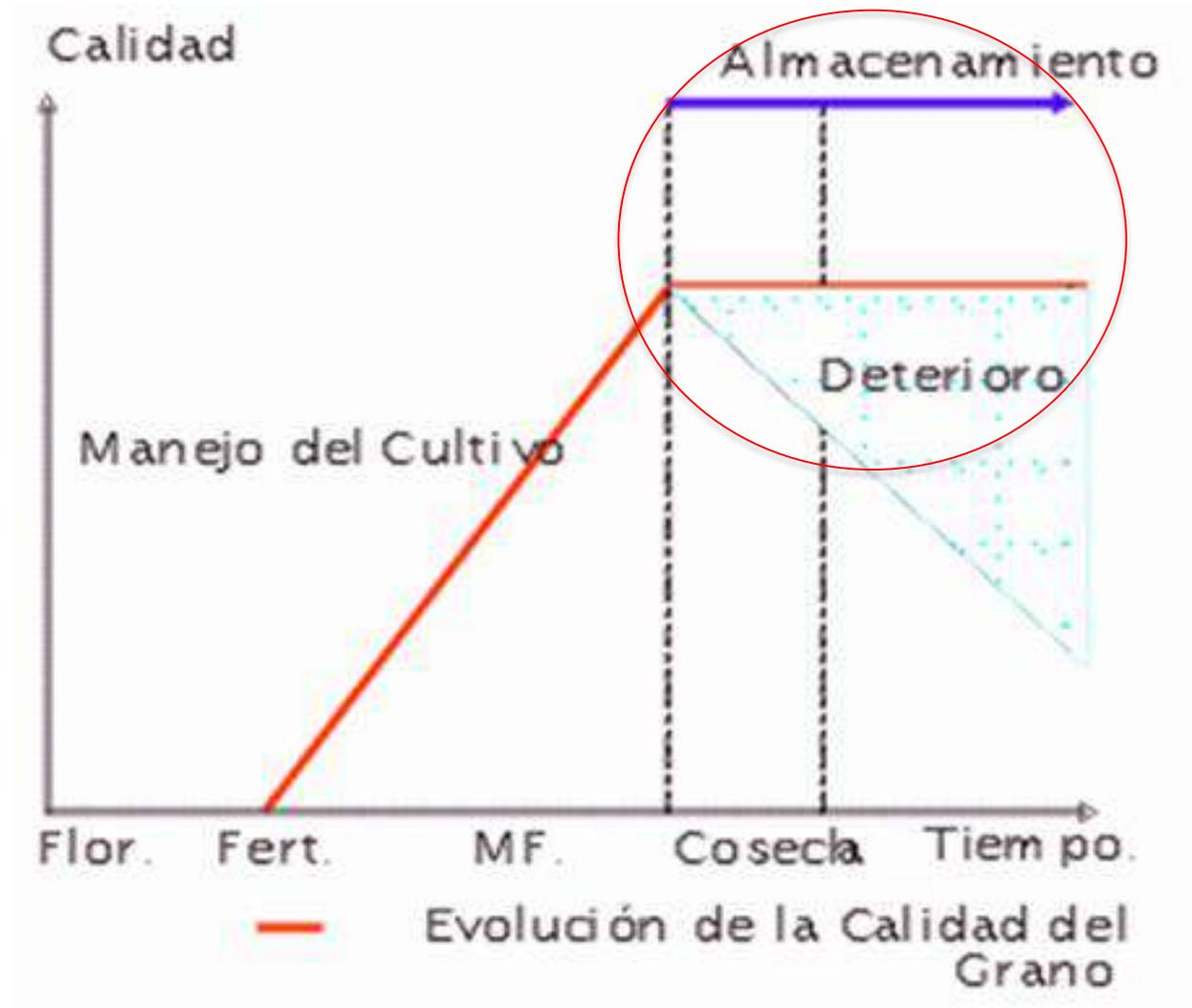
El grano es un elemento de naturaleza orgánica en estado vivo que alcanza su máximo grado de madurez fisiológica y calidad en el momento de la cosecha como lo muestra la figura.



# Factores que afectan la calidad de los granos

## Características Biológicas y Físicas Del Grano

Esta figura muestra que el inicio del periodo de almacenamiento coincide con el inicio del proceso de deterioro de los granos.



# Factores que afectan la calidad de los granos

## Características Biológicas y Físicas Del Grano

Las características que lo identifican son:

Naturaleza orgánica viviente (continua con los procesos biológicos activos, como la respiración)

Elevada porosidad (permite el intercambio de gases y agua)

Altamente higroscópico (tiene afinidad por la humedad)

Reducida conductividad térmica (dificultad para eliminar calor)

# Factores que afectan la calidad de los granos

- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad
- ✓ Presencia de Microorganismos
- ✓ Presencia de Insectos

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Procesos Biológicos en actividad

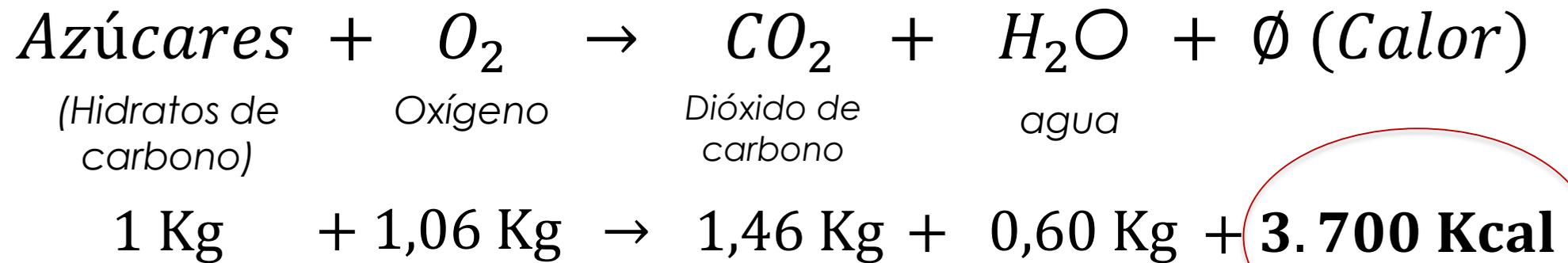
### Respiración en el grano



# Factores que afectan la calidad de los granos

## Procesos Biológicos en actividad

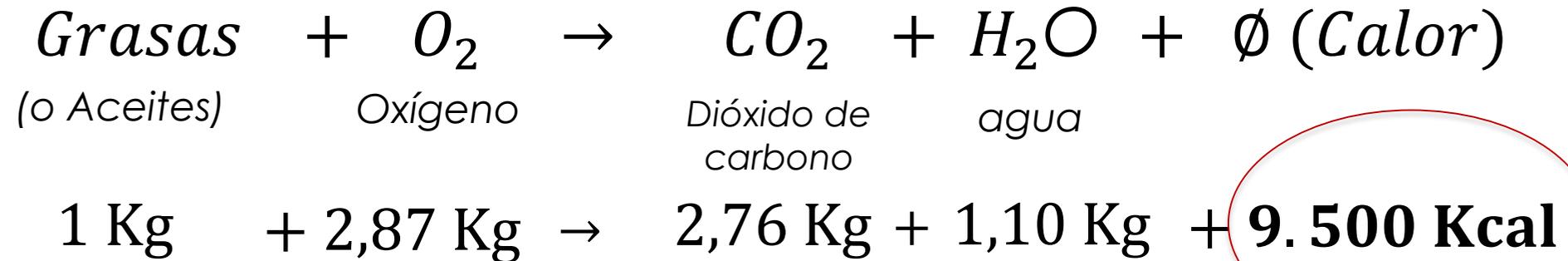
Respiración en el grano (Ahora visto con números)



# Factores que afectan la calidad de los granos

## Procesos Biológicos en actividad

Respiración en el grano (Ahora visto con números)



# Factores que afectan la calidad de los granos

## Procesos Biológicos en actividad

### Respiración en el grano (Ahora visto con números)

Ritmo de respiración de una Soja con 18,5% de humedad, ante incrementos de temperatura.

Fuente: J.C. Rodríguez, 2004.

Temperatura °C	Respiración (mg de CO2/100g)
25	33.6
30	39.7
35	71.8
40	154.7

Cuando la temperatura se incrementa en 10°C, la velocidad de respiración se duplica.

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Procesos Biológicos en actividad

### Respiración en el grano (Ahora visto con números)

Relación de la humedad del grano de Soja con su respiración.

Fuente: J.C. Rodríguez, 2004.

Soja (% de humedad del grano).	Respiración (mg CO2/100 g)
12.3	0.07
13.6	0.11
13.8	0.23
14.5	0.52
15.4	2.53
16.3	23.35
18.5	111.0
20.8	604.9
25.2	1724.8
38.6	4466.5

Con una diferencia de casi 1 punto de variación de la humedad, la velocidad de respiración se multiplica por 4.

# Factores que afectan la calidad de los granos

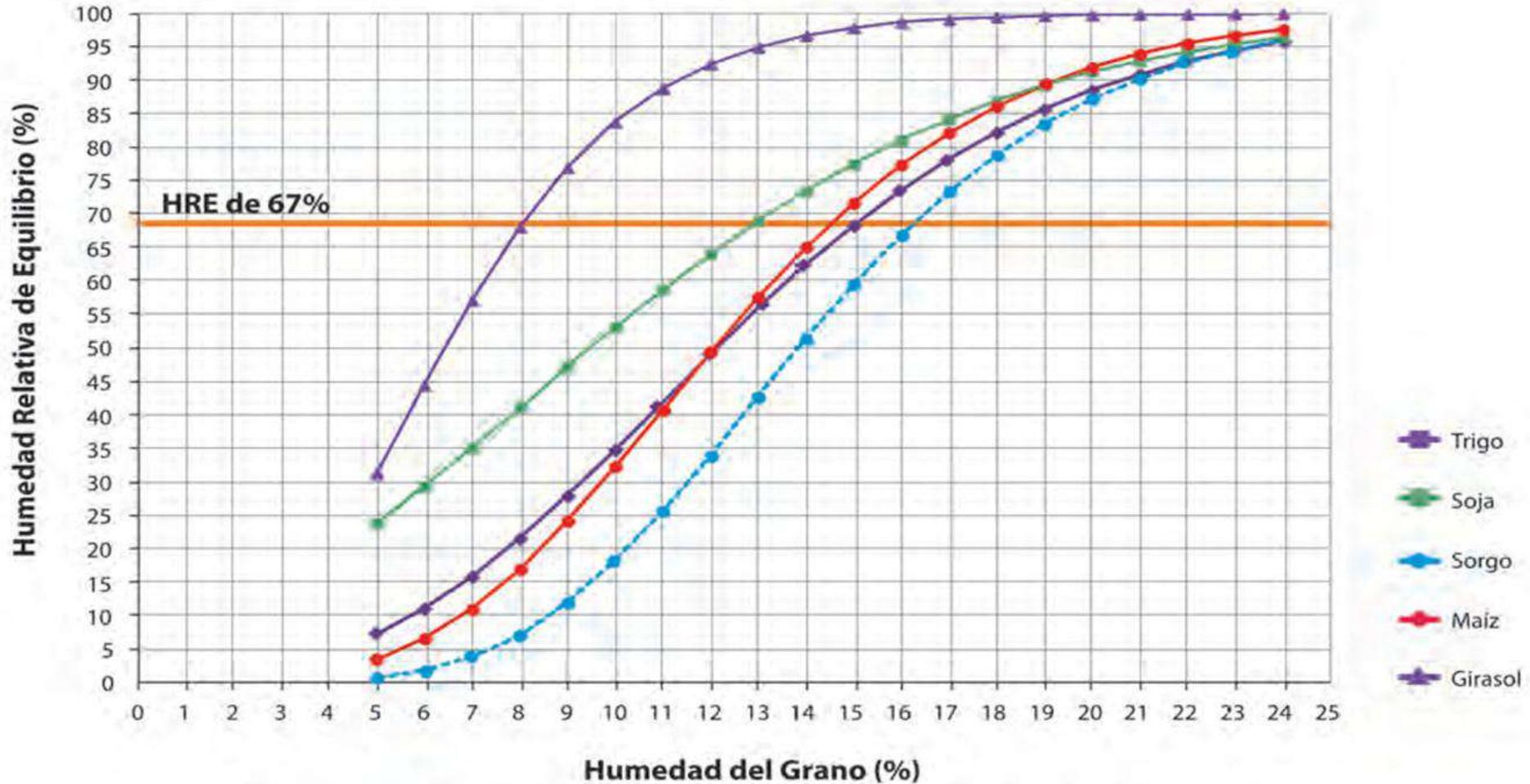
## Humedad Relativa de Equilibrio (HRE)

La Humedad Relativa de Equilibrio determina la máxima condición de humedad que se puede alcanzar en el espacio intergranario para un determinado contenido de humedad de los granos y es de suma importancia para el almacenamiento seguro.

Este valor de humedad debe estar siempre por debajo de 67% para prevenir el desarrollo de diferentes variedades de hongos y el rápido deterioro de la calidad.

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Humedad Relativa de Equilibrio (HRE)



# Factores que afectan la calidad de los granos

## Las Plagas de los granos almacenados

### ORIGEN DE LAS INFESTACIONES

- 1. Cultivo pre cosecha.** Insectos plaga que atacan los cultivos antes de ser cosechados. Los adultos llegan al acopio junto con los granos. Los huevos y larvas están dentro de los granos (Infestación oculta).
- 2. Planta de acopio.** Es causada por insectos que viven permanentemente en el acopio. Es la vía más importante de infestación y se debe a la falta de un adecuado plan de limpieza.
- 3. Migración al acopio.** Estos insectos provienen de zonas muy próximas al acopio o bien de otros acopios infestados de zonas vecinas.

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Las Plagas de los granos almacenados

### ORIGEN DE LAS INFESTACIONES

Efecto de la temperatura sobre la actividad metabólica de los insectos

Temperatura	Efecto
Mayor a 50°C	Muerte en minutos
Mayor a 35°C	Detención del desarrollo
25-32 °C	Óptimo
19-25 °C	Sub-óptimo
5 - 15,5 °C	Muerte en días
-17,7°C	Muerte en minutos

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Las Plagas de los granos almacenados



**Palomita de los cereales**

- **Cómo reconocer la Palomita:** es una pequeña mariposa de coloración amarillo ocre, que se reconoce fácilmente por estar siempre volando en el almacén o andando rápidamente por sobre los granos o las bolsas . Los adultos poseen alas con escamas. Las alas extendidas miden de 14 a 18 mm y el tamaño del cuerpo varía de 6 a 9 mm.
- **Daños:** Las larvas penetran en el grano y se alimentan de él hasta transformarse en pupas y posteriormente en adultos. Los adultos no se alimentan y viven sólo unos 4 días. Dado que posee la capacidad de volar, puede infestar silos inicialmente libres de plagas.
- **Granos y productos atacados:** granos enteros de trigo, maíz, avena, cebada, centeno, arroz, sorgo; a veces pueden atacar soja, poroto y garbanzo.

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Las Plagas de los granos almacenados



**Taladrillo o Barreno  
de los granos**

- **Cómo reconocer el Taladrillo:** los adultos son insectos de color café oscuro a negruzco, de cuerpo cilíndrico y su longitud es de 2 a 3 mm. La cabeza es grande y está doblada hacia abajo. Una forma sencilla de identificarlo a campo es colocarlo en la mano y hacerlo rodar en ella; por su forma redondeada, lo hará fácilmente. Otra característica inconfundible es el olor que deja en la mercadería; por ejemplo, un trigo con presencia de este insecto tiene un olor dulzón que no es propio del grano.
- **Daños:** Tanto la larva como el adulto utilizan el grano como alimento, dejando granos partidos y polvillo.
- **Granos y productos atacados:** sorgo, maíz, trigo, cebada, avena y arroz. Con menor frecuencia, arveja, poroto y garbanzo. Es resistente a la acción de los insecticidas organofosforados.

# Factores que afectan la calidad de los granos

## Las Plagas de los granos almacenados

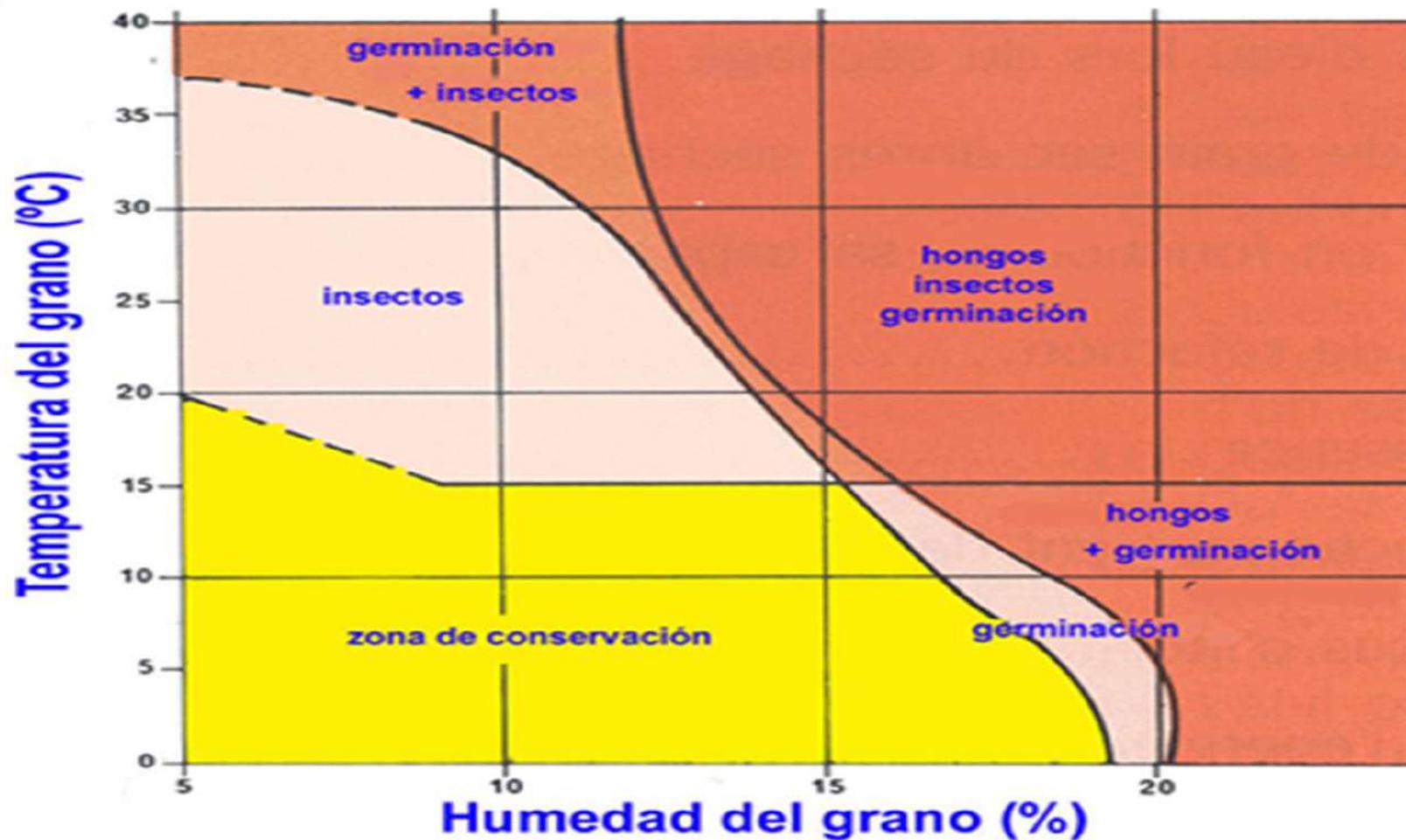


**Gorgojos del trigo, maíz y arroz**

- **Cómo reconocer los Gorgojos:** pueden ser identificados por el rostro prolongado en forma de pico, que lleva en su extremo el par de mandíbulas muy potentes como parte del aparato bucal.
- **Daños:** las hembras colocan los huevos dentro de los granos. Las larvas se alimentan del contenido del mismo, posteriormente empupan y por último emerge el adulto, dejando perforaciones.
- **Granos y productos atacados:** arroz, trigo, maíz, avena, mijo, cebada y centeno. También harina, galletitas, pan, fideos, tabaco y semillas de cáñamo.

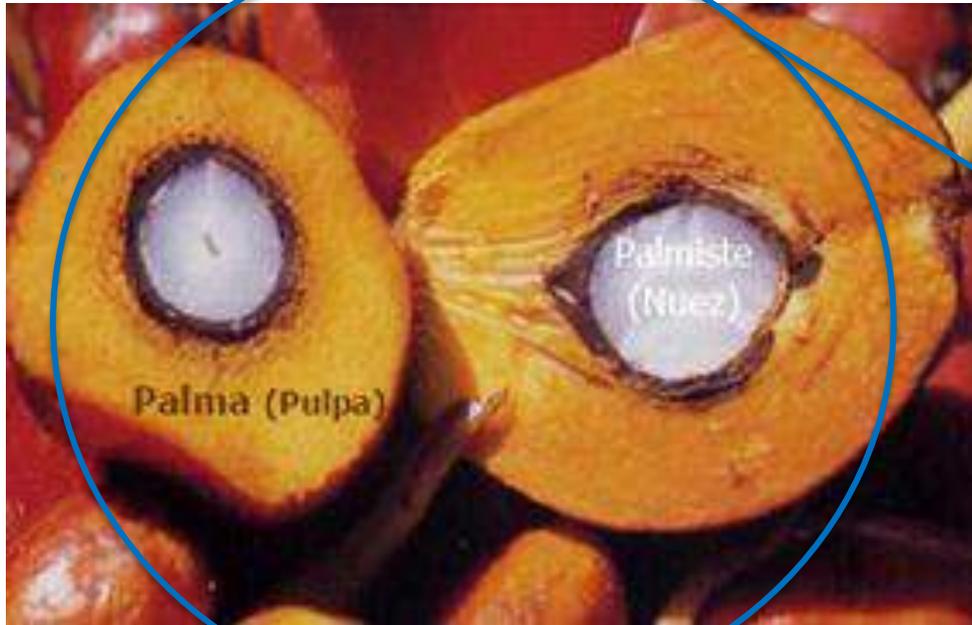
# Factores que afectan la calidad de los granos

Relaciones entre Temperatura, Humedad, Microorganismos e Insectos y la conservación segura



# PALMA (Elaeis Guineensis)

Los frutos de uso industrial



La polinización se hace por un insecto llamado Elaeistorius Camerunicos.

# PALMA (Elaeis Guineensis)

Los frutos de uso industrial



Es una planta perenne que puede vivir más de 100 años, pero en cultivo industrial llega hasta los 25 años, que es cuando alcanza 12 m de altura. En estado natural llega a superar los 40 metros.

## PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES

[cifras en Millones de Mt.]

Fuente : Oil World

PAIS	PRODUCCIÓN	% s. Total
Indonesia	35,5	53,8 %
Malasia	20	30,3 %
Tailandia	2	3,0 %
Colombia	1,3	2,0 %
Nigeria	1	1,5 %
Guatemala	0,76	1,1 %
Ecuador	0,65	1,0 %
Honduras	0,58	0,87 %
Papua Nueva Guinea	0,56	0,85 %

# PALMA (*Elaeis Guineensis*)

Los frutos de uso industrial

## RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS

Palma 3,75 Toneladas de aceite por hectárea.

Soja 0,45 Toneladas de aceite por hectárea.

Colza 0,75 Toneladas de aceite por hectárea.

Girasol 0,75 Toneladas de aceite por hectárea.

## Relaciones entre Rendimientos

Palma vs Soja 8 veces

Palma vs Colza 5 veces

Palma vs Girasol 5 veces

# Aceites y Grasas para Producción de Biodiesel

# ACEITES, GRASAS y BIODIESEL – Un poco de historia



## Rudolf Diesel

“El empleo de aceites comestibles hoy parece insignificante. Pero algún día estos aceites alcanzarán la misma importancia que el petróleo.”

Extracto de un discurso de 1912

# Composición Promedio de las Principales Semillas

Componente	Total (%)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)
<b>SOJA</b>					
Semilla completa	100,0	40,3	21,0	33,9	4,9
Cotiledones	90,3	42,8	22,8	29,4	5,0
Embrión	2,4	40,0	11,4	43,4	4,4
Pericarpio	7,3	8,8	1,0	85,9	4,3
<b>GIRASOL</b>					
Semilla completa	100,0	16,0	50,0	16,0	3,0
Embrión	75,0	21,0	66,0	29,4	3,0
Pericarpio	25,0	3,0	2,0	60,0	3,0
<b>MAÍZ</b>					
Semilla completa	100,0	9,8	4,8	74,6	1,5
Endosperma	82,4	8,6	0,9	87,2	0,3
Embrión	11,5	18,5	34,4	19,3	10,3
Pericarpio	5,3	9,7	1,0	7,6	0,7
<b>COLZA</b>					
Semilla completa	100,0	26,2	41,5	8,2	4,7
Embrión	82,0	28,0	47,0	3,0	4,7
Pericarpio	18,0	16,0	16,0	34,3	4,6

## Composición de ACEITES y GRASAS más comunes

Aceite o Grasa	Ácidos Grasos Saturados (%)					Mono-insaturados (%)	Poli-insaturados (%)	
	Ácido Cáprico C10:0	Ácido Láurico C12:0	Ácido Mirístico C14:0	Ácido Palmítico C16:0	Ácido Esteárico C18:0	Ácido Oleico ( $\omega$ 9) C18:1	Ácido Linoleico ( $\omega$ 6) C18:2	Ácido Alfa-Linolénico ( $\omega$ 3) C18:3
Sebo vacuno	-	-	3	24	19	43	3	1
Manteca de cerdo	-	-	2	26	14	44	10	-
Grasa de leche (cabra)	7	3	9	25	12	27	3	1
Aceite de canola (Colza)	-	-	-	4	2	62	22	10
Mantequilla de cacao	-	-	-	25	38	32	3	-
Aceite de hígado de bacalao	-	-	8	17	-	22	5	-
Aceite de palma	-	-	1	45	4	40	10	-
Aceite de coco	6	47	18	9	3	6	2	-
Aceite de maíz	-	-	-	11	2	28	58	1
Aceite de algodón	-	-	1	22	3	19	54	1
Aceite de linaza	-	-	-	3	7	21	16	53
Aceite de cártamo*	-	-	-	7	2	13	78	-
<b>Aceite de soja</b>	-	-	-	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>54</b>	<b>7</b>
Aceite de girasol*	-	-	-	7	5	19	68	1

\* No de alto contenido oleico.

Los porcentajes pueden no sumar 100%, debido al redondeo de las cifras y a constituyentes no incluidos en la lista.

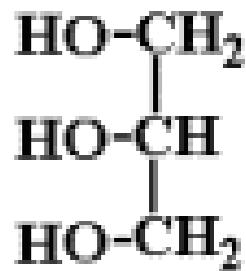
Los porcentajes representan promedios comunes.

# Composición de los ACEITES

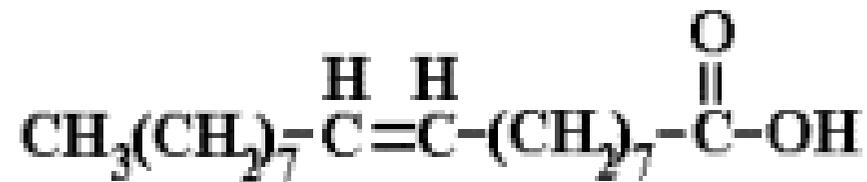
De qué está compuesto un aceite?...

Triglicéridos, Grasas, Aceites, Ácidos grasos... De qué estamos hablando?

- Los triglicéridos son los constituyentes principales de los aceites vegetales y las grasas animales. Tienen densidades más bajas que el agua (flotan sobre el agua), y pueden ser sólidos o líquidos a la temperatura ambiente normal.
- Cuando son sólidos se denominan **grasas** y cuando son líquidos, **aceites**.
- Un triglicérido, también llamado triacilglicérido, es un compuesto químico que consiste de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos.



Glicerol (o Glicerina)



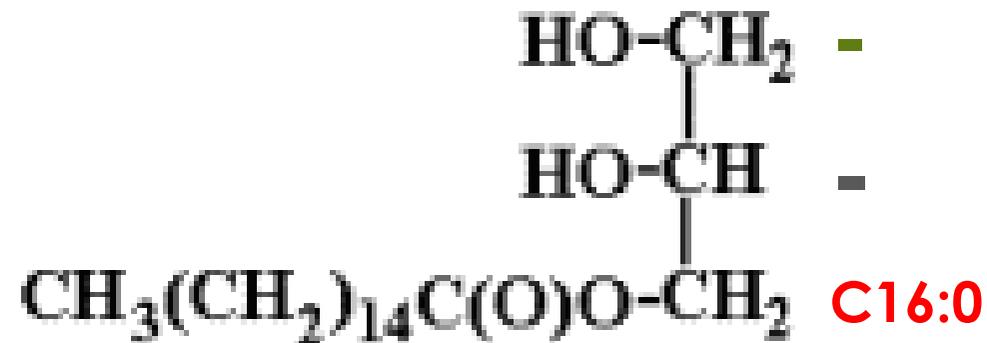
Ácido graso (ácido oleico)

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

Triglicéridos, Grasas, Aceites, Ácidos grasos... De qué estamos hablando?

- El glicerol es un alcohol con tres grupos hidroxilos (-OH) que se puede combinar hasta con tres ácidos grasos para formar Monoglicéridos, Diglicéridos, y Triglicéridos.
- Un Monoglicérido, o Monoacilglicerol (MAG), tiene solamente un radical de ácido graso unido a una molécula de glicerol.



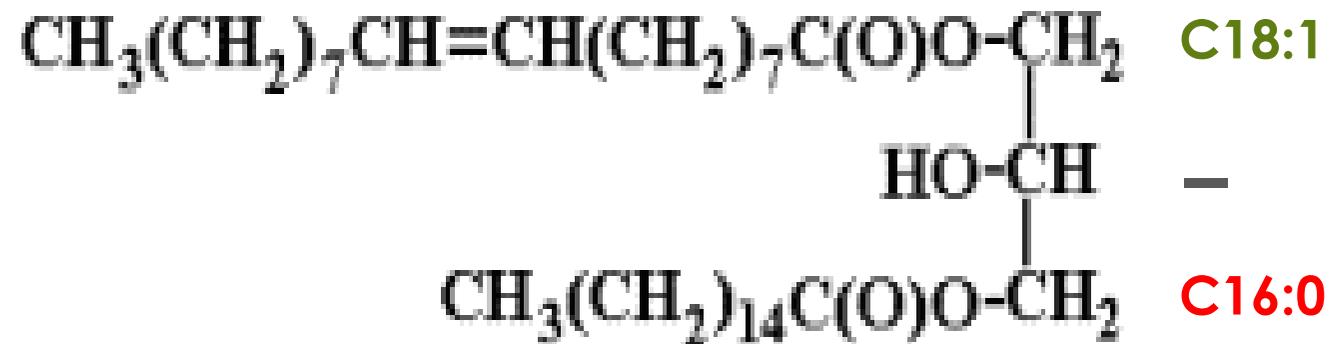
1-Monoglicérido

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

Triglicéridos, Grasas, Aceites, Ácidos grasos... De qué estamos hablando?

- Un Diglicérido, o Diacilglicerol (DAG), tiene dos radicales de ácidos grasos y existe en las formas 1,2 o 1,3 dependiendo de las posiciones donde los ácidos grasos se unen a la molécula de glicerol.



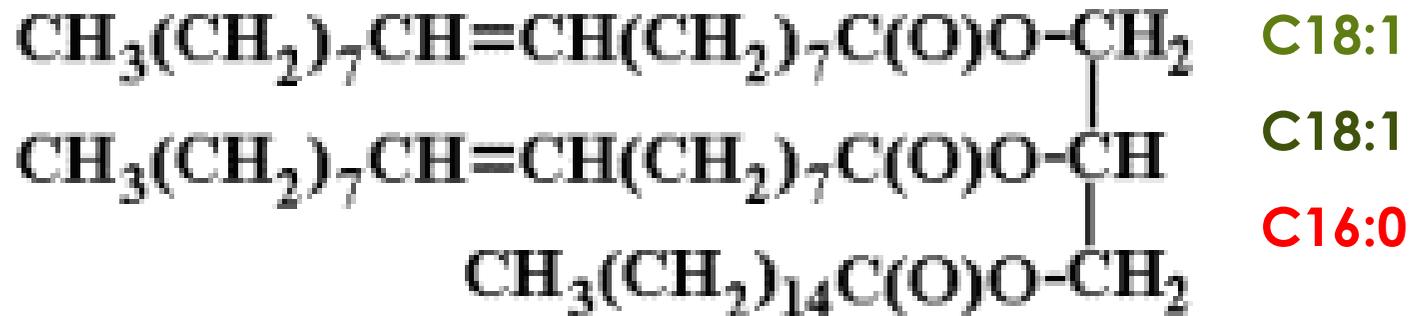
1,3-Diglicérido

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

Triglicéridos, Grasas, Aceites, Ácidos grasos... De qué estamos hablando?

- El triglicérido tiene TRES cadenas de ácido graso unidas a la molécula de glicerol, en este caso de ácido oleico y uno de ácido palmítico (la cadena vertical de carbonos).

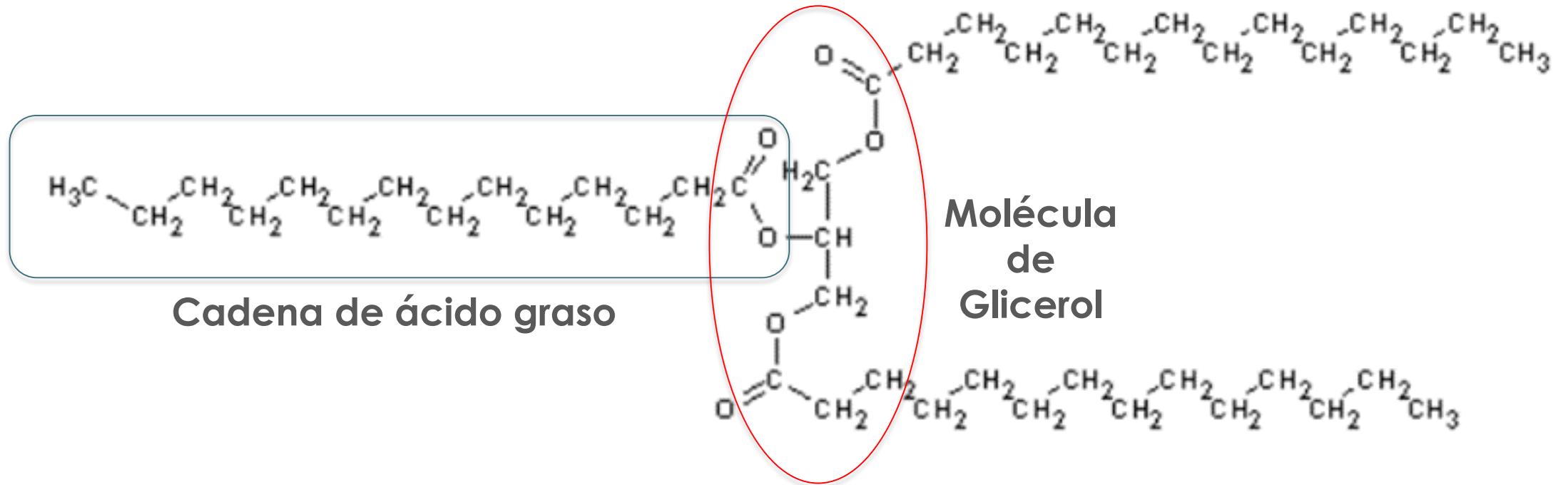


1,2,3-Triglicérido

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

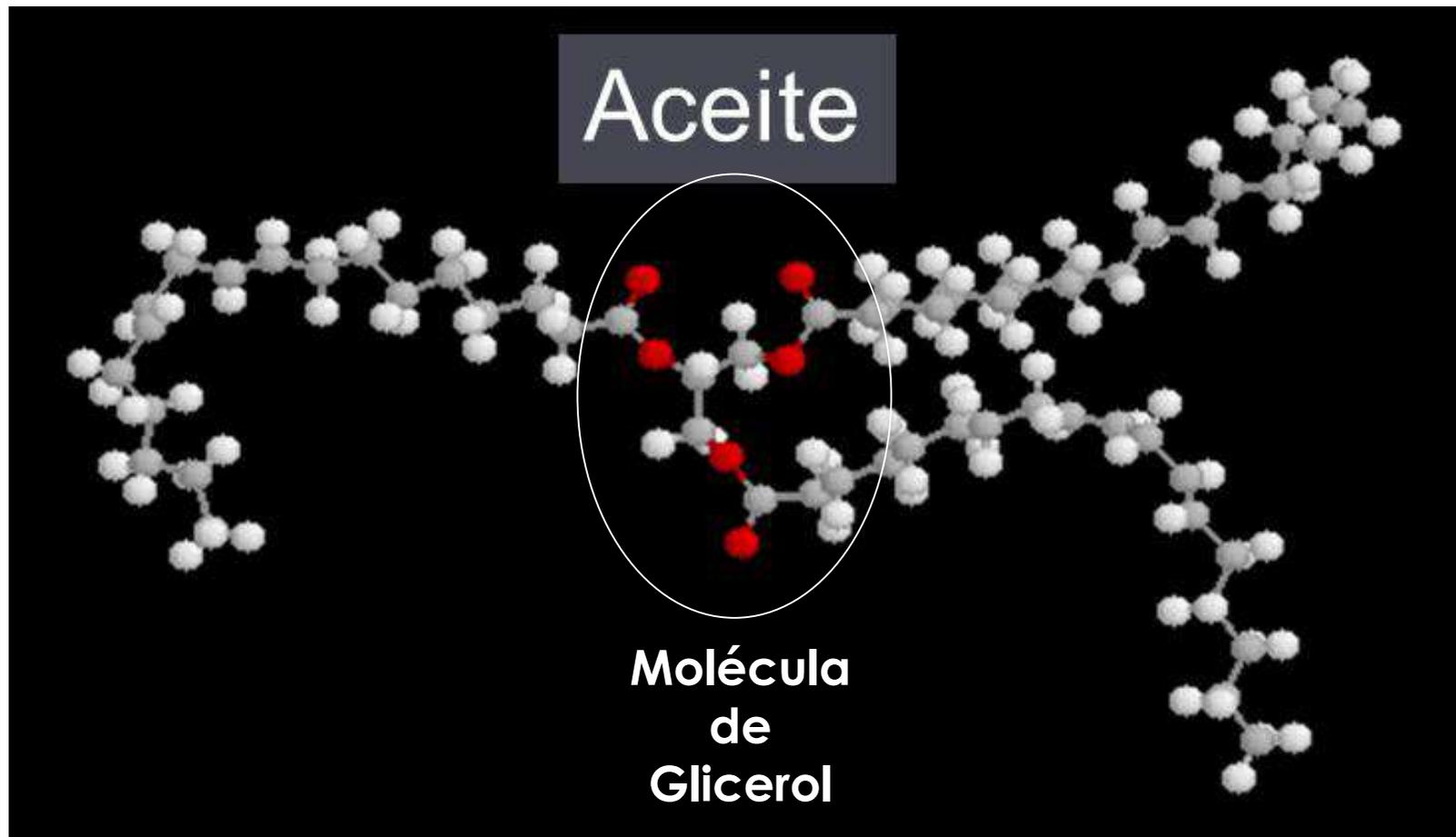
Veamos la estructura de un Triglicérido pero en 3D



# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

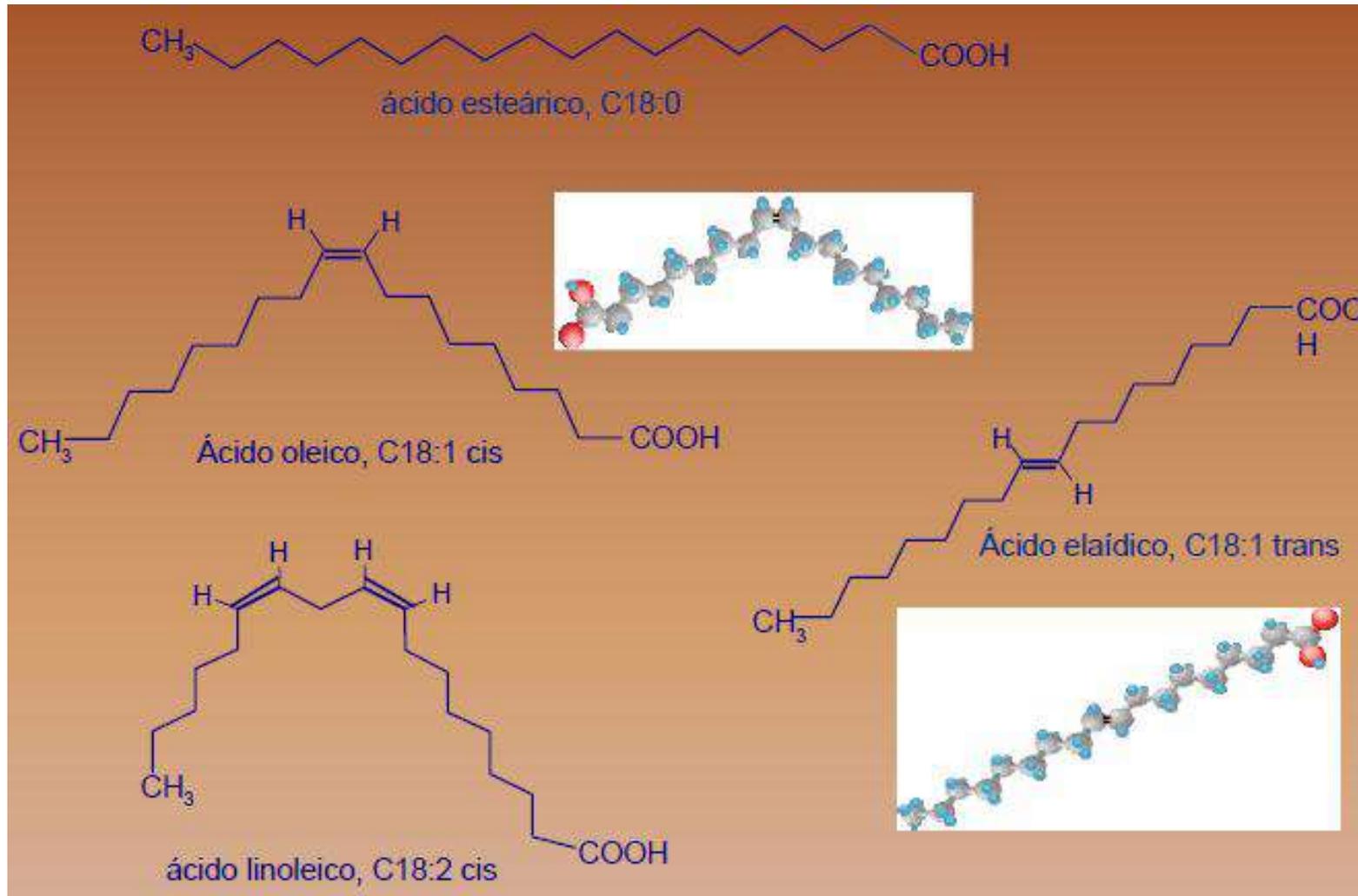
Veamos la estructura de un Triglicérido pero en 3D



# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

Veamos la estructura de un Triglicérido pero en 3D



# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

## LIPIDOS NEUTROS

### Microcomponentes liposolubles

- Esteroles
- Carotenos
- Terpenos
- Tocoferoles
- Vitaminas A, E, D
- Hidrocarburos
- Alcoholes y aldehídos de alto PM
- Hidroperóxidos
- Polímeros
- Colorantes
- Antioxidantes
- Pesticidas)

## INSAPONIFICABLES

### SIMPLES

Ácidos grasos libres

- Monoglicéridos
- Diglicéridos
- Triglicéridos
- Diol-lípidos
- Ceras
- Esteres de esteroides

## LIPIDOS POLARES

### Compuestos

- Fosfolípidos
- Glicolípidos
- Esfingolípidos
- Gangliósidos
- Lipoproteínas

## SAPONIFICABLES

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

Los FOSFOLIPIDOS NO SON TODOS IGUALES

Existen dos tipos de fosfolípidos, según su naturaleza química:

## 1. Hidratables (85 a 90%)

Son fácilmente removibles en el proceso de desgomado con agua.

## 2. No hidratables (10% a 15 %)

Causan problemas de coloración marrón irreversible.  
Están vinculados a sales de calcio, magnesio y hierro.  
Son removibles a través de desgomado ácido.

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...



**Cantidad y tipo de impurezas en aceites crudos son determinados por:**

- Zona y condiciones de cultivo
- Almacenamiento de los granos
- Método extractivo, etc.

# Composición de los ACEITES

De qué está compuesto un aceite?...

## Los FOSFOLIPIDOS NO SON TODOS IGUALES

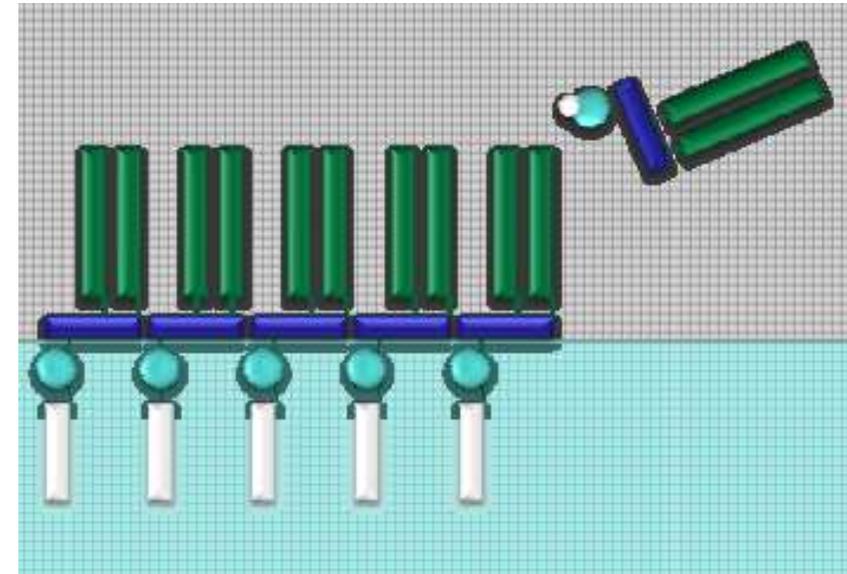
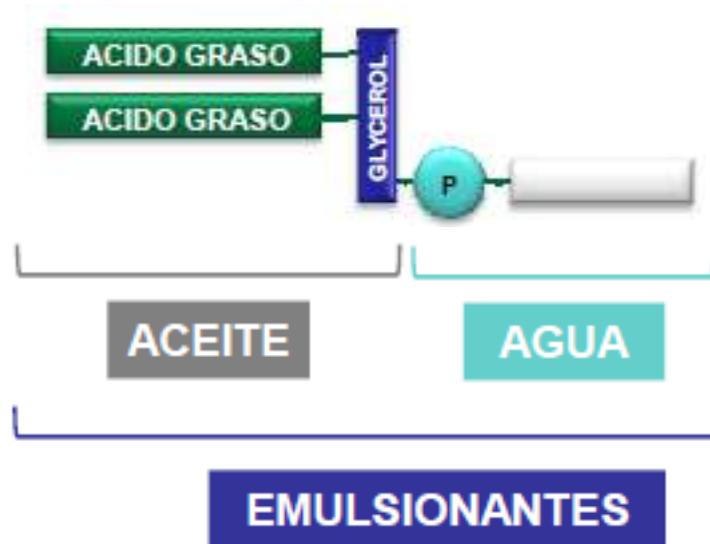


Tipo de Fosfolípido	Tasa relativa de Hidratación
Fosfatidilcolina (PC)	100
Fosfatidilinositol (PI)	44
PI (Sales de Calcio)	24
Fosfatidiletanolamina (PE)	16
Ácido Fosfático (PA)	8,5
PE (Sales de Calcio)	0,9
PA (Sales de Calcio)	0,6

- La cantidad y tipos de fosfolípidos presentes varía con la calidad de los granos.
- La tasa de hidratación está relacionada con el poder emulsionante.
- Las sales de calcio reducen la polaridad haciendo los fosfolípidos menos hidratables.

# Composición de los ACEITES

## Características e importancia de los FOSFOLIPIDOS



### Los FOSFOLIPIDOS SON EMULSIONANTES

- Reducen la tensión superficial en la interfase aceite-agua.
- El aceite es emulsionado (y atrapado) en las gomas.

➔ **MERMAS**

# Composición de los ACEITES

## Características Físicoquímicas del ACEITE de SOJA

Materia prima para producir Biodiesel

Componentes	Unidad	Aceite Crudo	Aceite Refinado
Triglicéridos	%	95 -97	> 99
Fosfolípidos	%	1.5 – 2.5	0.003 – 0.045
Material no saponificable	%	1.6	0.3
Esteroles	%	0.33	0.13
Tocoferoles	%	0.14 – 0.21	0.11 – 0.18
Hidrocarburos	%	0.014	0.01
Ácidos grasos libres	%	0.03 – 0.7	< 0.05
Metales Trazas, Hierro	ppm	1 - 3	0.1 – 0.3
Metales Trazas, Cobre	ppm	0.03 -0.05	0.02 – 0.06

Propiedad	Unidad	Valores representativos
Peso Específico, a 25°C	°C	0.9175
Índice de Refracción		1.4728
Viscosidad, a 25°C	cp.	50.09
Punto de solidificación	°C	-16 a -10
Calor Específico, a 20°C	Cal/gr	0.458
Calor de Combustión	Cal/gr	9,478
Punto de Humo	°C	234
Punto Flash	°C	238
Punto de Fuego	°C	363

IMPUREZAS A ELIMINAR

# Composición de los ACEITES

## Características Fisicoquímicas del ACEITE de PALMA



# Composición de los ACEITES

Características  
Fisicoquímicas del  
ACEITE de PALMA

Composición en ácidos grasos del aceite de palma y del aceite de palmiste		
Ácido graso (nº de carbonos:dobles enlaces)	Aceite de palma	Aceite de palmiste
Ácido caproico (6:0)	-	0.2
Ácido caprílico (8:0)	-	3.3
Ácido caprico (10:0)	-	3.5
Ácido láurico (12:0)	0.2	47.8
Ácido mirístico (14:0)	1.1	16.3
Ácido palmitico (16:0)	44.0	8.5
Ácido esteárico (18:0)	4.5	2.4
Ácido oleico (18:1)	39.2	15.4
Ácido linoleico (18:2 $\omega$ -6)	10.1	2.4
Ácido linolénico (18:3 $\omega$ -3)	0.4	-
Ácido araquídico (20:0)	0.1	0.1
Total AGSs	49.9	82.1
Total AGMs	39.2	15.4
Total AGPIs	10.5	2.4

AGS: ácidos grasos saturados; AGM: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados (Mancini et al., 2015)

# Composición de las GRASAS ANIMALES

De qué está compuesto una grasa?...

## GRASAS BOVINAS y OVINAS

“PRIMER JUGO” BOVINO U OVINO: grasas obtenidas de tejidos y partes adiposas limpias por fusión a una temperatura inferior a 80°C.

Contenido de impurezas	Primer jugo	Grasa
Insolubles en éter de petróleo	Max. 0,05 %	0,50 %
Acidez libre (ácido oleico)	Max. 0,80 %	1,00 %
Insaponificable	Max. 1,00 %	1,20 %

# Composición de las GRASAS ANIMALES

De qué está compuesto una grasa?...

## GRASAS BOVINAS y OVINAS

FRACCIÓN DE LA GRASA	COMPONENTES más CARACTERÍSTICOS
<b>Fracción Saponificable</b> (98-99%)	Ácidos grasos libres (0.1-4.0%) Triacilgliceroles ((90-99%) Diacilgliceroles (4.0%) Monoacilgliceroles (1.0%) Fosfolípidos Ceras Ésteres de vitamina A Ésteres de esteroides Glicolípidos Éteres glicéridos
<b>Fracción insaponificable</b> (0.5-1.5%)	Hidrocarburos Alcoholes grasos Esteroides Tocoferoles Ácidos triterpénicos Alcoholes triterpénicos
<b>Componentes polares</b>	Polifenoles Compuestos fenólicos

# Composición de las GRASAS ANIMALES

De qué está compuesto una grasa?...

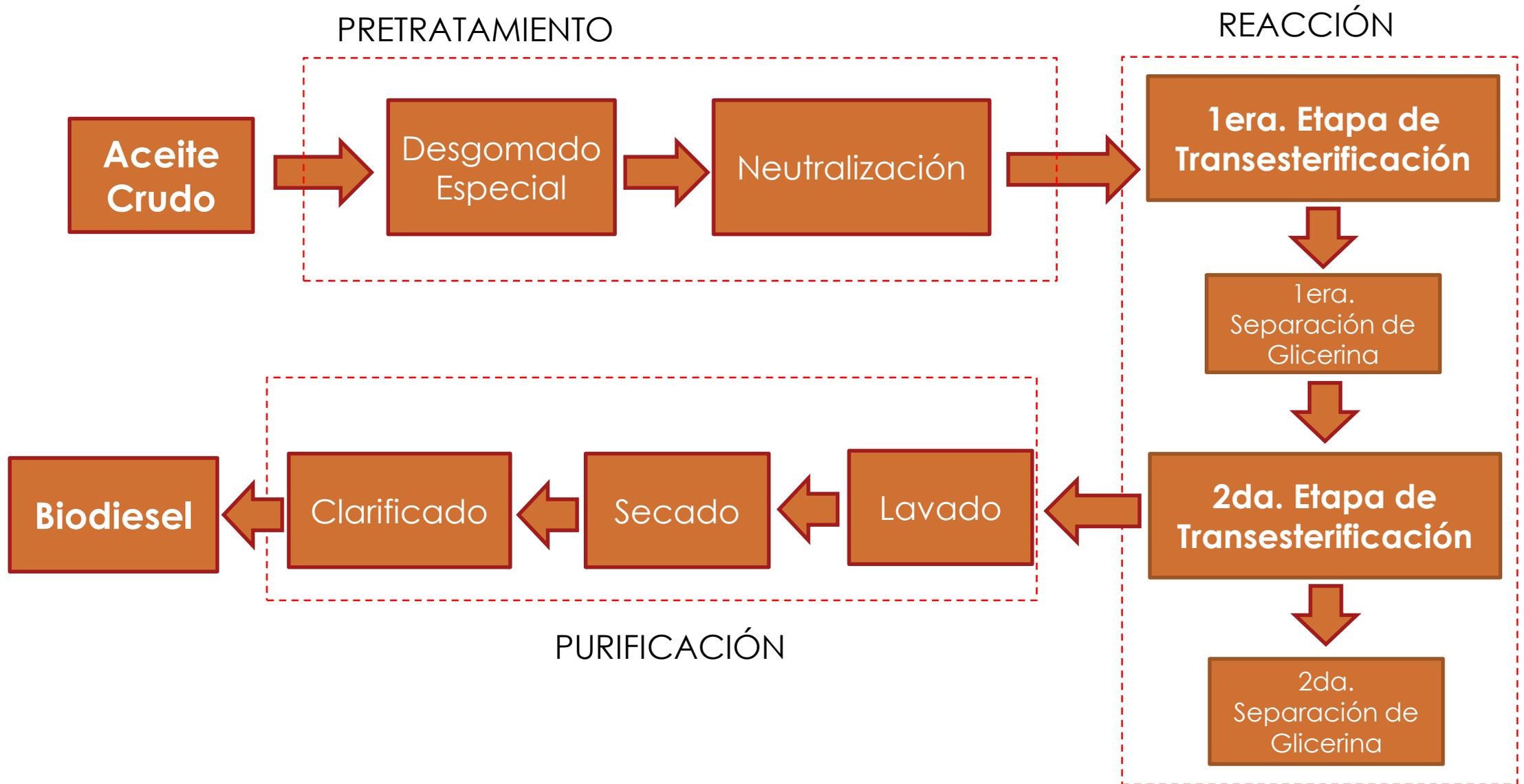
**Tabla 4. Composición de grasas animales comestibles % en peso**

Acidos grasos	Vacuno	Pollo	Pato	Porcino	Ovino	Pavo
10:0	-	-	-	0,1	-	-
12:0	0,9	0,1	-	0,2	-	-
14:0	3,7	0,9	0,7	1,3	3,8	0,9
Ácido Palmítico 16:0	24,9	21,6	24,7	23,8	21,5	20,6
16:1	4,2	5,7	4,0	2,7	2,3	6,0
Ácido Esteárico 18:0	18,9	6,0	7,8	13,5	19,5	6,2
Ácido Oleico 18:1	36,0	37,3	44,2	41,2	37,6	35,9
18:2	3,1	19,5	12,0	10,2	5,5	21,2
18:3	0,6	1,0	1,0	1,0	2,3	1,4
20:1	-	-	1,1	1,0	-	-
20:4	-	0,1	-	-	-	0,3

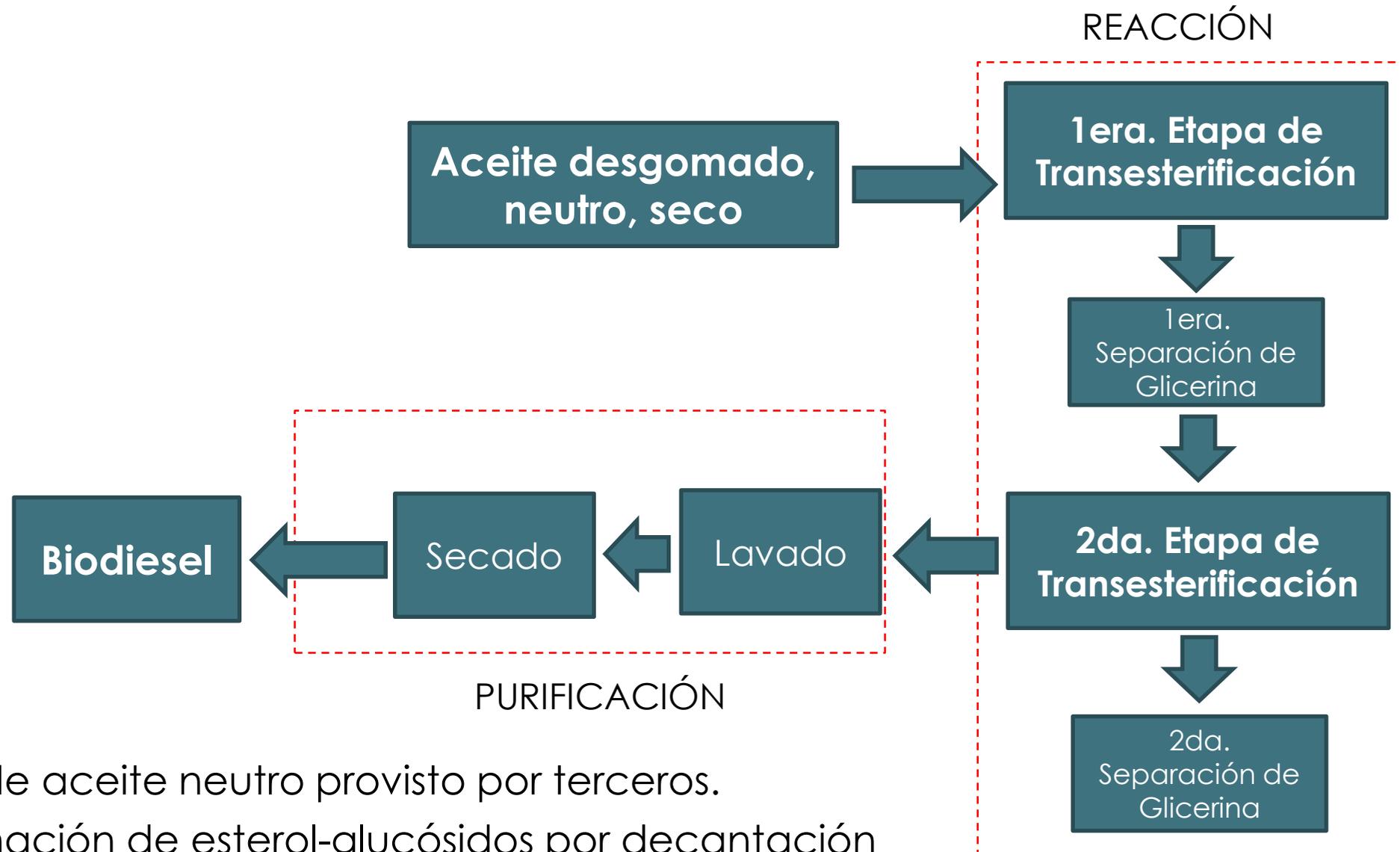
# Reacciones Químicas de los Aceites.



# Cómo se produce BIODIESEL? (Proceso Continuo Completo)



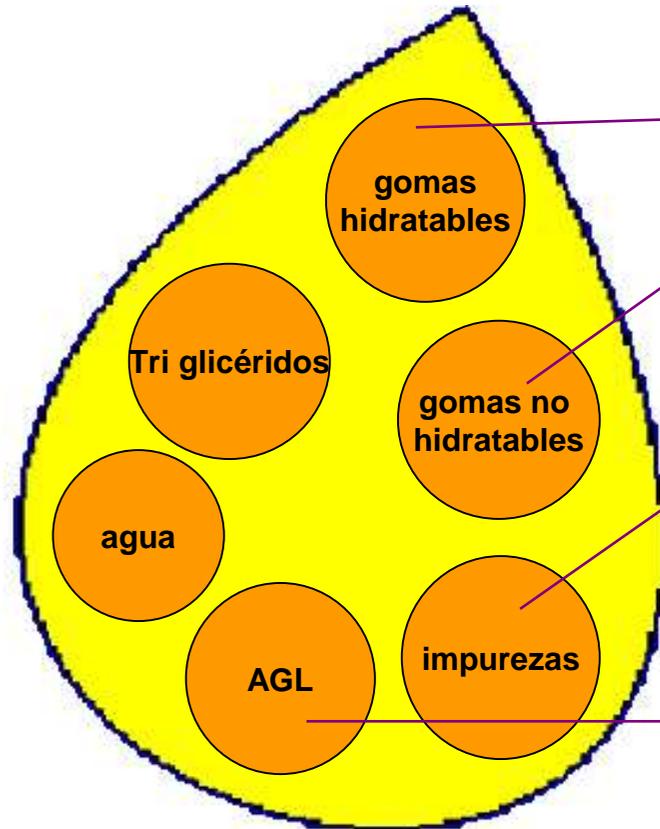
# Cómo se produce BIODIESEL? (Proceso de baja escala)



- ✓ Uso de aceite neutro provisto por terceros.
- ✓ Eliminación de esteroles-glucósidos por decantación directamente en tanques para despacho.

# DESGOMADO ACUOSO

## Fundamentos de la Operación



### Las sustancias se separan en etapas:

#### **Gomas** (lecitinas):

Materia natural de la membrana celular (agente emulsionante)

#### **Impurezas** (no solubles en hexano):

Componentes restantes del grano u otra contaminación.

#### **Ácidos grasos libres (FFA):**

Ácidos orgánicos provenientes de la hidrólisis del aceite provocadas por la actividad enzimática durante el procesamiento y almacenaje

Los fosfátidos no hidratables forman un complejo con calcio o magnesio, durante el almacenaje y el procesamiento del aceite. Estos permanecen disueltos en el aceite cuando se añade agua.

# DESGOMADO ACUOSO

## Fundamentos de la Operación

El pre-tratamiento prepara al aceite crudo para la transesterificación de modo a disminuir las pérdidas de aceite y los consumos de químicos.

### Ácidos Grasos Libres → producto de alto valor comercial

- Reacción con el catalizador alcalino formando jabón; alto consumo de catalizador.
- Los jabones aumentan las pérdidas de aceite y el éster debido a la emulsión.
- Los jabones dificultan la separación del par éster – glicerol.

**< 0.1 %**

### Gomas → residuos

- Los jabones aumentan las pérdidas de aceite y de éster debido a la emulsión.
- El tratamiento del glicerol: la separación de los ácidos grasos es más difícil.
- Pérdidas de glicerol en la destilación es más mayor.

**< 1 ppm P**

### Agua → agua residual

- Transforma el catalizador en un solución cáustica; mayor consumo de catalizador.
- El rendimiento disminuye debido a la saponificación del aceite.

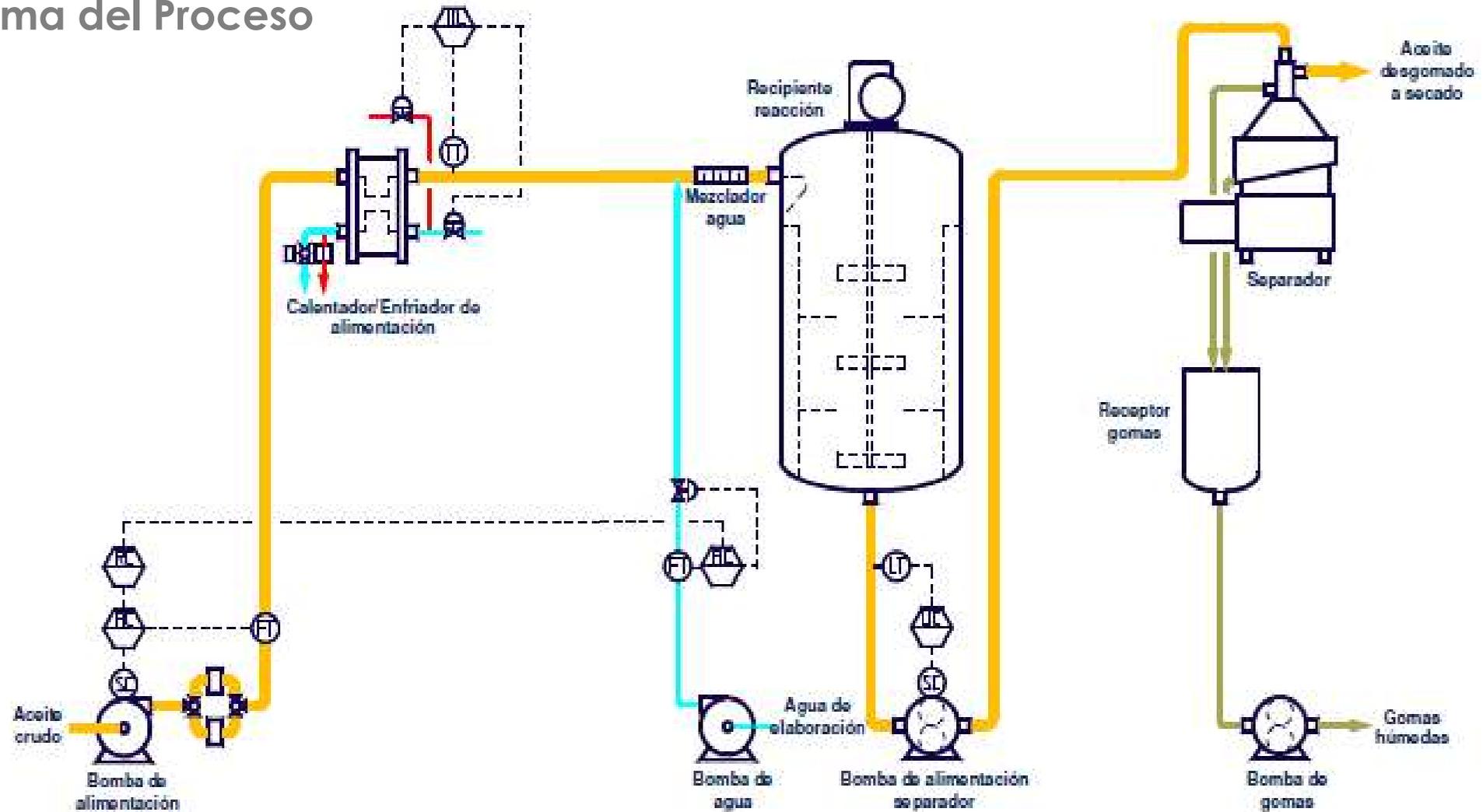
**< 0.1 %**

**El consumo de aceite y productos químicos en la Transesterificación, se ve afectado por la calidad del aceite neutro utilizado.**

# DESGOMADO ACUOSO

## Fundamentos de la Operación

### Diagrama del Proceso



# DESGOMADO ACUOSO

## Fundamentos de la Operación

### Condiciones Operativas

-Temperatura del aceite:	75 - 90 °C
-Adición de agua:	caliente y blanda, % similar a las gomas en línea
-Mezclado:	en línea
-Tiempo de hidratación :	20-30 minutos con agitación lenta
-Alimentación:	por bomba, de tornillo excéntrico lenta o por sistema presurizado

### Resultados del Proceso

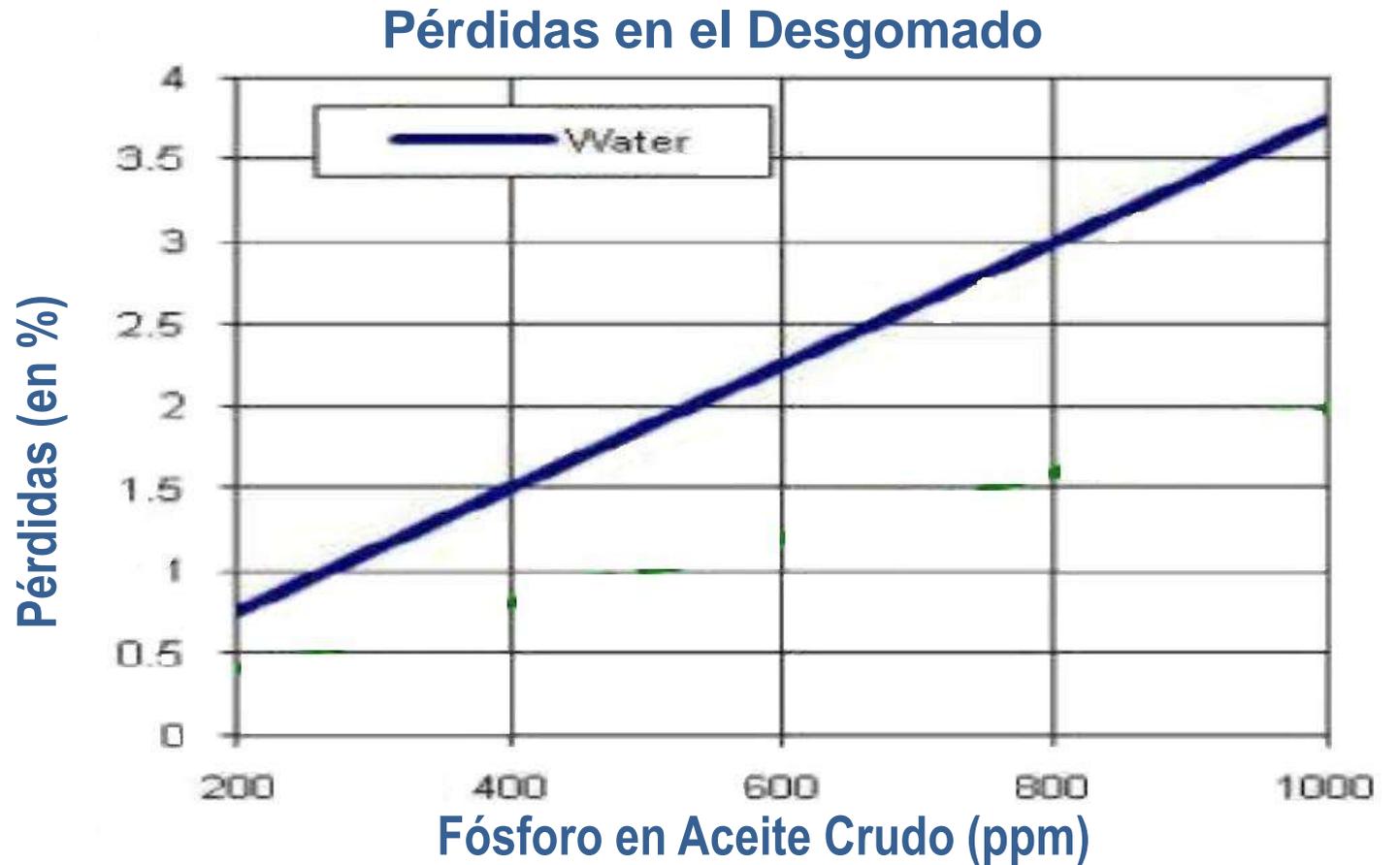
-Fosfátidos residuales :	no hidratables + 0,1 % (P < 200 ppm)
-Pérdidas de aceite:	máx. 33 % en gomas secas
-Humedad:	< 0,5 % sin secado al vacío

# DESGOMADO ACUOSO

Fundamentos de la Operación

CUANTAS MÁS IMPUREZAS... MÁS MERMAS

Tipo de aceite	Fosfátidos (ppm P)
Aceite de soja	700 - 1000
Aceite de canola	450 - 500
Aceite de maíz	250 - 300
Aceite de girasol	300 - 1000
Aceite de arroz	450 - 700
Aceite de palma	20 - 30



# DESGOMADO ACUOSO

## Cálculo de Pérdidas en proceso

Se definen dos tipos de pérdidas:

### 1) Pérdida de aceite (LA)

Es la debida al arrastre de aceite en los gomas por oclusión. Se calcula como:

$$LA = \left( \underset{(A)}{\text{Cantidad de gomas separadas}} \right) \times \left( \underset{(B)}{\% \text{ de aceite en gomas separadas}} \right)$$

(B) : Se obtiene en el análisis de las muestras como Materia Soluble en Acetona (incluye aceite neutro más ácidos grasos libres ). ( Normalmente durante el desgomado disminuye la acidez del aceite crudo y los ácidos grasos separados pasan a las gomas).

# DESGOMADO ACUOSO

## Cálculo de Pérdidas en proceso

(A) : Se calcula como:

Fosfátidos en aceite crudo - Fosfátidos en aceite desgomado = C  
Los fosfátidos separados (C) pasan a las gomas junto con agua y aceite.  
Entonces la cantidad total de gomas será:

$$(A) = C / \text{Insolubles en acetona}$$

Insolubles en acetona: da el valor de fosfátidos presentes en las gomas.  
Como la cantidad de fosfátidos se calcula multiplicando el valor de fósforo por 25 (o 30) y dado que el fósforo (P) se expresa normalmente en ppm, resulta:

$$C \% = (PC - PD) \times 25 / 10000$$

y finalmente

$$LA \% = ((PC - PD) / 400) \times (SA / IA)$$

PC, PD: fósforo en ppm en aceite crudo y desgomado, respectivamente

SA : solubles en acetona

IA : insolubles en acetona

# DESGOMADO ACUOSO

## Cálculo de Pérdidas en proceso

2) Pérdida total: Al desgomar el aceite se retiran del mismo cierta cantidad de fosfátidos (es una pérdida inevitable ) que sumada a la pérdida de aceite constituyen la pérdida total del proceso.

$$LT \% = LA + \text{Fosfátidos perdidos}$$

$$LT \% = LA + (PC-PD)/400$$

finalmente  $LT \% = (PC-PD)/400 \times (1 + SA/IA)$

# DESGOMADO ACUOSO

## Cálculo de Pérdidas en proceso

2) Pérdida total: Al desgomar el aceite se retiran del mismo cierta cantidad de fosfátidos (es una pérdida inevitable ) que sumada a la pérdida de aceite constituyen la pérdida total del proceso.

$$LT \% = LA + \text{Fosfátidos perdidos}$$

$$LT \% = LA + (PC-PD)/400$$

finalmente  $LT \% = (PC-PD)/400 \times (1 + SA/IA)$

# DESGOMADO ACUOSO

## Control de Proceso

- En el desgomado acuoso sólo se remueven las gomas hidratables !
- La separadora sólo remueve las gomas que estén en forma insoluble!

Por ello si el contenido de P en el aceite desgomado es elevado o las gomas arrastran mucho aceite, puede haber varias razones para ello:

- 1-Los fosfátidos no hidratables son muy elevados
- 2-El proceso de desgomado no está ajustado correctamente
- 3-La separadora no funciona adecuadamente

Deben investigarse cada una de las posibles causas. El análisis de los NHP en el crudo resulta de mucha utilidad en estos casos.

# DESGOMADO ACUOSO

## Control de Proceso – Chequeo de la Separadora centrífuga

### Ensayo de Spin Test

Se toma una muestra de entrada y luego de centrifugarla en laboratorio se analiza P en el aceite sobrenadante. Este valor se considera el NHP de la instalación para el crudo en proceso.

Si el P a la salida de la separadora da un valor de

**NHP + 40/50 ppm**

la separadora está funcionando correctamente y deben buscarse los motivos en otras variables del proceso (temperatura, dosis de agua, mezclado, calidad del crudo, etc.)

# DESGOMADO ACUOSO

## Control de Proceso – Chequeo de la Separadora centrífuga

### Ensayo de Spin Test

#### Desgomado

Fine tuner 90° (245 mm)

Presión alimentación: 1.7 barg.

Contra presión: 4 – 4.1 barg.

Fase liviana: 919.8 kg/m<sup>3</sup>

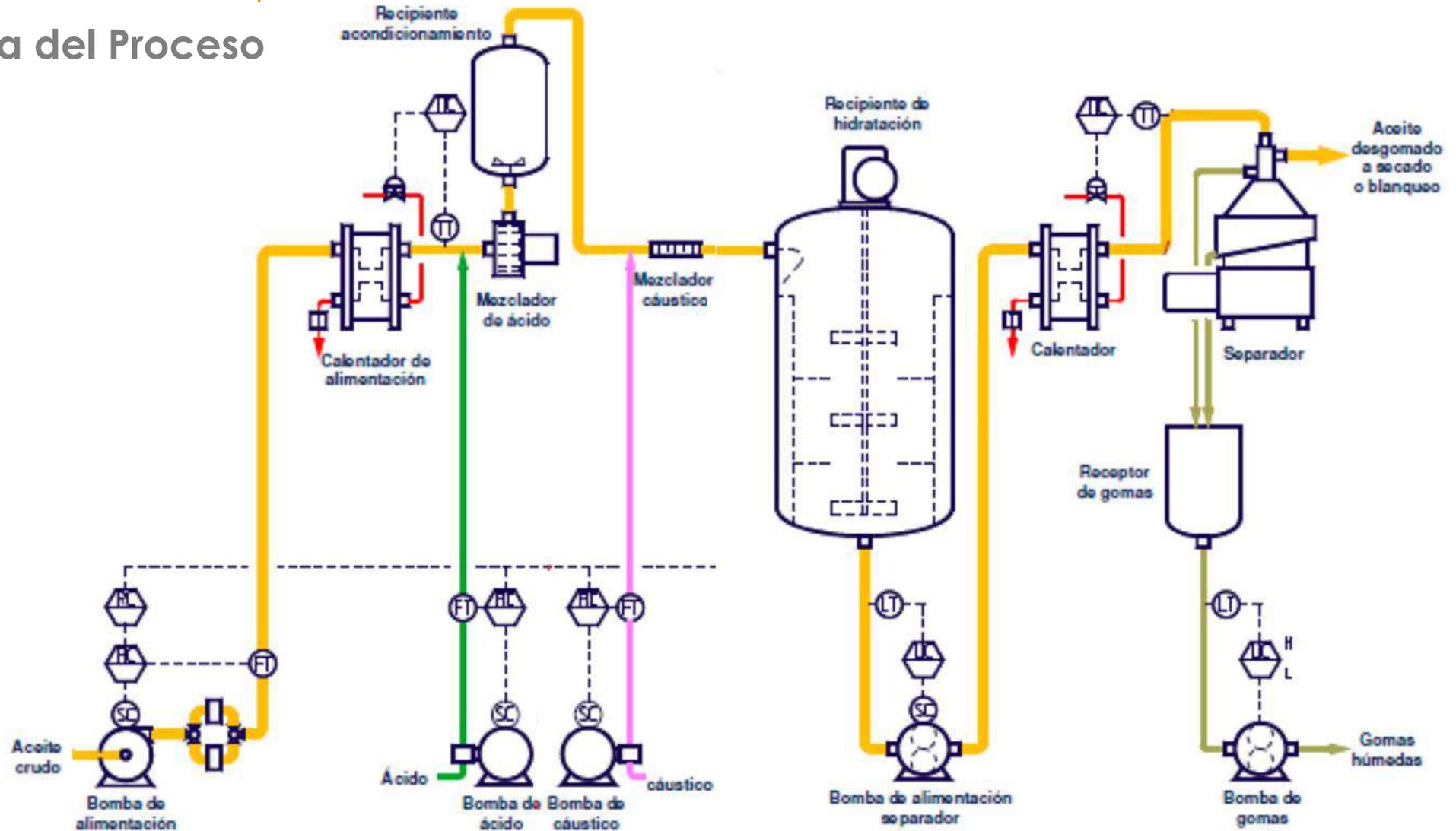
Fase pesada: Gomas (color ámbar, alta viscosidad, sin agua libre).

Feed	Light phase	Heavy phase
		
≈2,0 vol.-%	~ 0.1 – 0.2 vol.-%	gums

# DESGOMADO ESPECIAL (Ácido)

## Fundamentos de la Operación

### Diagrama del Proceso



# DESGOMADO ESPECIAL (Ácido)

## Fundamentos de la Operación

### Condiciones Operativas

- **Temperatura de Aceite:** 60 – 70°C
- **Adición de agua:** 1 – 3%
- **Dosificación de ácido cítrico:** 0,05 – 0,1%
- **Tiempo de Hidratación:** 30 – 60 minutos

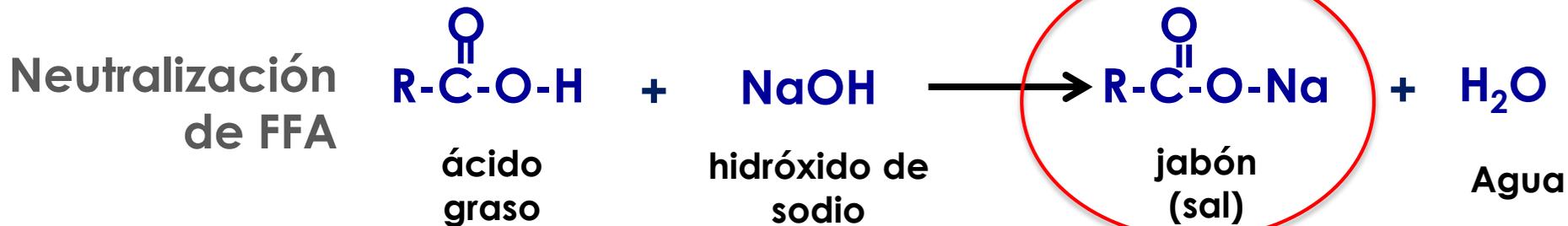
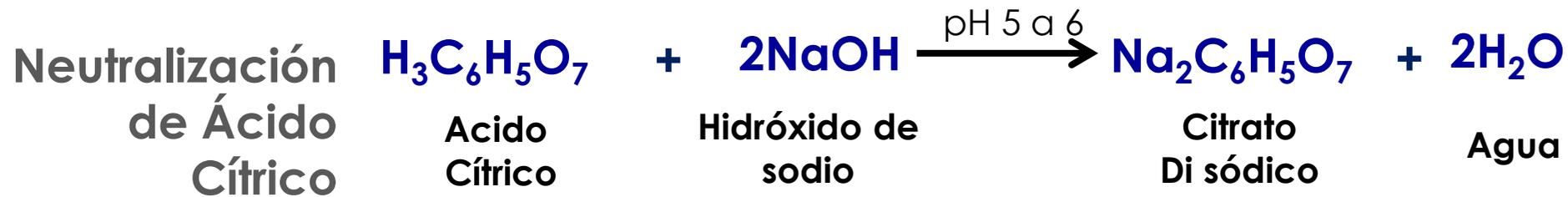
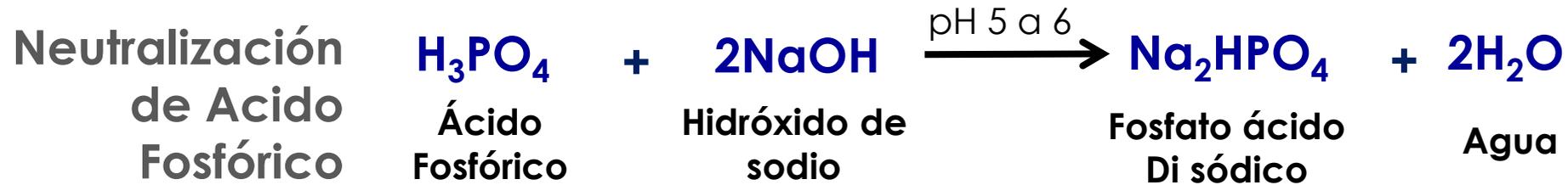
### Resultados del Proceso

- **Fosfátidos residuales:** 20 – 30 ppm
- **Pérdida de aceite:** 35 – 40%
- **Humedad:** < 0,4%

# DESGOMADO ESPECIAL (Ácido)

## Fundamentos de la Operación

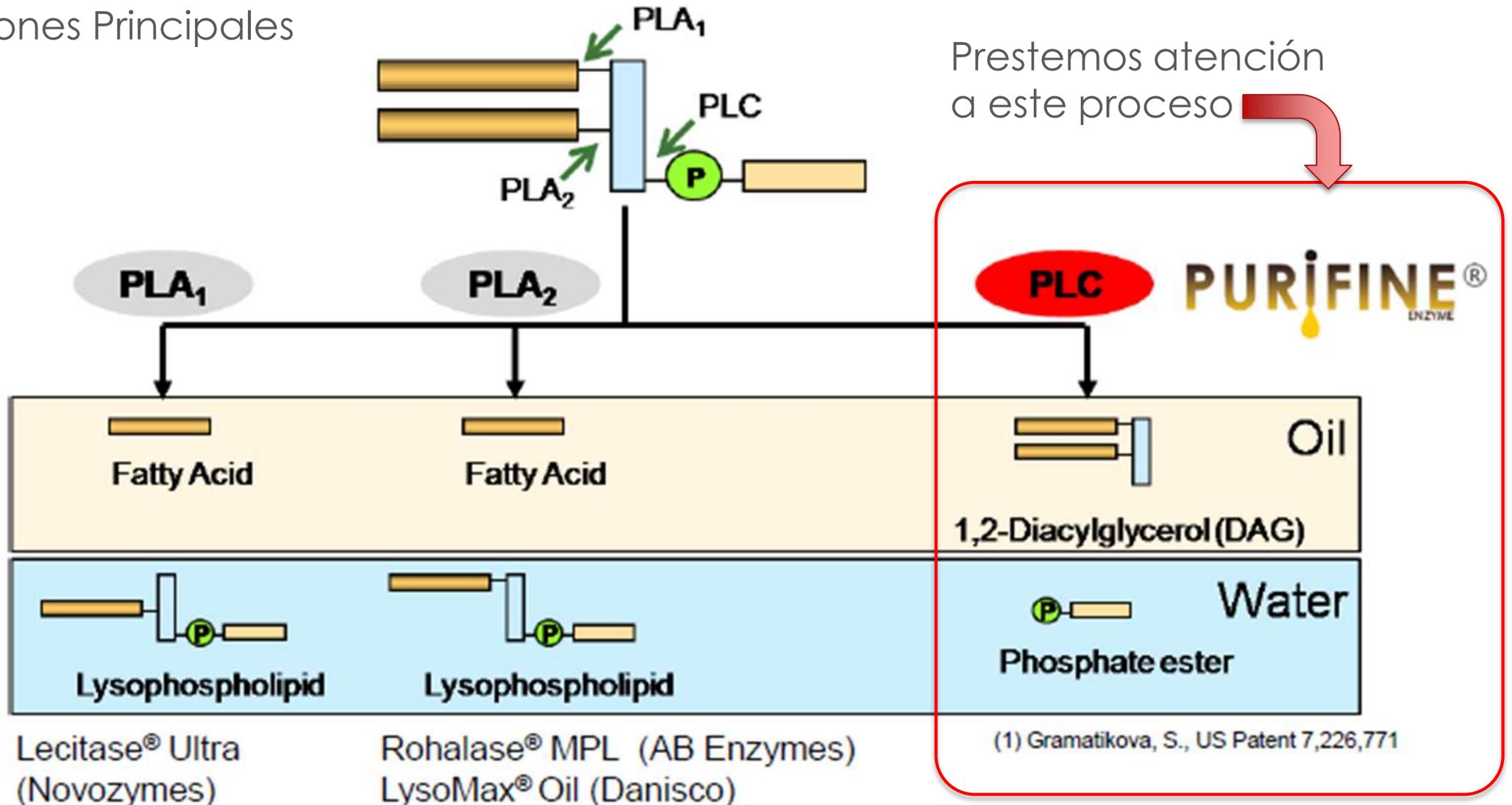
Reacciones Principales de neutralización



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

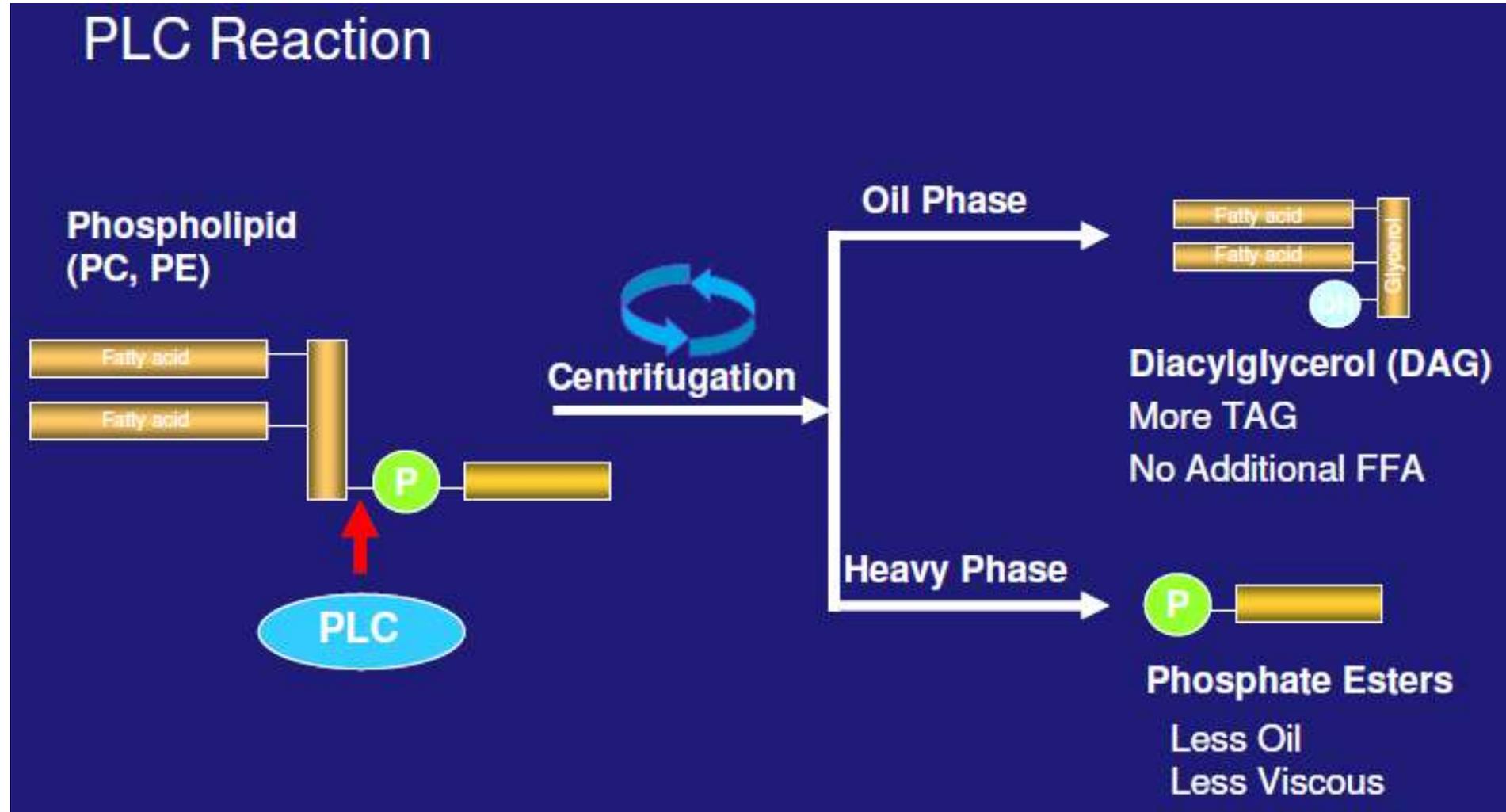
### Reacciones Principales



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

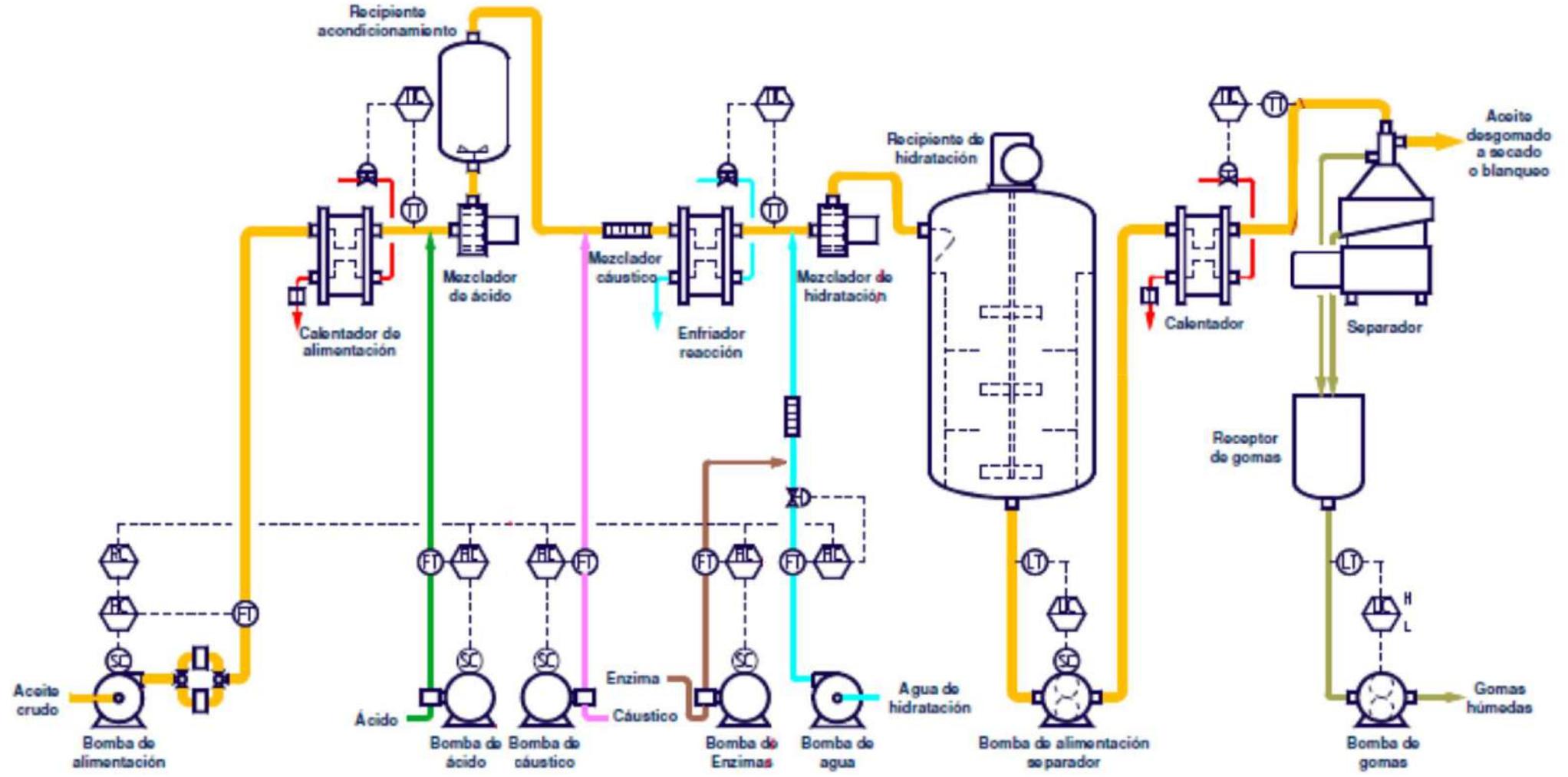
### Reacciones Principales



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

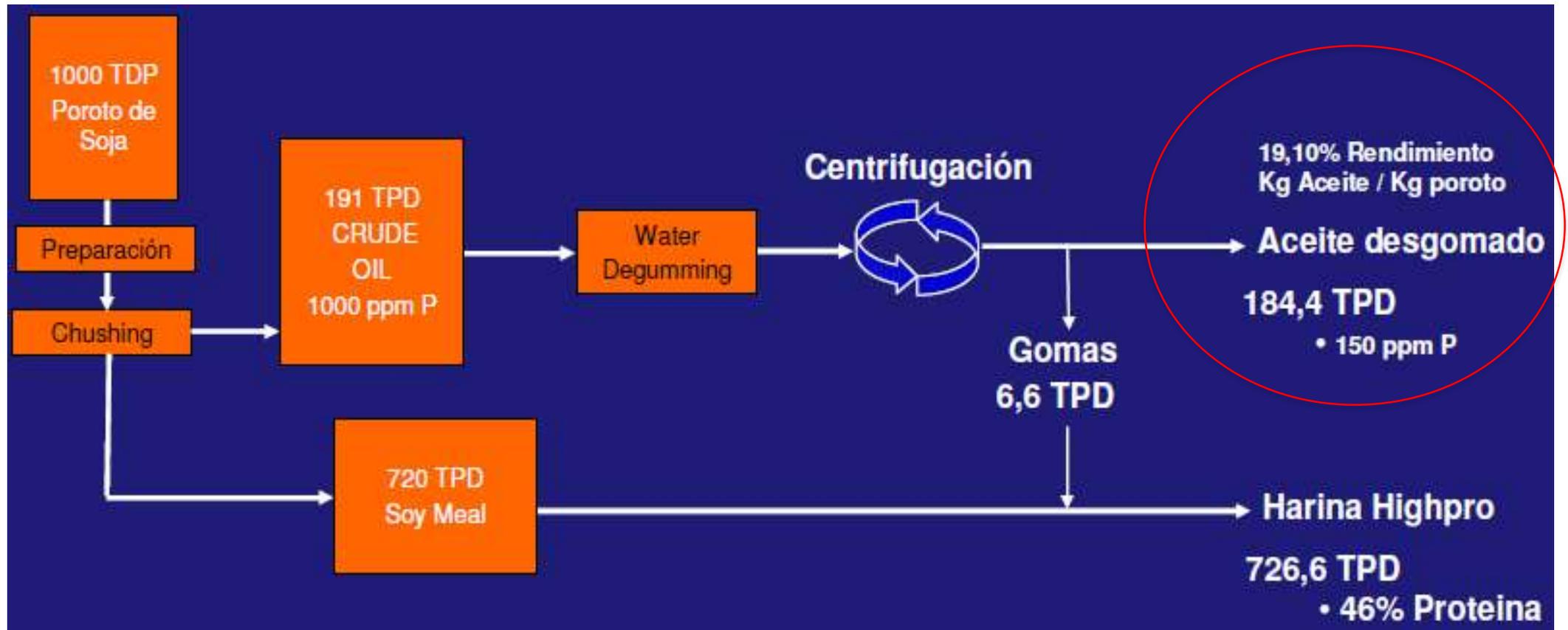
### Diagrama del Proceso 1



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

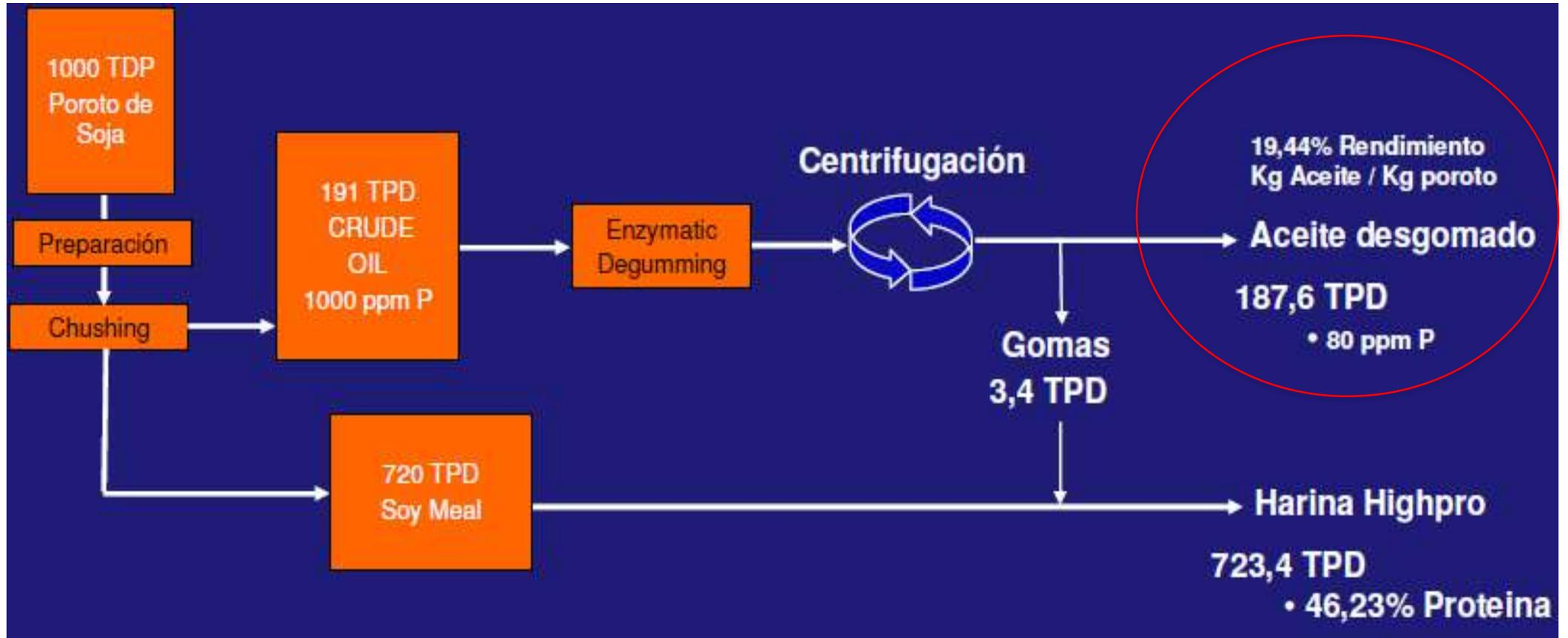
### Balance de masa y Rendimientos



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

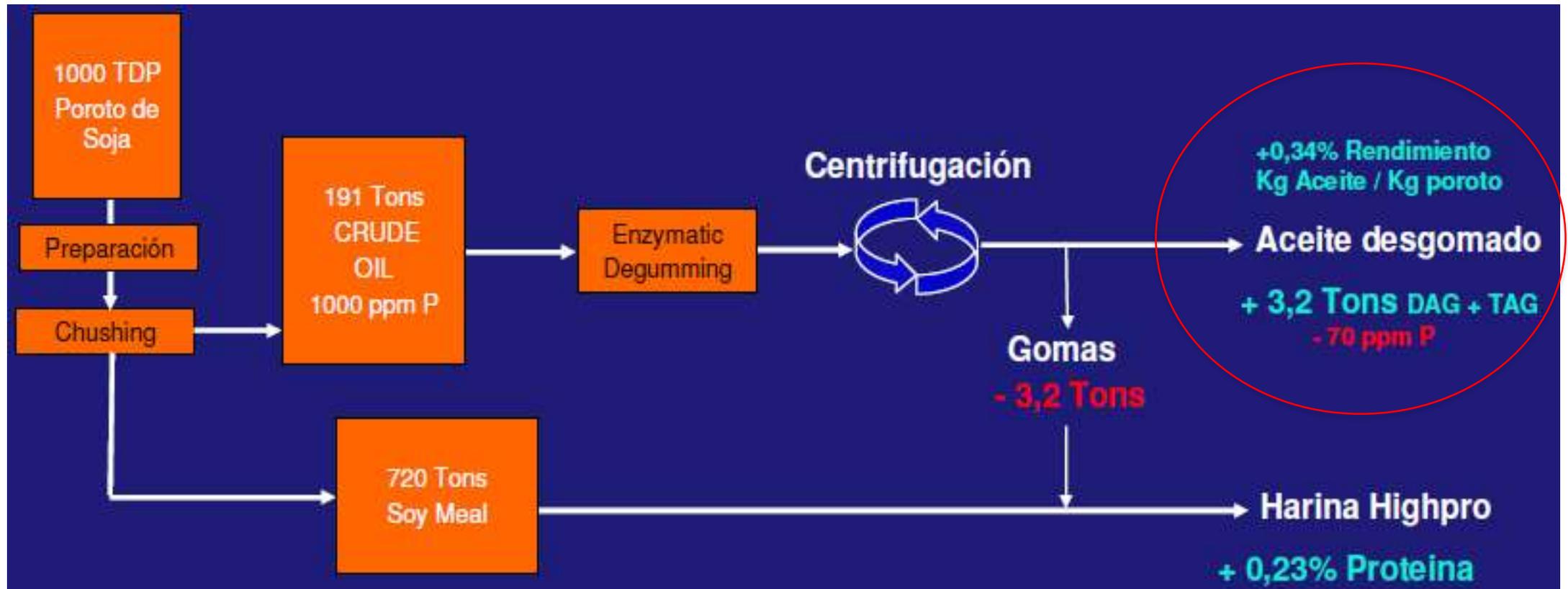
### Balance de masa y Rendimientos



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

### Balance de masa y Rendimientos

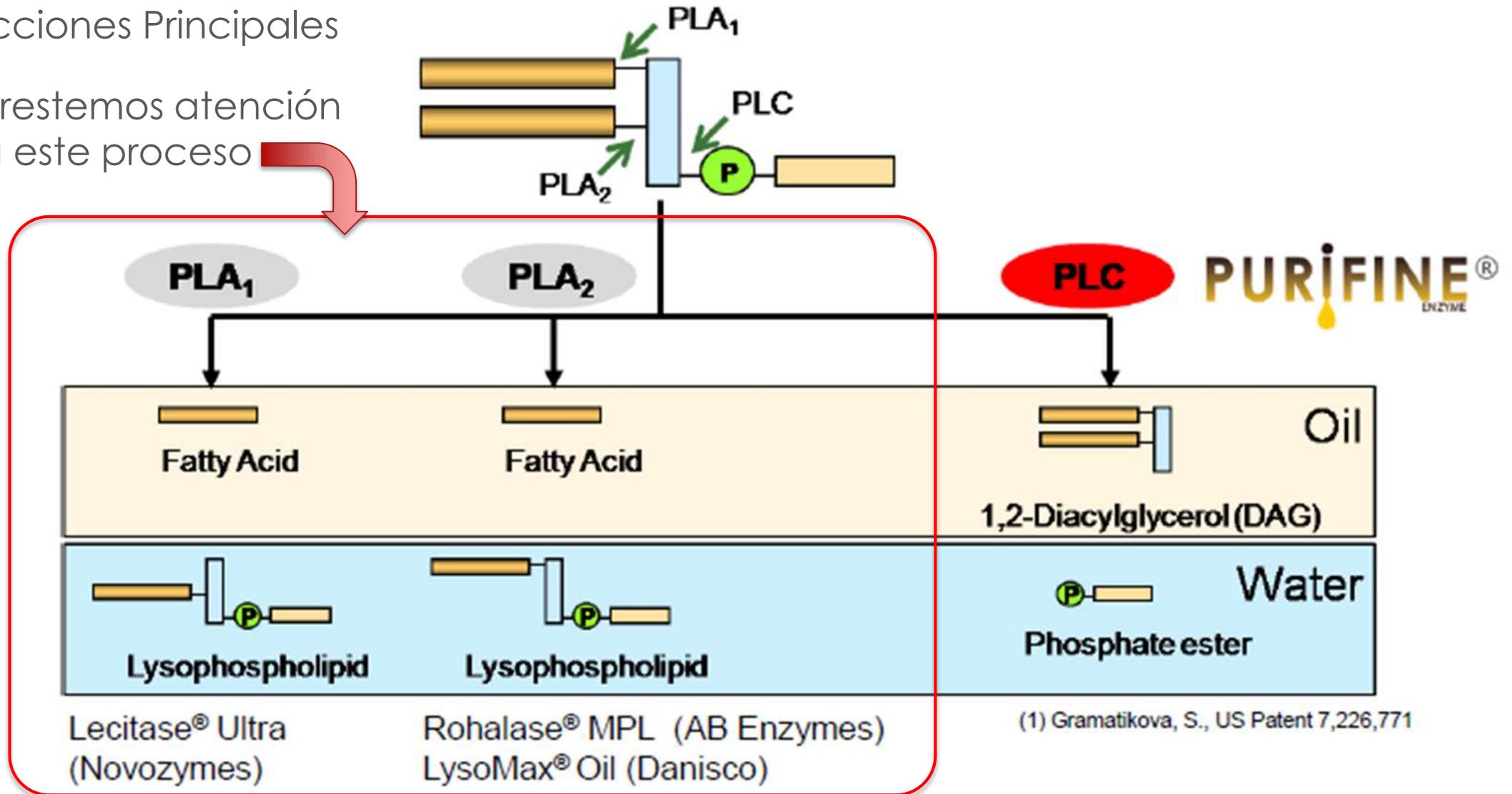


# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

### Reacciones Principales

Prestemos atención a este proceso



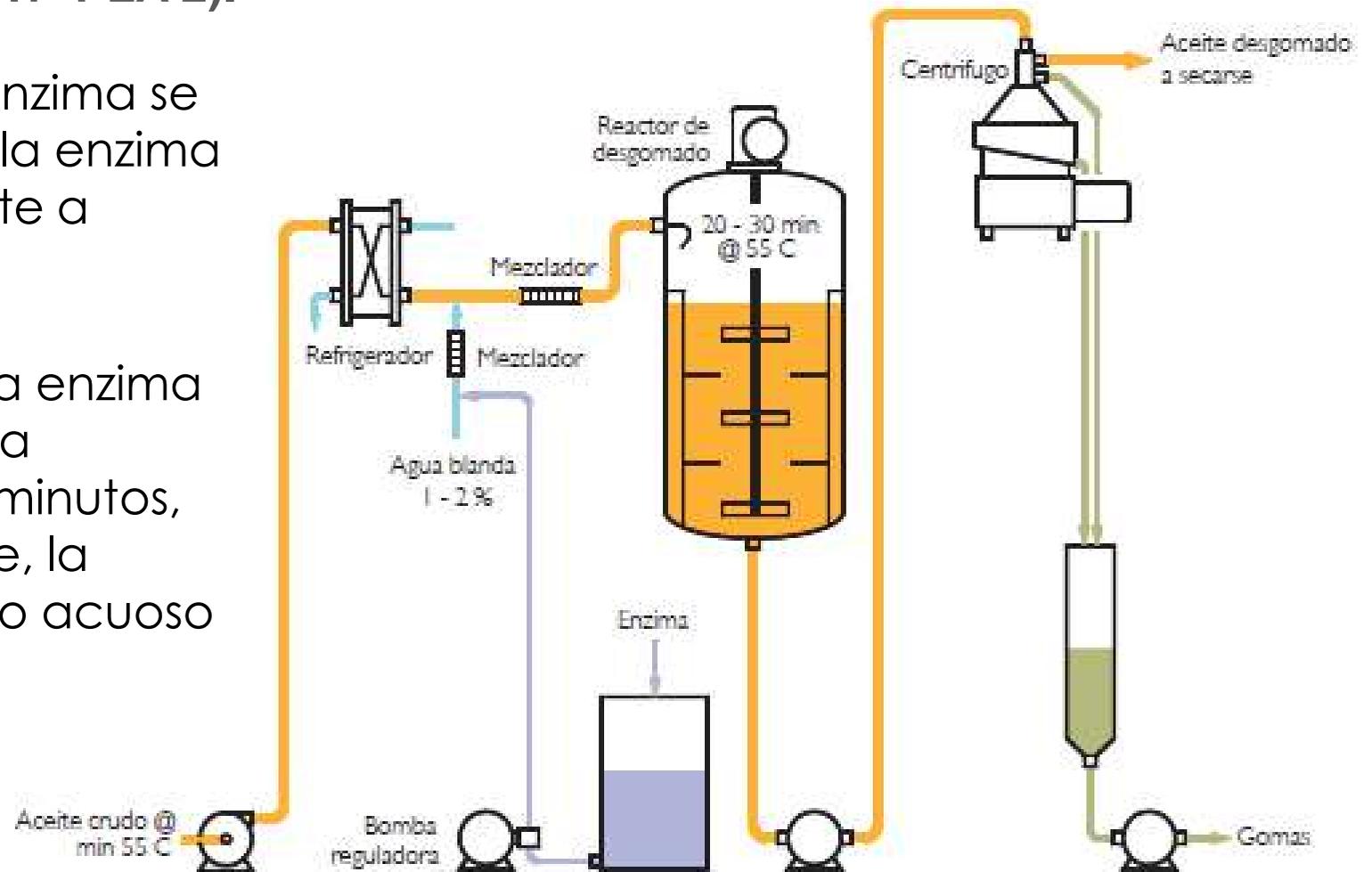
# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

### Diagrama del Proceso 2 (PLA1- PLA 2).

La actividad óptima de la enzima se obtiene a los 50°C, aunque la enzima se desnaturaliza rápidamente a temperaturas mayores.

Las pruebas muestran que la enzima es estable (actividad relativa superior al 80%) durante 30 minutos, hasta 55°C. Por consiguiente, la temperatura de desgomado acuoso debe mantenerse en 55°C.



# DESGOMADO ENZIMÁTICO

## Fundamentos de la Operación

Característica de la reacción enzimática utilizando una enzima tipo PLA1 o PLA2, donde el producto final tiene un contenido en FFA mayor al crudo original como se muestra:

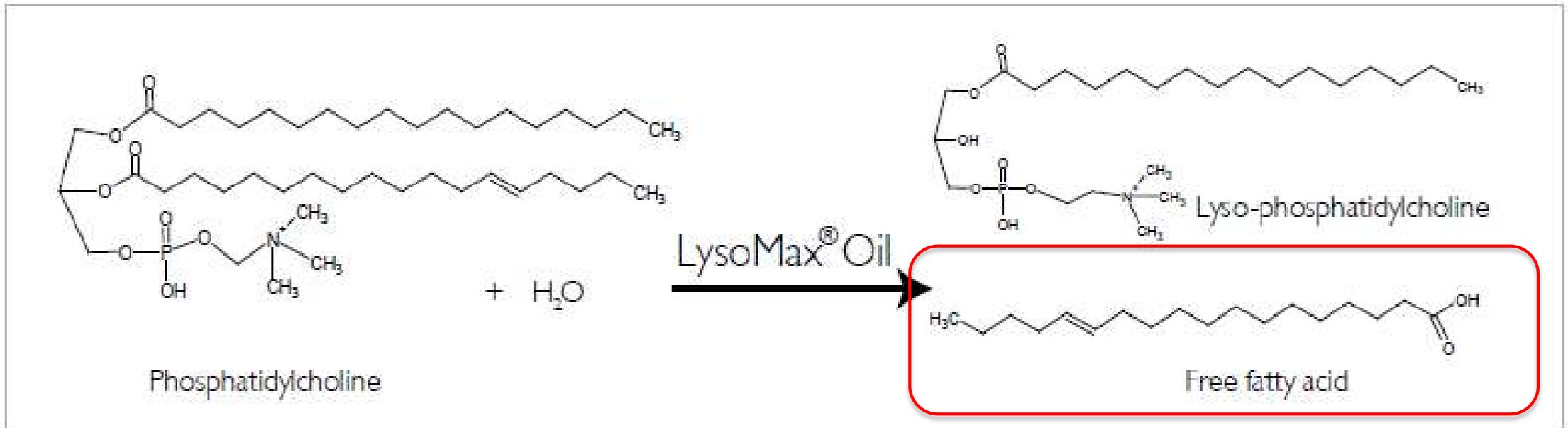
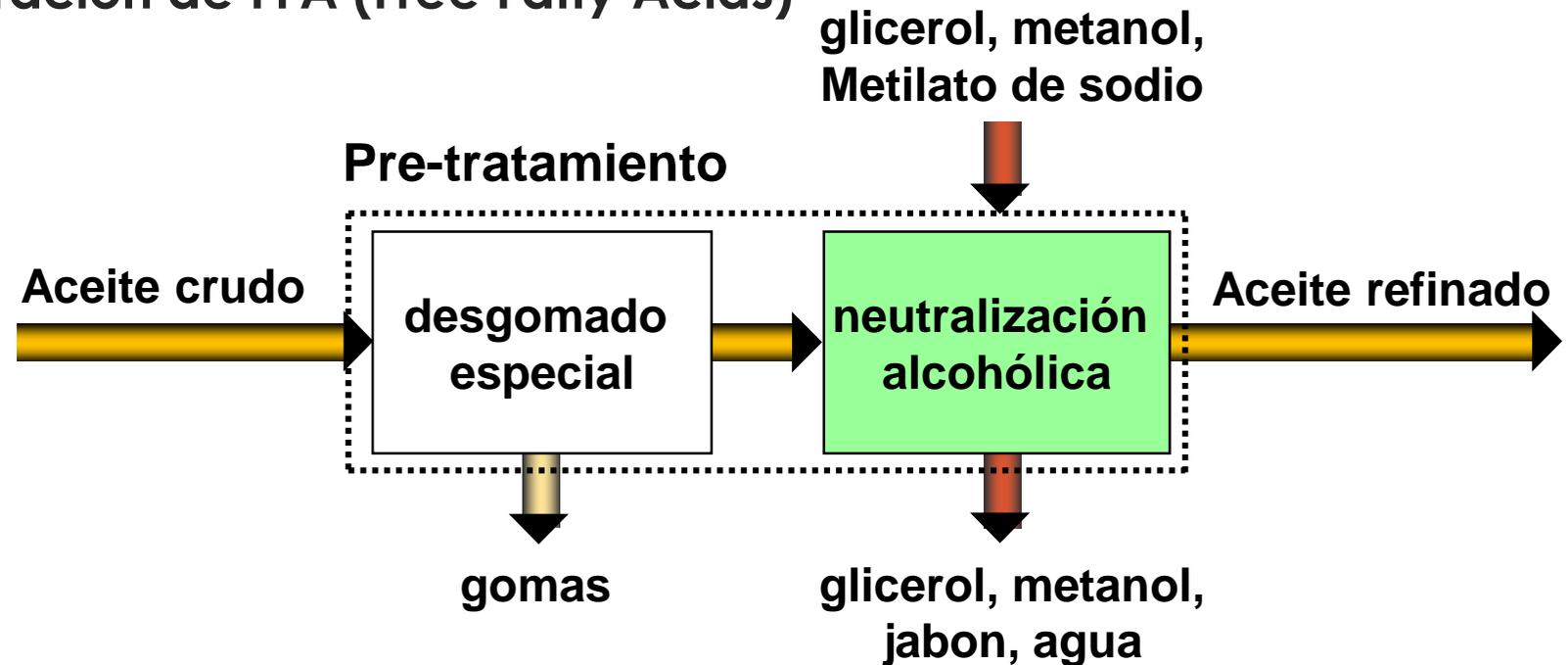


Figure 4. Hydrolysis of phosphatidylcholine into lyso-phosphatidylcholine and free fatty acid by LysoMax<sup>®</sup> Oil.

# NEUTRALIZACIÓN ALCOHÓLICA

## Fundamentos de la Operación

### Separación y Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)

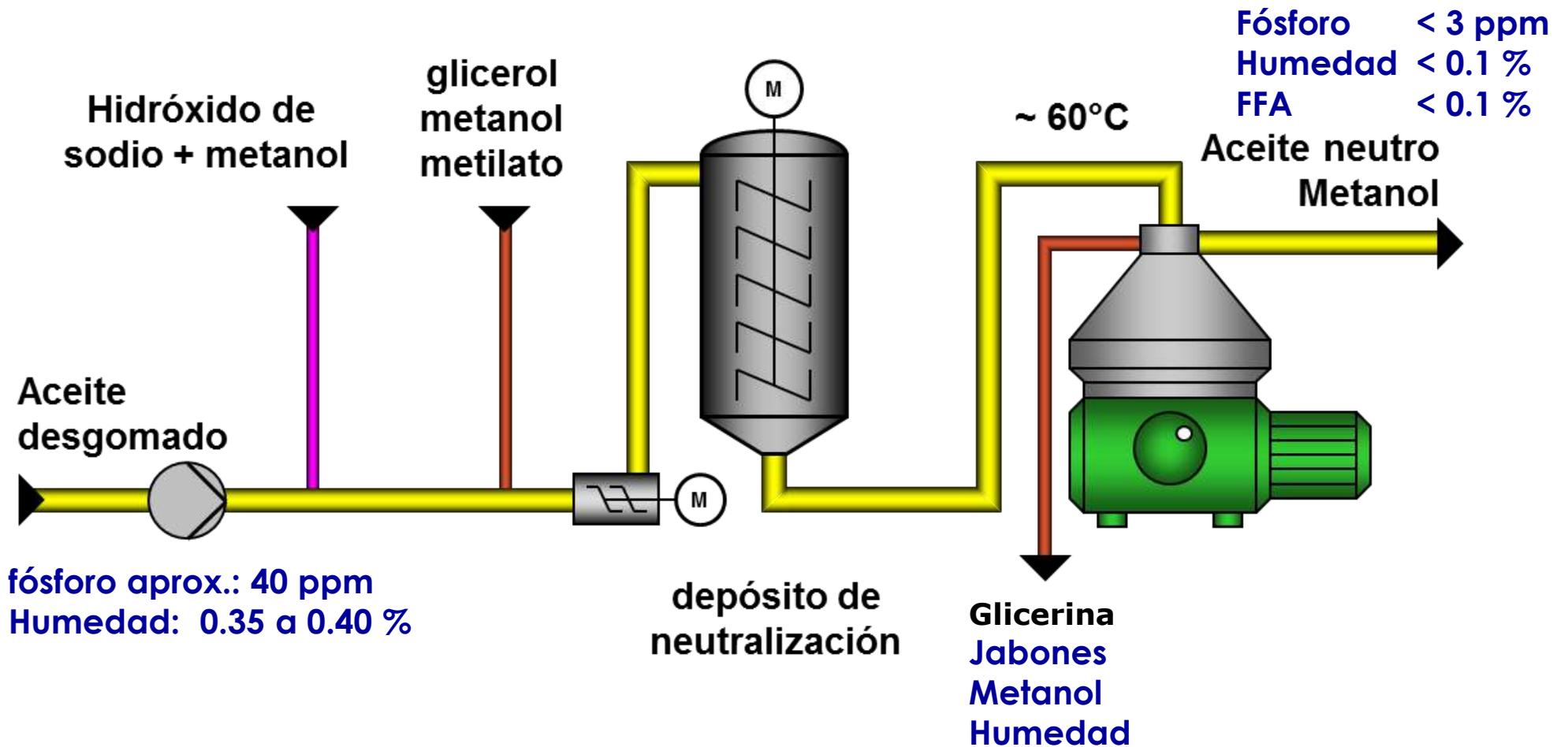


- Neutralización de los FFA y el remanente de ácido fosfórico/Cítrico.
- Secado del aceite debido a la adsorción de agua por glicerol.
- Pos-desgomado con la fase de glicerol.
- Recuperación del metanol, transferencia de la fase de glicerol al aceite.

# NEUTRALIZACIÓN ALCOHÓLICA

## Fundamentos de la Operación

### Separación y Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)





# ACCIÓN ALCOHÓLICA

## Proceso – Chequeo de la Separadora centrífuga

### Ensayo de Spin Test

Fine tuner 90° (245 mm)

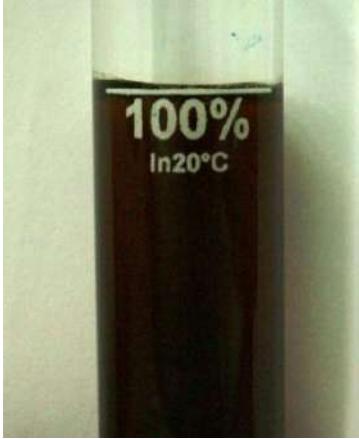
Presión alimentación: 2,0 barg.

Contra presión: 3,6 – 3,8 barg.

Fase liviana: 917,4 kg/m<sup>3</sup> ≈ 13% vol. De fase pesada.

Fase pesada: 1159,7 kg/m<sup>3</sup> - sin aceite en la superficie

Diferencia de densidad: 242,0 kg/m<sup>3</sup>.

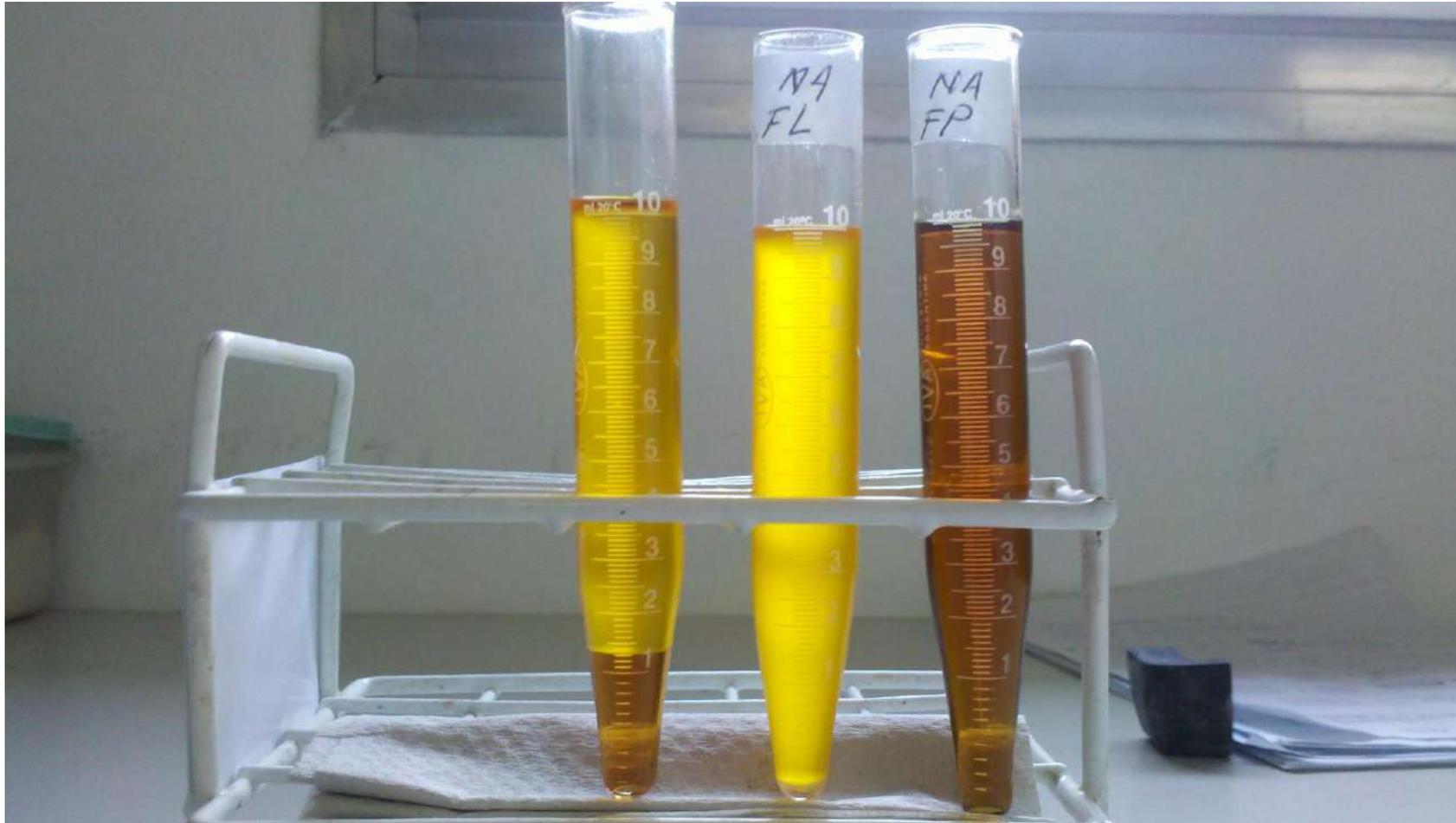
Feed	Light phase	Heavy phase
		
~ 13 vol.-%	~ 0.28 vol.-%	nil oil on top



# ACCIÓN ALCOHÓLICA

de Proceso – Chequeo de la Separadora centrífuga

Ensayo de Spin Test



# NEUTRALIZACIÓN ALCOHÓLICA

## Fundamentos de la Operación

Reacciones Principales de neutralización

Productos arrastrados en la corriente de glicerina

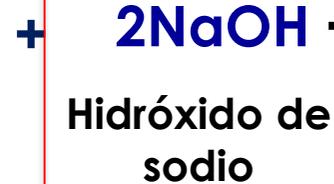
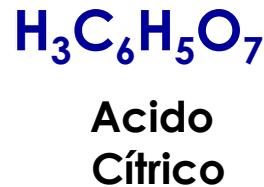
Neutralización  
de Ácido  
Fosfórico



pH 5 a 6



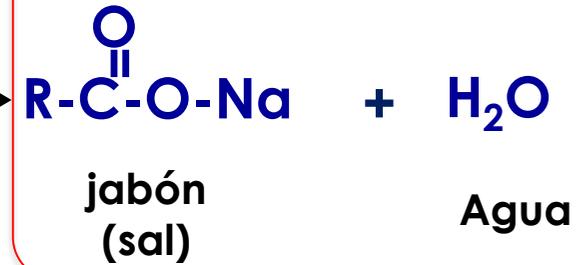
Neutralización  
de Ácido  
Cítrico



pH 5 a 6



Neutralización  
de FFA

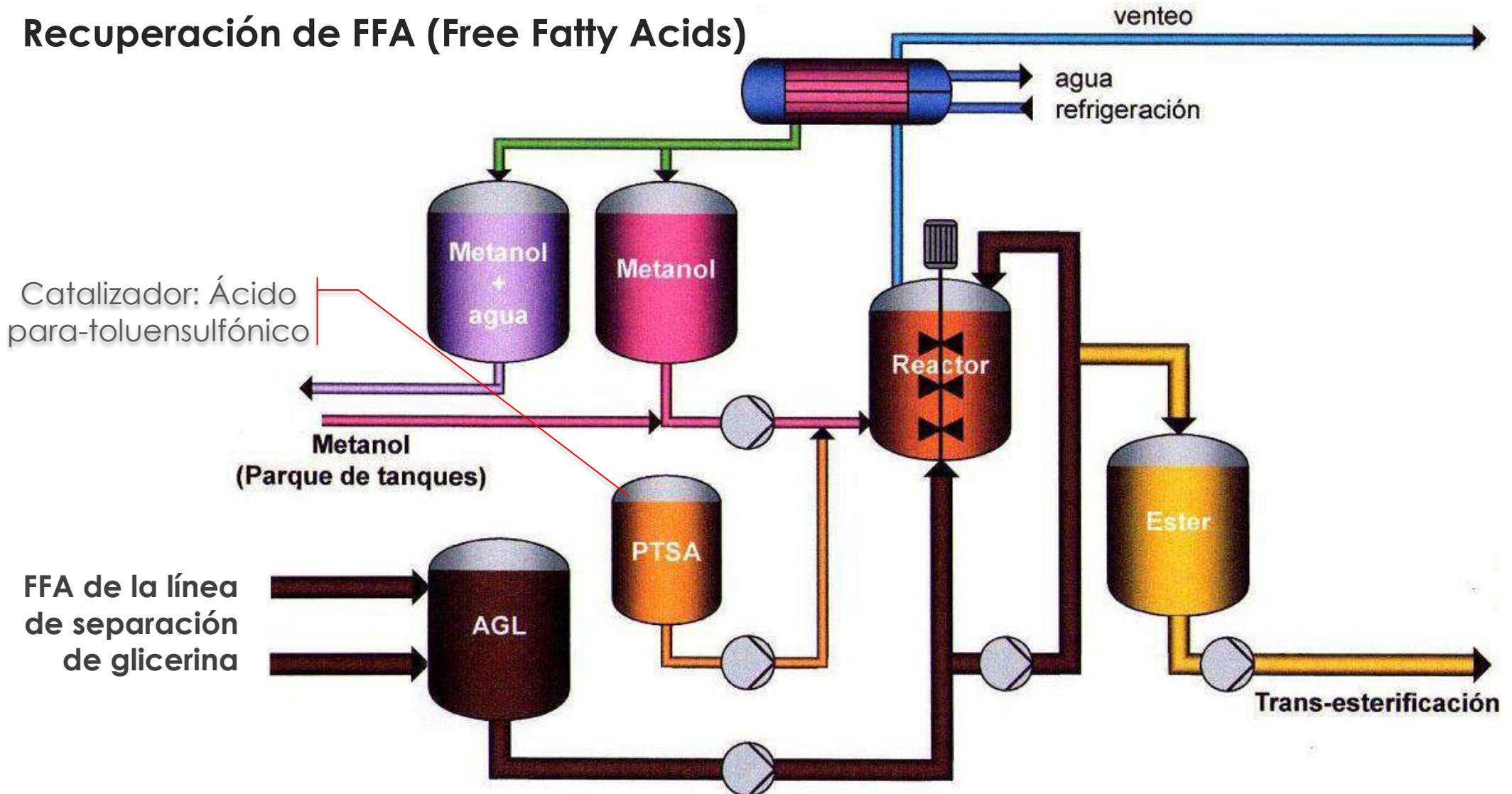


Del Catalizador  
Metilato de sodio

# ESTERIFICACIÓN ÁCIDA

## Fundamentos de la Operación

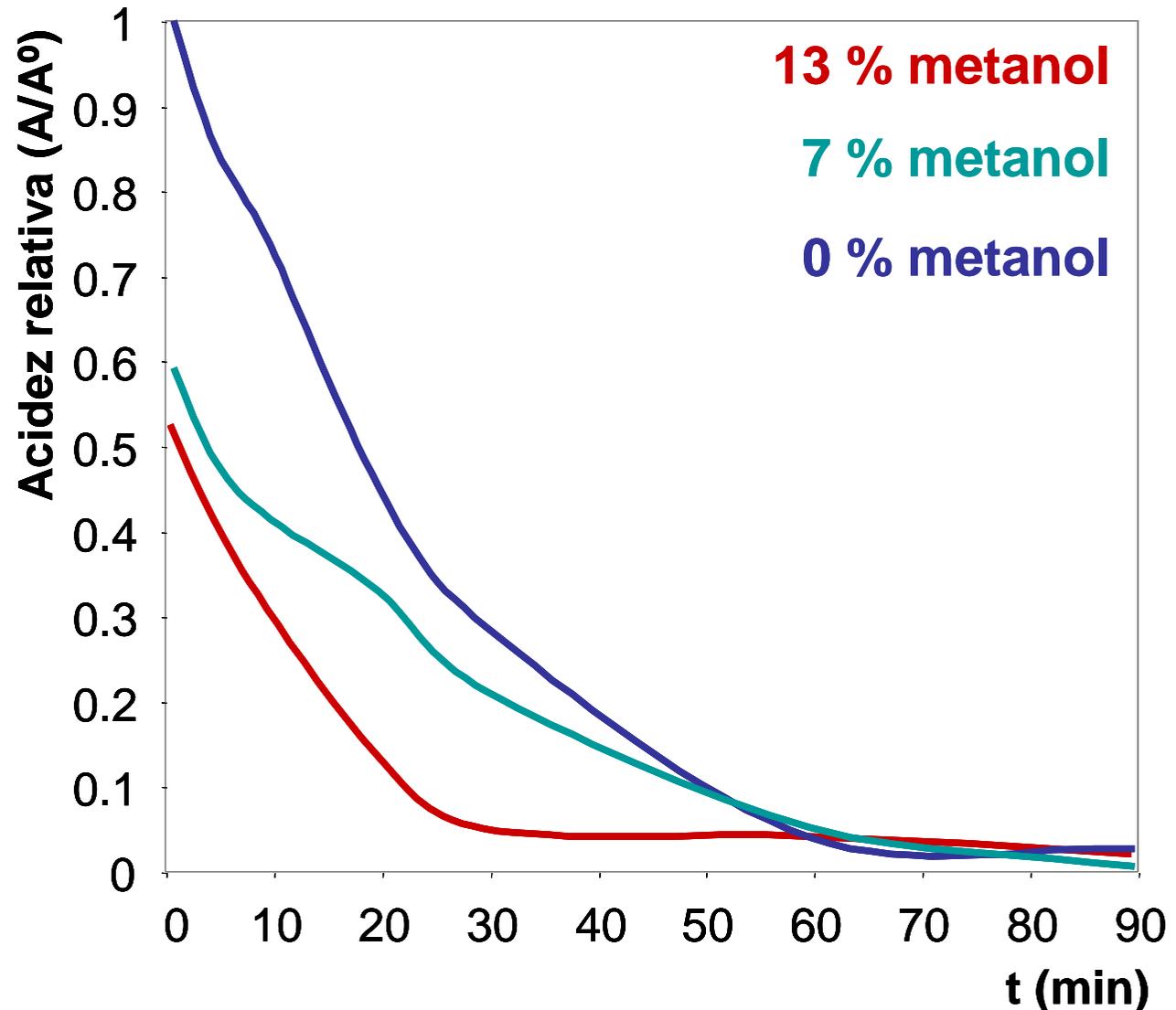
### Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)



# ESTERIFICACIÓN ÁCIDA

## Fundamentos de la Operación – Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)

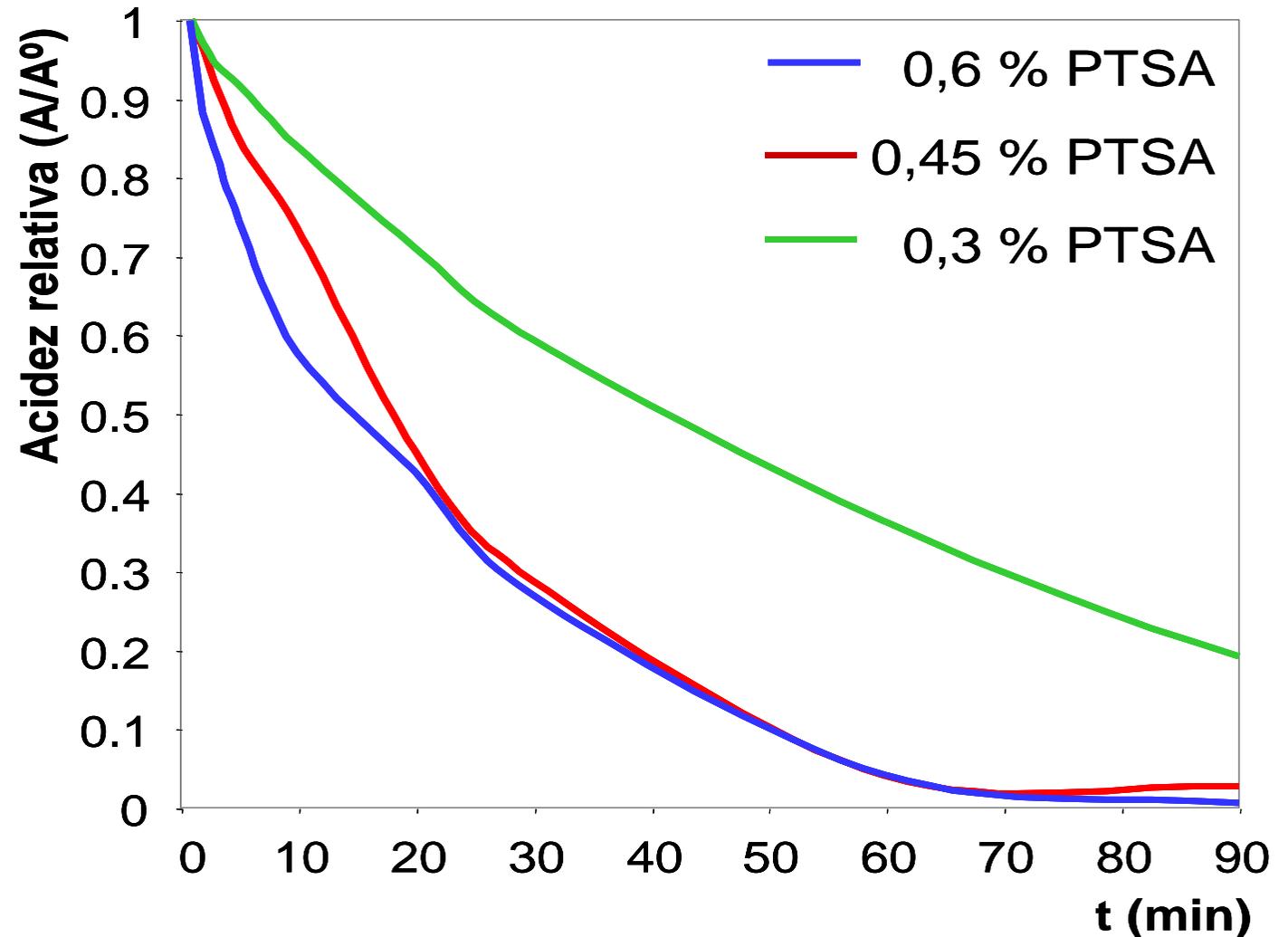
Evolución de la acidez relativa con el tiempo para experiencias realizadas a 110°C con destilación continua y realimentando metanol fresco para distintas cargas iniciales de metanol: 0% (curva azul); 7% (curva verde); 13% (curva roja).



# ESTERIFICACIÓN ÁCIDA

## Fundamentos de la Operación – Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)

Evolución de la acidez relativa con el tiempo para experiencias realizadas a 110°C con distintas cargas de catalizador.



# ESTERIFICACIÓN ÁCIDA

## Fundamentos de la Operación – Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)

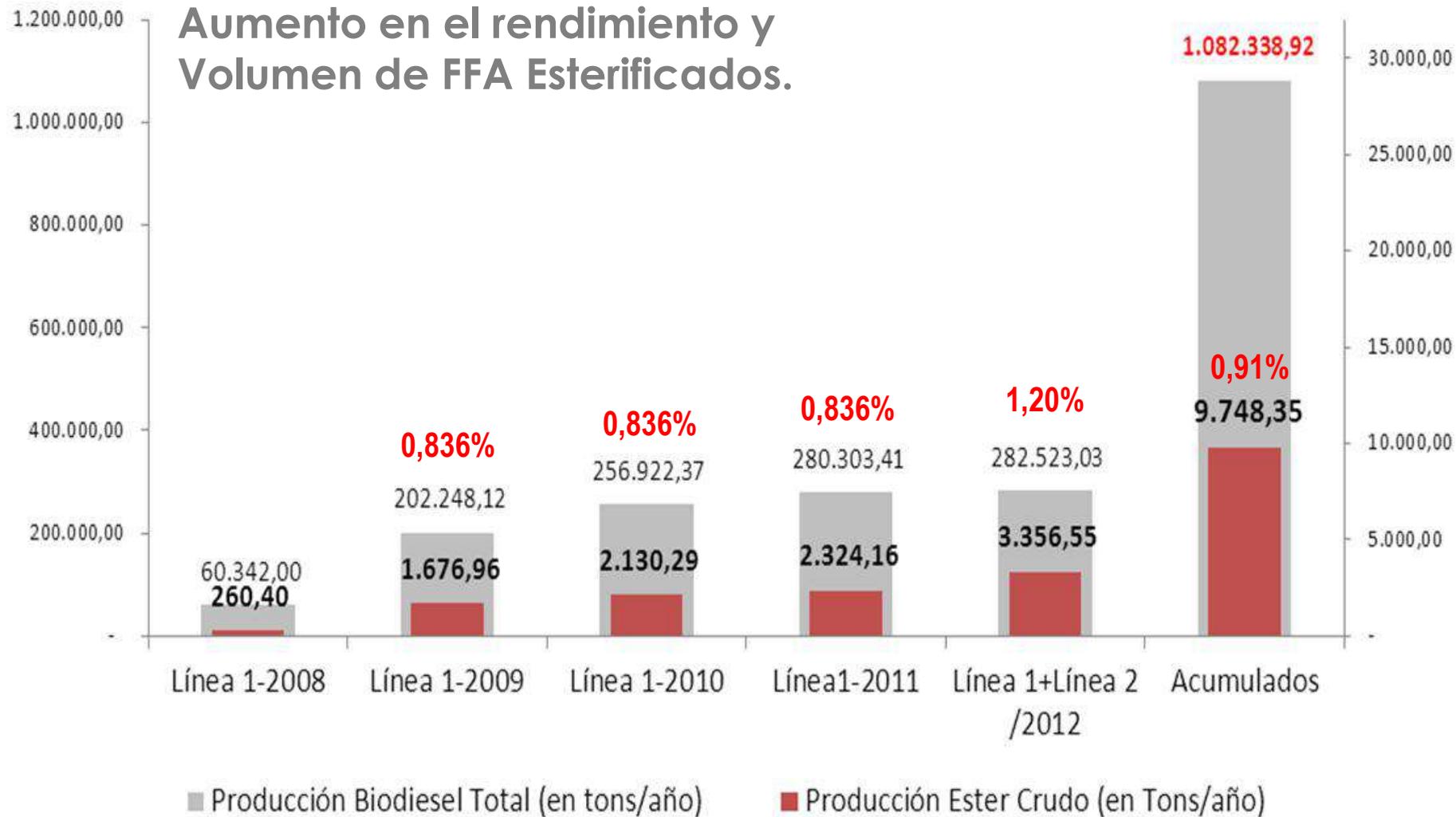
Balace de consumo de metanol y producción de agua en el reactor.

Carga: 11713 kg de ácidos grasos, 7,0 kg de metanol/minuto.

Tiempo	Acidez	% AcG consumidos	% H2O generada	% MeOH medido	% MeOH ingresa/ materia prima	% MeOH q reacciona	% H2O generada/ 15% MeOH
0	<b>80.54</b>	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
5	<b>79.82</b>	0.71	0.05	0.15	0.30	0.08	0.30
10	<b>80.43</b>	0.11	0.01		0.60	0.01	0.05
30	<b>77.89</b>	2.65	0.17	0.70	1.79	0.30	1.13
60	<b>75.41</b>	5.12	0.33		3.59	0.58	2.18
90	<b>69.18</b>	11.36	0.72	0.55	5.38	1.29	4.83
95	<b>46.86</b>	33.68	2.15	0.58	5.68	3.82	14.33
100	<b>37.23</b>	43.31	2.76		5.98	4.91	18.43
120	<b>35.94</b>	44.60	2.85	0.80	7.18	5.06	18.98
150	<b>29.41</b>	51.13	3.26		8.97	5.80	21.76
180	<b>28.84</b>	51.70	3.30	0.77	10.76	5.87	22.00
185	<b>26.13</b>	54.41	3.47	0.84	11.66	6.17	23.15
190	<b>22.01</b>	58.53	3.74		11.96	6.64	24.91
210	<b>18.45</b>	62.08	3.96	0.86	13.15	7.04	26.42
240	<b>5.41</b>	75.13	4.80		14.95	8.53	31.97
270	<b>5.20</b>	75.33	4.81	1.21	16.74	8.55	32.06
275	<b>3.79</b>	76.75	4.90	1.23		8.71	
280	<b>3.26</b>	77.28	4.93			8.77	
300	<b>3.42</b>	77.12	4.92	1.01		8.75	
330	<b>3.06</b>	77.48	4.95			8.79	
360	<b>2.65</b>	77.89	4.97	0.87		8.84	

# ESTERIFICACIÓN ÁCIDA

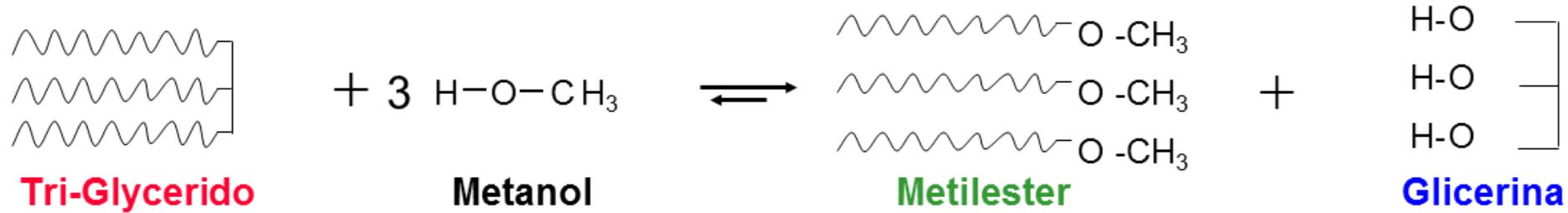
Fundamentos de la Operación – Recuperación de FFA (Free Fatty Acids)



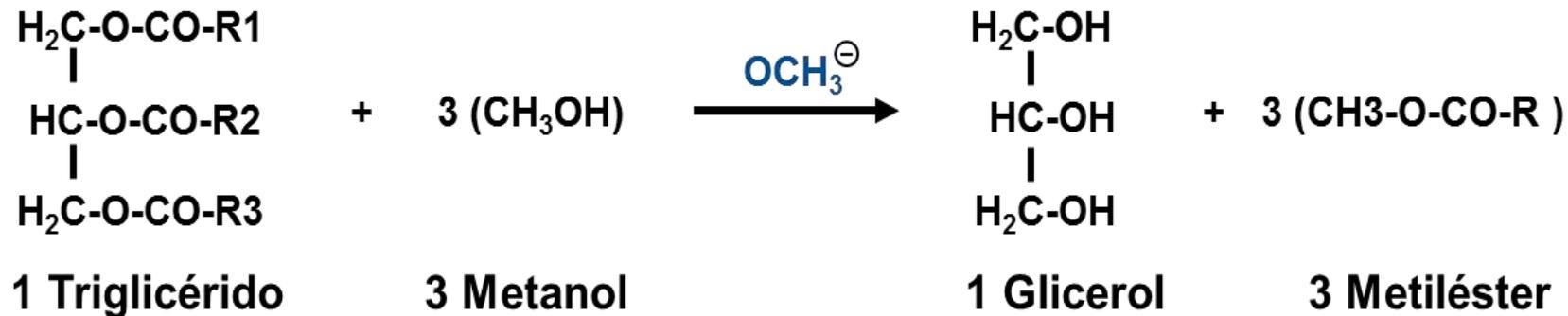
# TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### La reacción Principal



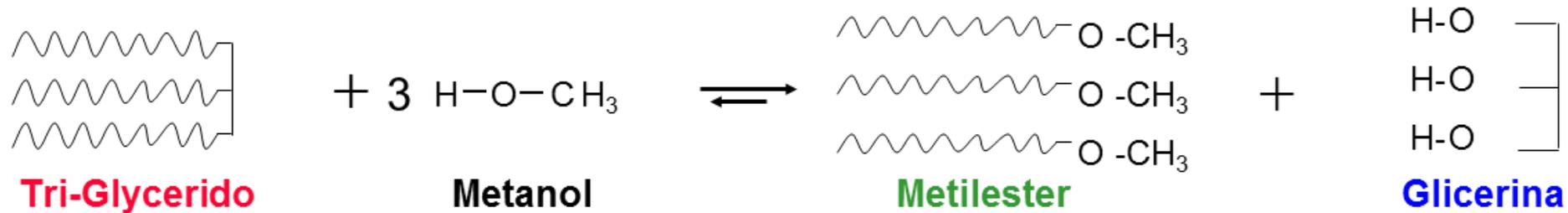
### Trans-esterificación (reacción principal)



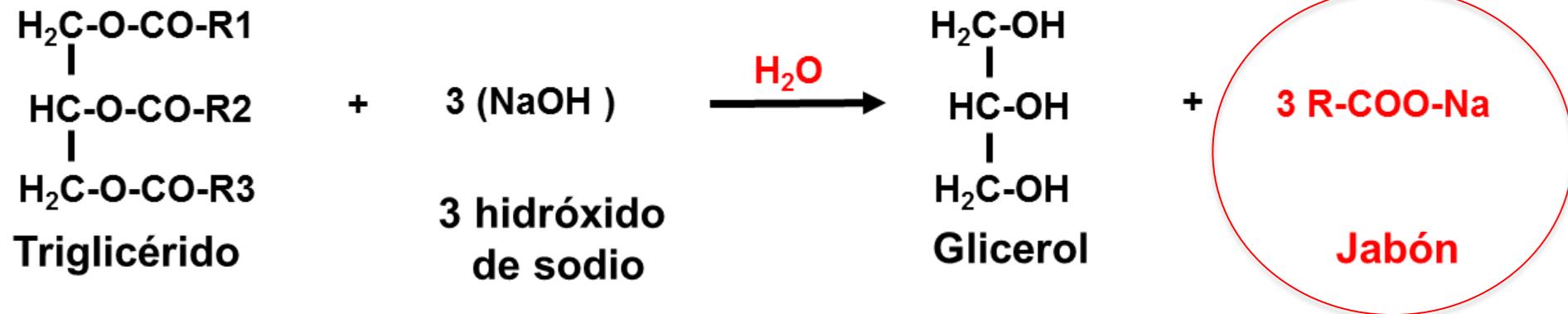
# TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

La reacción Principal y una lateral **INDESEABLE**



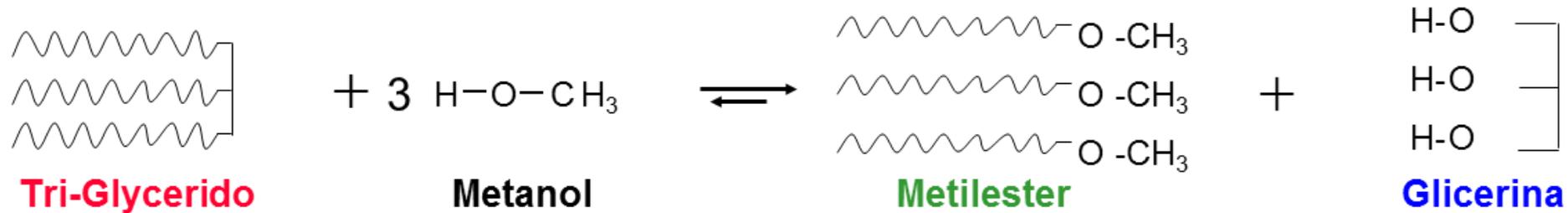
### Saponificación (reacción lateral)



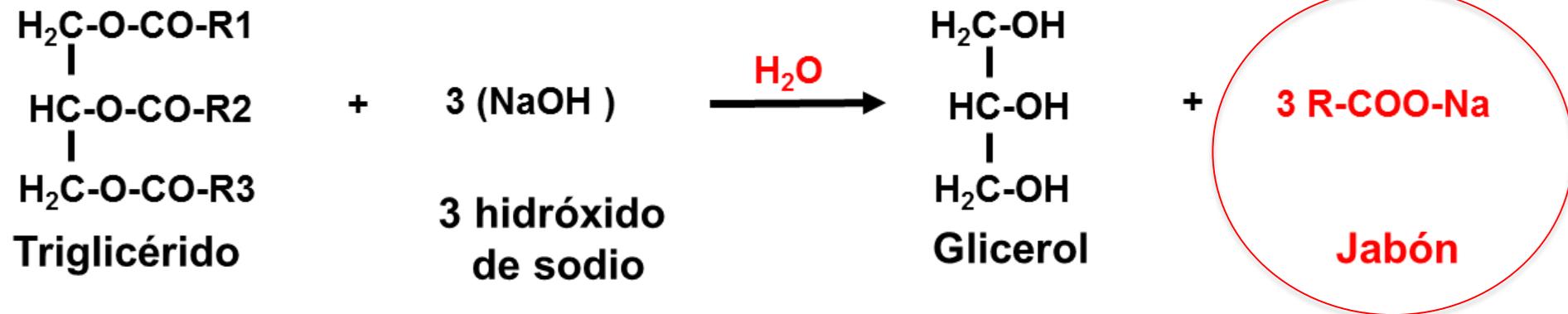
# TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

La reacción Principal y una lateral **INDESEABLE**



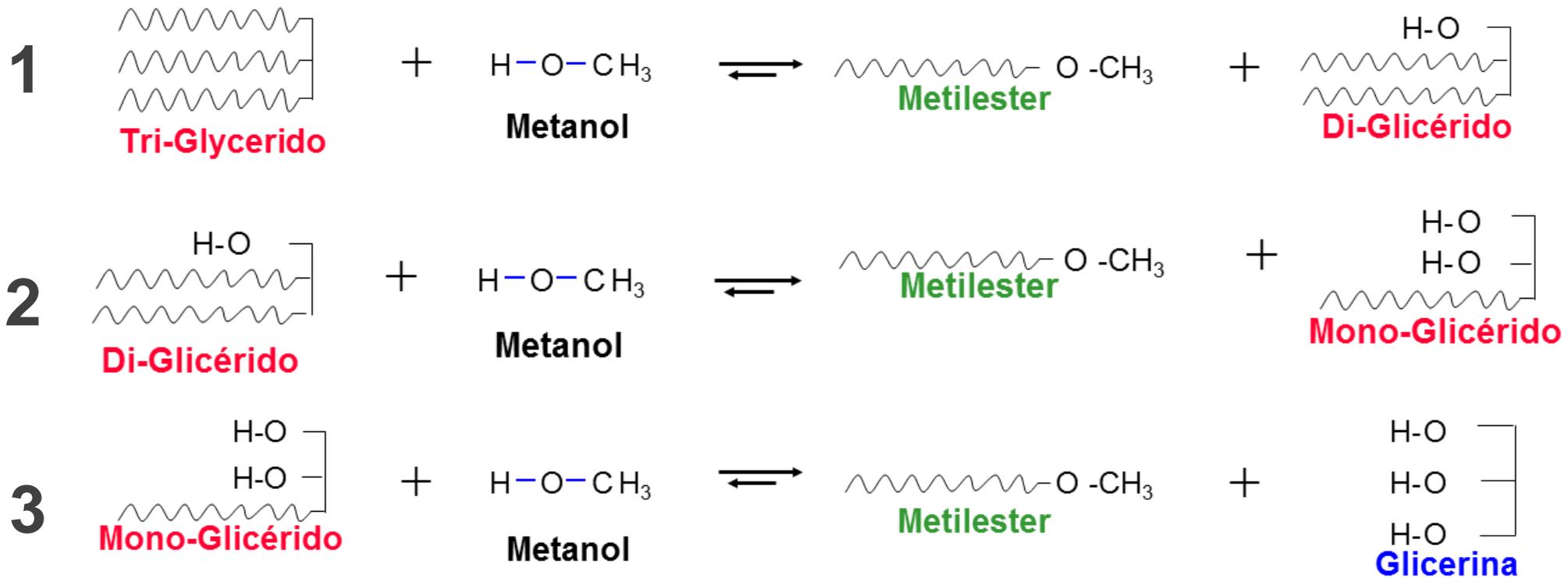
### Saponificación (reacción lateral)



# TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

La reacción Principal, en etapas



# BALANCE DE MASAS

## Análisis de Mermas de Proceso

### BALANCES DE MASA y RENDIMIENTOS (Aproximado)

Etapas	Materias Primas y Productos	Unidades en %	Cantidad en kilos <sup>1</sup>	Cantidad en kilos <sup>2</sup>
PRETRATAMIENTO	Aceite crudo		<b>1.000,00</b>	1.092,11
	Contenido de Fósforo en aceite crudo (≈ 1000 ppm)	0,1%		
	Contenido de Fosfolípidos (Lecitinas húmedas)	3,0%	30,00	32,76
	Pérdida de aceite en Lecitinas húmedas <sup>3</sup>	32,0%	9,60	10,48
	Acidez del aceite crudo (en %)	0,35%		
	Contenido de ácidos grasos		3,50	3,82
	<b>Aceite neutro, desgomado, Seco</b>	95,7%	<b>956,90</b>	<b>1.045,04</b>
REACCIÓN	Metanol (alcohol)	9,8%	93,78	102,41
	Catalizador (Metilato de sodio)	1,7%	16,27	17,77
		<b>BIODIESEL (Metilester)</b>	100,45%	<b>961,21</b>
	<b>GLICERINA<sup>4</sup></b>	10,5%	100,47	109,73

(1) Balance a partir de 1000 kg de aceite crudo de extracción.

(2) Balance expresado por 1.000 kg de Biodiesel obtenido.

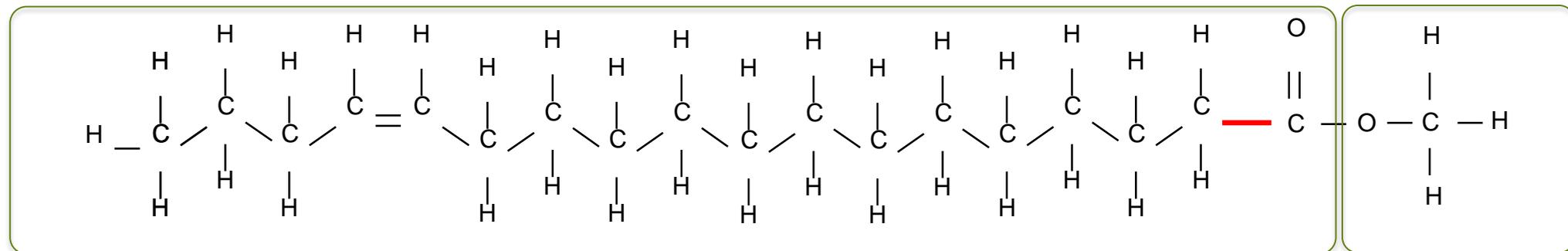
(3) Este porcentaje es un valor promedio calculado sobre la masa total de lecitinas crudas obtenidas.

(4) La Glicerina se obtiene en grado técnico con aprox. 20% de humedad.

# Fundamentos de los Procesos de Reacción.

# Qué es el BIODIESEL?

- ✓ Combustible renovable elaborado a partir de aceites vegetales o grasas animales y un alcohol liviano (metanol o etanol).
- ✓ Químicamente: es una mezcla de alkilesteres de ácidos grasos.

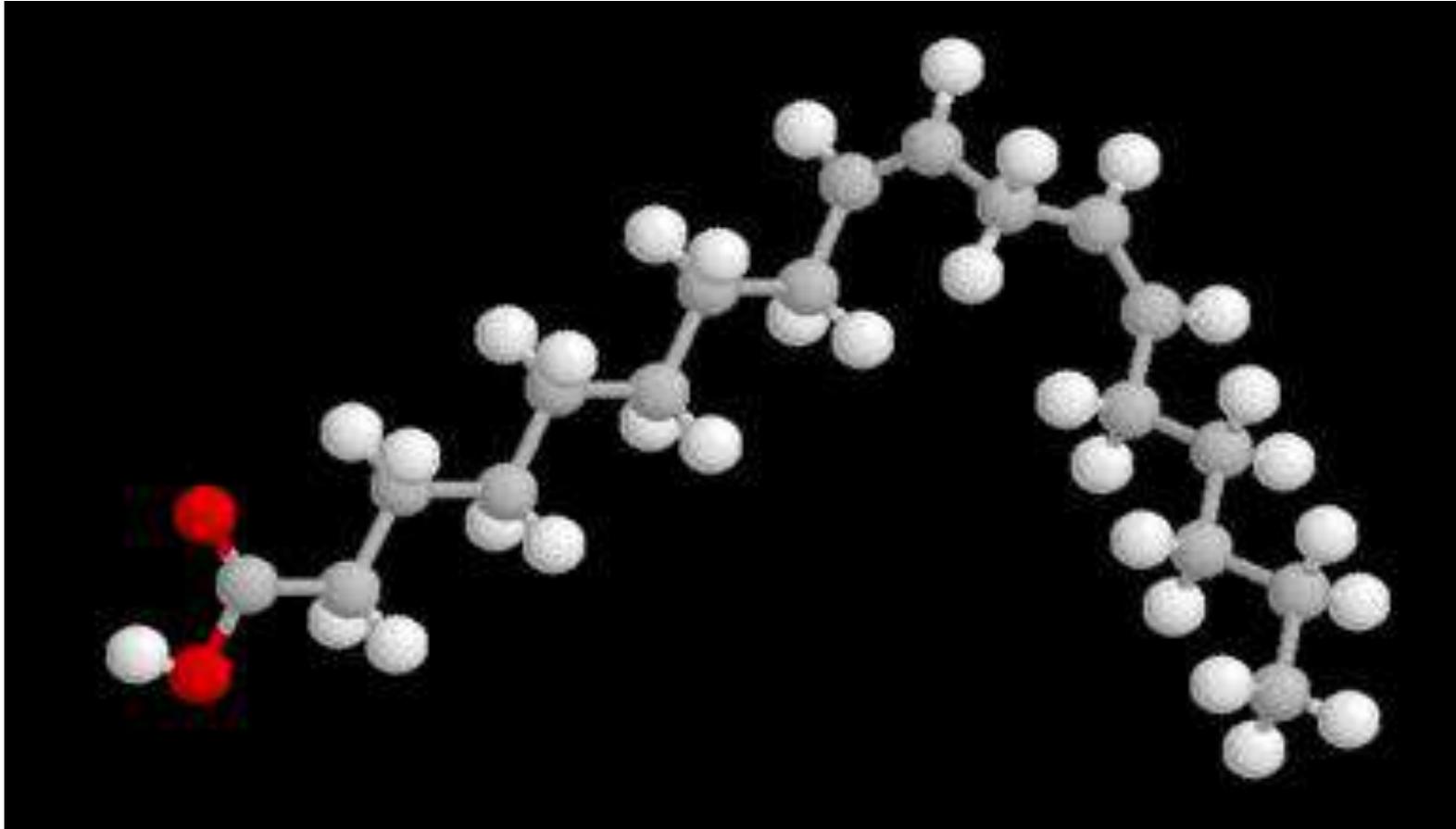


Cadena de ácido graso (derivado de un aceite o grasa)

Metanol  
(alcohol liviano)

## Qué es el BIODIESEL? Estructura en 3D

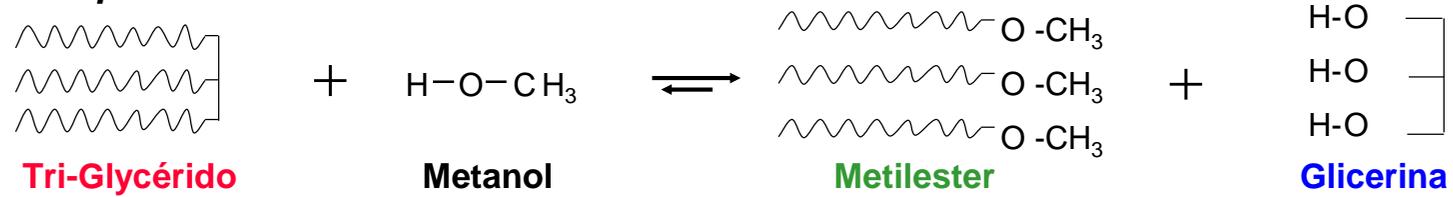
Es un éster metílico de ácidos grasos de cadena larga, saturados y no saturados, formado a partir de aceites vegetales o grasas de origen animal.



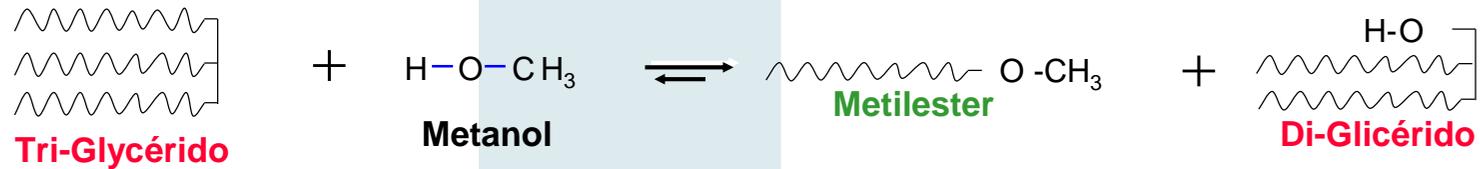
# BIODIESEL – REACCIONES y PROCESOS

## La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

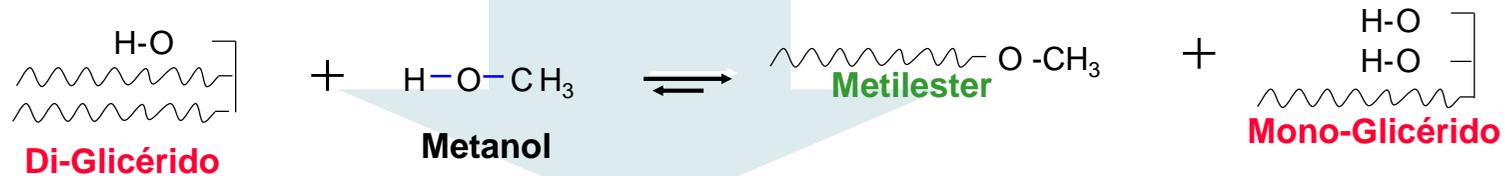
### Reacción completa



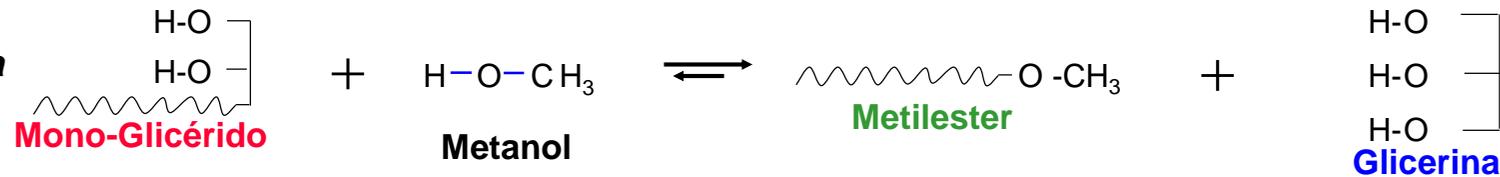
### 1era. Etapa



### 2da. Etapa

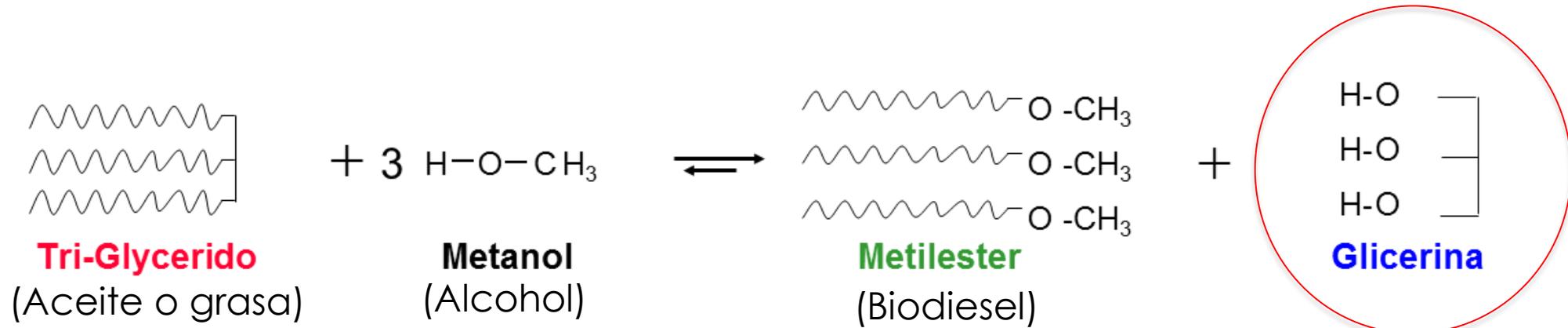


### 3era. Etapa

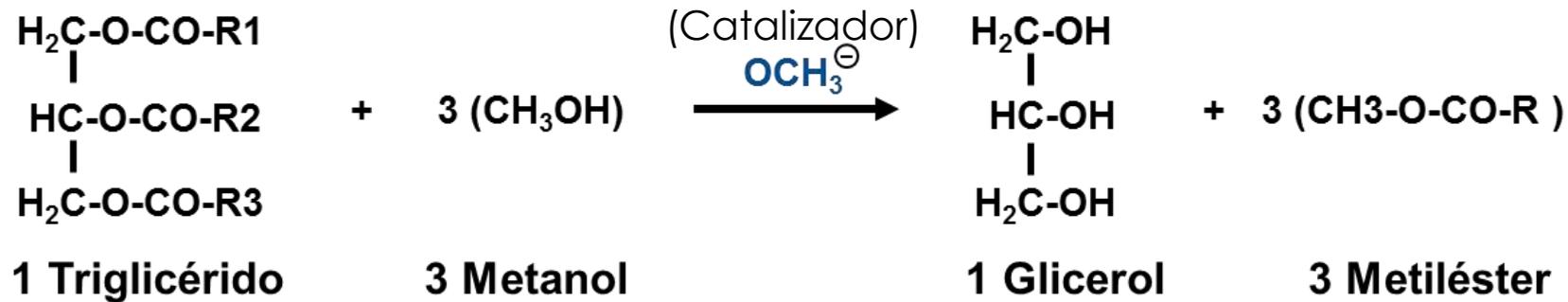


# BIODIESEL – REACCIONES y PROCESOS

## La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

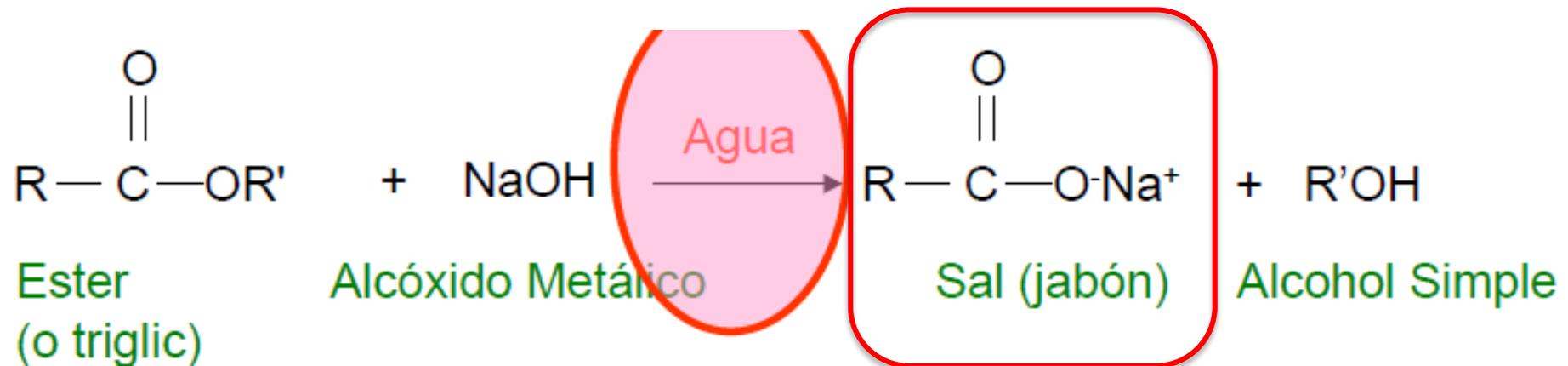
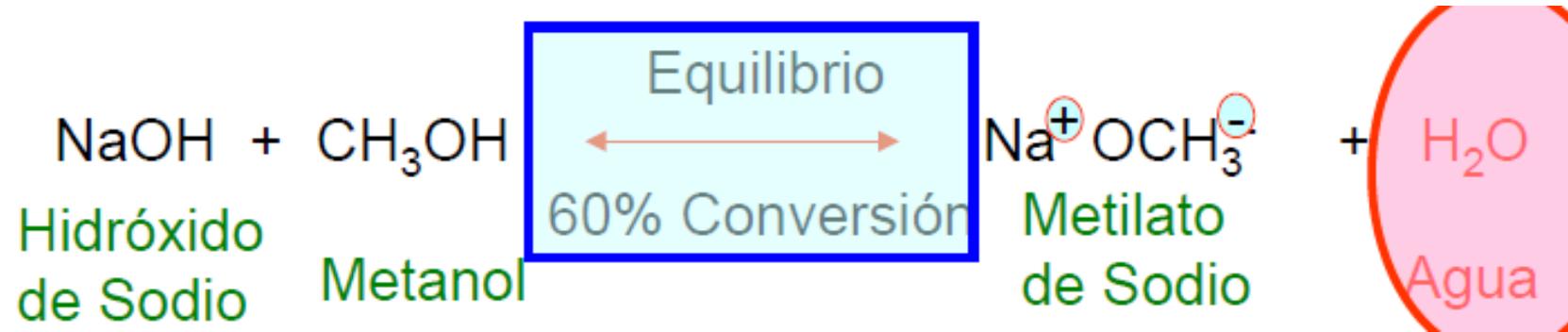


### Trans-esterificación (reacción principal)



# BIODIESEL – REACCIONES y PROCESOS

## REACCIONES INDESEABLES



**AGUA EN EL SISTEMA** → **PÉRDIDA DE RENDIMIENTO**

# BIODIESEL – REACCIONES y PROCESOS

REACCIONES  
INDESEABLES



# BIODIESEL – REACCIONES y PROCESOS

REACCIONES  
INDESEABLES

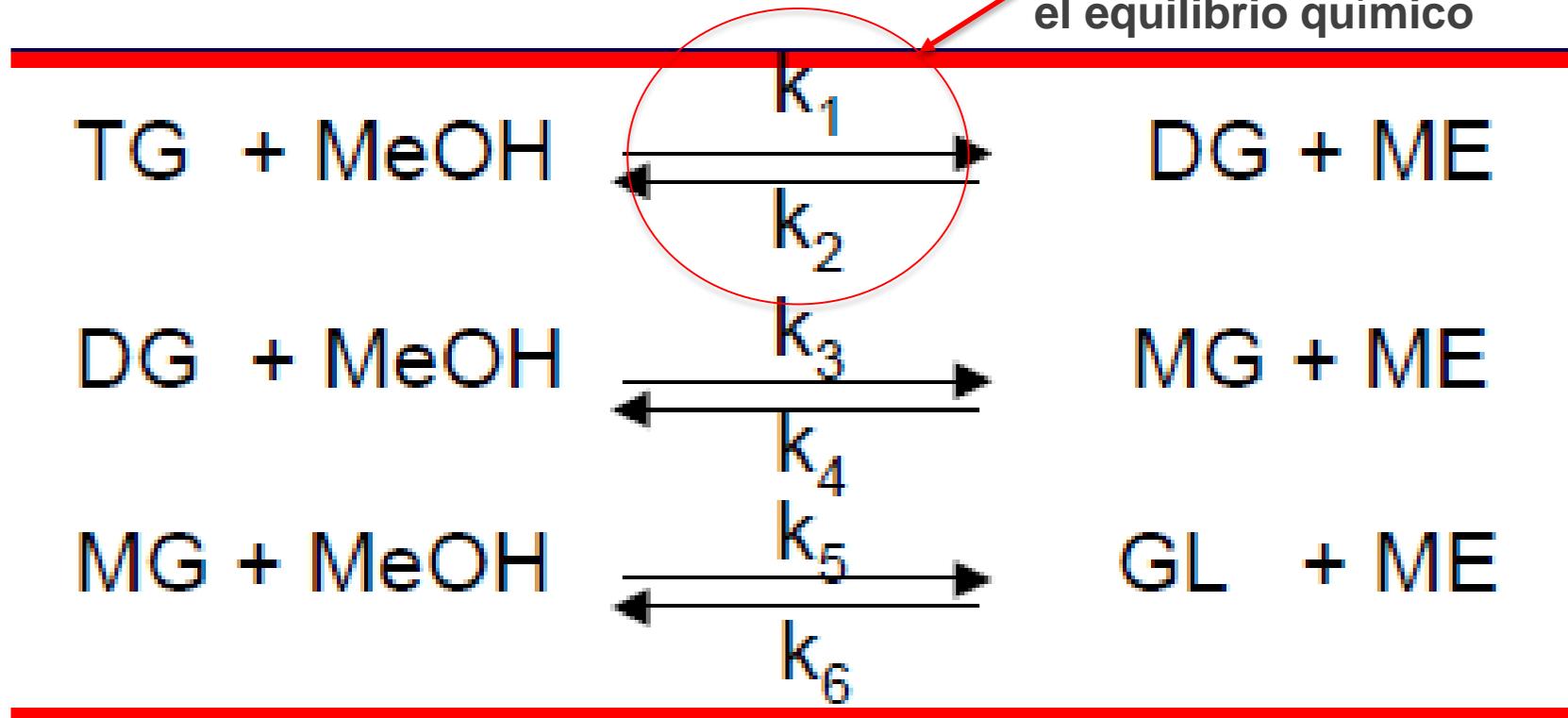


# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### Cinética y Equilibrio

Reacción reversible limitada por el equilibrio químico



TG: Triglicérido (aceite)

DG: Diglicérido

MG: Monoglicérido

ME: Metilester (biodiesel)

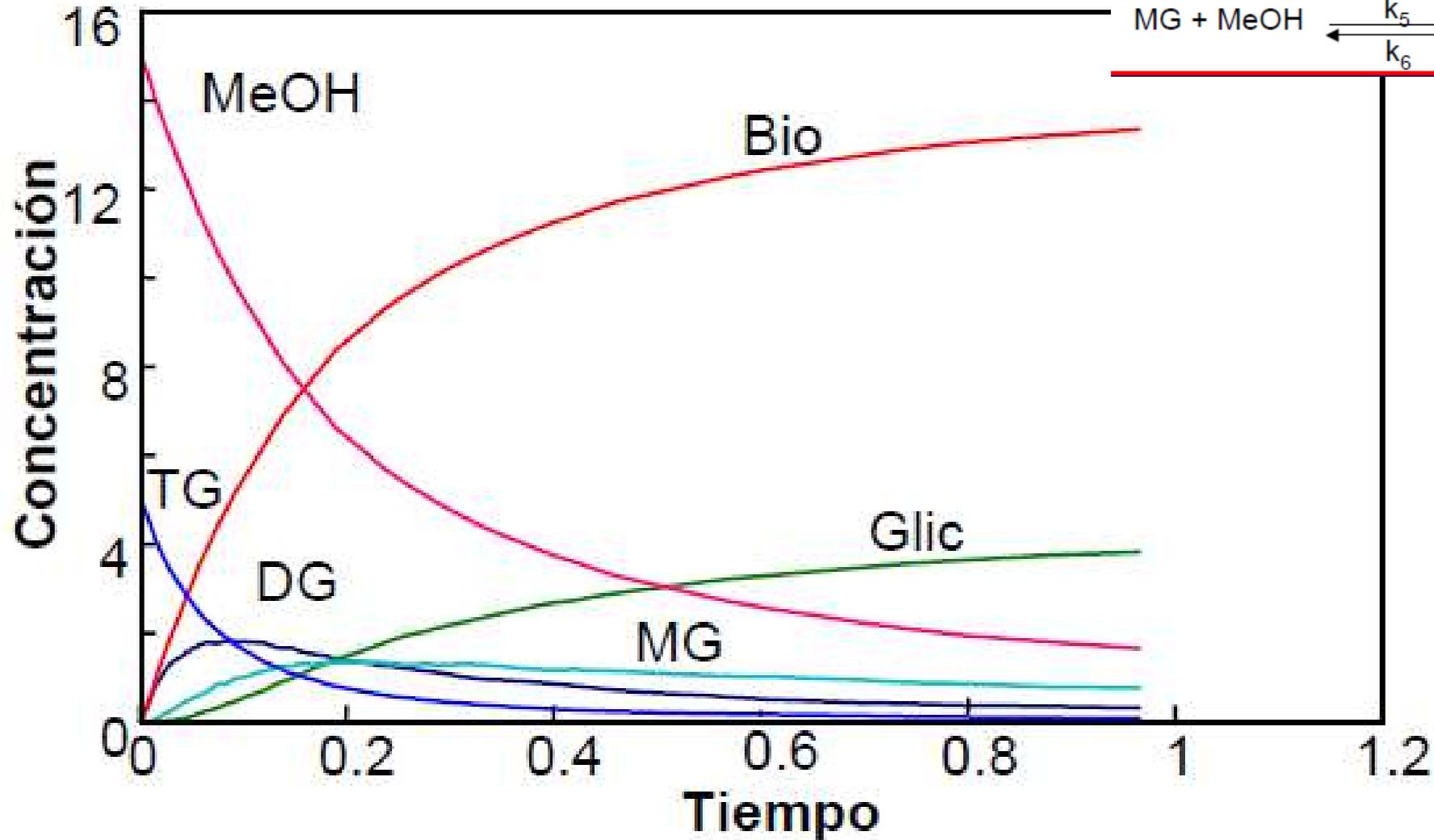
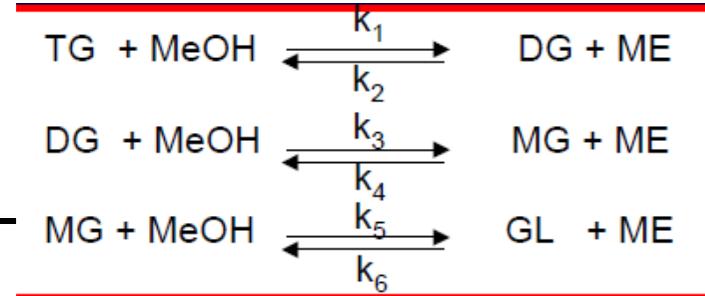
GL: Glicerina

MeOH: Metanol

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Cinética y Equilibrio



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### Características del sistema

Aceite: muy baja polaridad

Metil-ester: baja polaridad

Metanol: polar

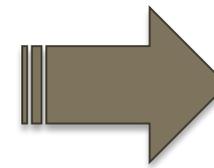
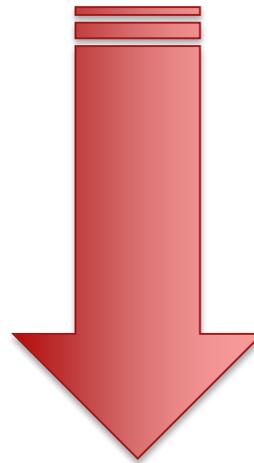
Glicerina: polar

Agua: Polar

Metóxido de sodio: iónico

Hidróxido de sodio: iónico

AUMENTO DE  
POLARIDAD



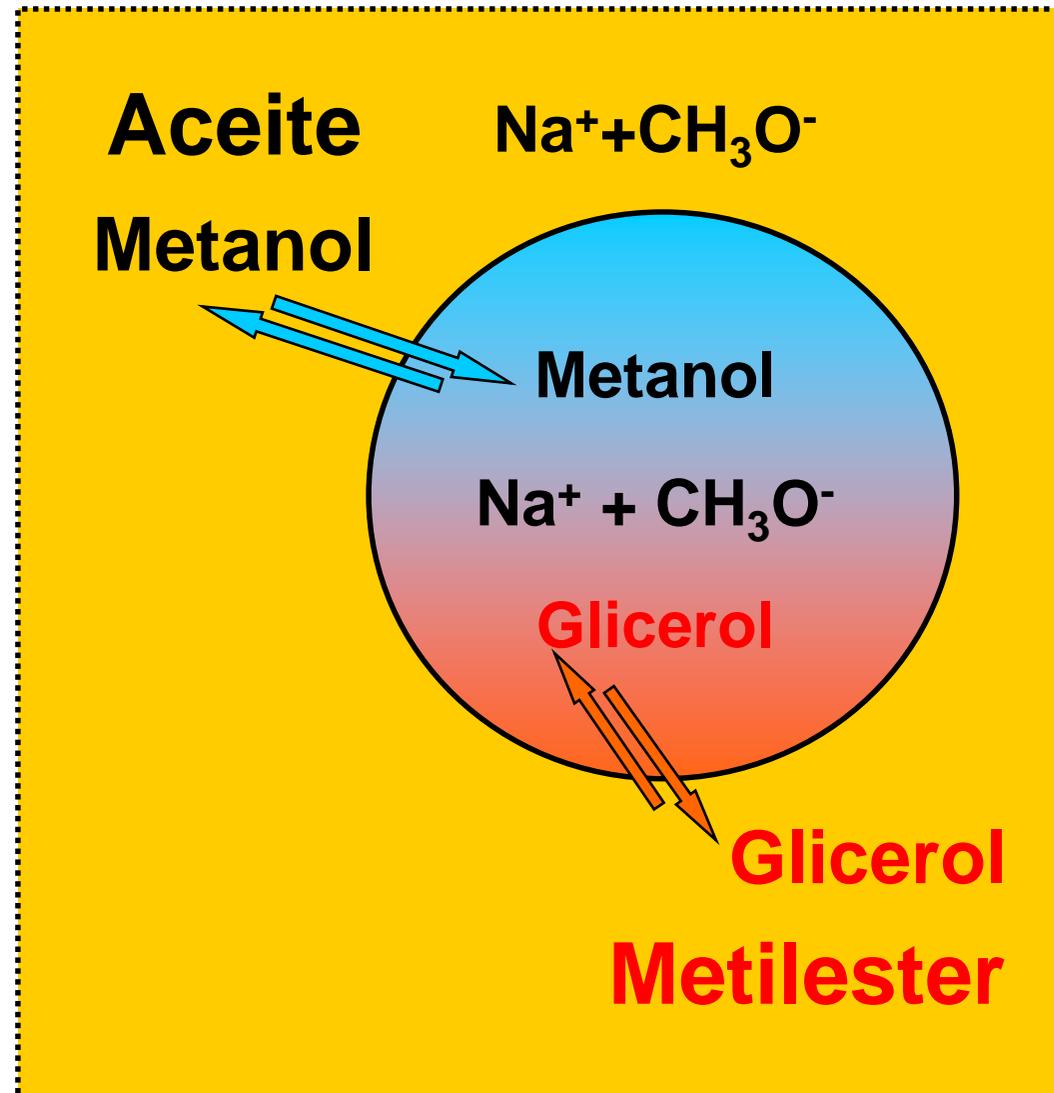
**SOLUBILIDAD  
MUTUA  
LIMITADA**

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Características del sistema

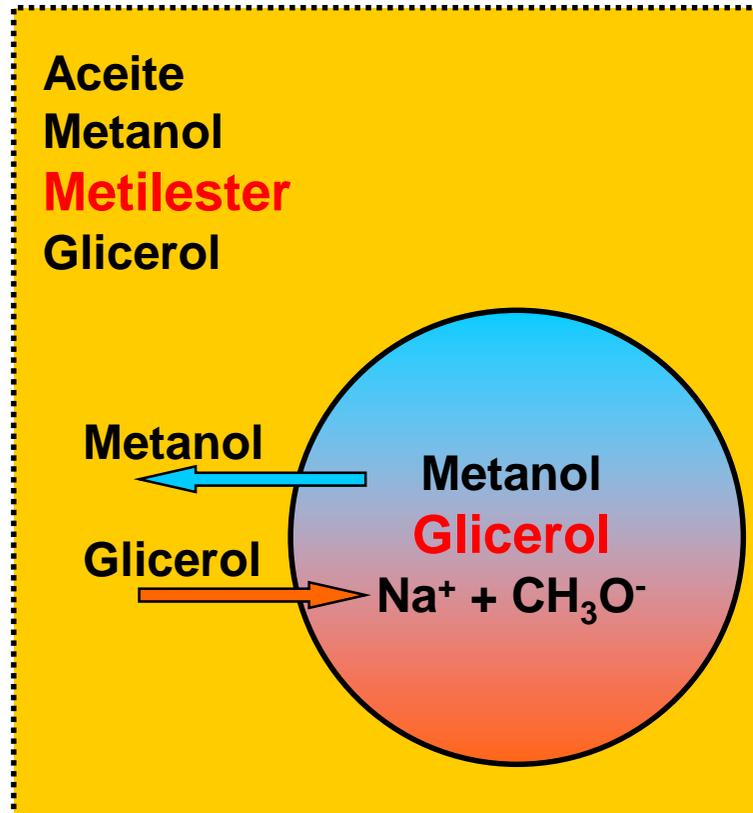
**Sistema de 2 Fases  
parcialmente  
miscibles**



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### Características del sistema



La reacción ocurre en la fase continua del Metiléster (Biodiesel) y en el límite de fase



El metanol disuelto en la fase del Metiléster aumenta la solubilidad en el glicerol.



Glicerol libre en la fase del Metiléster retrasa el progreso de la reacción (equilibrio).



Altos rendimientos se obtienen a través de:

- Separación del glicerol y
- Adición del más alcohol y catalizador en una segunda etapa de reacción

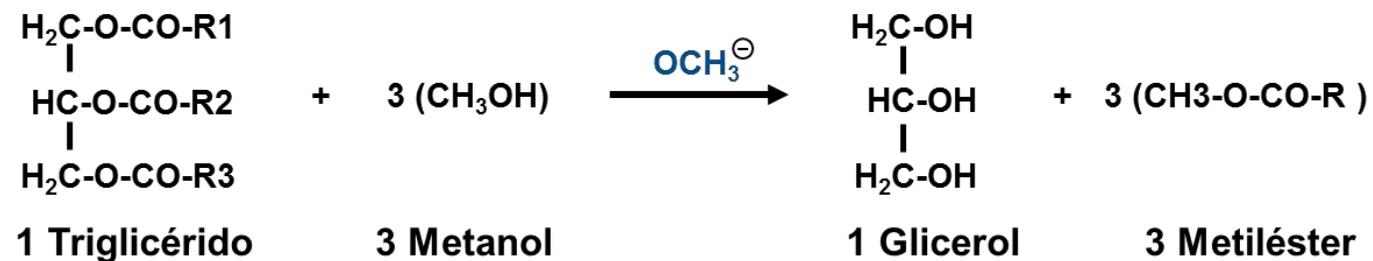
# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Características del sistema

CONDICIONES DE REACCIÓN - VARIABLES de PROCESO TÍPICAS

### Trans-esterificación (reacción principal)



- Presión atmosférica
- Temperatura 60 - 65 °C
- Relación molar metanol/aceite: 6/1 (100% exceso)  
(Volumen de metanol/Volumen de aceite = 0.25)
- Concentración de catalizador:  
4 g NaOH/ kg aceite
- Cantidad total de hidróxido a cargar al reactor:  
**(neutralización ácidos grasos + catalizador)**

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Características del sistema

## TIPOS DE REACTORES

**A. REACTORES BATCH**

**B. REACTORES TANQUE AGITADO CONTINUO**

**C. REACTORES CONTINUOS (Tipo Flujo Pistón)**



## La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

### TIPOS DE REACTORES

✓ Reacción en batch provee mejor flexibilidad para adaptar el proceso a diferentes materias primas

✓ Reacción en batch no requiere una operación 24/7

✓ Reacción en continuo es más adecuada para equipos de separación de gran volumen (centrífugas)

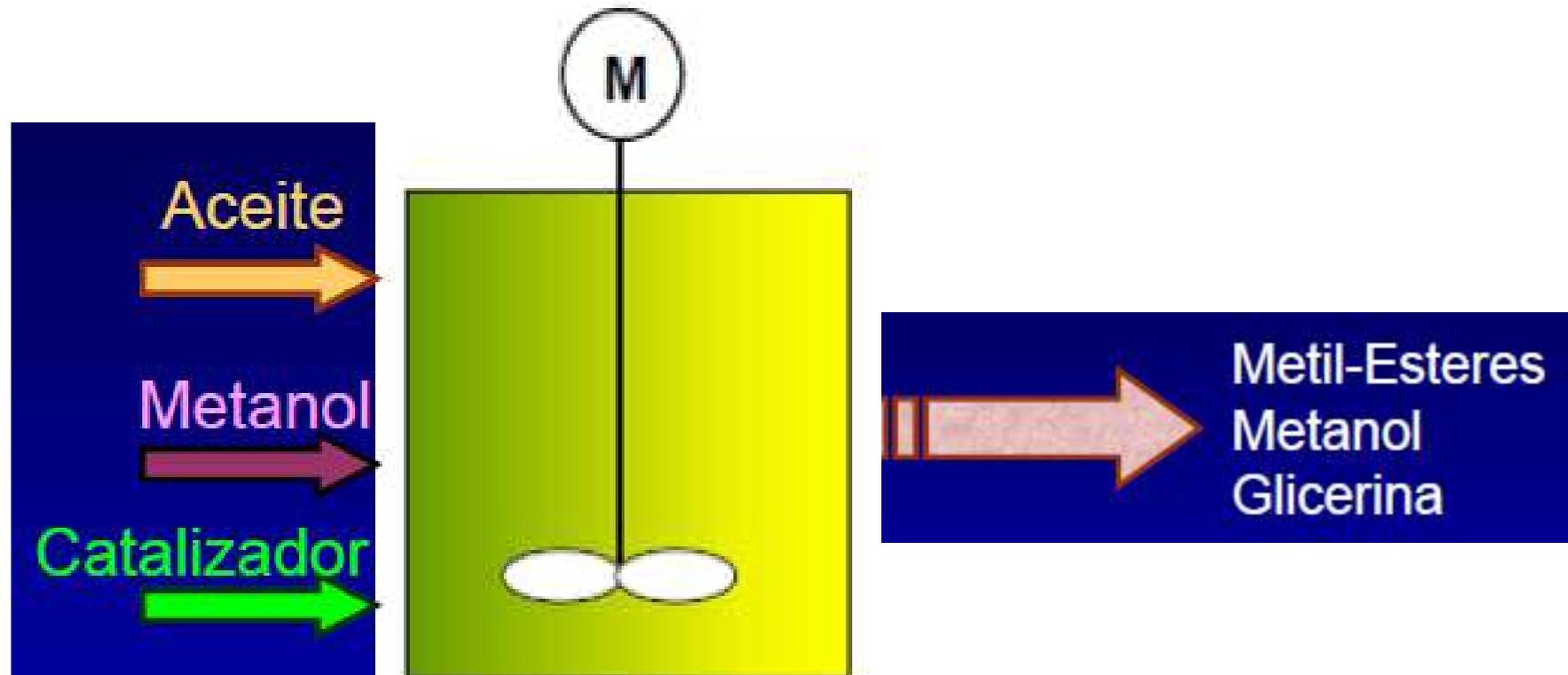
✓ Reacción en batch es la mejor solución para plantas pequeñas (capacidad menor de 10-15.000 ton/año)

✓ Reacción continua es la mejor solución para plantas grandes (capacidad > 15.000 t/año)

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Reactores tipo BATCH (Etapa única)

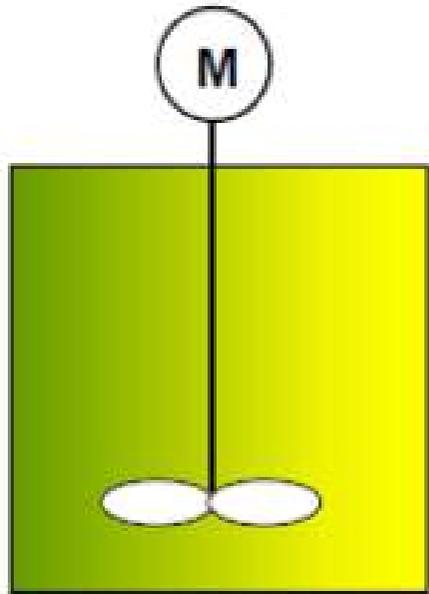


Utilización de un reactor único del tipo tanque agitado

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

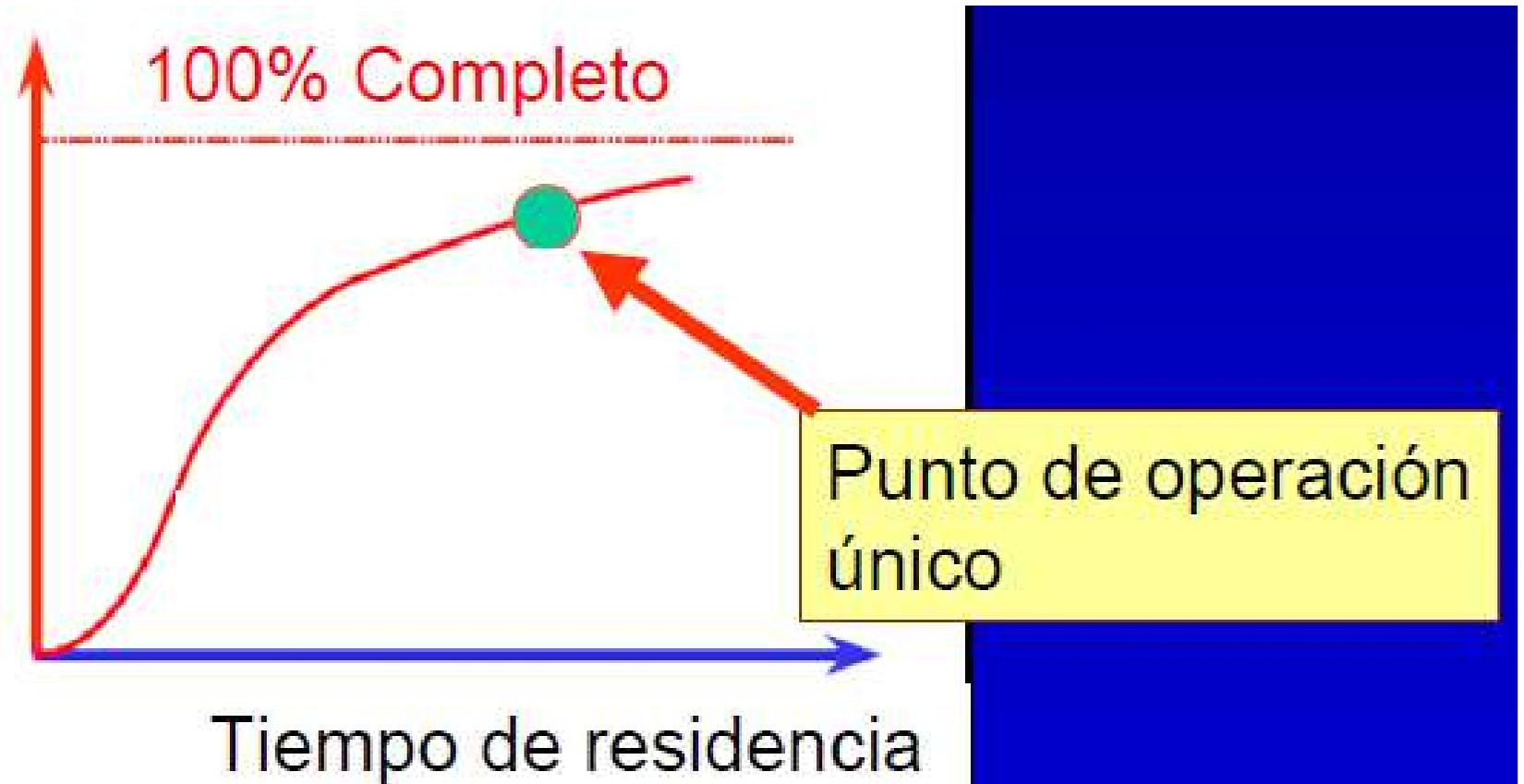
## Reacciones y Procesos

Reactores tipo BATCH (Etapa única)



Utilización de un reactor único del tipo tanque agitado

Diagrama de Conversión vs tiempo

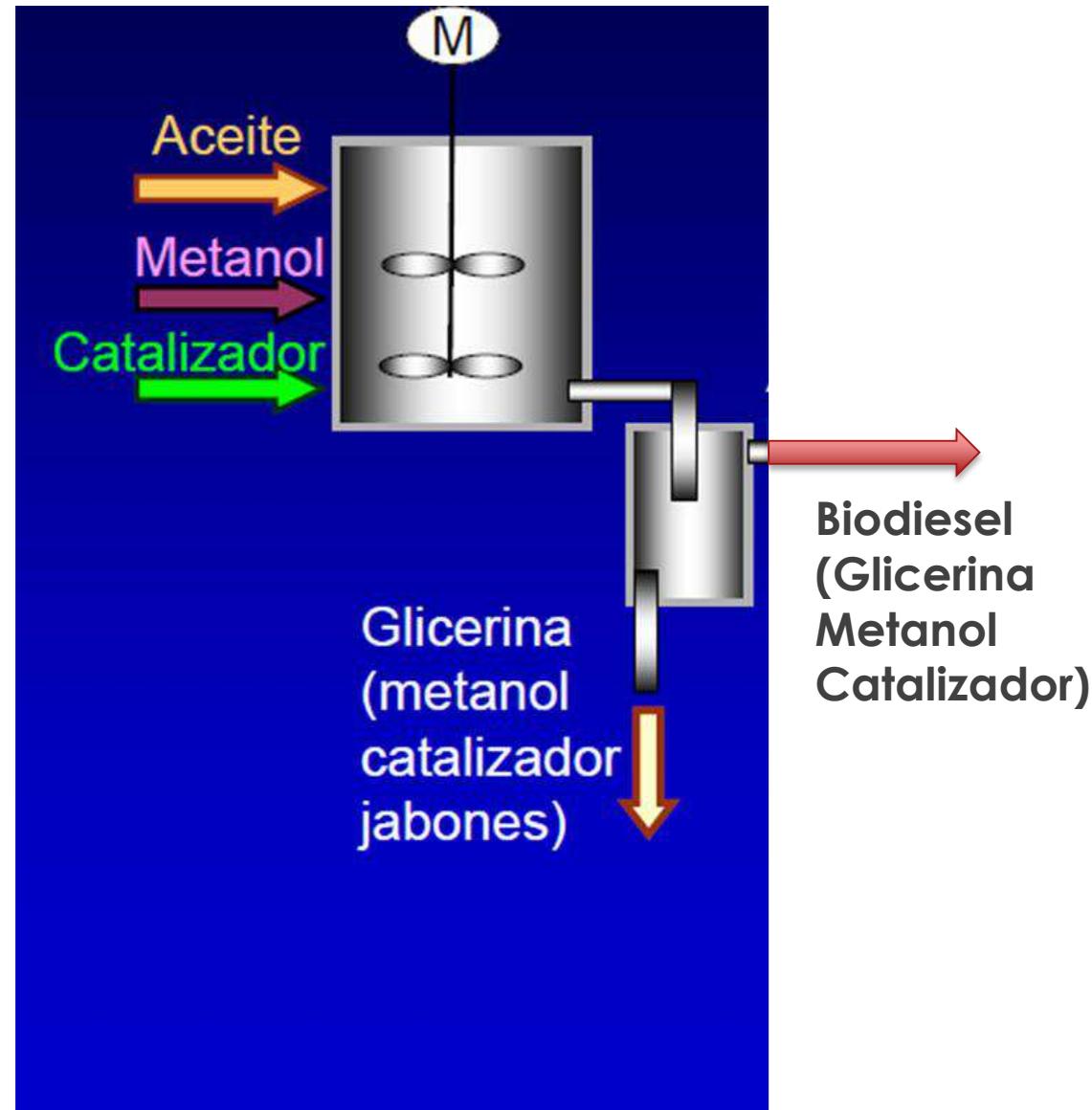


## La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

### Reacciones y Procesos

Reactores tipo BATCH  
(Múltiple en serie)

Las diferencias entre este tipo de reactores y el anterior son, alimentación continua y decantador de fases a la salida del reactor.

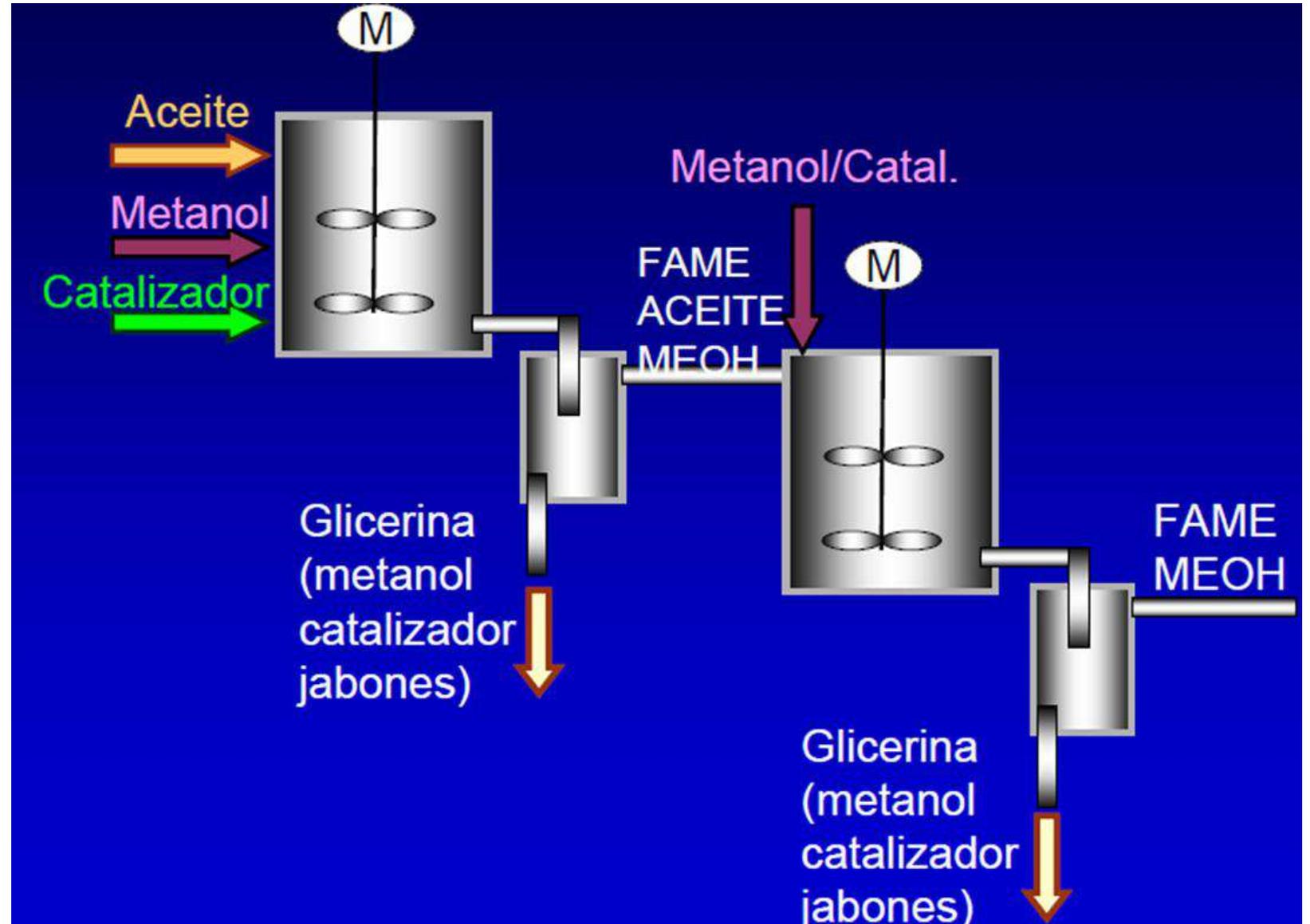


# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Reactores tipo BATCH  
(Múltiple en serie)

En este esquema aparece una segunda etapa de transesterificación también con decantador y agregado de reactivo y catalizador fresco.

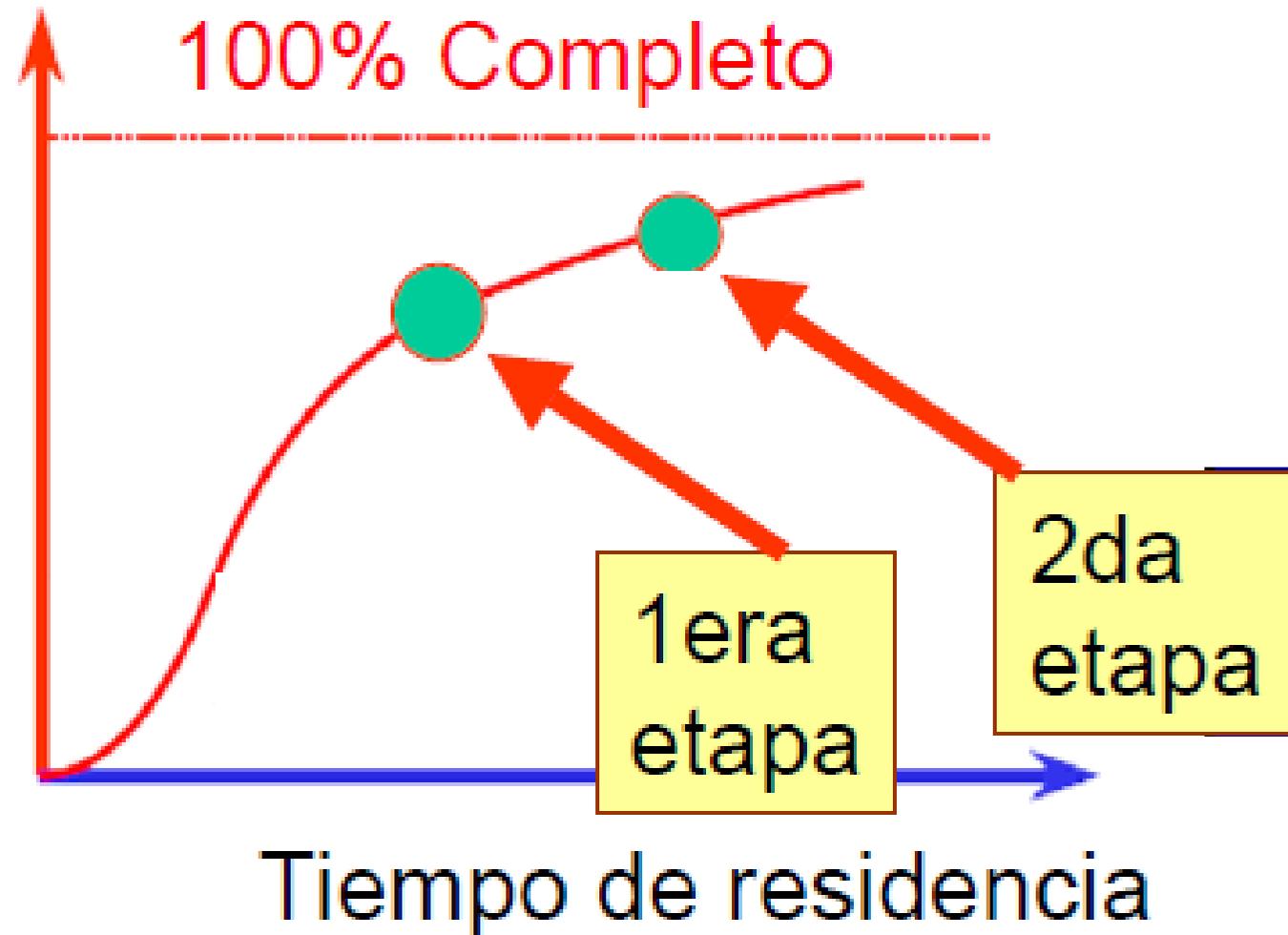


# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

Reactores tipo BATCH  
(Múltiple en serie)

La eliminación de alguno de los productos (Glicerina) de la primera etapa de reacción y el agregado de reactivo (metanol) y catalizador nuevos, produce un avance en la conversión total.



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### Reactores CONTINUOS



Esta tecnología de reactores continuos opera también en dos etapas con una separación de productos (glicerina) intermedia y el agregado de metanol y catalizador fresco antes de ingresar en la segunda etapa final.

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

Reacciones y Procesos

Reactores CONTINUOS

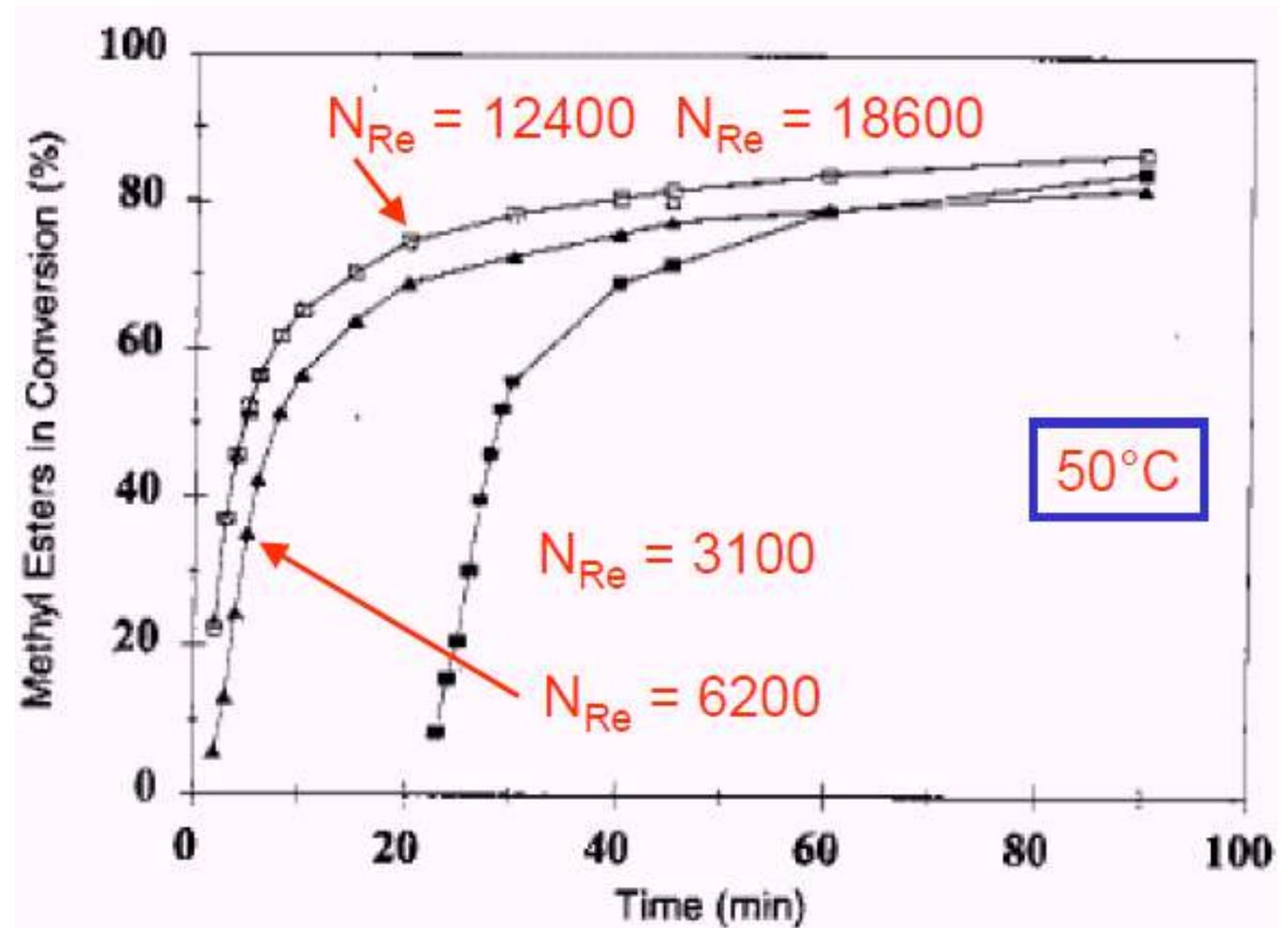


# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### CONDICIONES DE REACCIÓN - VARIABLES de PROCESO TÍPICAS

La figura muestra el efecto del aumento en el patrón de flujo de mezclado ( $N_{Re}$ ) y la velocidad de conversión en Metilester.

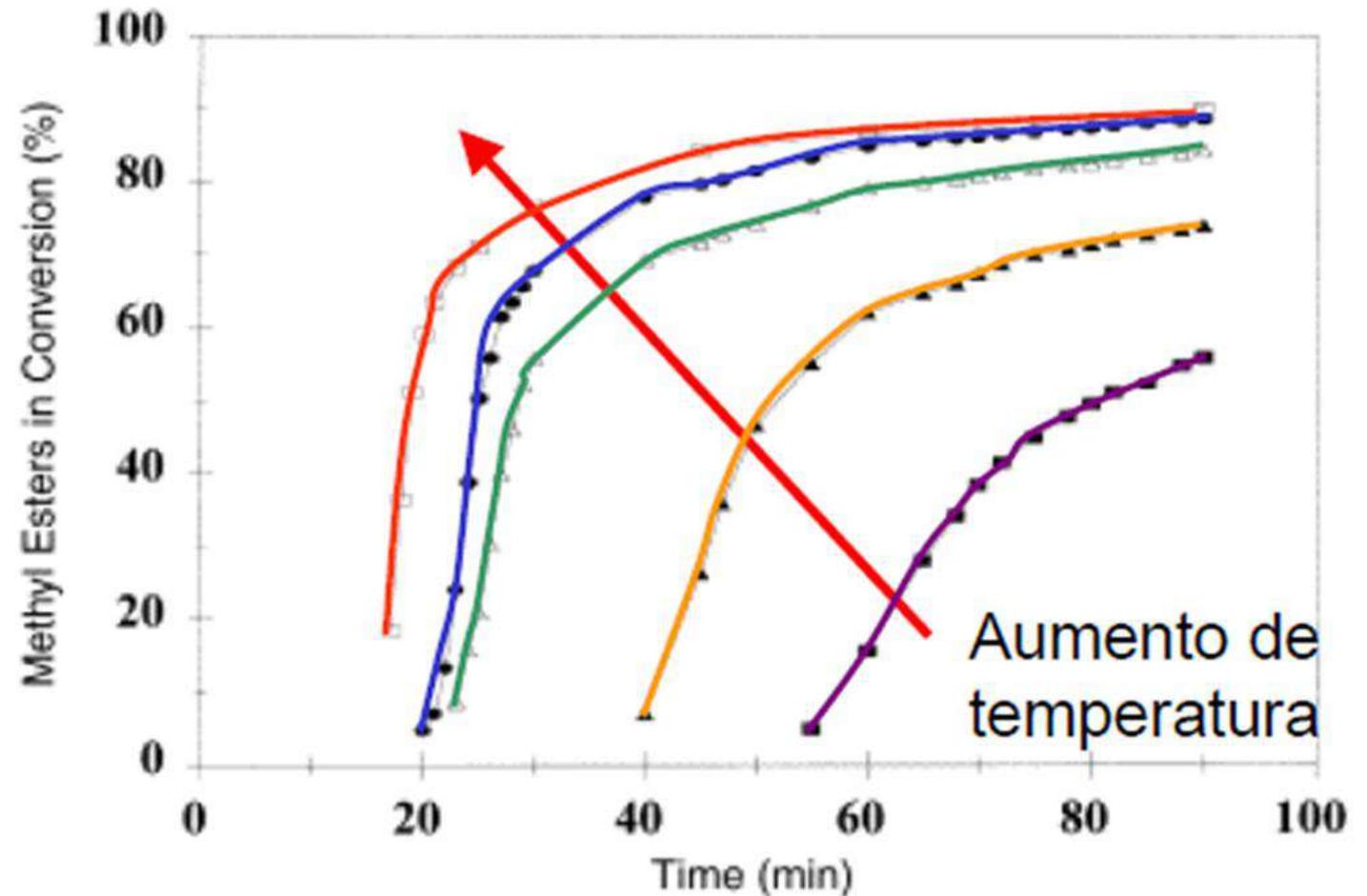


# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### CONDICIONES DE REACCIÓN

La figura muestra el efecto del aumento de la temperatura sobre la velocidad de conversión en Metilester, con valores bajos de  $N_{Re}$ .



**FIG. 3.** The effect of temperature and time on the overall conversion to methyl esters at  $N_{Re} = 3100$ . (■) 30°C; (▲) 40°C; (△) 50°C; (●) 60°C; (□) 70°C.

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Reacciones y Procesos

### CONDICIONES DE REACCIÓN

La figura muestra el efecto del aumento de la temperatura sobre la velocidad de conversión en Metilester, con mayor grado de turbulencia ( $N_{Re} = 6200$ ).

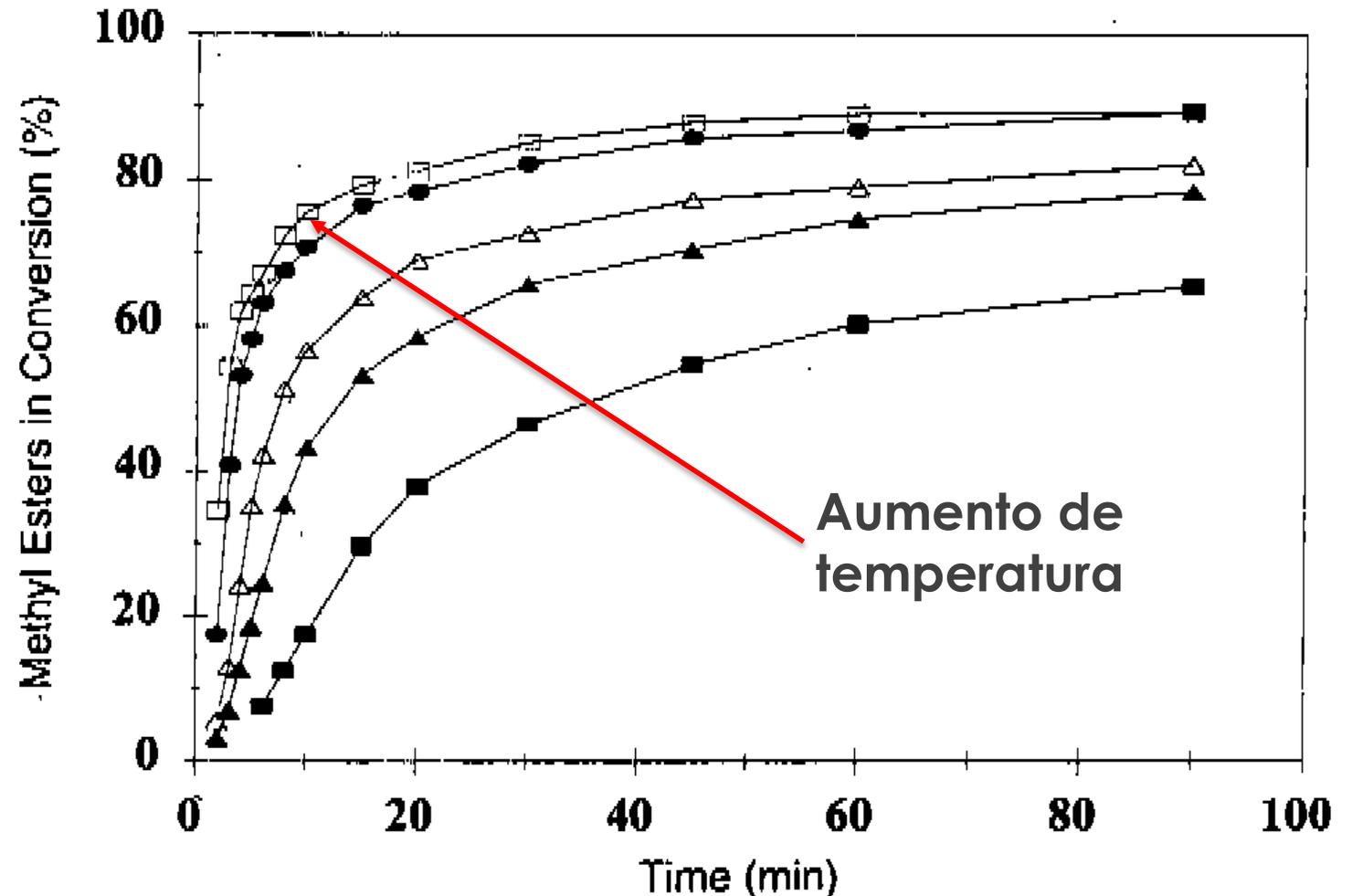
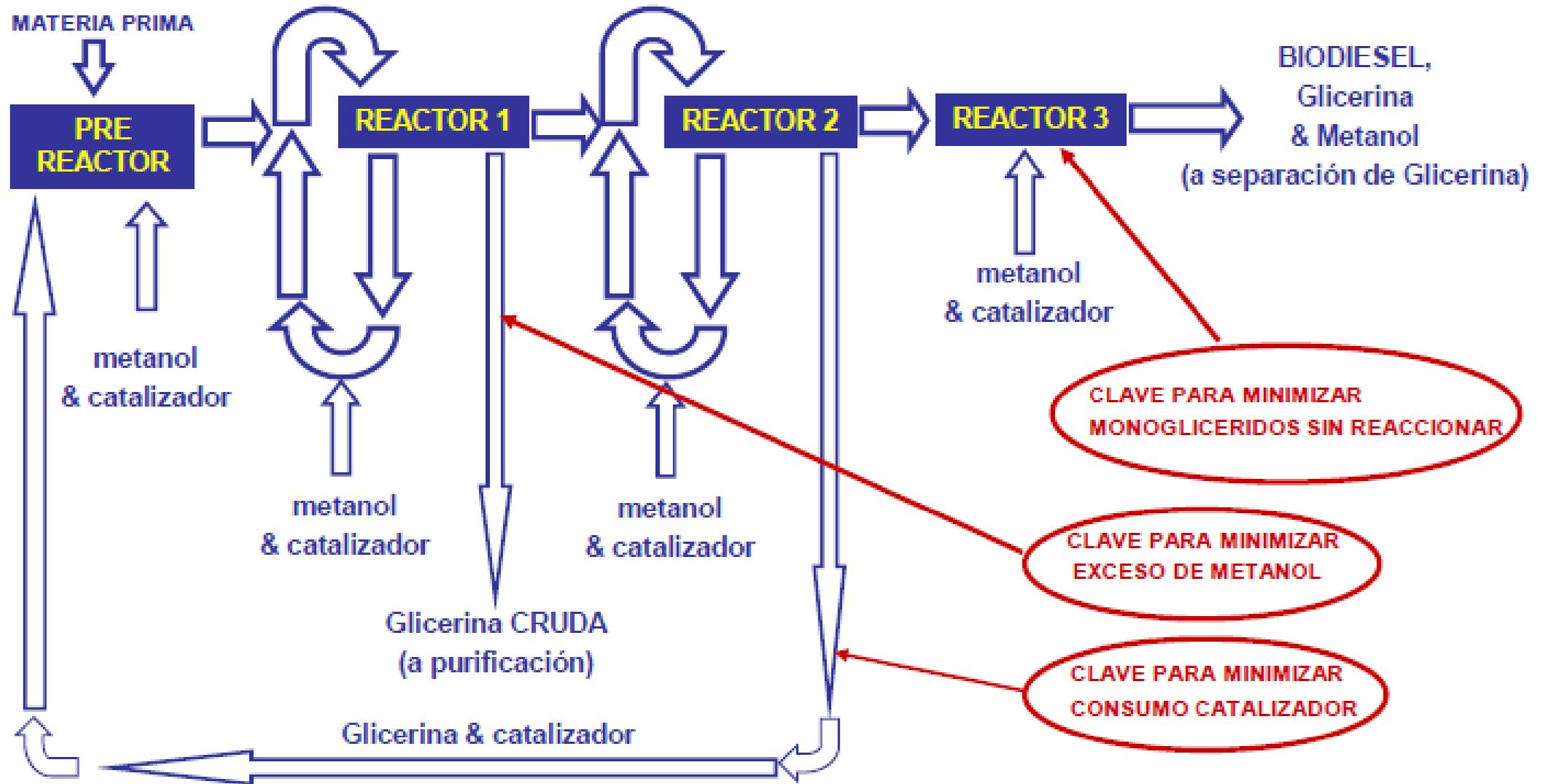


FIG. 4. The effect of temperature and time on the overall conversion to methyl esters at  $N_{Re} = 6200$ . (■) 30°C; (▲) 40°C; (△) 50°C; (●) 60°C; (□) 70°C.

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

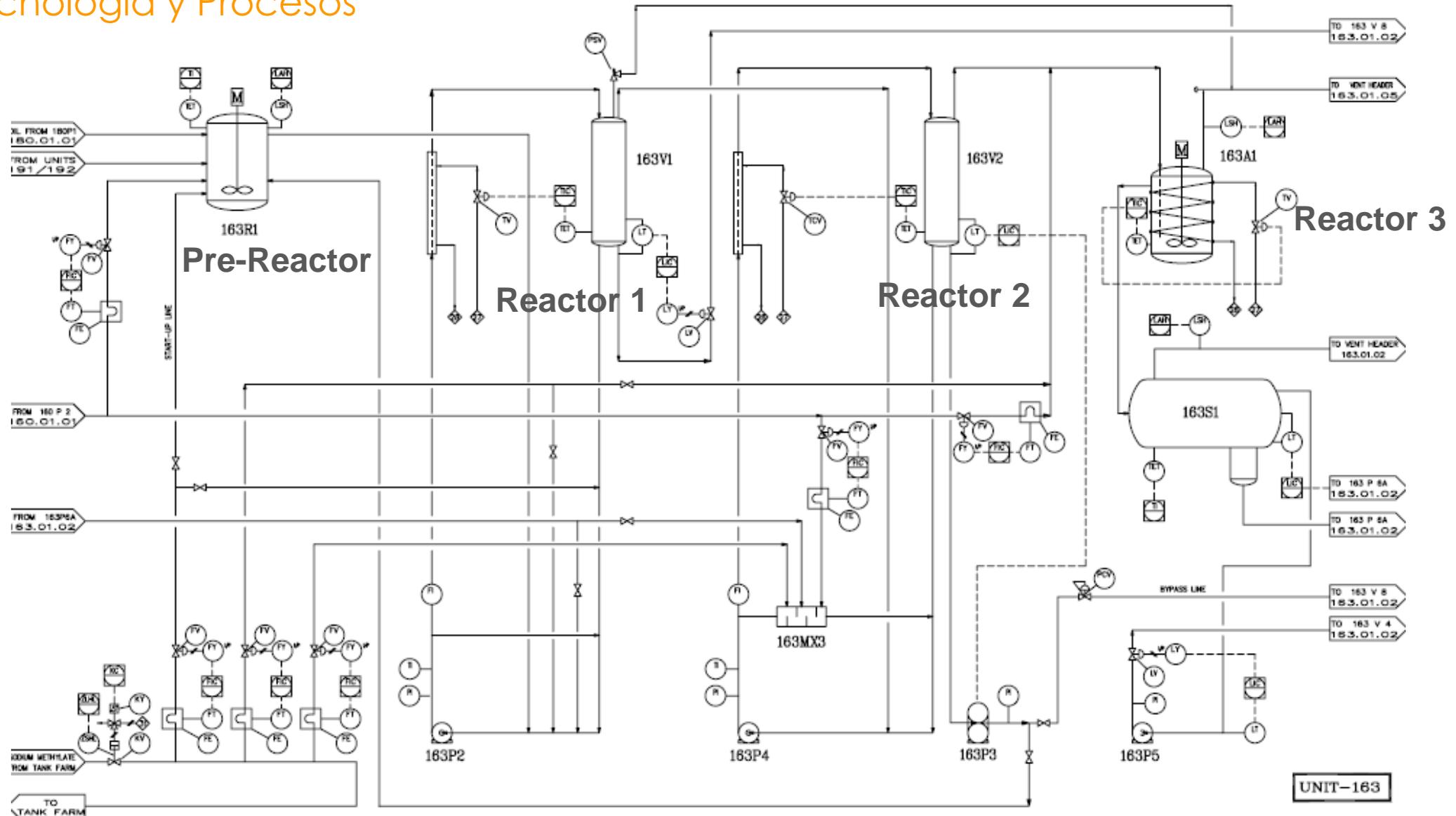
DESMET BALLESTRA



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

DESMET BALLESTRA



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

### DESMET BALLESTRA

**Consumos típicos por cada 1000 Kg de biodiesel  
utilizando materia prima PRE-TRATADA:**

#### Químicos

• metanol (puro)	98.3 Kg
• metanol (en metóxido de sodio)	11.7 Kg
	110 Kg
• Metóxido de Sodio (puro)	5.00 Kg
• Acido Cítrico (puro)	0.70 Kg
• Acido Clorhídrico (36% pureza)	10.0 Kg
• Soda Cáustica (50% pureza)	1.00 Kg

#### Servicios

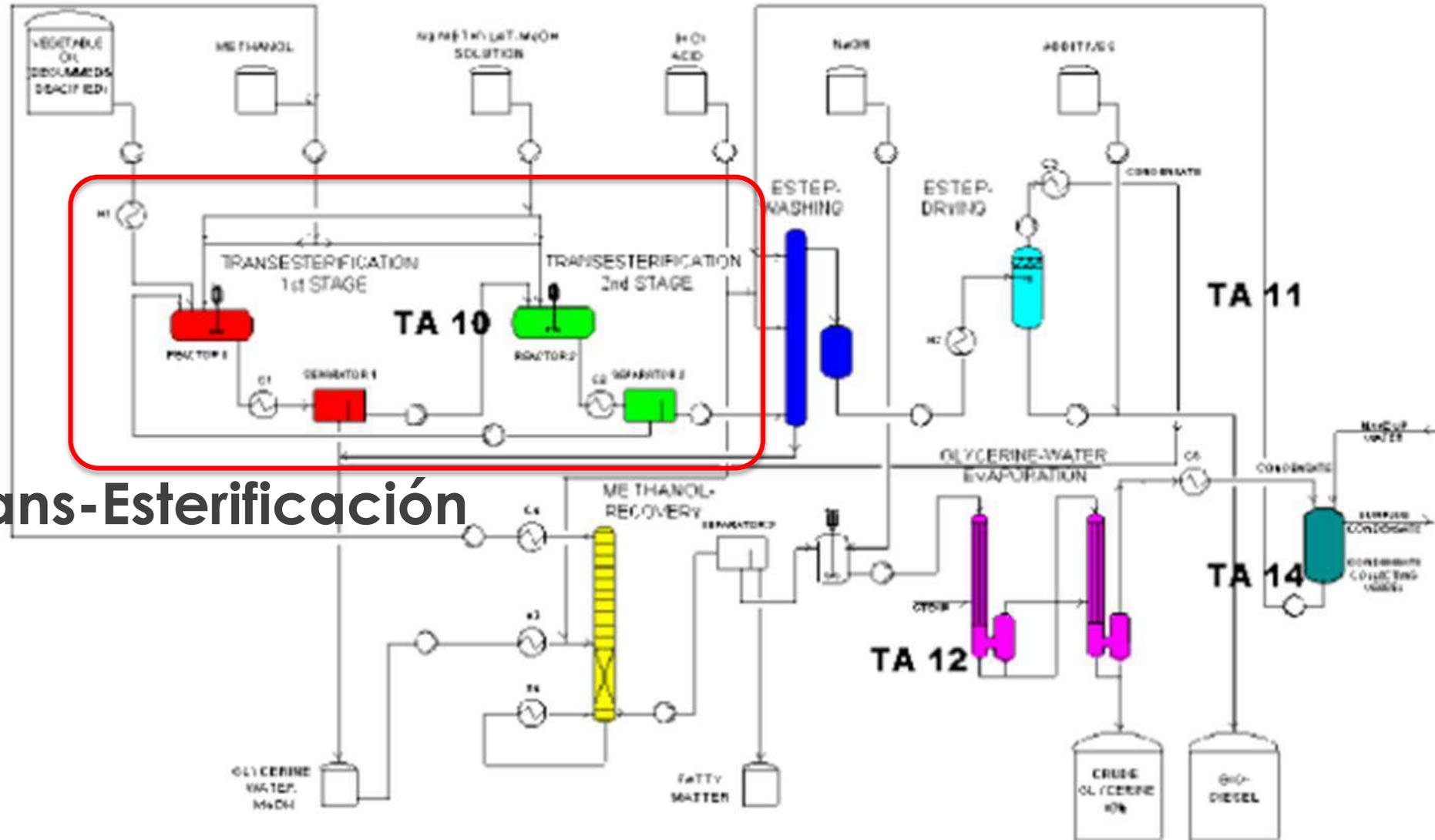
• Potencia eléctrica (absorbida)	11 kwh
• Vapor (10 barg)	265 Kg
• Agua de enfriamiento (recirculada)	24.2 m <sup>3</sup>
• Aire de instrumento	6 Nm <sup>3</sup>

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

LURGI

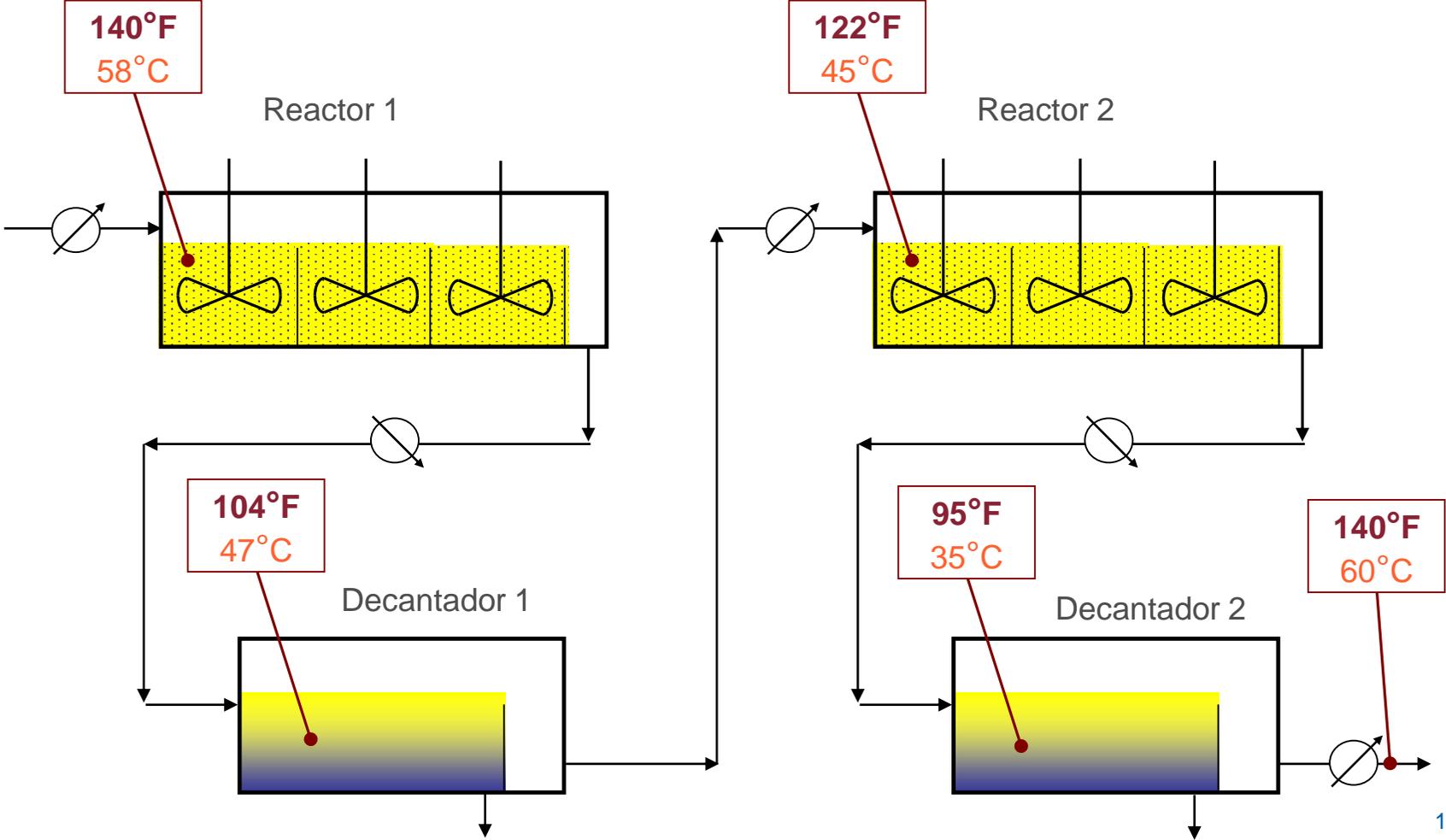
Trans-Esterificación



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

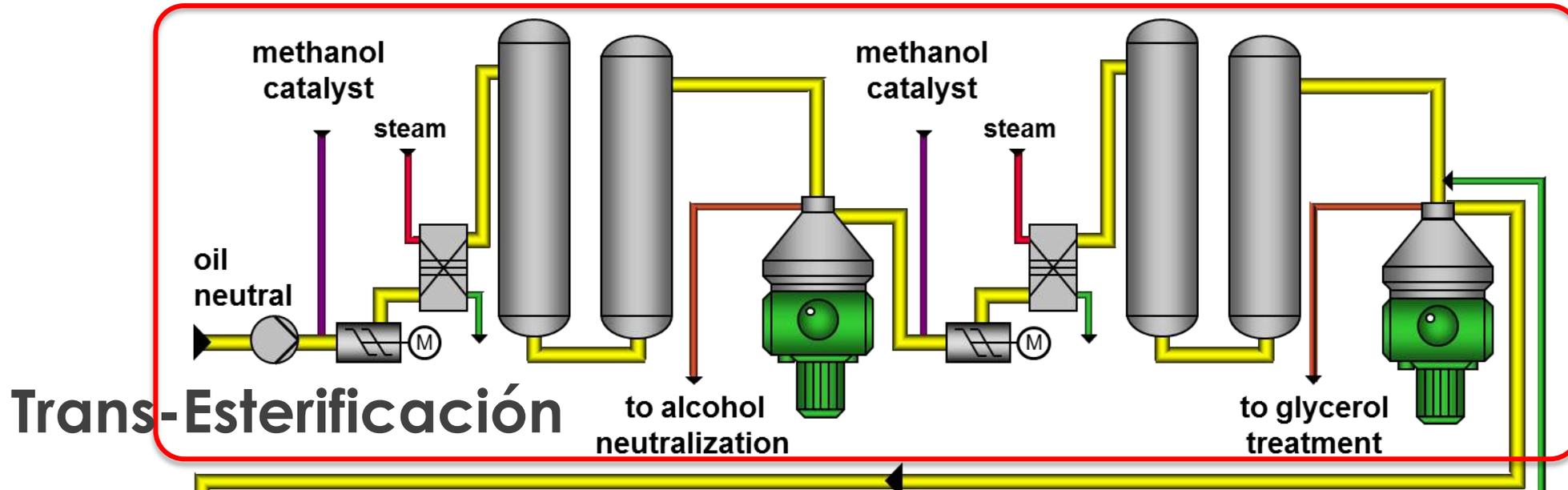
## Tecnología y Procesos

### LURGI



La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN  
Tecnología y Procesos

**GEA WESTFALIA**  
(Primera generación)



**Trans-Esterificación**

to alcohol  
neutralization

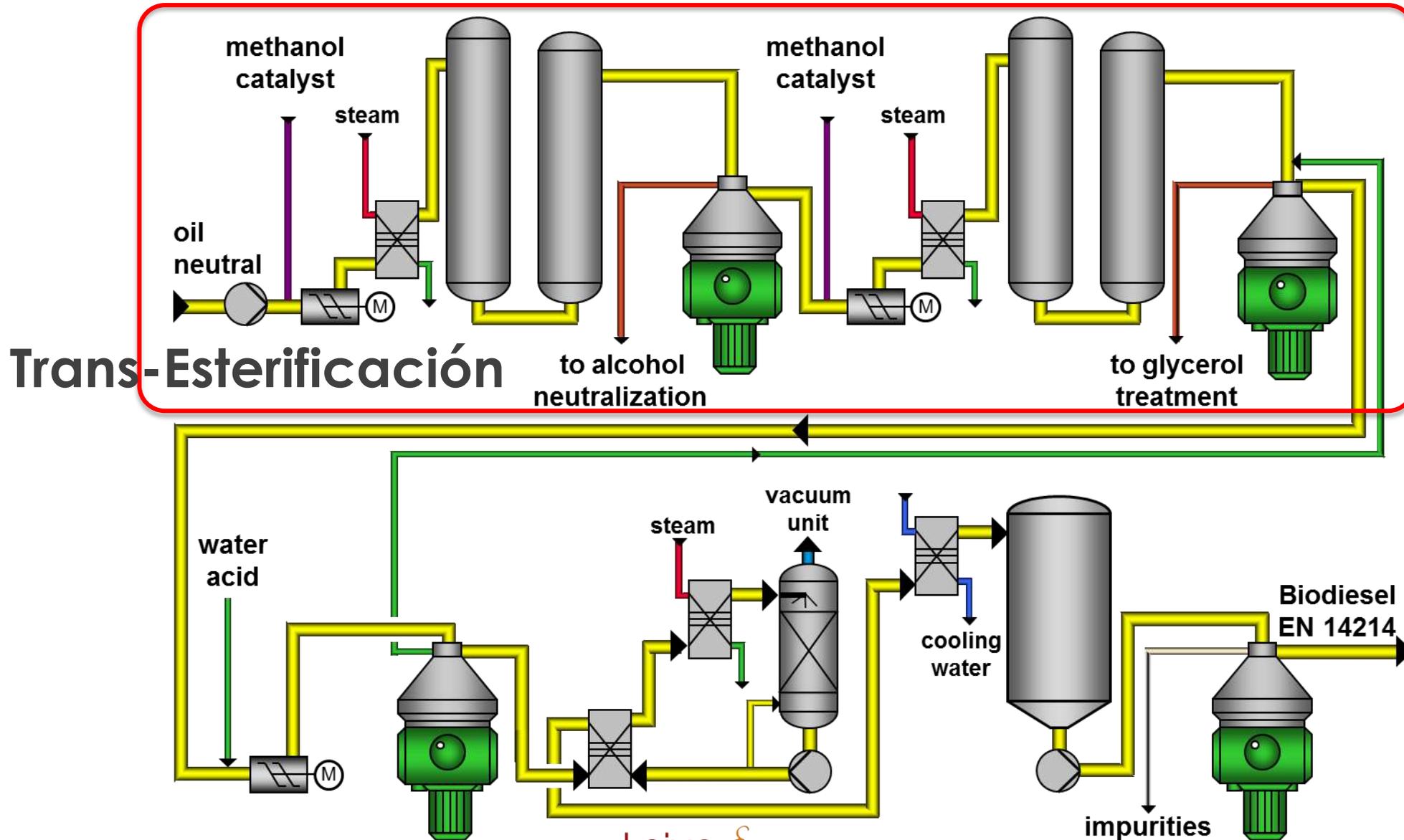
to glycerol  
treatment

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

# GEA WESTFALIA

(Primera generación)



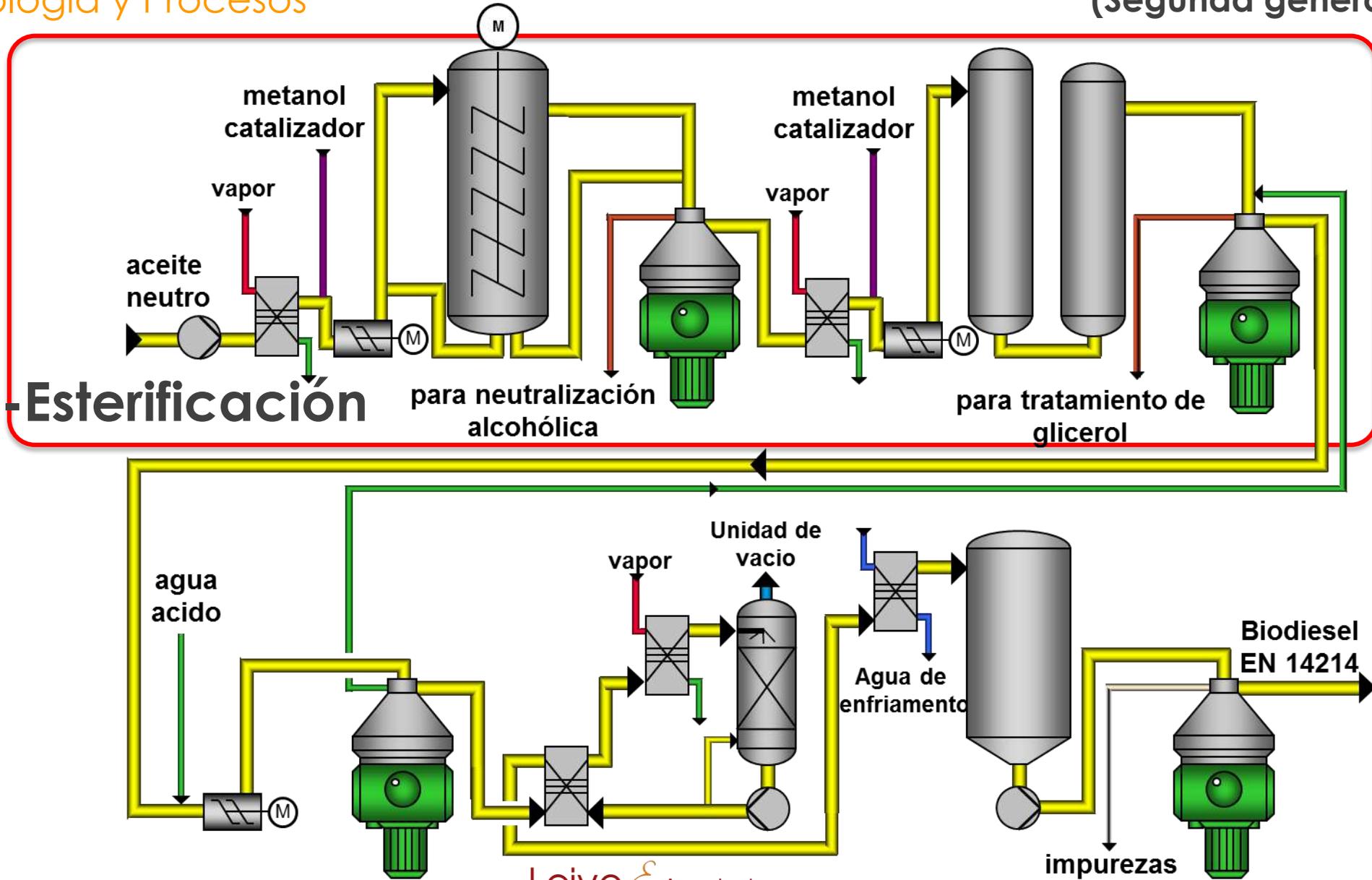
# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

# GEA WESTFALIA

(Segunda generación)

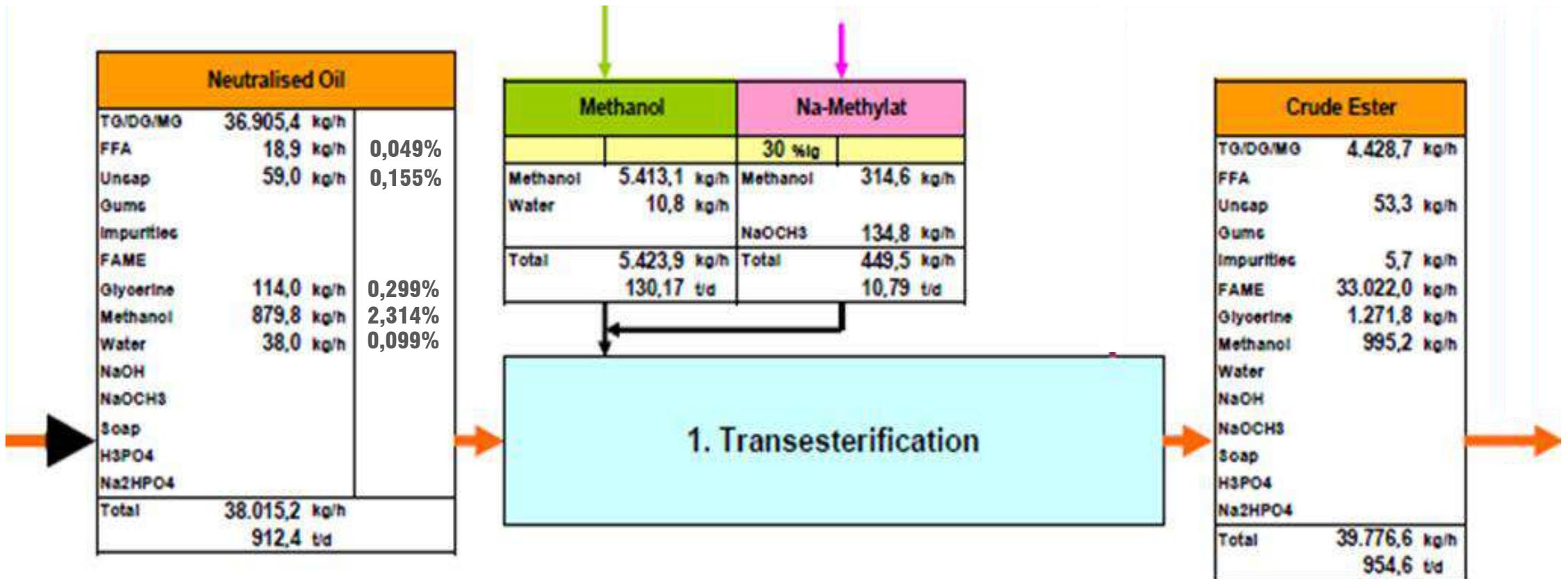
## Trans-Esterificación



# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## Tecnología y Procesos

### BALANCE DE MASAS de la TRANSESTERIFICACIÓN



## La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

### ALTERNATIVA DE MEJORA: **ETANOL** vs METANOL

#### VENTAJAS

**Ambientales:** ✓ Más biodegradable en agua que el metil éster.  
✓ Etanol menos tóxico que metanol.

**Versatilidad:** ✓ Desabastecimiento de metanol.  
✓ Suba de precio metanol ligado al gas natural.

**100 % Renovable:** ✓ Independencia total de materias primas NO renovables.

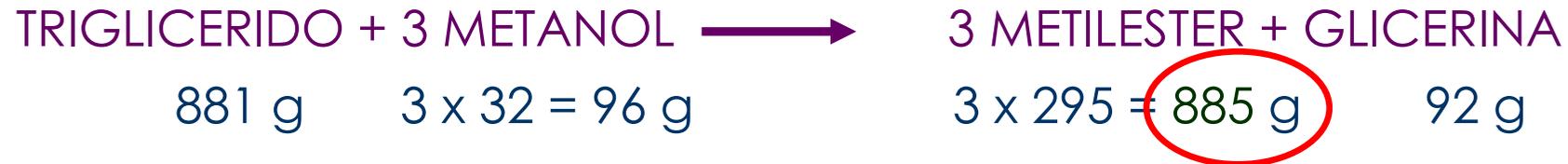
**Mayor Rendimiento:** ✓ Veamos las ecuaciones de balance de masa.



## La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

### ALTERNATIVA DE MEJORA: **ETANOL** vs METANOL

#### RENDIMIENTO



$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa metiléster}}{\text{masa aceite}} = 100.45 \%$$



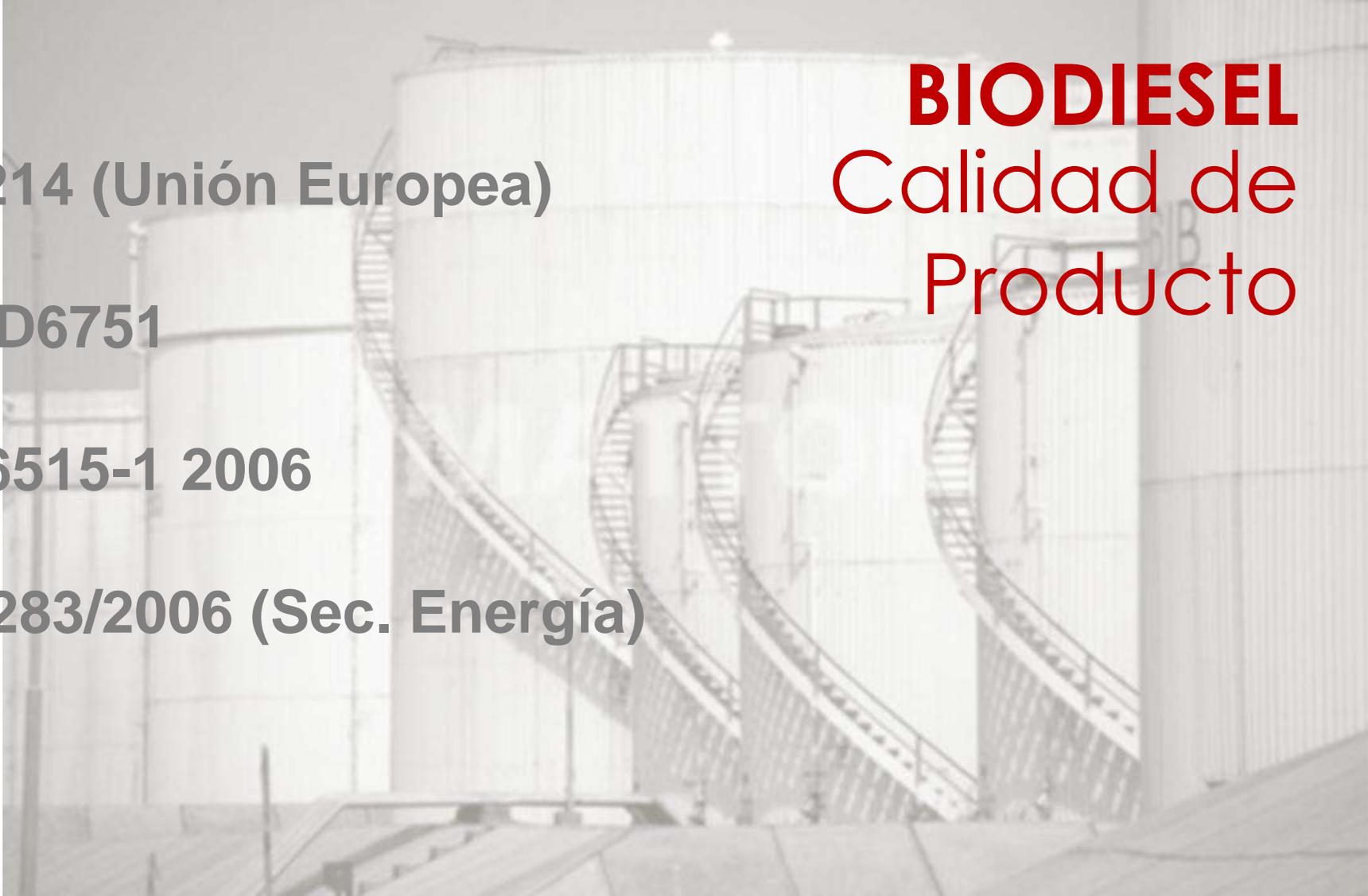
$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa etiléster}}{\text{masa aceite}} = 105.22 \%$$

# La reacción Principal: TRANSESTERIFICACIÓN

## ALTERNATIVA DE MEJORA: **ETANOL** vs METANOL

Metil y Etil ésteres de  
grasa vacuna a  
temperatura ambiente  
de 17 °C.





# **BIODIESEL**

## Calidad de Producto

- **EN 14214 (Unión Europea)**
- **ASTM D6751**
- **IRAM 6515-1 2006**
- **Res. 1283/2006 (Sec. Energía)**

# BIODIESEL - Calidad de Materias Primas, Insumos y Producto

MATERIAS PRIMAS  
PRODUCTOS QUÍMICOS  
INSUMOS

- **ACEITE CRUDO DE SOJA**
- **METANOL**
- METILATO DE SODIO
- ÁCIDO FOSFÓRICO - CÍTRICO
- HIDRÓXIDO DE SODIO
- ÁCIDO CLORHÍDRICO
- ACIDO PARATOLUEN SULFÓNICO
- ANTIOXIDANTES

PROCESOS

- ✓ ACEITE DESGOMADO
- ✓ ACEITE NEUTRO
- ✓ 1° TRANS ESTERIFICACIÓN
- ✓ 2° TRANS ESTERIFICACIÓN
- ✓ LAVADO
- ✓ SECADO
- ✓ CLARIFICADO
- ✓ DOSAJE DE ANTIOXIDANTES

PRODUCTOS  
TERMINADOS

- BIODIESEL
- GLICERINA

# BIODIESEL

## Calidad de Producto

Property	Units	lower limit	upper limit	Test-Method
Ester content	% (m/m)	96.5	-	EN 14103
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 / EN ISO 12185
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3.5	5.0	EN ISO 3104 / EN 14105
Flash point	°C	> 101	-	EN ISO 2719 / EN ISO 3679.
Sulfur content	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 / EN ISO 20884.
Cetane number	-	51,0	-	EN ISO 5165
Sulfated ash content	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Water content	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	-	24	EN 12662
Copper band corrosion (3 hours at 50 °C)	rating	Class 1	Class 1	EN ISO 2160
Oxidation stability, 110°C	hours	8	-	EN 14112
Acid value	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
Iodine value	-	-	120	EN 14111
Methanol content	% (m/m)	-	0,2	EN 14110
Monoglyceride content	% (m/m)	-	0,7	EN 14105
Diglyceride content	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Triglyceride content	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Free Glycerine	% (m/m)	-	0,02	EN 14105 / EN 14106
Total Glycerine	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Group I metals (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14108 / EN 14109
Group II metals (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	EN 14538
Phosphorus content	mg/kg	-	4	EN14107

# BIODIESEL - Calidad de Materias Primas, Insumos y Producto

Parámetros relacionados con la materia prima	➤ <b>Densidad</b>	<b>EN ISO 12185</b>
	➤ <b>Viscosidad</b>	<b>EN ISO 3104</b>
	➤ <b>Índice de Yodo</b>	<b>EN 14111</b>
	➤ <b>Número de cetano</b>	<b>EN ISO 5165</b>
	➤ <b>Azufre</b>	<b>EN ISO 20846</b>

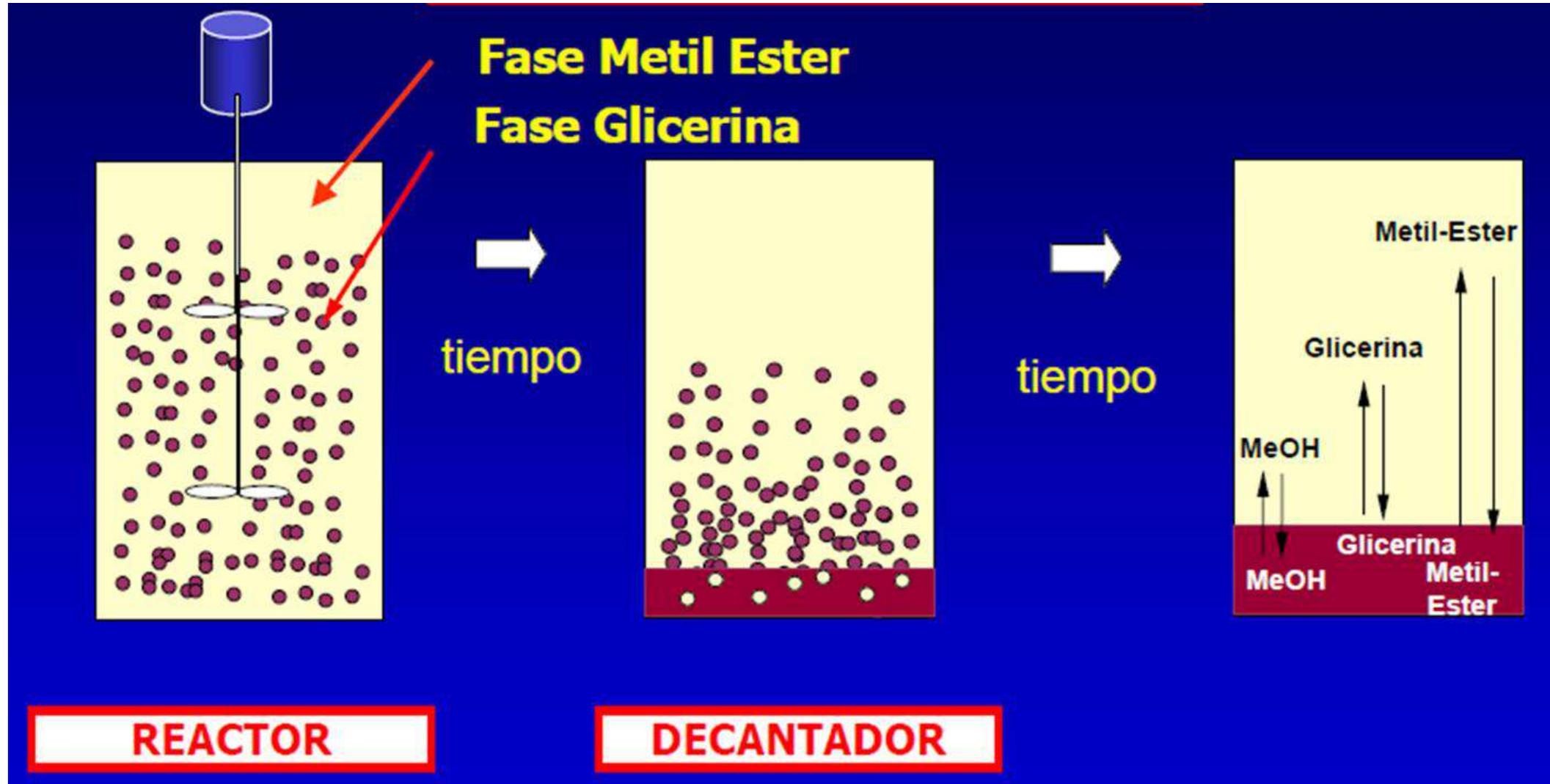
Parámetros relacionados con la Reacción	➤ <b>Contenido de ésteres</b>	<b>EN 14103</b>
	➤ <b>Tri / Di / Monoglicéridos</b>	<b>EN 14105</b>
	➤ <b>Glicerina total</b>	<b>EN 14105</b>

Parámetros relacionados con la purificación	➤ <b>Glicerina libre</b>	<b>EN 14105</b>
	➤ <b>Metales alcalinos</b>	<b>EN 14538</b>
	➤ <b>Impurezas totales</b>	<b>EN 12662</b>
	➤ <b>Contenido de metanol</b>	<b>EN 14110</b>
	➤ <b>Contenido de H<sub>2</sub>O</b>	<b>EN ISO 12937</b>
	➤ <b>Acidez</b>	<b>EN 14104</b>
	➤ <b>Cenizas Sulfatadas</b>	<b>ISO 3987</b>

# Procesos de Separación Fisicoquímica.

# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos



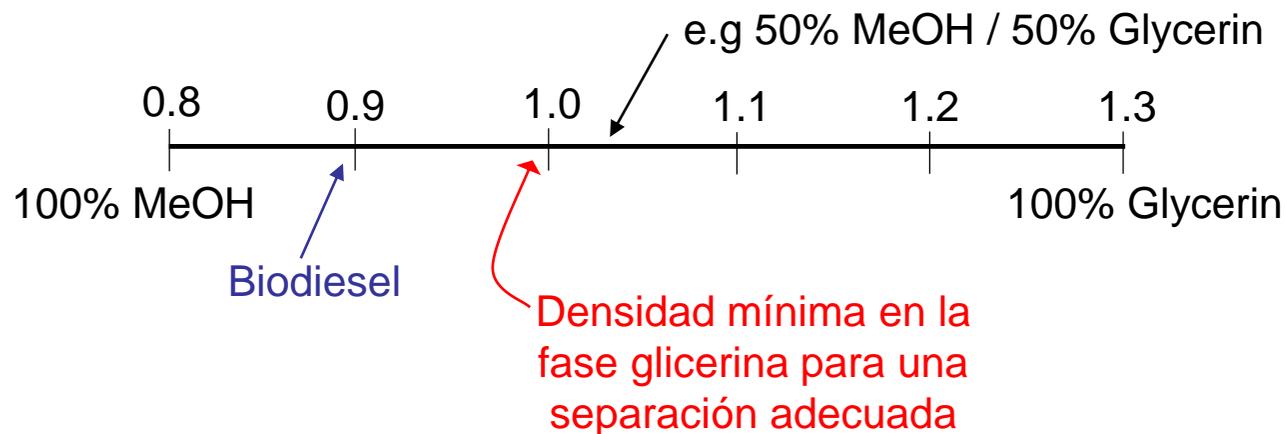
# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

Diferencia de densidades – Control crítico

MeOH	0.79	mix	Biodiesel	0.89
Glycerin	1.28			

Diferencia de densidad requerida para la separación de fases 0.1



- La mayor cantidad posible de MeOH para una buena reacción.
- La menor cantidad posible para una mejor separación de fases.

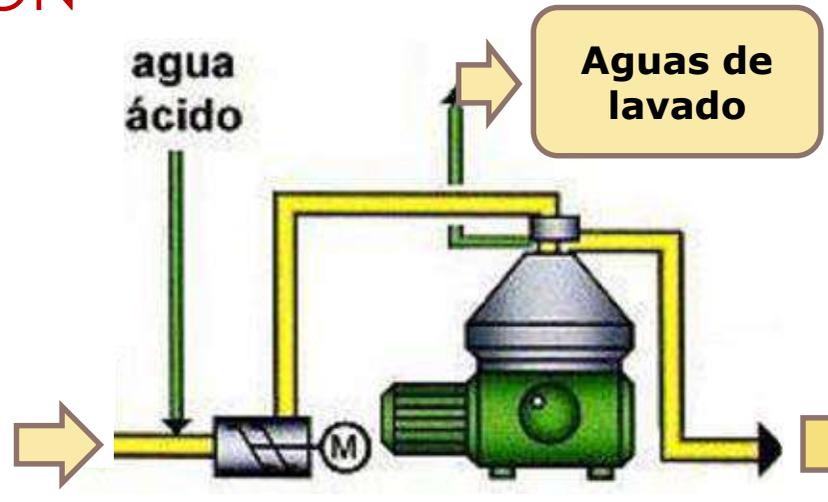
# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

Reacciones y Procesos

GEA WESTFALIA

## LAVADO DE BIODIESEL

**Ester metílico**  
Ácido Fosfórico  
Agua pH: 3-4.5



**ALIMENTACIÓN**

~7 vol.-%



**FASE LIVIANA**

~ 0,3 vol.-%



**FASE PESADA**

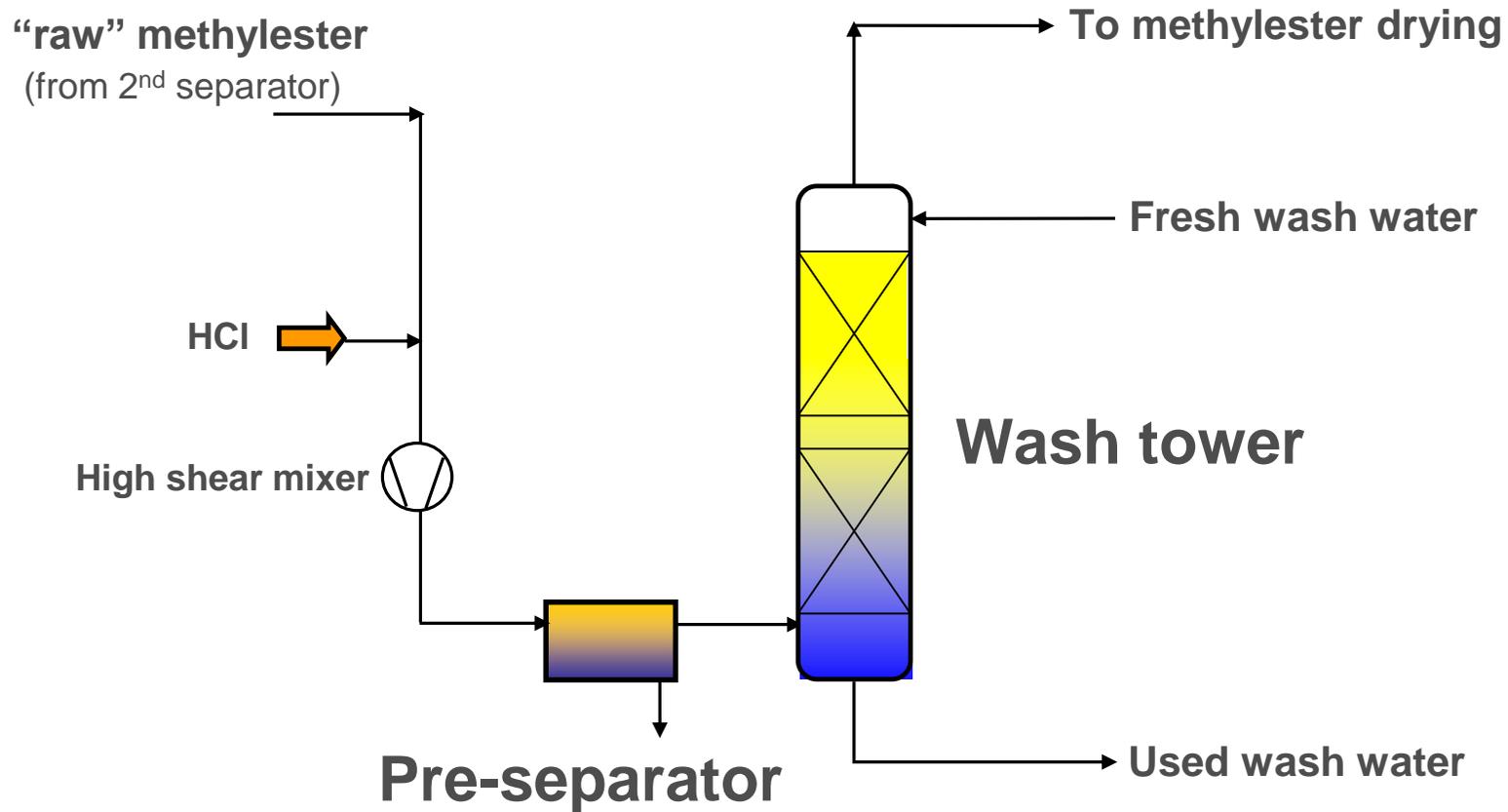
TRAZAS DE SG  
EN LA SUPERFICIE

# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

Reacciones y Procesos

## TECNOLOGÍA LURGI

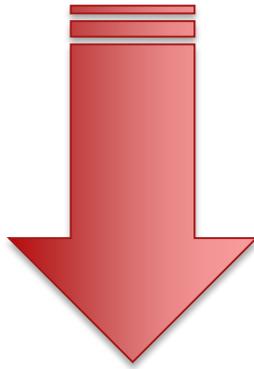
# LAVADO DE BIODIESEL



# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

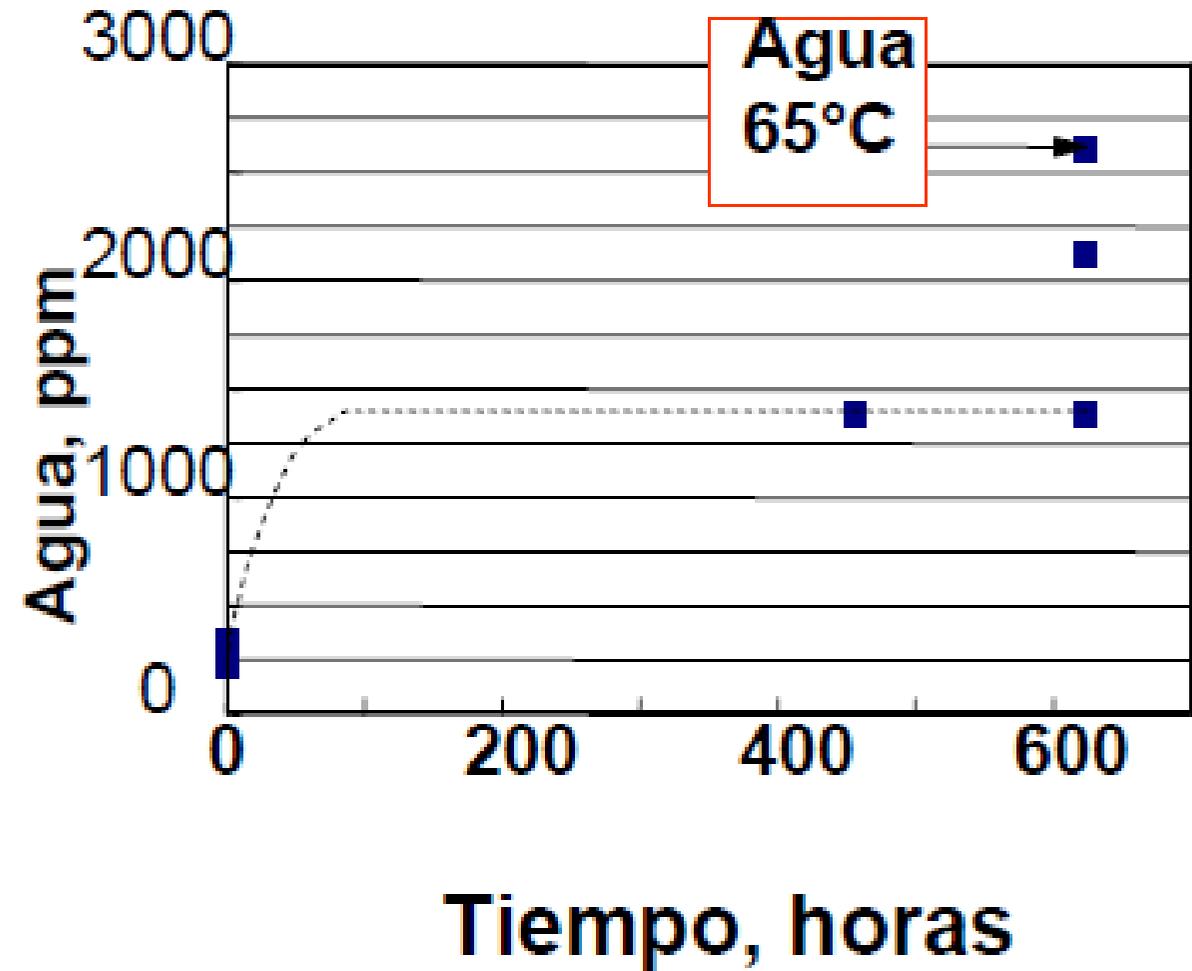
## Reacciones y Procesos

A mayor temperatura, mejor secado



Compromiso con la  
estabilidad a la  
oxidación  
Humedad de  
saturación a temp.  
Ambiente: 1.400 ppm

# SECADO DE BIODIESEL

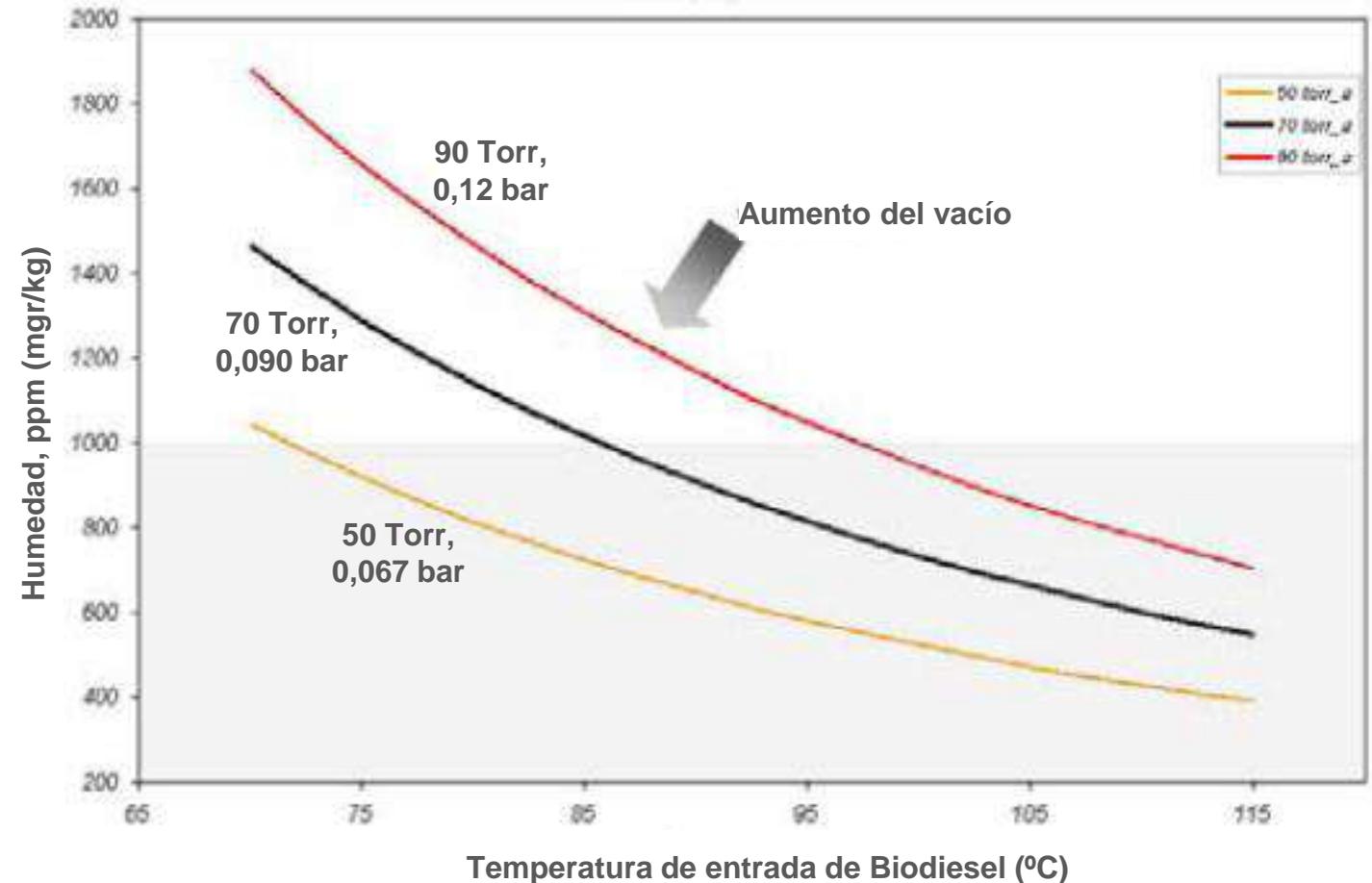


# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

La figura muestra curvas de humedad versus temperatura, paramétricas en vacío, donde se puede observar que a mayor vacío menor contenido de humedad queda en el biodiesel, para una dada temperatura; o que a mayores temperaturas para un mismo vacío, también se reduce el contenido de agua.

# SECADO DE BIODIESEL

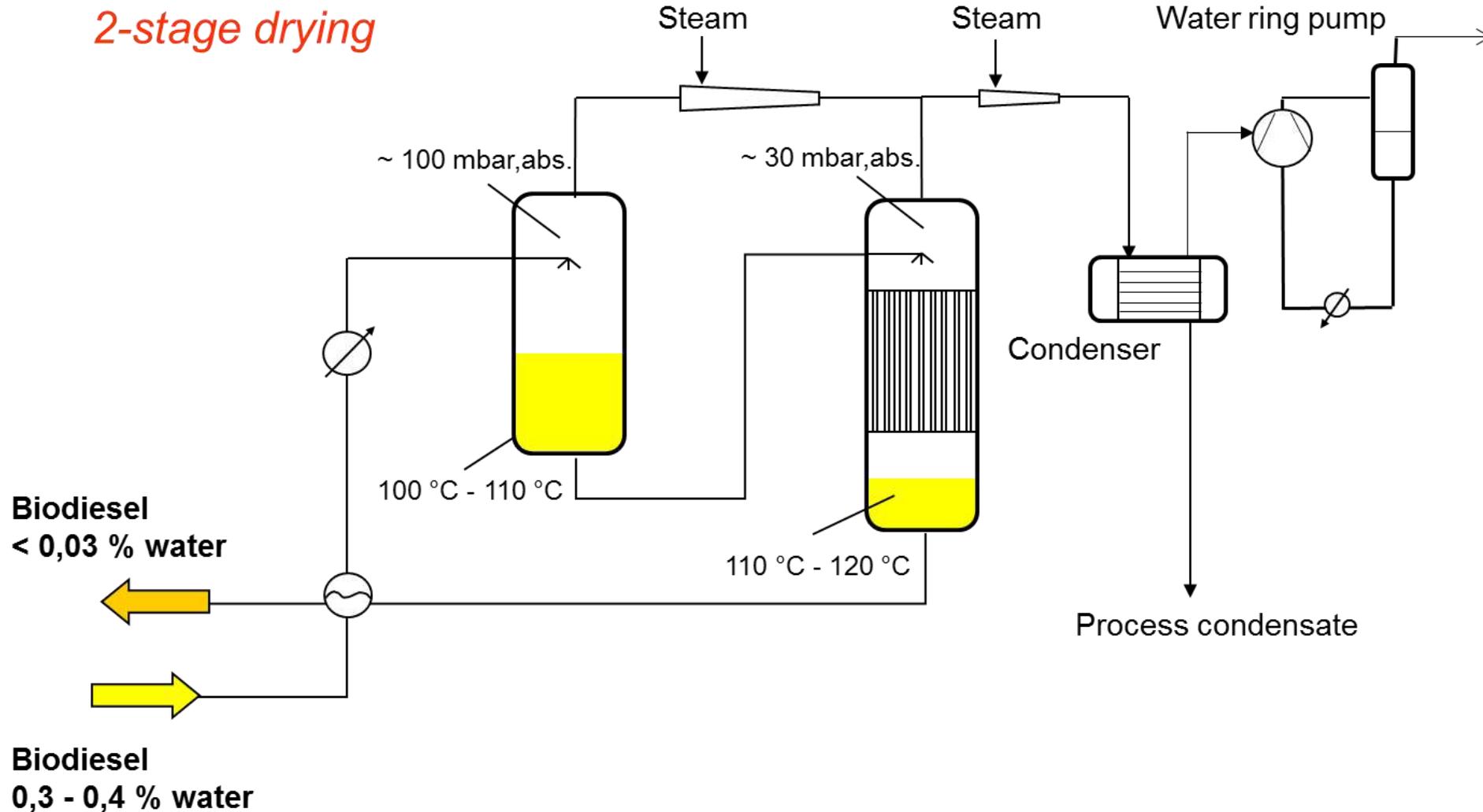


# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

# SECADO DE BIODIESEL

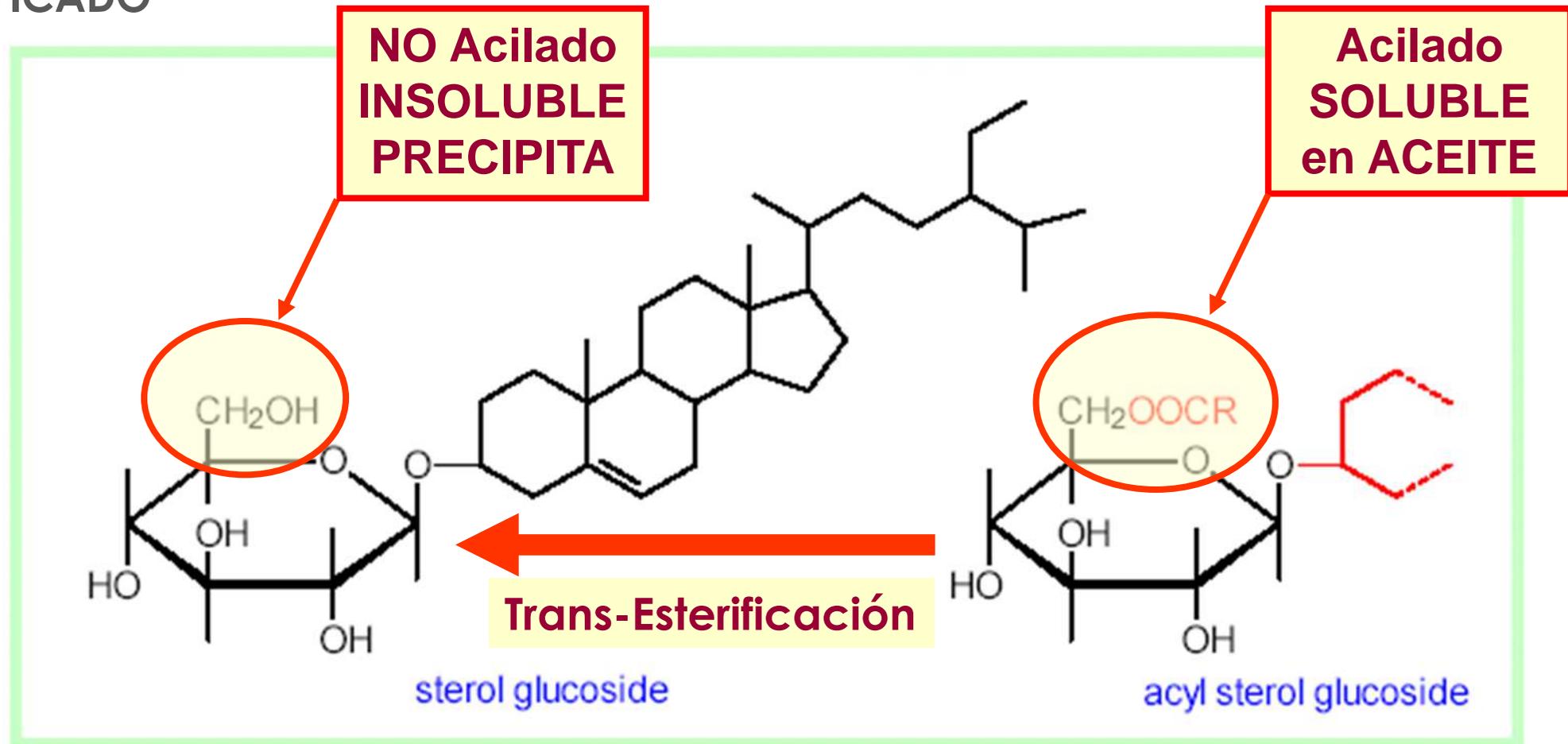
## TECNOLOGÍA LURGI



# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

### CLARIFICADO



Contaminación total: Potenciales problemas con la soja GLUCÓSIDOS ESTEROLES

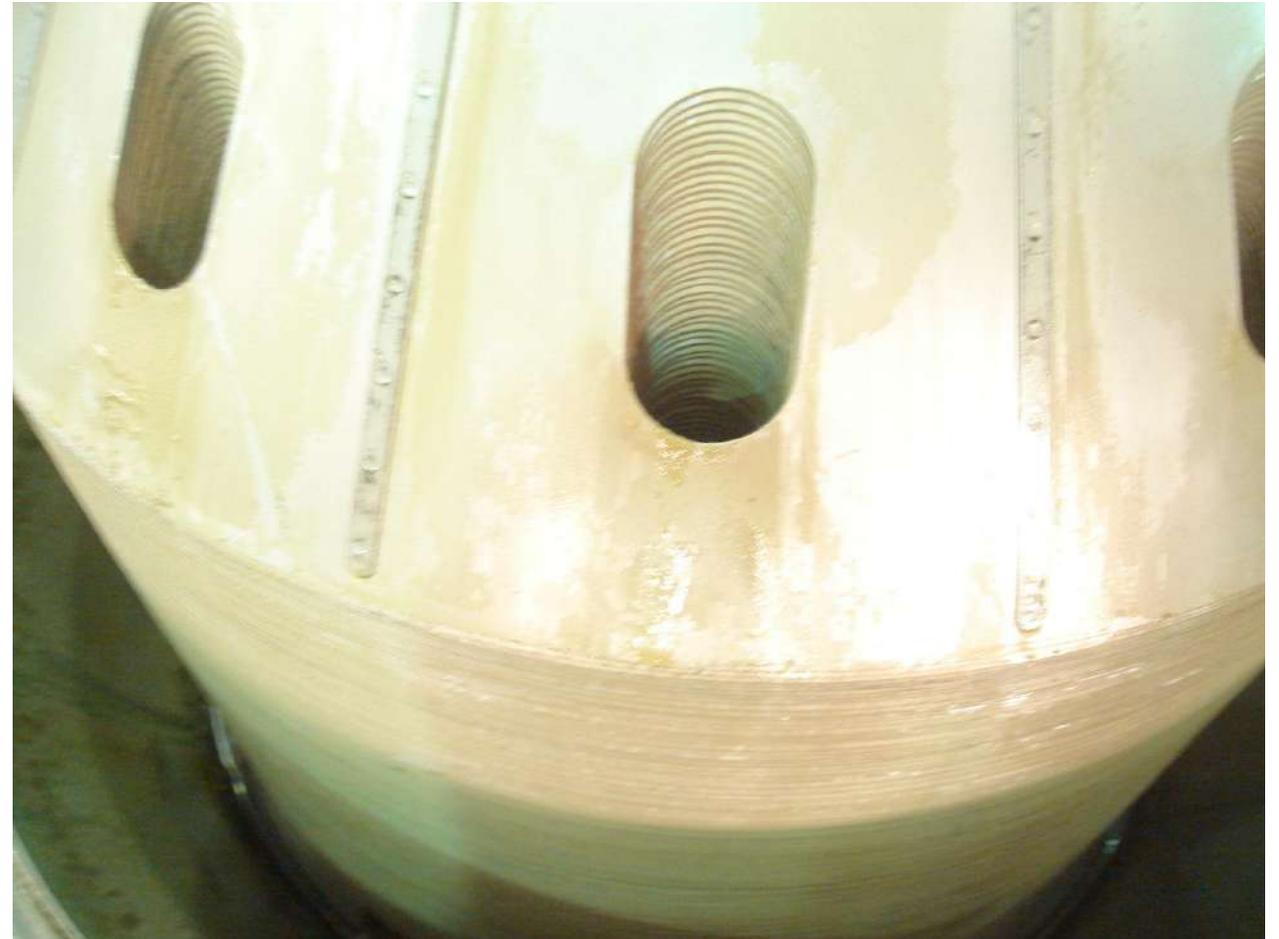
# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

### CLARIFICADO

Los glucósidos esteroides (SG), fitoesteroides (esteroides vegetales) encontrados en aceite crudo de soja y otros vegetales, forman parte de los precipitados encontrados en biodiesel.

Análisis cuantitativo de los sólidos indica que los SG constituyen aproximadamente el 68% del precipitado (sin lavar con solvente para remover el biodiesel)



# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

Reacciones y Procesos

CLARIFICADO

GEA WESTFALIA

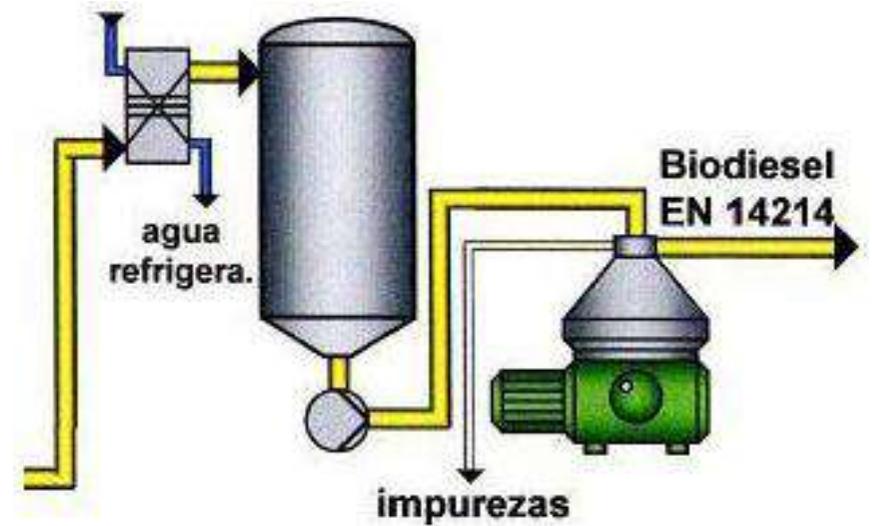
**Biodiesel**  
Esteroles  
glucósidos  
(80–150 ppm)



**Biodiesel Final**  
Esteroles glucósidos  
< 20 ppm



**Sedimentos**  
Esteroles glucósidos



Problema que se agrava en invierno: Aglomerados  
Arrastran Mono-glicéridos Saturados.

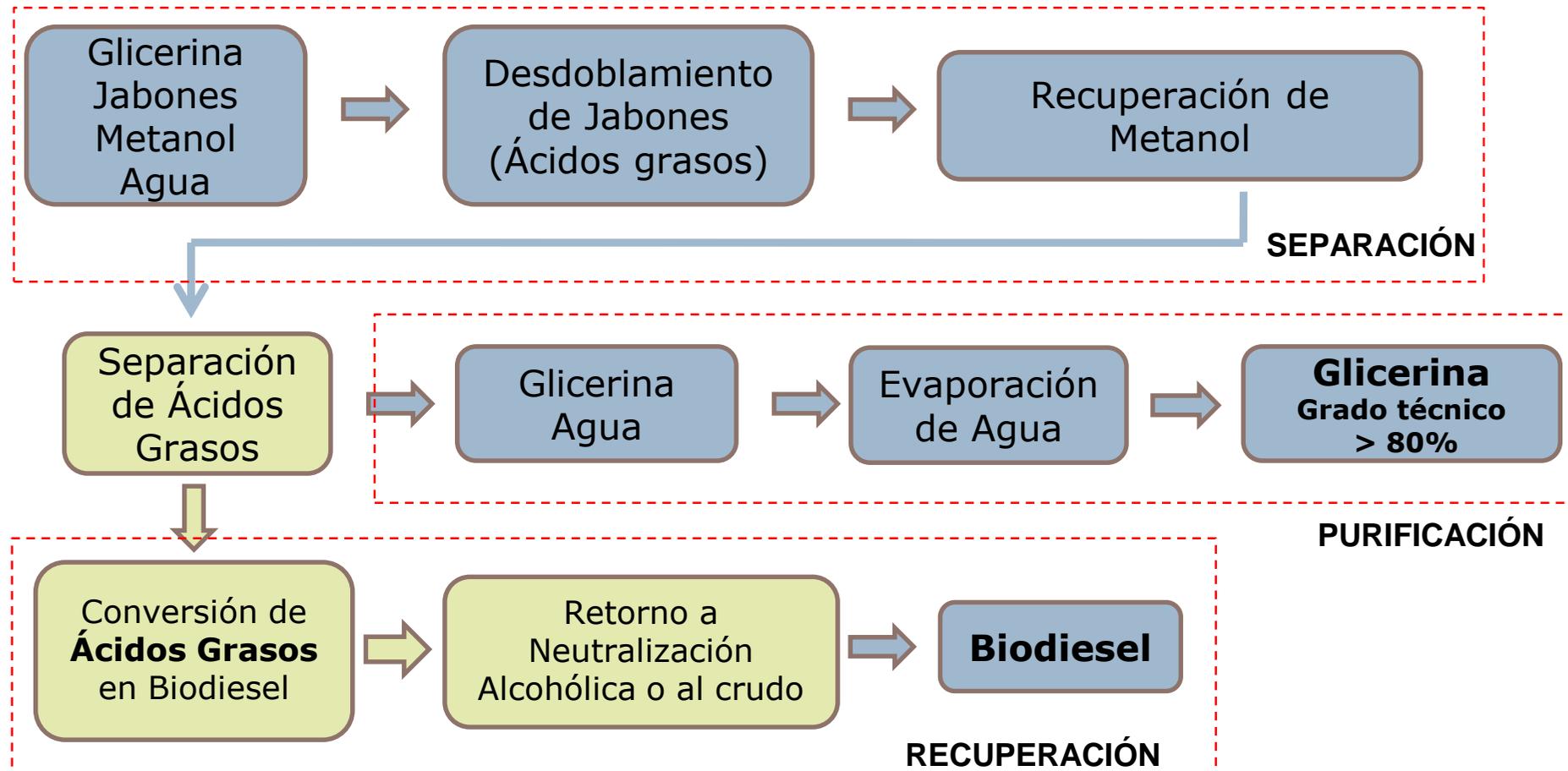


# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

Reacciones y Procesos

## TRATAMIENTO DE GLICERINA

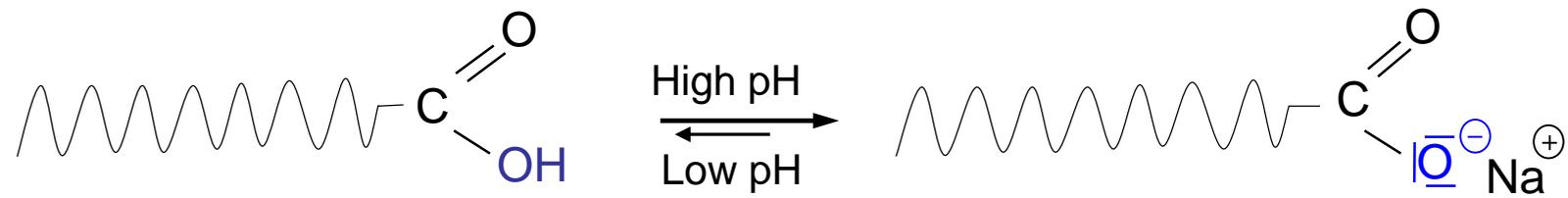
GEA WESTFALIA



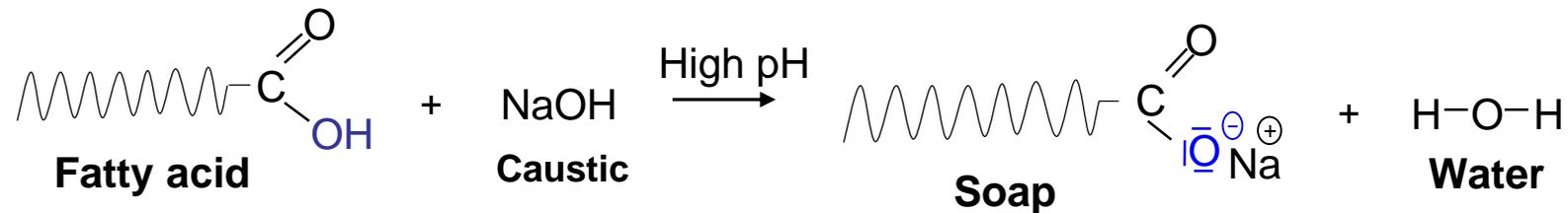
# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

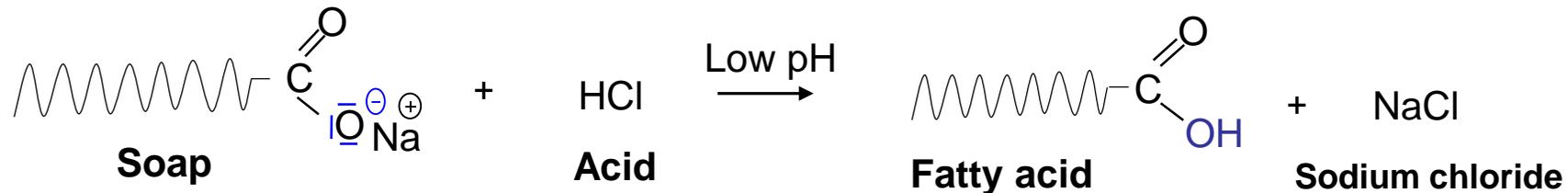
### Equilibrio Jabones/FFA



#### 1. Neutralization of ffa (free fatty acid)



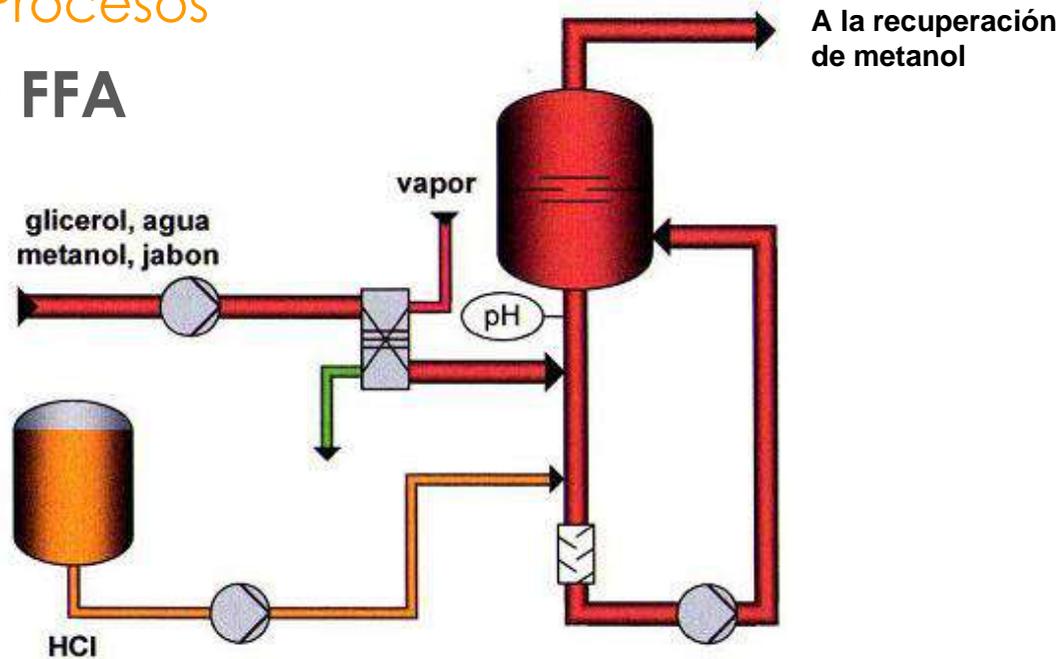
#### 2. Soap Splitting



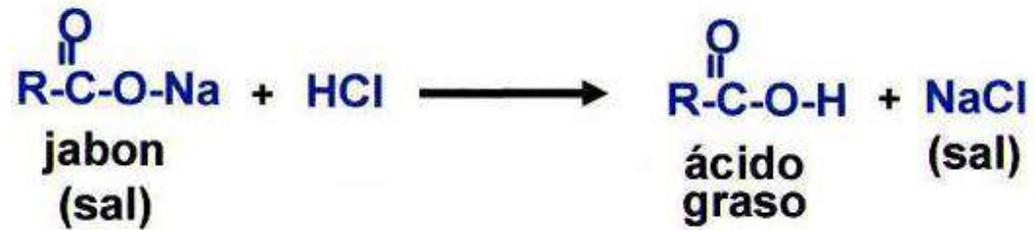
# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

Reacciones y Procesos

## SPLITTING DE FFA



### Desdoblamiento de jabon



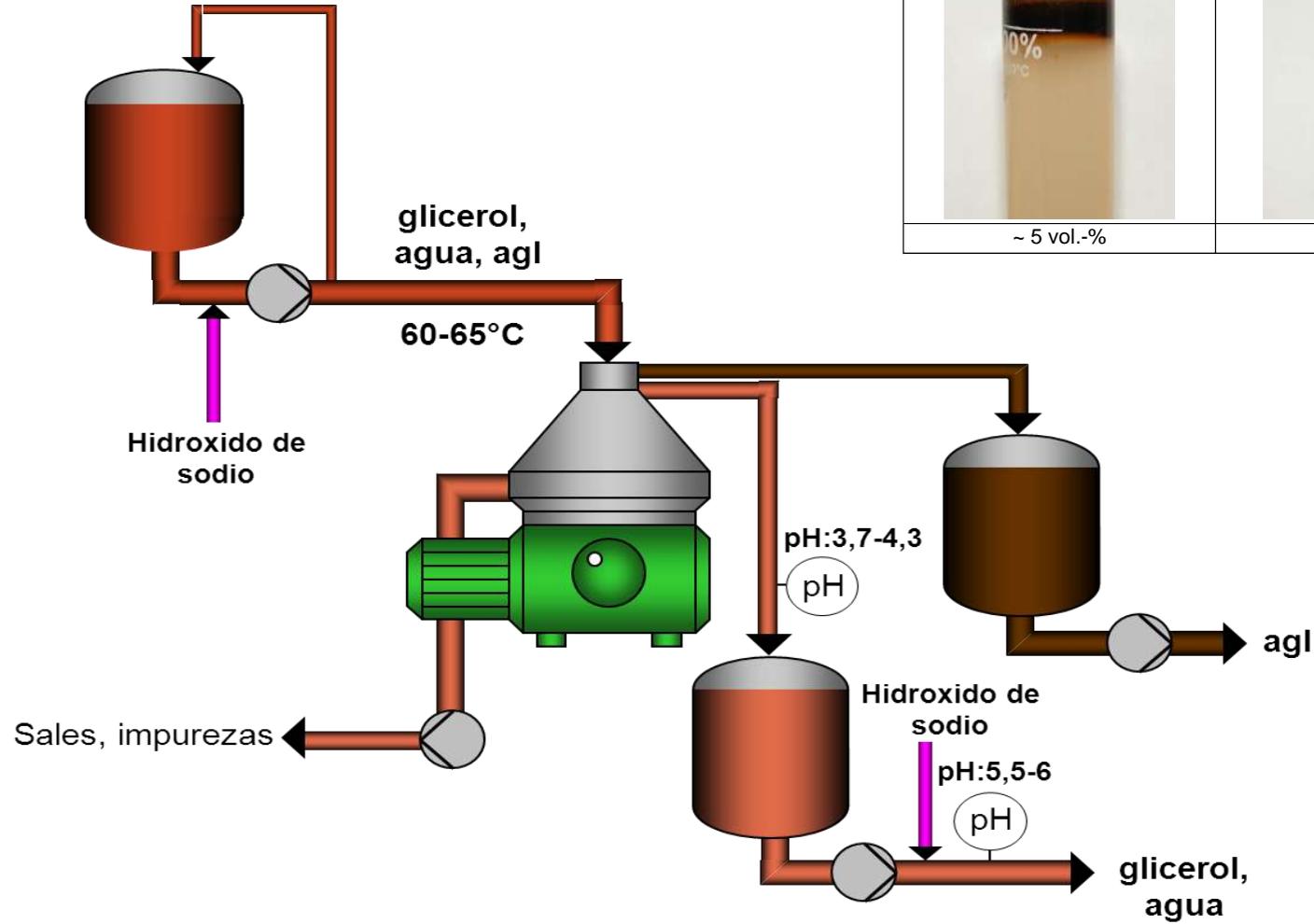
## GEA WESTFALIA



# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

## Reacciones y Procesos

### SEPARACIÓN DE FFA



# GEA WESTFALIA

Feed	Light phase	Heavy phase
		
~ 5 vol.-%	~ 0.3 vol.-%	nil ffa on top

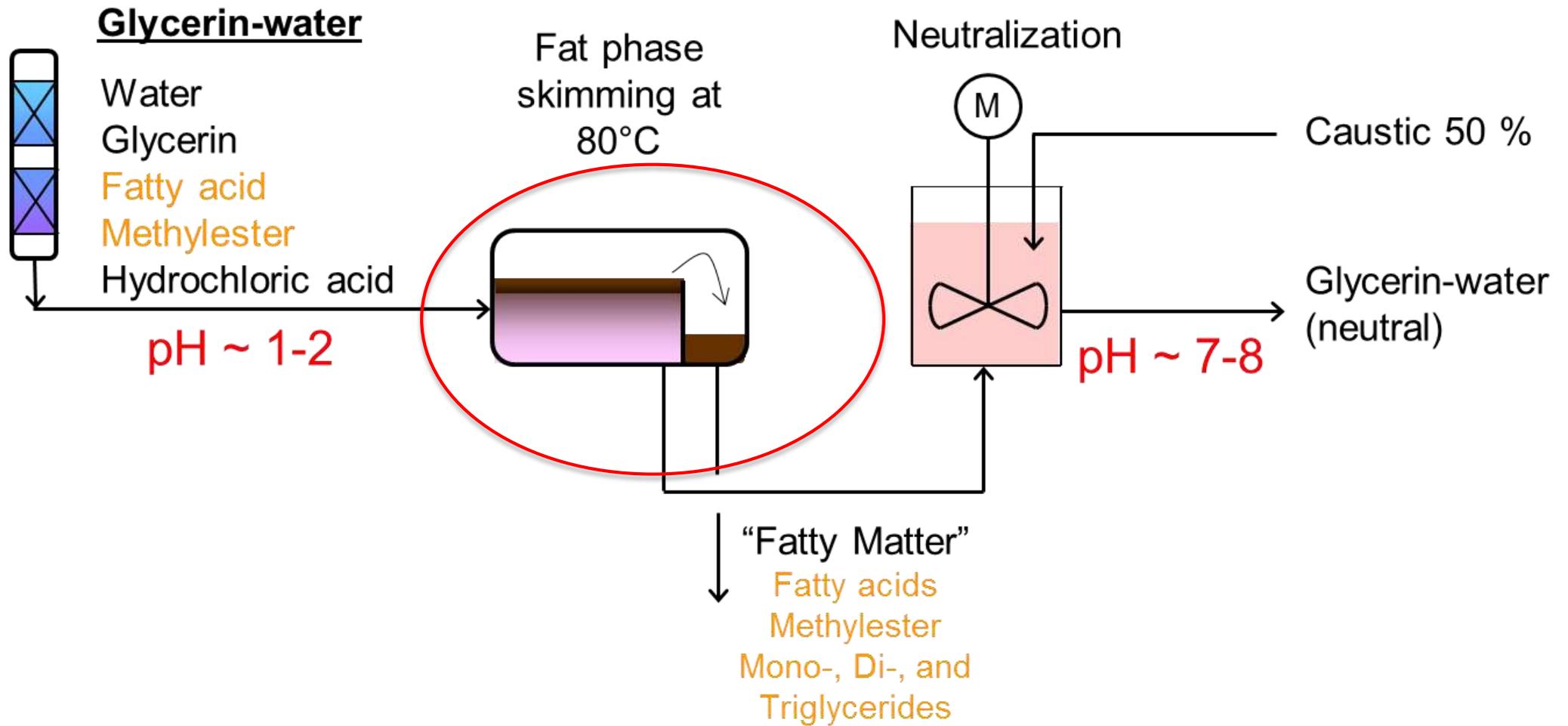


# LA ETAPA DE SEPARACIÓN

Reacciones y Procesos

## SEPARACIÓN DE FFA

# TECNOLOGÍA LURGI



# Principios de la Evaporación

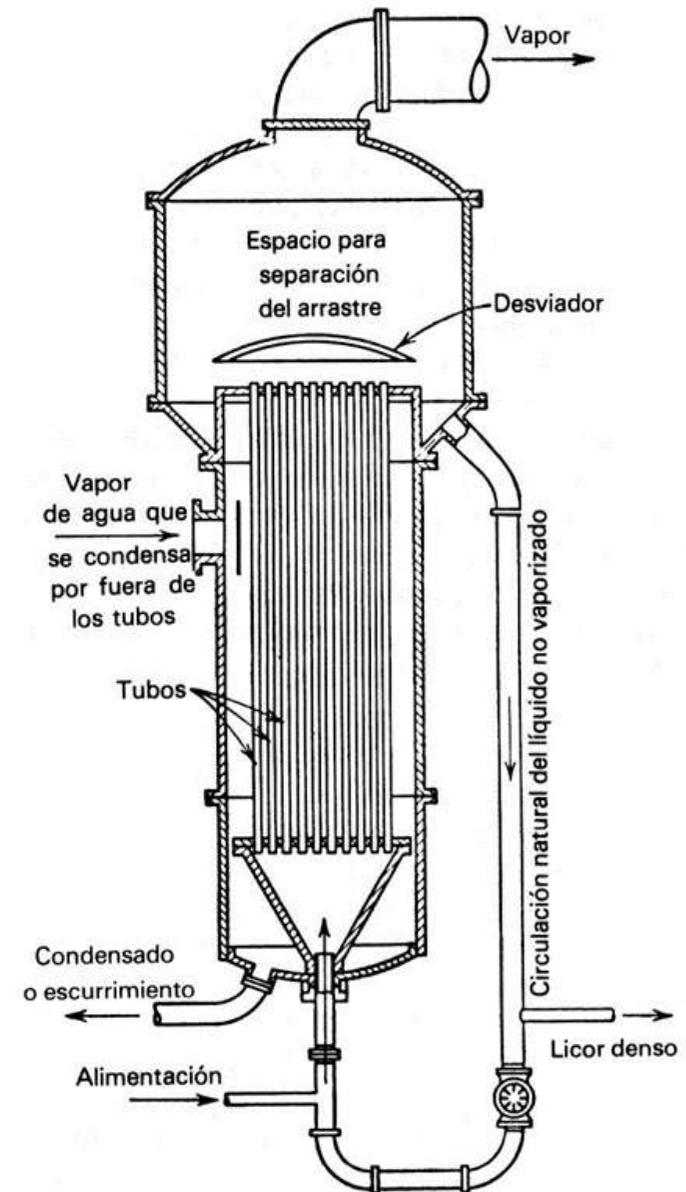
## Fundamentos y Fenómenos



# EVAPORACIÓN DE GLICERINA

## Características del PRODUCTO

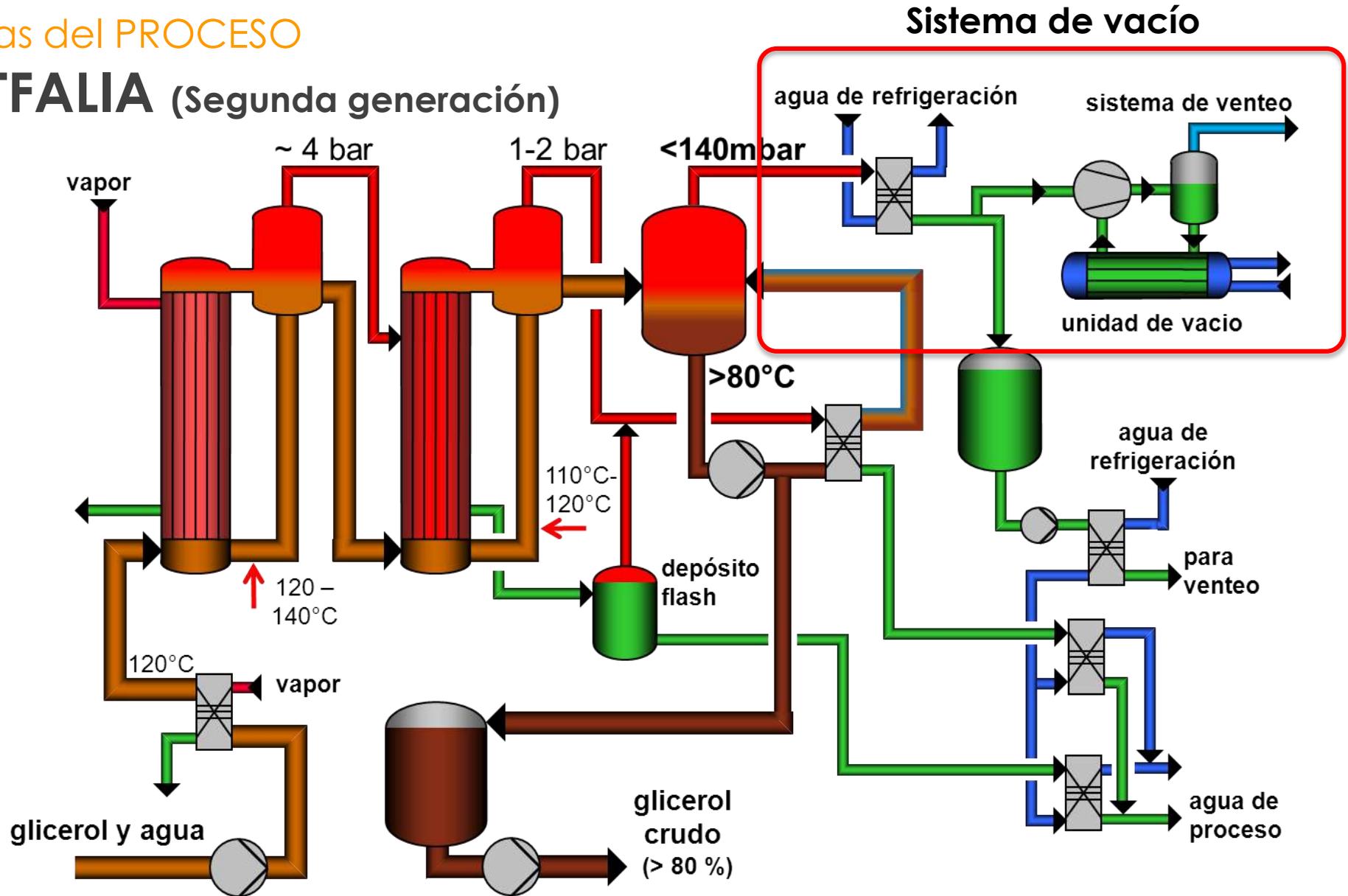
- CONCENTRACIÓN
- SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA
- VISCOSIDAD DE CONCENTRADO
- FORMACIÓN DE ESPUMA
- FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES



# EVAPORACIÓN DE GLICERINA

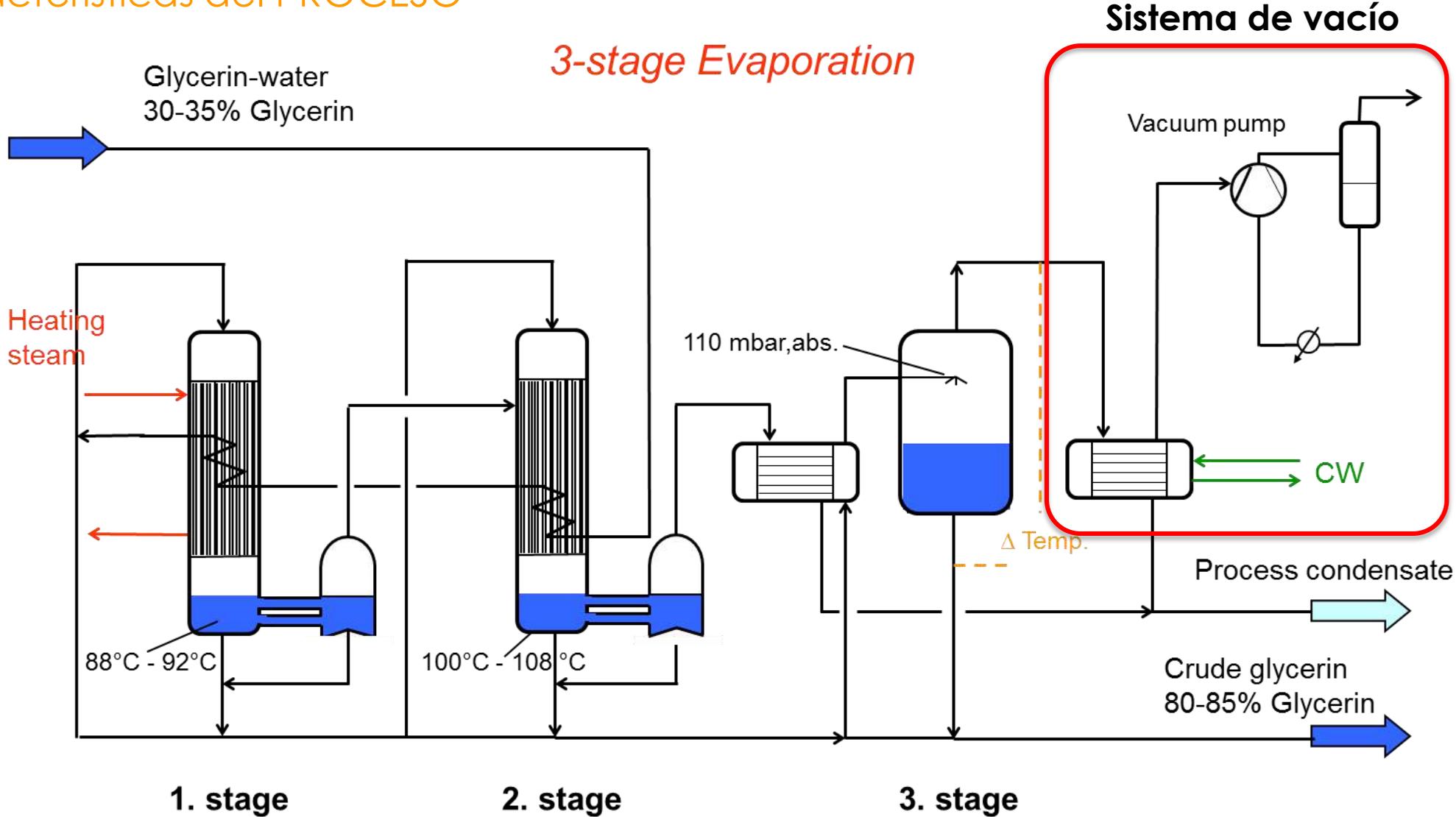
Características del PROCESO

GEA WESTFALIA (Segunda generación)



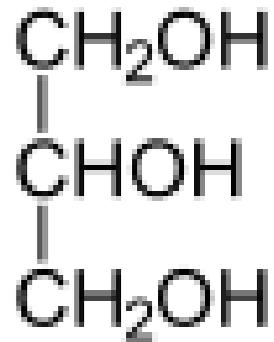
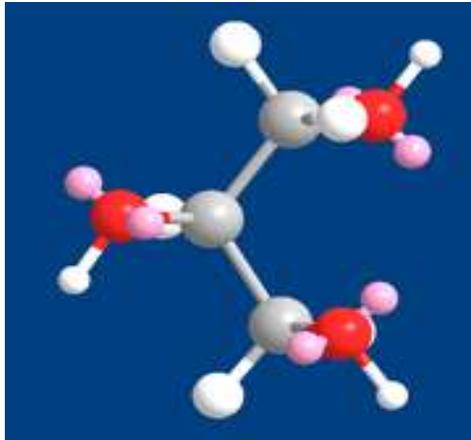
# EVAPORACIÓN DE GLICERINA

## Características del PROCESO



# EVAPORACIÓN DE GLICERINA

## PARÁMETROS DE CALIDAD y PROPIEDADES



PROPIEDADES FÍSICAS	
ESTADO DE AGREGACIÓN	LÍQUIDO
APARIENCIA	INCOLORO
DENSIDAD	1261 kg/m <sup>3</sup> 1,261 g/cm <sup>3</sup>
MASA MOLAR	92,09382 g/mol
PUNTO DE FUSIÓN	291 K (17,85°C)
PUNTO DE EBULLICIÓN	563 K (289,85 °C)

- % GLICEROL
- CONTENIDO DE AGUA
- CENIZAS
- MONG (Materia Orgánica No Glicerínosa)
- METANOL
- CLORUROS
- pH

**BS 5711-3 / USP 32 Glycerin**

**BS 5711-8 / ASTM D 6304**

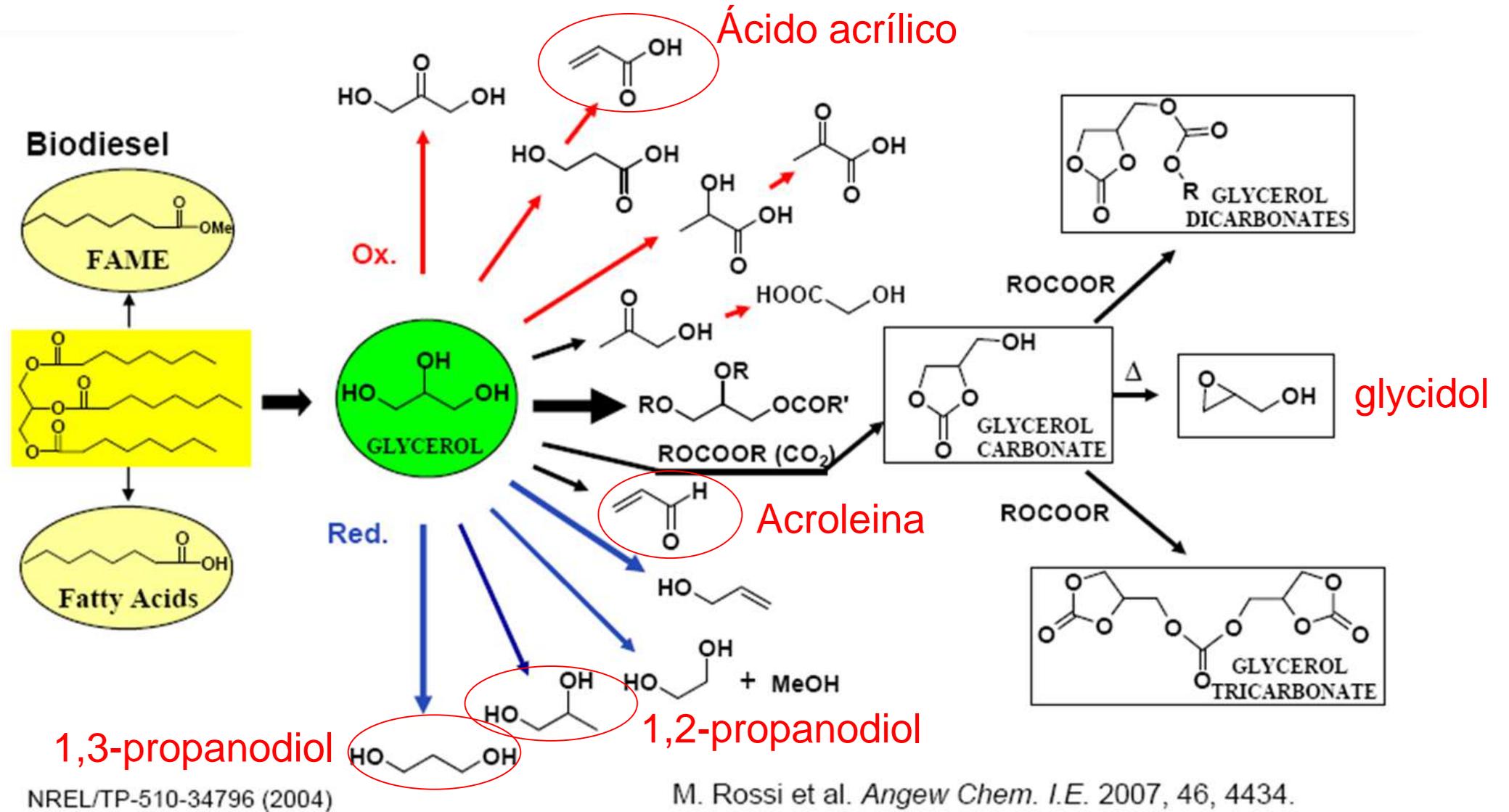
**BS 5711-6 / ISO 2098**

**BS 5711-9 / ISO 2464**

**EN 14110**

**DIN EN ISO 10304-1 / AOAC 968.08**

# USOS DE LA GLICERINA

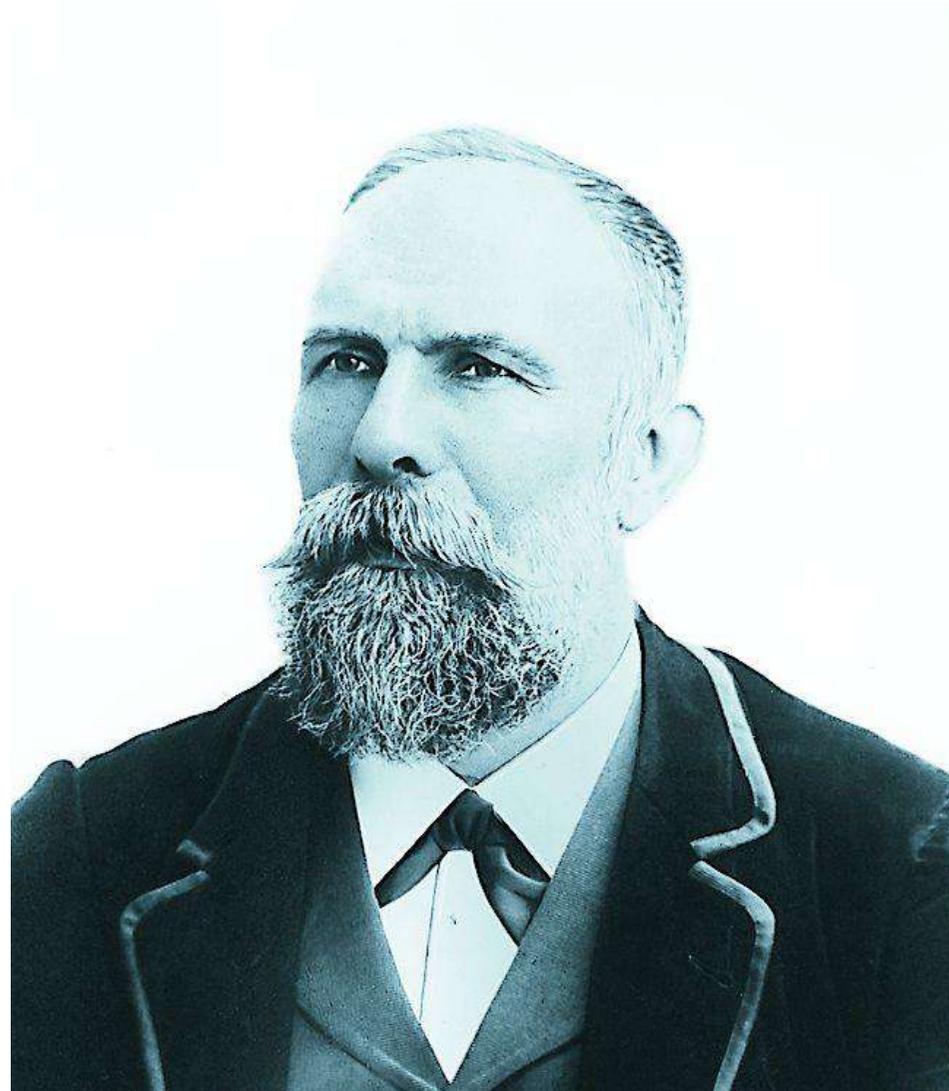


# Equipos para producción de Vacío

## Tecnología de los Eyectores

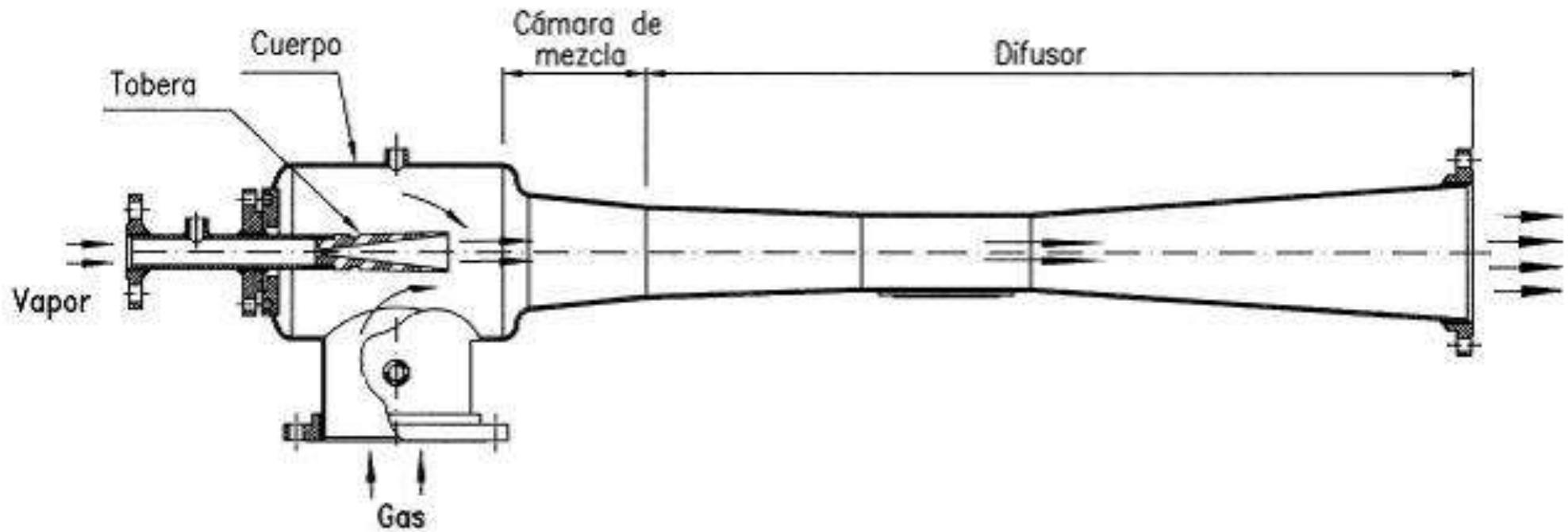
En 1871 desarrolló el inyector para agua de calderas y luego, con el mismo principio, el eyector para vacío de simple y múltiple etapa.

Ernst Körting  
Alemania  
1842-1921



# Equipos para producción de Vacío

## Tecnología de los Eyectores

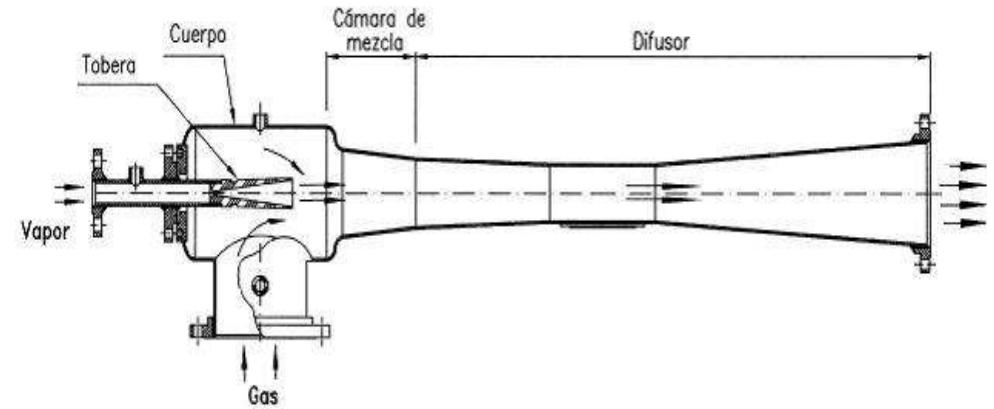


- El eyector es una bomba fluidodinámica que funciona por transferencia de impulso desde el fluido motriz (vapor) al fluido secundario aspirado (gas).
- Debido a que la mayoría de los eyectores operan en régimen supersónico, NO es posible regular el caudal aspirado, estrangulando el vapor motor.

# Equipos para producción de Vacío

## Tecnología de los Eyectores

- El eyector tiene una relación de compresión (presión de descarga/presión de aspiración) máxima que no se puede superar.
- Cuando se sobrepasa esta relación, el sistema se “desengancha” y la presión de aspiración sube bruscamente o se hace inestable.
- Esto suele ocurrir cuando el eyector descarga en un condensador y el caudal de agua de enfriamiento baja, provocando un aumento en la contrapresión por encima de lo admisible.



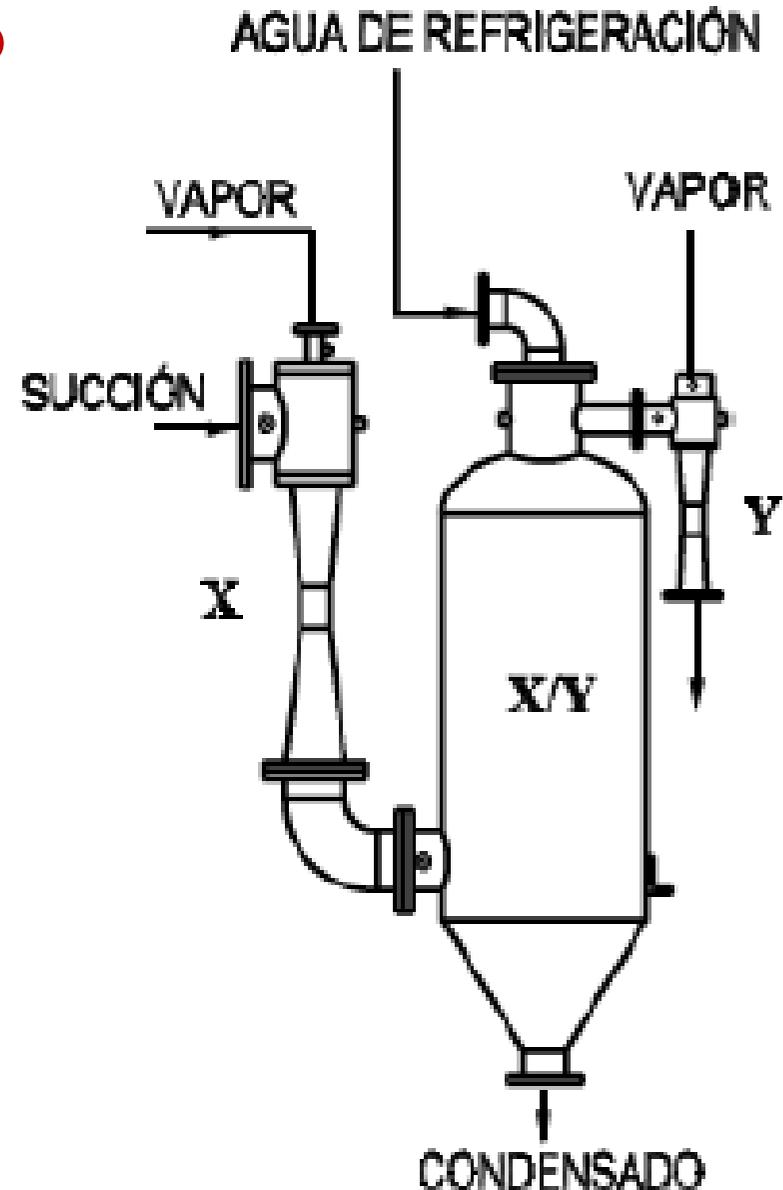
# Equipos para producción de Vacío

## Tecnología de los Eyectores

Sistema de vacío de 2 etapas con intercondensador

Su aplicación se limita a 25/100 Torr.

El condensador intermedio sirve para eliminar la parte condensable aspirada por la etapa X, evitando de este modo recargar la etapa Y con el consiguiente ahorro de vapor.



# Equipos para producción de Vacío

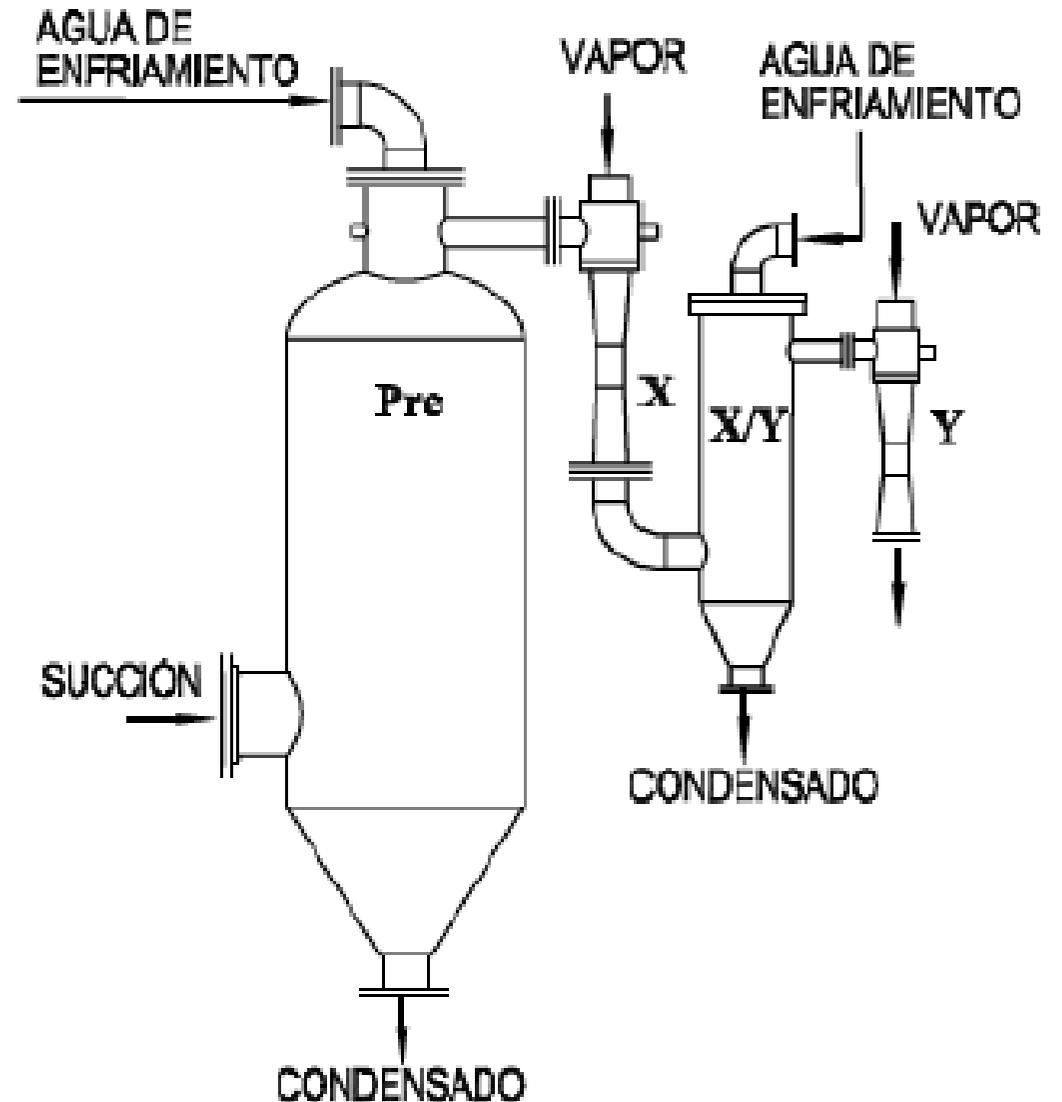
## Tecnología de los Eyectores

Sistema de vacío de 2 etapas con pre condensador

Utilizado en torres de secado de aceite a 50/60 Torr.

En estos casos, como la mayor parte de los vahos son vapores de agua, pueden ser abatidos con agua de enfriamiento a 30/32°C en el pre-condensador.

Solo pasan al eyector Y los gases incondensables y la humedad de equilibrio.



# Equipos para producción de Vacío

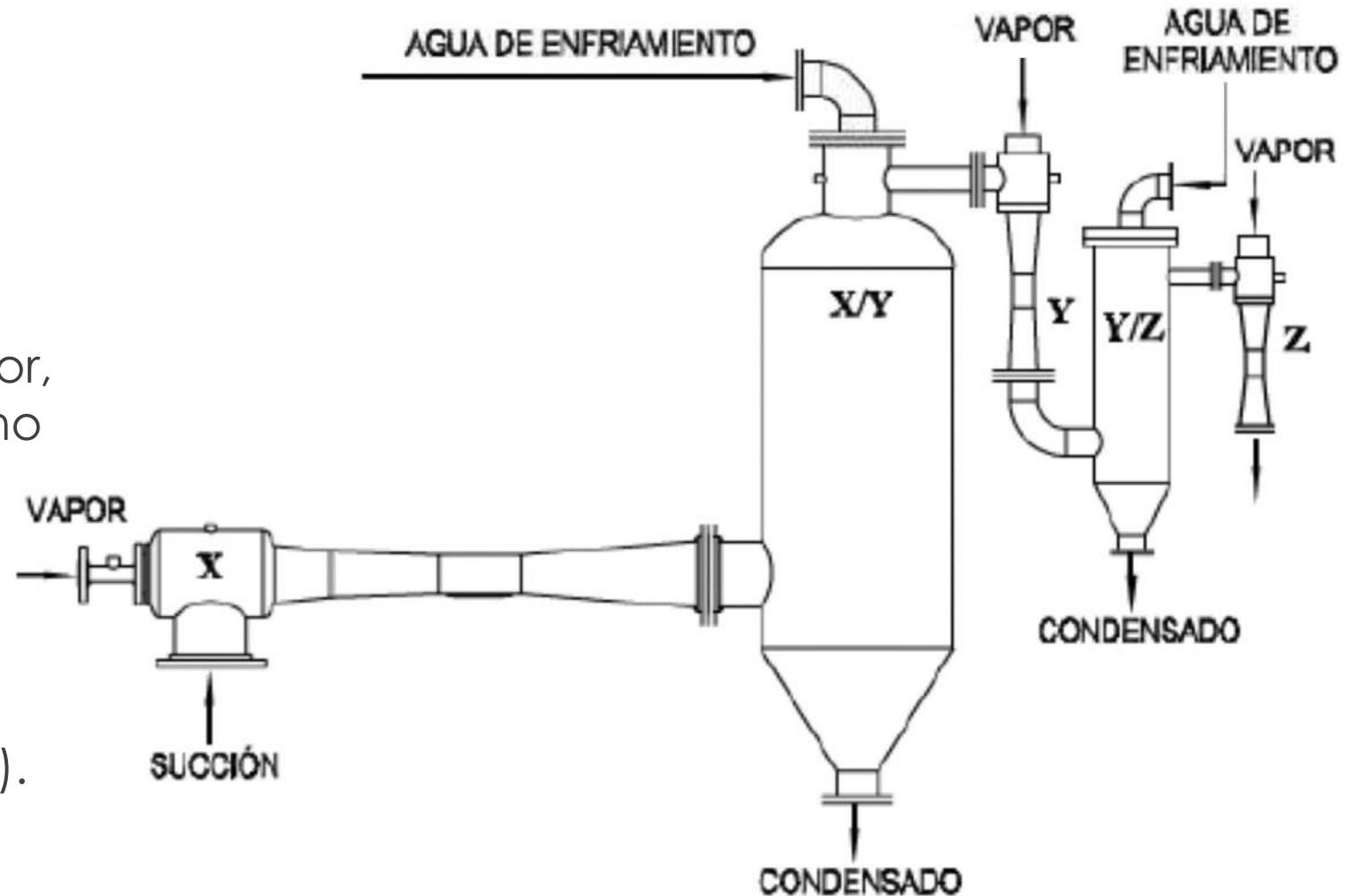
## Tecnología de los Eyectores

Sistema de vacío de 3 etapas

Se utilizan para obtener presiones de 6/20 Torr.

Cuando los equipos aspiran grandes cantidades de vapor, el condensador X/Y es mucho más grande y se lo llama condensador principal.

Los eyectores que aspiran vapor se denominan termocompresores (Boosters).

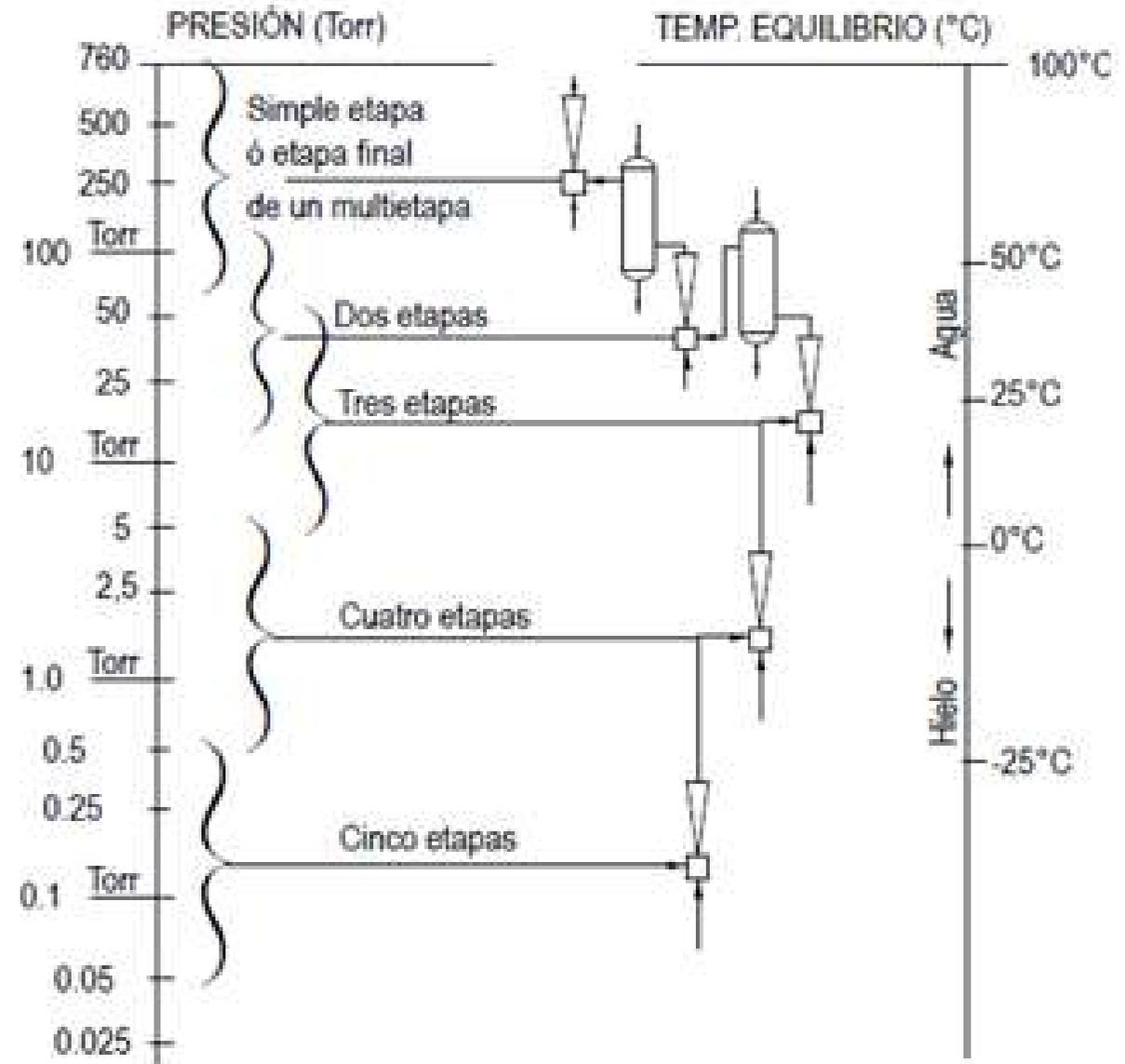


# Equipos para producción de Vacío

## Tecnología de los Eyectores

Escalas de Presiones para sistemas de simple y múltiples etapas

La tabla muestra las presiones absolutas máximas ( en Torr), que pueden lograrse con las diferentes combinaciones de eyectores y condensadores.



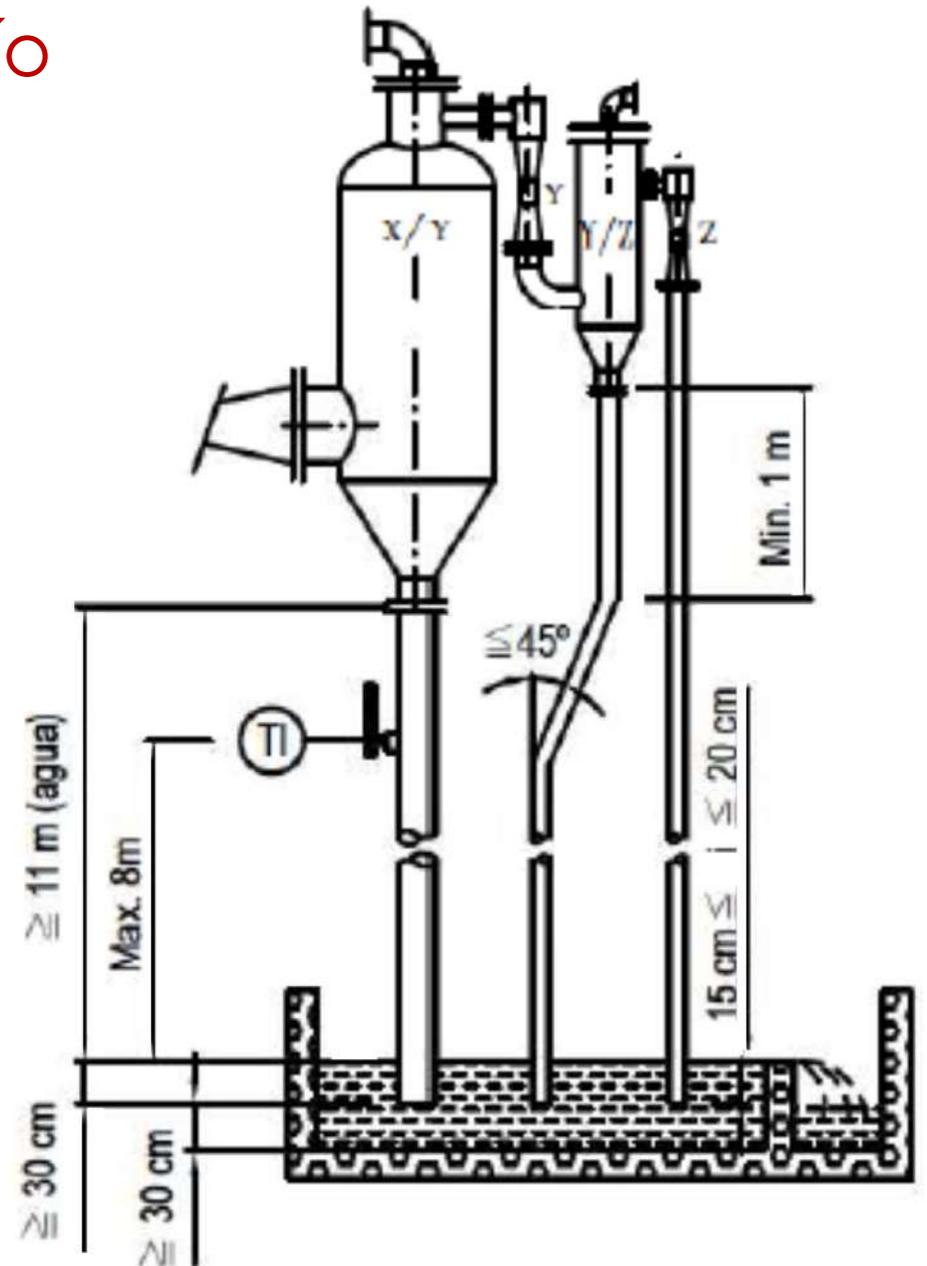
# Equipos para producción de Vacío

## Pozo Barométrico para descarga de condensadores de mezcla

El volumen de líquido por encima de la descarga debe ser mayor a 1,5 veces el volumen de la pierna para garantizar el sello.

En condiciones normales (presión atm 760 Torr) la pierna tiene 11 metros desde el pelo de agua del vertedero hasta la brida de salida del condensador.

Se calcula para que la presión hidráulica sea un 10% mayor que la diferencia entre la presión interna y externa.



# Equipos para producción de Vacío

## Tecnología de los Eyectores

Condensador de superficie del sistema de vacío en la etapa de secado de biodiesel.



# Seguridad en Plantas de Producción de Biodiesel.

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

Sistema de identificación rápida de la peligrosidad de los materiales Rombo NFPA 704

NFPA: National Fire Protection Association



# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

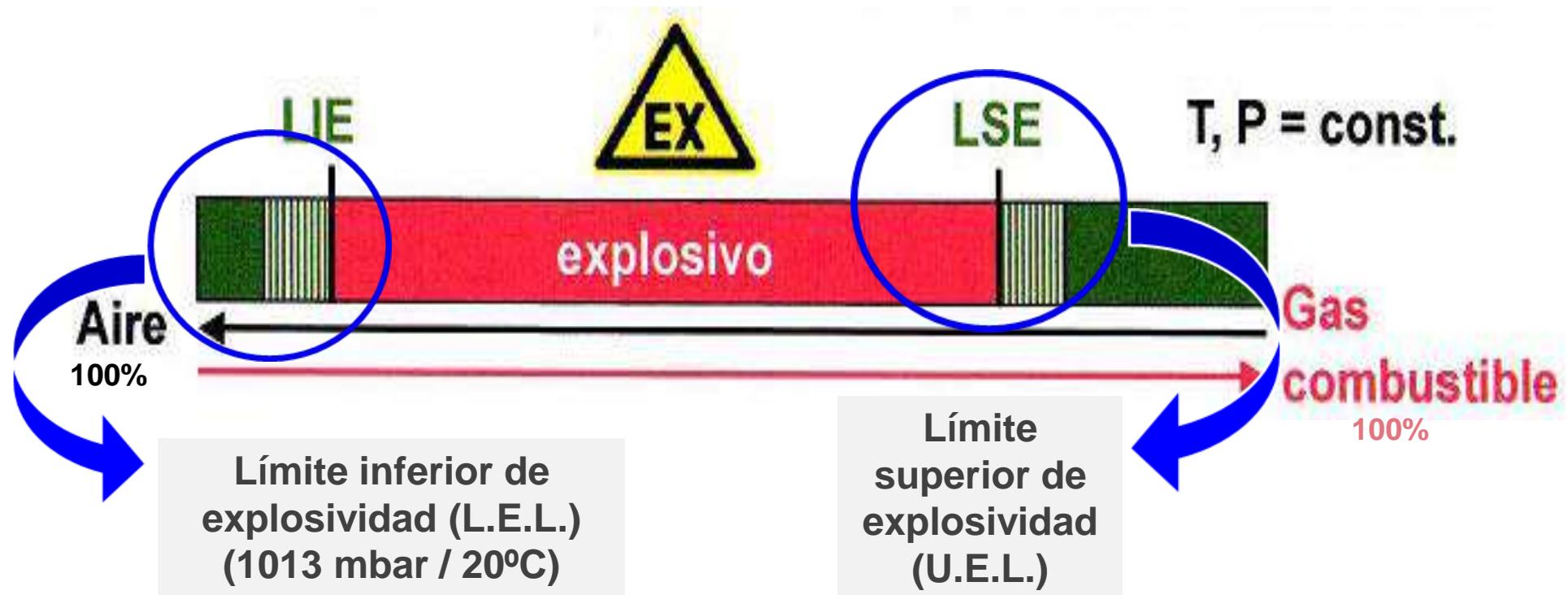
### Explosividad de Gases Inflamables (Definición)

Es la concentración mínima de vapor o gas en una mezcla con el aire en la cual, al ponerse en presencia de una fuente de ignición puede producirse una explosión con propagación de llama.

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### Explosividad de Gases Inflamables (Definición)



# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### Explosividad de Gases Inflamables (METANOL)

#### Propiedades físicas

• Densidad	792 kg/m <sup>3</sup>	20°C
• Presión de vapor	128 mbara	20°C
• Temperatura de ebullición	64,7°C	1 bar

#### Datos de seguridad\*)

• Punto de ignición	9 °C
• Limite inferior de explosividad	6 Vol.-%
• Limite superior de explosividad	50 Vol.-%

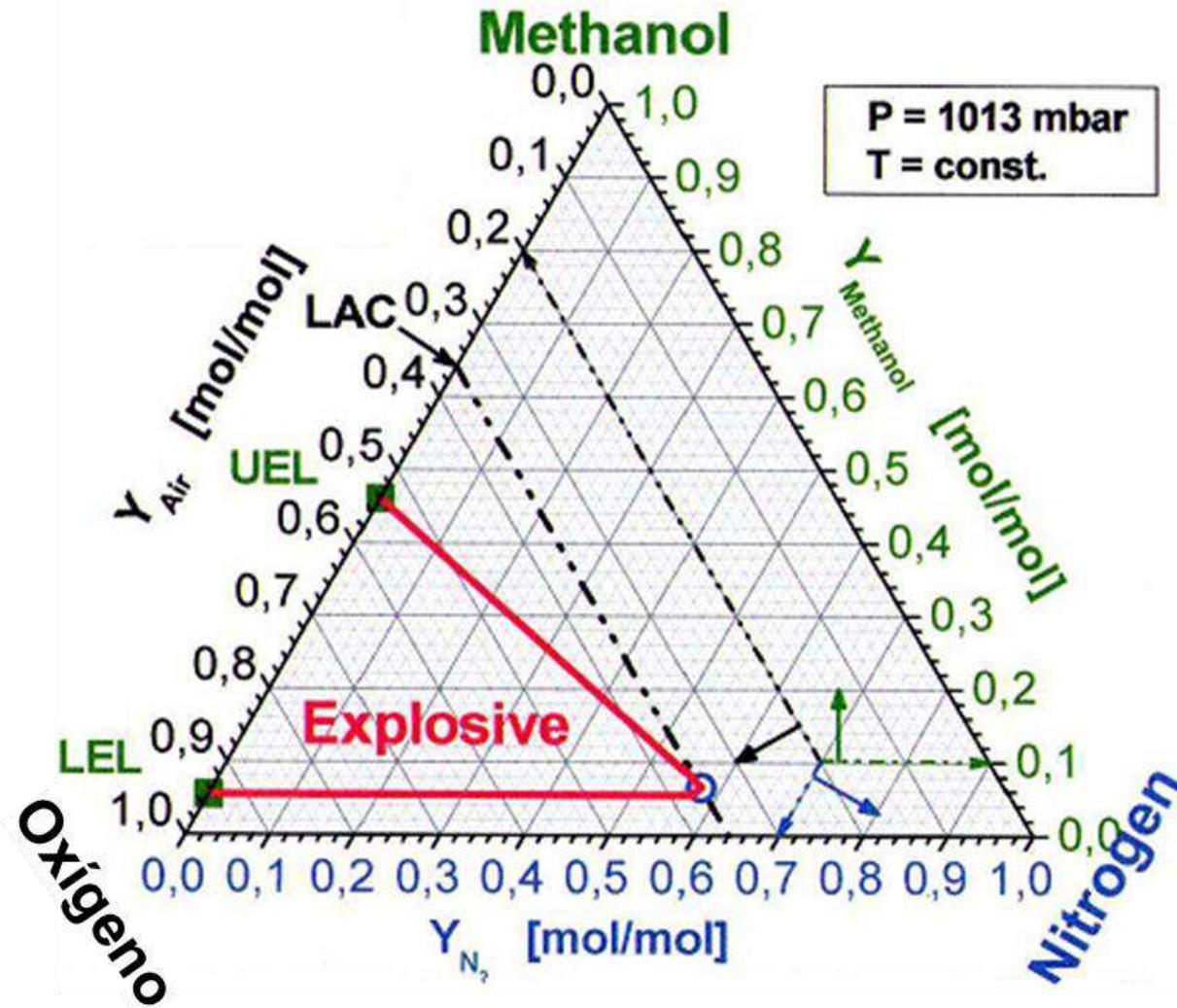
• Punto de ignición	440 °C
---------------------	--------

\*) E. Brandes, W. Möller „Sicherheitstechnische Kenngrößen“  
Band 1: Brennbare Flüssigkeiten und Gase; Wirtschaftsverlag 2003

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

Explosividad de Gases  
Inflamables (METANOL)

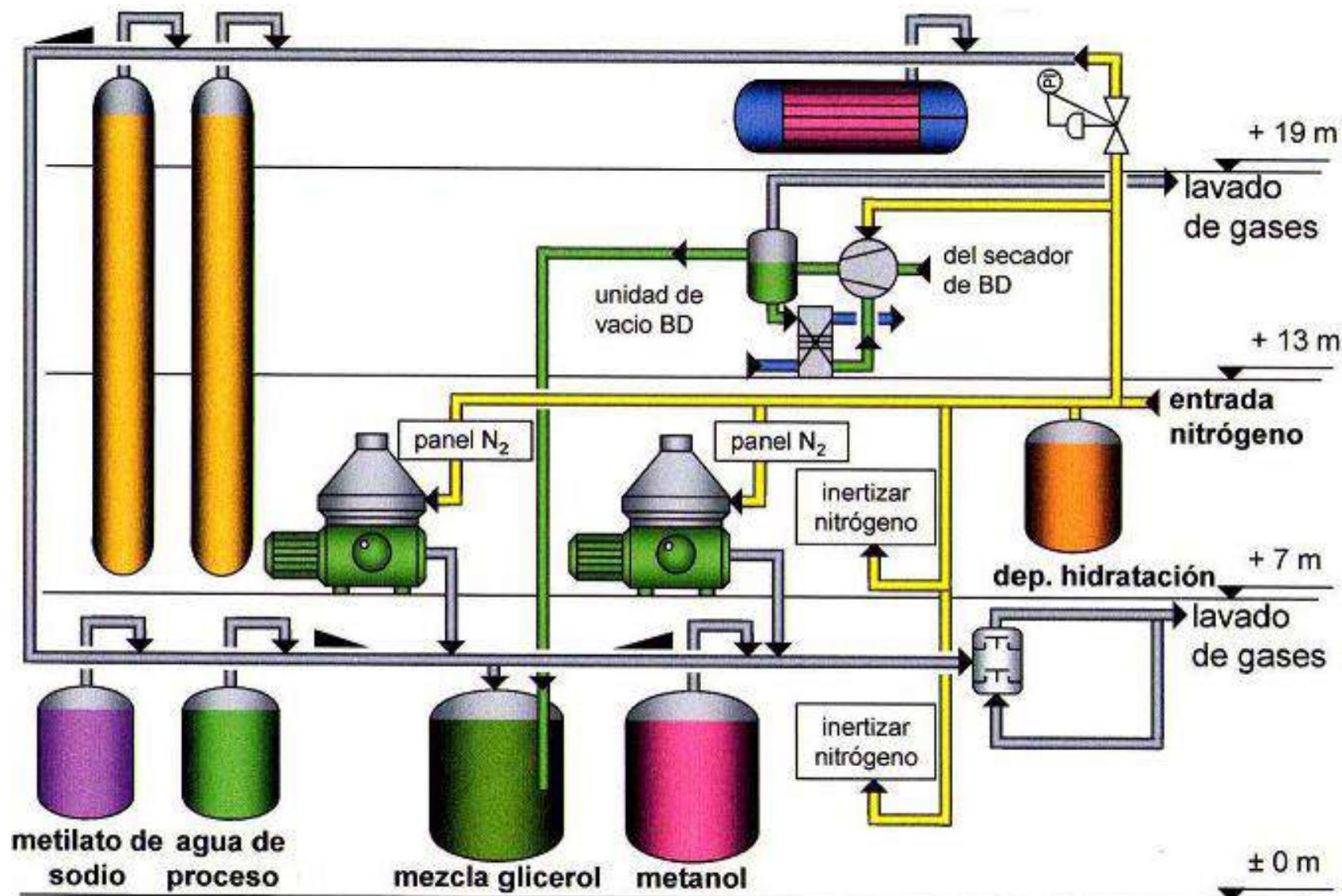


# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

Esquema del sistema de inertización por nitrógeno y vinculación con el sistema de lavado de gases a la atmósfera.

**GEA WESTFALIA**

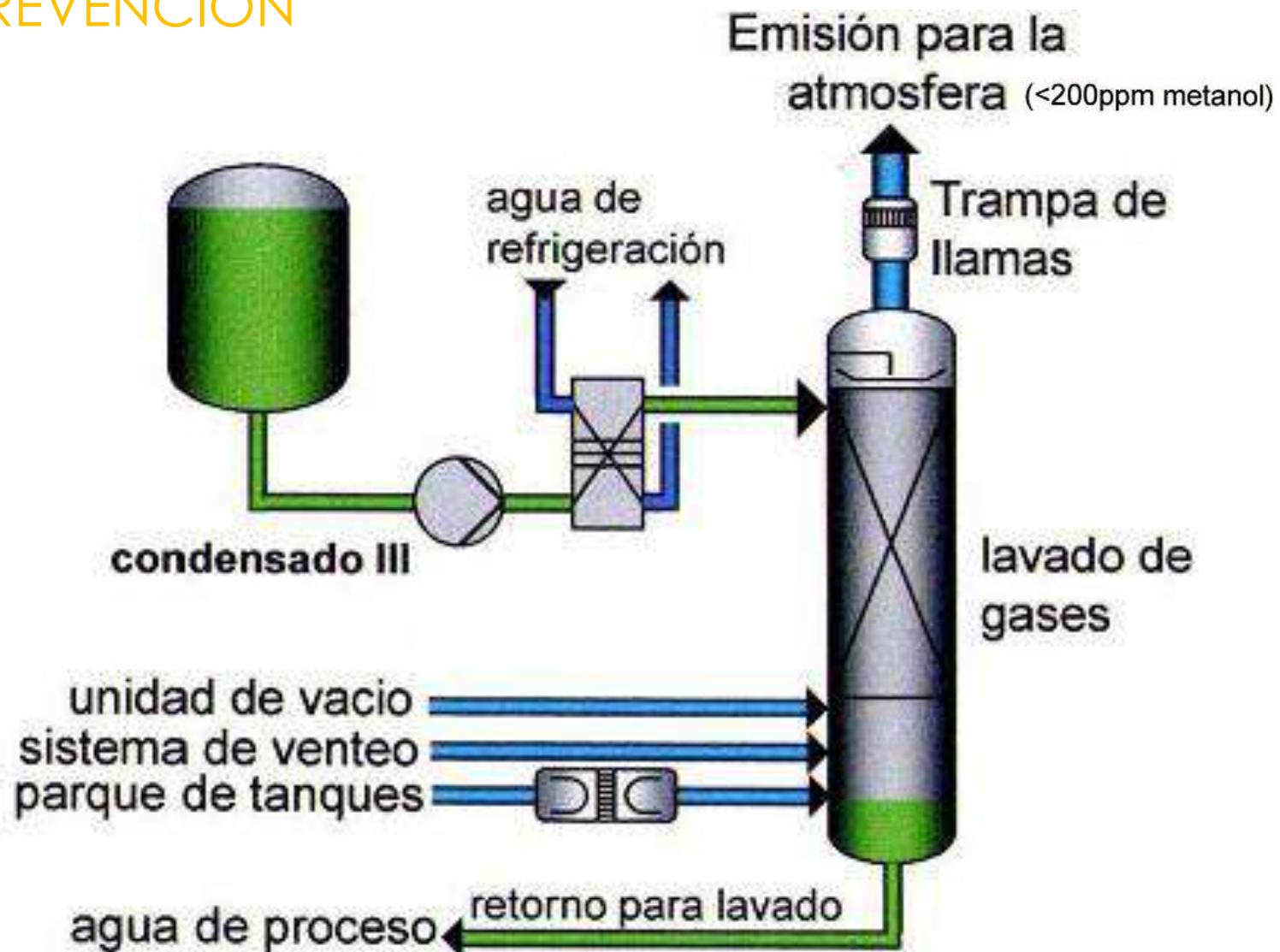


# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

Sistema de lavado  
de gases a la  
atmósfera.

**GEA WESTFALIA**



# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### Prevención contra ignición por electricidad estática

Un criterio generalizado es que una velocidad de 4 a 7 m/s era la adecuada para impedir la acumulación de cargas dentro de unos límites aceptables.

Sin embargo, el empleo de diámetros mayores de tubería, tendente a reducir tiempos de carga o descarga del producto, ha permitido limitar la generación de cargas, siempre que se cumpla la condición:

$$v \cdot d < 0.5$$

siendo "v" la velocidad lineal de flujo en m/s y "d" el diámetro de la tubería en metros.

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

Prevención contra ignición por electricidad estática

El límite de 0.5 no garantiza que no pueda desarrollarse una ignición estática, si bien reduce su probabilidad.

DIÁMETRO NOMINAL (pulgadas)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	VELOCIDAD (m/s)	v.d (m <sup>2</sup> /s)
1 1/2	40.9	1.00	0.041
		7.00	0.286
2	52.5	1.00	0.053
		7.00	0.368
3	77.9	1.00	0.078
		6.41	0.500
4	102.3	1.00	0.102
		4.89	0.500
5	128.2	1.00	0.128
		3.90	0.500
6	154.1	1.00	0.154
		3.24	0.500
8	202.7	1.00	0.203
		2.47	0.500
10	254.5	1.00	0.255
		1.96	0.500
12	303.2	1.00	0.303
		1.65	0.500

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### Prevención contra ignición por electricidad estática

#### Conexiones equipotenciales y puestas a tierra

- ✓ Una vez conseguido el control apropiado sobre la generación y acumulación de cargas electrostáticas, se hace necesario crear las condiciones precisas para que las cargas que se puedan formar sean fácilmente eliminadas.
- ✓ Ello se consigue mediante la interconexión de todas las superficies conductoras sobre las que se puede formar cargas electrostáticas, estando a su vez el conjunto conectado a tierra.
- ✓ La conexión englobaría a los compartimentos objeto de trasvase y al equipo de bombeo y sus conducciones.

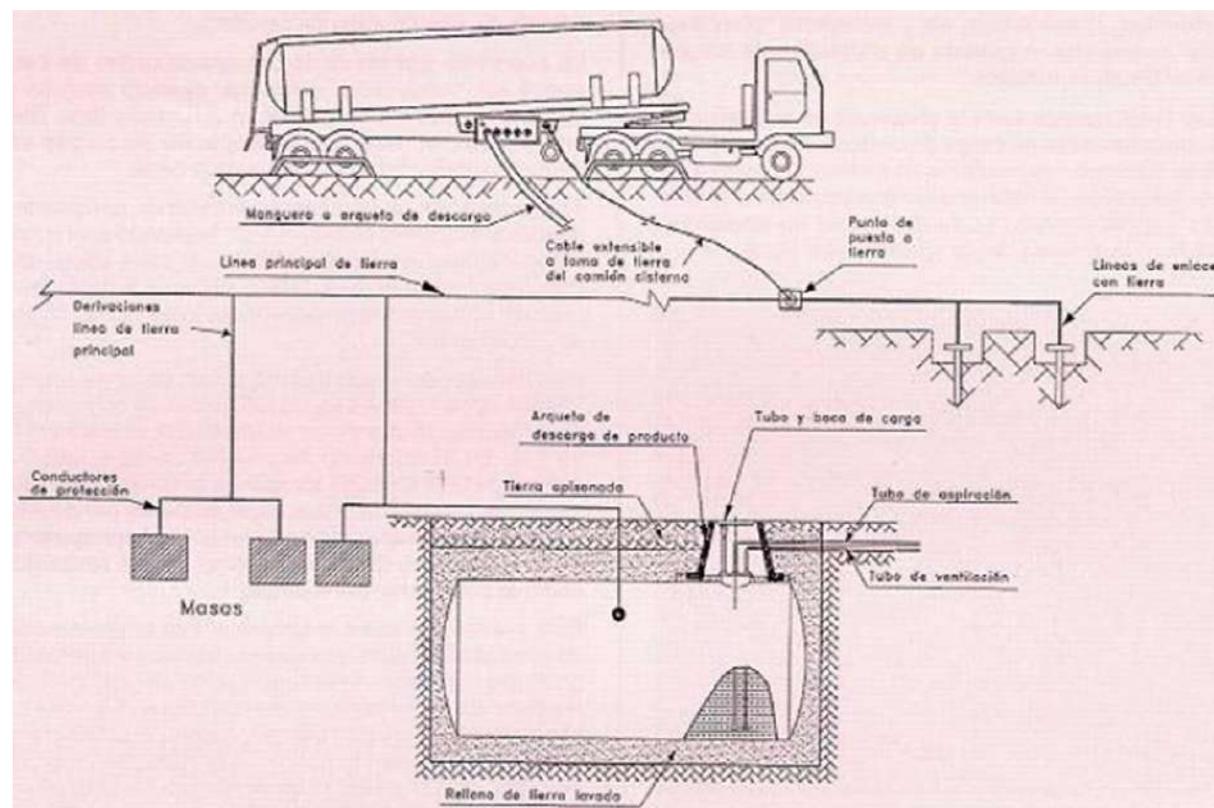
# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### Prevención contra ignición por electricidad estática Conexiones equipotenciales y puestas a tierra

Desde una perspectiva operativa, en la modalidad de descarga de cisternas, donde normalmente los vapores inflamables están presentes al abrir las bocas de carga, debe conseguirse que los compartimentos estén eléctricamente conexiónados a las tuberías de descarga, o a la estructura del cargadero.

Si la unión se hace a esta última, es preciso que la tubería y la estructura estén inter conectadas.



# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

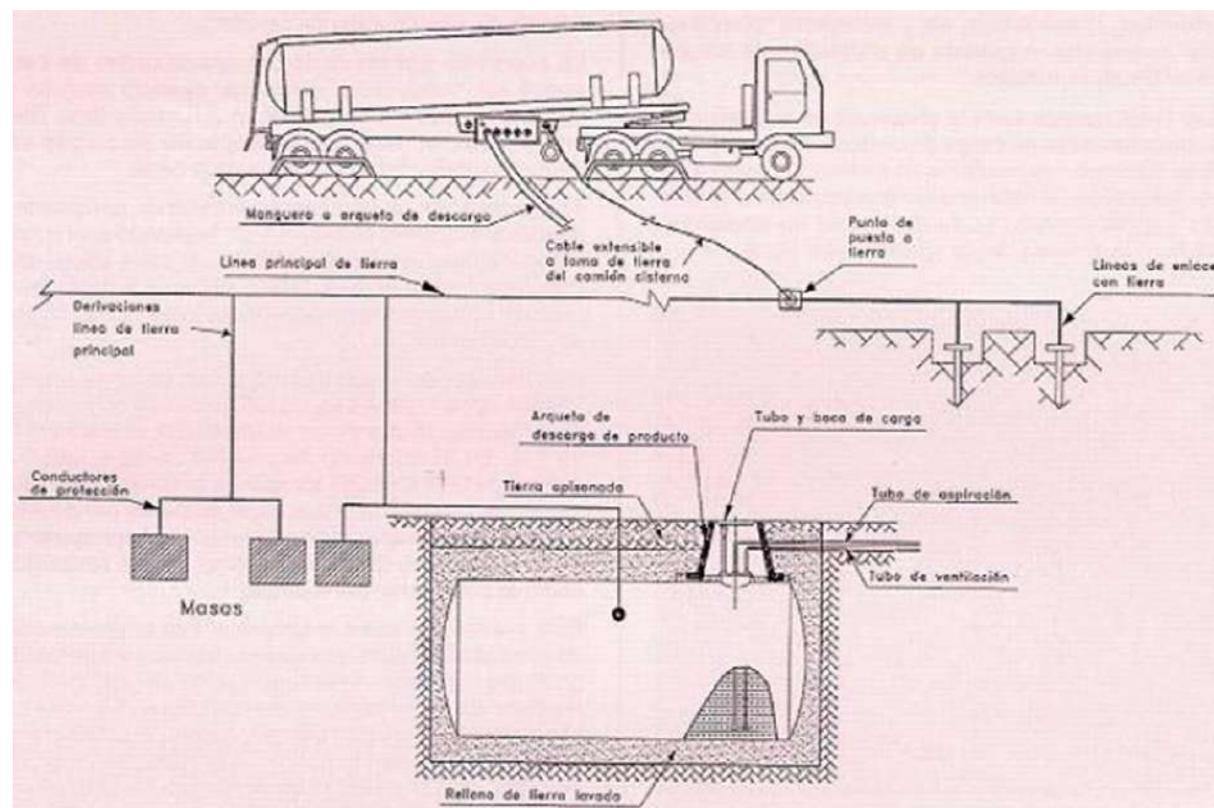
## Fundamentos de la PREVENCIÓN

Prevención contra ignición por electricidad estática

Conexiones equipotenciales y puestas a tierra

La conexión debe hacerse antes de proceder a la apertura de la boca de carga, debiendo mantenerse hasta tanto no se haya cerrado aquélla, una vez completada la descarga.

Las mangueras dispondrán de alma metálica continua, debiendo evitarse situaciones tales como la intercalación de una manguera no conductora equipada con acoplamientos metálicos.



# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### RIESGO PERSONAL

#### Necesidad de uso de EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Cuando el peligro no se haya eliminado totalmente o el riesgo sea inadmisibles, necesitamos del Equipo de Protección Personal (EPP) para evitar que el incidente provoque una pérdida de mayor gravedad.

- El **EPP es la última barrera** de tres, pensadas para evitar una potencial pérdida accidental.
  1. Solución de Ingeniería que elimine o reduzca el contacto.
  2. Solución Administrativa mediante Reglas y Permisos.
  3. **Equipo de Protección Personal pensado para aislar a la personal del Potencial contacto.**

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

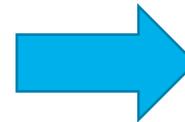
Necesidad de uso de EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

### Controles de Ingeniería

- Protecciones de equipos
- Ayudas para levantar objetos
- Diseño Ergonómico
- Contención Secundaria, etc.
- Controles de contaminación de aire y agua

### Controles Administrativos

- Procedimientos documentados
- Señalización
- Auditoría/Inspecciones periódicas
- Licencias/ Certificados
- Permisos de trabajo, etc.



### USO de Elementos de Protección Personal (EPP)

Anteojos  
Casco  
Guantes  
Zapatos  
Máscara  
Protectores auditivos

# SEGURIDAD en PLANTAS DE BIODIESEL

## Fundamentos de la PREVENCIÓN

### RIESGO PERSONAL

Necesidad de uso de EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

---

*“Los Equipos de Protección Personal...,*

- *No evitan los Incidentes ni Accidentes.*
- *Ni forman parte de las Causas del Mismo.*



---

**“Realizar los procedimientos con seguridad no es solamente la manera correcta de trabajar, es la única manera de hacerlo”.**



Contacto: [eduardo.g.trombini@gmail.com](mailto:eduardo.g.trombini@gmail.com)