

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO,**  
**GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**EL HIDROGENO A PARTIR DEL GAS NATURAL**  
**USO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

**TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS**  
**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO PETROQUIMICO**

**ELABORADO POR:**

**PEDRO IPARRAGUIRRE QUISPE**

**PROMOCION 1973-1**

**LIMA – PERU**  
**2007**

# **EL HIDRÓGENO A PARTIR DEL GAS NATURAL USO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

<b>I.</b>	<b>SUMARIO</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.	GENERALIDADES	2
2.	OBJETIVO	3
3.	EL HIDROGENO	4
3.1.	Historia	4
3.2.	Características físicas y químicas:	4
3.3.	Procesos de obtención	8
3.4.	Aplicaciones industriales	16
4.	CARACTERÍSTICAS LOS ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES	21
4.1.	Estructura de las grasas	21
4.2.	Clasificación de las grasas	22
4.3.	Características físicas de los aceites y grasas	23
<b>III.</b>	<b>EL HIDRÓGENO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA</b>	<b>26</b>
1.	EL PROCESO DE HIDROGENACIÓN	26
1.1.	Características de la reacción	26
1.2.	Variables de proceso.	27
1.3.	Evolución de los componentes durante la hidrogenación	29
1.4.	La hidrogenación de aceites comestibles en el Perú.	39
2.	EQUIPO DE HIDROGENACIÓN POR LOTES	45
2.1.	Esquema de planta	45
2.2.	Equipos principales	46
2.3.	Costos de Producción en la Hidrogenación	47
3.	INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE PROCESO	48
3.1.	Definición de objetivos	48
3.2.	Identificación de variables	48
3.3.	Selección del sistema de control	48
4.	SEGURIDAD DE UNA PLANTA DE HIDROGENACIÓN	50
4.1.	Análisis de Riesgo	50
4.2.	Metodología	50
4.3.	Identificación de los peligros	53
4.4.	Estimación de los riesgos	55
4.5.	Valoración de los riesgos	56
5.	SEGURIDAD GLOBAL CON GASES COMBUSTIBLES	57
5.1.	Factores de Seguridad y Protección en la industria	57
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>61</b>
1.	CONCLUSIONES	61
2.	RECOMENDACIONES	61
<b>V.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>62</b>
<b>VI.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>
	Distancia de Seguridad (IRI)	64
	Cartilla de seguridad del hidrógeno (MSDS)	65
	Propiedades del Hidrógeno	66
	Software de demostración Breeze Haz	67

# **EL HIDRÓGENO A PARTIR DEL GAS NATURAL USO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

## **I. SUMARIO**

El hidrógeno está siendo llamado el combustible del futuro, por su disponibilidad y sus características de contaminación cero, haciéndolo un portador eficiente de energía. Esto está unido a que el gas natural, al igual que el petróleo y el carbón, son fuentes de energía no renovables, por lo que el futuro está en la utilización de fuentes de energía renovables unido a combustibles no contaminantes, para que el avance de la civilización sea sostenible

El hidrógeno, que actualmente se obtiene mayormente de la reacción química de los hidrocarburos, se integra a la cadena alimenticia humana a través de la hidrogenación de los aceites vegetales y animales.

Las características de la utilización del hidrogeno en el proceso de hidrogenación, y sus propiedades inflamables y explosivas, hacen que el estudio enfocado al control de proceso así como la identificación y control de riesgos, sea aplicable a otros procesos o sistemas.

El presente trabajo revisa la generación de hidrógeno y la utilización de este hidrógeno en la industria de aceites y grasas comestibles, incidiendo en los aspectos de las características del proceso de hidrogenación de aceites y grasas comestibles y su control, así como también en el aspecto de seguridad por la característica combustible del hidrógeno.

En el capítulo II se desarrolla las características fisicoquímicas principales del hidrógeno, los procesos petroquímicos empleados para su producción, asimismo los procesos basados en el carbón y de fuentes renovables (el también llamado bio-hidrógeno). Se presenta igualmente las características principales de los aceites y grasas comestibles sobre los que reacciona el hidrógeno, y las aplicaciones en la industria siderúrgica, refinación de petróleo, petroquímica y alimenticia.

En el capítulo III se describe el proceso de hidrogenación de aceites comestibles (soya, algodón, pescado), considerando las diversas variables que inciden en las características finales del producto a obtener. Se enfoca también los principales equipos de una planta de hidrogenación por lotes, presentándose lazos de control para la automatización del proceso.

Siendo de primordial importancia la protección del ser humano y del medio ambiente, se presenta el análisis de riesgo y su control para este tipo de proceso, el cual se puede aplicar a todo tipo de proceso.

## II. INTRODUCCIÓN

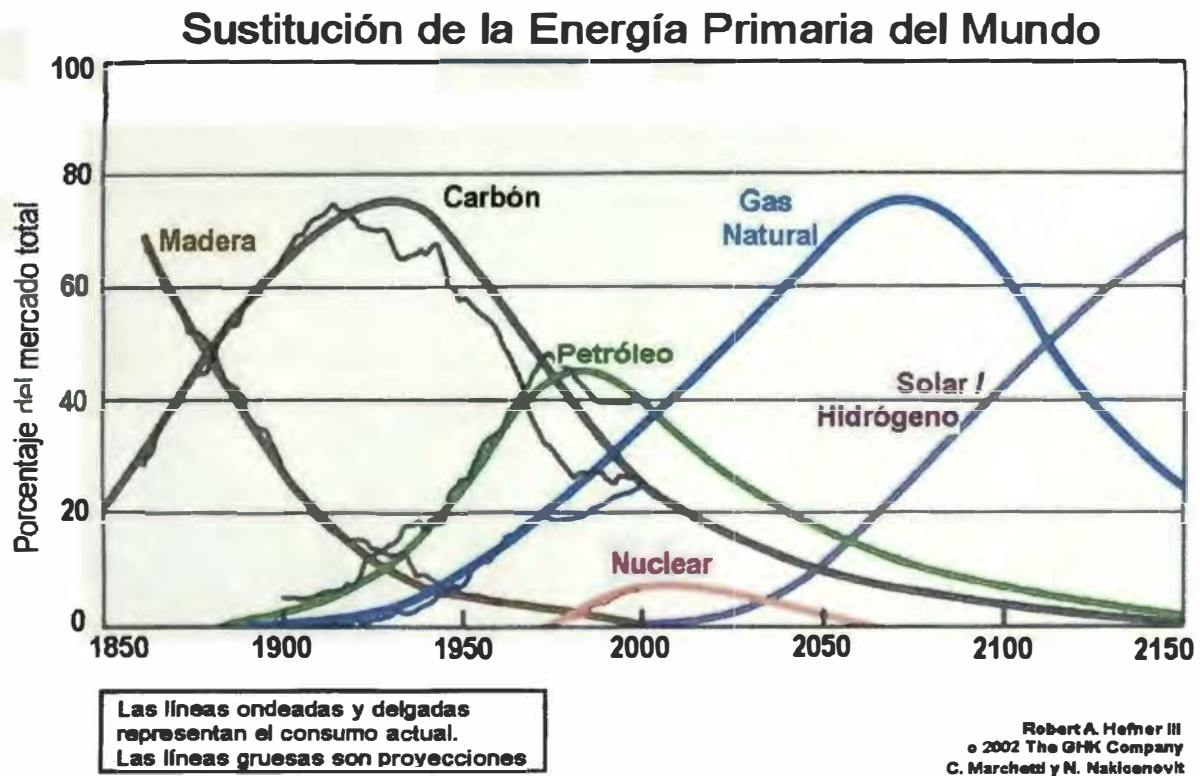
### 1. GENERALIDADES

El hidrógeno ha cobrado enorme importancia en la actualidad y está siendo llamado el combustible del futuro, por su disponibilidad y sus características de contaminación cero (no produce emisiones nocivas de CO<sub>2</sub> al quemarse y sus únicos subproductos son el calor y el agua pura). Bajo este punto de vista, tanto en Estados Unidos como en Europa se están realizando investigaciones para lograr formas eficientes del uso del hidrógeno (celdas de hidrógeno para automóviles eléctricos u otros equipos).

Viendo la historia de la energía, se observa los ciclos de fuente de energía primaria, la que ha pasado de la madera al carbón, luego a los hidrocarburos líquidos, estando en este siglo entrando a la era de la energía a base de gas natural, previéndose la era de energía renovables y del hidrógeno, en donde el hidrógeno llegará a ser una forma de almacenar fuentes renovables de energía para garantizar un abastecimiento permanente y continuo de energía para la sociedad.

Esta secuencia de cambios de fuente de energía, de los sólidos a los líquidos y de los líquidos a los gases, ha sido resaltada por Roberto Hefner de GHK Company<sup>1</sup>, quien además lo ilustra con el siguiente gráfico:

Gráfico N° 1 – Sustitución de la Energía Primaria del Mundo



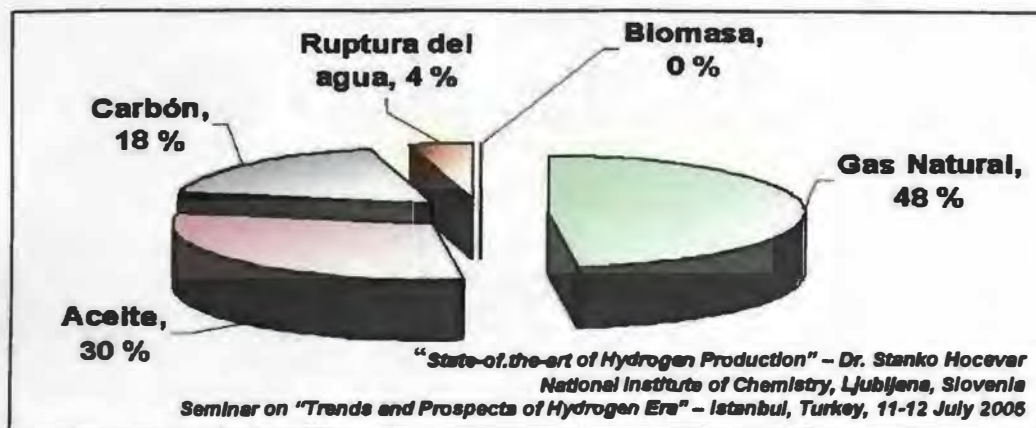
Este gráfico hace evidente la transición eventual del gas natural hacia el hidrógeno.

<sup>1</sup> The Age of Energy Gases In the New Millennium – Robert A. Hefner III – The GHK Company, 2002.



En la actualidad, casi la mitad del hidrógeno que se produce en el mundo se obtiene del gas natural a través del proceso de Reformación con vapor, seguido por la reformación de hidrocarburos líquidos, gasificación del carbón y por electrólisis. Esto se visualiza en el siguiente gráfico:

Grafico N° 2: Fuentes de producción de Hidrógeno



El hidrógeno es usado mayormente como reactante para en la industria petroquímica, química, metalúrgica, alimenticia, del aseo.

En la industria alimenticia, hidrógeno se aplica a los aceites y grasas comestibles, para modificar algunas propiedades físico – químicas tales como punto de fusión (necesario para la producción de margarinas y mantecas), estabilidad química y disminución del color y olor, confiriendo una mayor estabilidad a la oxidación, mejoras en el sabor y aroma y aumento de la vida útil del producto.

Los aceites comestibles comúnmente hidrogenados son los de soya, de palma, de algodón y de pescado, obteniéndose aceites para ensalada, aceites para fritura, margarinas y mantecas.

Estos productos, además de ser una fuente de combustible energético para nuestro organismo (9 calorías por gramo), desempeñan otras funciones importantes: constituye una reserva muy importante de energía (tejido adiposo o grasa), colabora en la regulación de la temperatura corporal (grasa subcutánea que funciona como aislante térmico), envuelve y protege órganos como corazón y riñones, es vehículo de transporte de vitaminas liposolubles (A, D, E, K) y facilita su absorción. Asimismo, impide que las proteínas sean empleadas como fuente de energía y cumple una función estructural, ya que forman parte de las membranas celulares.

## 2. OBJETIVO

El presente trabajo se dirige hacia la aplicación industrial del hidrógeno para la modificación de aceites comestibles, resaltando los aspectos relativos a las variables que controlan el proceso, así como los aspectos de seguridad por tratarse de un elemento inflamable que puede dar origen a incendios y a mezclas explosivas.

Las medidas de control consideradas en el manejo del hidrógeno son comunes a las medidas a considerar con los demás combustibles, por lo que su consideración es imprescindible en todo proyecto que utilice combustibles.

### 3. EL HIDROGENO

#### 3.1. Historia

1766: Fue identificado como elemento distinto por el científico británico Henry Cavendish al producir hidrógeno reaccionando el cinc con ácido clorhídrico. Luego, en una demostración a la sociedad real de Londres, Cavendish aplicó una chispa al gas de hidrógeno produciendo el agua. Este lo condujo a descubrir que el agua estaba hecha de hidrógeno y oxígeno.

1788: El químico francés Antoine Lavoisier le dio nombre, que fue derivado de las palabras griegas "hydro" y "genes," significado "agua" y "nacido de."

1800: Los científicos ingleses Guillermo Nicholson y sir Anthony Carlisle descubrieron que si se aplicaba corriente eléctrica al agua se producía los gases hidrógeno y oxígeno.

1838: El químico suizo Christian Friedrich Schoenbein descubrió el efecto de la celda de combustible, combinando el hidrógeno y los gases del oxígeno para producir el agua y una corriente eléctrica.

1845: El científico y juez Sir William Grove demostró el descubrimiento de Schoenbein a escala práctica, creando la "batería a gas". Por este logro ganó el título de "Padre de la Celda de Combustible".

1874: El escritor inglés Julio Verne, examinó profético el uso potencial del hidrógeno como combustible en su obra popular de la ficción "La isla misteriosa" ("Creo que el agua un día será empleada como combustible, ese hidrógeno y el oxígeno que lo constituyen, usado solo o junto, equipará una fuente inagotable del calor y de la luz, de una intensidad de la cual carbón no es capaz").

2002: El economista norteamericano Jeremy Rifkin en su obra "La Economía del Hidrógeno" enfoca la llegada de la era del uso del hidrógeno como fuente energética, creándose una economía menos centralizada, más autosuficiente, que depende del mismo consumidor.

2003: Se establece la Sociedad Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE) como una institución internacional para acelerar la transición hacia una economía de hidrógeno.

Los miembros socios incluyen: Alemania, Australia, Brasil, Canadá, China, Comisión Europea, Estados Unidos Federación, Rusa, Francia, Islandia, India, Italia, Japón, República de Corea, Nueva Zelanda, Noruega, Reino Unido.

#### 3.2. Características físicas y químicas:

##### *Punto de Fusión y de Ebullición*

El punto de fusión y el punto de ebullición del hidrógeno se encuentran a temperaturas muy bajas, denominadas "temperaturas criogénicas" (temperaturas menores de 200°K / -73°C). Así tenemos los siguientes valores a presión atmosférica:

Punto de Fusión	14 °K (-259 °C)
Punto de Ebullic.	20 °K (-253 °C)

De los elementos químicos, solo el Helio tiene valores más bajos (punto de fusión de 0.8°K (-272.2°C) y de punto de ebullición de 4.1°K (-268.9°C).

### *Propiedades organolépticas*

El hidrógeno puro es inodoro, incoloro e insípido. Una corriente del hidrógeno de un escape es casi invisible en luz del día.

El hidrógeno derivado de la Reformación de otros combustibles fósiles está acompañado típicamente por el nitrógeno, el bióxido de carbono, el monóxido de carbono. Todos estos gases son generalmente también inodoros, incoloros e insípidos.

### *Toxicidad y asfixia*

El hidrógeno es no tóxico pero puede actuar como asfixiante simplemente por desplazamiento del oxígeno en el aire.

Los niveles del oxígeno debajo de 19.5% son biológicamente inactivos para los seres humanos. Los efectos de la deficiencia del oxígeno pueden incluir la respiración rápida, la vigilancia mental disminuida, la coordinación muscular deteriorada, falla en el juicio, disminución de todas las sensaciones, la inestabilidad emocional y la fatiga.

Mientras que progresa la asfixia, pueden resultar vértigos, náusea, vómitos, prostración y la pérdida de sentido, conduciendo eventualmente a las convulsiones, al coma y a la muerte. En concentraciones debajo del 12% de oxígeno, la inconsciencia inmediata puede ocurrir sin los anteriores síntomas de alarma.

En ambientes cerrados, pequeños escapes de hidrógeno plantean poco peligro de la asfixia mientras que los escapes grandes pueden ser un problema serio puesto que el hidrógeno difunde rápidamente para llenar el volumen.

El potencial para la asfixia dentro áreas descubiertas es casi insignificante debido a la alta flotabilidad y difusividad del hidrógeno.

### *Densidad*

El hidrógeno tiene el menor peso atómico que cualquier otra sustancia, y por lo tanto la menor densidad como gas y como líquido. Se tiene así:

Cuadro N° 1

Sustancia \ Densidad	Vapor (20°C, 1atm) kg/m <sup>3</sup>	Líquido (20°K , 1atm) kg/m <sup>3</sup>
Hidrógeno	0.08376	70.8
Helio	0.178	120.0
Metano	0.65	422.8
Gasolina	4.4	700.0

### Relación de expansión

El hidrógeno presenta un cociente de la expansión de 1:848, significando que en estado gaseoso en las condiciones atmosféricas ocupa 848 veces más volumen que en su estado líquido.<sup>2</sup>



### Contenido de energía

El poder calorífico superior e inferior del hidrógeno se indican a continuación, conjuntamente con lo de otros combustibles.

Cuadro N°2: Poder calorífico de combustibles

Combustible	Poder calorífico superior (a 25 °C y 1 atm)	Poder calorífico inferior (a 25 °C y 1 atm)
Hidrógeno	61,000 Btu/lb	51,500 Btu/lb
Metano	24,000 Btu/lb	21,500 Btu/lb
Propano	21,650 Btu/lb	19,600 Btu/lb
Gasolina	20,360 Btu/lb	19,000 Btu/lb
Diesel	19,240 Btu/lb	18,250 Btu/lb
Metanol	8,580 Btu/lb	7,760 Btu/lb

La cantidad de energía liberada durante la reacción del hidrógeno, considerando la masa como base, es cerca de 2.5 veces el calor de la combustión de los combustibles de hidrocarburo comunes (gasolina, diesel, metano, propano, etc.) por lo tanto, para un trabajo determinado, la masa del hidrógeno requerida es solamente alrededor de un tercio de la masa del combustible de hidrocarburo considerado.

### Escape de hidrógeno

La molécula del hidrógeno es más pequeña que el resto de los gases, y puede difundirse a través de muchos materiales considerados herméticos o impermeables a otros gases, característica que hace que el hidrógeno sea más difícil de contener que otros gases.

Los escapes del hidrógeno líquido, cuyo punto de ebullición es extremadamente bajo, se evaporan muy rápidamente, creando un riesgo de

<sup>2</sup> Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001

fuego donde se mezclan con aire. Sin embargo, el hidrógeno escapado se eleva y se diluye rápidamente, especialmente al aire libre.

**Punto de Inflamación y Rango de Inflamabilidad**

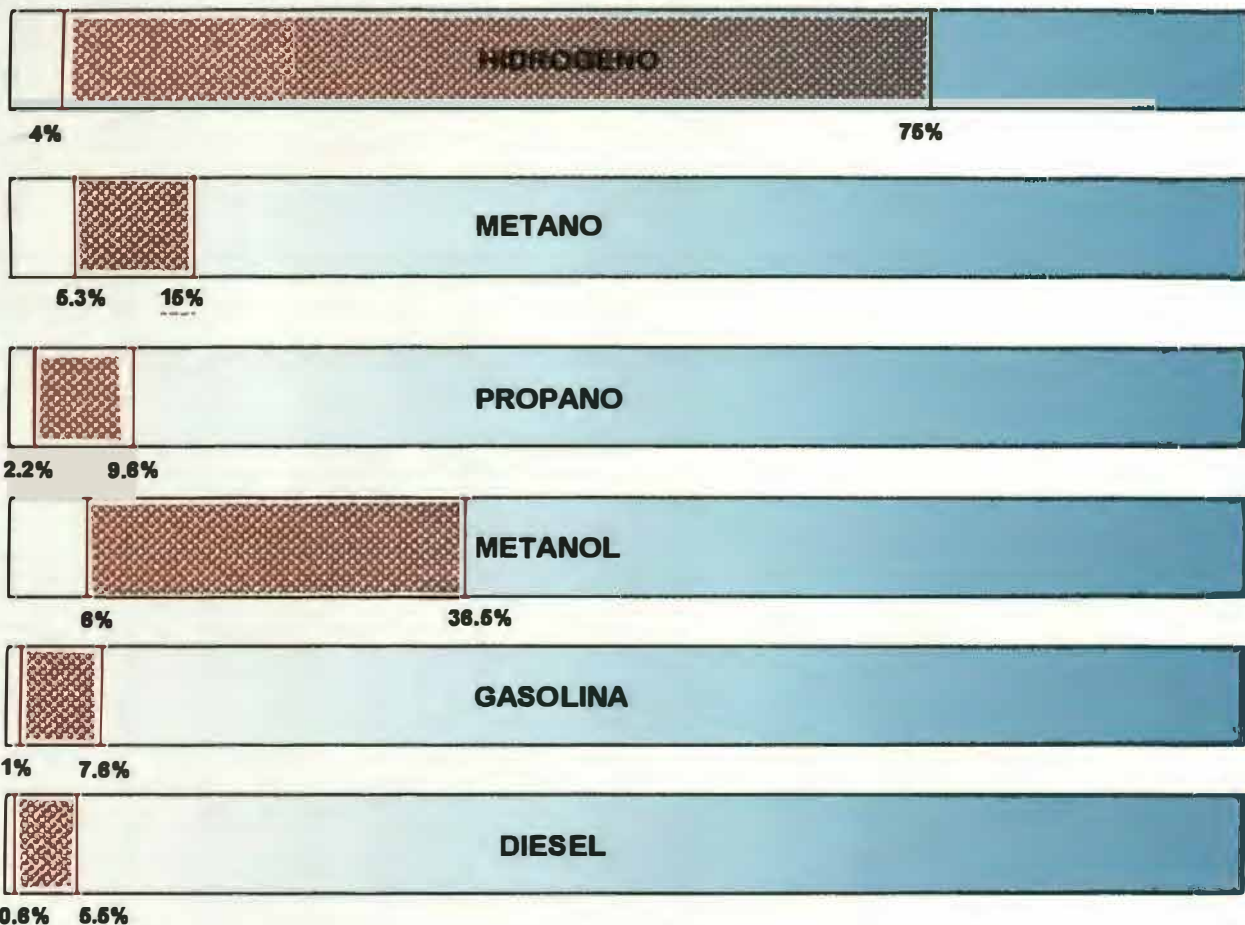
Siendo el punto de inflamación la temperatura en la cual el combustible produce suficientes vapores para formar una mezcla inflamable con aire, el valor está siempre debajo del punto de ebullición. Así tenemos para el hidrógeno y otros combustibles:

**Cuadro N° 3 - Puntos de Inflamación del Hidrógeno y otros combustibles**

Sustancia	Punto de inflamación
Hidrógeno	<-253°C (20 °K)
Metano	-188°C (85°K)
Propano	-104°C (169°K)
Gasolina	-43°C (230 °K)
Metanol	11 °C (284°K)

El Rango de Inflamabilidad del hidrógeno está sobre una gama muy amplia de concentraciones en aire (4% al 75%) y es explosivo sobre una amplia gama de las concentraciones (15% al 59%) a la temperatura atmosférica estándar. La comparación con los límites de la inflamabilidad de otros combustibles comparativos se ilustran en el Gráfico siguiente:

**Gráfico N° 3: Rango de inflamabilidad del Hidrógeno y otros combustibles**





### Temperatura de Autoignición

El hidrógeno arde en llama a la temperatura de 585 °C. Las llamas son de color azul muy claro y casi invisibles en la luz del día debido a la ausencia del hollín. A continuación las temperaturas del autoignición de algunos combustibles:

Cuadro N° 4 - Temperaturas de autoignición del Hidrógeno y otros

Sustancia	Autoignición
Hidrógeno	585°C
Metano	540°C
Propano	490°C
Gasolina	230 °C a 480 °C
Metanol	385 °C

### Resumen de características generales

Cuadro N° 5 – Características Generales

Peso molecular	2,016	Densidad gas (20 °C, 1 atm)	0,0838 g/l
Temperatura ebullición (1,013 bar)	-252,76 °C	Densidad líquido (-252,8 °C)	0,0708 kg/l
Temperatura crítica	-239,86 °C	Peso específico (aire=1)	0,0695
Presión crítica	13,1 bar	Autoignición en aire	571,2 °C
Rango Inflamabilidad en O2	4,0-94,0 %	Solubilidad en agua (1,013 bar, 20°C)	0,00018
Rango Inflamabilidad en aire	4,0-74,5 %	Calor latente de vaporización	216 cal/g

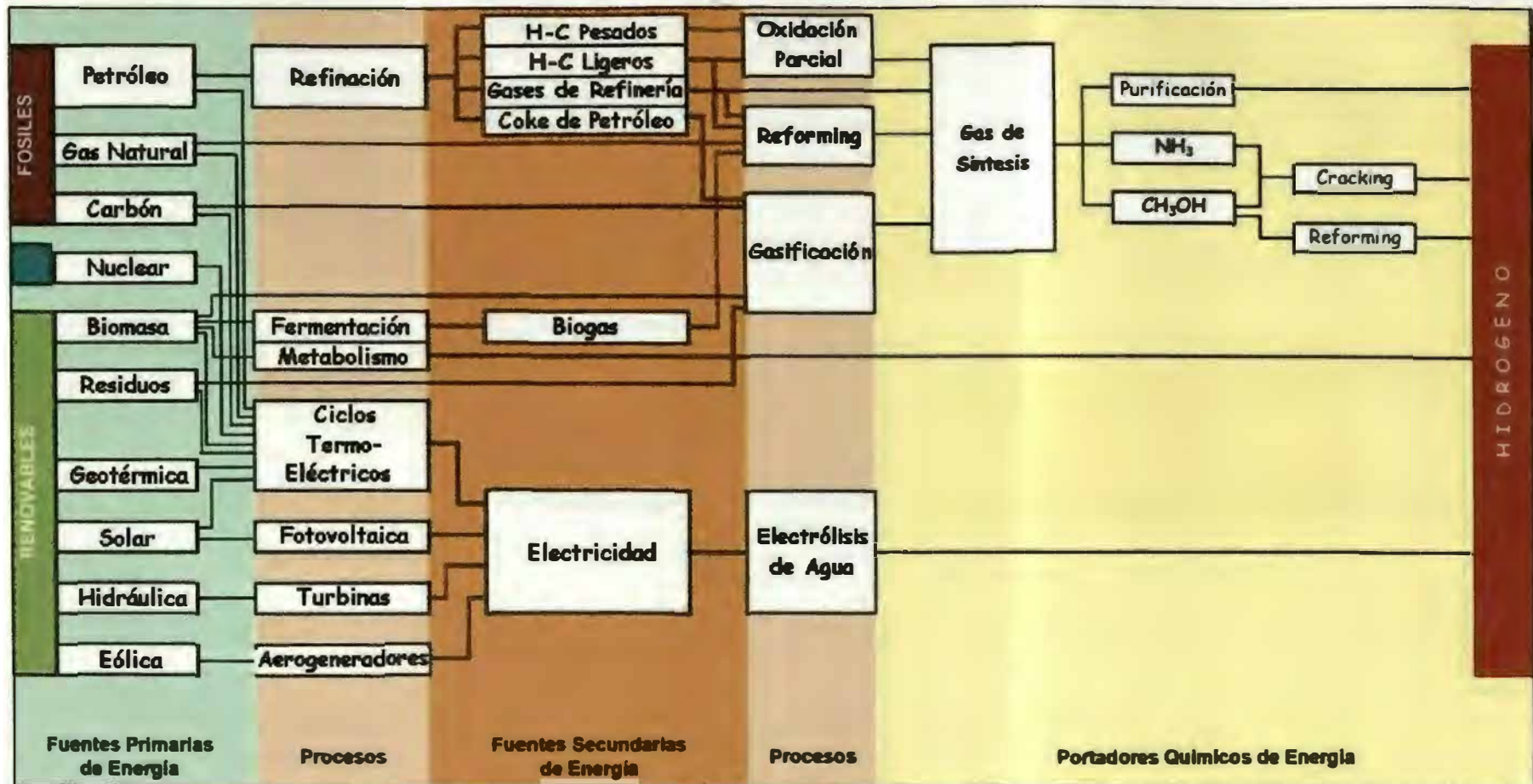
### 3.3. Procesos de obtención

Los procesos para la producción de hidrógeno se esquematizan en los siguientes cuadro y gráfico:

Cuadro N° 6: Procesos de producción de Hidrógeno

Método Primario	Procesos	Materia Prima	Emisiones
Térmico	Reformación al vapor	Gas Natural, hidrocarburos	CO <sub>2</sub>
	Gasificación	Carbón, Biomasa	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
	Ruptura del agua	Agua	Ninguna
	Pirólisis	Biomasa	CO <sub>2</sub>
Electroquímica	Electrólisis	Agua	Ninguna
	Fotoelectrólisis	Agua	Ninguna
Biológico	Fotobiológico	Agua en algas	ninguno
	Digestión anaeróbica	Biomasa	CO <sub>2</sub>
	Microorganismos fermentativos	Biomasa	CO <sub>2</sub>

Gráfico N° 4: Procesos de Producción de Hidrógeno



"El Hidrógeno, un nuevo Vector Energético" Antonio González García-Conde, Director Departamento Aerodinámica y Propulsión, INTA  
 Presidente de la Asociación Española del Hidrógeno; Cátedra Cátedra BP de Medio Ambiente - Madrid, 19 de enero de 2005

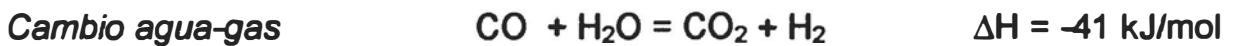
Actualmente, cerca del 96% de la producción de hidrógeno se obtiene de materias primas fósiles. Todos estos métodos pasan por la obtención del “gas de síntesis” (mezcla de hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, el cual se puede procesar en hidrógeno puro o en otros productos como por ejemplo: amoníaco, metanol, combustibles líquidos via Fischer Tropsch).

### 3.3.1 Reformado con vapor de gas natural o hidrocarburos líquidos ligeros

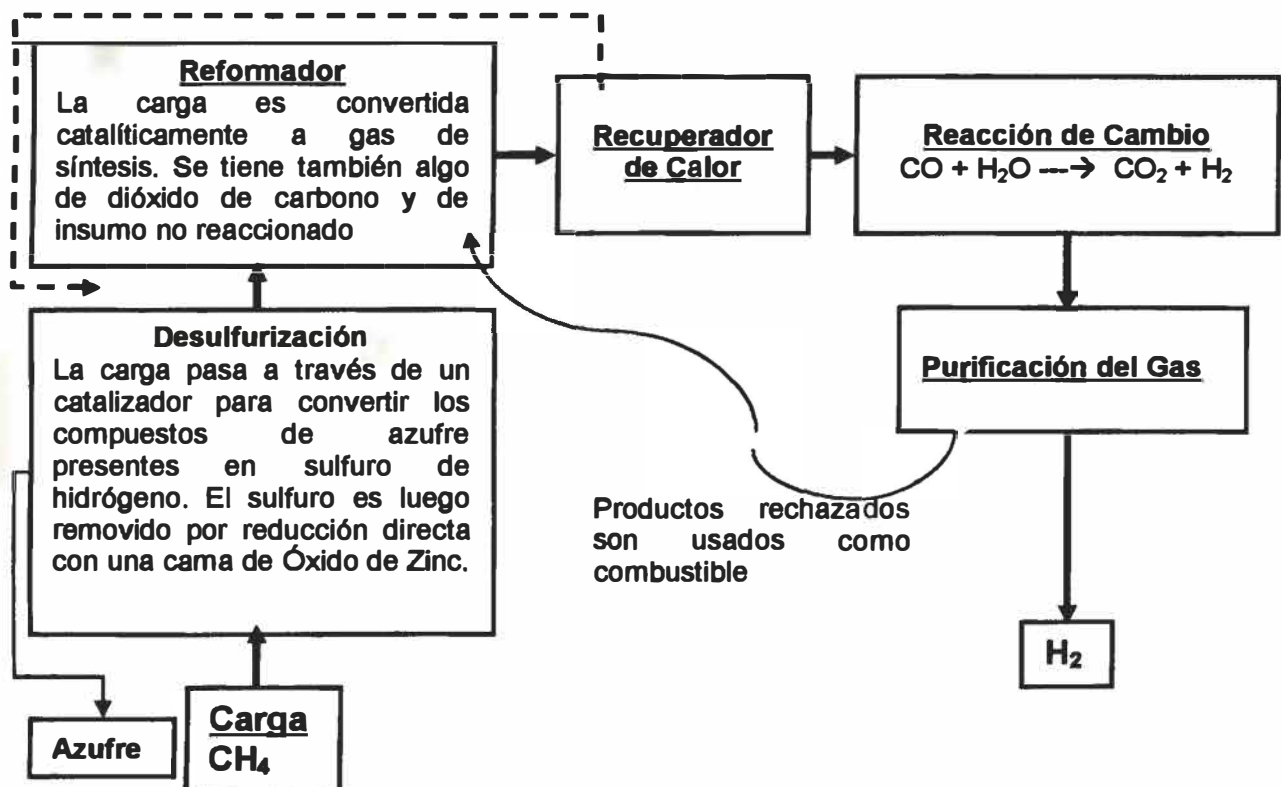
La materia prima se desulfuriza, luego se mezcla con vapor y pasa sobre un catalizador del níquel-alúmina dentro de un reactor tubular calentado externamente, donde la reacción toma lugar a temperaturas entre 700°C a 925°C. Se generan el CO y el H<sub>2</sub> (gas de síntesis).

Sigue una reacción catalítica de cambio agua-gas que convierte el CO y el agua en H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. El gas de hidrógeno final se purifica.

Las reacciones químicas básicas, con metano, son:

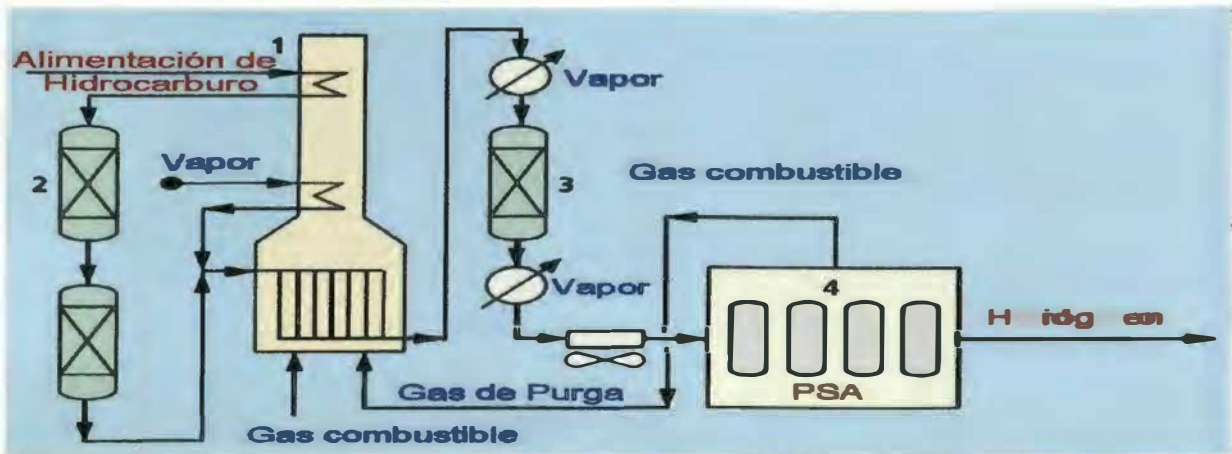


El siguiente diagrama resume el proceso de reformación con vapor:





Como ejemplo de un esquema comercial, se presenta el proceso licenciado por Foster Wheeler:



### 3.3.2 Oxidación Parcial de gas natural o hidrocarburos líquidos ligeros

La reacción se produce con una cantidad de oxígeno menor que la estequiométrica, para que no se produzca la combustión completa, produciéndose así la mezcla para gas de síntesis. El proceso es llevado a cabo a altas temperaturas (1200 a 1500°C) y a elevadas presiones (20 a 90 bar).

Se sigue luego por una reacción catalítica de intercambio agua-gas que convierte el CO y el agua en hidrógeno y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Es, típicamente, un proceso mucho más rápido que el reformado con vapor y requiere un reactor más pequeño.

Las reacciones químicas básicas, dirigidas hacia el hidrógeno son:

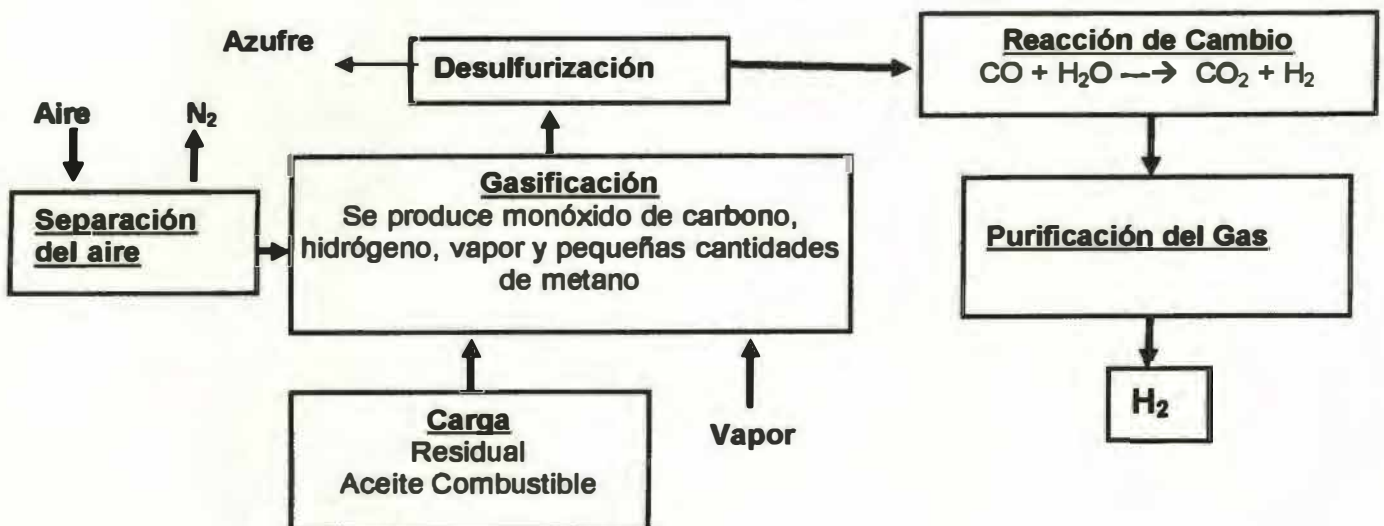
*Oxidación parcial:*



*Cambio agua-gas*



El siguiente diagrama de resume el proceso de Oxidación Parcial:



### 3.3.3 Gasificación del carbón

Ofrece una de las maneras más versátiles y más limpias de convertir el carbón en electricidad, hidrógeno, y otros productos valiosos.

La mayor preocupación es que, debido al alto contenido de carbono en el carbón, las emisiones de dióxido del carbón correspondientes son más grandes que de cualquier otra materia de base. El uso en gran escala de la gasificación del carbón implica que se deben desarrollar las tecnologías de la captura y de almacenaje del carbono.

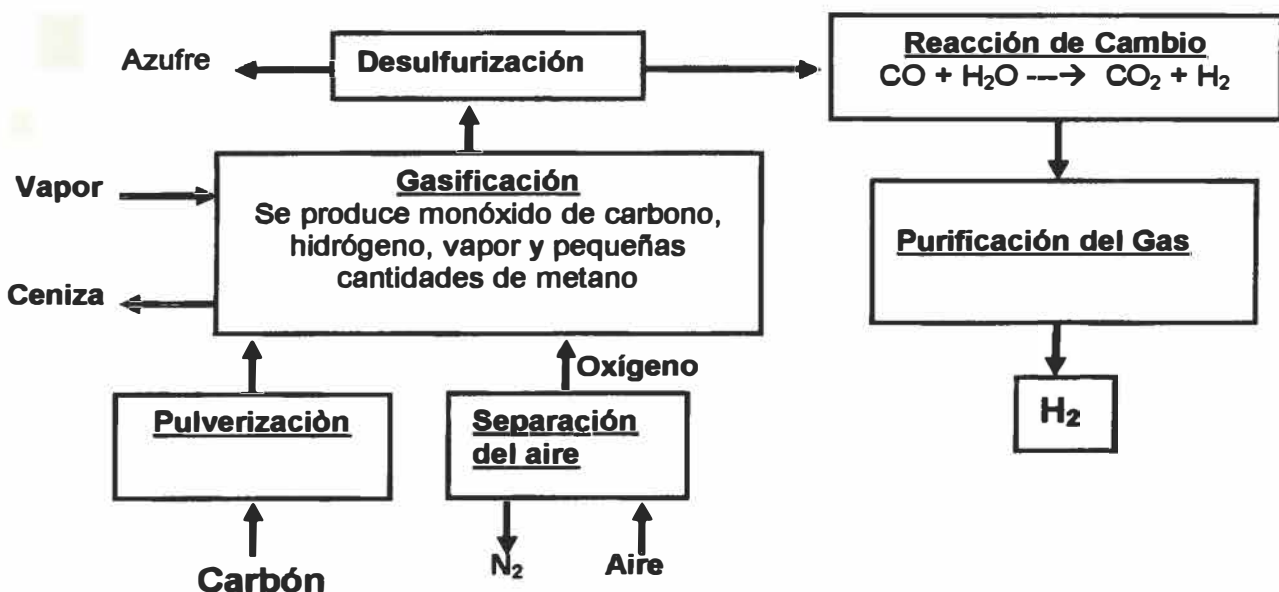
La gasificación del carbón implica la oxidación parcial del carbón con oxígeno y vapor en un reactor de alta temperatura (1100 a 1300°C) y de alta presión. La reacción se lleva a cabo en una mezcla altamente reductora que crea principalmente el CO y H<sub>2</sub>, mezclada con vapor y CO<sub>2</sub>. Este "gas de síntesis" experimenta la reacción de intercambio gas agua, aumentando la producción H<sub>2</sub>. El gas se puede entonces limpiar de maneras convencionales para recuperar el sulfuro elemental (o hacer el ácido sulfúrico). El dióxido de carbono y el hidrógeno pueden ser fácilmente separados.

Químicamente, el carbón es una sustancia compleja y altamente variable. El carbono y el hidrógeno en carbón se pueden representar de manera aproximada como 0.8 átomos de hidrógeno por el átomo del carbono en el carbón bituminoso. Su reacción de la gasificación se puede representar por la ecuación (desequilibrada) de la reacción.



Una ventaja de esta tecnología es que el dióxido de carbono puede ser separado más fácilmente del gas de síntesis y ser capturado, en vez de ser arrojado a la atmósfera. Si el dióxido de carbono puede ser secuestrado con éxito, el hidrógeno se puede producir de la gasificación del carbón con emisiones de gas invernadero cercanas a cero.<sup>3</sup>

El siguiente es un diagrama del proceso:



<sup>3</sup> The Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program – U.S. Department of Energy – web page

### 3.3.4 Reformación de metanol

Las plantas de generación de hidrógeno a partir de metanol son generalmente utilizadas para pequeñas capacidades, con requerimientos de operación intermitentes.



La ecuación base de este proceso es:

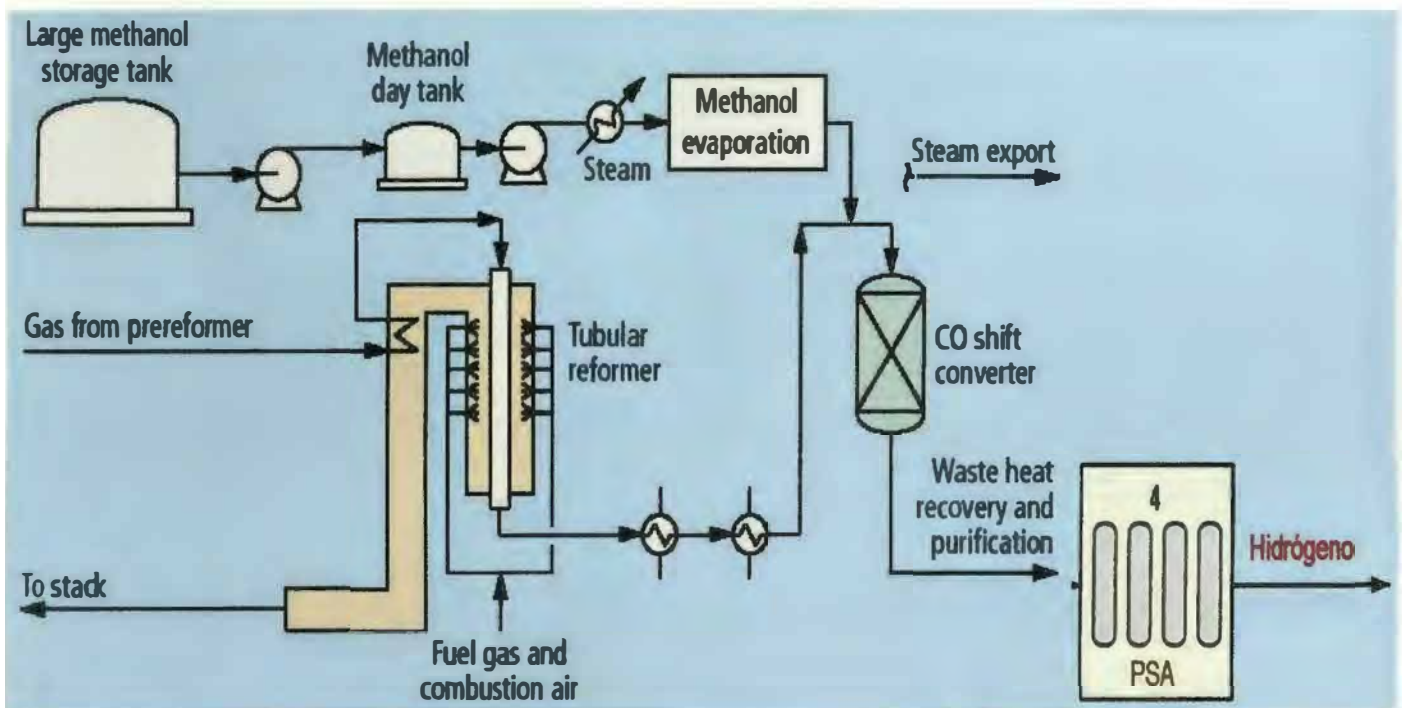
1° Descomposición endotérmica del metanol



2° La conversión exotérmica del CO con el agua



El siguiente es el proceso licenciado por Haldor Topsoe A/S:

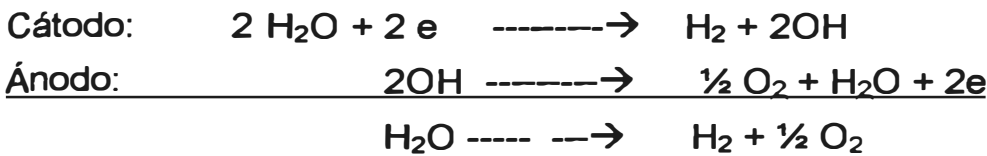


### 3.3.5 Electrólisis

Se emplea en porcentaje pequeño, mayormente para volúmenes pequeños de hidrógeno de la pureza elevada (o de oxígeno, por ejemplo para las atmósferas de respiración en los submarinos).

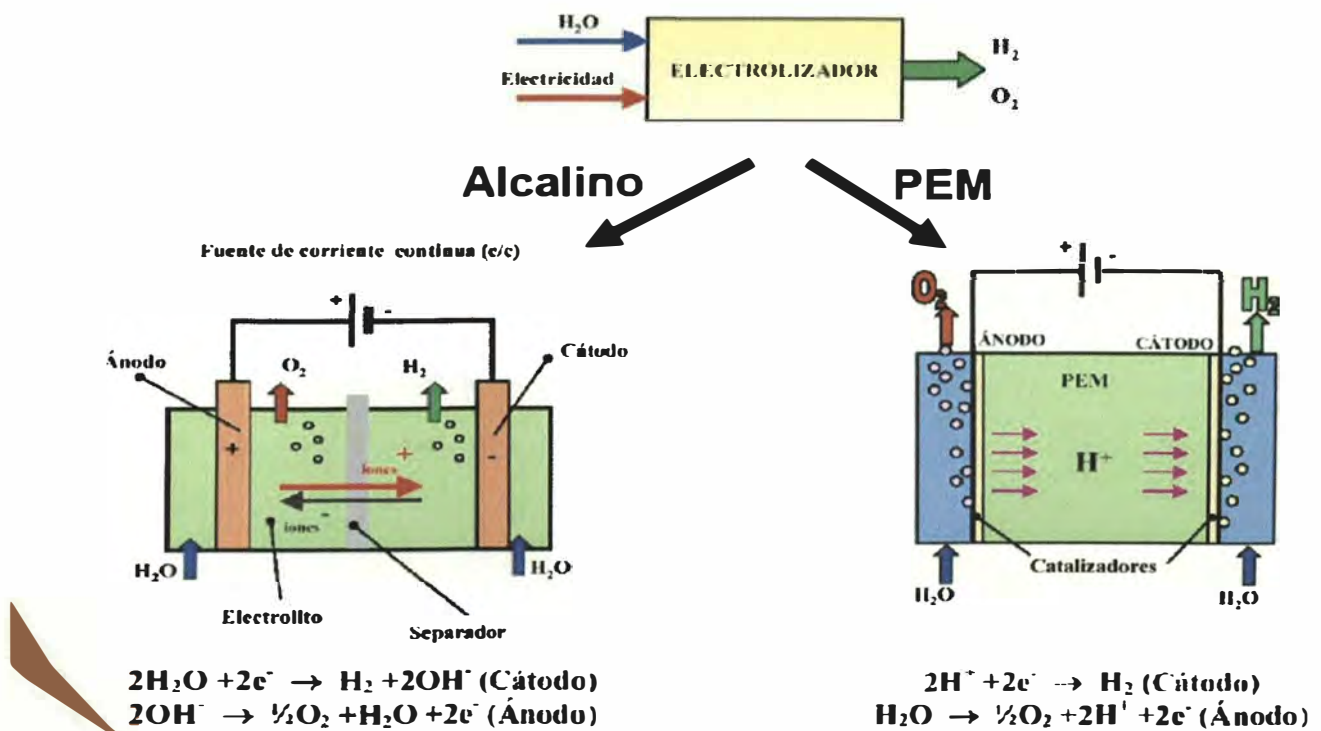
Con el panorama de la Era del Hidrógeno, hay fuerte inversión en investigaciones para desarrollar electrolizadores de mayor eficiencia en la producción de el hidrógeno, unido a la investigación continúa en la integración de recursos renovables con electrolizadores, para producir el hidrógeno que se utilizará como combustible o para el almacenamiento de energía.

Un potencial eléctrico se aplica a través de una celda con dos electrodos inertes que contienen un medio que conduce, generalmente una solución alcalina del electrólito (KOH). Los electrones se absorben y se emiten en los electrodos, con formación del hidrógeno en el cátodo y el oxígeno en el ánodo:



El voltaje teórico para esta descomposición del agua en la presión atmosférica y 77°F es 1.23 voltios, pero a este voltaje las velocidades de reacción son muy lentas. En la práctica, se aplican voltajes más altos para aumentar las velocidad de la reacción. Sin embargo, esto da lugar a pérdidas de calor crecientes a los alrededores, disminuyendo rendimiento energético.

Su implementación se puede visualizar en el siguiente esquema





### 3.3.6 Biohidrógeno

En un artículo publicado por la revista especializada *Hydrogen Energy* (2004, 29: 173-185), los investigadores David B. Levin, Lawrence Pitt y Murria Love, de la Universidad canadiense de Victoria, hacen una recopilación del estado de desarrollo de las tecnologías de obtención de hidrógeno mediante procesos biológicos, el llamado «biohidrógeno».

Actualmente, existen cinco rutas viables para obtener biohidrógeno:

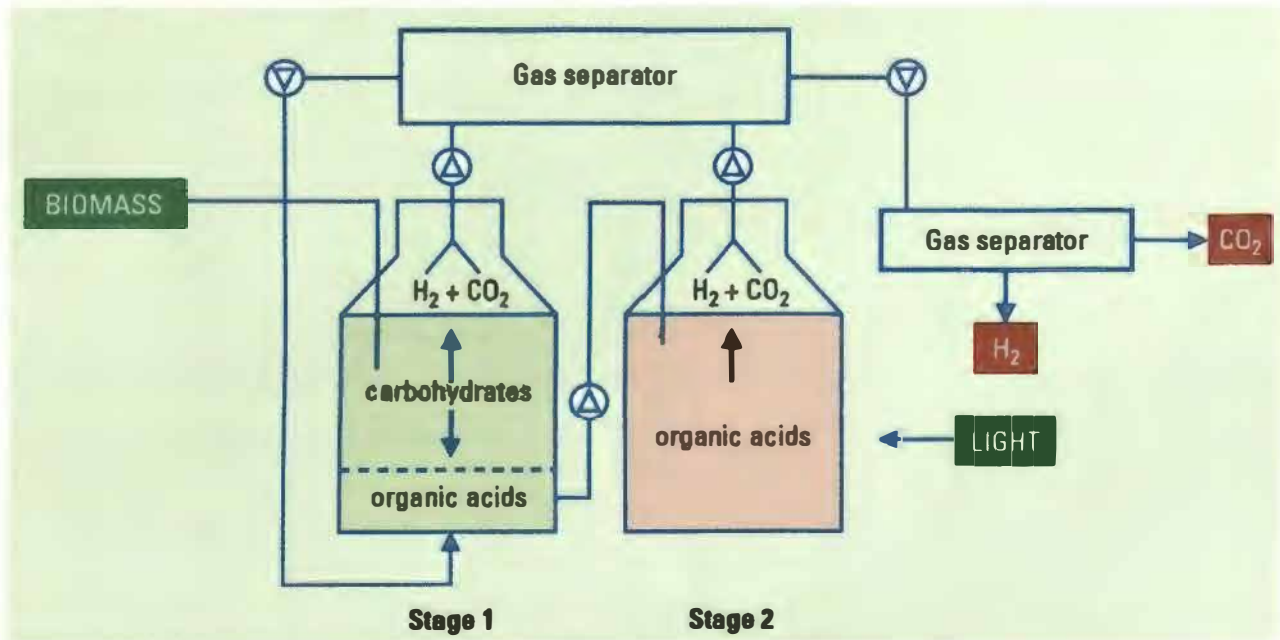
- biofotólisis directa
- biofotólisis indirecta,
- fotofermentación,
- síntesis mediante bacterias fotoheterótrofas y
- fermentación oscura.

La biofotólisis consiste en la producción de hidrógeno gracias al uso de algas verdes que utilizan la energía solar para disociar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno.

En la fotofermentación se aprovechan las vías catabólicas de las bacterias no sulfuradas fotoheterótrofas para obtener hidrógeno a partir de residuos de compuestos orgánicos.

Existen otras bacterias pertenecientes a la gigantesca familia *Rhodospirillaceae* que pueden desarrollarse en ausencia de luz usando monóxido de carbono para generar ATP y liberando hidrógeno molecular y dióxido de carbono.

El siguiente es un esquema de la producción del hidrógeno de la biomasa en una fermentación de 2 etapas. La etapa 1 es para la fermentación heterotrófica y en la etapa 2 la fermentación fotoheterotrófica.<sup>4</sup>

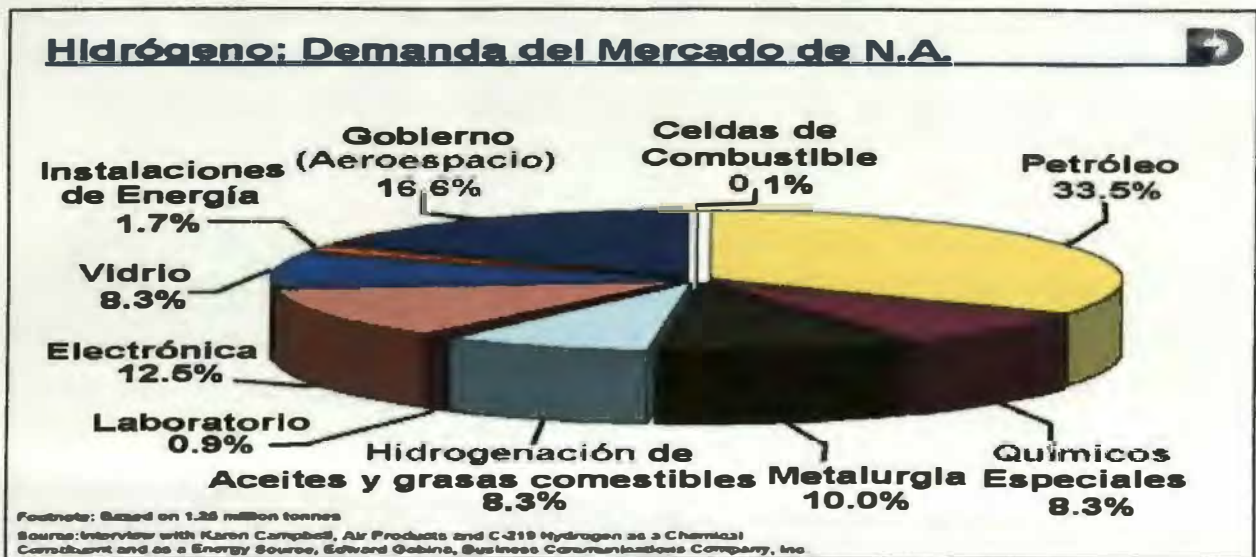


<sup>4</sup> Status and perspectives of biological methane and hydrogen production-2003 Dutch Biological Hydrogen Foundation-Edited by J.H. Reith, R.H. Wijffels and H. Barten

### 3.4. Aplicaciones industriales

El siguiente gráfico visualiza la distribución actual del uso del hidrógeno

Gráfico N° 6 – Distribución del uso de hidrógeno



#### 3.4.1 Industria siderúrgica

##### *Reducción Directa del Mineral de Hierro*

Proceso básico generador de H<sub>2</sub>: reformación de hidrocarburos.

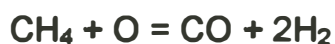
Reacción química deseada: la corriente de H<sub>2</sub> y CO realiza la reducción química del óxido de hierro sin que el mineral cambie de estado, esto se le denomina "proceso de reducción directa". Se diferencia del "proceso de reducción indirecta" producida en los altos hornos, donde el mineral sólido pasa a líquido.

El hierro reducido por la reducción directa es una carga metálica de alta calidad, que contiene los más bajos niveles de elementos residuales y permite producir aceros de alta calidad en el Horno Eléctrico de Arco.

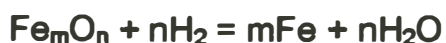
El 93% de la producción de hierro reducido por reducción directa a nivel mundial corresponde a los métodos que utilizan gas como reductor.

La ecuación base de este proceso es:

1° La generación del gas de síntesis



2° La reducción del mineral de hierro



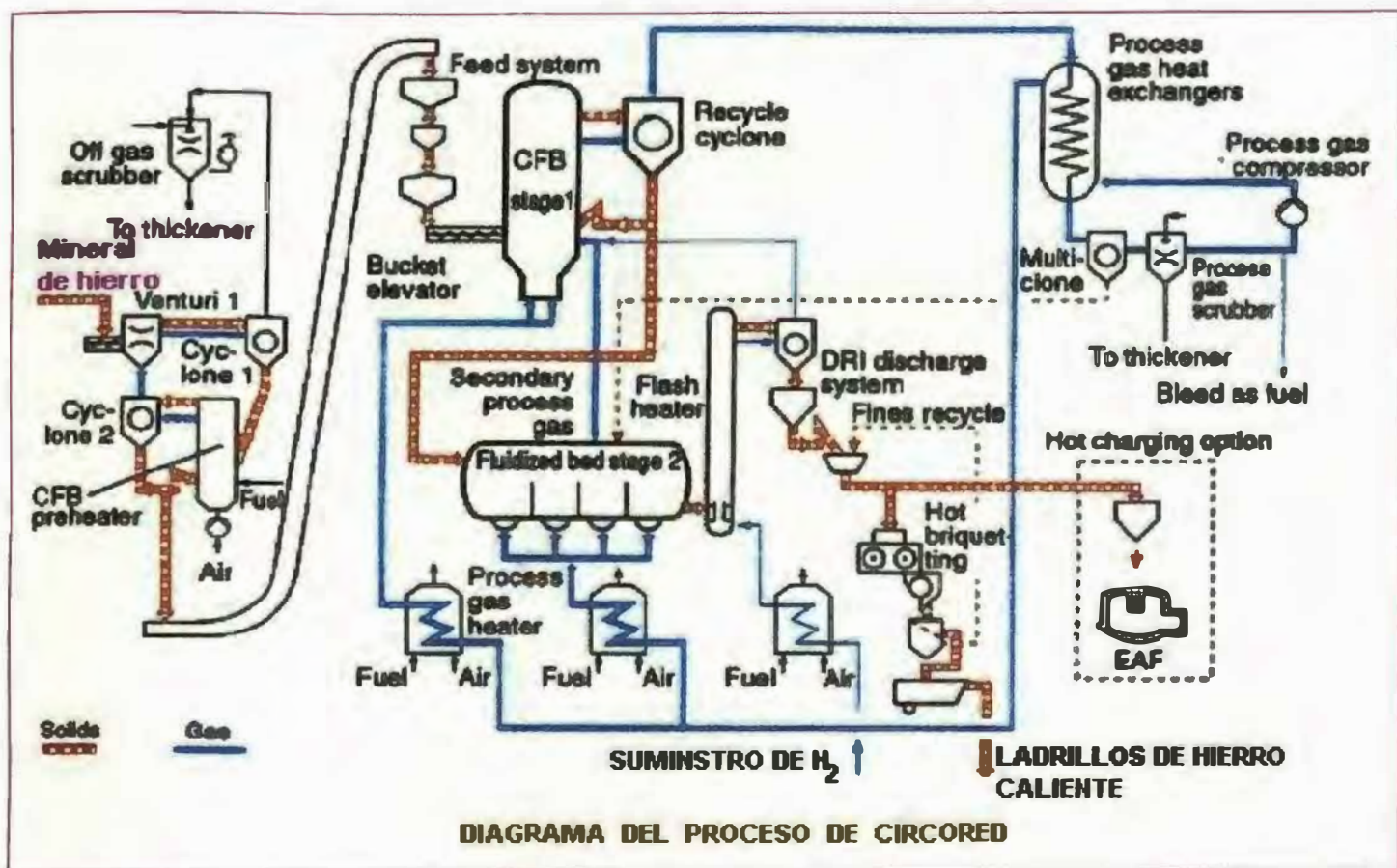
En la tecnología CIRCORED, desarrollado a comienzos de la década de los 90 por la firma Lurgi Metallurgie GMBH (Alemania), el hidrógeno reductor crea las condiciones de fluidización.

La mezcla de gas de síntesis es enviada a una planta de absorción oscilante a presión en donde el dióxido de carbono es separado, obteniéndose hidrógeno puro que es enviado al circuito.

Los procesos que usan gas natural tienen niveles de contaminación más bajos que los procesos que usan reductores sólidos como el carbón o coque. Se tiene así:

Emisión de contaminante por tonelada de hierro líquido producido

Proceso	SO <sub>2</sub> gr/tm	CO <sub>2</sub> kg/tm
Alto Horno	1400	1760
Reduccion Directa (CIRCORED)	15	1118



La utilización de estos procesos en el Perú significaría una mejora en el cuidado del medio ambiente, así como también darle valor agregado al mineral de hierro, aprovechando las reservas de mineral de bajo tenor.

### **Acabado de acero**

El hidrógeno se utiliza sobre todo como reactivo en el tratamiento térmico y procesos brillantes del recocido en la producción del acero inoxidable. La pureza del gas requerido para estos procesos es mayor al 99.9990% de H<sub>2</sub>.

#### **3.4.2 Industria de refinación del petróleo**

El hidrógeno se utiliza para aumentar la calidad y aumentar la producción de los combustibles producidos por la refinería.

Los principales procesos son:

*Hidrotratamiento*: la acción fundamental es:

- remoción del oxígeno, nitrógeno y los metales.
- saturación de los enlaces olefínicos y aromáticos.
- reducir el peso molecular medio de los productos.

Los productos resultantes están preparados para los posteriores procesos de reformación, craqueo catalítico, hidrocraqueo.

*Hidrodesulfurization*: la acción fundamental es:

- remoción de los compuestos de azufre.
- Conversión mínima a productos más ligeros.

El hidrógeno interviene para producir diesel de bajo contenido de azufre, de modo de responder a las crecientes especificaciones de calidad y volumen demandado de este combustible.

*Hidrocraqueo*: la acción fundamental es:

- Rompimiento de los enlaces carbono carbono.
- Fuerte reducción del peso molecular de la carga, con una conversión de más del 50%.

Se procesa el gasoil liviano de vacío.

Con temperatura, alta presión, en presencia de hidrógeno y de un catalizador, se rompen los hidrocarburos de cadenas largas, obteniéndose gases, naftas, Turbo combustible y gas oil de muy buena calidad.

#### **3.4.3 Industria Petroquímica**

##### *Amoníaco*

El nitrógeno e hidrógeno son catalizados con una hierro catalisis bajo condiciones de 200 atmósferas y 450°C.



#### **3.4.4 Industria electrónica**

El hidrógeno es usado típicamente como agente de reducción, o gas portador en por ejemplo la fabricación de circuitos, producción del semiconductor, cuarzo semifundido, producción del polisilicón, y producción de la fibra óptica.

Estos procesos todos requieren que el hidrógeno sea de una pureza extremadamente elevada, por ejemplo para la producción del semiconductor la pureza necesaria es del 99,99990% H<sub>2</sub>.



### **3.4.5 Grasas y aceites**

La hidrogenación de las grasas y de los aceites, convirtiendo los aceites líquidos a grasas semisólidas y plásticas, es la reacción química más extensamente utilizada de las industrias del aceite de mesa y de productos oleoquímicos. El grado exigido de la pureza depende del producto final, pero para las grasas comestibles se requiere la que sea mayor del 99.5% H<sub>2</sub> (g).

### **3.4.6 Industria farmacéutica**

El hidrógeno se utiliza en la producción de una variedad de productos farmacéuticos tales como vitaminas, esteroides, hormonas, antibióticos, y otras clases de diversas drogas. El grado de la pureza varía pero está en general en la orden de sobre el 99.98% H<sub>2</sub> (g).

### **3.4.7 Industria química**

El hidrógeno es un reactivo común en la industria química. Por ejemplo, se utiliza para la producción de muchos diversos compuestos orgánicos, e.g. alcoholes, aminas, tetrahidrofurano, pero también productos inorgánicos tales como peróxido de hidrógeno. El grado de la pureza depende algo del proceso específico, pero para la mayoría de los procesos está alrededor de más del 99.8% H<sub>2</sub> (g).

### **3.4.8 Cristal plano**

En la producción del cristal plano, sin defectos para las ventanas, puertas, etc., el proceso del flotador consiste en el echar del cristal fundido en un baño de zinc fundido. Esta operación se debe realizar en una atmósfera reductora integrada por el nitrógeno y el hidrógeno para asegurar un ambiente libre de oxígeno, porque el zinc fundido es altamente sensible a la oxidación, incluso en cantidades de trazas. Incluso el cristal sí mismo se puede afectar negativamente por la presencia del oxígeno, que puede causar la formación del residuo en la superficie del cristal, creando un aspecto nebuloso

Para asegurar una alta calidad del cristal, la calidad del hidrógeno necesita ser tan alta como el 99,9990% H<sub>2</sub>

### **3.4.9 Industria del combustible**

De muchas maneras, el hidrógeno es el combustible perfecto, al quemarse es más limpio y el más eficiente.

El hidrógeno puede producir electricidad y la electricidad puede producir el hidrógeno, creando un lazo de la energía que sea renovable e inofensivo al ambiente.

En vehículos, el hidrógeno se puede utilizar como combustible en dos maneras: para producir electricidad en una celda de combustible para la opción más limpia; o en un motor de combustión interna donde las emisiones todavía perceptiblemente se reducen comparadas con otros combustibles

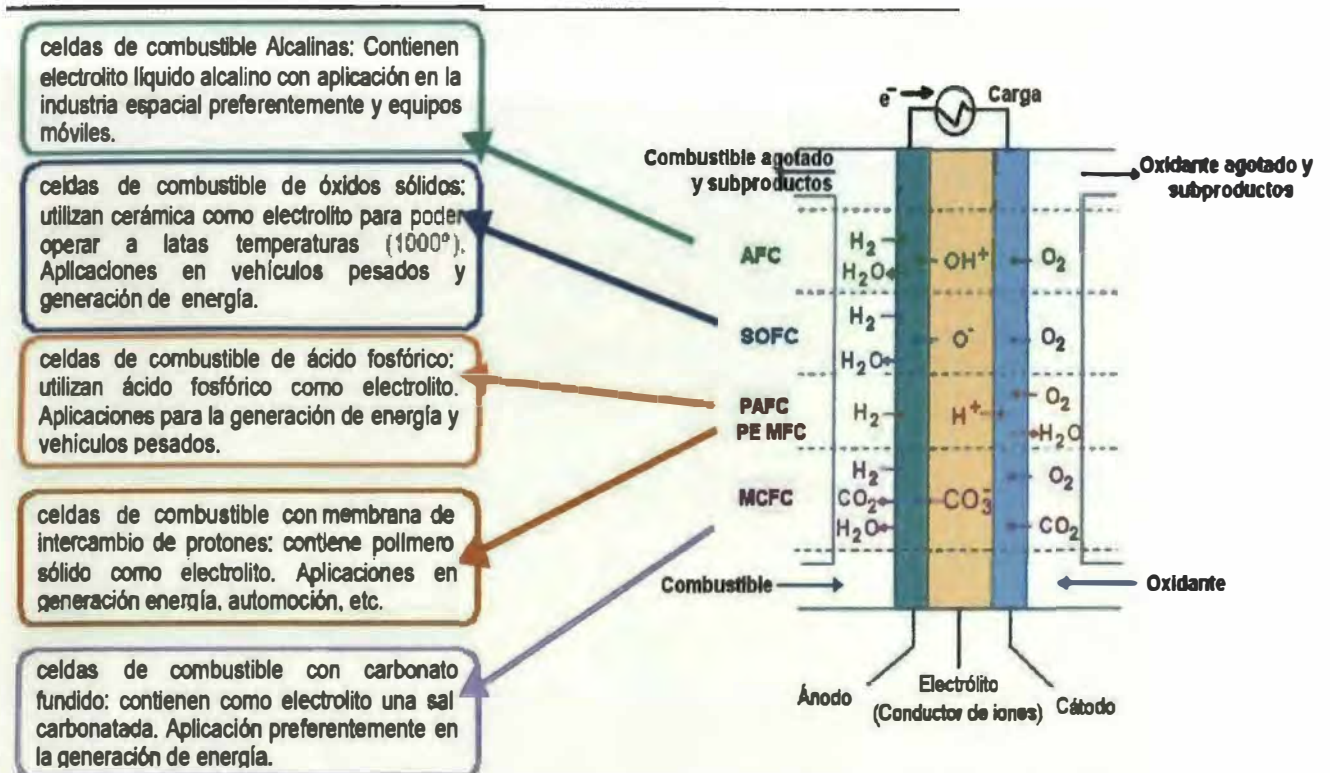
Las Celdas de Combustible son dispositivos electroquímicos que convierten directamente energía química en eléctrica, con un alta eficiencia. Sin partes móviles internas, las Celdas de Combustible operan de forma similar a las pilas secas, excepto que para la producción continua de electricidad requieren el

suministro continuo de combustible, normalmente hidrógeno. Funcionan bajo el principio de intercambio de carga electrolítica entre una placa de ánodo positiva y una placa de cátodo negativa.

Cuando se utiliza hidrógeno como combustible básico se produce hidrólisis inversa, produciendo agua y calor como subproductos, sin producir contaminantes.

Las Celdas de combustible no obtienen la energía de la manera clásica en la que una combustión produce energía calorífica, esta a su vez se convierte en energía mecánica y finalmente la energía mecánica se transforma en electricidad. Las Celdas de combustible combinan las moléculas de un combustible y un oxidante sin el proceso de combustión, evitando así la polución y obteniendo un mayor rendimiento.

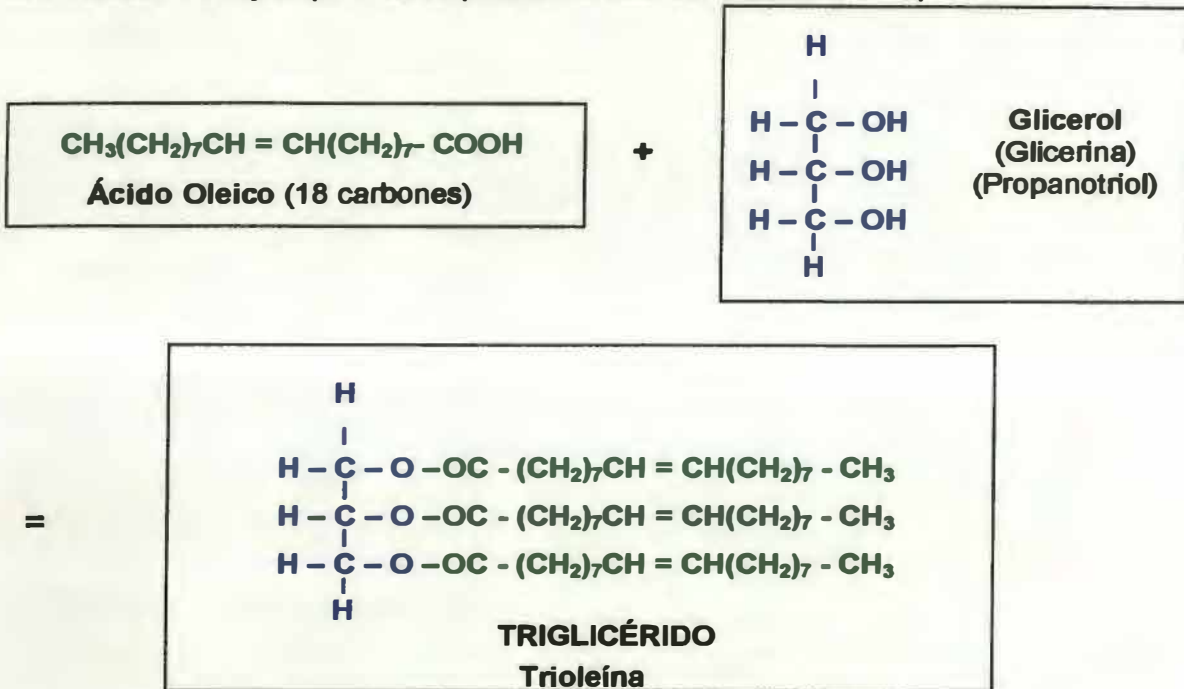
Existen 5 tipos diferentes de celdas de combustibles:



## 4. CARACTERÍSTICAS LOS ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES

### 4.1. Estructura de las grasas

Químicamente, los aceites y grasas comestibles son ésteres (ácido orgánico unido a un alcohol), en este caso de ácidos carboxílicos alifáticos con glicerol. Las cadenas de los ácidos grasos tienen mayormente una longitud entre 14 a 26 carbonos. Un ejemplo de la procedencia de su fórmula química es:



Los tres ácidos grasos presentes en un triglicérido son generalmente diferentes, dando lugar a una gran cantidad de combinaciones posibles

Las grasas y los aceites, llamadas también los lípidos, constituyen uno de los tres alimentos principales necesarios en la dieta humana, las otras que son las proteínas y los carbohidratos. Son alimentos que tienen la mayor densidad energética.

Cuadro N° 7: Densidad energética de alimentos

Alimento	Densidad Energética (Calorías / gramo)
Agua	0.0
Tomate	0.2
Melón	0.4
Leche entera	0.6
Uvas	0.7
Frijoles negros	0.8
Banano	0.9
Atún en agua	1.1
Huevo hervido	1.6
Pechuga de pollo, sin piel	1.7

Alimento	Densidad Energética (Calorías / gramo)
Lomito de cerdo, al horno	2.0
Pan integral	2.5
Pan blanco italiano	2.7
Pasas	3.0
Queso suizo	3.8
Barra de chocolate	5.4
Maní	5.9
Pecanas	6.6
Mantequilla	7.2
Aceite vegetal	8.8

Las principales funciones de la grasa en el cuerpo humano son como reserva de energía y como aislamiento. Las grasas se queman para que el cuerpo tenga la energía cuando lo necesite y no se está consiguiendo lo suficiente de los carbohidratos en la dieta. El tejido fino graso alrededor de órganos internos ayuda a protegerlos contra trauma y cambio de temperatura proporcionando el acolchado y el aislamiento.

Son importantes en el transporte de otros alimentos tales como las vitaminas A, D, E y K que no son solubles en agua. Las grasas también forman una pieza esencial de la membrana de la célula. Finalmente, son también una fuente de ácidos grasos esenciales.

En los alimentos derivados de animales, las fuentes principales de la grasa son la carne y los productos de lechería aunque la mayoría de los alimentos contienen un poco de grasa. Algunas de las fuentes vegetales más ricas de la grasa alimenticia son nueces y semillas, granos de soya, aceitunas y maní.

## 4.2. Clasificación de las grasas

Los ácidos grasos alternadamente pueden ser clasificados como saturado, mono insaturado y polinsaturado dependiendo de la presencia y del número de los dobles enlaces carbono carbono.

Sus características químicas y físicas son influenciadas grandemente por la clase y proporción de los ácidos grasos componentes y manera en la cual éstos se colocan en la molécula del glicerol. Se tiene:

### 4.2.1 Ácidos grasos saturados

Las principales fuentes naturales de grasas en que los ácidos grasos se presentan se incluyen en la siguiente tabla:

Cuadro N° 8: Ácidos grasos saturados

Nombre Sistemático	Nombre Común	N° átomos de carbono	Punto de Fusión °C	Fuente Típica de grasa
Butanoico	Butírico	4	-7.9	Mantequilla
Hexanoico	Caproico	6	-3.4	Mantequilla
Octanoico	Caprílico	8	16.7	Aceite de coco
Decanoico	Cáprico	10	31.6	Aceite de coco
Dodecanoico	Láurico	12	44.2	Aceite de coco
Tetradecanoico	Mirístico	14	54.4	Mantequilla, ac. de coco
Hexadecanoico	Palmítico	16	62.9	Mayoría de grasas y aceites
Heptadecanoico	Margárico	17	60.0	Grasas animales
Octadecanoico	Esteárico	18	69.6	Mayoría de grasas y aceites
Eicosanoico	Araquídico	20	75.4	Aceite de pino
Docosanoico	Behénico	22	80.0	Aceite de pino

## 4.2.2 Ácidos grasos insaturados

Las principales fuentes naturales de grasas en que los ácidos grasos insaturados se presentan son:

Cuadro N° 9: Ácidos grasos insaturados

Nombre Sistemático	Nombre Común	N° de dobles enlaces	N° átomos carbono	Punto de Fusión °C	Fuente Típica de grasa
9-Decenoico	Caproleico	1	10	-	Mantequilla
9-Dodecenoico	Lauroleico	1	12	-	Mantequilla
9-Tetradecenoico	Myristoleico	1	14	-4.5	Mantequilla
9-Hexadecenoico	Palmitoleico	1	16	-	Aceites de algunos pescados, grasa de vaca
9-Octadecenoico	Oleico	1	18	16.3	La mayoría de grasas y aceites
9-Octadecenoico*	Elaídico	1	18	43.7	Aceites parcialmente hidrogenados
11-Octadecenoico*	Vaccénico	1	18	44.0	Mantequilla
9,12-Octadecadienoico	Linoleico	2	18	-6.5	Mayormente aceites vegetales
9,12,15-Octadecatrienoico	Linolénico	3	18	-12.8	Aceite de soya, aceite de canola
9-Eicosenoico	Gadoleico	1	20	-	Aceites de algunos pescados
5,8,11,14-Eicosatetraenoico	Araquidónico	4	20	-49.5	Manteca de cerdo
5,8,11,14,17-Eicosapentaenoico	-	5	20	-53.5	Aceites de algunos pescados
13-Docosenoico	Erúcico	1	22	33.4	Aceite de colza
4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoico	-	6	22	-	Aceites de algunos pescados

\*Todos los enlaces dobles están en la configuración cis a excepción de ácido elaídico y del ácido vaccénico que están en la configuración trans.

## 4.3. Características físicas de los aceites y grasas

Las características físicas de una grasa o de un aceite son dependiente del grado de insaturación, la longitud de las cadenas de carbono, las formas isoméricas de los ácidos grasos y de la configuración molecular.

### 4.3.1 Efecto del grado de insaturación de los ácidos grasos

A menor grado de insaturación, la grasa presenta mayor punto de fusión, es decir a menor número de los enlaces dobles presentes en el ácido graso que lo forma. A continuación se presenta este efecto en un ácido graso de 18 carbonos:

	Punto de Fusión
$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_2 - \text{CH}_3$	-12.8 °C
$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_2 - \text{CH}_3$	-6.5 °C
$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - (\text{CH}_2)_2 - \text{CH}_3$	69.6 °C

El grado de insaturación se expresa normalmente en términos de valor del yodo (IV) de la grasa.

IV es el número de los gramos de yodo que reaccionarán con los enlaces dobles en 100 gramos de grasa y se pueden calcular de la composición de ácido graso.

El IV típico para el aceite de soya es de 125 a 140, este aceite parcialmente hidrogenado para uso como grasa de repostería es de 90 a 95, y para su uso como grasa de mantequilla es 30.

### 4.3.2 Efecto de longitud de las cadenas del carbono

El punto de fusión de los triglicéridos está relacionado con los de sus ácidos grasos. Mientras que la longitud de cadena de un ácido graso saturado aumenta, el punto de fusión también aumenta, así se tiene:

- Ácido graso saturado de 4 átomos de carbono P.f.= -7.9 °C
- Ácido graso saturado de 12 átomos de carbono P.f.= 44.2 °C
- Ácido graso saturado de 22 átomos de carbono P.f.= 80.0 °C

### 4.3.3 Efecto de las formas isoméricas de ácidos grasos

Los puntos de fusión de ácidos grasos no saturados completamente, son afectados por la posición y la conformación de los dobles enlaces.

Esto se puede apreciar con los isómeros del ácido graso monoinsaturado, el ácido oleico.

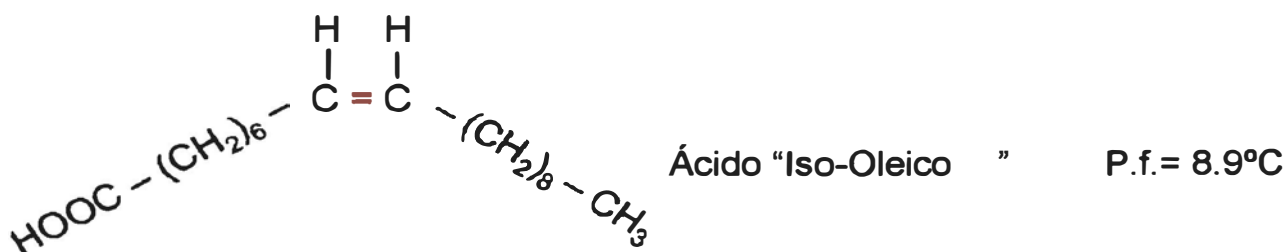
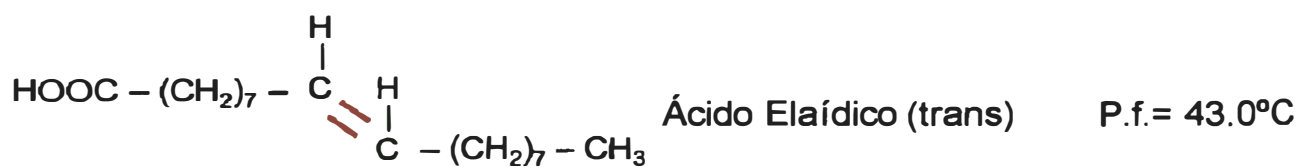
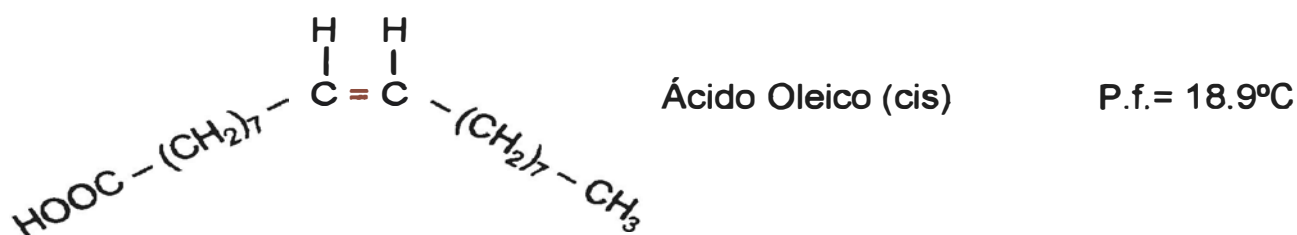
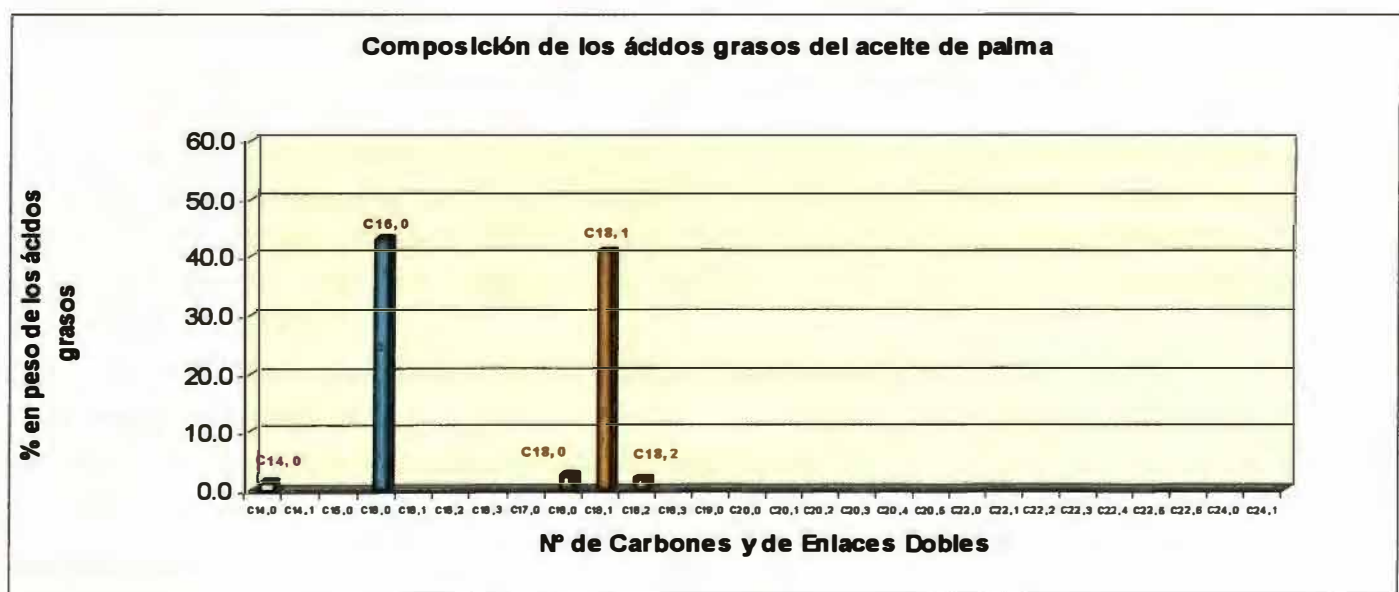
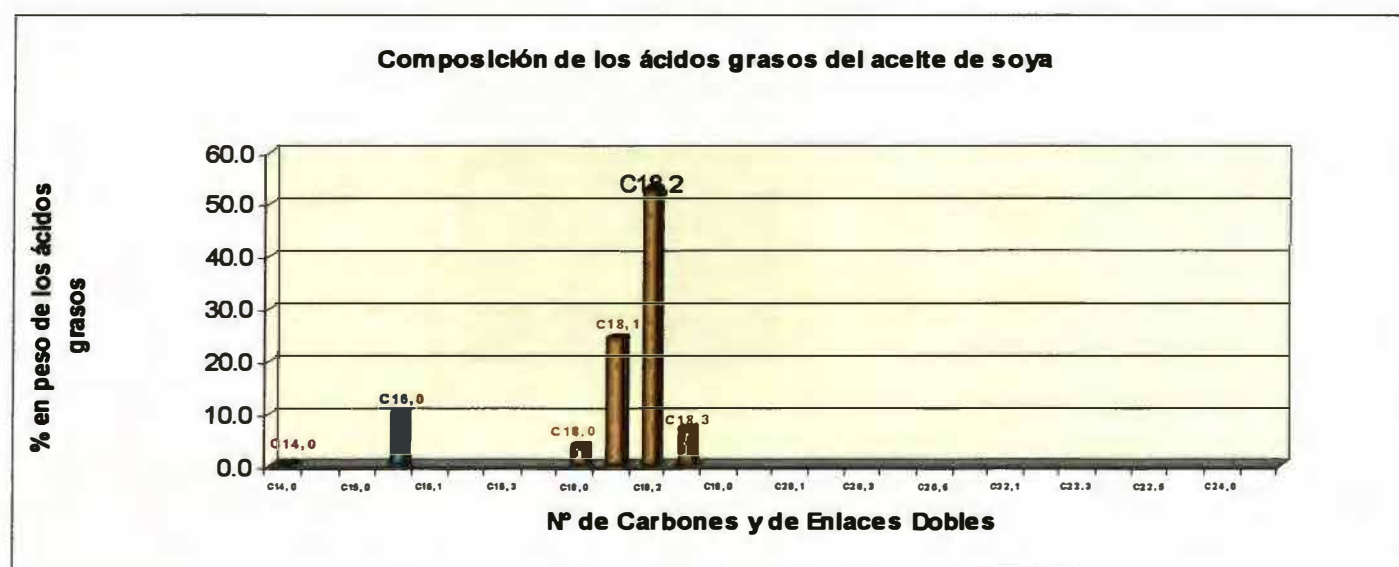
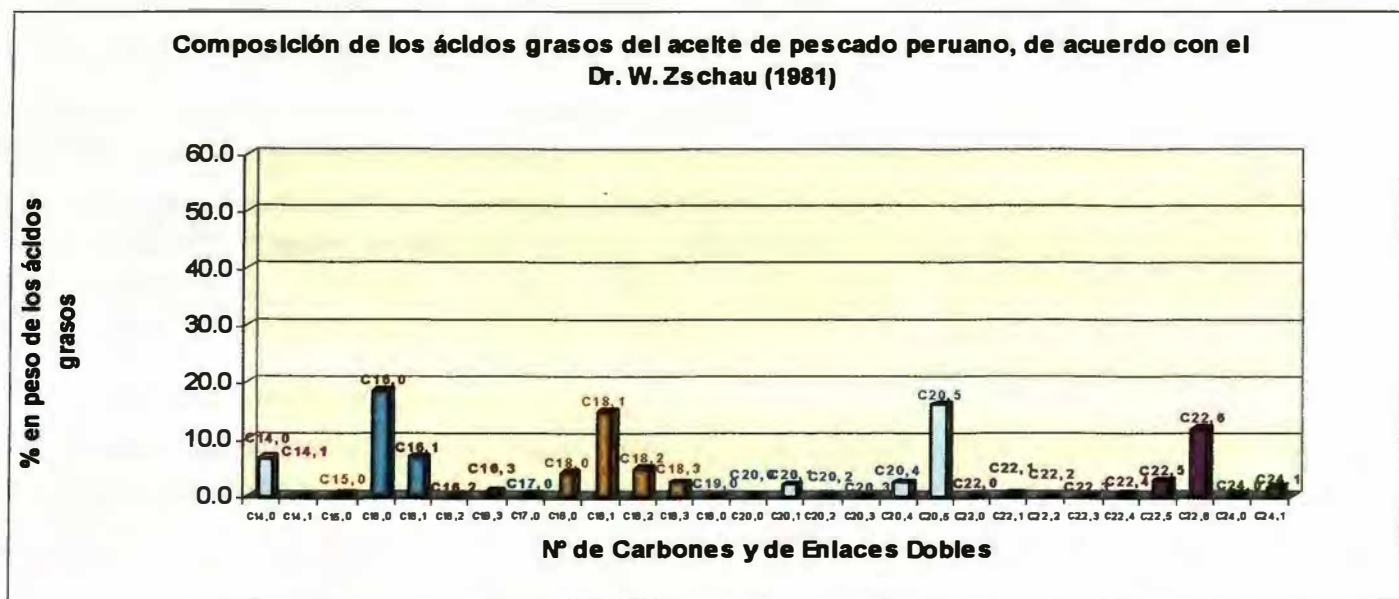




Gráfico N° 7 – Composición de algunos aceites comestibles:



### III. EL HIDRÓGENO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

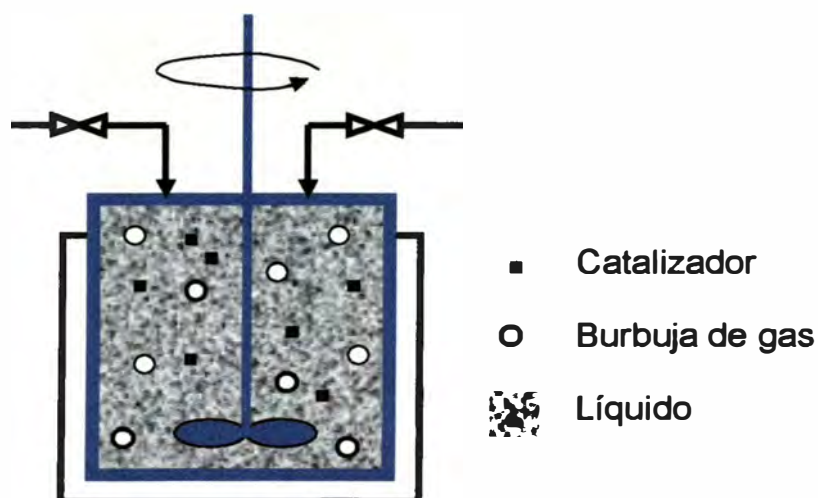
#### 1. EL PROCESO DE HIDROGENACIÓN

El proceso, inventado a mediados del siglo XIX por el químico alemán W. Normann, comenzó industrializarse partir del primer decenio del siglo XX.

La hidrogenación de los aceites comestibles permitió disponer de grandes volúmenes de grasas en estado sólido o semisólido, lo que facilitó su manejo y almacenamiento, debido a su mayor estabilidad, permitiendo que se incorporaran masivamente en la industria alimenticia.

##### 1.1. Características de la reacción

Se realiza generalmente en fase heterogénea, siendo los componentes el hidrógeno, el aceite comestible y el catalizador de la reacción.



Se lleva a cabo mediante una serie de etapas de reacción y difusión, siendo posible que una o más sean las que controlan la velocidad global, pudiéndose dividir:

- transferencia del gas reactante desde la masa de gas a la interfase gas/líquido (difusión);
- transferencia del gas reactante desde la interfase a la masa de fase líquida (adsorción y difusión);
- transferencia de ambos reactantes (gas y líquido) desde la masa líquida a la superficie externa de la partícula del catalizador (difusión a través de la externa película estable de líquido que rodea la partícula del catalizador);
- transferencia de los reactantes dentro de los poros del catalizador (difusión interna);
- adsorción de los reactantes luego de los pasos 3 o 4;
- reacción superficial;
- desorción y transferencia de los productos por
- difusión interna y difusión externa a la masa líquida o a la masa gaseosa.

Las reacciones de hidrogenación son exotérmicas, con calores de reacción entre 65 a 550 KJ/mol).



El mecanismo de reacción consiste en una serie de reacciones consecutivas de saturación de dobles enlaces con hidrógeno:

Linolénico (P.f. = -12.8°C)



Linoleico (P.f. = -6.5°C)



Oleico (cis) (P.f. = 18.9)



Esteárico (P.f. = 69.6°C)



+ H<sub>2</sub>

+ H<sub>2</sub>

+ H<sub>2</sub>

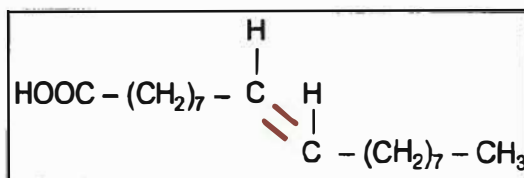
↓ K<sub>3</sub>

↓ K<sub>2</sub>

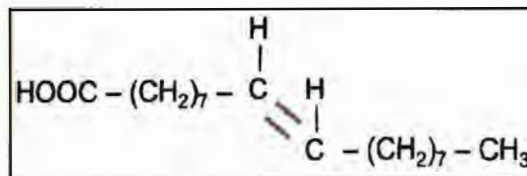
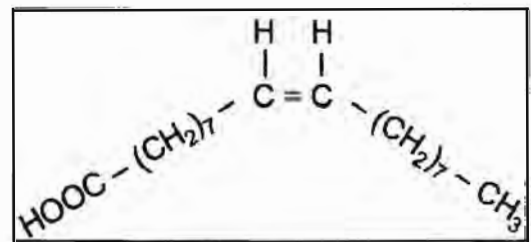
↓ K<sub>1</sub>

en que K<sub>3</sub>, K<sub>2</sub> y K<sub>1</sub> son las constantes de velocidad de reacción de los ácidos linolénico, linoleico y oleico respectivamente.

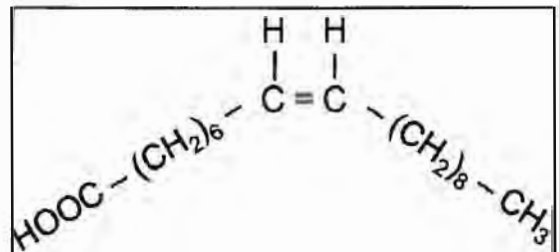
Aparte de la reducción de la insaturación, durante la hidrogenación también se da una isomerización de los dobles enlaces: isomerización geométrica (cis-trans), y de posición.



Isomería geométrica



Isomería de posición



Dependiendo de la ruta que siga la hidrogenación, las grasas parcialmente hidrogenadas pueden tener un amplio rango de fusión necesaria para su empleo en la repostería ("línea de dilatación plana") o un rango corto de fusión para asemejarse a la manteca ("línea de dilatación parada", rápida disolución en el paladar).

## 1.2. Variables de proceso.

Al realizarse la hidrogenación de aceites comestibles en un medio con componentes sólidos, líquidos y gaseosos, las variables que más se manejan para gobernar el sentido de las reacciones (actividad, selectividad) son: Agitación, Temperatura, Presión y Catalizador.

### 1.2.1 Selectividad

El concepto de selectividad en la reacción de hidrogenación de aceites comestibles viene dado por el hecho de que tipo de enlace satura primero el hidrógeno.

De hecho los grupos que tienen mas dobles enlaces son más reactivos que los que tienen menos dobles enlaces, por lo que generalmente el hidrógeno "*selecciona*" saturar primero un doble enlace de estos grupos.

El logro de una alta selectividad conlleva también a alta formación de isómeros. El alto contenido de transácidos eleva especialmente los valores de porcentaje de componentes que se funden a 20°C (N<sub>20</sub>), tal que una alta selectividad unida a mayor isomerización dan un producto con una línea de porcentajes de sólidos "parada", productos deseados como materia prima para margarinas.

En la actualidad la tendencia está en la obtención de productos con bajo porcentaje de isómeros trans, ya que se les tiene como causantes de males cardiacos.

### 1.2.2 Efecto de las variables

La agitación permite que se pongan en contacto el catalizador, el hidrógeno y el aceite para que se produzca la reacción. Una alta agitación induce un ingreso y salida rápida del poro del catalizador, aumentando la selectividad.

La temperatura aumenta la reactividad de los dobles enlaces, para que reaccione con el hidrógeno, disminuyendo el hidrógeno disponible en la zona, y las moléculas pueden moverse más fácilmente.

La presión aumenta la solubilidad del hidrógeno posibilitando que mayor cantidad de hidrógeno esté en contacto con el aceite, aumentando la disponibilidad de hidrógeno para la saturación de dobles enlaces (actividad), pero con menos selectividad.

El catalizador, al actuar sobre la energía de activación de los reactantes y con sus características de área superficial y tamaño de poro, aumenta la tanto la actividad como la selectividad de la reacción. Es así que una mayor área superficial aumenta la actividad de la reacción (mayor captación de moléculas de ácidos grasos en la superficie del níquel en forma simultánea), y un mayor tamaño del poro aumenta tanto la actividad como la selectividad (las moléculas grandes ingresan y salen fácilmente antes de la hidrogenación total).

Considerando lo anterior, las condiciones para una hidrogenación selectiva son la concentración elevada de catalizador y la alta temperatura, con la velocidad relativa de hidrogenación retardada por una agitación y presión del hidrógeno mínimas.

Por otra parte, para que la reacción de hidrogenación no sea selectiva, se mantiene una concentración elevada de hidrógeno en la superficie del catalizador, mediante una elevada presión y una agitación eficiente, limitando la isomerización mediante una concentración de catalizador y una temperatura bajas.

Estas interacciones se resumen en la siguiente tabla:

Cuadro N° 10: Influencia de las Condiciones de Proceso

Aumentos en	Parámetros Modificados		
	Concentración de H2 en la superficie del catalizador	Selectividad Preferencial	Fomación de Isómeros Trans
Presión de H2	+++	---	---
Temperatura	---	+++	+++
Agitación	+++	---	---

Un solo cambio en cualquiera de los parámetros del proceso, con todas las demás constantes, tendrá un efecto sobre la selectividad de la reacción, la cantidad de isómeros trans formados, y la velocidad de la reacción.

La conexión entre las condiciones de la reacción de hidrogenación y la calidad del producto final está clara. La Tabla 11 da los parámetros de reacción para la hidrogenación selectiva y no selectiva. Un sólo cambio en cualquiera de los parámetros del proceso, manteniendo las demás constantes, tendrá un efecto sobre la selectividad de la reacción, la cantidad de isómeros transformados, y la velocidad de la reacción.

Cuadro N° 11: Condiciones de selectividad

Condiciones que afectan la Selectividad de la Hidrogenación		
Parámetro de la Reacción	Selectiva	No Selectiva
Temperatura	Alta	Baja
Presión de Hidrógeno	Baja (<1Atm )	Alta (< 3 atm)
Agitación	Baja	Alta
Concentración del Catalizador	Alta (0.05% Ni)	Baja (0.02% Ni)
Tipo de Catalizador	Selectivo	No Selectivo
Isómeros de Trans	Muchos	Pocos
Forma de la curva de sólidos	Empinada	Llana

### 1.3. Evolución de los componentes durante la hidrogenación

Los siguientes gráficos, tomados de un estudio realizado por la United Catalysts Inc., realizando pruebas comparativas de hidrogenación de aceite de soya con catalizador a base de níquel G-153A, visualizan en efecto de las variables temperatura y presión sobre las características del producto a obtener.

#### Condiciones de las pruebas

Equipo: Reactor Parr de 2 litros, cargado con 1300gr y agitación de 600rpm.

Aceite de soya: 0.05% como ácido oleico, 0.2 meq de valor de peróxido, I.I. de 127.7, 1.6 ppm de fosforo, 0.05% Ni como catalizador

Condiciones:	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Temperatura	204°C	204°C	106°C
Presión	45 psig	15 psig	45 psig

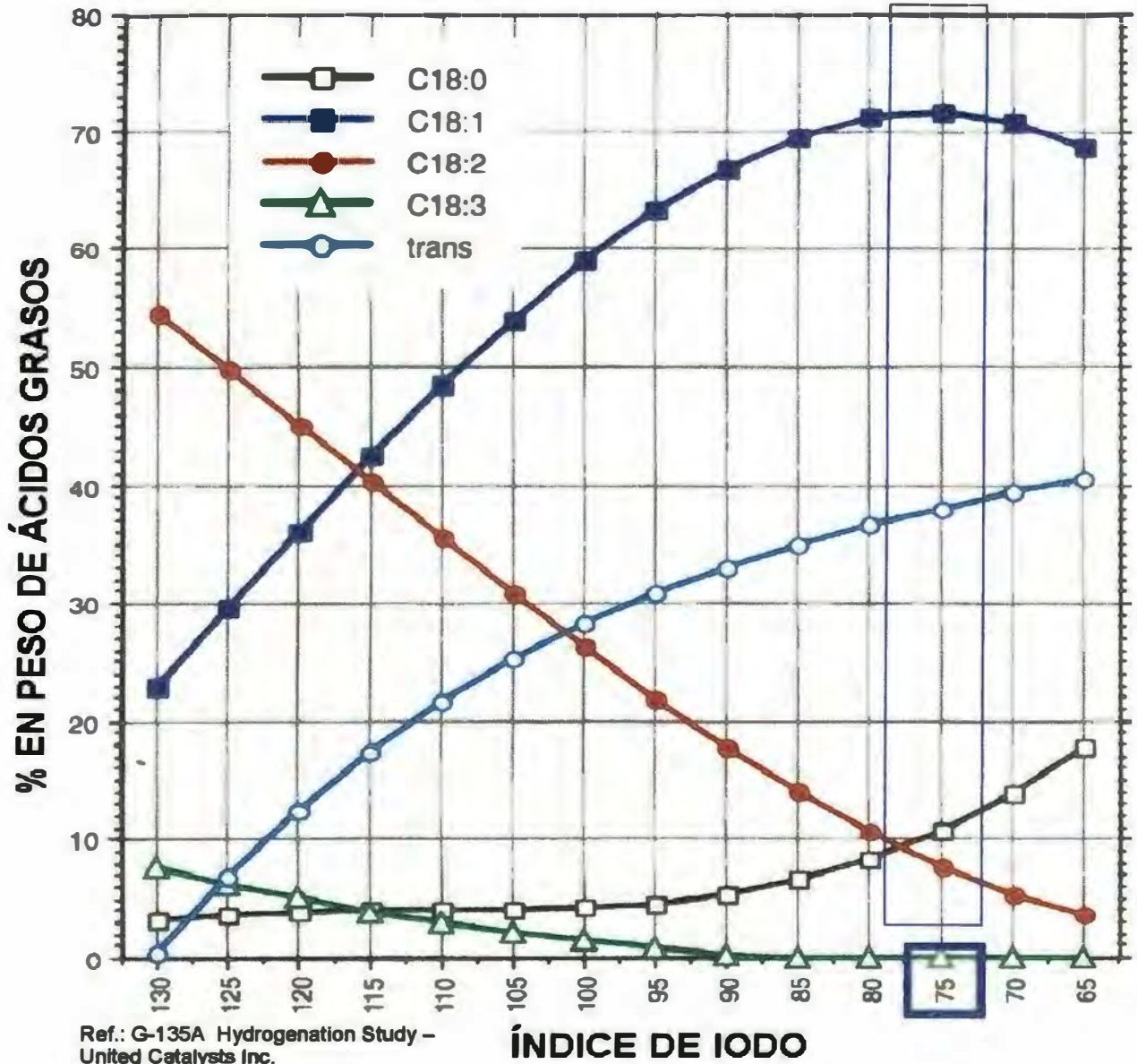
Gráfico N° 8: Prueba 1

**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**

**Alta temperatura**  
**204 °C**

**Alta Presión**  
**45 psig**

**Baja concentr. de cataliz.**  
**0.005 % Ni**

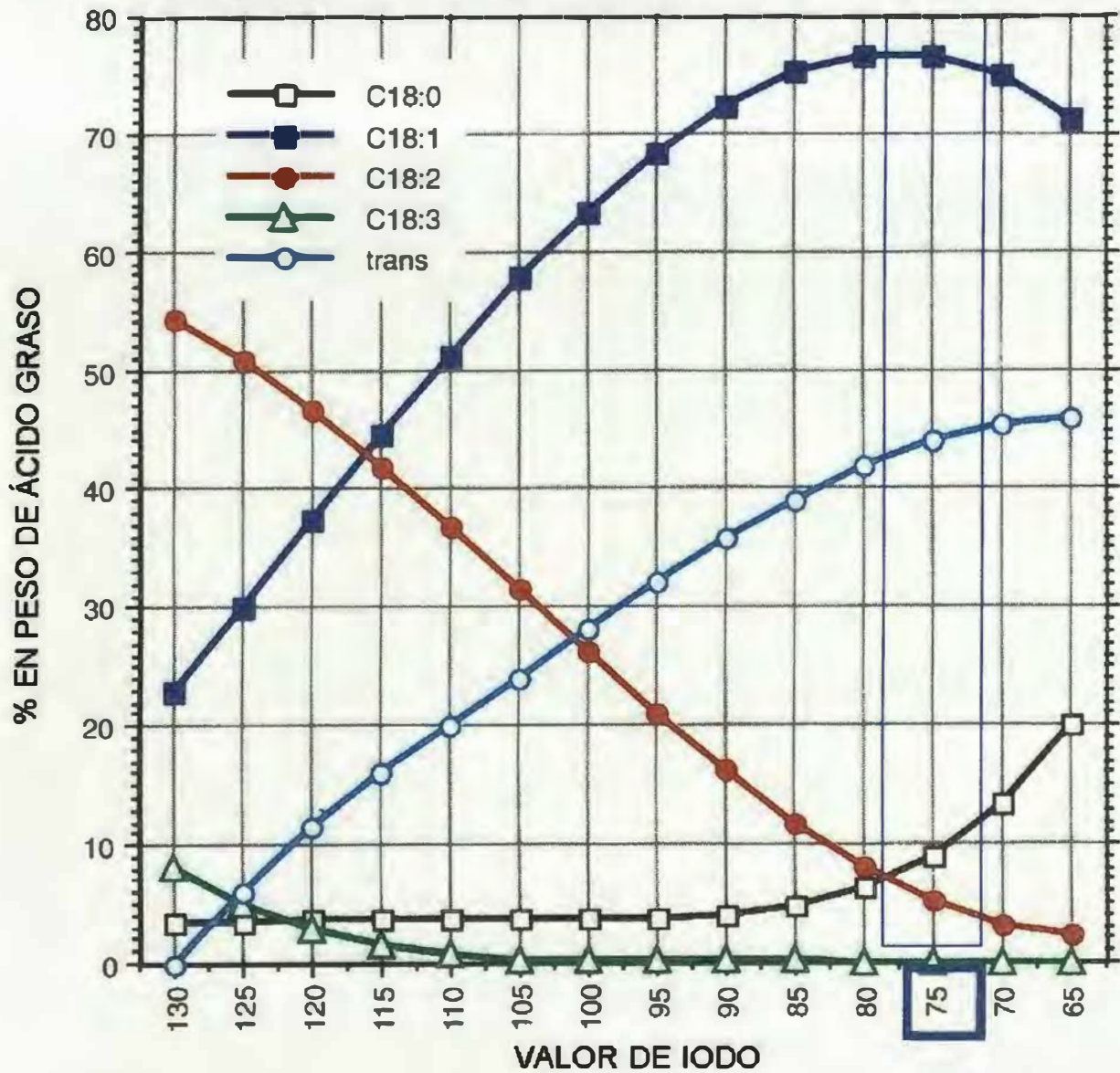


Se ha remarcado la zona de índice de yodo de 75, como referencia de los valores aproximados para una grasa a ser utilizada para margarina.



Gráfico N° 9: Prueba 2

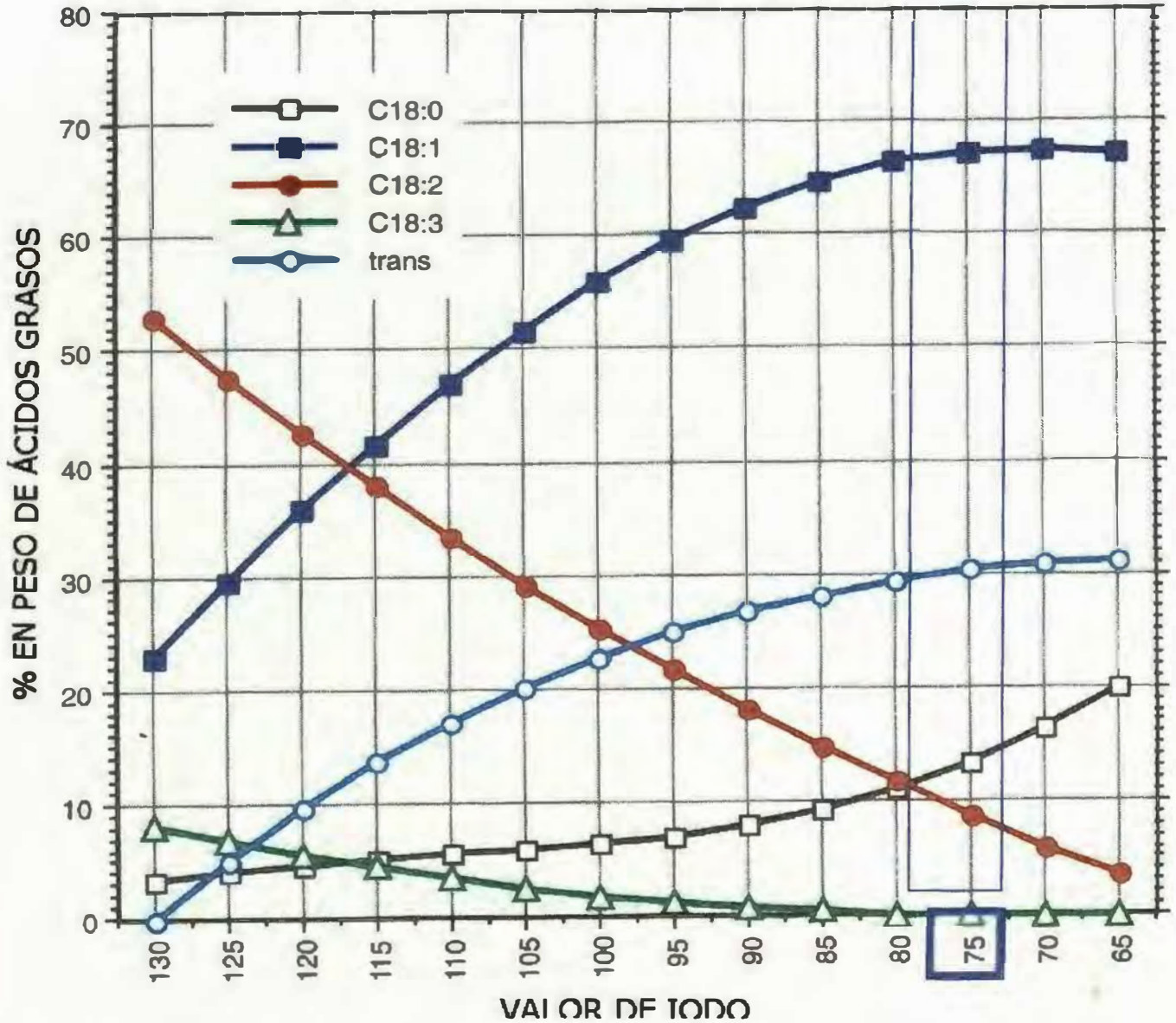
**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**  
**Alta temperatura**    **Baja Presión**    **Baja concentr. de cataliz.**  
**204° C**                    **15 PSIG**                    **0.005% Ni**



Se ha remarcado la zona de índice de yodo de 75, como referencia de los valores aproximados para una grasa a ser utilizada para margarina.

Gráfico N° 10: Prueba 3

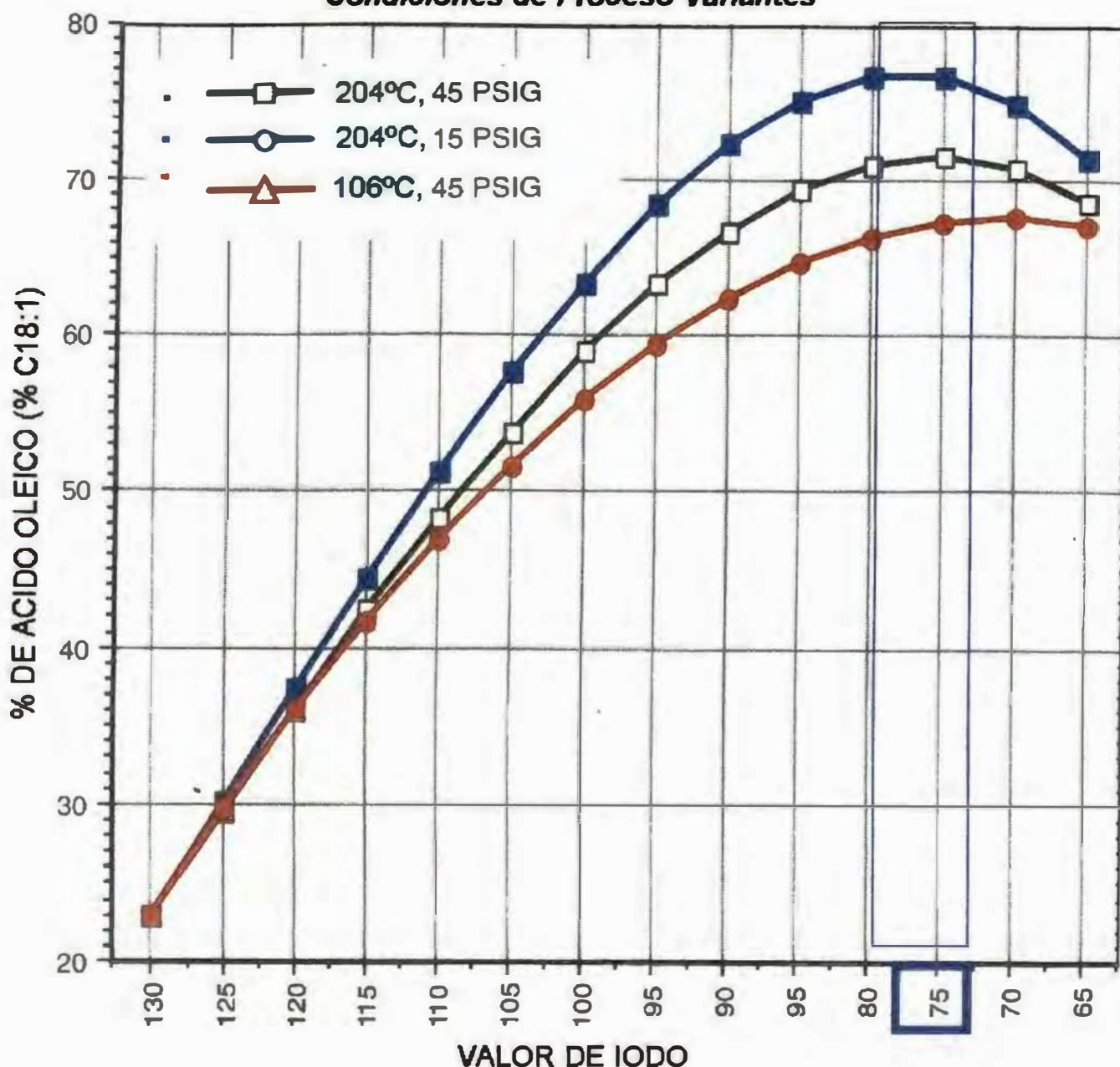
**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**  
**Baja temperatura**    **Alta Presión**    **Baja concentr. de cataliz.**  
**106° C**                    **45 PSIG**                    **0.005% Ni**



Se ha remarcado la zona de índice de yodo de 75, como referencia de los valores aproximados para una grasa a ser utilizada para margarina.

Gráfico N° 11

**HIDROGENACION DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**  
**Formación de Ácido Oleico**  
**Condiciones de Proceso Variantes**



Los gráficos en donde se sobreponen los ácidos grasos individuales (gráficos 11, 12 y 13) muestran que el aumento de la temperatura o la reducción de la presión, incrementan el contenido de ácido oleico y reduce el contenido de ácido linolénico mientras se produce menos ácido esteárico.

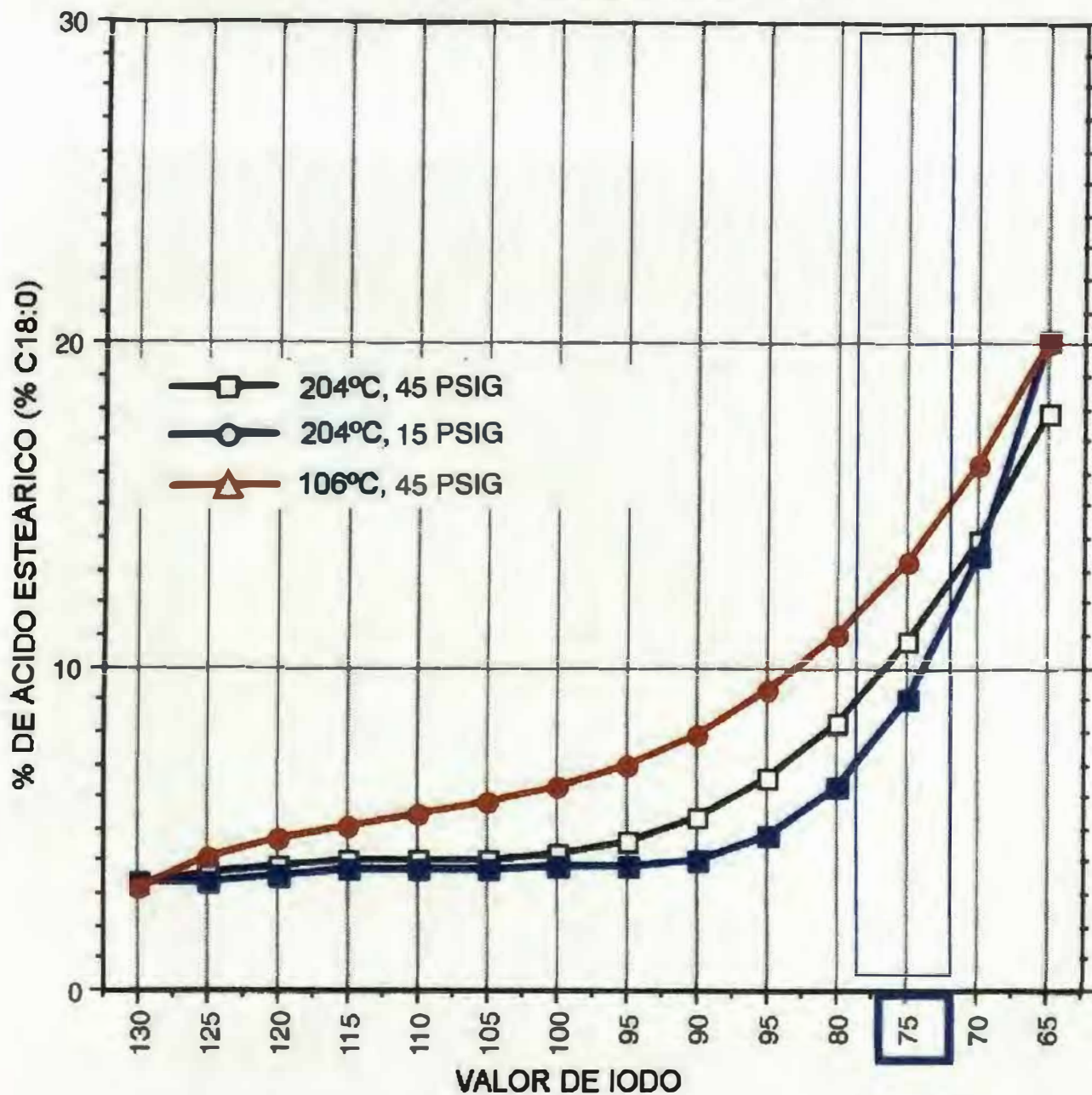
La velocidad de reducción de ácido linolénico parece ser más rápida a alta temperatura (204°C) y baja presión (15psig), condiciones con niveles de C18:3 debajo del 2% al llegar a un índice de yodo de 115.



Gráfico N° 12

**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**

**Formación de Ácido Esteárico**  
**Condiciones de Proceso Variantes**



Se observa que a baja temperatura y alta presión, se obtiene mayor producción de esteárico.



Gráfico N° 13

**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**  
**Disminución del ácido Linoleico**  
**Condiciones de Proceso Variantes**

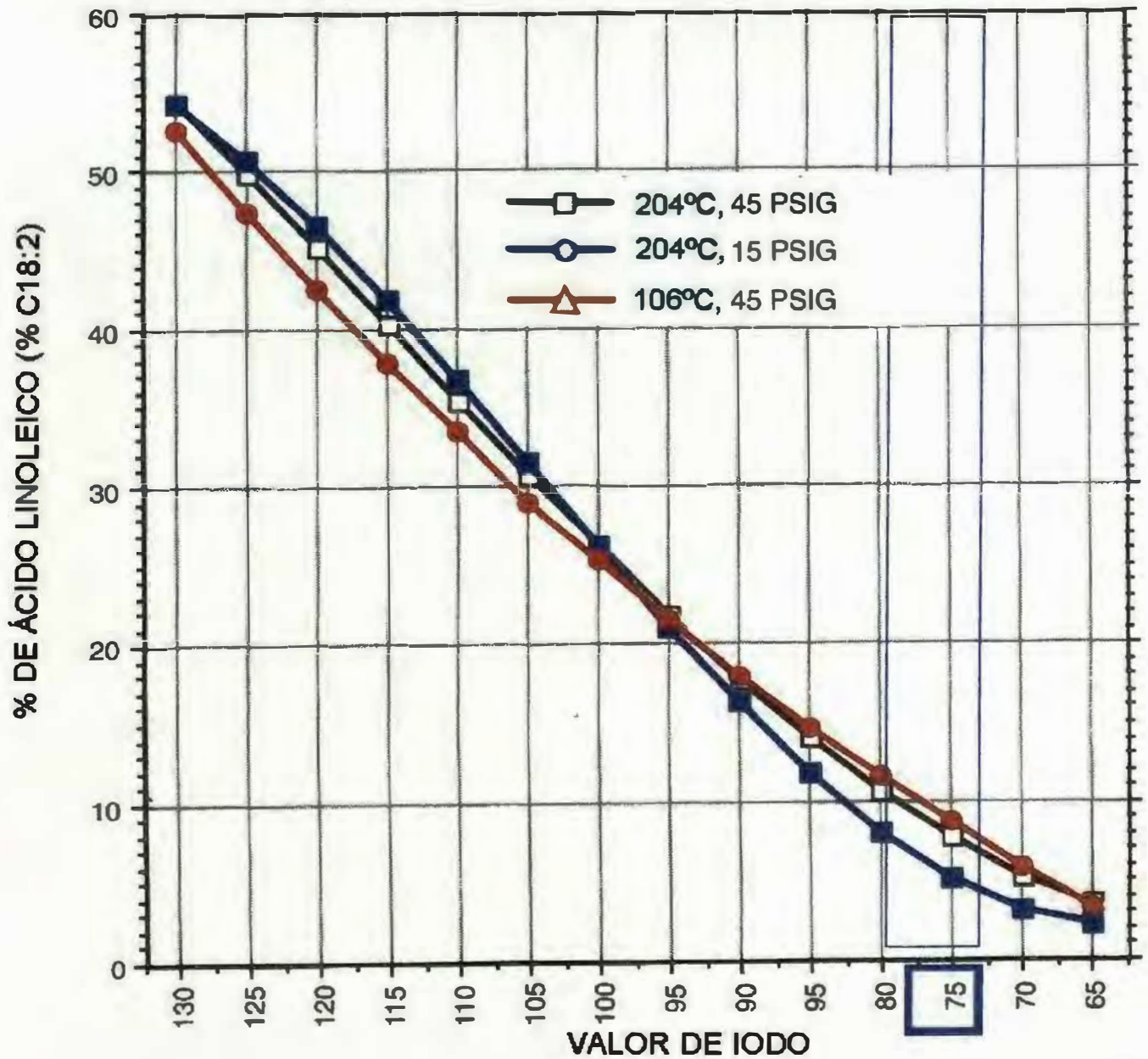


Gráfico N° 14

**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**  
**Disminución de Ácido Linolénico**  
**Condiciones de Proceso Variantes**

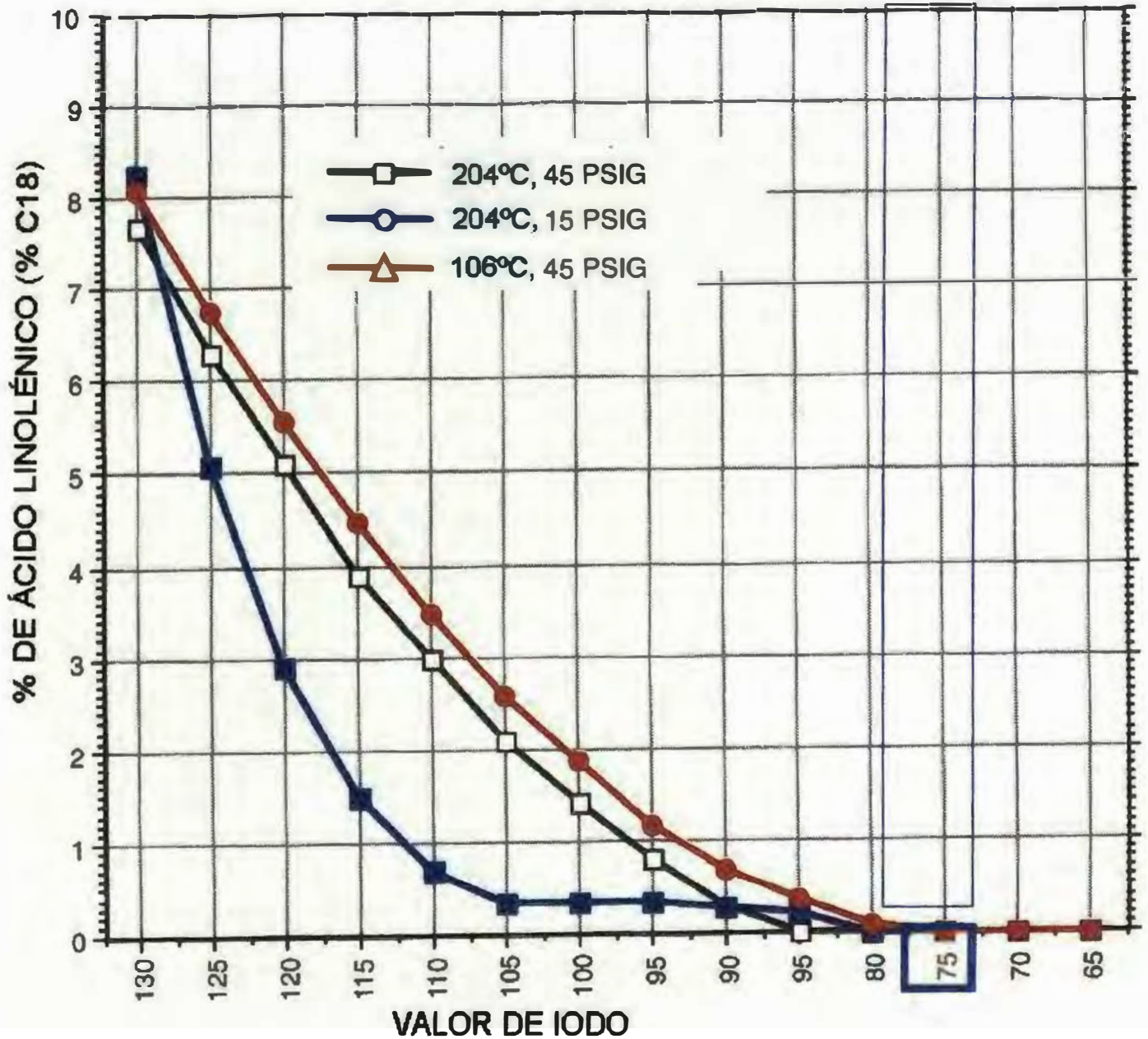




Gráfico N° 15

**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G135A**

**Formación de Ácidos Grasos Trans**

**Condiciones de Proceso Variantes**

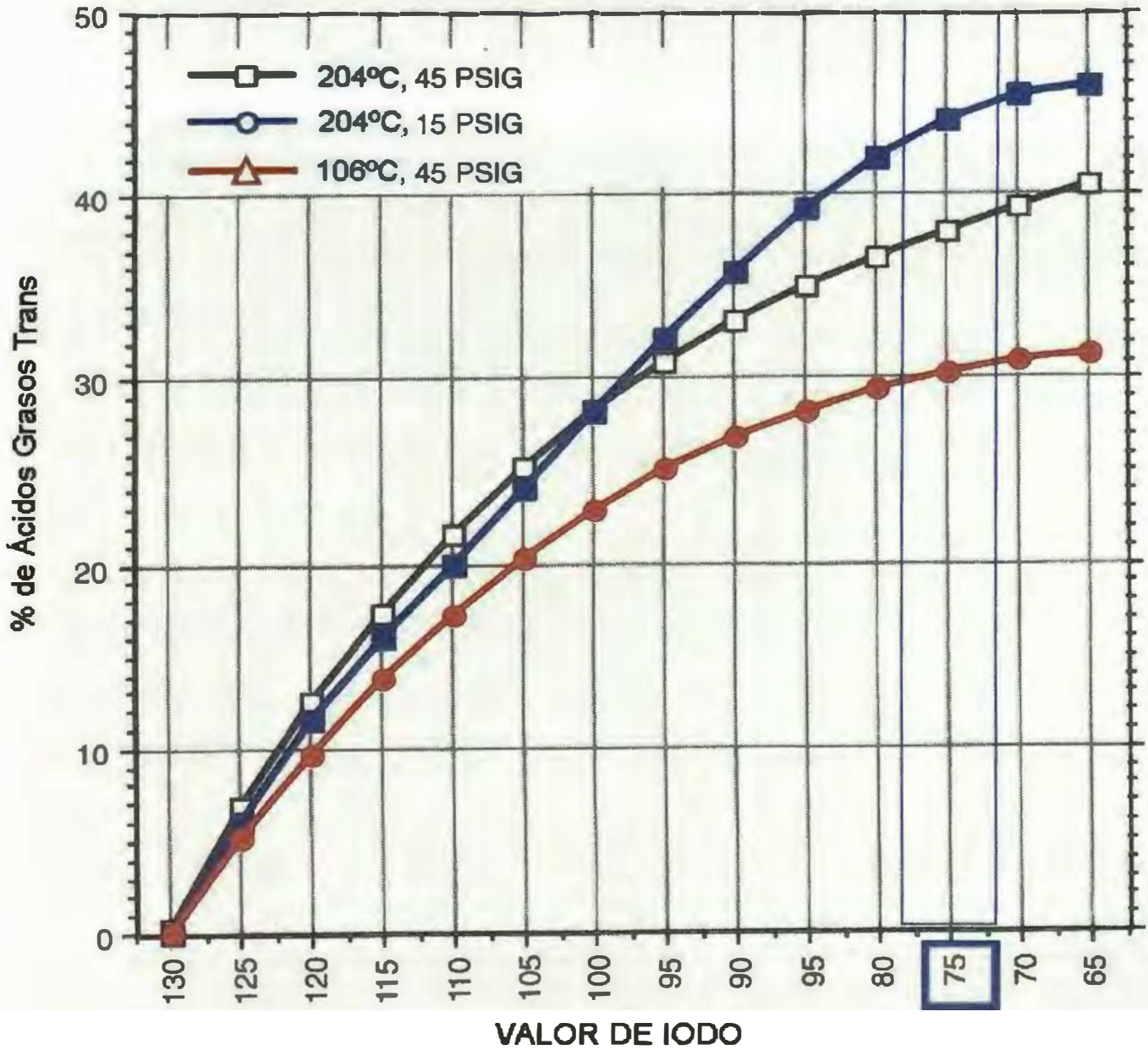
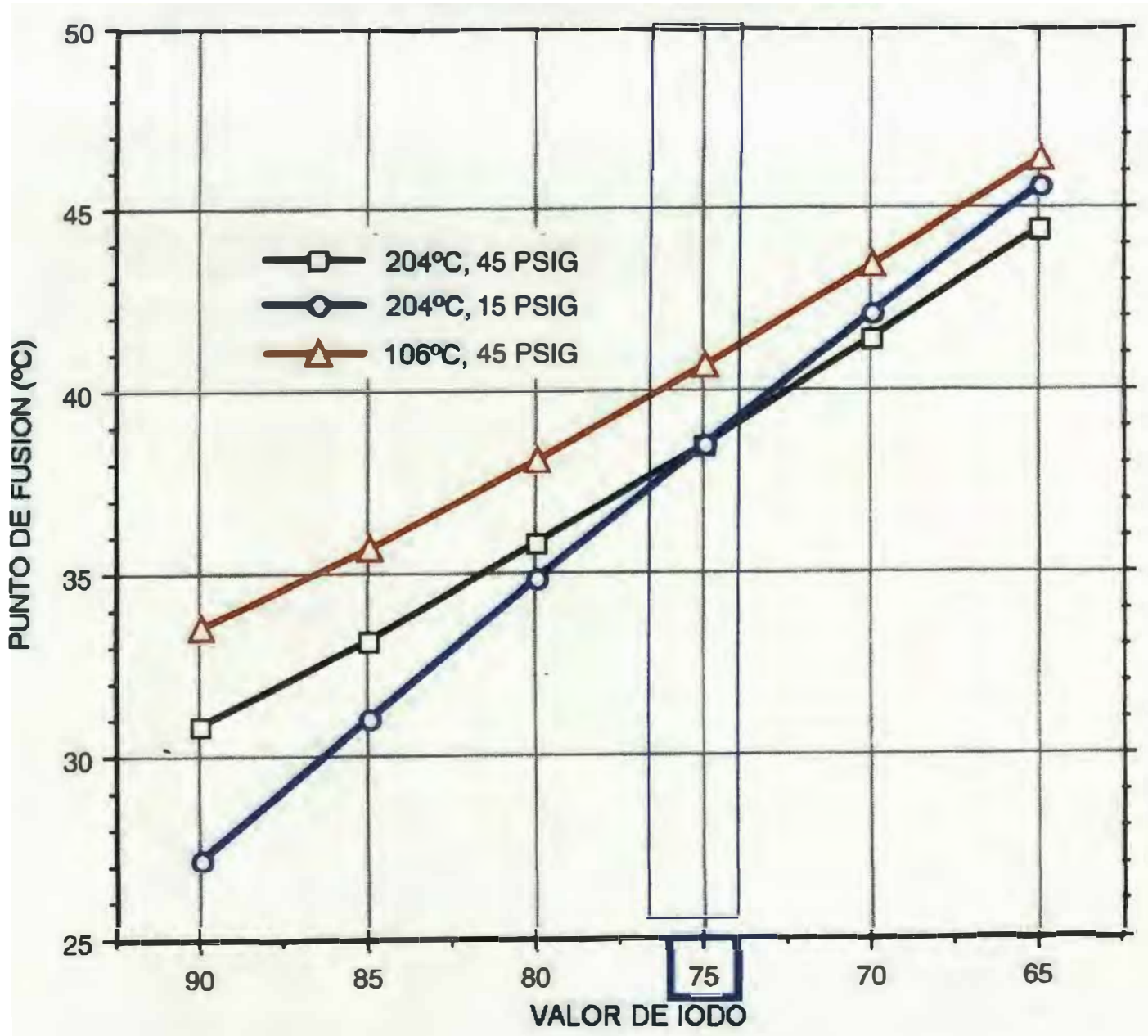


Gráfico N° 16  
**HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE SOYA CON CATALIZADOR G153A**  
**Punto de Fusión**  
**Condiciones de Proceso Variantes**



Se observa que a menor temperatura y baja presión, se obtiene mayor punto de fusión, que es correspondiente a la mayor producción de esteárico (graf.: 12)

Lo anterior nos ilustra de variación de la composición química durante la hidrogenación, que resulta en un producto final de propiedades determinadas, y sirve como base para realizar ajustes a las condiciones de operación.

En estas operaciones, se toma como referencia las propiedades físicas como punto de fusión, índice de sólidos e índice de yodo.

El punto de fusión y el índice de sólidos están relacionadas, para el caso de una margarina, con la sensación que deja la margarina en el paladar, como el fundirse rápidamente y no dejar sensación grasosa. En caso de mantecas, se relaciona con la capacidad de manteca de integrar aire durante el amasado, lo cual va a ayudar al crecimiento de la masa en el horneado.

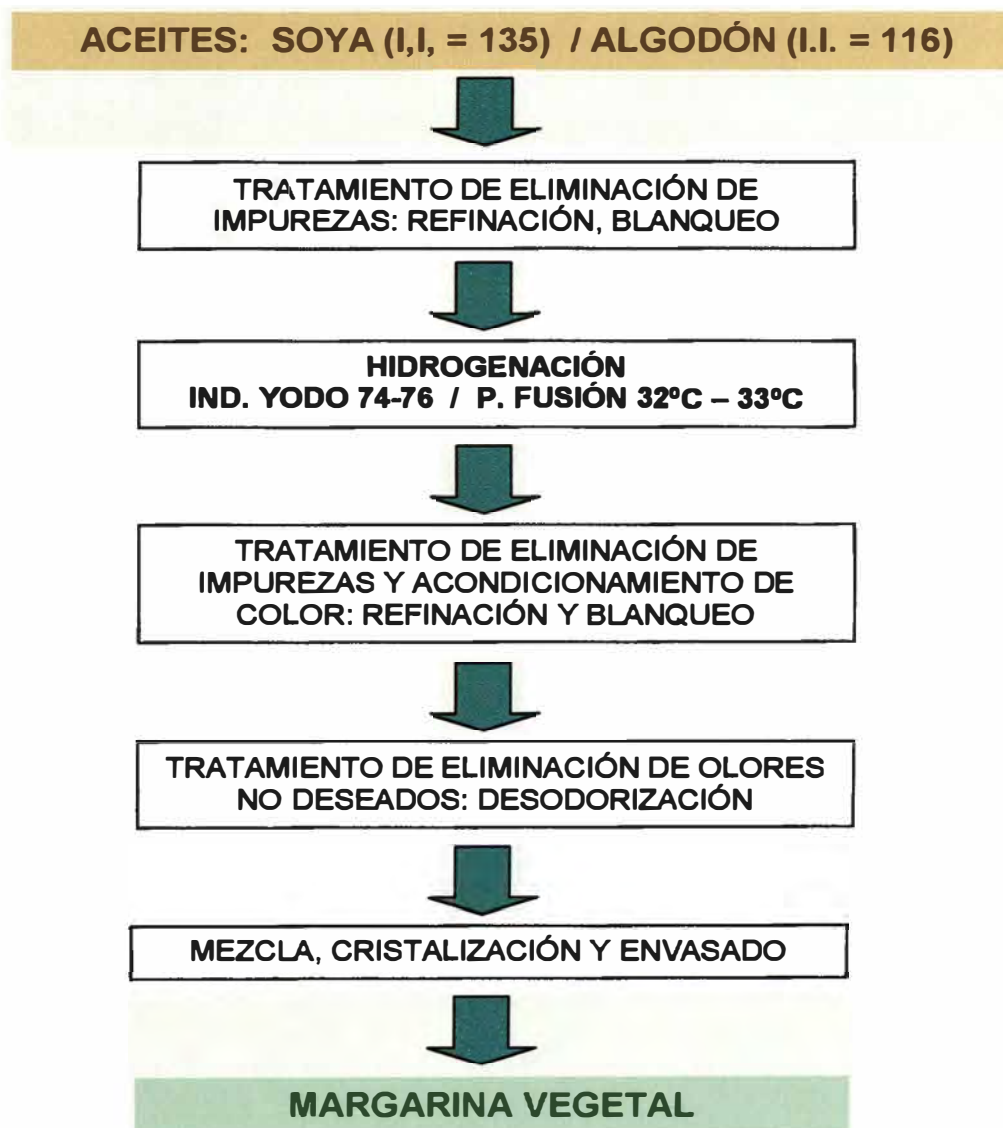
El índice de yodo es un índice de la estabilidad del producto a la oxidación (enranciamiento).

#### 1.4. La hidrogenación de aceites comestibles en el Perú.

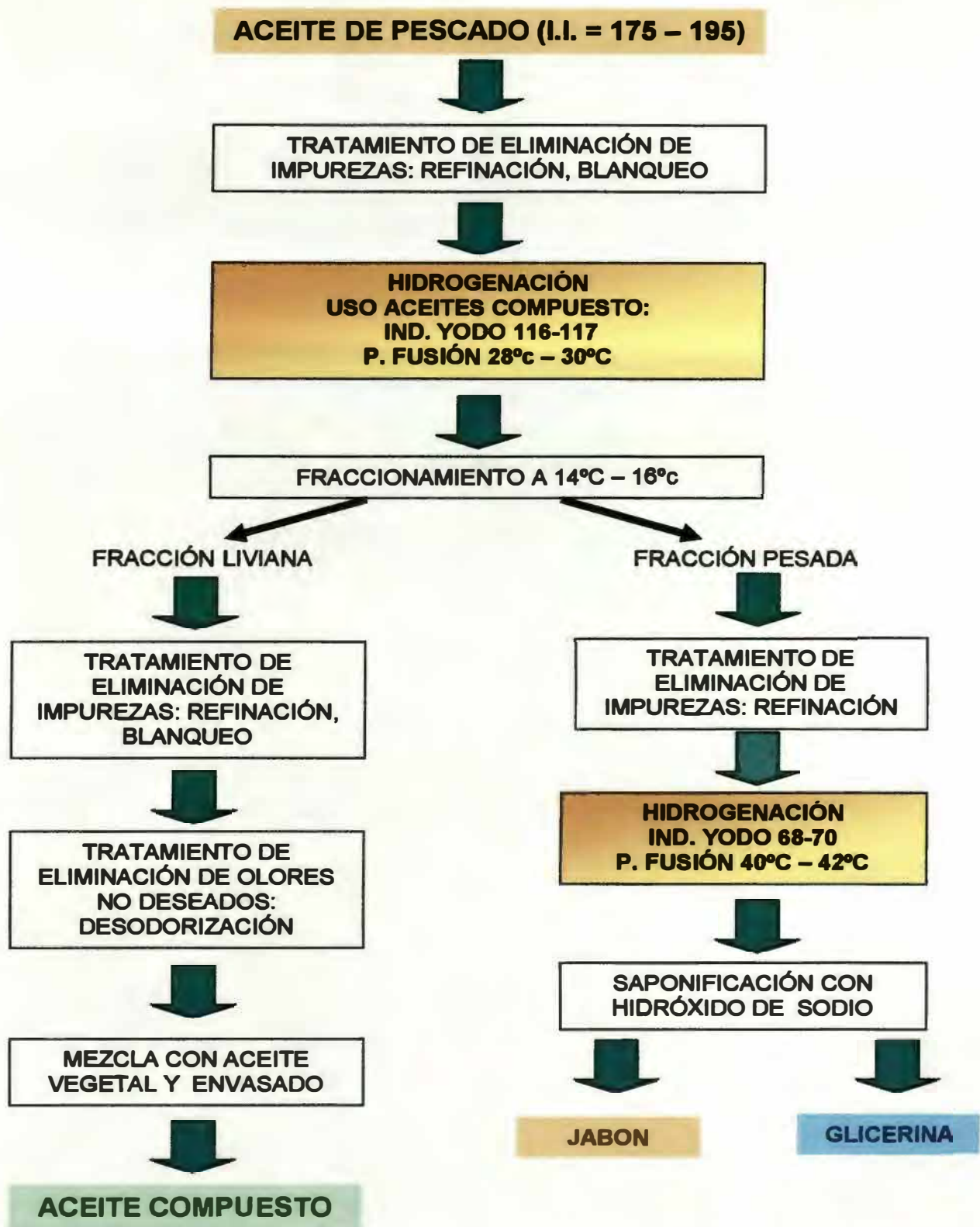
En nuestra país, los aceites que mayormente se hidrogenan son el aceite de algodón, el aceite de soya y el aceite de pescado.

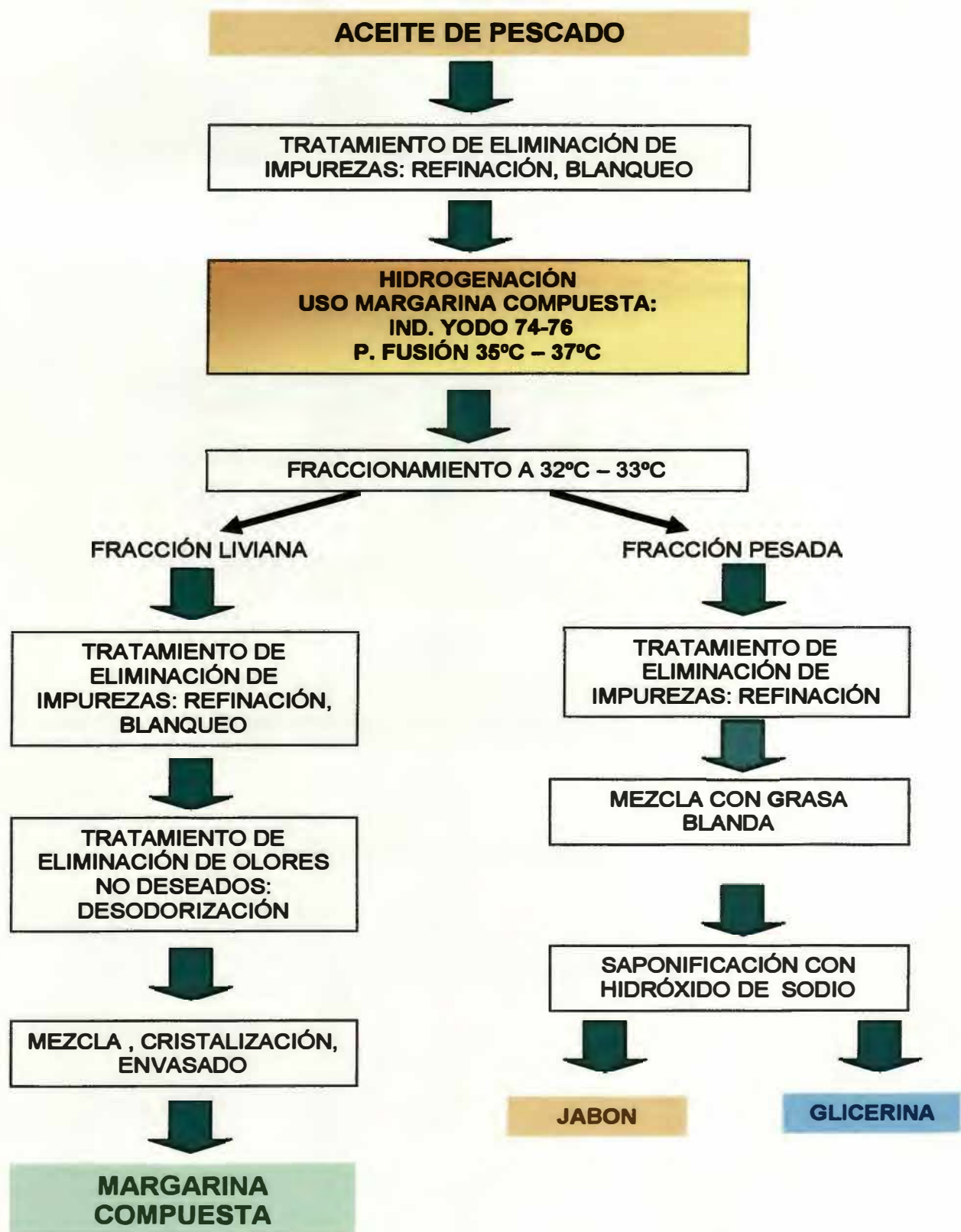
##### 1.4.1 Esquemas de procesos

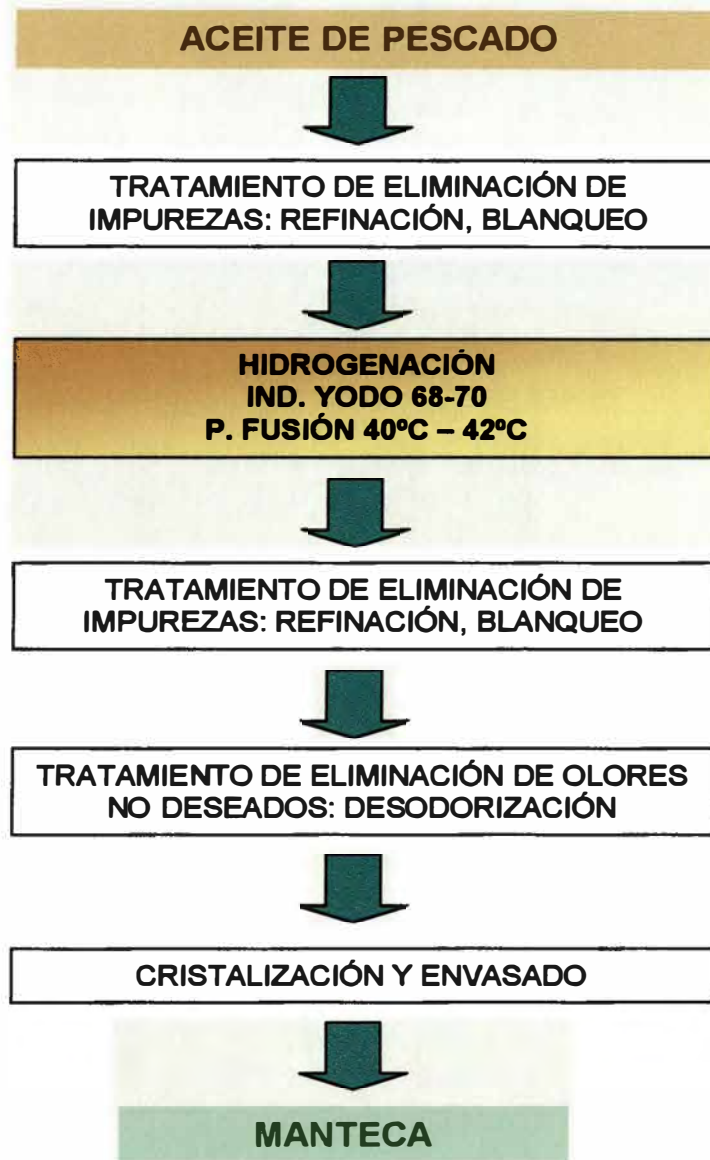
Los siguientes esquemas presentan los procesos involucrados para productos finales obtenidos via la hidrogenación de aceites comestibles.













Cada una de estas rutas tienen sus propias especificaciones para el proceso de hidrogenación, siendo las variables temperatura, presión y % de catalizador a emplear. Las correspondiente al nivel de agitación están determinadas por el tipo de reactor empleado, por lo que no es una variable a manipular.

#### 1.4.2 Procedimientos de hidrogenación

Generalmente, como se requiere que una grasa base para margarina debe asemejarse en lo posible a las características de la mantequilla (rápido y completo derretimiento en la boca), se trabaja la hidrogenación a condiciones selectivas: baja presión de hidrógeno, alta concentración de catalizador y alta temperatura.

A la inversa, para una grasa a utilizar como manteca de repostería, se utilizan condiciones, poco selectivas, esto es: alta presión de hidrógeno, baja concentración de catalizador y baja temperatura.

Se presenta a continuación dos procedimientos:

- Obtención grasa para margarina de un Índice de Yodo de 77 – 78, y Punto de Fusión 31°C – 32°C, a partir de aceite de algodón refinado y blanqueado.
- Obtención de grasa para manteca de un Índice de Yodo de 77 – 78, y Punto de Fusión 36°C – 37°C, a partir de aceite de pescado refinado y blanqueado

## **HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE ALGODÓN BASE DE MARGARINA**

1. Cargar aceite de algodón refinado y blanqueado.
2. Secar con vacío a temperatura de 110°C a 120°C.
3. Agregar catalizador de níquel en un equivalente de 0.023% en peso de Ni.
4. Seguir con vacío 15 minutos adicionales para eliminar el oxígeno ingresado.
5. Cerrar el sistema de vacío e iniciar el ingreso de hidrógeno.
6. Controlar la presión de hidrógeno en 0.5kg/cm<sup>2</sup> a 1.0kg/cm<sup>2</sup>.
7. Calentar hasta una temperatura de 165°C.
8. Mantener la temperatura de hidrogenación a 165°C.
9. Detener la hidrogenación al llegar a un IR<sub>45</sub> de 1.4607.
10. Purgar el hidrógeno y enfriar a 90°C.
11. Descargar y filtrar hacia el tanque de almacenamiento.

## **HIDROGENACIÓN DE ACEITE DE PESCADO BASE DE MANTECA**

1. Cargar aceite de pescado refinado y blanqueado.
2. Secar con vacío a temperatura de 110°C a 120°C.
3. Agregar catalizador de níquel en un equivalente de 0.070% en peso de Ni.
4. Seguir con vacío 15 minutos adicionales para eliminar el oxígeno ingresado.
5. Cerrar el sistema de vacío e iniciar el ingreso de hidrógeno.
6. Controlar la presión de hidrógeno en 1.8kg/cm<sup>2</sup> a 2.0kg/cm<sup>2</sup>.
7. Dejar que la temperatura de reacción se eleve hasta 150°C.
8. Mantener la temperatura de hidrogenación a 150°C..
9. Detener la hidrogenación al llegar a un IR<sub>45</sub> de 1.4598.
10. Purgar el hidrógeno y enfriar a 90°C.
11. Descargar y filtrar hacia el tanque de almacenamiento.

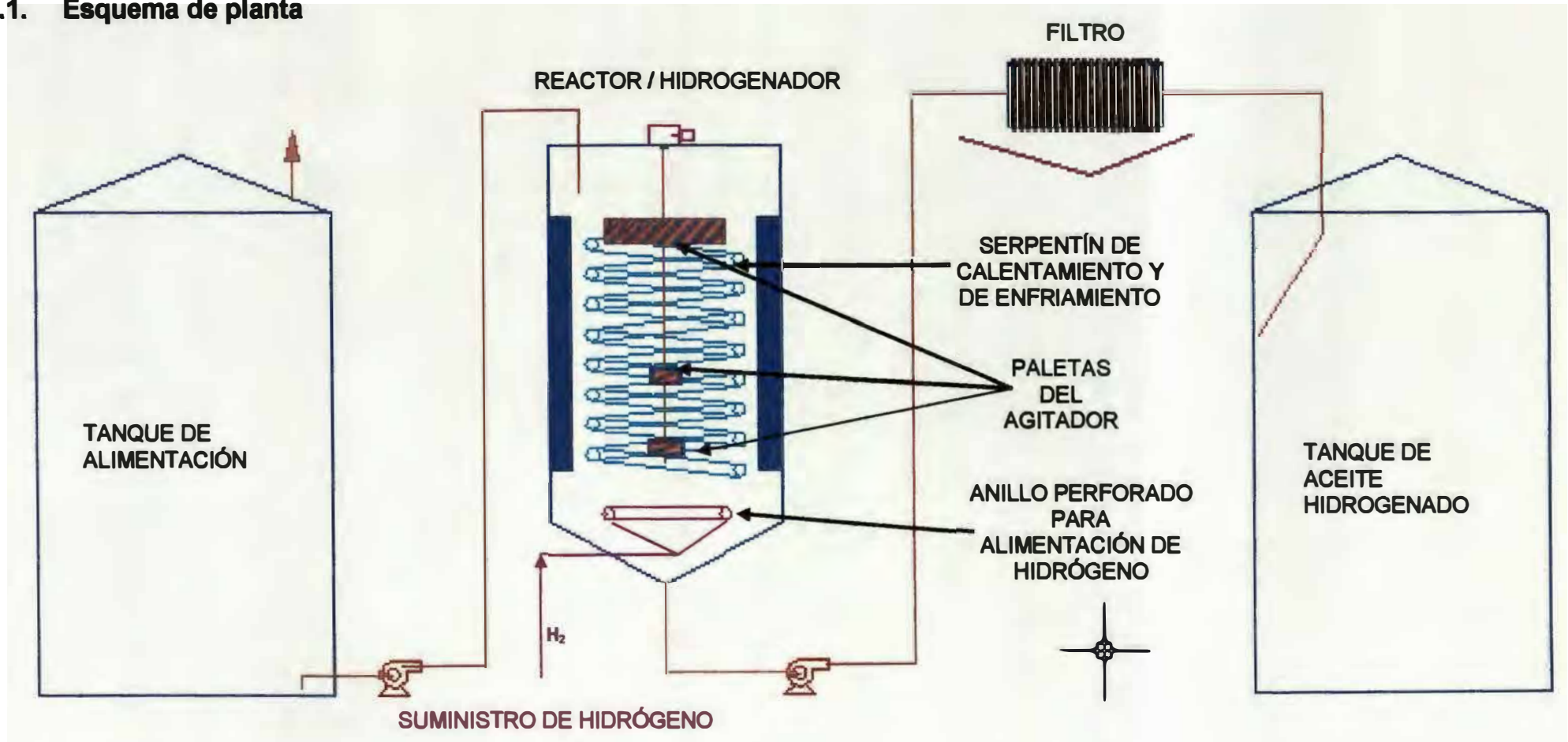
Para en caso del aceite de pescado se utiliza mayor catalizador debido a su alto índice de instauración inicial (I.I. = 175 a 195), pero su presión y su temperatura son menos selectivas que en el caso de la margarina.



## 2. EQUIPO DE HIDROGENACIÓN POR LOTES

La mayoría de las plantas de hidrogenación, hoy en operación, son en forma por lotes (batch) o con sistemas semi-continuos. En este caso se desarrollará el sistema por lotes.

### 2.1. Esquema de planta



## **2.2. Equipos principales**

### *Reactor*

Es la unidad más importante en el proceso de hidrogenación, ya que debe propiciar el mejor contacto posible entre las tres fases presentes.

Dentro del reactor, el tipo de agitación depende del tipo de impulsor y del nivel de llenado que permita una agitación que integre la parte superior donde podría acumularse hidrógeno sin reaccionar.

En este sentido es crucial el comportamiento del sistema de agitación, uno de cuyos componentes, la altura en que se ubique los impulsores, puede determinar que la velocidad de hidrogenación sea rápida (mayor velocidad de contacto entre los componentes) o lenta (menor velocidad de contacto entre los componentes).

Como referencia se tiene la experiencia de un reactor de hidrogenación cuyo capacidad de carga estaba establecida para 10 toneladas de aceite, y su tiempo de hidrogenación estaba en un promedio de 4 horas. En un momento dado, por equivocación del operador, se le cargó con 12 toneladas, y al momento de hidrogenar, el tiempo de hidrogenación fue de 2 horas.

El análisis posterior, indicó que los impulsores superiores estaban colocados encima del nivel de las 10 toneladas, por lo que al cargar 12 toneladas se pudo tener una mejor agitación y mejor reacción. En consecuencia, las posteriores cargas para este reactor se estableció en 12 toneladas de aceite.

### *Sistema de suministro de hidrógeno*

Como la presión interviene en la solubilidad del hidrógeno en el aceite, el sistema debe ser capaz de mantener una presión de reacción constante.

### *Sistema de transferencia de calor*

Debido a la alta exotérmicidad de la reacción, es necesario un enfriamiento eficiente para mantener una temperatura estable.

### *Sistema de Filtración*

Cuando el punto final es alcanzado, el hidrógeno residual es venteado al exterior y el aceite hidrogenado es enfriado y filtrado para separar el catalizador de níquel.

El tipo de filtro determina hasta qué punto el catalizador podrá ser reutilizado. Comúnmente, la mayoría de los filtros utilizados son del tipo placas y marcos, normalmente en combinación con filtros de pulido tipo bolsa. Las plantas más modernas operan con filtros horizontales semiautomáticos, filtros de placas verticales, o filtros completamente automáticos.

El aceite a la salida del filtro tiene normalmente entre 1 y 10ppm de níquel. El contenido de níquel residual, normalmente necesita ser reducido hasta niveles de 0,1 ppm. Esto se puede conseguir añadiendo en la sección de pos-blanqueo ácido cítrico diluido (0,01%) en combinación con 0,5% de tierra decolorante y a continuación el aceite puede ser desodorizado.

### 2.3. Costos de Producción en la Hidrogenación

El siguiente cuadro es referencial en cuanto a los costos estimados para el proceso de hidrogenación:

Cuadro N° 12: Costos de Producción en la Hidrogenación

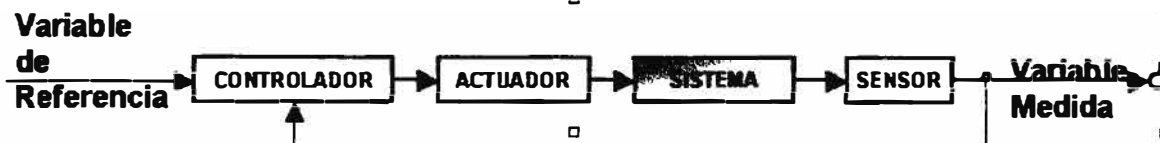
Ej.: Aceite de soya de Índice de Iodo 130 hidrogenado a Índice de Iodo de 75	
<b>Capacidad de la planta</b>	<b>100TPD</b>
Días de trabajo: 330 días por año	33,000 T/año
<b>Inversiones:</b>	
Equipos de hidrogenación	800,000 \$ US
Edificios	400,000 \$ US
Servicios	200,000 \$ US
Instalación / Ingeniería	600.000 \$ US
Inversión total	2'000,000 \$ US
<b>Costo de inversión por Tonelada: (amortización 5 años)</b>	<b>12.1 \$ US/ T</b>
<b>Costo de operación:</b>	
Mantenimiento anual	30.000 \$ US
Mano de obra (9 hombres) 40.000 \$ US/año por hombre	120.000 \$ US
Reactivos para la hidrogenación:	
- Catalizador Ni: 10 \$ US/kg (0.6 kg/T) (Contenido Ni 25%)	198,000 \$ US
- Hidrógeno: 0.3 \$ US/m3 (Caída I.I.= 55) (1 m3/ I.I)	544,500 \$ US
Pos-Refinación:	
- Ácido cítrico (0.5 kr/T) (1.5 \$ US/kg)	24,750 \$ US
- Tierra decolorante (1 kg/T) (0.5 \$ US/kg)	16,500 \$ US
- Pérdidas de aceite (1 kg/T) (0.7 \$ US/kg)	23,100 \$ US
Utilidades:	
- Electricidad (70 kWh/T) (0.07 \$ US/Kw)	161,700 \$ US
- Vapor (100 kg/T) (20 \$ US/T)	66,000 \$ US
- Agua, aire, nitrógeno: 0.5 \$ US/T	16,500 \$ US
Costos ambientales:	
- Recuperación catalizador 0.3 \$ US/kg (Ni 8%)	-17,820 \$ US
- Desalajo de tierras 0.1 \$ US/kg ((25-30% aceite)	4,620 \$ US
	1'187,850 \$ US
Gastos Generales: 5%	69,392 \$ US
Costo Total de la operación	1'247,242 \$ US
<b>Costo de operación por tonelada</b>	<b>37.8 \$ US/T</b>
Costo Total de la operación	1'247,242 \$ US
<b>Costo total de producción: Incluye Costo de inversión</b>	<b>50 \$ US/T</b>
Costo total de producción (incluyendo costo de inversión)	0.1575 soles/kg
Costo por litro de aceite hidrogenado (0.8kg/litro)	0.126 soles/litro

### 3. INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE PROCESO

El recurso característico de la industria moderna lo constituye el control automático de procesos, ya que existe la necesidad económica de operar los procesos industriales tan cerca como sea posible de las especificaciones técnicas con un mínimo consumo de energía, mientras no se incumpla la seguridad y las restricciones ambientales.

En el presente trabajo se presenta en forma esquemática el sistema de control automático de proceso enfocado a la hidrogenación de aceites comestibles en reactores por lotes.

Si se desea automatizar este tipo de proceso, nuestro enfoque se centraría en las variables, bajo el siguiente esquema de control:



El diseño del sistema de control tendría las siguientes fases:

1. Definición de objetivos .
2. Identificación de variables.
3. Selección del sistema de control
4. Diseñar la ley de control.
5. Especificar la instrumentación de control.

Se presenta a continuación el desarrollo de las tres primeras fases.

#### 3.1. Definición de objetivos

Considerando las características de la reacción de hidrogenación, se tiene que el objetivo del control será mantener la temperatura y la presión dentro de valores definidos hasta llegar al valor de hidrogenación deseado, que se mide mediante el valor del índice de refracción del producto.

#### 3.2. Identificación de variables

##### *Variables Controladas*

La temperatura de reacción será medida en forma continua, al igual que la presión de hidrogenación y del avance de la hidrogenación por medio del valor del índice de refracción, para lograr su control.

##### *Variables Manipuladas*

Se manipulará el flujo de vapor o agua para corregir alguna desviación de la temperatura, y el flujo de hidrógeno para el control de la presión y del punto final del proceso.

#### 3.3. Selección del sistema de control

En relación a la selección, es interesante anotar las siguientes leyes:

- a. *El mejor sistema de control es el más simple de todos los que pueden hacer el trabajo.*
- b. *El proceso debe ser comprendido antes de intentar controlarlo.*
- c. *Los niveles de líquidos deben ser siempre controlados.*

## Niveles

Se tratarán los niveles de definición de estructura de procesos y de definición de la estructura de control. No se tratará sobre la definición del tipo de controlador y la determinación de los valores de los parámetros de los controladores.

**1º Nivel:** *Definición de la estructura del procesos:* definición del diagrama de flujo que haga a la planta mas controlable.

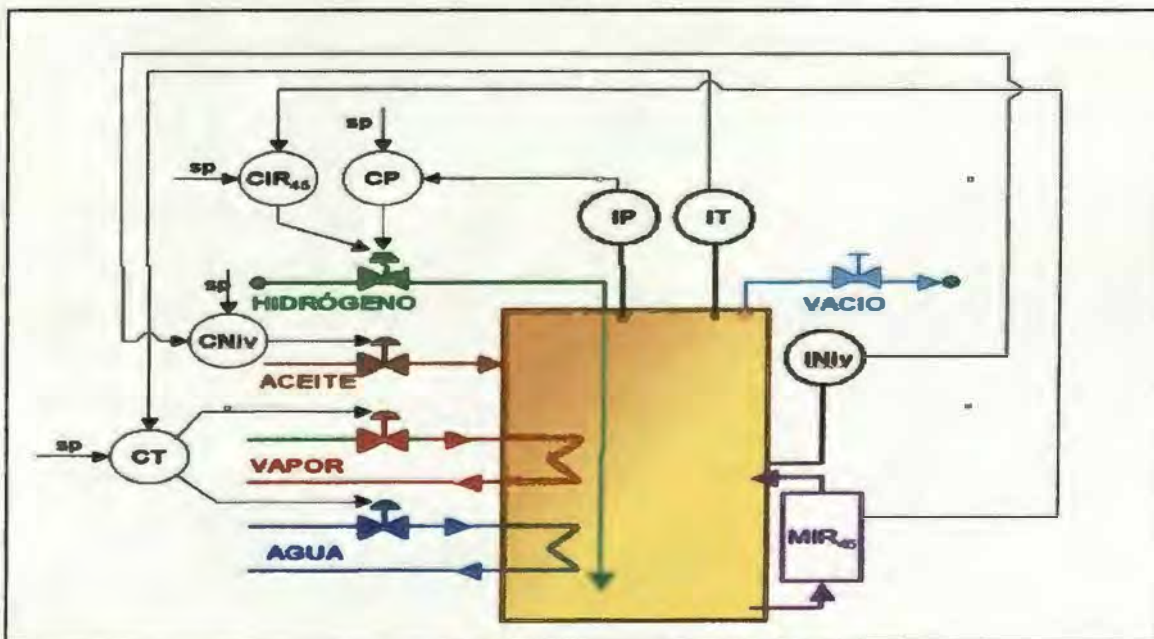
Considerando el esquema del equipo de hidrogenación por lotes de aceites comestibles, y los procedimientos de hidrogenación presentados, se puede definir el diagrama de flujo con el cual se logra el control del proceso de hidrogenación.

Se tiene así el siguiente diagrama y descripción de las operaciones secuenciales que se deben realizar para controlar el proceso.



**2º Nivel:** *Definición de la estructura de control:* determinación que variables deben controlarse y cuales deben manipularse y como deberán interconectarse.

El siguiente diagrama presenta un esquema de lazos de control posibles:





El indicador de nivel enviará la señal correspondiente al controlador de carga para actúe sobre la válvula de ingreso de aceite asegurando que la carga sea la correcta y la agitación sea la conveniente.

Se controlará la variable temperatura, cuyo sensor enviará la señal al controlador, el cual de acuerdo al set point establecido, manipulará la válvula de vapor de calentamiento o la válvula de agua de enfriamiento.

El control de la variable presión se logrará manipulando la válvula de ingreso de hidrógeno en base al set point de presión.

El punto final de hidrogenación será controlada cerrando la válvula de ingreso de hidrógeno en base a la lectura del analizador de índice de refracción (MIR<sub>45</sub>).

## **4. SEGURIDAD DE UNA PLANTA DE HIDROGENACIÓN**

En la operación de una planta química tiene que estar presente la seguridad en las operaciones que realiza el personal, sin desmedro de su salud y con cuidado del medio ambiente.

Un paso inicial básico para determinar el estado de seguridad es la realización del denominado Análisis de Riesgo.

### **4.1. Análisis de Riesgo**

El Análisis de Riesgo es realizado con el propósito de prevenir la ocurrencia de accidentes, y en caso de su ocurrencia, limitar las consecuencias de tales accidentes no solo para las personas (aspectos de seguridad y salud), sino también para el medio ambiente (aspectos ambientales).

El concepto de «peligro» es definido como todo agente de naturaleza química, física, microbiológica, etc. que puede causar daños. El «riesgo», por su parte, es la probabilidad de que esos daños se produzcan.

Se tiene así que la electricidad es un peligro que puede ser mortal, pero en el ambiente de una oficina el riesgo de que esto suceda es remoto, ya que los componentes donde circula la electricidad están aislados.

El análisis del riesgo se realiza para estimar cuanto daño o perjuicio se puede esperar de exposiciones a un determinado peligro, y ayuda para decidir si las consecuencias son lo suficientemente grandes para requerir mayor administración o mayor regulación.

### **4.2. Metodología**

#### **4.2.1 Pasos Básicos**

- **Identificación de los peligros:** análisis de todas las fuentes de peligro y su probabilidad de activación y las condiciones de proceso en las que se genera el peligro.

Para llevar a cabo la identificación de peligros hay que preguntarse tres cosas:

- ¿Existe una fuente de daño?
- ¿Quién (o qué) puede ser dañado?
- ¿Cómo puede ocurrir el daño?

- **Estimación de los riesgos:** componiendo la probabilidad de los peligros con la severidad o impacto de su ocurrencia.

Para cada peligro detectado debe estimarse el riesgo, determinando la potencial severidad del daño (consecuencias) y la probabilidad de que ocurra el hecho.

Para determinar la potencial severidad del daño, debe considerarse:

- partes del cuerpo que se verán afectadas
- naturaleza del daño, graduándolo desde ligeramente dañino a extremadamente dañino.

La probabilidad de que ocurra el daño se puede graduar, desde baja hasta alta, con el siguiente criterio:

- Probabilidad alta: El daño ocurrirá siempre o casi siempre
- Probabilidad media: El daño ocurrirá en algunas ocasiones
- Probabilidad baja: El daño ocurrirá raras veces

A la hora de establecer la probabilidad de daño, se debe considerar si las medidas de control ya implantadas son adecuadas. Los requisitos legales y los códigos de buena práctica para medidas específicas de control, también juegan un papel importante

- **Valoración de los riesgos:** evaluación del riesgo en función del impacto y consecuencias de la activación del peligro.

Los niveles de riesgos, forman la base para decidir si se requiere mejorar los controles existentes o implantar unos nuevos, así como la programación de las acciones

- **Reducción de los riesgos:** mediante las medidas de seguridad planteadas, tanto para la reducción de la probabilidad como para mitigar los efectos de la ocurrencia.

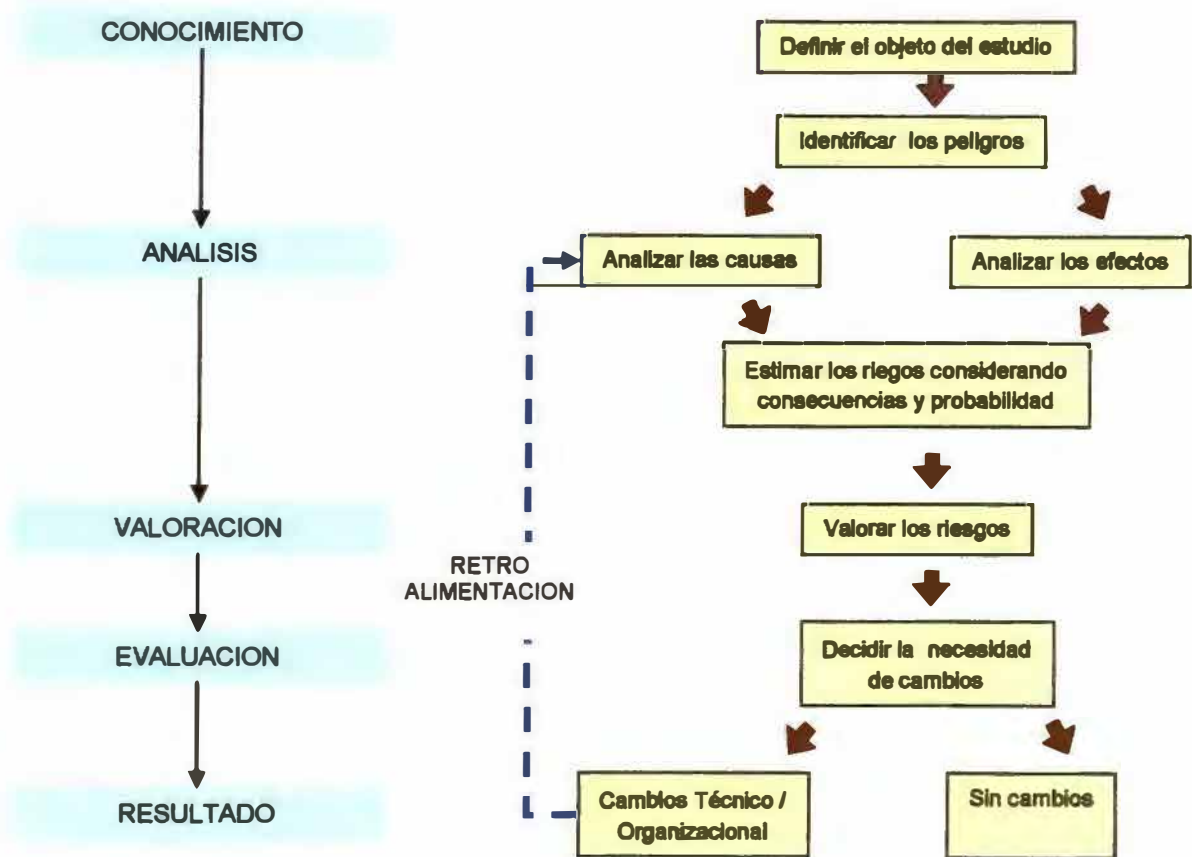
La aplicación de estos pasos llevará a la determinación de:

- la probabilidad que ocurran accidentes por fuga, incendio, explosión;
- los posibles radios de afectación fuera de las instalaciones correspondientes;
- la severidad de la afectación en los distintos radios;
- las medidas de seguridad a implantar para prevenir que ocurran los accidentes;
- el Programa para la Prevención de Accidentes en caso de que ocurra un accidente.

La aplicación de esta metodología deberá ser continua, a cada cambio dentro de la planta, se deberá actualizar el estudio de riesgos y reevaluar las prioridades de atención a los riesgos (retroalimentación).

El siguiente esquema visualiza la metodología a emplear:

## PROCEDIMIENTO GENERAL



### 4.2.2 Criterios

En la evaluación del riesgo de la ocurrencia de los peligros se tendrá en consideración:

- La causalidad
- La seguridad.
- La protección del medio ambiente.
- La extensión del riesgo
- La temporalidad del riesgo
- La magnitud del riesgo

El cuadro siguiente da un método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo a su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas.

		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Una referencia importante para garantizar la seguridad de las instalaciones y operaciones de una planta de hidrogenación, es el cumplimiento de las normas de seguridad y de los códigos internacionales referidos al hidrógeno en forma específica o a operaciones similares, como por ejemplo la norma sobre los establecimientos de venta de gas natural, ya que podemos asimilar el gas hidrógeno al gas natural en cuanto a su peligrosidad y comportamiento.

### **4.2.3 Base Legal y Técnica**

#### **Normas Legales**

- Decreto Ley N° 26221 – Ley Orgánica de Hidrocarburos.
- Decreto Supremo N°. 015-2006-EM - Reglamento para la protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos.
- Decreto Supremo N° 006-2005-EM - Reglamento para la instalación y operación de Establecimientos de venta al público de gas natural vehicular (GNV).
- Reglamento Nacional de Construcciones

#### **Códigos Internacionales:**

- NFPA 1: Fire Prevention Code.
- NFPA 10: Standard for Portable Fire Extinguishers.
- NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code.
- NFPA 50 A: Code for Motor Fuel Dispensing Facilities and Repair Garages.
- NFPA 70: National Electrical Code.
- NFPA 50 A: Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites

### **4.3. Identificación de los peligros**

#### **4.3.1 Fuentes de peligro**

Los peligros pueden tener causas naturales u originadas por la acción del ser humano.

En relación a las causas naturales, por las características geológicas de la zona en que se ubique la planta, se podría presentar los siguientes peligros naturales:

- Terremotos
- Tsunamis (maremotos)

En relación a los peligros relacionados con el accionar del ser humano, el gas hidrógeno, por sus características inflamables, puede formar mezclas explosivas con el aire, y además en espacios confinados desplaza al oxígeno disponible para respirar. En consecuencia, el control de su almacenamiento y manipuleo es crítico, pudiéndose presentar los siguientes tipos de peligros inherentes a la manipulación de los combustibles:

- Fuga, por falla de los equipos.
- Incendio por la probabilidad de concurrencia eventual del triángulo: combustible (líquido o gas), oxidante (aire) y fuente de ignición (chispa interna o fuego externo).

- Explosión, por acumulación de vapores o gases inflamables a una concentración con el aire dentro de los límites de explosividad y ésta mezcla entra en contacto con una chispa, llama abierta o superficie suficientemente caliente.

Otro peligro relacionados con el accionar del ser humano por la planta la posibilidad de:

- Accidentes personales

La ocurrencia de alguno de estos hechos en las instalaciones de la planta, podría tener consecuencias negativas para la salud y seguridad de las personas y deterioro de las instalaciones y del medio ambiente, sino se cuenta con las medidas adecuadas para su control.

#### **4.3.2 Localización de los peligros**

Los peligros están localizados en los siguientes lugares:

- Válvula de ingreso de gas hidrógeno a la planta de hidrogenación.
- Zona del punto de purga de los equipos.
- Zona del filtro prensa.
- Zona de almacenamiento de productos hidrogenados crudos.

#### **4.3.3 Causas**

- Válvula de ingreso a la planta

- Fugas
  - Perforación, rotura de las tuberías de ingreso, o por la unión de sus conexiones.
- Incendio
  - Luego de una fuga, si estos entran en contacto con chispas o llama abierta.
- Explosiones
  - Luego de una fuga, si el llega a formar mezclas explosivas que puedan tener contacto con chispas, llama abierta o superficies calientes.

- Zona del punto de purga de los equipos

- Incendio
  - El gas producto de la purga entra en contacto con chispas producidas por algún equipo eléctrico o llama abierta proveniente de fuego externo de la zona de la planta de hidrogenación.
- Explosiones
  - El gas producto de la purga forme mezclas explosivas y tenga contacto con chispas, llama abierta o superficies calientes.

- Zona del filtro prensa

- Incendios
  - Por contacto, del gas absorbido por el aceite hidrogenado, con chispas o llama abierta

- Zona de de almacenamiento de productos hidrogenados crudos

- Incendios



- Por contacto, del gas absorbido por el aceite hidrogenado, con chispas o llama abierta
- Explosiones
  - Si el que fue absorbido por el aceite hidrogenado, se pueda acumular dentro del ambiente del tanque, formando mezclas explosivas con el aire y tener luego un contacto con chispas, llama abierta o superficies calientes.

#### **4.4. Estimación de los riesgos**

##### **Severidad del daño**

La ocurrencia de los peligros identificados podrían originar los siguientes daños:

- Daños por terremoto: contusiones, fracturas.
- Daños por tsunami: asfixia.
- Daños por fuga de combustible gaseoso: asfixia aspiración de aire falto de oxígeno.
- Daños por incendio de hidrógeno: quemaduras, asfixia.
- Daños por explosión de nube de gas: contusiones, fracturas.

La severidad de los daños pueden ser hasta extremadamente dañinos.

##### **Probabilidad que ocurra el daño**

En relación a los daños por sismo, las estructuras deberán ser diseñadas para la probable intensidad sísmica, por lo que su probabilidad de ocurrencia es baja, cumpliendo con el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Históricamente es mínimo los informes de ocurrencia de fugas, incendios o explosiones en plantas de hidrogenación de aceites comestibles, por lo cual se le , asignaría una baja probabilidad de ocurrencia.

Esta baja probabilidad de ocurrencia se debe a que se deberán tomar las previsiones, establecidas en las normas legales vigentes y en los estándares nacionales e internacionales aplicables.

Cumpliendo con las normas de seguridad, se deberán tener las siguientes previsiones

- Por Fugas
  - *Perforación, rotura de las tuberías de ingreso, o por la unión de sus conexiones:* Se deberá tener un programa de inspección de fugas y de control de grosor de paredes.
- Incendios
  - *Por chispas eléctricas:* Para evitar el riesgo de existencia de chispas eléctricas en la planta:
    1. Todos los equipos existentes serán para uso en ambientes Clase I División 1 y Clase I División 2 de la Clasificación de la Nacional Fire Protection Agency (NFPA) certificado por una institución reconocida como la Underwriter Laboratorios (UL).

2. Los indumentaria del personal será la adecuada para no generar chispas por corriente estática.
  3. Los tableros eléctricos y los motores será a prueba de explosión para ser instaladas en ambientes Clase I División 1 y Clase I División 2 de la Clasificación de la Nacional Fire Protection Agency (NFPA) de los Estados Unidos de Norte América, certificado por una institución reconocida como la Underwriter Laboratorios (UL).
  4. Letreros de advertencia con textos de tamaños legibles a 30m con los siguientes textos:
    - “Prohibido el uso de celulares u otro equipo electrónico”
- *Por fuego ó llama abierta:* Para prevenir la existencia de fuego o llama abierta se debe considerar la instalación de letreros de advertencia con textos de tamaños legibles a 30m con los siguientes textos:
    - “Prohibido Fumar”
    - “Prohibido hacer fuego abierto a menos de 50m”
- **Explosiones**
    - *Por formación de mezclas explosivas:* Para evitar el riesgo de existencia de mezclas explosivas se deberá disponer de:
      - 1 Las bocas de llenado de los tanques de almacenamiento estarán ubicadas en el patio de maniobras que es un ambiente ventilado.
      - 2 La zona del filtro prensa deberá estar en un ambiente ventilado.
    - *Por contacto de mezclas explosivas con chispas:* Para evitar el riesgo de chispas se dispondrá de:
      - 1 Los tableros eléctricos y los motores será a prueba de explosión para ser instaladas en ambientes Clase I División 1 y Clase I División 2 de la Clasificación de la Nacional Fire Protection Agency (NFPA) de los Estados Unidos de Norte América, certificado por una institución reconocida como la Underwriter Laboratorios (UL).

#### 4.5. Valoración de los riesgos

Considerando los ítems anteriores, se puede construir la siguiente tabla:

Cuadro 13 Niveles de Riesgo

Peligro	Ubicación	Consecuencia	Probabilidad	Riesgo
Terremoto		Ligeramente dañino	Media	Tolerable
Fuga	Zonas de hidrogenación, filtro prensa y tanques de almacenamiento	Dañino	Baja	Tolerable
Incendio		Dañino	Baja	Tolerable
Explosión		Dañino	Baja	Tolerable

## **5. SEGURIDAD GLOBAL CON GASES COMBUSTIBLES**

En la actualidad, debido al previsto declive de las reservas de hidrocarburos líquidos, se generaliza el uso de gas natural comprimido y también el gas natural líquido, como combustible de reemplazo, y en el futuro será el hidrógeno el elemento portador de energía.

En función a esta realidad es de utilidad revisar los peligros inherentes al uso de estos combustibles gaseosos, que también se aplican a los gases que generan algunos combustibles líquidos como la gasolina.

Gran parte de la seguridad de las instalaciones de Gas Natural es manejado dentro del diseño de los procesos

Durante el diseño de las instalaciones, se debe considerar a cada una los diferentes materias que pueden afectar directa o indirectamente a la seguridad global de la instalación que utiliza de gas combustible.

Entre las materias que pueden afectar la seguridad global se tiene:

- •Localización de la planta /recorrido de la tubería;
- •Planificación de zonas de emergencia (respuesta de emergencia);
- •Presión de diseño de tuberías y recipientes;
- •Diseño estructural de tuberías y recipientes;
- •Requerimientos y especificaciones del material y de la soldadura;
- •Resistencia a la fractura y fatiga de diseño;
- •Necesidades de fabricación e instalación;
- •Necesidades de inspección de Construction;
- •Especificaciones de las zonas de Riesgo (ventilación y eléctrica);
- •Protección y Control de Incendio;
- •Diseño Geotecnico (estabilidad / asentamiento / terremoto);
- •Control de la corrosión (protection catódica / recubrimientos / inhibición);
- •Diseño del Proceso (termodinámica / propiedades de las fases);
- •Alivio de la presión y control de la sobrepresión;
- •Diseño Hidráulico (flujo en tuberías);
- •Protección del Medio Ambiente y control de emisiones;
- •Necesidades de Mantenimiento, etc.

### **5.1. Factores de Seguridad y Protección en la industria**

La industria debe someterse a una combinación amplia de normas, códigos y reglamentos que garantizan su seguridad, y éstas han sido desarrolladas por la experiencia adquirida por la industria internacional y aplicadas a las instalaciones y operaciones de en todas partes del mundo

La seguridad en la industria de Gas Combustible se logra por medio de cuatro elementos que proporcionan múltiples capas de protección, tanto en relación con la seguridad de los trabajadores de la industria como la seguridad de las poblaciones vecinas a las instalaciones de gas Combustible.

### **5.1.1 Contención Primaria**

Es el primero y el más importante de los requisitos con respecto a la contención del Gas.

Esta primera capa de protección requiere el uso de materiales apropiados para las instalaciones, y el diseño de ingeniería apropiada para los tanques de almacenamiento en tierra.

La NFPA ha desarrollado tres estándares para el diseño y uso seguro de instalaciones para hidrógeno, las cuales son:

- NFPA 50A Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites
- NFPA 50B Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites

### **5.1.2 Sistemas de Seguridad**

El objetivo es el de minimizar la frecuencia y el volumen de las fugas de gas, previniendo así los daños por riesgos asociados tales como incendios.

En este nivel de protección, las operaciones de gas combustible utilizan tecnologías como alarmas de alto nivel y sistemas de seguridad múltiples de apoyo, que incluyen los sistemas de Paro Automático en Emergencias (ESD por sus siglas en inglés).

Las operaciones de gas combustible utilizan sistemas tal como detectores de gas, e incendio y de paro automático para minimizar los efectos de las fugas en casos de falla.

Los sistemas operativos (procedimientos, capacitación y capacidad de respuesta) ayudan a prevenir o mitigar los daños.

El mantenimiento regular de dichos sistemas es vital para asegurar su confiabilidad.

### **5.1.3 Distancias de Seguridad**

El diseño de las instalaciones de Gas Combustible se debe incluir una distancia de separación entre las instalaciones en tierra, las poblaciones y otras áreas públicas.

Las distancias de seguridad o zonas restringidas se basan en los datos de dispersión de vapores y contornos de la radiación térmica, así como otras consideraciones incluidas en el reglamento.

Para las distancias de seguridad se tienen reportes de compañías de seguros que se han tomado como referencia para la determinación de distancias, como son las realizadas por la "Industrial Risk Insures", considerada también en la legislación peruana. En la Sección anexos se presentan la información correspondiente.

Uno de los efectos de los incendios es la radiación térmica, cuya determinación es del todo necesaria no tan sólo para la evaluación de sus consecuencias dañinas y la verificación de la resistencia al fuego de las instalaciones, sino también para establecer las distancias de seguridad en las intervenciones, así como para calcular la cantidad de agua de enfriamiento necesaria para sofocarlos.

#### 5.1.4 Cálculo del flujo térmico de un incendio

El flujo térmico de 5 kW/m<sup>2</sup> ha sido tomado como criterio para el límite de significativo daño a los seres humanos y materiales combustibles, y es el valor que se toma como base para cálculos de distancia hacia un lugar de derrame que al incendiarse hará experimentar ese flujo térmico.

El criterio para el máximo flujo permisible sobre estructuras exteriores de una residencia es de 9 kW/m<sup>2</sup>.

Ambos criterios, el de 5 kW/m<sup>2</sup> y el de 9 kW/m<sup>2</sup>, se pueden tomar como base para establecer las distancias de seguridad que se deben considerar al establecer los lugares en que se ubiquen depósitos de combustibles, y el valor de 1.6 kW/m<sup>2</sup> debe ser tomado como base para establecer las distancias de seguridad en las intervenciones contra incendio.

Se tiene los siguientes valores como referencia del efecto de la radiación térmica de una flama:

Cuadro 14 Efectos de la Radiación Térmica<sup>(5)</sup>

Nivel de Radiación Térmica (kW/m <sup>2</sup> )	Exposición Tiempo ( s )	Efecto de la exposición
0.79 a 1.04		Rango de la radiación solar
1.6 <sup>(6)</sup>		Al ser humano: no hay daño
5	13	A la piel humana: dolor insoportable
5	40	A la piel humana: quemadura de segundo grado
5	40	A la madera: incendio
10	40	A ser humano: consecuencias fatales

Para el cálculo hay disponibles programas de cálculo para evaluar el nivel de radiación que podría emitir el incendio de un tipo de combustible determinado, asimismo, es el caso del programa Breeze Haz, con el cual se puede calcular la radiación a una distancia determinada, así como también el grado de dispersión que pueda tener una fuga de gas. En la sección anexos se entrega un CD con el software de demostración que está disponible en Internet.

El cálculo se puede realizar en base de fórmulas conocidas, así se tiene:

*Efecto del calor generado por la combustión de un combustible sobre la integridad de la plancha metálica de un tanque adyacente*

#### Bases de Cálculo

##### a. Energía calorífica base

Para el calor entregado por la fuente incendiada se tiene:

$$Q = m \times Cc \quad (1)$$

<sup>5</sup> API RP 521 Tabla 8 – Radiación total diseño recomendada

<sup>6</sup> API RP 521 Tabla 8 – Radiación total diseño recomendada



Donde:

Q = Flujo de calor generado por el combustible, en MJoule / hr

m = masa de combustible que arde, en Kg / hr

Cc = Calor de combustión del combustible, en MJoule / Kg

b. Cantidad de calor que llega a un punto externo

Se utiliza la ecuación de Hajek y Ludwig:

$$L = (\tau \times F \times Q / 4 \times \pi \times K)^{0.5} \quad (2)$$

donde:

L = distancia mínima desde el punto medio de la llama al objeto considerado, en piés (metros)

$\tau$  = fracción de la cantidad de calor transmitida

F = fracción de calor irradiada

Q = calor generado por la fuente, en BTU por hora (kilowatts)

K = radiación que recibe el objeto considerado, en BTU por hora por pié cuadrado (Kilowatts por metro cuadrado)

Modificando la ecuación para el cálculo de K, se tiene:

$$K = \tau \times F \times Q / 4 \times \pi \times L^2 \quad (3)$$

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **1. CONCLUSIONES**

- El devenir de las materias primas que se dispondrán en el futuro deberán estar fuertemente relacionadas con fuentes renovables que no deterioren el medio ambiente.
- Los aceites comestibles provienen de fuentes renovables y su transformación vía la hidrogenación y otro proceso será de mucha aplicación, debiendo los actuales procesos petroquímicos utilizar éstos nuevos productos como materia prima.
- El hidrógeno será un elemento de transformación y también de transporte de energía, incrementando su uso en plantas de procesamiento.
- La seguridad de las actividades de una planta que opere con gases combustibles (gas natural, hidrógeno) está unida al cumplimiento de las normas legales vigentes y en los estándares nacionales e internacionales relacionados a la operación de gases combustibles.
- El Análisis de Riesgo es una herramienta que permite asegurar que las operaciones de una planta se realicen protegiendo a las personas y al medio ambiente.
- Debido a las variadas operaciones que se presentan, la eficiencia y seguridad de una planta estará unida a la selección de los sistemas de control, optimizando su funcionamiento.

### **2. RECOMENDACIONES**

- Avanzar hacia lo que se denomina actualmente “la economía del hidrógeno”, considerando todas las fuentes de energía renovables no contaminantes.
- Considerar como base para toda actividad, el “Análisis de Riesgo”, para prevenir la ocurrencia de accidentes.

## V. BIBLIOGRAFÍA

- "Theory of hydrogenation and types of catalyst" – Unilever Handbook
- "Current developments in oil refining technology" – Dr. Ir. Marc J. Kellens – De Smet Group
- Desarrollos en la modificación de grasas - Dr. Ir. Marc J. Kellens – De Smet Group.
- "Grasas para pastelería, galletería y panadería" – Dr. Ahmad Moustafa / Dr. Clyde Stauffer – American Soybean Association
- "G-135<sup>a</sup> Hydrogenation Study – Soybaen, Canola & Fish Oils" – United Catalyst Inc.
- "Sistemas de Seguridad y Proteccion de GNL" - University of Houston Law Center - -Octubre 2003.
- "Principles and Practice of Automatic Process Control" - Armando B. Corripio, Ph.D., P.E - Louisiana State University

## **VI. ANEXOS**

- Distancias de seguridad (IRI).
- Cartilla de seguridad del Hidrógeno (MSDS).
- Propiedades termofísicas, químicas, y de combustión del hidrógeno.
- Software de demostración Breeze Haz, para modelos de peligro de dispersión, fuego y explosión.

**Distancia de Seguridad (IRI)**



## OIL AND CHEMICAL PLANT LAYOUT AND SPACING

### INTRODUCTION

Loss experience clearly shows that fires or explosions in congested areas of oil and chemical plants can result in extensive losses. Wherever explosion or fire hazards exist, proper plant layout and adequate spacing between hazards are essential to loss prevention and control. Layout relates to the relative position of equipment or units within a given site. Spacing pertains to minimum distances between units or equipment.

IRI layout and spacing recommendations are for property loss prevention purposes only and are intended for existing and new oil and chemical facilities. These guidelines are intended to limit explosion overpressure and fire exposure damage. They do not address shrapnel damage. If these guidelines cannot be followed, then additional loss control measures, such as fire proofing, waterspray or blast hardening will be necessary.

IRI guidelines only address spacing and layout within a plant and are mostly applicable to open structures. An open air design favors vapor dissipation, provides adequate ventilation, reduces the size of the electrically classified area, and increases firefighting accessibility. Additional information can be found in several publications.<sup>1</sup>

### IRI POSITION

#### Management Programs

Management program administrators should report to top management through the minimum number of steps. They should also institute loss prevention inspection and audit programs to communicate program effectiveness to top management. This management feedback is a key feature of IM.1 – Management Programs (OVERVIEW). In developing a program, pay particular attention to the following important areas:

#### Hazard Identification and Evaluation Program

Determine the plant layout and spacing necessary to limit loss size based on worst case scenarios for vapor cloud, vessel and building explosions, and for fires. Calculate overpressure circles. See IM.8.0.1.1 for hazard analysis and evaluation methods applicable to various explosion or fire scenarios. This analysis can be completed in coordination with IRI loss prevention personnel.

## **IM.2.5.2**

**September 3, 2001**

### **Management of Change**

Conduct a Hazard Identification and Evaluation program for all new processes or for any modification to an existing process prior to completing final site selection and equipment layout. Determine the need for changes to spacing or layout.

### **Duplication of Facilities**

For large-scale chemical and petrochemical plants, provide multiple process trains. In large scale plants, duplicate, with installed spares, equipment that is highly susceptible to loss or important for continued operations. For smaller scale or batch type plants, install processes important to production in the form of multiple small-scale units rather than a single large unit.

Physically separate duplicated units, process trains or equipment with adequate spacing in accordance with this section or compartmentalize with blast resistant construction.

### **General**

Consider the following when determining the layout and the separation required:

- High hazard operations (see Appendix A)
- Grouped operations
- Critical operations
- Number of personnel at risk
- Concentration of property and business interruption values
- Equipment replacement and installation time
- Interdependency of facilities
- Critical customer or supplier relationships
- Market share concerns
- Fire and explosion exposures
- Corrosive or incompatible materials exposures
- Vapor cloud explosions
- Sources of ignition\*
- Maintenance and emergency accessibility
- Drainage and grade sloping
- Prevailing wind conditions
- Natural hazards and climate
- Future expansions
- External exposures

Review the various hazards and loss potentials to establish the degree of separation required between units and equipment. Consult Tables 1, 2 and 3 in this guide for minimum spacing guidelines based on fire and vessel explosion hazards. Increase spacing where appropriate.

/																																						
/	/																																					
50	50	/																																				
50	50	100	50	①																																		
/	/	100	100	/																																		
100	100	100	100	100	30																																	
100	100	100	100	100	30	30																																
100	100	100	100	100	30	30	50																															
200	100	100	100	200	50	50	100	100																														
400	200	200	200	300	100	100	200	200	200																													
250	250	250	250	250	250	250	250	300	350	*																												
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*																										
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*	*																									
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	/																								
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	300	250	350	350	300	50																							
50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	300	350	350	350	300	200	/																						
50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	/																						

1 ft = 0.305 m

/ = no spacing requirements

\* = spacing given in Table 3

**Examples:**

- ① 50 ft separation between two cooling towers
- 300 ft separation between service building and flare

TABLE 1. Inter-Unit Spacing Recommendations For Oil And Chemical Plants.

**IM.2.5.2**  
**September 3, 2001**

30															
30	5														
50	5	5													
50	10	15	25												
50	10	15	25	15											
50	10	15	25	15	15										
50	10	15	50	25	25	15									
100	100	100	100	100	100	100	100								
50	50	50	50	50	50	50	50	100	25						
30	15	15	25	15	15	15	100	50	/						
30	10	15	25	15	10	10	100	50	15	5					
30	10	15	25	15	10	10	100	50	/	10	/				
50	50	50	100	50	50	50	100	50	50	50	50	/			
50	50	50	50	50	50	50	100	50	50	50	50	/	/		

1 ft = 0.305 m  
 / = no spacing requirements

TABLE 2. Intra-Unit Spacing Recommendations For Oil And Chemical Plants.

0.5 D*	FLOATING & CONE ROOF TANKS < 3000 BARRELS		FLOATING & CONE ROOF TANKS > 3000 < 10,000 BARRELS		FLOATING ROOF TANKS > 10,000 < 300,000 BARRELS		JUMBO FLOATING ROOF TANKS > 300,000 BARRELS		CONE ROOF TANKS CLASS II, III PRODUCT > 10,000 < 300,000 BARRELS		CONE ROOF TANKS INERTED CLASS I PRODUCT** > 10,000 < 750,000 BARRELS		PRESSURE STORAGE VESSELS SPHERES AND SPHEROIDS		PRESSURE STORAGE VESSELS DRUMS AND BULLETS		REFRIGERATED DOME ROOF STORAGE TANKS			
0.5 D	0.5 D																			
1 X D	1 X D	1 X D																		
1 X D	1 X D	1 X D	1 X D																	
0.5 D	0.5 D	1 X D	1 X D	0.5 D																
1 X D	1 X D	1 X D	1 X D	1 X D	1 X D															
1.5 D 100' MIN	1.5 D 100' MIN	1.5 D 100' MIN	2 X D	1.5 D 100' MIN	1.5 D 100' MIN	1 X D 50' MIN														
1.5 D 100' MIN	1.5 D 100' MIN	1.5 D 100' MIN	2 X D	1.5 D 100' MIN	1.5 D 100' MIN	1 X D 100' MIN	1 X D													
2 X D 200' MIN	2 X D 200' MIN	2 X D 200' MIN	2 X D	2 X D 200' MIN	2 X D 200' MIN	1 X D 100' MIN	1 X D 100' MIN	1 X D 100' MIN												

D = Largest Tank Diameter  
 1 barrel = 42 gallons = 159 L  
 °C = (°F-32) x 0.555  
 1 ft = 0.305 m

\*For Class II, III products, 5 ft spacing is acceptable.  
 \*\*Or Class II or III operating at temperatures > 200°F.

TABLE 3. Storage Tank Spacing Recommendations For Oil And Chemical Plants.

Where large amounts of flammable vapors could be released and a vapor cloud explosion could occur, perform a more detailed hazard analysis and evaluation per IM.8.0.1.1. Calculate the vapor cloud explosion overpressure circles. Where applicable, base the minimum spacing required between units upon the following criteria:

- Do not locate critical equipment of adjacent units within the 3 psi (0.21 bar) overpressure circle.
- Design equipment or structures of adjacent units within the 1 psi (0.07 bar) overpressure circle to withstand the calculated vapor cloud overpressure.

If the minimum spacing requirements based on a vapor cloud explosion differ from the minimum spacing required by the spacing tables, use the greater of the two



## Overall Plant Layout

Initially, base site selection on exposure from uncontrollable factors, such as floods, earthquakes, tidal waves, subsidence, hurricanes, and adjacent oil and chemical plants.

Once a site has been selected, arrange layout and spacing to reduce the effect of some of the following controllable and uncontrollable factors that contribute to losses:

- Uncontrollable factors include site slope, climate, exposure to natural hazards, wind direction and force. However, locating ignition sources upwind of potential vapor leaks or locating the tank farm downhill of essential units may reduce the loss potential from an explosion or fire. Figure 1 illustrates a good layout based on the prevailing wind.
- Controllable factors include process design parameters, maintenance, spare parts supply, control logic and automation, fire protection design, spare production capacity, flammable liquid holdups, spill control and the type of process. Use proper drainage and separation to control spills and fire spread. Refer to IM.2.5.3 and IM.8.0.1.2.

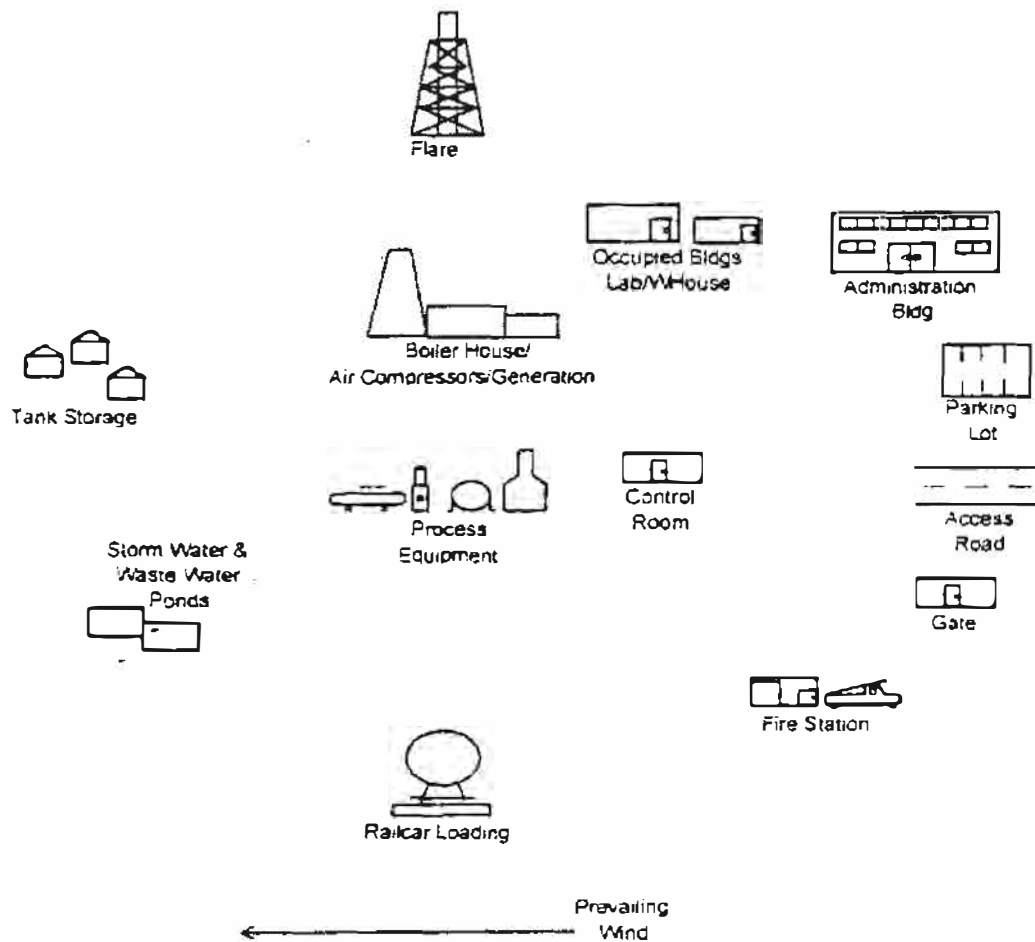


Figure 1. Good Layout Example.  
Reprinted by permission of NOVACOR Chemical Ltd.

Use a hazard assessment of each plant operation to help establish the layout or orientation of blocks or unit battery limits within the plant. Review the possible loss events and the consequences for each proposal. Select a layout which will minimize the overall property damage and related business interruption should an incident occur.

Subdivide the overall site into general areas dedicated to process units, utilities, services and offices. Since each area or unit block generally has a rectangular shape, keep the maximum unit size to 300 ft × 600 ft (92 m × 183 m) for firefighting purposes.

Provide access roadways between blocks to allow each section of the plant to be accessible from at least two directions.

- Avoid dead end roads.
- Size road widths and clearances to handle large moving equipment and emergency vehicles or to a minimum of 28 ft (8.5 m), whichever is greater.
- Maintain sufficient overhead and lateral clearances for trucks and cranes to avoid hitting piping racks, pipe ways, tanks or hydrants.
- Do not expose roads to fire from drainage ditches and pipeways.
- Slightly elevate roads in areas subject to local flooding.
- Locate hydrants and monitors along roads to allow easy hook-up of firefighting trucks.
- Provide at least two entrances to the plant for emergency vehicles to prevent the possibility of vehicles being blocked during an incident, e.g., open bridge, railway.
- Plan and implement a "Roadway Closure" permit system authorized and controlled by site Emergency Response personnel as part of the site impairment handling system.

Provide spacing between units based upon the greater of either Table 1 or a hazard assessment. The space between battery limits of adjoining units should be kept clear and open. Do not consider the clear area between units as a future area for process expansion.

## Process Units

Evaluate the process hazards and, depending on the results of such review, classify them in high, intermediate and moderate hazard groups as shown in IM.2.5.2.A. Consult the table in this section to determine the spacing required between the various blocks based upon the relative hazard of each process.

Separate hazardous units from other hazardous units to avoid fire spread. "Separate" or "buffer" high hazard units by using moderate or even lower hazard units as a way to reduce such exposure, e.g., separate a DNT plant from a TDA plant by placing a sulfuric or nitric acid unit between them.

Locate equipment or structures common to multiple process units, such as large compressors and turbines, central control rooms and fired heaters, so as to prevent a single event from impairing the overall operation and causing extensive business interruption.

Lay out the equipment within a unit in one of two general ways.

- Use grouped layout, where similar equipment is grouped together to ease operation, maintenance and control.

## IM.2.5.2

### September 3, 2001

---

- Use flow line layout, where equipment is arranged in a sequence similar to the process flow diagram.

Wherever it does not conflict with loss control, consider accessibility for maintenance and operations in determining spacing and layout. Locate equipment needing frequent overhaul, maintenance or cleaning at unit boundaries. Locate large vessels or equipment close to unit boundaries to allow easy access of cranes.

Use Table 2 for minimum spacing guidelines for spacing within process units. The recommended separations are the clear, horizontal distances between adjacent edges of equipment.

#### Hazard Classification

The following hazard classifications are for equipment and processes:

- Reactors:

Classify process reactors as moderate, intermediate or high hazard. The relative hazard classification is detailed in IM.2.5.2.A.

- High hazard pumps:

- Handle flammable and combustible liquids, operate at temperatures above 500°F (260°C) or above the product autoignition temperature.
- Handle flammable and combustible liquids and operate at pressures above 500 psi (34.5 bar).
- Handle liquefied flammable gases.

- Intermediate hazard pumps:

All other pumps handling flammable or combustible liquids. Canned and magnetic pumps have a lower fire hazard, and therefore, there are no specific spacing requirements.

#### Intra-Unit Spacing

For proper intra-unit layout, include the following principles:

- Do not group pumps and compressors handling flammable products in one single area. Do not locate them under piperacks, air cooled heat exchangers and vessels. Orient pump and driver axes perpendicular to piperacks or other equipment to minimize fire exposure in case of a pump seal failure. Separate high pressure charge pumps from any other major process equipment and other pumps by at least 25 ft (7.5 m).
- Locate compressors at least 100 ft (30 m) downwind from fired heaters and at least 30 ft (7.5 m) from any other exposing equipment. To avoid unnecessary exposure, do not locate lube oil tanks and pumps directly under any compressor.
- Detach heaters and furnaces from the unit or at least locate them at one corner of the unit. Locate continuous ignition sources upwind of the process units.
- If increased spacing for very high hazard equipment susceptible to explosions, such as reactors, is not possible, separate them from other areas by blast resistant walls.
- Keep flammable products storage to a minimum within the process unit boundaries. Install tanks, accumulators or similar vessels with flammable liquid holdups at grade, if possible.

The preferred layout of a process unit is a piperack located in the center of the unit with large vessels and reactors located outwards of the central piperack. Place pumps at the outer limits of the process area. Limit the stacking of equipment in process structures to equipment with no fire potential. Slope the ground surface so that liquids drain away from the center of the unit. Do not put drainage trenches under piperacks. Put cable trays in the top tier of the piperacks.

### Utilities

Locate central services, such as cooling towers, boilers, power stations and electrical substations, away from hazardous areas so they will not be affected by a fire or explosion within the plant nor be a source of ignition for any potential flammable liquid or gas release. Maintain adequate separation between different utility services because utility losses could then lead to unsafe conditions in other plant units, possibly creating fires or explosions. Increase the reliability of the utilities by keeping adequate spacing between boilers or generators.

Properly pressurize in accordance with NFPA 496<sup>2</sup> or separate electrical substations and motor control centers. Locate substations away from hazardous areas to increase the reliability of the power supplies should a loss occur. Bury electrical distribution cables to limit their exposure to explosions, fires, storms and vehicles, and to ease firefighting accessibility.

### Control Rooms

Locate and construct control rooms, motor control centers, and other essential facilities to allow operators to safely shut down units under emergency conditions. Locate the control building where it will not be exposed by fires or explosions. If separation is not feasible, design the building to withstand potential explosion overpressure. Where control rooms are exposed to fires or blast overpressures, locate the emergency loss control coordination center in a safe area.

Consider unmanned satellite computer rooms, terminal rooms and i/o rack rooms equivalent to motor control centers for the purpose of this guideline.

### Services

Keep warehouses, laboratories, shops, fire brigade stations and offices away from process areas. Welding equipment, cars and trucks as well as large numbers of people can become "uncontrollable ignition sources."

### Loading and Unloading

Space loading racks, piers and wharves well away from other areas due to large numbers of trucks, rail cars, barges or ships carrying large amounts of flammable or combustible liquids. Reduce plant traffic to ease emergency vehicle movement and limit accident hazards by locating loading and off-loading operations at the plant perimeter close to the entry gate.

Locate flares according to Table 1 or to API 521,<sup>3</sup> whichever is greater.

### Tank Farms

Consult Table 3 for general recommendations for spacing aboveground storage tanks in the oil and chemical industry. The spacing is given as a distance from tank shell to tank shell and is a function of the largest tank diameter. If there are adverse conditions, such as poor fire protection water supply, difficult firefighting, poor accessibility, poor diking or poor drainage, increase the spacing by at least 50%. Treat crude oil as a flammable liquid.

## IM.2.5.2

September 3, 2001

See Table 1 for minimum spacing between tank farms and other units.

Do not group or dike different types of tanks and contents together.

Locate storage tanks at a lower elevation than other occupancies to prevent liquids or gases from flowing toward equipment or buildings and exposing them. Locate tanks downwind of other areas.

Arrange atmospheric storage tanks and pressure vessels in rows not more than two deep and adjacent to a road or accessway for adequate firefighting accessibility.

Since piping involved in ground fires usually fails within 10 or 15 min of initial exposure, locate an absolute minimum amount of piping, valves and flanges within dikes. Install pumps, valve manifolds, and transfer piping outside dikes or impounding areas.

Provide tanks with proper dikes or drainage to a remote impounding facility.

Where tanks over 500,000 bbl (80,000 m<sup>3</sup>) are present, increase minimum distances to 1000 ft (305 m) spacing between them.

Space tanks so the thermal radiation intensity from an exposing fire is too low to ignite the contents of the adjacent tanks. Tolerances of tanks to thermal radiation can be increased by:

- Painting vessels a reflective color (generally white or silver).
- Providing a fixed water spray or tank shell cooling system. Refer to IM.12.2.1.2 for additional guidance.
- Insulating or fireproofing the tank shell. Guidance can be found in IM.2.5.1.

### Atmospheric Storage Tanks

Classify internal floating roof tanks as floating roof tanks when pontoon internal floaters are provided. When plastic, aluminum or a steel pan are used in the construction of the internal floater, classify the tank as a cone roof tank for spacing purposes.

- Floating roof tanks: Store crude oil and flammable liquids (Class I) in floating roof or internal floating roof tanks. Arrange floating roof tanks in excess of 300,000 barrels (47,700 m<sup>3</sup>) in a single row. If multiple rows are necessary, space tanks farther than one diameter apart.
- Cone roof tanks: Combustible liquids (Class II and III) may be stored in cone roof tanks with the following limitations or exceptions:
  - Cone roof tanks in excess of 300,000 barrels (47,700 m<sup>3</sup>) present an unacceptable amount of potentially explosive vapor space, even if storing heavy oils. In such cases, use only floating roof tanks.
  - Do not store liquids with boil over characteristics in cone roof tanks larger than 150 ft (45.8 m) in diameter, unless an inerting system is provided.
  - Avoid storage of flammable liquids (Class I) in cone roof tanks. If cone roof tanks are used for flammable liquids storage, restrict the tank size to less than 150,000 barrels (23,850 m<sup>3</sup>), provide an inert gas blanket, and increase the spacing.
  - Space cone roof tanks storing Class IIIB liquids, operating at ambient temperatures as "floating and cone roof tanks smaller than 3000 barrels (460 m<sup>3</sup>)."



- o Increase separation of cone roof tanks in excess of 10,000 barrels (1590 m<sup>3</sup>) containing combustible liquids stored at a temperature higher than 200°F (93°C).

#### Pressurized and Refrigerated Storage Tanks

**Spheres and spheroids:** Provide spacing between groups of vessels of at least 100 ft (30 m) or the largest tank diameter. Limit each tank group to a maximum of six vessels. See Table 3 for the minimum spacing between vessels.

**Drums and bullets:** Limit horizontal pressurized storage vessels to not more than six vessels or 300,000 gal (1136 m<sup>3</sup>) combined capacity in any one group. Provide at least 100 ft (30 m) or the largest tank diameter between groups. Align vessels so that their ends are not pointed toward process areas or other storage areas, as these vessels tend to rocket if they fail during a fire. Avoid multiple row configurations. Do not locate pressurized storage vessels above each other. See also IM.8.2.0.1.

**Refrigerated dome roof tanks:** Provide spacing between groups of vessels of at least 100 ft (30 m) or the largest tank diameter. Limit each tank group to a maximum of six vessels. Provide greater spacing if exposed combustible insulation is used on the tanks.

## DISCUSSION

A good layout and sufficient spacing between hazards, equipment and units will have the following benefits:

- Less explosion damage. Overpressures created by an explosion decrease rapidly as the distance from the center of the explosion increases. The mathematical relationship between overpressures and their distances from the explosion center is given in IM.8.0.1.1.
- Less fire exposure. Radiation intensity from a fire decreases as the square of the separation distance.
- Higher dilution of gas clouds or plumes. Gas concentration decreases as the distance from the emission source increases.
- Easier access to equipment for maintenance, inspection and firefighting purposes.
- Easier spill and spill fire control in open areas.
- Lower concentration of values, resulting in a lower property damage loss estimates should a given incident occur. IRI typically establishes a probable maximum loss (PML) and maximum foreseeable loss (MFL) estimates based upon a vapor cloud explosion where such a hazard exists. An adequate spread of values and good spacing between explosion hazard areas will lower the PML and MFL.

Extensive spacing might increase the initial investment required to build a given plant. More land will be required. More piping, cabling, roads and larger drainage systems will be required. Additional or larger pumps or compressors might be required as friction loss increases with the piping length and, therefore, operating costs increase. However, the loss control benefits outweigh the additional costs due to less disruption to production when the incident occurs.

Proper layout and separation distances should be designed into a plant during the very early planning stages of the project. This will require preliminary identification of hazards inherent to the operations and of the natural hazards. A good layout may not automatically increase the construction cost because proper separation between hazards can decrease the exposure protection required. For

## IM.2.5.2

September 3, 2001

example, a control room unexposed by a process unit would have no need to be explosion resistant. Optimum layout will achieve a balance among loss prevention, construction, maintenance and operation requirements.

Computer-aided design (CAD) generates three dimensional layouts which have proven effective for visualizing the proposed spatial arrangement of a unit or plant. High equipment concentration and plant congestion are spotted easily by these computer generated techniques. The use of CAD allows operators, maintenance and loss prevention personnel to easily comment and make appropriate recommendations. Scale models offer similar benefits.

Vapor cloud calculations could indicate that an even greater separation between some units is needed because of higher than normal explosion damage potential and business interruption.

Other hazard assessment methods can provide good loss potential evaluations and are described in various Center for Chemical Process Safety publications,<sup>4</sup> in the DOW Fire & Explosion Index,<sup>5</sup> or in API RP 752.<sup>3</sup>

Table 1 provides minimum inter-unit spacing which should be increased where a hazard analysis shows that larger separation distances are required. Unfavorable conditions, such as inadequate sloping, poor drainage and critical operations, can increase the exposure between units, thus requiring higher separation distances. All distances between units are measured from battery limits. "Battery limits" as defined by IRI are imaginary lines surrounding a unit. This line is typically box shaped and encloses equipment required for the operation of the unit. Cooling towers, maintenance buildings or other structures not integral to the unit are considered to be independent and should not be included in the battery limits. This line crosses utility, service, raw material and finished product piping.

The processing units are generally the most hazardous operations in a plant. For operational purposes, the process units are generally grouped together and arranged in accordance with the general process flow.

Often, fire protection spacing requirements will exceed maintenance accessibility requirements. The relative location of equipment depends on its probable release of flammable materials, its flammable liquid holdup, and its potential to be a source of ignition. A domino effect loss is possible within process units.

NFPA 30 defines flammable liquids as Class I materials, and combustible liquids as Class II and III materials. The classification depends on the flash point of the product. In some very hot climates, Class II liquids could behave as flammable liquids because the storage temperature could exceed the flashpoint temperature. Unstable liquids or gases and monomer storage require special precautions and are not addressed in Table 3.

### IRInformation® SECTIONS REFERENCED

IM.1	<i>Management Programs (OVERVIEW).</i>
IM.2.5.1	<i>Fireproofing For Oil And Chemical Properties.</i>
IM.2.5.2.A	<i>Hazard Classification Of Process Operations For Spacing Requirements.</i>
IM.2.5.3	<i>Drainage For Outdoor Oil And Chemical Plants</i>
IM 8 J.1.1	<i>Oil And Chemical Properties Loss Potential Estimation Guide.</i>
IM.3.0.1.2	<i>Liquid Holdup Estimation</i>
IM.12.2.1.2	<i>Water And Spray Deluge Protection For Oil And Chemical Plants.</i>

## REFERENCES

1. *Hazard Survey of the Chemical and Allied Industries, Technical Survey No. 3*, 1968, American Insurance Association, New York, NY.  
*An Engineer's Guide To Process-Plant Layout*, F.F. House, July 28, 1969, Chemical Engineering, McGraw Hill, New York, NY  
*Process Plant Layout*, by J.C. Mecklenburgh, John Wiley & Sons, New York, NY.  
*Loss Prevention in The Process Industries*, F. P. Lees, Volumes 1 & 2, Butterworths, Boston, MA.  
*Loss Prevention Fundamentals For The Process Industry*, O. M. Slye Jr., Loss Prevention Symposium, March 1988, American Institute of Chemical Engineers, New York, NY.  
NFPA 30-2000, *Flammable And Combustible Liquids Code*, National Fire Protection Association, Quincy, MA  
NFPA 58-2001, *Liquefied Natural Gas*, National Fire Protection Association, Quincy, MA
2. NFPA 496-1998, *Purged And Pressurized Enclosures For Electrical Equipment In Hazardous (Classified) Locations*, National Fire Protection Association, Quincy, MA.
3. API RP 521-1982: *Guide For Pressure-Relieving And Depressurizing Systems*, American Petroleum Institute, Washington, DC.
4. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York, NY.
5. *Fire & Explosion Index, Hazard Classification Guide*, Dow Chemical Company, Sixth edition available from the American Institute of Chemical Engineers, New York, NY.
6. API RP 752-1995: *Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Buildings*, American Petroleum Institute, Washington, DC.

## HAZARD CLASSIFICATION OF PROCESS OPERATIONS FOR SPACING REQUIREMENTS

### INTRODUCTION

Processes differ from each other because of their inherent hazards. Processes and operations can be empirically classified into one of the three classes according to their explosion and fire hazards:

- Moderate
- Intermediate
- High

These classifications do not substitute for a proper hazard identification or analysis method. They are intended only to be used in determining spacing requirements. Many additional factors and judgments can still affect the class to which the process is assigned such as:

- Vessel size
- Flammable liquid holdup
- Unit size
- Gas vs. liquid phase
- Pressures
- Temperatures
- Loss history
- Interdependency
- Lead time to rebuild
- Market share

Therefore, if any of the above features of a process are higher than normal, raise it to a higher class. Typical process examples are given for each classification.

See IM.8.0.1.1 for an evaluation method to estimate damage from a vapor cloud or vessel explosion.

## FIRE AND EXPLOSION HAZARD CLASSIFICATION

### Moderate

This category includes processes, operations or materials having a limited explosion hazard and a moderate fire hazard. This class generally involves endothermic reactions and nonreactive operations, such as distillation, absorption, mixing and blending of flammable liquids. Exothermic reactions with no flammable liquids or gases also fit in this hazard group. Typical examples include:

- Acetic anhydride (carbonylation of methyl acetate)
- Acetone (dehydrogenation of alcohol)
- Adiponitrile
- Ammonia
- Crude distillation
- Dimethyl formamide
- Chloromethanes
- Ethanol (from methanol)
- Ethylene glycol
- Formaldehyde (methanol oxidation)
- Methyl amines
- Methyl ethyl ketone (dehydrogenation of alcohol)
- Solvent extraction
- Styrene
- Urea
- Visbreaking

### Intermediate

This category includes processes, operations or materials having an appreciable explosion hazard and a moderate fire hazard. This class generally involves mildly exothermic reactions. Typical examples include:

- Acetic anhydride (from acetic acid)
- Alkylation (Refinery)
- Benzene (from toluene-xylene)
- Benzene-Toluene-Xylene (BTX)
- Cumene
- Cyclohexane
- Ethyl benzene
- Methanol (Reforming)
- Polyethylene HD (small units)

- Polypropylene
- Polystyrene
- Polyvinylchloride
- Reforming (Refinery)
- Terephthalic Acid

## High

This category includes processes, operations or materials having a high explosion hazard and moderate to heavy fire hazard. This class involves highly exothermic or potential runaway reactions and high hazard products handling. Typical examples include:

- Acetic acid
- Acetaldehyde (oxidation)
- Acetone (cumene oxidation)
- Acrolein
- Acrylic acid
- Acrylonitrile
- Butadiene (oxidation)
- Caprolactam
- Cumene hydroperoxide
- Dimethyl terephthalate
- Ethylene
- Ethylene oxide
- Hydrocracking (Refinery)
- Maleic anhydride (butane oxidation)
- Methyl methacrylate
- Phenol (cumene oxidation)
- Phthalic anhydride
- Polyethylene LD (high pressure)
- Polyethylene HD (large units)
- Propylene oxide
- Vinyl acetate
- Vinyl chloride (VCM-EDC)



**Cartilla de seguridad del hidrógeno (MSDS)**

HYDROGEN - HYDROGEN, TECHNICAL

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

FSC: 6830

NIIN: (to be supplied by manufacturer)

Manufacturer's CAGE: (to be supplied by manufacturer)

Part No. Indicator: A

Part Number/Trade Name: HYDROGEN

=====  
General Information  
=====

Item Name: HYDROGEN, TECHNICAL

Company's Name: (to be supplied by manufacturer)

Company's Street: (to be supplied by manufacturer)

Company's City: (to be supplied by manufacturer)

Company's State: (to be supplied by manufacturer)

Company's Country: (to be supplied by manufacturer)

Company's Zip Code: (to be supplied by manufacturer)

Company's Emer Ph #: (to be supplied by manufacturer)

Company's Info Ph #: (to be supplied by manufacturer)

Record No. For Safety Entry: 001

Tot Safety Entries This Stk#: 003

Status: SM

Date MSDS Prepared: (to be supplied by manufacturer)

Safety Data Review Date: (to be supplied by manufacturer)

Supply Item Manager: (to be supplied by manufacturer)

MSDS Serial Number: (to be supplied by manufacturer)

Specification Number: (to be supplied by manufacturer)

Spec Type, Grade, Class: TYPE I

Hazard Characteristic Code: G2

Unit Of Issue: CF

Unit Of Issue Container Qty: (to be supplied by manufacturer)

Type Of Container: CYLINDER

Net Unit Weight: UNKNOWN

NRC/State License Number: NONE

Net Propellant Weight-Ammo: NONE

=====  
Ingredients/Identity Information  
=====

Proprietary: NO

Ingredient: HYDROGEN

Ingredient Sequence Number: 01

Percent: 100

NIOSH (RTECS) Number: MW8900000

CAS Number: 1333-74-0

OSHA PEL: NOT ESTABLISHED

ACGIH TLV: NOT ESTABLISHED

Other Recommended Limit: NONE RECOMMENDED

=====  
Physical/Chemical Characteristics  
=====

Appearance And Odor: COLORLESS GAS AT NORMAL TEMPERATURE AND PRESSURE:  
ODORLESS

Boiling Point: -422F, -252C

Melting Point: -434F, -259C

Vapor Pressure (MM Hg/70 F): GAS

Vapor Density (Air = 1): 0.696

Specific Gravity: GAS

Decomposition Temperature: UNKNOWN

Evaporation Rate And Ref: N/A

Solubility In Water: NEGLIGIBLE

Viscosity: UNKNOWN

Corrosion Rate (IPY): UNKNOWN

Autoignition Temperature: 968F

=====  
Fire and Explosion Hazard Data  
=====

Flash Point: FLAMMABLE GAS

Lower Explosive Limit: 4

Upper Explosive Limit: 75

Extinguishing Media: CO2, DRY CHEMICALS, WATER SPRAY OR FOG

Special Fire Fighting Proc: EVACUATE AREA. COOL CONTAINER W/WATER SPRAY  
(MAX DISTANCE). DO NOT EXTINGUISH FLAMES. ALLOW TO BURN OUT! USE SCBA.  
STOP GAS FLOW & REMOVE CONTAINERS IF W/O RISK

Unusual Fire And Expl Hazrds: FLAME NEARLY INVISIBLE. FORMS EXPLOSIVE  
MIXTURES W/AIR & OXIDIZERS. KEEP CONTAINERS BELOW 125F. ESCAPING GAS MAY  
IGNITE SPONTANEOUSLY. HAS LOW IGNITION ENERGY.

=====  
Reactivity Data  
=====

Stability: YES

Cond To Avoid (Stability): FOLLOW COMPRESSED GAS ASSN INSTRUCTIONS IN  
PAMPHLET "SAFE HANDLING OF COMPRESSED GAS IN CONTAINERS".

Materials To Avoid: OXIDIZING AGENTS, LITHIUM, HALOGENS

Hazardous Decomp Products: NONE

Hazardous Poly Occur: NO

Conditions To Avoid (Poly): WILL NOT OCCUR.

=====  
Health Hazard Data  
=====

LD50-LC50 Mixture: LD50 (ORAL RAT) IS UNKNOWN

Route Of Entry - Inhalation: YES

Route Of Entry - Skin: NO

Route Of Entry - Ingestion: NO

Health Haz Acute And Chronic: INGESTED: UNLIKELY ROUTE OF EXPOSURE. SKIN: NO  
EVIDENCE OF ADVERSE EFFECTS. INHALED: SIMPLE ASPHYXIAN. MODERATE  
CONCENTRATIONS. MAY CAUSE HEADACHE, DROWSINESS, EXCITATION. EXCESS

SALIVATION, VOMITING & UNCONSCIOUSNESS. EYE:NO EVIDENCE OF ADVERSE EFFECTS.

Carcinogenicity - NTP: NO

Carcinogenicity - IARC: NO

Carcinogenicity - OSHA: NO

Explanation Carcinogenicity: MFR LISTED NO INFORMATION ABOUT THE CARCINOGENICITY OF THIS MATERIAL. HMIS DOES NOT EXPECT IT TO BE CARCINOGENIC.

Signs/Symptoms Of Overexp: INGESTED:UNLIKELY ROUTE OF EXPOSURE. SKIN:NO EVIDENCE OF ADVERSE EFFECTS. INHALED:SIMPLE ASPHYXIANT. HEADACHE, NO EVIDENCE OF ADVERSE EFFECTS.

Med Cond Aggravated By Exp: A KNOWLEDGE OF THE AVAILABLE TOXICOLOGY INFORMATION AND OF THE PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES OF THE MATERIAL SUGGEST THAT OVEREXPOSURE IS UNLIKELY TO AGGRAVATE EXISTING MEDICAL CONDITIONS.

Emergency/First Aid Proc: INGESTED:PRODUCT IS A GAS AT NORMAL TEMPERATURE & PRESSURE. SKIN:WASH WITH SOAP & WATER. INHALED:REMOVE TO FRESH AIR. GIVE OXYGEN IF BREATHING IS DIFFICULT, ARTIFICIAL RESPIRATION IF NOT BREATHING. GET IMMEDIATE MEDICAL ATTENTION. EYE:FLUSH W/WATER. NOTE TO PHYSICIAN:THERE IS NO SPECIFIC ANTIDOTE. PRODUCT IS RELATIVELY INERT. TREATMENT SHOULD CONTROL SYMPTOMS AND CLINICAL CONDITION.

=====  
Precautions for Safe Handling and Use  
=====

Steps If Matl Released/Spill: DANGER! FORMS EXPLOSIVE MIXTURES W/AIR! EVACUATE AREA. USE SCBA. REMOVE SOURCES OF IGNITION IF W/O RISK. STOP LEAK II W/O RISK. VENTILATE AREA OR MOVE CONTAINER TO WELL-VENTILATED AREA II W/O RISK. CHECK ATMOSPHERE FOR EXPLOSIVENESS BEFORE ENTERING.

Neutralizing Agent: NO INFORMATION GIVEN BY MFR ON MSDS.

Waste Disposal Method: PREVENT WASTE FROM CONTAMINATING SURROUNDING ENVIRONMENT. DISCARD ANY PRODUCT, RESIDUE, DISPOSABLE CONTAINER OR LINER IN AN ENVIRONMENTALLY ACCEPTABLE MANNER IN FULL COMPLIANCE FEDERAL, STATE & LOCAL REGULATIONS.

Precautions-Handling/Storing: FOLLOW COMPRESSED GAS ASSN INSTRUCTIONS IN PAMPHLET "SAFE HANDLING OF COMPRESSED GAS IN CONTAINERS". NEVER WORK ON A PRESSURIZED SYSTEM.

Other Precautions: PROTECT CYLINDERS FROM DIRECT SUNLIGHT & STORE IN A WELL VENTILATED AREA. PROTECT FROM PHYSICAL DAMAGE. ISOLATE CYLINDERS FROM OXYGEN & CHLORINE. DO NOT LOAD WITH EXPLOSIVES, POISONS, RADIOACTIVE MATERIALS & ORGANIC PEROXIDES.

=====  
Control Measures  
=====

Respiratory Protection: NONE REQUIRED UNDER NORMAL USE. HOWEVER AIR SUPPLIED RESPIRATORS ARE REQUIRED WHILE WORKING IN CONFINED SPACES WITH THIS PRODUCT. THE RESPIRATORY PROTECTION USE MUST CONFORM WITH OSHA RULES IN 29 CFR1910.134.

Ventilation: USE EXPLOSION PROOF GENERAL/LOCAL EXHAUST SUFFICIENT TO CONTROL WORKER EXPOSURE.

Protective Gloves: PREFERRED FOR CYLINDER HANDLING

Eye Protection: SELECT PER OSHA 29CFR1910.133  
Other Protective Equipment: METATARSAL SHOES FOR CYLINDER HANDLING. SELECT PER OSHA 29CFR1910.132 & 1910.133.  
Work Hygienic Practices: MFR: ? HMIS:USE GOOD INDUSTRIAL HYGIENE PRACTICE. AVOID UNNECESSARY EXPOSURE. WASH THOROUGHLY BEFORE EATING OR DRINKING  
Suppl. Safety & Health Data: NONE

-----  
Transportation Data  
-----

Trans Data Review Date: 94365  
DOT PSN Code: HLR  
DOT Proper Shipping Name: HYDROGEN, COMPRESSED  
DOT Class: 2.1  
DOT ID Number: UN1049  
DOT Label: FLAMMABLE GAS  
IMO PSN Code: IGH  
IMO Proper Shipping Name: HYDROGEN, COMPRESSED  
IMO Regulations Page Number: 2148  
IMO UN Number: 1049  
IMO UN Class: 2(2.1)  
IMO Subsidiary Risk Label: -  
IATA PSN Code: NSD  
IATA UN ID Number: 1049  
IATA Proper Shipping Name: HYDROGEN, COMPRESSED  
IATA UN Class: 2.1  
IATA Label: FLAMMABLE GAS  
AFI PSN Code: NSD  
AFI Symbols: 0  
AFI Prop. Shipping Name: HYDROGEN, COMPRESSED  
AFI Class: 2.1  
AFI ID Number: UN1049  
AFI Label: FLAMMABLE GAS  
AFI Basic Pac Ref: 6-6.6-10

-----  
Disposal Data  
-----

-----  
Label Data  
-----

Label Required: YES  
Technical Review Date: 31DEC94  
MFR Label Number: NONE  
Label Status: F  
Common Name: HYDROGEN  
Signal Word: DANGER!  
Acute Health Hazard-Slight: X  
Contact Hazard-Slight: X  
Fire Hazard-Severe: X

Reactivity Hazard-None: X

Special Hazard Precautions: \*\*TARGET ORGANS:RESPIRATORY SYSTEM\*\*

INGESTED:UNLIKELY ROUTE OF EXPOSURE. SKIN:NO EVIDENCE OF ADVERSE EFFECTS.

INHALED:SIMPLE ASPHYXIANT. MODERATE CONCENTRATIONS MAY CAUSE HEADACHE, DROWSINESS,EXCITATION,EXCESS SALIVATION,VOMITING & UNCONSCIOUSNESS.

EYE:NO EVIDENCE OF ADVERSE EFFECTS.

FOLLOW COMPRESSED GAS ASSN INSTRUCTIONS IN DANGER! FORMS EXPLOSIVE MIXTURES W/AIR! EVACUATE AREA,USE SCBA. REMOVE SOURCES OF IGNITION & STOP LEAK IF W/O RISK VENTILATE AREA OR MOVE CONTAINER TO WELL VENTILATED AREA IF W/O RISK CHECK ATMOSPHERE FOR EXPLOSIVENESS ENTERING AREA

Protect Eye: Y

Protect Skin: Y

Label Name: (to be supplied by manufacturer)

Label Street: (to be supplied by manufacturer)

Label City: (to be supplied by manufacturer)

Label State (to be supplied by manufacturer)

Label Zip Code: (to be supplied by manufacturer)

Label Country: (to be supplied by manufacturer)

Label Emergency Number: (to be supplied by manufacturer)

=====



## **Propiedades del Hidrógeno**

**Table A1.1**  
**Selected Thermophysical, Chemical, and Combustion Properties of**  
**Gaseous, Liquefied, Slush, and Solid Para-hydrogen<sup>1</sup>**

Molecular Weight	2.01594	
<b>NORMAL TEMPERATURE AND PRESSURE (NTP)<sup>1</sup></b>		
Density of GH	83.764 g/m <sup>3</sup>	0.00523 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
Density of air (for comparison)	1.198 g/m <sup>3</sup>	0.0749 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
Specific heat at constant pressure, C <sub>p</sub>	14.89 kJ/kg·K	3.559 Btu/lb <sub>m</sub> ·°R
Specific heat ratio, $\gamma = C_p/C_v$	1.383	
Enthalpy	-4097.7 kJ/kg	1762.8 Btu/lb <sub>m</sub>
Internal Energy	2888.0 kJ/kg	1242.5 Btu/lb <sub>m</sub>
Entropy	64.44 kJ/kg·K	15.40 Btu/lb <sub>m</sub> ·°R
Velocity of sound (adiabatic)	1294 m/s	4246 ft/s
Viscosity	8.81 $\mu$ Pa·s	0.00881 centipoise
Thermal conductivity, k	19.14 $\mu$ W/m·K	0.111 Btu/ft·h·°R
Dielectric constant, $\epsilon$	1.00026	
Compressibility factor, Z	1.0006	
Index of refraction	1.00012	
<b>CRITICAL POINT</b>		
Temperature	32.976 K	-400.6 °F
Pressure	1.2928 kPa abs	187.5 psia
Density	31.43 kg/m <sup>3</sup>	1.96 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
Specific heat at saturation, C <sub>g</sub>	(very large)	
Specific heat at constant pressure, C <sub>p</sub>	(very large)	
Specific heat ratio, $\gamma = C_p/C_v$	(large)	
Enthalpy	38.49 kJ/kg	16.56 Btu/lb <sub>m</sub>
Internal Energy	2.83 kJ/kg	1.22 Btu/lb <sub>m</sub>
Entropy	17.6 kJ/kg·K	4.20 Btu/lb <sub>m</sub> ·°R
Velocity of sound	350 m/s	1148 ft/s
Viscosity	3.5 $\mu$ Pa·s	0.0035 centipoise
Thermal conductivity, k	(anomalously large)	
Dielectric constant, $\epsilon$	1.098	
Compressibility factor, Z	0.3025	
<b>NORMAL BOILING POINT (NBP)</b>		
Normal Boiling Temperature (NBT)	20.268 K	-423.2 °F
Pressure	101.3 kPa	14.696 psia
Density		
of vapor	1.338 kg/m <sup>3</sup>	0.0835 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
of liquid	70.78 kg/m <sup>3</sup>	4.42 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
Heat of vaporization	445.6 kJ/kg	191.7 Btu/lb <sub>m</sub>
Specific heat at saturation, C <sub>g</sub>		
of vapor	-16.51 kJ/kg·K	-3.95 Btu/lb <sub>m</sub> ·°R
of liquid	9.38 kJ/kg·K	2.24 Btu/lb <sub>m</sub> ·°R

**Table A1.1 (continued)**  
**Selected Thermophysical, Chemical, and Combustion Properties of**  
**Gaseous, Liquefied, Slush, and Solid Para-hydrogen<sup>a</sup>**

Specific heat at constant pressure, $C_p$		
of vapor	12.15 kJ/kg·K	2.904 Btu/lb·°R
of liquid	9.688 kJ/kg·K	2.315 Btu/lb·°R
Specific heat ratio, $\gamma = C_p/C_v$		
of vapor	1.869	
of liquid	1.688	
Enthalpy		
of vapor	189.3 kJ/kg	81.5 Btu/lb <sub>m</sub>
of liquid	-256.3 kJ/kg	-110.2 Btu/lb <sub>m</sub>
Internal energy		
of vapor	113.6 kJ/kg	48.87 Btu/lb <sub>m</sub>
of liquid	-257.7 kJ/kg	-110.9 Btu/lb <sub>m</sub>
Entropy		
of vapor	29.97 kJ/kg·K	7.162 Btu/lb·°R
of liquid	7.976 kJ/kg·K	1.906 Btu/lb·°R
Velocity of sound (adiabatic)		
of vapor	355 m/s	1165 ft/s
of liquid	1093 m/s	3586 ft/s
Viscosity		
of vapor	1.1 μPa·s	0.0011 centipoise
of liquid	13.2 μPa·s	0.0132 centipoise
Thermal conductivity, $k$		
of vapor	1.69 μW/m·K	0.00977 Btu/ft·h·°R
of liquid	9.9 μW/m·K	0.0572 Btu/ft·h·°R
Dielectric constant, $\epsilon$		
of vapor	1.0040	
of liquid	1.230	
Compressibility factor, $Z$		
of vapor	0.9061	
of liquid	0.01712	
Surface tension of liquid	0.00193 N/m	$1.1 \times 10^{-5}$ lb/in
Index of refraction of liquid	1.110	
<b>TRIPLE POINT</b>		
Temperature	13.803 K	-434.8 °F
Pressure	7.04 kPa abs	1.02 psia
Density		
of vapor	0.1258 kg/m <sup>3</sup>	0.00784 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
of liquid	77.03 kg/m <sup>3</sup>	4.81 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
of solid	86.50 kg/m <sup>3</sup>	5.40 lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>
Heat of fusion	58.29 kJ/kg	25.08 Btu/lb <sub>m</sub>
Heat of vaporization	449.17 kJ/kg	193.2 Btu/lb <sub>m</sub>
Heat of sublimation	507.39 kJ/kg	218.3 Btu/lb <sub>m</sub>

**Table A1.2**  
Fixed Point Properties of Normal Hydrogen<sup>b</sup>

Properties	Triple Point			Normal Boiling Point		Critical Point	STP	NTP
	Solid	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor			
Temperature <sup>a</sup> , °F (K)	131.55 (13.957)	434.55 (13.957)	434.55 (13.957)	422.97 (20.390)	422.97 (20.390)	399.93 (33.190)	32.000 (273.15)	68.000 (293.15)
Pressure (inches Hg) (mm Hg)	2.147 (54.04)	2.147 (54.04)	2.147 (54.04)	30.19 (760.0)	30.19 (760.0)	391.9 (9865)	30.19 (760.0)	30.19 (760.0)
Density, lb/ft <sup>3</sup> (mol/cm <sup>3</sup> )	5.409 (0.04301)	4.817 (0.03830)	8.099x10 <sup>-4</sup> (0.0644x10 <sup>-3</sup> )	4.427 (0.0352)	83.05x10 <sup>-4</sup> (0.6604x10 <sup>-3</sup> )	1.879 (0.01494)	5.609x10 <sup>-4</sup> (0.0446x10 <sup>-3</sup> )	5.225x10 <sup>-4</sup> (0.04155x10 <sup>-3</sup> )
Specific volume, ft <sup>3</sup> /lb (cm <sup>3</sup> /mol)	0.1849 (23.25)	0.2076 (26.11)	123.5 (15.530)	0.2259 (28.41)	12.05 (15.14)	0.5322 (66.93)	178.3 (22.420)	191.38 (24.070)
Compressibility factor, Z = PV/RT		0.001621	0.9635	0.01698	0.9051	0.3191	1.00012	1.00049
Heats of fusion and vaporization, Btu/lb (J/mol)	21.99 (117.1)	191.1 (911.3)		191.9 (899.1)		0 (0)		
Specific heat, Btu/lb·R (J/g·K)								
At saturation, C <sub>s</sub>	0.6794 (2.842)	1.642 (6.870)	5.565 (23.28)	2.242 (9.380)	3.946 (16.51)	very large		
At constant pressure, C <sub>p</sub>		1.569 (6.563)	2.516 (10.526)	2.336 (9.772)	2.917 (12.20)	very large	3.390 (14.18)	3.425 (14.33)
At constant volume, C <sub>v</sub>		1.130 (4.727)	1.481 (6.211)	1.375 (5.751)	1.565 (6.548)	2.336 (9.772)	2.407 (10.07)	2.419 (10.12)
Specific heat ratio, γ = C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub>		1.388	1.695	1.698	1.863	large	1.408	1.416

**Table A1.2 (continued)**  
Fixed Point Properties of Normal Hydrogen

Properties	Triple Point			Normal Boiling Point		Critical Point	STP	NTP
	Solid	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor			
Enthalpy Btu/lb (J/mol)	68.63 (321.6)	93.62 (438.7)	288.1 (1350)	117.0 (548.3)	308.9 (1447)	218.1 (116.1)	165.1 (7749)	1776 (8321)
Internal energy Btu/lb (J/mol)	67.84 (317.9)	92.83 (435.0)	263.5 (1235)	116.5 (545.7)	276.2 (1294)		1169 (5477)	1256 (5885)
Entropy, Btu/hr · R (J/mol · K)	2.41 (20.3)	3.40 (28.7)	11.1 (93.6)	4.14 (34.92)	9.36 (78.94)	6.47 (54.57)	16.5 (139.6)	16.8 (141.6)
Velocity of sound, ft/s (m/s)		4206 (1282)	1007 (307)	3612 (1101)	1171 (357)		4088 (1246)	4246 (1294)
Viscosity, centipoise (μPa · s)		0.026 (26)	0.00071 (0.74)	0.0132 (13.2)	0.0011 (1.1)	0.0035 (3.5)	0.00839 (8.39)	0.00881 (8.81)
Thermal conductivity, k Btu/ft · h · °R (μW/m · K)	0.52 (90)	0.042 (7.3)	0.0072 (1.24)	0.057 (9.9)	0.0098 (1.69)	anomalously large	0.098 (17.40)	0.106 (18.38)
Prandtl no.		2.34	0.630	1.30	0.798		0.682	0.688
Dielectric constant, ε	1.287	1.253	1.00039	1.231	1.0040	1.0937	1.000271	1.000253
Index of refraction	1.134	1.119	1.000196	1.1093	1.0020	1.0458	1.000136	1.000126
Surface tension, lbf/in (N/m)		0.0171 × 10 <sup>-3</sup> (3.00 × 10 <sup>-3</sup> )		0.0111 × 10 <sup>-3</sup> (1.94 × 10 <sup>-3</sup> )		0 (0)		
Equivalent volume per volume of liquid at NBT	0.8184	0.9190	546.3	1.000	53.30	2.357	789.3	847.1

<sup>a</sup> These temperatures are based on the IPTS 1968 temperature scale.

<sup>b</sup> McCarty, R. D., J. Ford, and H. M. Roder, *Selected Properties of Hydrogen (Engineering Design Data)*, NBS Monograph 168, National Bureau of Standards, Boulder, Colorado, (1981)

NOTE: Dashes indicate not applicable.

**Software de demostración Breeze Haz**



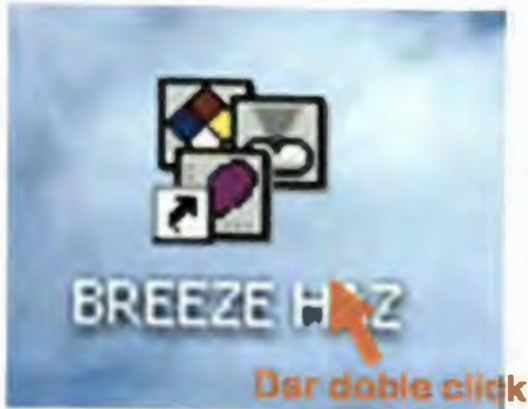
## **Software de demostración Breeze Haz**

Este software, luego de ser instalado en una computadora, tiene un tiempo de 3 días para ser utilizado, luego del cual ya se puede activar.

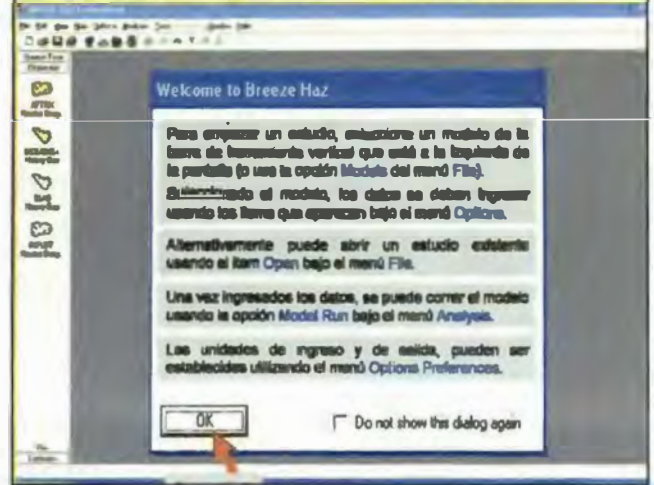
Para seguir utilizándolo, se debe desinstalar el software y volverlo a instalar, iniciándose nuevamente en ciclo de tres días de uso.

A continuación se presenta unas pantallas explicativas sobre su uso.

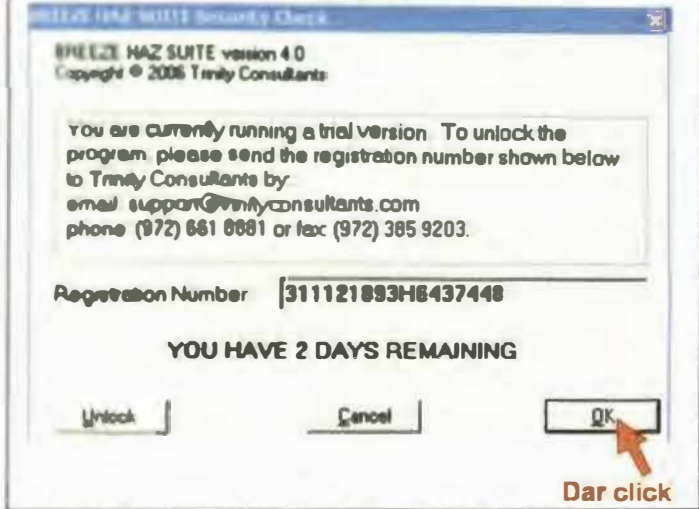
## ICONO DE INICIO DEL SOFTWARE



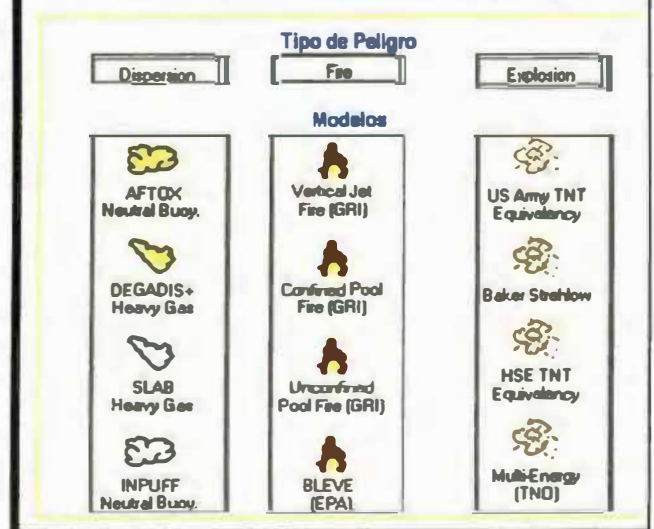
## PANTALLA DE INICIO DEL SOFTWARE



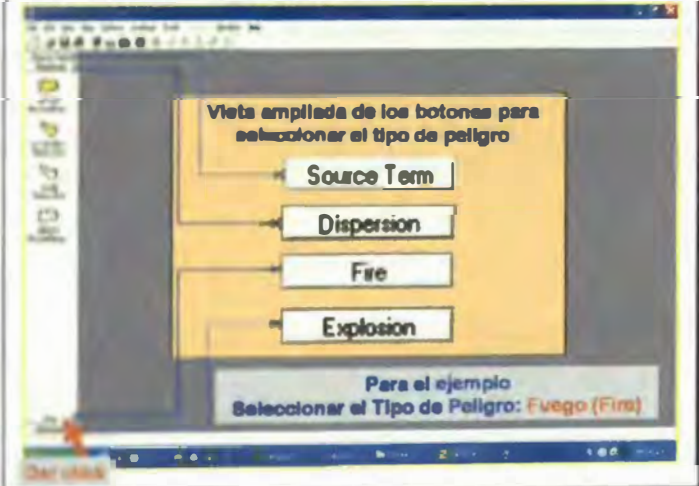
## Pantalla en la veralón de prueba, indicando el tiempo restante



## MODELOS DE PELIGRO DISPONIBLE EN EL BREZZE HAZ

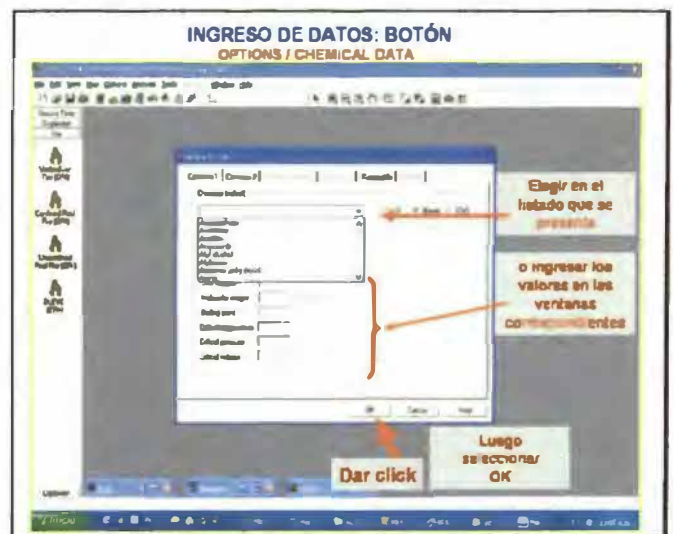
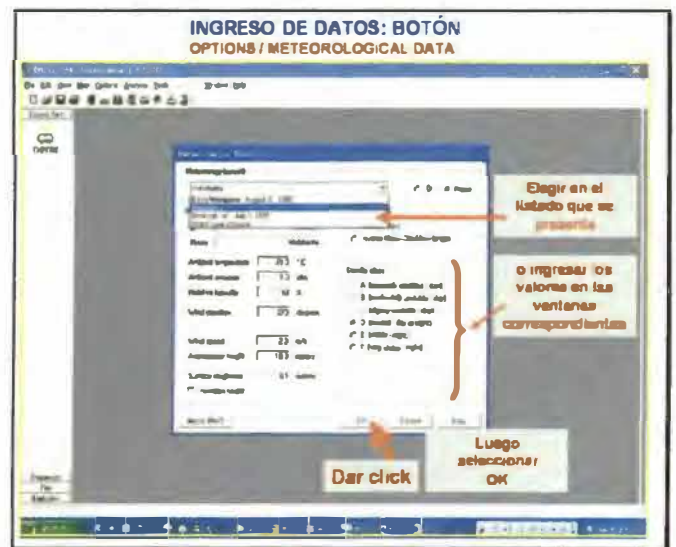
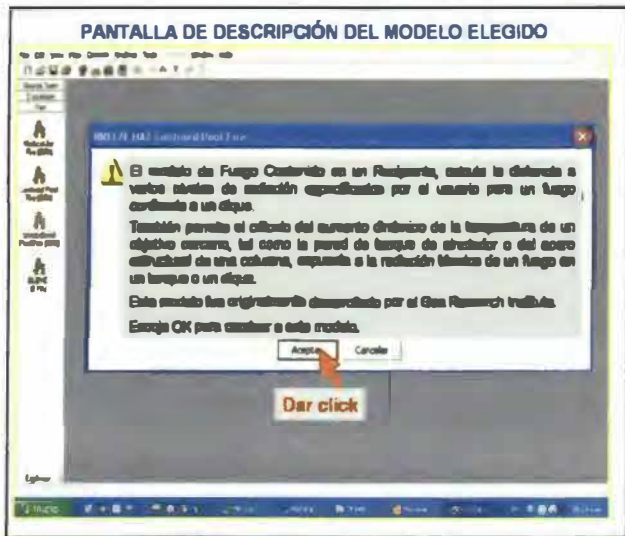


## PANTALLA PARA SELECCIÓN DE TIPO DE PELIGRO



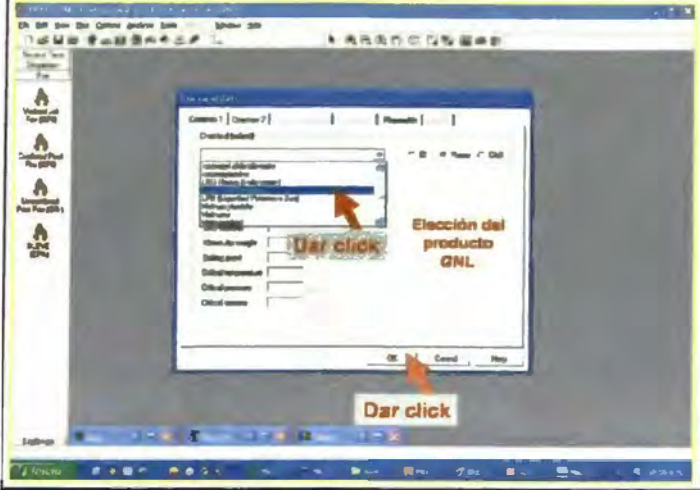
## PANTALLA PARA ELEGIR EL MODELO DENTRO DEL TIPO DE PELIGRO FUEGO



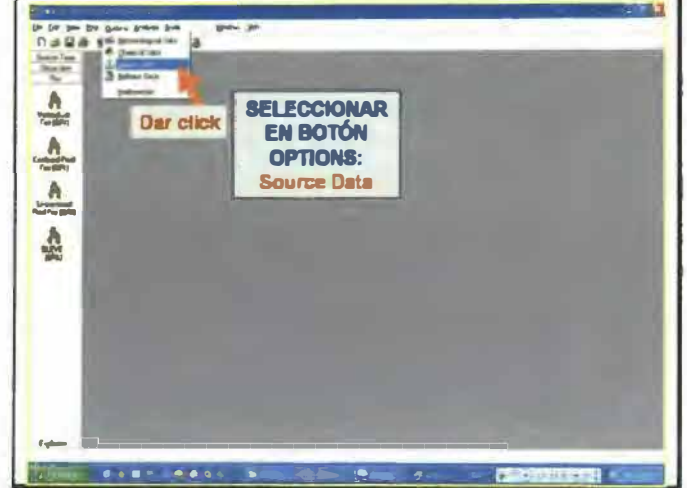




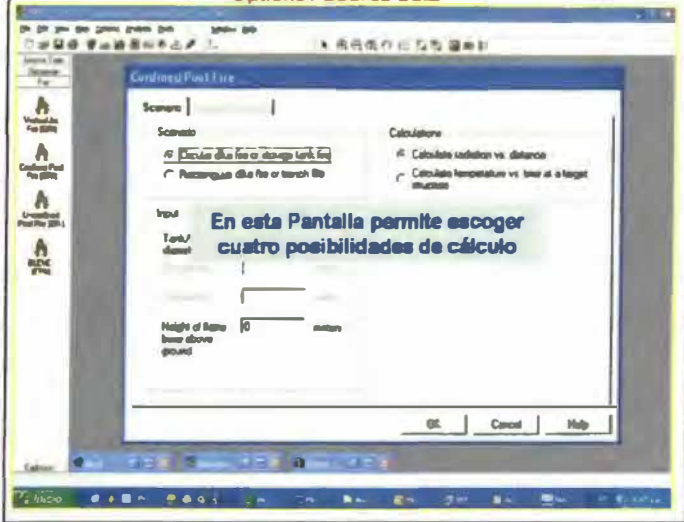
**INGRESO DE DATOS: BOTÓN  
OPTIONS / CHEMICAL DATA**



**SECUENCIA DE INGRESO DE DATOS**



**INGRESO DE DATOS: BOTÓN  
Options / Source Data**



**INGRESO DE DATOS: BOTÓN  
Options / Source Data**

**Cálculos posibles**

**Caso 1**

Scenario

Calculate disk fire or storage tank fire

Calculations

Calculate radiation vs. distance

**Caso 2**

Scenario

Calculate disk fire or storage tank fire

Calculations

Calculate temperature vs. time at a target structure

**Caso 3**

Scenario

Rectangle disk fire or bench fire

Calculations

Calculate temperature vs. time at a target structure

**Caso 4**

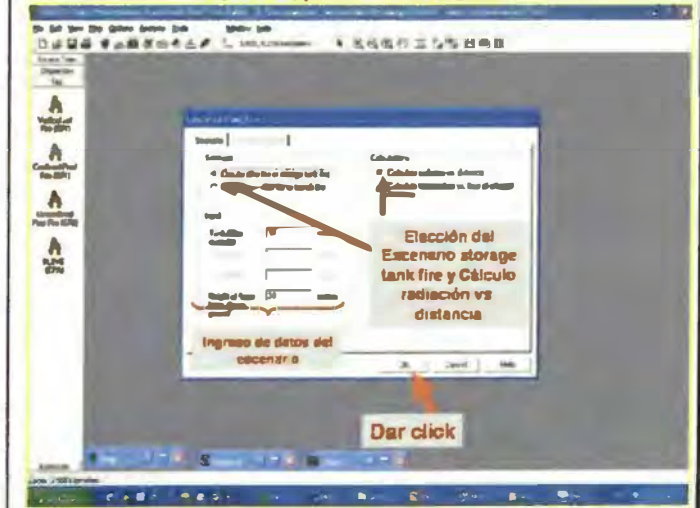
Scenario

Rectangle disk fire or bench fire

Calculations

Calculate temperature vs. time at a target structure

**INGRESO DE DATOS: Caso 1  
BOTÓN: Options / Source Data**



**PRESENTACIÓN DE RESULTADOS: Caso 2  
Activación de las ventanas correspondientes**

