

*UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA*



INFORME TECNICO

**INSTALACION Y OPERACION DE UNA PLANTA DE
HIDROGENACION DE ACEITES Y GRASAS**

Para la obtención del Título Profesional de

INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR :

JORGE MARTIN TOVAR ARROYO

PROMOCION 88 – II

UNI, MARZO DE 1999

*A mi madre,
por su constante apoyo y dedicación.
A Alicorp S.A.,
por la oportunidad de desarrollo profesional.*

INDICE

I. INTRODUCCION	5
II. ACTIVIDAD PROFESIONAL: Responsable de la instalación, puesta en marcha y operación del circuito de hidrogenación N° 1, Planta de Hidrogenación	8
II.A. EL ORGANO EMPRESARIAL	9
II.A.1. Nombre de la Empresa	
II.A.2. Sector	
II.A.3. Estructura Orgánica	
II.A.4. Líneas de Producción	
II.A.5. Distribución de las Unidades de Producción	
II.B. RELACION PROFESIONAL-EMPLEADOR	11
II.B.1. Condición	
II.B.2. Documentos Probatorios	
II.C. TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO	11
II.C.1. Cargo desempeñado	
II.C.2. Funciones asignadas al cargo desempeñado	
II.C.3. Tiempo de prestación de servicios en la actividad descrita	
II.D. FUNCIONES DESEMPEÑADAS QUE NECESITARON EL CONOCIMIENTO DE TECNICAS PROFESIONALES	15
II.D.1. Tipo de técnicas de ingeniería necesarios	
II.D.2. Cantidad y tipo de personal administrado	
II.D.3. Formatos de registro de actividades	
II.E. OBJETIVOS, ALCANCES Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA ACTIVIDAD	18
II.E.1. Objetivo	
II.E.2. Equipo	
II.E.3. Materias Primas	
II.E.4. Insumos	
II.E.5. Servicios	
II.E.6. Análisis de Laboratorio	
II.E.7. Tratamiento de los Datos: Reportes	
II.E.8. Trabajo de Gestión	
II.E.9. Otros reportes	

II.E.10.	Normas de seguridad	
II.E.11.	Efecto de los efluentes	
II.F.	TEORIA DE LA HIDROGENACION	41
II.F.1.	Naturaleza y estructura de los aceites y grasas	
II.F.2.	La reacción de hidrogenación	
II.F.3.	Selectividad	
II.F.4.	Factores que afectan la hidrogenación	
II.F.5.	Técnicas de procesamiento	
II.G.	DESCRIPCION DEL PROCESO	62
II.G.1.	Carga y calentamiento	
II.G.2.	Hidrogenación	
II.G.3.	Enfriamiento y descarga	
II.G.4.	Desmetalizado	
II.G.5.	Postblanqueo	
II.G.6.	Parámetros de operación	
II.G.7.	Cambios de Producto	
II.G.8.	Formación de precapa	
II.G.9.	Sistemas y programa de control	
II.G.10.	Controles analíticos	
II.H.	CASOS DE APLICACIÓN	77
II.H.1.	Caso I: Puesta en marcha	
II.H.2.	Caso II: Pruebas de hidrogenación	
II.I.	VENTAJAS ECONOMICAS	90
II.J.	CONCLUSIONES DE LA ACTIVIDAD	90
III.	RESUMEN	93
IV.	BIBLIOGRAFIA	96
V.	APENDICES	98

I. INTRODUCCION

Nuestra experiencia profesional en el campo de los aceites y grasas, comenzó con nuestro ingreso a la entonces Compañía Oleaginosa del Perú S.A. (COPSA) en Noviembre de 1991, trabajando como Monitor de Procesos en la Sección Refinerías del Departamento de Producción Aceitería. Nuestra responsabilidad inicial fue la supervisión y monitoreo del sistema de control y producción de la nueva Planta de Fraccionamiento, la cual estaba equipada con tecnología de punta y era la primera de las grandes inversiones hechas por la compañía desde 1990 para renovar sus instalaciones y optimizar sus operaciones. Después, integramos el equipo de trabajo para la puesta en marcha y arranque de la nueva Planta de Neutralización y Blanqueo Continuo (Junio de 1992). Conforme adquiríamos más experiencia se nos confirió más responsabilidades asignándonos gradualmente la supervisión de la producción de otras plantas del sector, tales como: la mencionada Planta de Neutralización y Blanqueo Continuo, y la antigua Refinería, dentro de cuyas instalaciones se encontraba la Planta de Hidrogenación. Esto nos permitió incrementar nuestra experiencia en el manejo de planta, ya que dentro de nuestras responsabilidades se encontraban: el control de la producción, la gestión de repuestos e insumos, la administración de los recursos materiales y humanos (la seguridad y capacitación del personal, la seguridad en el manejo de los equipos, etc.) y la optimización de las operaciones.

La fusión de la Compañía Oleaginosa del Perú S. A. con otras compañías relacionadas accionariamente en Junio de 1993, dió origen a la empresa La Fabril S.A. Posteriormente, en Mayo de 1995 esta empresa fue adquirida por la Compañía Industrial Perú Pacífico S.A. (CIPPSA), que contaba con dos plantas de producción: una en la ciudad de Piura (Planta Calixto Romero) y otra en la ciudad de Lima (Planta FAL) dedicadas también a la elaboración de aceites, mantecas y margarinas.

La nueva compañía resultado de esta adquisición se llamó Consorcio de Alimentos Fabril Pacífico S.A. (CFP S.A.), y a nuestra planta de producción se le denominó Planta Copsa. Luego de esta adquisición, la Gerencia General tomó la decisión de racionalizar las operaciones en toda la empresa. Una de estas medidas era el cierre de la Planta FAL (Fábrica de Aceites Lima), lo cual implicaba que las otras dos plantas del rubro (Calixto Romero y Copsa) asumieran el volumen de producción y las marcas que elaboraba la Planta FAL.

Esta decisión originó el desarrollo de proyectos para utilizar los equipos de la Planta FAL, y adecuarlos a nuestras líneas de producción, con la finalidad de aumentar la capacidad de las plantas y asumir el volumen de producción de la Planta FAL.

La instalación de un nuevo circuito de hidrogenación de aceites y grasas formó parte de estos proyectos. Como futuros responsables de su operación, se nos encargó formar parte del equipo de trabajo para llevar a cabo su instalación, puesta en marcha y

operación posterior. Un resumen de este trabajo se plasma en el presente informe técnico.

Anteriormente al desarrollo y ejecución del proyecto de instalación del nuevo circuito de hidrogenación, participamos en la instalación, puesta en marcha y operación del nuevo sistema de control del circuito de hidrogenación N° 4, cuya experiencia nos sirvió para desarrollar con éxito el proyecto motivo de este informe.

Con la adquisición en Noviembre de 1996 de las compañías Molinera del Perú S.A. y Nicolini Hermanos S.A., CFP S.A. toma el nuevo nombre de **alicorp S.A.** y se aceleran aún más las acciones destinadas a racionalizar las operaciones de la empresa. El incremento de la eficiencia y la productividad que persigue la empresa para alcanzar las metas de convertirse en una empresa líder y con proyección internacional nos plantea el reto de optimizar y mejorar constantemente los procesos productivos; y motivaron la recientes decisiones de adoptar un sistema de aseguramiento de la calidad para obtener la certificación internacional ISO 9002 para todos nuestros productos, e implementar el software de gestión SAP R/3 para integrar todas las áreas de nuestra empresa.

II. ACTIVIDAD PROFESIONAL

II. **ACTIVIDAD PROFESIONAL:** Responsable de la instalación, puesta en marcha y operación del circuito de hidrogenación N° 1, Planta de Hidrogenación de aceites y grasas.

II.A. EL ORGANO EMPRESARIAL

II.A.1. Nombre de la Empresa

Alicorp S.A. (Corporación de Alimentos S.A.), Planta Copsa.

II.A.2. Sector

Alimentos.

II.A.3. Estructura Orgánica

La que se indica en el organigrama de la figura II.1.

II.A.4. Líneas de Producción:

En Planta Copsa se tienen dos grandes áreas de producción: Aceitería y Jabonería.

a. **Aceitería**, es el área de producción en el cual se obtienen los aceites líquidos comestibles, las margarinas y las mantecas. Se subdivide a su vez en tres sectores: Aceite Crudo, Refinerías y Envasamiento.

- Aceite Crudo, es el sector encargado de la extracción del aceite a partir de las semillas oleaginosas, especialmente de algodón y de palmiste.
- Refinerías, es el sector encargado del tratamiento de los aceites crudos hasta obtener aceites refinados aptos para su envasado y grasas refinadas bases para la elaboración de margarinas y mantecas.
- Envasamiento, es el sector encargado de la elaboración y envasamiento de las margarinas y mantecas, y del envasamiento de los aceites líquidos.

b. **Jabonería**, es el área de producción encargada de elaborar jabones y productos industriales derivados de los procesos de saponificación y refinación. Se subdivide en dos sectores: Jabonería y Productos Industriales.

- Jabonería, es el sector encargado de la elaboración de jabones, en sus dos tipos: de lavar y de tocador.

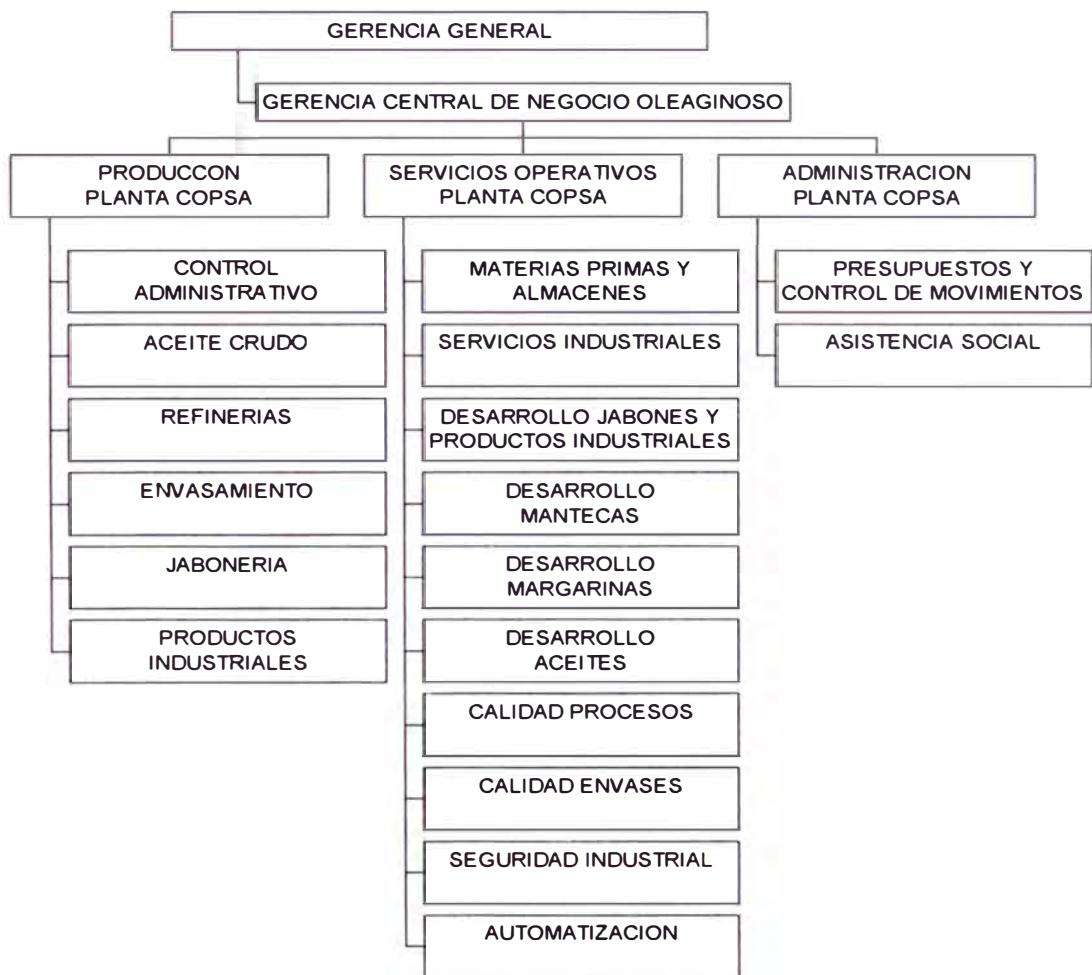


FIGURA II.1 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

- Productos Industriales, es el sector encargado de la obtención de ácidos grasos y glicerina, utilizando los subproductos de los procesos de saponificación y refinación de los aceites y grasas.

Un esquema del recorrido que siguen las materias primas a través de los diferentes procesos hasta obtener los productos finales se muestra en la figura II.2.

II.A.5. Distribución de las Unidades de Producción

La mostrada en la figura II.3.

II.B. RELACION PROFESIONAL-EMPLEADOR

II.B.1. Condición

Nombrado.

II.B.2. Documentos Probatorios

Ver Apéndice A-1.

II.C. TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO

II.C.1. Cargo desempeñado

Monitor de Procesos.

II.C.2. Funciones asignadas al cargo desempeñado

Se nos asignaron las siguientes funciones:

- Participación en la elaboración del diagrama de flujo y revisión de los planos isométricos de las instalaciones***, teniendo en cuenta que la instalación de este circuito de hidrogenación era sobre una área libre de un edificio ya existente, se debía verificar que no existieran cruces de tuberías y que la instalación de tuberías y equipos faciliten las labores de operación de toda la planta; además, en el diagrama de flujo se plasmó la experiencia adquirida en el proceso y en la operación de los otros circuitos de hidrogenación.
- Supervisión del montaje de los diferentes equipos, tuberías y accesorios***, para comprobar que la instalación y montaje de equipos y

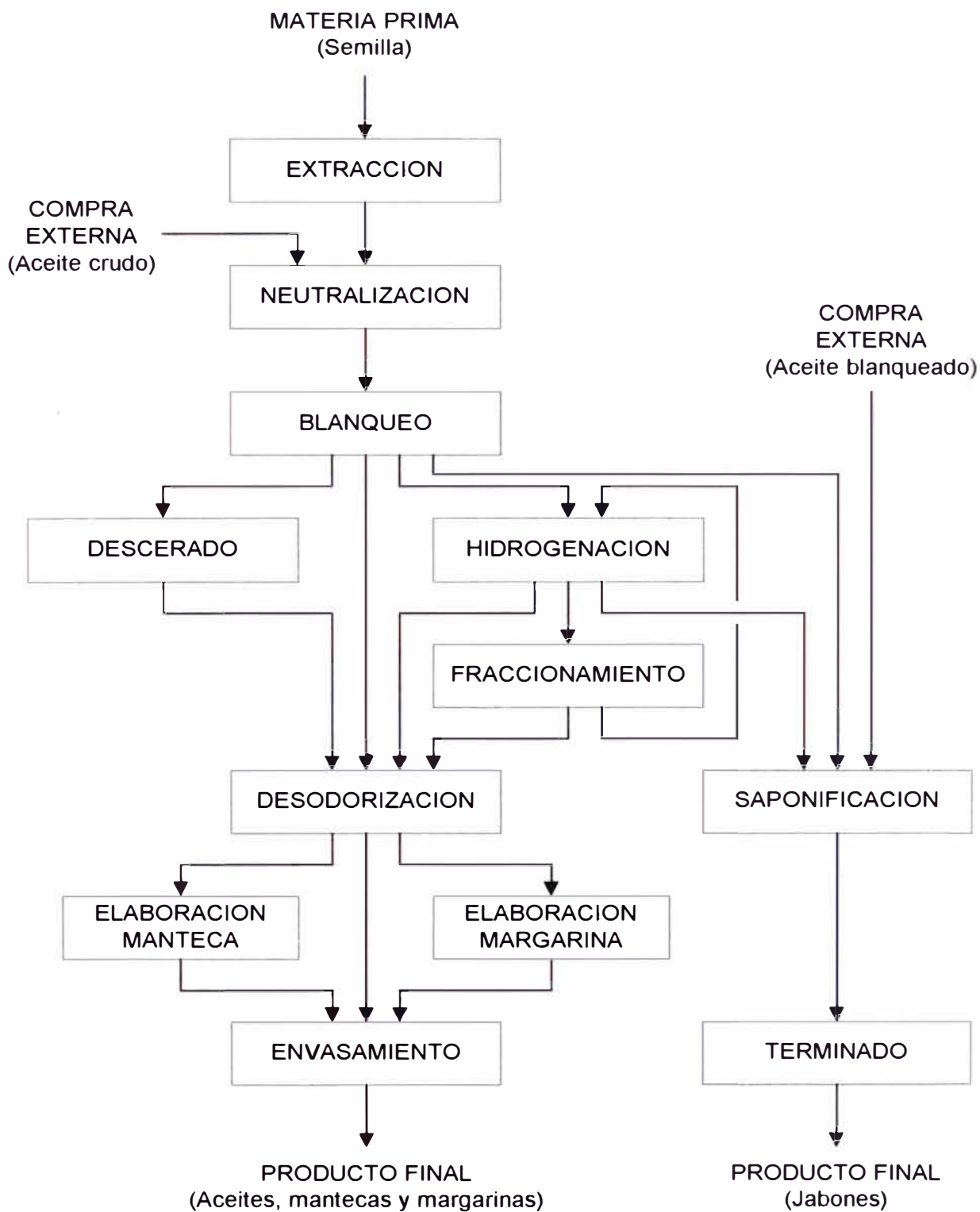
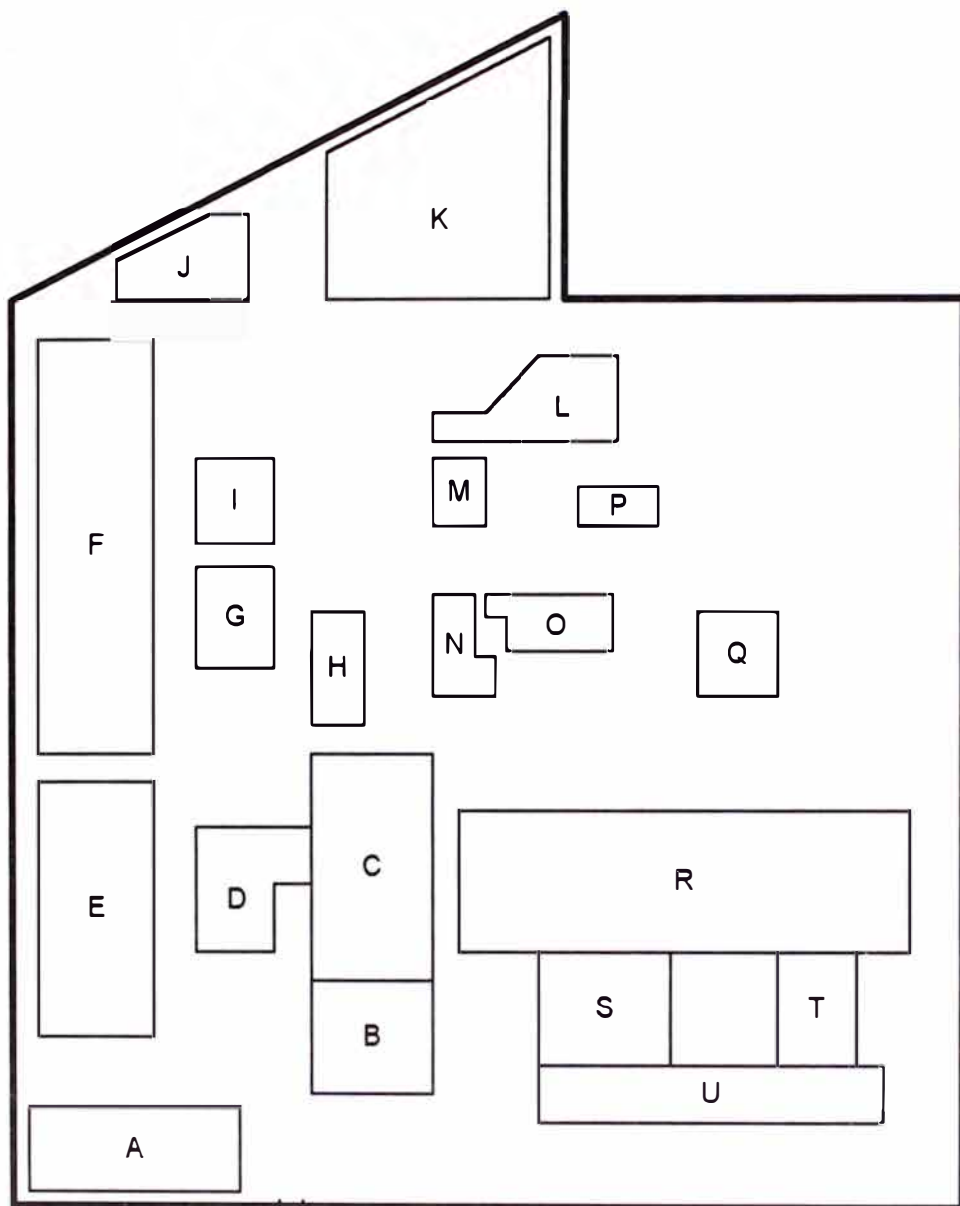


FIGURA II.2 ESQUEMA DE PRODUCCION EN LA PLANTA COPSA

FIGURA II.3 DISTRIBUCION DE LAS UNIDADES DE PRODUCCION



- A : Gerencia y Residencias
- B : Administración
- C : Planta de Jabonería
- D : Antigua Refinería de Aceites Vegetales
- E : Galpón de semillas
- F : Planta de Extracción de Aceites
- G : Servicios Industriales, Talleres
- H : Almacén de repuestos
- I : Casa de Fuerza y Sala de Calderos
- J : Almacén de Insumos
- K : Depósito de Aceites Crudos y Blanqueados
- L : Planta de Desodorización
- M : Planta de Neutralización y Blanqueo
- N : Planta de Hidrogenación
- O : Planta de Fraccionamiento
- P : Planta de Acidos Grasos
- Q : Planta de Generación de Hidrógeno
- R : Almacén de Productos Terminados
- S : Envasamiento de Aceite y Fabricación de Botellas
- T : Elaboración y Envasamiento de Mantecas y Margarinas
- U : Almacén de Envases

tuberías estén de acuerdo a los planos revisados anteriormente, y tomar acciones correctivas en el campo cuando físicamente no sea posible instalarlos según los planos (posición del equipo, cambios de recorrido, cambios de diámetro de tubería, etc.).

- c. **Determinación de los lugares adecuados para instalar los diversos instrumentos de control**, teniendo en cuenta la correcta ubicación en cuanto a posición, soportes y seguridad, según los manuales de los fabricantes, según las condiciones del proceso, especialmente para los sensores de nivel, temperatura y presión, y que faciliten las labores de operación y mantenimiento.
- d. **Elaboración de las secuencias de operación y control del proceso, para la programación del Controlador Lógico Programable (PLC)**, este circuito de hidrogenación está concebido para tener un alto grado de automatismo, pero como una primera etapa, se ha puesto énfasis al automatismo sólo en el proceso de hidrogenación hasta la operación de desmetalizado. Se elaboraron las secuencias de control, teniendo como criterios nuestro conocimiento sobre el proceso, la experiencia en la operación de los otros circuitos de hidrogenación y la facilidad para que los operadores interactúen con los sistemas de control.
- e. **Responsable del arranque y la puesta en marcha de la planta**, nos encargamos de verificar todas las líneas del proceso y de servicios para un adecuado arranque de planta, y de comprobar y corregir de ser necesario todas las secuencias automáticas de control y operación.
- f. **Programación de cargas**, en general se deben programar las cargas en todos los reactores, de tal manera de cumplir con el programa de producción y según la disponibilidad de gas hidrógeno y de servicios (agua, vapor, etc.).
- g. **Coordinación externa e interna**, se deben efectuar las coordinaciones con la planta de refinación y desodorización, tanto como con otras plantas pertenecientes a otros sectores (por ejemplo Jabonería y Servicios), para no desabastecernos de materia prima ni desabastecer de productos a las otras plantas, que puedan originar retrasos y/o paradas que perjudiquen el flujo normal del proceso productivo.
- h. **Supervisión del proceso**, con el objetivo de cumplir los programas de producción, obtener aceites hidrogenados cuyas características de calidad estén dentro de las especificaciones, utilizar racionalmente los

insumos, verificar el adecuado manejo de los equipos y materiales, y la correcta operación de la planta.

- i. **Formulación de propuestas**, direccionadas a una mejora continua del proceso, tales como: cambiar parámetros de operación para obtener una grasa según especificaciones o satisfacer nuevos requerimientos del mercado, reducir el uso de insumos, modificar la infraestructura para una mayor seguridad del personal y mejor calidad del producto, y cambiar procedimientos de trabajo.
- j. **Programación del mantenimiento de los equipos**, se debe programar el mantenimiento de los diferentes equipos tales como: bombas, motores, agitadores, etc., con la finalidad de obtener un funcionamiento uniforme de planta y un mínimo de paradas por desperfectos mecánicos.
- k. **Gestión del suministro de insumos y repuestos**, se deben hacer en forma oportuna todos los requerimientos de insumos y repuestos necesarios para el normal funcionamiento de la planta.

II.C.3. Tiempo de prestación de servicios en la actividad descrita: Desde el mes de Abril de 1997 a la fecha.

II.D. FUNCIONES DESEMPEÑADAS QUE NECESITARON EL CONOCIMIENTO DE TECNICAS PROFESIONALES

II.D.1. Tipo de técnicas de ingeniería necesarios

Las técnicas de ingeniería aplicadas en la actividad descrita fueron:

- a. Conocimientos sobre hidrogenación de aceites y grasas.
- b. Transferencia de calor.
- c. Transferencia de cantidad y movimiento.
- d. Conceptos básicos sobre termodinámica de las reacciones químicas.
- e. Filtración.
- f. Adsorción.
- g. Instrumentación industrial.
- h. Control de procesos y operación de los controladores lógicos programables (PLC).
- i. Estadística básica (para el tratamiento de los datos).
- j. Planeamiento de la producción.

II.D.2. Cantidad y tipo de personal administrado

Durante la etapa de instalación y montaje de equipos, tuberías y accesorios, no se tuvo personal directo a cargo; las coordinaciones sobre cambios en las líneas de montaje se hicieron con el supervisor encargado del sector de Diseño y Nuevas Instalaciones. Durante la puesta en marcha, se tuvo a 6 operadores (nivel obrero) a cargo, a quienes se les capacitó para la correcta operación de la planta. En la etapa normal de funcionamiento se requieren de 2 operadores por turno, cuyas funciones son:

- a. **Operador del Hidrogenador**, el cual se encarga de las actividades de carga, calentamiento, reacción, enfriamiento y descarga del lote de aceite hasta el tanque de desmetalizado.
- b. **Operador del Postratamiento**, el cual se encarga de las actividades de desmetalizado y postblanqueo del aceite hidrogenado hasta el tanque final.

Adicionalmente, se tiene un **Operador de Balanzas**, el cual se encarga de alimentar de materia prima al circuito de hidrogenación y de descargar el aceite ya hidrogenado hacia los tanques de almacenamiento; y de un **Ayudante de Planta**, que se encarga conjuntamente con el Operador del Postratamiento de la limpieza de los filtros prensa de desmetalizado y de postblanqueo.

Se debe hacer notar, que este circuito de hidrogenación forma parte de una planta de hidrogenación en la cual se disponen en total de 4 circuitos de hidrogenación, por lo tanto, y teniendo en cuenta que está a nuestro cargo la supervisión de toda la planta de hidrogenación, se dispone de más personal a cargo, pero que no está involucrado directamente con la actividad descrita.

II.D.3. Formatos de registro de actividades

Durante el funcionamiento normal de la planta, los formatos utilizados para registrar las actividades de los procesos y operaciones son:

- a. **Refinería II Balanzas**, en este formato se registran las actividades de carga de aceite materia prima para la Planta de Hidrogenación y de descarga del aceite hidrogenado desde el tanque final hacia los tanques de almacenamiento, indicando el tipo de producto hidrogenado. El Operador de Balanzas es el encargado de realizar esta actividad y el responsable del registro en este formato.

- b. **Control de Hidrogenación**, en este formato se registran los lotes de aceite que se van hidrogenando, anotando el número de carga, el tipo de producto, la cantidad y tipo de catalizador utilizado, el índice de refracción inicial y final del lote, y el punto de fusión del producto hidrogenado. El Operador del Hidrogenador es el encargado de realizar esta actividad y el responsable del registro en este formato.
- c. **Carta Registradora del Hidrogenador N° 1**, el instrumento registrador registra en esta carta los valores de los parámetros de operación temperatura y presión del reactor a través del tiempo, anotando el Operador del Hidrogenador encima de la gráfica respectiva el número de carga, el tipo de producto, el tipo y cantidad de catalizador utilizado, y el avance de la reacción, por medio de anotar los valores del índice de refracción en el momento que el operador toma una muestra para controlar el avance de la reacción.
- d. **Postratamiento de Hidrogenados: Hidrogenador N° 1**, en este formato se registran las actividades de desmetalizado y postblanqueo del aceite, indicando la cantidad de insumos agregados al lote de aceite (tierra blanqueante, ayuda filtrante, ácido cítrico, etc.) que van a ser retenidos en los filtros prensa, adicionalmente se indica la cantidad de catalizador asociada a cada lote de aceite hidrogenado. Todo esto con la finalidad de llevar un control de la operación de los filtros prensa para la oportuna limpieza de los mismos. El Operador del Postratamiento es el encargado de realizar estas actividades y el responsable del registro en este formato.
- e. **Refinerías Hidrogenación**, en este formato se registran los resultados de los análisis realizados a muestras de aceite hidrogenado tomados en varios puntos del proceso. El Analista de Laboratorio es el encargado de hacer los análisis y el responsable del registro de los resultados en este formato.
- f. **Control de Producción Refinería II**, este formato es llenado por el Monitor de Procesos, y en él se anotan los datos más importantes de todos los formatos anteriores. Sirve como referencia y apoyo al Monitor de Procesos para el mejor control del proceso productivo.
- g. **Cuaderno de reportes**, es llenado por el Monitor de Procesos, y en él se anotan todos los eventos importantes ocurridos durante el turno de trabajo y las indicaciones necesarias sobre los diferentes aspectos de la planta para los turnos siguientes (programación de cargas,

mantenimiento de equipos, abastecimiento de insumos, administración del personal, etc.)

Algunos de estos formatos son mostrados en el Apéndice A-2.

II.E. OBJETIVOS, ALCANCES Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA ACTIVIDAD

II.E.1. Objetivo

Los objetivos de la actividad son:

- a. Instalar de forma apropiada los equipos, de tal manera de facilitar la operación y el mantenimiento de los mismos.
- b. Asegurar el normal funcionamiento del circuito de hidrogenación N° 1, teniendo los materiales e insumos en la cantidad adecuada, verificando el correcto manejo de los equipos y el buen funcionamiento del programa de control.
- c. Cumplir con los programas de producción.
- d. Mejorar constantemente la calidad de los productos.
- e. Eliminar los actos y condiciones inseguras para mantener la seguridad del personal y equipos.

II.E.2. Equipo

a. **Equipo de proceso**

- Tanque intercambiador de calor E110, es un tanque de diseño especial, patentado por la compañía De Smet, en donde se lleva a cabo el precalentamiento del aceite blanqueado de ingreso al circuito por medio del enfriamiento del aceite hidrogenado que se descarga hacia el tanque desmetalizador. Este tanque es cilíndrico de fondo cónico e internamente tiene un serpentín en forma de espiral, formado por tubería de 2" de diámetro y esta ubicado a los costados y a todo lo alto del tanque a unos 0,15 m de la pared, tiene un área de transferencia de 80 m², y tiene conexión con el sistema de vacío de la planta. El aceite blanqueado es distribuido por 4 toberas a una canaleta circular superior, en donde por rebose el aceite blanqueado desciende, formando una capa o película alrededor de la pared exterior del serpentín por cuyo interior circula el aceite hidrogenado.

- Tanque balanza T110, es un tanque cilíndrico y de fondo cónico, el cual tiene instalada en su base 4 celdas de carga que nos permiten pesar el aceite que ingresa a este tanque. Posee un serpentín interno en forma de doble espiral, formado por tubería de 3" de diámetro, lo cual hace un área de transferencia de 44 m^2 , y un agitador vertical tipo turbina. Tiene conexión al sistema de vacío de la planta y tiene una capacidad de $22,9 \text{ m}^3$.
- Hidrogenador T100, es el tanque en donde se lleva a cabo la reacción de hidrogenación, es del tipo "dead end" y es de forma cilíndrica con fondo cóncavo, con una relación longitud/diámetro de 2,4, con una capacidad de tratamiento de 15 toneladas de aceite y un volumen total de $23,5 \text{ m}^3$. En su interior tiene un serpentín de calentamiento y enfriamiento en forma de doble espiral, formado por tubería de 3" de diámetro, lo cual hace un área de transferencia de 60 m^2 . Tiene un agitador vertical de paletas de diseño especial, de 5 niveles, cuya velocidad de giro es de 100 rpm. Tiene instalado 4 placas deflectoras a lo largo del reactor para evitar la formación de vórtice en el momento de agitar el aceite. Posee además en la parte inferior un anillo circular de 1,0 m de diámetro con 72 agujeros de 3 mm por donde se inyecta el gas hidrógeno. Se hace vacío al reactor por medio de un eyector de vapor (esto por motivos de seguridad), el cual permite alcanzar presiones de vacío de hasta 500 mbar. También se tienen conexiones para añadir catalizador, tomar muestras, etc. En la figura II.4 se muestra la parte superior del reactor, con las ubicaciones de las conexiones principales.
- Tanque T120, es un tanque cilíndrico de fondo cóncavo y en donde se enfría el aceite hasta una temperatura apropiada para el intercambio de calor con el aceite blanqueado que ingresa al tanque T110. Tiene en su interior un serpentín en forma de espiral, formado por tubería de 3" de diámetro, lo cual hace un área de transferencia de 23 m^2 y un agitador vertical de paletas. Tiene conexión también al sistema de vacío de la planta.
- Tanque desmetalizador T130, es un tanque cilíndrico de fondo cóncavo, con una capacidad de 22 m^3 , en donde se lleva a cabo la operación de desmetalizado, el cual consiste en retirar el catalizador agregado en la etapa de reacción. Tiene un serpentín en forma de espiral, formado con tubería de 3" de diámetro, lo cual

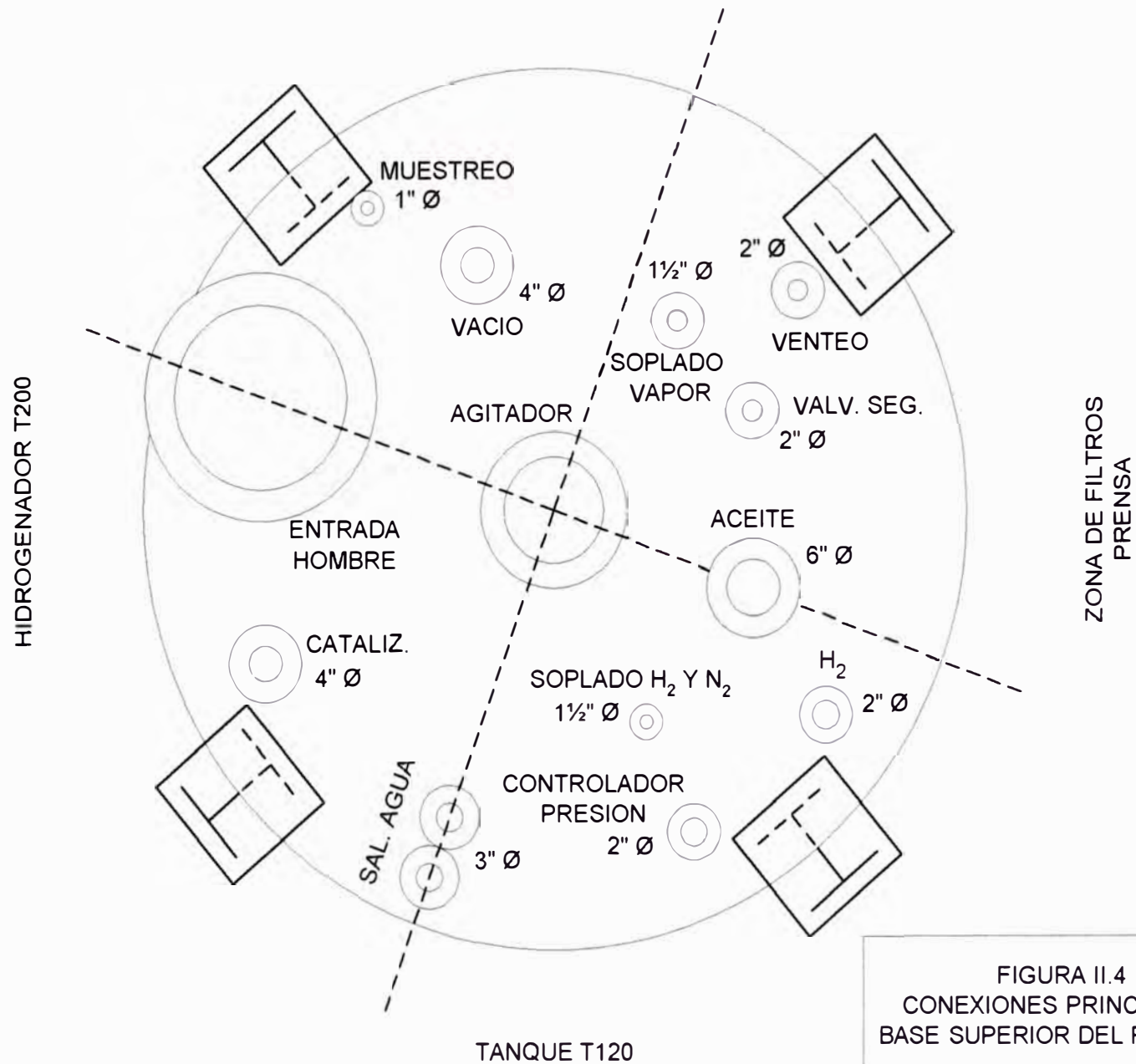


FIGURA II.4
 CONEXIONES PRINCIPALES
 BASE SUPERIOR DEL REACTOR

hace un área de transferencia de $26,5 \text{ m}^2$ y un agitador vertical de paletas. Tiene conexión al sistema de vacío de la planta.

- Tanques blanqueadores T140A/B, son tanques cilíndricos y de fondo cóncavo, donde se lleva a cabo la operación de postblanqueo, el cual consiste en agregar ciertos insumos al aceite (ácido cítrico y/o tierra blanqueante) para retirar las trazas de catalizador presentes aún en el mismo. Tienen un serpentín en forma de espiral, formado con tubería de 3" de diámetro, un agitador vertical de paletas y conexión al sistema de vacío de la planta. El tanque T140A tiene un área de transferencia de $37,5 \text{ m}^2$ y una capacidad de $21,2 \text{ m}^3$; el tanque T140B tiene un área de transferencia de $20,7 \text{ m}^2$ y una capacidad de $21,3 \text{ m}^3$.
- Tanque final T150, es un tanque cilíndrico de fondo plano de 24 m^3 de capacidad con un serpentín en forma de parrilla, formado con tubería de $1\frac{1}{2}$ " de diámetro lo cual hace un área de transferencia de $3,5 \text{ m}^2$, y no posee agitador. En este tanque se deposita el aceite hidrogenado filtrado que se encuentra listo para su envío a los tanques de almacenamiento.
- Tanques de precapa T131 y T141, son tanques abiertos de forma cilíndrica y de fondo cónico, con una capacidad de $1,5 \text{ m}^3$. Sirven para realizar una precapa con ayuda filtrante a los filtros F130 y F140. Poseen ambos un agitador inclinado tipo hélice.
- Filtros prensa F130 y F140, son filtros del tipo placas y marcos, y tienen 42 placas y 41 marcos. Las placas son cuadradas, con una longitud de $0,91 \text{ m}$ y un área de filtrado de $1,67 \text{ m}^2$ por placa. Tienen en total 137 m^2 de superficie filtrante y una capacidad de retención de 400 kg de tierra y/o catalizador. Poseen un sistema de cerrado hidráulico y una bandeja inferior en donde se colecta el aceite producto de los goteos por las juntas entre las placas y marcos. Estos filtros trabajan con un paño filtrante de fibra sintética poliéster y 2 pliegos de papel filtrante en cada placa. Al momento de limpiar estos filtros, sólo se cambia el papel filtrante. Los paños se cambian por lo menos una vez al mes o cuando se noten con los poros obstruidos.
- Bomba de carga tanque balanza P110, es una bomba del tipo desplazamiento positivo, de engranajes con una capacidad nominal de $17 \text{ m}^3/\text{h}$ con un motor de $7,5 \text{ hp}$ de potencia. Es accionada en

forma remota desde el panel de operador OP25 y puede variarse el flujo de bombeo, por medio de variar la velocidad de giro del eje del motor.

- Bomba de descarga tanque T120, P120; es una bomba del tipo desplazamiento positivo, de engranajes con una capacidad nominal de 18 m³/h con un motor de 10 hp de potencia. Al igual que la bomba P110, es accionada en forma remota desde el panel de operador OP25 y tiene el mismo sistema de variación del flujo de bombeo.
- Bomba de descarga tanque desmetalizador P130, es una bomba del tipo centrífugo de impulsor abierto con una capacidad nominal de 18 m³/h y un motor de 10 hp de potencia. Esta bomba es accionada remotamente desde el panel de control.
- Bomba de descarga tanques blanqueadores P140A/B, son bombas del tipo centrífugo con impulsor abierto, con una capacidad de nominal de 20 m³/h y un motor de 10 hp de potencia. Estas bombas no trabajan simultáneamente, una bomba está en espera mientras la otra trabaja. En caso de que la bomba de trabajo actual sufra un desperfecto, la otra bomba comienza a trabajar. Estas dos bombas son accionadas remotamente desde el panel de control.
- Bomba de descarga tanque final P150, es una bomba del tipo centrífugo con impulsor cerrado, con una capacidad de bombeo nominal de 90 m³/h y un motor de 25 hp de potencia. Es accionado remotamente desde el panel de control.
- Enfriador del tanque final E150, es un intercambiador de calor de placas, formado por 35 placas, con un área de enfriamiento total de 12,5 m² y está situado en la descarga de la bomba P150, después del filtro F150. Por un lado circula el aceite hidrogenado y por el otro agua tratada, que servirá para enfriar el aceite hidrogenado mientras es enviado a los tanques de almacenamiento.
- Filtro tipo bolsa F150, es un filtro del tipo bolsa y está situado en la descarga de la bomba P150, antes del enfriador E150. Lleva en su interior una funda filtrante normalmente de 25 micrones, aunque esto puede variar según las características del aceite hidrogenado. Puede soportar presiones de hasta 6 bar y tiene juntas del tipo anillos "o" de material elastómero vitón que soporta temperaturas hasta de 150 °C.

b. Equipos de servicio

- Tanque de agua blanda T060, es un tanque cilíndrico de fondo plano de 10 m³ de capacidad, donde se almacena el agua blanda producida en el tanque de intercambio iónico (tanque ablandador).
- Tanque de intercambio iónico (tanque ablandador), es un tanque cilíndrico, de fondo cóncavo, el cual tiene en su interior 0,7 m³ de resina de intercambio iónico ciclo sodio, tipo Amberlite IR-120 plus (tipo sulfonato de poliestireno).
- Tanques pulmón de agua T171 y T172, son tanques cilíndricos, dispuestos en forma horizontal, de 1 m³ de capacidad, que sirven para almacenar agua blanda para que las bombas P171 y P172 no se desceben debido a la vaporización del agua en los tanques flash. Estos tanques pulmón llevan instalados indicadores de nivel, los cuales accionan remotamente la bomba de agua blanda P170.
- Tanques flash T171A y T172A, son tanques cilíndricos de 0,80 m de diámetro, de fondo cóncavo, con tubos de desfogue por la parte superior de 6" de diámetro. A estos tanques ingresa por la parte media lateral la mezcla agua líquida-vapor que sale de los serpentines del hidrogenador T100 y del tanque T120 respectivamente, el tubo de desfogue penetra en el interior del tanque hasta aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la altura del tanque, lo que permite la separación del vapor (que sale por el tubo de desfogue) del agua líquida, que sale por la parte inferior al tubo de succión de las bombas P171 y P172.
- Enfriadores E171 y E172, son intercambiadores de calor de placas con áreas de transferencia de 23 m² y 18,3 m² respectivamente. En ambos enfriadores se producirá el intercambio de calor del agua blanda circulante por los serpentines del tanque hidrogenador T100 y el tanque T120, con agua tratada proveniente de la torre de enfriamiento N° 4.
- Bombas de agua P171 y P172, son bombas del tipo centrífugo, con caudales nominales de 35 m³/h y 21 m³/h respectivamente. Sirven para circular agua blanda a través del tanque hidrogenador T100 (para controlar la temperatura de reacción) y del tanque T120 (para enfriar el aceite hidrogenado).

c. ***Equipos e instrumentos de control y supervisión***

- *Medidores de flujo másico*, se tienen dos unidades de estos medidores que son de tipo vortéx, el primero permite medir el flujo de aceite blanqueado que ingresa al tanque balanza T110 y forma parte del sistema de control de flujo de ingreso a este tanque; y el segundo permite medir el flujo de aceite hidrogenado que se descarga del tanque T120 y se envía al tanque desmetalizador T130, a través del intercambiador E110, y forma parte del sistema de control de flujo de descarga del tanque T120. Ambos sistemas de control permiten maximizar el intercambio de calor en E110.
- *Variadores de frecuencia*, se tienen dos unidades de estos dispositivos de control, que permiten por medio de variar la magnitud de la frecuencia de la tensión eléctrica (entre 0 y 60 Hz), variar la velocidad de giro del motor de las bombas P110 y P120, y variar por tanto, el flujo de aceite descargado. Ambos dispositivos forman parte de los sistemas de control de flujo arriba mencionados.
- *Celdas de carga*, se tienen cuatro celdas de carga ubicadas en la base del tanque balanza T110, que permiten conocer en tiempo real el peso del aceite almacenado en dicho tanque. Forma parte del sistema de control de carga del tanque T110.
- *Indicador transmisor de peso*, este dispositivo recibe la señal de peso de las celdas de carga y la indica en una pantalla digital. Tiene dos señales de salida programables al controlador lógico programable (PLC), una de peso máximo, para parar la bomba P110 y detener el envío de aceite al tanque T110 y una de peso mínimo (cuando se descarga el tanque), para activar un temporizador y luego cerrar la válvula de descarga respectiva.
- *Sensor de presión del hidrogenador*, debido al ambiente considerado de alto riesgo en los alrededores del hidrogenador por la naturaleza misma del proceso, el sensor de presión utilizado es del tipo diafragma con capilar, que utiliza un líquido para transmitir la presión a un transmisor neumático montado en el campo. El sensor de presión está ubicado sobre la base superior del hidrogenador. El transmisor neumático envía la señal hasta el controlador neumático ubicado en el panel respectivo.

- Controlador de presión del hidrogenador, es un controlador indicador neumático con función proporcional e integral, acción directa e inversa y con escala de control de 0 a 5 bar. La señal de salida va directamente al elemento de control final, el cual es una válvula de control tipo diafragma aire para abrir, que regula el flujo de gas hidrógeno que ingresa al hidrogenador.
- Registrador, es un dispositivo de registro de presión y temperatura del aceite dentro del hidrogenador, el cual se registra sobre una carta circular de 24 h. El Operador del Hidrogenador cambia esta carta diariamente e indica la fecha correspondiente.
- Refractómetro, es un instrumento que nos permite monitorear el avance de la reacción y determinar el punto final de la misma, midiendo el índice de refracción de muestras extraídas del hidrogenador conforme transcurre la reacción. Esta medición se efectúa a una temperatura constante de 60 °C, para esto se dispone de un baño de agua cuya temperatura es regulada por un termostato, que activa o desactiva una resistencia eléctrica. Esta masa de agua circula por el interior del refractómetro para mantener el prisma a una temperatura constante y así tener lecturas que sean comparables para cada carga. La lectura del índice se efectúa en forma manual, esto es, el operador tiene que regular los controles del refractómetro para obtener una visión clara de la línea de interfase que se forma al colocar unas gotas de la muestra en el prisma y leer el índice de refracción correspondiente.
- Panel de operador OP25, es un dispositivo que nos permite interactuar con el sistema de control, esto es, podemos comunicarnos con el controlador lógico programable (PLC), para ordenarle abrir y cerrar válvulas, arrancar y parar motores, activar o desactivar secuencias, fijar temperaturas, flujos, estado de tanques, etc. Por medio de este dispositivo se supervisa y monitorea el proceso en este circuito de hidrogenación. Se describe en mayor detalle este dispositivo en II.G.9.
- Sensores de temperatura, debido a que la temperatura del aceite en los distintos tanques nunca es mayor de 250 °C, se utilizan en toda la Planta de Hidrogenación los sensores de temperatura tipo RTD (Pt 100).

- Indicadores de nivel, se tienen dos tipos de estos indicadores de nivel instalados en este circuito de hidrogenación: (a) los del tipo flotador, que son usados en el tanque de agua fría, y (b) los del tipo de frecuencia de resonancia que se utilizan en los demás tanques. Los del tipo flotador trabajan mejor en medios acuosos a baja temperatura y donde no hay mayores turbulencias; en cambio, los del tipo frecuencia de resonancia se pueden emplear en medios de mayor temperatura (90–150 °C) y donde puede haber turbulencia y agitación del medio.
- Paneles de control, ver II.G.9.

La lista de todos los equipos e instrumentos pertenecientes al circuito de hidrogenación N° 1, se presenta en el Apéndice A-3.

II.E.3. Materias Primas

En la reacción de hidrogenación se utilizan las siguientes materias primas:

- a. **Aceite de Soya**, es un aceite importado, generalmente de Argentina, Bolivia y Estados Unidos. Se importa como aceite crudo desgomado, es decir, aquél que se obtiene del procesamiento del grano de soya, al cual se le ha sometido a un tratamiento posterior para disminuir el contenido de fósforo hasta aproximadamente 200 ppm. Este aceite previo a la hidrogenación es tratado en la Planta de Refinación, en donde se le somete a un proceso adicional de desgomado (para disminuir el contenido de fósforo por debajo de 5 ppm), y a los procesos de neutralización alcalina y blanqueo con tierras adsorbentes. A este aceite luego de estos procesos, se le conoce comúnmente como aceite blanqueado de soya.
- b. **Aceite de Algodón**, es un aceite que se obtiene en nuestras instalaciones (sector de Aceite Crudo) producto del tratamiento de la pepa de algodón que se adquiere localmente. También se puede adquirir localmente en forma de aceite crudo. Este aceite al igual que el aceite de soya, debe ser desgomado, neutralizado y blanqueado antes de ingresar a la Planta de Hidrogenación. Se le conoce luego de estos procesos como aceite blanqueado de algodón.
- c. **Aceite de Palma**, es un aceite que se puede adquirir en dos formas: como aceite crudo, el cual se adquiere de productores externos,

principalmente de países de la Cuenca Asiática del Pacífico (Malasia, Indonesia, etc.) y como aceite semirefinado o también llamado RBD (Refinado, Blanqueado y Desodorizado, -refinación física-), de productores locales, principalmente de empresas ubicadas en la zona selva del país. El aceite semirefinado o RBD ingresa directamente a la Planta de Hidrogenación; en cambio, el aceite crudo previamente debe ser sometido a los procesos de desgomado, neutralización y blanqueo, y se le conoce luego como aceite blanqueado de palma.

- d. **Aceite de Pescado**, es un subproducto del proceso de obtención de la harina de pescado, y es adquirido localmente de las empresas harineras del país. Es un aceite que al igual que los aceites vegetales crudos, debe ser desgomado, neutralizado y blanqueado antes de ser hidrogenado. A este aceite luego se le denomina aceite blanqueado de pescado. Debido a la naturaleza del proceso de obtención de la harina de pescado y a lo variado de las especies marinas utilizadas como materia prima, este aceite presenta variaciones en su composición química de lote a lote, lo que no hace tan fácil predecir su comportamiento en el proceso de hidrogenación.
- e. **Estearina de Pescado**, es un subproducto (fase sólida) obtenido del fraccionamiento de un tipo de aceite de pescado parcialmente hidrogenado, que se hidrogena nuevamente para aumentar su estabilidad a la oxidación y para su uso en la formulación de mantecas compuestas.
- f. **Gas Hidrógeno**, es obtenido en nuestras instalaciones (Planta de Generación de Gas Hidrógeno) mediante el proceso de reformación catalítica del gas propano o GLP. Se dispone de dos plantas de producción de gas hidrógeno. La planta Girdler, la cual tiene una capacidad de producción de 600 Nm³/h y la planta Howe Baker, en funcionamiento desde Enero de 1996, la cual tiene una capacidad también de 600 Nm³/h. El gas hidrógeno producido en la planta Girdler tiene una pureza mínima de 99,6 %, en cambio, el producido en la planta Howe Baker tiene una pureza mínima de 99,9 %. En ambas plantas, las impurezas como monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) están en concentraciones menores a 5 ppm.

En el cuadro II.1, se muestran los valores de las características de calidad que deben tener los diferentes aceites crudos y blanqueados; los de este último tipo son los valores antes de ingresar a la Planta de Hidrogenación.

CUADRO II.1
ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

CARACTERISTICA	SOYA		ALGODON		PALMA		PESCADO		ESTEARINA
	CRUDO	BLANQ.	CRUDO	BLANQ.	CRUDO	BLANQ.	CRUDO	BLANQ.	
Acidez libre ⁽¹⁾ (% máx.)	1,0	0,20	2,5	0,20	3,0	0,20	3,0	0,20	0,20
Humedad (% máx.)	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,3	-	-
Sedimentos (% máx.)	0,1	-	0,1	-	0,2	-	0,3	-	-
Fósforo (ppm máx.)	170	3	200	3	-	-	50	1	-
Azufre (ppm máx.)	-	-	-	-	-	-	10	1	-
Jabón (ppm máx.)	-	0	-	0	-	0	-	0	0
Filter test	-	negativo	-	negativo	-	negativo	-	negativo	-
Color Lovibond ⁽²⁾ (R)	máx. 10	máx. 5	-	máx. 10	mín. 130	-	-	máx. 5	máx. 5
Indice de Iodo (g I ₂ /100 g)	130 - 137		109 - 120		51 - 58		180 - 200		100 - 115
Indice de Peróxido (máx.)	4,5	0,5	6,0	0,5	4,0	0,5	10,0	1,0	-
Punto de Fusión (°C)	-		-		38 - 42		máx. 26		36 - 45

⁽¹⁾ La acidez libre es determinada como porcentaje en peso del aceite y tomando como base al ácido oleico, salvo en el caso del aceite de palma, en donde se toma como base al ácido palmítico.

⁽²⁾ Se determina el color Lovibond en celda de 5 ¼".

Los espacios en blanco significan que el valor de la característica de calidad para una materia prima específica es mínimo o no es relevante para su ingreso a la Planta de Hidrogenación.

Todos estos aceites deben ser sometidos a los tratamientos previos antes mencionados, porque cantidades relativamente alta de impurezas como: jabones, acidez libre, agua, productos de oxidación, fósforo, azufre, etc., envenenan e inactivan al catalizador. También se requiere una alta pureza del hidrógeno, porque impurezas como el monóxido de carbono y agua afectan adversamente la actividad del catalizador, además facilitan la formación de jabones de níquel. Un inadecuado control del nivel de estas impurezas trae como consecuencia un aumento en los costos de producción y sobre todo una alta variabilidad en la calidad de los productos.

II.E.4. Insumos

Entre los insumos utilizados en el proceso de hidrogenación, tenemos:

- a. **Catalizador**, es un acelerador de la reacción de hidrogenación, de gran actividad y altamente selectivo, el cual tiene como elemento activo al níquel y está soportado sobre sílica. Es producido por el método de reducción seca, tiene buena resistencia al envenenamiento y está diseñado específicamente para la hidrogenación de aceites y grasas. El cuadro II.2, muestra las características principales de este catalizador.

CUADRO II.2
PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL CATALIZADOR

Aspecto	Grageas de color gris
Contenido de níquel (Ni)	Mín. 22,0 %
Soporte inerte	Máx. 8,0 %
Gravedad específica a 20 °C	1,835 g/cm ³

- b. **Tierra blanqueante**, es una arcilla activada con ácido clorhídrico y sulfúrico. Debido a su gran poder de adsorción (alta actividad superficial), es usada para la remoción de pigmentos colorantes como carotenos y clorofilas, también remueve fosfátidos, jabones, trazas de metales y compuestos de oxidación, por lo tanto, se le utiliza

ampliamente en el postblanqueo de los aceites hidrogenados. El cuadro II.3, muestra las principales características de este insumo.

- c. **Tierra ayudante de la filtración**, son tierras producidas a partir de los restos fósiles de algas unicelulares llamadas diatomáceas. Se les utiliza mezclados con el aceite hidrogenado para formar una precapa en los filtros prensa antes de la filtración y/o durante la misma, para en ambos casos, mejorar las tasas de filtración y aumentar la duración de los ciclos de filtración. Esto es debido a que forman una capa que tiene muy baja compresibilidad, gran permeabilidad y alto poder clarificante, además que son inertes e insolubles en los aceites.

El cuadro II.4, muestra las principales características de este insumo.

- d. **Acido cítrico anhidro**, se utiliza principalmente en el postblanqueo, como agente secuestrante del níquel soluble en el aceite, es decir, reacciona con el níquel formando un compuesto complejo (quelato). Este quelato después es adsorbido por la tierra blanqueante y luego separado en los filtros prensa. Otro uso importante es en la acidificación de un tipo de aceite parcialmente hidrogenado, para favorecer la mejor cristalización en la Planta de Fraccionamiento. El cuadro II.5, muestra las principales características de este insumo.

II.E.5. Servicios

- a. **Vapor**, en este circuito de hidrogenación se utiliza vapor saturado a dos distintas presiones: a 7 bar (media presión) y a 3,5 bar (baja presión). El vapor de media presión es utilizado para el calentamiento del aceite en los tanques respectivos; en cambio, el vapor de baja presión se utiliza para calentar externamente las tuberías de aceite para evitar obstrucciones al solidificarse por enfriamiento el aceite hidrogenado. El vapor para este fin fluye a través de unos tubos de cobre de 6 mm de diámetro interior, que se encuentran colocados alrededor y en forma de espiral a la pared externa de las tuberías; se conocen dichos tubos de cobre como tracers de calentamiento. El vapor se produce en las calderas ubicadas en el sector de Servicios Industriales y se suministra a la planta a una presión de 14-15 bar. En la Planta de Hidrogenación se tienen estaciones reductoras de presión de vapor para cada circuito de hidrogenación.
- b. **Agua Tratada**, proveniente de la torre de enfriamiento N° 4, esta agua ha sido sometida a un proceso previo de ablandamiento en las torres

CUADRO II.3
PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA TIERRA BLANQUEANTE

Estructura química	Montmorillonita ácido activada
Aspecto	Polvo de color blanco humo, sin olor
Sílice (SiO ₂)	62,5 %
Alúmina (Al ₂ O ₃)	12,0 %
Oxido de fierro (Fe ₂ O ₃)	5,1 %
Oxido de magnesio (MgO)	2,2 %
Oxido de calcio (CaO)	4,0 %
Oxido de titanio (TiO ₂)	0,6 %
Alcali (Na ₂ O)	0,2 %
Oxido de potasio (K ₂ O)	0,6 %
Anhidrido sulfuroso (SO ₃)	6,6 %
Pérdida por ignición	6,3 %
Humedad	8 – 10 %
pH (2% de suspensión)	2,5 – 3,0
Densidad aparente	0,40 – 0,45 g/cm ³
Distribución del tamaño de partículas	
Malla +200 (74 micrones)	10 – 15 %
Malla -200 (74 micrones)	90 – 85 %

Todos los porcentajes son en peso de una muestra seca a 105 °C.

CUADRO II.4
PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA TIERRA AYUDA FILTRANTE

Estructura química	Diatomita calcinada
Aspecto	Polvo color blanco grisáceo
Sílice (SiO ₂)	89,7 %
Alúmina (Al ₂ O ₃)	3,7 %
Oxido de fierro (Fe ₂ O ₃)	1,5 %
Oxido de titanio (TiO ₂)	0,1 %
Oxido de calcio (CaO)	0,4 %
Oxido de magnesio (MgO)	0,7 %
Alcali (Na ₂ O)	0,8 %
Humedad	Máx. 1,0 %
pH (suspensión al 5 %)	9,5 – 10,0
Densidad	
Seco	0,15 – 0,19 g/cm ³
Húmedo	0,28 – 0,31 g/cm ³
Distribución del tamaño de partículas	
Malla +140 (105 micrones)	Máx. 8,0 %

CUADRO II.5
PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL ACIDO CITRICO ANHIDRO

Fórmula	C ₆ H ₈ O ₇
Aspecto	Cristales incoloros, translúcidos ó blancos
Concentración	Mín. 99,5 %
Humedad	Máx. 0,5 %
Metales pesados	Máx. 10 ppm
Arsénico	Máx. 2 ppm
Residuo de ignición	Máx. 0,05 %
Acido Oxálico	Ausencia
Acido Tartárico	Ausencia
Sulfatos	Ausencia
Gravedad específica	1,665
Punto de fusión	153 °C
Solubilidad a 25 °C	
Agua	162 (g/100 ml)
Alcohol	59 (g/100 ml)
Eter	0,75 (g/100 ml)

de intercambio catiónico ubicadas en el sector de Servicios Industriales. Se utiliza en el intercambiador E171 para enfriar el agua blanda y retirar indirectamente el calor de reacción generado en el hidrogenador T100, y también en el intercambiador E172 para enfriar el agua blanda y retirar indirectamente el calor sensible del aceite hidrogenado al enfriarlo en el tanque T120.

- c. **Agua Blanda**, se denomina así para diferenciarlo del agua tratada, porque esta agua es sometida a un proceso de ablandamiento por intercambio catiónico ciclo sodio, llevado a cabo dentro de las instalaciones donde está ubicado el circuito de hidrogenación N° 1. Este tipo de agua es la que circula dentro de los serpentines de calentamiento y enfriamiento del hidrogenador T100 y del tanque T120, y la que es enfriada en los intercambiadores E171 y E172 por el agua tratada.
- d. **Aire Comprimido**, se utiliza principalmente para el soplado del interior de las tuberías de aceite, para que queden vacías y evitar atoros cuando se solidifique el aceite hidrogenado por enfriamiento. También se soplan las líneas para evitar contaminaciones o mezclas entre dos aceites de diferente tipo. Otro uso adicional en este circuito de hidrogenación, es para el soplado del serpentín del tanque T110 para desalojar el vapor de calentamiento. El aire comprimido se produce en el sector de Servicios Industriales y se suministra a una presión de 5-7 bar.
- e. **Energía Eléctrica**, es suministrada a todos los motores y al panel de control del circuito de hidrogenación N° 1 desde un panel de fuerza independiente ubicado en el tercer piso de planta. La energía eléctrica llega a este panel desde la sub-estación eléctrica N° 3 y es suministrada a una tensión de 220 VAC, 60 Hz.

II.E.6. Análisis de Laboratorio

Los principales análisis realizados a los aceites hidrogenados en la Planta de Hidrogenación son:

- a. **Punto de fusión**, llamado también punto de fusión Mettler o punto de gota, se lleva a cabo en un equipo de marca Mettler y consiste en colocar una pequeña muestra de aceite solidificado el cual está dentro de un portamuestra especial de forma cilíndrica y de fondo cónico con un agujero en el vértice del cono, en un horno donde se incrementa

gradualmente la temperatura de la muestra, hasta que la muestra se funde y la primera gota que caiga por el agujero es detectada por un sensor y la temperatura a la cual esto sucede se indica como el punto de fusión de la muestra.

- b. **Índice de iodo**, es una medida del grado de insaturación del aceite y consiste en la absorción de iodo por parte de los enlaces insaturados de las cadenas carbonadas de los compuestos constituyentes de los aceites. Se reporta como gramos de iodo absorbidos por 100 gramos de muestra. Una mayor absorción indica una mayor insaturación del aceite y viceversa. Una mayor insaturación del aceite implica una mayor reactividad química con el oxígeno del ambiente (mayor potencial de oxidación), y una de las consecuencias del proceso de hidrogenación es la disminución del valor del índice de iodo del aceite hidrogenado con respecto al aceite blanqueado, estabilizando el aceite, haciéndolo menos reactivo a la oxidación. Como se puede apreciar en el cuadro II.1, el aceite de pescado es el que tiene un mayor índice de iodo, por tanto, una mayor reactividad química con el oxígeno.
- c. **Índice de peróxido**, es una medida de la oxidación primaria que sufren los aceites debido a su reactividad química con el oxígeno del ambiente y cuyo aumento afecta adversamente las características de calidad de los aceites (sabor, color y olor). Se expresa en miliequivalentes de peróxido por 1000 gramos de muestra. Este análisis nos permite detectar el grado de degradación que sufren los aceites por inadecuadas condiciones de almacenamiento y tratamiento.
- d. **Contenido de sólidos (SFC)**, es un análisis que nos permite conocer el porcentaje de sólidos que contiene la muestra a diferentes temperaturas, de esta forma podemos conocer el tipo de comportamiento de la grasa (plasticidad) y si es adecuada para la aplicación en particular. Se utiliza un instrumento de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) para efectuar la lectura del porcentaje de sólidos de muestras colocadas en baños termostáticos a diferentes temperaturas. Las temperaturas estándares para este análisis son: 10 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C y 37 °C.
- e. **Filter test**, es un análisis que nos permite determinar en forma cualitativa la presencia de partículas en suspensión en los aceites. Consiste en pasar una determinada cantidad de muestra a través de un

papel filtro y observar luego si existen marcas en el papel que indiquen la presencia de partículas en suspensión. Estas partículas pueden ser restos de catalizador o tierra blanqueante que no han sido adecuadamente filtradas en la etapa de postblanqueo, o polímeros formados debido a la alta temperatura de los aceites en los tanques de almacenamiento (especialmente en las paredes de los serpentines de calentamiento con vapor).

- f. **Níquel test**, es una prueba de determinación cualitativa del contenido de níquel en los aceites, y consiste en calentar la muestra hasta 140-150 °C y luego se procede igual que en el análisis de Filter test. Después al papel filtro se le rocía el reactivo dimetilgloxima y se le somete a vapores de amoníaco en solución acuosa. Si el papel presenta manchas rojas, nos indica la presencia de níquel en la muestra, debido a la formación de un compuesto complejo cuya estructura se muestra en la figura II.5. La sensibilidad de este método es de 0,5 ppm de níquel.

Esta prueba nos señala cuán eficiente ha sido la separación del níquel añadido como catalizador en las etapas de desmetalizado y postblanqueo. Es muy importante eliminar o reducir al mínimo (menos de 0,5 ppm) la concentración de níquel en los aceites, porque su presencia origina problemas de reversión de sabor y color en la operación de desodorización.

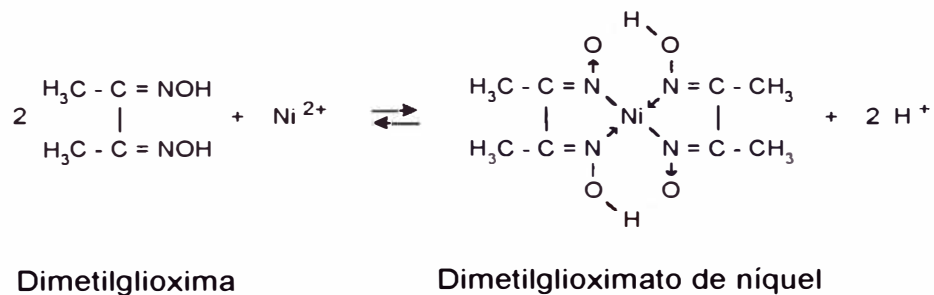


FIGURA II.5 FORMACION DEL DIMETILGLOXIMATO DE NIQUEL

- g. **Color Lovibond**, consiste en la determinación del color de una muestra por comparación con patrones de vidrios coloreados de valor asignado. Esta prueba se lleva a cabo en un aparato llamado tintómetro Lovibond. Un menor o mayor valor de color indica la mayor o menor remoción de pigmentos colorantes de los aceites, así mismo

un mayor valor de color puede deberse a un aumento en el grado de degradación de los mismos (mayor valor del índice de peróxido).

- h. **Color de saponificación**, al igual que la prueba anterior, consiste en la determinación del color Lovibond de una muestra que previamente ha sido saponificada con hidróxido de potasio. Esta prueba se realiza a los aceites hidrogenados que son materia prima para la fabricación de jabones.

II.E.7. Tratamiento de los Datos: Reportes

Los datos obtenidos en el circuito de hidrogenación N° 1, tanto en el proceso de hidrogenación como en las operaciones de postratamiento, sirven para generar los siguientes reportes:

- a. **Base de datos de hidrogenación**, se tiene una base de datos creada en la computadora de reportes de la planta, en la cual el Monitor de Procesos llena los datos obtenidos de la Planta de Hidrogenación, tales como: número de carga, fecha y turno de la carga, tipo de materia prima, tanque de origen, número del hidrogenador utilizado, tipo de producto obtenido, cantidad de catalizador, ayuda filtrante y tierra blanqueante utilizada, punto de fusión final del producto, etc. Esta base de datos está disponible en una red electrónica, de tal forma que puede ser vista desde otras computadoras (del Jefe de Sección, del Gerente de Producción, etc.), aunque sólo puede ser modificada por el Monitor de Procesos encargado de la planta. Esta base de datos nos sirve para generar los documentos físicos que mencionamos más adelante.
- b. **Resumen semanal de producción**, es un documento que se genera a partir de la base de datos de hidrogenación, y en él se muestran en forma concisa la cantidad de cargas que se han procesado en el periodo de una semana en todos los reactores de la planta. También muestra el total de materia prima procesado y las cantidades parciales de los tipos de productos obtenidos. Se utiliza para hacer un seguimiento de la cantidad de materia prima consumida en la semana respectiva.
- c. **Resumen mensual de producción**, es un documento que se genera también a partir de la base de datos de hidrogenación, y a diferencia del resumen semanal, éste muestra el total de materia prima procesada durante un mes en forma separada por tipo de producto

obtenido, y no por números de carga. Se utiliza para verificar (por un cruce de información) los consumos de materia prima del mes respectivo (normalmente el mes anterior) y efectuar los cierres de inventario mensual.

II.E.8. Trabajo de Gestión

Para el normal funcionamiento de la planta, se tiene que hacer un trabajo de gestión de recursos y de mantenimiento de los equipos. Para esto se generan los siguientes documentos:

- a. **Vale de salida de materiales**, es un documento que se utiliza para solicitar y retirar del almacén los repuestos y materiales diversos necesarios para el funcionamiento de la planta; también este documento sirve para ordenar el despacho de los insumos requeridos.
- b. **Orden de trabajo**, es un documento que se utiliza para solicitar al sector de Servicios Industriales (taller de mecánica, taller de electricidad, taller de instrumentos y taller de contratistas) la realización de los diferentes trabajos de mantenimiento necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos, por ejemplo: reparación de bombas, agitadores, motores, acoplamientos, cambio de empaquetaduras en válvulas, modificación del trazado de tuberías, limpieza de tanques, etc.
- c. **Solicitud de compra**, es un documento que se utiliza para solicitar la compra (local o importación) de algún repuesto o material cuyo nivel de inventario actual es cero en el almacén. También se utiliza para solicitar la compra de algún material por primera vez o cuyo uso en la planta no es frecuente, por tanto, no se encuentra registrado como material almacenable por el sector correspondiente.
- d. **Memorandum interno**, es un documento que se utiliza para las comunicaciones internas de todo tipo, por ejemplo: para solicitar el retiro y venta de grasa producto de la limpieza de tanques, comunicar al sector de administración de personal los cambios de turno o permisos para el personal del sector, solicitar la preparación de los reactivos utilizados en el laboratorio del sector, etc.

II.E.9. Otros reportes

Otros reportes generados en forma excepcional, a pedido del Jefe de Sección son:

- a. **Informe de pruebas de hidrogenación**, es un informe donde se muestran los resultados obtenidos en pruebas de hidrogenación que se realizan en la planta. Estas pruebas normalmente involucran cambios en los parámetros de operación con la finalidad de: (1) reducir los costos de producción (consumo de catalizador) sin afectar la calidad del producto (curva de sólidos SFC), (2) disminuir los tiempos de hidrogenación (aumentar la capacidad de producción), (3) cuando se requiere utilizar otro tipo de aceite para hidrogenar y obtener una base adecuada en reemplazo de la anterior base (por motivos de costo de la materia prima o disponibilidad), y (4) cuando se requiere obtener una nueva base hidrogenada para formular una manteca o margarina producto de un nuevo requerimiento del mercado.
- b. **Informe de pruebas de postratamiento**, es un informe donde se muestran los resultados obtenidos en pruebas de postratamiento que se realizan en la planta. Estas pruebas normalmente involucran cambios en los métodos de trabajo de los operadores del postratamiento y en la adición de tierra blanqueante y/o ácido cítrico, todo esto con la finalidad de: (1) reducir los costos de producción (consumo de insumos), (2) disminuir los tiempos de postratamiento (aumentar la capacidad de producción), y (3) garantizar la eliminación o disminución de la concentración de níquel en el aceite hidrogenado hasta los límites especificados.
- c. **Reporte sobre capacidad diaria de hidrogenación**, es un reporte que se genera a partir de la base de datos de hidrogenación y muestra por fecha la capacidad diaria de producción de los 4 reactores de la planta. Este reporte se utiliza para verificar la capacidad diaria de producción y justificar la realización de pruebas para aumentar dicha capacidad.

II.E.10. Normas de seguridad

La Planta de Hidrogenación debido al manejo de un gas explosivo como es el hidrógeno, es considerada una zona de alta peligrosidad, por tanto, se debe tener muy presente el cumplimiento de las siguientes normas de seguridad:

- Está prohibido hacer fuego en la zona o de realizar actividades que puedan generar chispas o sobrecalentamiento de material inflamable.

- En caso haya fuga de gas, se debe inmediatamente detener el proceso y cerrar las válvulas que permiten el ingreso de gas a los reactores.
- Evacuar los gases de los equipos en forma lenta y cuidadosa para evitar que se generen altas velocidades de los gases en la tubería y puedan generar sobrecalentamientos innecesarios, y además evitar arrastre de aceite.
- Sólo se permite la realización de trabajos de reparación menores, que no impliquen trabajos de soldadura ni el uso de máquinas eléctricas, y sólo si se utilizan herramientas de bronce (para evitar la generación de chispas).
- Los trabajos de reparación mayores sólo son permitidos después del corte del suministro de gas hidrógeno a la planta, la total evacuación de los gases de los reactores y del resultado negativo de la prueba de explosividad de gases tomada por personal del Departamento de Seguridad Industrial. En caso el trabajo se realice en caliente (soldadura), adicionalmente se debe desmontar una parte de la tubería de gas hidrógeno para garantizar el corte del suministro y llenar los reactores y tanques adyacentes con agua.
- No permitir el funcionamiento de equipos con conexiones eléctricas sin aislar, y que no sean a prueba de explosión. En todo caso enclaustrar estos equipos con cubiertas a prueba de explosión, por ejemplo: botoneras de arranque y parada de equipos, amperímetros de indicación de la intensidad eléctrica de los motores de los agitadores de los reactores, etc.
- Mantener en perfecto estado las conexiones a tierra de los diferentes equipos y tuberías de gas hidrógeno para disipar las cargas estáticas.
- Mantener libre de obstáculos y de grasa las plataformas y escaleras de la zona de hidrogenación.
- Evitar mezclar la tierra gastada con los papeles y lonas que se emplean como medio filtrante en los filtros prensa, para evitar su ignición espontánea.

II.E.11. Efecto de los efluentes

Los efluentes de la Planta de Hidrogenación están constituidos mayormente por agua y grasa o aceite comestible, y en mucha menor cantidad por restos de jabón y detergente producto de la limpieza de los pisos de la planta. El aceite o grasa comestible proviene en su mayor

parte de la limpieza de los pisos adyacentes a los filtros prensa, ya que al limpiar estos filtros, por más cuidado que se tenga, siempre en la operación de retirar la tierra de las bandejas respectivas por medio de cilindros, hay tierra que cae al piso y esta tierra gastada contiene aceite adsorbido en la operación de postblanqueo. Otra fuente de aceite en los efluentes es en la limpieza de los pisos en lugares donde existan fugas de aceite (por empaquetaduras gastadas en bridas y válvulas) o donde por accidente han ocurrido derrames de aceite, ya sea por rebose de un tanque, alguna válvula de muestreo abierta, etc. En la Planta de Hidrogenación de aceites y grasas, los efluentes no son descargados directamente a los ductos de desagüe de la ciudad, sino que son direccionados por medio de canaletas y tuberías a una poza de recuperación donde se extrae la mayor cantidad de materia grasa, que en nuestro caso debido a la composición variada de esta materia, es vendida a terceros para otros usos (como alimento para animales, fabricación de pinturas, tintes, etc.). Además, se tiene un programa de limpieza de la poza de recuperación que implica su limpieza como mínimo una vez al mes, lo que minimiza el riesgo de que los efluentes que van al desagüe contengan una cantidad inaceptable de materia grasa. Lo que se extrae de estas limpiezas también se vende a terceros. Por tanto, el efecto negativo que puedan tener los efluentes de la planta sobre el medio ambiente es mínimo.

II.F. TEORIA DE LA HIDROGENACIÓN

II.F.1. Naturaleza y estructura de los aceites y grasas

a. **Triglicéridos**

Son los principales componentes de los aceites y grasas (más del 90 %), y se forman por la reacción química de una molécula de glicerol con tres moléculas de ácidos grasos (ver figura II.6). Si el resultado es líquido a temperatura ambiente, se denomina comúnmente aceite; en cambio, si es sólido, se denomina grasa. Si los tres ácidos grasos en la molécula del triglicérido son idénticos, la sustancia es conocida como un triglicérido simple, pero si más de un tipo de ácido graso está presente, es conocida como un triglicérido mixto.

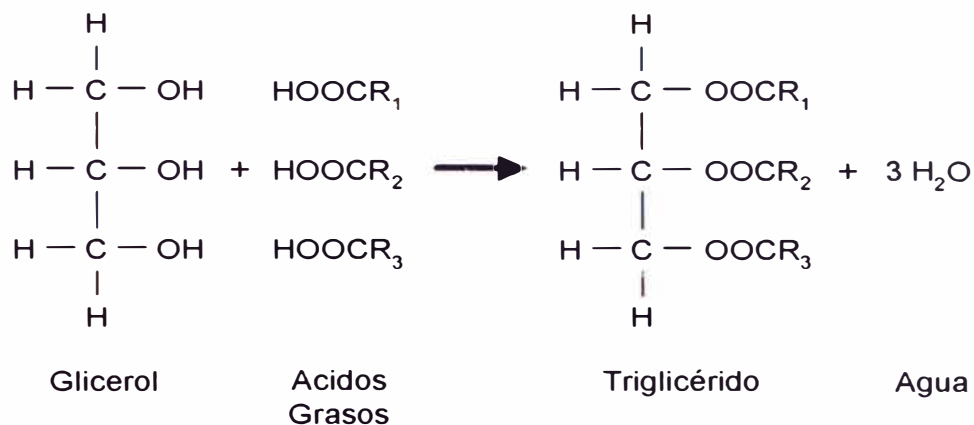


FIGURA II.6 REACCION DE ESTERIFICACION - MOLECULA DE TRIGLICERIDO

En la naturaleza, los aceites y grasas son mezclas de varios triglicéridos, la mayoría de los cuales son triglicéridos mixtos. Las diferentes proporciones de estos triglicéridos confieren características distintas a los aceites, tanto como los diferentes tipos de ácidos grasos en un triglicérido afectan sus características químicas y físicas.

Las posiciones relativas de los diferentes grupos de ácidos grasos que tienen uno con respecto al otro en una molécula triglicérida mixta tienen influencia sobre todo en las características físicas del triglicérido. Aún si se tienen dos moléculas de triglicérido con los mismos grupos de ácidos grasos, pero con diferentes posiciones relativas entre ellos, estos triglicéridos tendrán características físicas distintas, especialmente en el punto de fusión. A esto se le llama **isomerización posicional**. Así, si un triglicérido mixto contiene tres radicales ácidos diferentes, presenta tres formas isoméricas posibles, según sea el radical ácido que ocupe la posición central (posición 2) de la molécula y los que ocupen las dos posiciones extremas (posiciones 1 y 3). Y cuando tiene solamente dos radicales ácidos diferentes, tendrá de forma análoga, dos isómeros posibles (posiciones 1 y 2).

Si un triglicérido natural contiene un ácido graso que difiere de los otros dos, ya sea con respecto a su grado de insaturación o a la longitud de su cadena carbonada, este ácido ocupa generalmente la posición interior o posición 2 de la molécula.

Con respecto a las características de fusión de los triglicéridos, se puede decir, que generalmente tienen menor punto de fusión, aquellos

que tienen el radical ácido graso con mayor insaturación o menor longitud de cadena en las posiciones 1 o 3.

Con respecto al proceso de hidrogenación, hay evidencia que las posiciones extremas 1 y 3 son marginalmente más vulnerables a la hidrogenación que la posición 2.

Por lo tanto, la diferencia entre los diversos ácidos grasos y su ubicación dentro de la molécula del triglicérido, son las razones principales por la que una grasa o aceite sea diferente a otra y esto explica porqué el proceso de hidrogenación al modificar la estructura de los ácidos grasos, modifica el comportamiento global de una grasa.

b. **Ácidos grasos**

Son moléculas compuestas por cadenas de átomos de carbono enlazadas con átomos de hidrógeno, y que terminan en un grupo carboxílico:



En la naturaleza, los aceites y grasas se componen en su gran mayoría por ácidos grasos cuya molécula se compone de un número par de átomos de carbono, y cuya longitud varía desde 4 hasta 30 átomos de carbono. El carácter hidrofóbico de un ácido graso se incrementa al aumentar la longitud de la cadena carbonada, por ejemplo, el ácido butírico (4 átomos de carbono) tiene una ligera solubilidad en el agua; en cambio, el ácido caproico (6 átomos de carbono) ya tiene la característica de un aceite de ser insoluble en el agua. Los ácidos grasos más importantes y que se encuentran en su mayor parte en los triglicéridos (especialmente en los aceites y grasas de origen vegetal y animal de superficie) son los que contienen 16 y 18 átomos de carbono, pero en algunos peces y otros animales marinos, predominan también los de 22 o más átomos de carbono. En el cuadro II.6 se muestran los nombres de los principales ácidos grasos junto con su fórmula química.

La mayor parte de los ácidos grasos en los aceites y grasas se encuentran en forma de radicales conformando los triglicéridos, una parte menor (menos del 10 %) se encuentran como ácidos grasos libres.

CUADRO II.6
PRINCIPALES ACIDOS GRASOS

ACIDO GRASO NOMBRE COMUN	FORMULA QUIMICA	NOMENC. (CODIGO)	PESO MOL.	PUNTO DE FUSION (°C)
Caproico	$C_6H_{12}O_2$	C6:0	116	-3,5
Caprílico	$C_8H_{16}O_2$	C8:0	144	16,5
Cáprico	$C_{10}H_{20}O_2$	C10:0	172	31,3
Láurico	$C_{12}H_{24}O_2$	C12:0	200	43,6
Mirístico	$C_{14}H_{28}O_2$	C14:0	228	53,8
Miristoleico	$C_{14}H_{26}O_2$	C14:1	226	-4,5
Palmitico	$C_{16}H_{32}O_2$	C16:0	256	62,9
Palmitoleico	$C_{16}H_{30}O_2$	C16:1	254	1,5
Esteárico	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0	284	69,9
Oleico (cis)	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1	282	16,0
Elaídico (trans)	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1	282	42,0
Linoleico	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2	280	-5,0
Linolénico	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3	278	-11,0
Araquídico	$C_{20}H_{40}O_2$	C20:0	312	75,2
Gadoleico	$C_{20}H_{38}O_2$	C20:1	310	24,5
Araquidónico	$C_{20}H_{32}O_2$	C20:4	304	-45,5
Behénico	$C_{22}H_{44}O_2$	C22:0	340	80,2
Erúcico	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:1	338	33,5

Debido a que el mayor peso molecular de los triglicéridos lo aporta el radical ácido graso y también por ser éste la parte activa de la molécula, las alteraciones que sufren los triglicéridos en su estructura química se deben a las alteraciones que sufren los radicales ácidos grasos que la conforman. Por tanto, se considera que la química de los aceites y grasas es una extensión de la química de los ácidos grasos.

c. **Insaturación de los ácidos grasos**

Cuando las cadenas carbonadas de un ácido graso están unidas mediante enlaces simples, se dice que es un ácido graso saturado; en cambio, cuando sólo existe un enlace doble en la molécula del ácido graso, se dice que es un ácido graso monoinsaturado; pero si existen dos o más enlaces dobles, se dice que el ácido graso es poli-insaturado.

Para los ácidos grasos, el punto de fusión aumenta al aumentar la longitud de la cadena carbonada, pero para un tamaño igual de cadena carbonada, el grado de insaturación de dicho ácido graso determinará las características del mismo. Un mayor grado de insaturación originará un menor punto de fusión, mayor solubilidad y mayor reactividad química. Esta insaturación puede presentarse en diferentes formas a lo largo de la cadena carbonada y tendrá un marcado efecto sobre las características físicas y químicas tanto del ácido graso como del triglicérido del cual forman parte.

Algunos ejemplos de insaturación se muestran a continuación:

$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	un doble enlace, ácido monoenoico
$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	conjugado, ácido dienoico
$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	no conjugado, ácido dienoico
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_n-\text{COO}-$	muy común en la naturaleza
$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	desconocido en los aceites

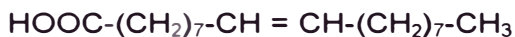
Se mencionó en el apartado anterior que la cadena carbonada de más importancia para el proceso de hidrogenación es la de 18 átomos de carbono, porque se encuentra presente en la mayoría de aceites y grasas, y también porque presenta interesantes alternativas en cuanto a su grado de insaturación. Cuando la cadena está completamente saturada, se le llama ácido esteárico. Un doble enlace en la posición

del carbono 9 (contado a partir del carbono del grupo carboxílico) corresponde al ácido oléico. Dos dobles enlaces en las posiciones 9 y 12 corresponden al ácido linoleico. Tres dobles enlaces en las posiciones 9, 12 y 15 corresponden al ácido linolénico. De estos, los ácidos grasos linoleico y linolénico son los llamados ácidos grasos esenciales porque no son sintetizados por el organismo humano y son precursores en la síntesis de sustancias vitales.

Una forma abreviada de nomenclatura usada para los ácidos grasos, consiste en colocar la letra C y luego un número que indicará la longitud de la cadena carbonada (número de átomos de carbono), seguido de dos puntos y luego un número que indicará la cantidad de enlaces insaturados en la cadena (cantidad de dobles enlaces). A continuación se muestra la estructura química y nomenclatura de los cuatro ácidos grasos de 18 carbonos.



Acido Octadecanoico {C18:0} (ácido esteárico)



Acido cis-9-Octadecenoico {C18:1} (ácido oléico)



Acido cis,cis-9,12-Octadecadienoico {C18:2} (ácido linoleico)



Acido cis,cis,cis-9,12,15-Octadecatrienoico {C18:3} (ácido linolénico)

d. **Componentes no grasos**

Existen otros componentes de los aceites y grasas que se encuentran en muy pequeña escala (menor de 1 %), y que desde el punto de vista de la hidrogenación se pueden clasificar en:

- Componentes que envenenan los catalizadores de níquel, como el fósforo que proviene de los compuestos llamados fosfátidos y el azufre que se encuentra presente en la forma de tioglucósidos. La concentración de estos componentes debe minimizarse para que la reacción de hidrogenación se lleve a cabo en forma económica, para no tener que añadir más cantidad de catalizador que el

necesario. Es importante para ello que el aceite antes de ser hidrogenado, sea sometido a los procesos de desgomado, neutralización y blanqueo que minimiza la concentración de estos venenos, especialmente del fósforo.

- Pigmentos cromóforos, tales como los carotenos, clorofilas y gopipol, los cuales no afectan la reacción de hidrogenación, por el contrario este proceso disminuye la concentración de estos componentes (especialmente de los carotenos), originando una reducción en el color de las grasas.
- Otros componentes como los esteroides (p. ej. colesterol), tocoferoles, hidrocarburos complejos (p. ej. escualeno), ceras y compuestos fenólicos, no dificultan la hidrogenación, aunque algunos de ellos (especialmente el tocoferol) tienen propiedades antioxidantes.

II.F.2. La reacción de hidrogenación

La hidrogenación de los aceites se puede definir como la reacción de los dobles enlaces de la cadena carbonada de los ácidos grasos que conforman los triglicéridos con gas hidrógeno, en presencia de un catalizador, para formar un producto sólido o semi-sólido.

Esta definición implica que la reacción de hidrogenación sólo va a saturar los dobles enlaces de los ácidos grasos (ver figura II.7), pero en la práctica, donde la hidrogenación se lleva a cabo en forma parcial, se generan otras reacciones que alteran la forma, distribución y el número de dobles enlaces dentro de la cadena carbonada de los ácidos grasos, de tal manera de modificar sustancialmente las características físicas y químicas de los triglicéridos. Es por esto que el proceso de hidrogenación incrementa la utilidad de los aceites, permitiendo fabricar productos tales como margarinas y mantecas de diversas características, que satisfagan las necesidades particulares de cada mercado.

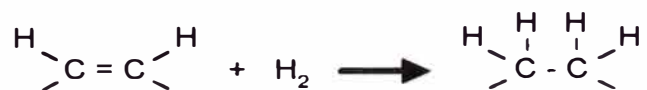


FIGURA II.7 REACCION DE HIDROGENACION

La reacción de hidrogenación es una reacción exotérmica, la energía neta liberada por cada unidad de disminución del índice de iodo es suficiente para aumentar la temperatura en el caso del aceite de soya de 1,6-1,7 °C, para el aceite de palma de 1,8-1,9 °C, para el aceite de algodón de 1,7-1,8 °C y para el aceite de pescado de 1,5-1,6 °C; esto para un rango de temperaturas de 130-200 °C. Se puede apreciar que este factor no es constante y disminuye conforme aumenta el grado de insaturación del aceite, debido a que el calor específico del aceite varía en forma proporcional al grado de insaturación del mismo. Se ha calculado que la energía de reacción es de 25 kcal/mol y enlace doble saturado, y que para la mayoría de los aceites, el calor de reacción se encuentra en el rango de 0,89-0,94 kcal/kg por unidad de disminución del índice de iodo.

a. **Isomerización**

Durante la reacción de hidrogenación, se forman isómeros geométricos y de posición. Su formación depende de la concentración del hidrógeno en el sitio de la reacción. En los aceites naturales no procesados, los ácidos grasos presentes en las moléculas de los triglicéridos están presentes en la forma "cis". El ácido oleico tiene los dos hidrógenos adyacentes al doble enlace colocados en el mismo sentido espacial de la molécula. La forma "trans" de este ácido graso es el ácido elaídico, en el cual los dos átomos de hidrógeno del doble enlace están colocados en sentidos opuestos, debido a una rotación espacial de la cadena en este sitio. Tiene una menor energía de formación que la forma "cis" y por lo tanto, tiene preferencia en su formación. Su configuración geométrica es más lineal, ocasionando un cambio en sus características físicas, especialmente en el punto de fusión. La figura II.8 muestra cuatro isómeros del ácido oleico, con sus respectivos valores del punto de fusión.

El mecanismo de este proceso puede explicarse de la siguiente manera (ver figura II.9): primero la presencia de los átomos de níquel en la superficie del catalizador y la temperatura proporcionan suficiente energía para la formación de un compuesto intermedio. En éste, el doble enlace ha desaparecido temporalmente y el níquel es ligado a los átomos de carbono. Este es un compuesto transicional inestable que conduce a los posibles productos siguientes:

- Si el hidrógeno no está presente en el sitio de la reacción y el ácido graso es desorbido de la superficie del catalizador. El enlace sencillo temporal del compuesto intermedio permite la rotación de la cadena en este sitio, y el isómero "trans" va a ser predominante en este caso.
- El níquel del catalizador ocasiona que un átomo de hidrógeno del carbono adyacente a la posición original del doble enlace sea perdido. Entonces, un compuesto intermedio es formado similar al caso anterior. Sin hidrógeno presente en el sitio de la reacción, el compuesto intermedio es desorbido de la superficie del catalizador, originándose un nuevo ácido graso con el doble enlace migrado a una posición adyacente de la original, y más probablemente en la forma "trans".
- Con suficiente concentración de hidrógeno en el sitio de la reacción, éste es capturado por los carbonos del doble enlace original, y la molécula es desorbida en forma saturada.

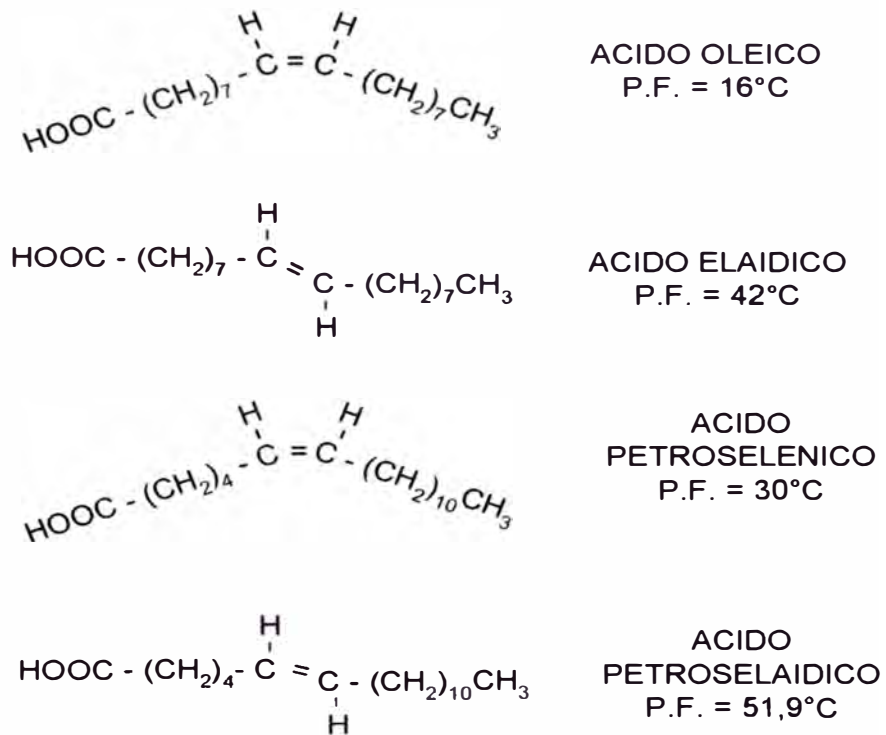


FIGURA II.8 ISOMEROS GEOMETRICOS Y DE POSICION

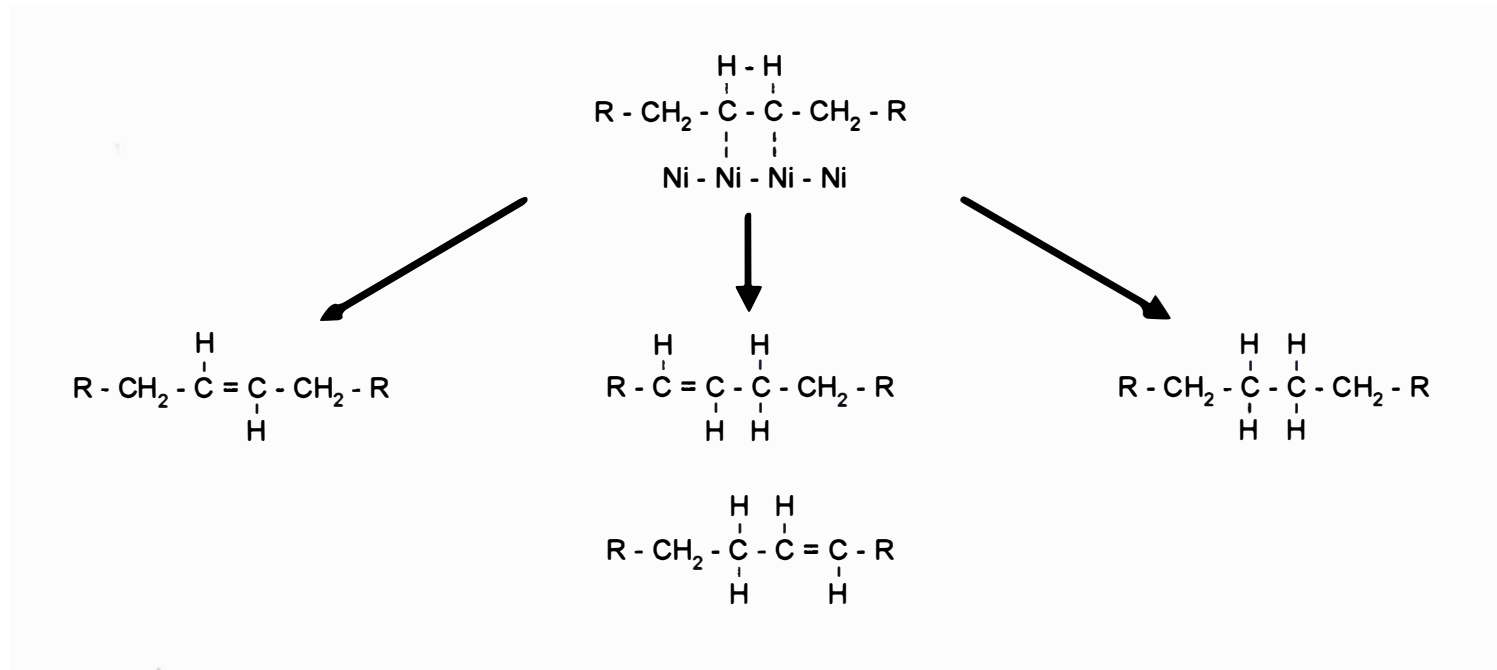


FIGURA II.9 MECANISMOS DE LA ISOMERIZACION

b. **Orden de reacción**

El orden de reacción es una indicación del número de especies moleculares que toman parte en una reacción. En la reacción de hidrogenación, toman parte el gas hidrógeno y el aceite (los triglicéridos), por lo cual se podría esperar una reacción de segundo orden; pero el gas hidrógeno ingresa al reactor continuamente para mantener constante la presión de hidrógeno dentro del mismo, lo que hace que la concentración dentro del reactor sea constante y no cuente para efectos del orden de reacción. En la práctica, la velocidad de reacción depende sólo del grado de insaturación del aceite y por tanto, se comporta como una reacción de primer orden; esto se expresa matemáticamente como $dC/dt = -KC$, donde C es la concentración de los triglicéridos insaturados y K la constante de la reacción. Sin embargo, al inicio de la reacción, especialmente con aceites altamente insaturados, hay mucha disponibilidad de enlaces dobles, tal que la desaparición de algunos de ellos no tienen efecto significativo en el tiempo, y por tanto, la reacción se comporta como una de pseudo orden cero.

II.F.3. Selectividad

En su sentido más general, la selectividad significa la preferencia por la hidrogenación de un compuesto insaturado con respecto a otro, y en la práctica es la habilidad para mantener esta preferencia hasta que la concentración de este compuesto insaturado sea mínima.

Esta definición implica que selectividad es un término muy relativo y depende de los tipos de compuestos bajo consideración. Así se pueden considerar los siguientes tipos de selectividad:

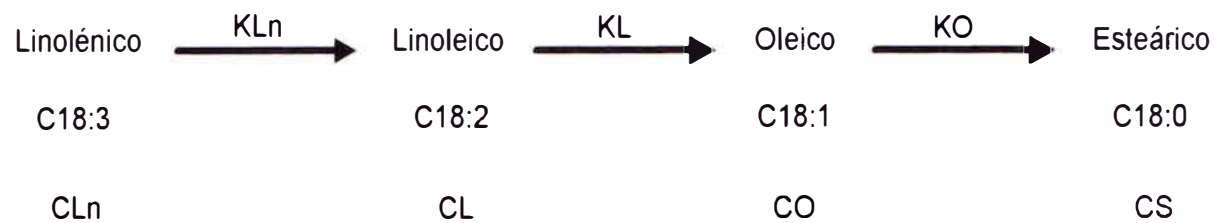
- a. **Selectividad linoleica o de poli-insaturados (S_I)**, es la preferencia por la reducción del contenido de poli-insaturados, de mayor a menor grado de insaturación, en una forma ordenada sin aumentar el contenido de saturados. En otras palabras, es la comparación entre la velocidad a la cual los compuestos poli-insaturados se transforman en compuestos monoinsaturados (ácido oleico) y la velocidad a la cual los compuestos monoinsaturados se transforman en compuestos saturados (ácido esteárico).
- b. **Selectividad linolénica (S_{II})**, es la comparación entre la velocidad de formación de compuestos di-insaturados (ácido linoleico) a partir de

compuestos poli-insaturados y la velocidad de formación de compuestos monoinsaturados (ácido oleico) a partir de compuestos di-insaturados.

- c. **Selectividad de isomerización o selectividad específica (S_i)**, es la proporción de aquellos compuestos cuyos dobles enlaces se han isomerizado a la forma "trans", de aquellos cuyos dobles enlaces se han saturado con hidrógeno. Generalmente una alta selectividad de poli-insaturados está acompañada con una alta selectividad específica.
- d. **Selectividad de triglicéridos (S_T)**, se refiere a la determinación del grado de saturación del triglicérido, comparado con su nivel de insaturación original, previo al proceso de hidrogenación. En una reacción de alta selectividad, partiendo de una composición de triglicéridos 100 % tri-insaturados (UUU), se obtendría una mayor proporción de triglicéridos monosaturados, di-insaturados (SUU). Esto significaría que la hidrogenación se llevó a cabo en una forma de distribución al azar y repartida en forma proporcional en todas las moléculas presentes. Por lo contrario, en una reacción de muy baja selectividad, se esperaría una mayor proporción de triglicéridos trisaturados (SSS). Generalmente una baja selectividad de triglicéridos está acompañada al mismo tiempo con una baja selectividad de poli-insaturados.
- e. **Determinación de la selectividad**, según lo expuesto líneas arriba, la determinación de la selectividad podría resultar un poco compleja; sin embargo, varios métodos relativamente sencillos son usados y aceptados con propósitos prácticos en la industria.

Uno de ellos se refiere a la determinación de la selectividad linolénica y linoleica. Este método está basado en la composición de ácidos grasos, y tiene la desventaja de que no toma en cuenta los cambios físicos ocurridos en la molécula grasa. Además, fue desarrollado usando aceite de soya como modelo, y por lo tanto, no puede ser 100 % aplicable en otros aceites vegetales, y no tiene ninguna aplicación en los aceites marinos.

Este método (ver figura II.10) está basado en el concepto teórico de que durante el proceso de hidrogenación, los ácidos grasos tri-insaturados se hidrogenan primero para transformarse en di-insaturados, luego a monoinsaturados y finalmente a ácidos grasos saturados. Cada cambio de estos origina una constante de velocidad



$$\frac{d(CL_n)}{dt} = -K_{Ln} \cdot CL_n$$

$$\frac{d(CL)}{dt} = -K_L \cdot CL - \frac{d(CL_n)}{dt} = -K_L \cdot CL + K_{Ln} \cdot CL_n$$

$$\frac{d(CO)}{dt} = -K_O \cdot CO - \frac{d(CL)}{dt} = -K_O \cdot CO + K_L \cdot CL - K_{Ln} \cdot CL_n$$

$$\text{SELECTIVIDAD LINOLENICA } S_{II} = \frac{K_{Ln}}{K_L}$$

$$\text{SELECTIVIDAD LINOLEICA } S_I = \frac{K_L}{K_O} \text{ (Relación de Selectividad)}$$

FIGURA II.10 DETERMINACION DE LA SELECTIVIDAD

que es característica dependiendo de las condiciones en las que se ha llevado a cabo la reacción. KLn representa el cambio de linolénico a linoleico, KL de linoleico a oleico y KO el cambio de oleico a esteárico. Si por medio del análisis encontramos los valores para las concentraciones iniciales y finales de los ácidos linolénico, linoleico, oleico y esteárico, podemos obtener las constantes de velocidad y así determinar la selectividad linolénica S_{ll} (KLn/KL) cuyos valores se encuentran entre 1,5 a 5, y la selectividad linoleica S_l (KL/KO), también conocida como "relación de selectividad". Estas determinaciones se hacen siguiendo el modelo creado por Albright y son la base para el método oficial de la AOCS (American Oil Chemists' Society Sociedad Americana de Químicos del Aceite) TZ-16-79 para la determinación de la selectividad.

Otros métodos para la determinación de la selectividad tienen que ver más con las características físicas de la grasa que con su composición química, y más específicamente con las características de fusión del producto hidrogenado. La formación de compuestos isómeros "trans" influyen notoriamente en el contenido de sólidos y características de fusión de los productos hidrogenados. Su presencia en los ácidos grasos que componen el triglicérido, proporcionan sólidos de bajo punto de fusión incrementando el contenido de sólidos a bajas temperaturas y por consiguiente, incrementando la inclinación de las curvas de sólidos (ver figura II.11).

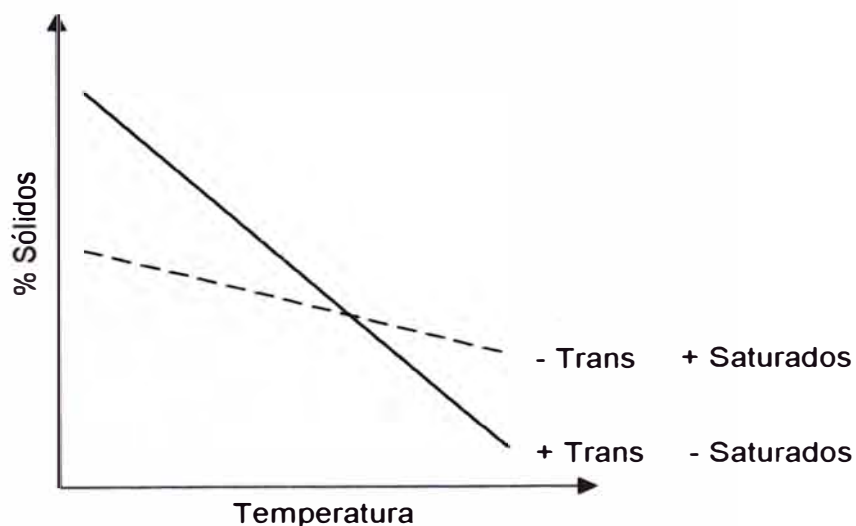


FIGURA II.11 CURVA DE SÓLIDOS

Uno de estos métodos es la determinación del contenido de grasa sólida (SFC). Este método se refiere a la determinación de la proporción de grasa sólida con relación al aceite líquido presente a una temperatura determinada, normalmente entre 10 °C y 40 °C. Se obtiene por medición directa con el empleo de Resonancia Magnética Nuclear.

El análisis del contenido de sólidos de un producto graso, permite determinar su funcionabilidad y aplicación para un fin específico. Por ejemplo, la determinación de sólidos a 10 °C, nos proporciona información en cuanto a la esparcibilidad a temperatura de refrigeración. Un nivel alto de sólidos a esta temperatura indicaría textura dura y quebradiza. Determinaciones entre 20 °C y 25 °C nos indican la esparcibilidad del producto y su estabilidad física a temperatura ambiente. Por otra parte, las determinaciones a 35 °C – 37 °C, nos proporcionan información de las características de fusión a la temperatura corporal, la que influye en la respuesta organoléptica al consumirse el producto. Estas determinaciones del contenido de sólidos a diferentes temperaturas se representan gráficamente mediante una curva. La inclinación de la curva caracteriza la aplicación específica de una grasa. Por ejemplo, una grasa sustituta de manteca de cacao presenta un nivel de sólidos muy alto a temperaturas bajas, con una caída drástica de los mismos a una temperatura aproximada de 35 °C. La inclinación de esta curva es bastante pronunciada. Por otro lado, una manteca para panadería presenta una curva bastante acostada, con niveles de sólidos entre 25 % y 10 %, en el rango de temperaturas de 15 °C y 25 °C. Este nivel de sólidos le proporciona a la grasa una mayor plasticidad y facilidad en su aplicación, no es tan dura a temperatura de refrigerador, ni demasiado blanda a temperatura ambiente.

Otro método para determinar la selectividad de una hidrogenación, tiene que ver con el punto de fusión. En la medida en que la reacción se lleve a cabo en forma menos selectiva, más proporción de compuestos saturados se formarán, y éstos a su vez causarán un aumento en el punto de fusión. Por lo tanto, comparando los puntos de fusión con los índices de iodo, podemos obtener una curva la cual comparada con otra o una patrón, nos da una idea de la selectividad de la reacción. A un índice de iodo determinado, el menor punto de

fusión corresponde a la mayor selectividad. Es muy importante especificar el método a usar para la determinación del punto de fusión, ya que fácilmente puede haber una diferencia de 3-4 °C en la determinación final, dependiendo del método empleado.

II.F.4. Factores que afectan la hidrogenación

Los resultados en una reacción de hidrogenación están en mayor o menor proporción influenciados por una serie de factores, que precisan de un eficiente control a fin de garantizar la consecución de las especificaciones deseadas, y la repetición de las mismas lote tras lote. Tales factores son: calidad y tipo de materia prima a hidrogenar, agitación, temperatura, presión de hidrógeno, cantidad y tipo de catalizador, y calidad del hidrógeno empleado.

- a. **Calidad de la materia prima**, el níquel activo presente en el catalizador hace que éste sea un material con alto poder de adsorción. Por lo tanto, el catalizador fácilmente adsorbe impurezas presentes en el aceite, afectando sus propiedades de actividad y selectividad, y por consiguiente a las especificaciones de los productos hidrogenados. Por este motivo como se mencionó anteriormente, es muy importante tratar los aceites en una forma rigurosa durante todas las etapas previas a la hidrogenación, de tal manera de garantizar en lo posible la ausencia total de impurezas. Este esfuerzo conduce a beneficios económicos al permitir usar menor cantidad de catalizador para conseguir las especificaciones deseadas, y al mismo tiempo una repetición confiable de especificaciones lote tras lote. El contenido de impurezas remanentes en el aceite antes de la hidrogenación, debe tenerse en cuenta, a fin de prever su posible efecto durante la reacción.
- b. **Agitación**, la agitación tiene la función de permitir una adecuada y uniforme dispersión de las tres fases presentes en la reacción: fase líquida, el aceite; fase gaseosa, el hidrógeno y fase sólida, el catalizador. La agitación va a influir en el aumento de la dispersión del hidrógeno en la fase líquida, y por consiguiente se obtiene un aumento de la concentración de hidrógeno presente en la superficie del catalizador. Esto ocasiona una mayor velocidad de la reacción hasta cierto nivel, en la cual la concentración de hidrógeno deja de ser el factor controlante de la reacción. En la práctica, este es un parámetro

que por lo general se mantiene fijo o con una variación muy limitada en los reactores convencionales. Los reactores tipo "dead end" normalmente trabajan con velocidades de agitación entre 100 a 200 rpm.

- c. **Temperatura**, el aumento de temperatura al igual que en toda reacción química acelera la velocidad de la reacción. Esta mayor velocidad de la reacción es mayor al aumento en la solubilidad y dispersión del hidrógeno en el aceite, ocasionando por consiguiente una disminución en la concentración de hidrógeno en la superficie del catalizador. Tal menor concentración de hidrógeno disminuye las posibilidades de que se presente una total saturación, y por tanto, da lugar a una mayor selectividad y a la formación de compuestos isómeros de la forma "trans".
- d. **Presión de hidrógeno**, un aumento de la presión aumenta la dispersión del hidrógeno en la fase líquida, aumentando la concentración de hidrógeno disponible, esto disminuirá la selectividad y aumentará la probabilidad que se formen compuestos saturados. También se incrementará la velocidad de reacción, pero al igual que con un aumento en la agitación, esta alcanzará un nivel tal en donde la concentración de hidrógeno en la superficie del catalizador dejará de ser el factor controlante de la reacción.
- e. **Catalizador**, actualmente la gran mayoría de los fabricantes de margarinas y mantecas utilizan para la hidrogenación de los aceites y grasas catalizadores cuyo metal activo es el níquel, aunque para fines muy específicos también se utilizan otros metales tales como: cobre, platino, etc. Cuando la concentración de catalizador en el aceite es pequeña comparado con la concentración de hidrógeno presente en su superficie, la cantidad de níquel viene a ser el factor controlante de la reacción, pero al aumentar la concentración de catalizador, la velocidad de reacción se incrementa, pero la concentración de hidrógeno disminuye, hasta que este último viene a ser la etapa controlante de la reacción. Esta reducción en la concentración de hidrógeno originará una mayor selectividad en la reacción.
- f. **Calidad del hidrógeno**, es importante minimizar la concentración de impurezas en el gas hidrógeno, ya que estas impurezas pueden envenenar el catalizador y por ende, disminuir la velocidad de reacción y también favorecer la obtención de determinados productos de

reacción. Las impurezas que se obtienen dependen del método que se utilice para la producción de este gas. El método actual utilizado en la mayoría de plantas de mediana y gran capacidad, es el de reformación catalítica del gas licuado de petróleo o del gas natural. Este método de obtención del gas, origina las siguientes impurezas:

- Azufre, el cual causa un envenenamiento irreversible del catalizador por formación del compuesto NiS, el cual hace disminuir la velocidad de reacción, y favorece la obtención de compuestos isoméros de la forma “trans”.
- Monóxido de carbono, el cual causa un envenenamiento reversible del catalizador por formación del compuesto Ni(CO)₄ el cual es inestable a 110 °C y se descompone a 160 °C. Debido a esto para minimizar el efecto de esta impureza la reacción debe comenzar por lo menos a 140 °C.
- Agua, esta impureza origina la formación de ácidos grasos libres por reacción de hidrólisis con el aceite, lo cual se ve favorecida por las altas temperaturas de reacción (180–200 °C).
- Otras impurezas como el CO₂, N₂, O₂, CH₄, no tienen ningún efecto directo sobre la velocidad de reacción de hidrogenación, aunque la presencia de estas impurezas (incluida el agua) hacen disminuir la presión parcial del hidrógeno no disuelto en el aceite, lo cual origina una baja concentración de hidrógeno en la superficie del catalizador y por ende una menor velocidad de reacción. Esto se corrige fácilmente efectuando purgas cada determinado tiempo del gas no disuelto del reactor.

El desarrollo de la tecnología actual del método de reformación catalítica para la obtención del gas hidrógeno minimiza la concentración de estas impurezas obteniendo un gas con una pureza mínima de 99,5 % y en algunos casos de 99,9 %.

En el cuadro II.7 se muestra un resumen de la influencia de los diferentes factores que afectan la hidrogenación, sobre la velocidad de reacción y sobre los distintos tipos de selectividad.

II.F.5. Técnicas de procesamiento

Existen dos maneras genéricas de llevar a cabo la reacción de hidrogenación, de forma discontinua o por lotes y de forma continua.

CUADRO II.7

INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES FACTORES SOBRE LA HIDROGENACION

FACTOR	CONC. DE HIDROGENO EN LA SUPERFICIE DEL CATALIZADOR	VELOCIDAD DE REACCION	S_i	S_{II}	S_r	S_T
Aumento en la agitación (dispersión del hidrógeno)	+	+	-	*	-	-
Aumento de la presión de Hidrógeno	+	+	-	*	-	-
Aumento de la temperatura	-	+	+	*	+	+
Aumento de la concentración del catalizador	-	+	+	*	+	+
Aumento de la insaturación del aceite	-	+	+	+	+	+

* Las condiciones de hidrogenación que favorecen a S_i , S_r , y S_T , generalmente también favorecen a S_{II} .

a. **Hidrogenación discontinua o por lotes** (figura II.12), es la forma más ampliamente utilizada por los industriales desde los inicios de la hidrogenación de los aceites, y es también la manera más simple. Consiste en alimentar una corriente de gas hidrógeno a un reactor internamente agitado donde se encuentra una cantidad definida de aceite a hidrogenar. Se controla la temperatura de reacción circulando agua de enfriamiento por unos serpentines internos, y la presión del reactor se controla por medio de regular el flujo de gas hidrógeno de ingreso al reactor. Este tipo de reactores son los llamados "dead end". Una alternativa a esta forma de procesamiento es la hidrogenación discontinua con recirculación del gas, en donde la masa de gas hidrogeno de la parte superior del reactor se hace recircular e ingresa al reactor por la parte inferior conjuntamente con el gas fresco alimentado. Esta forma se hizo popular en los primeros años de la hidrogenación debido principalmente a que el gas hidrógeno utilizado no tenía la pureza que se logra ahora con el avance tecnológico en los métodos de obtención del gas. Este sistema permitía eliminar las impurezas del gas haciéndolo pasar por un sistema de lavado antes de ingresar nuevamente al reactor.

En algunos casos las operaciones de calentamiento (antes de iniciar la reacción) y de enfriamiento (después de la reacción), se llevan a cabo en el mismo reactor de hidrogenación, pero en las instalaciones modernas estas operaciones se llevan a cabo en otros tanques, utilizando el reactor sólo para su función principal.

b. **Hidrogenación continua** (figura II.13), es llevado a cabo en dos formas:

- Utilizando el catalizador en lecho fijo, el cual no es muy usado en la práctica, debido a que se tienen problemas de contacto entre la masa de aceite con el catalizador, originando bajas velocidades de reacción y reacciones no selectivas.
- Utilizando el catalizador en suspensión, es más usado en la práctica que el método anterior, ya que se tienen velocidades de reacción mayores, inclusive más altas de lo que se obtiene en la hidrogenación discontinua, pero aún no se tienen reacciones lo suficientemente selectivas.

Esta forma de hidrogenar es más atractiva desde el punto de vista económico, ya que se necesita un reactor de menor volumen

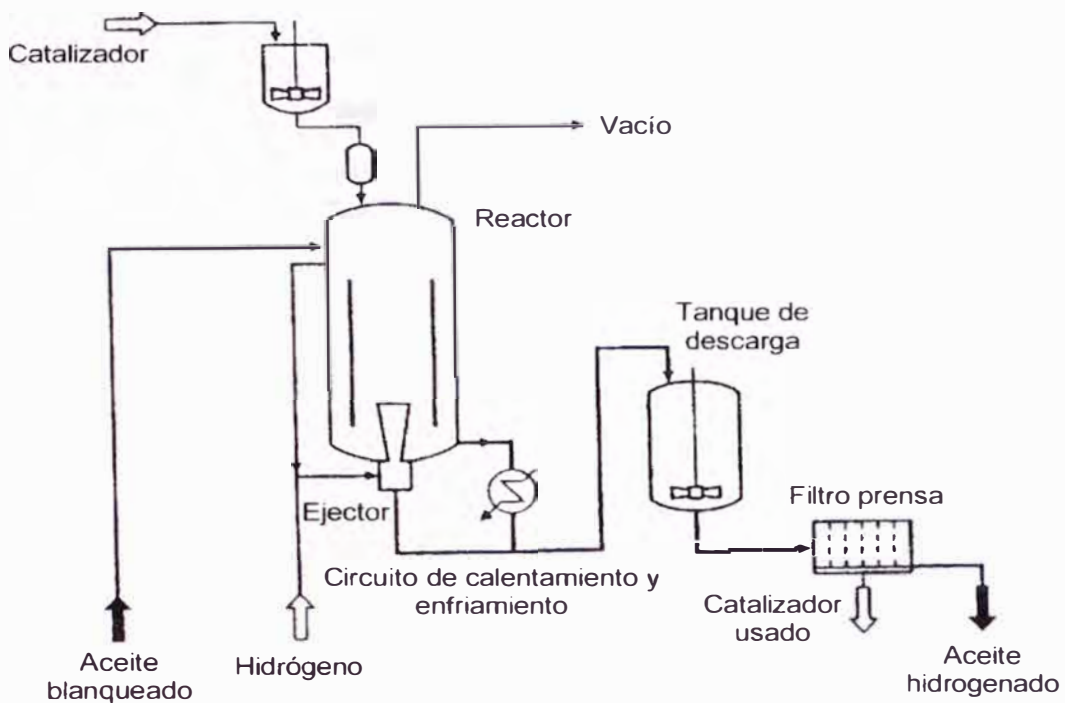


FIGURA II.12 HIDROGENACION DISCONTINUA O POR LOTES

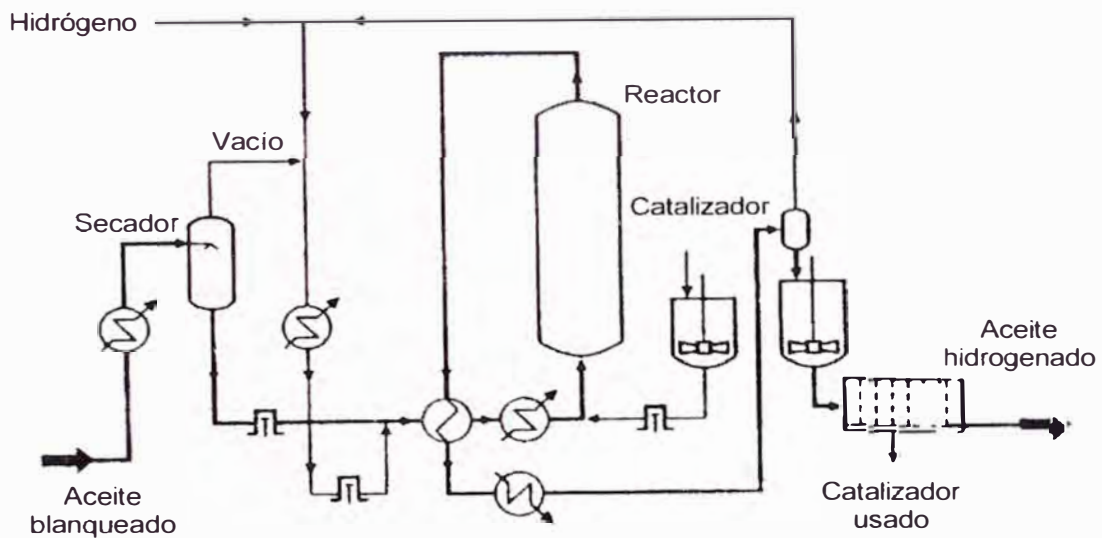


FIGURA II.13 HIDROGENACION CONTINUA

comparado con la hidrogenación por lotes para la misma capacidad de producción, menor consumo de servicios y mano de obra. También se puede conseguir una calidad más homogénea del producto hidrogenado; pero existen dos restricciones importantes que se deben satisfacer, las cuales son:

- Es difícil encontrar las condiciones operativas adecuadas para conseguir reacciones lo suficientemente selectivas para los productos hidrogenados que así lo requieran.
- Los programas de producción para un determinado producto hidrogenado deben ser de una cantidad tal de asegurar una operación ininterrumpida lo suficientemente larga (más de 24 h).

Si se satisfacen estas dos restricciones, es viable técnica y económicamente hidrogenar los aceites en forma continua. Lamentablemente, en la práctica ciertos productos para satisfacer sus especificaciones requieren que se hidrogenen en forma muy selectiva, y de otro lado, la tendencia actual de elaborar bases hidrogenadas diversas para satisfacer clientes específicos, obliga a hacer frecuentes cambios de producto en los programas de producción.

Es por esto que la técnica de la hidrogenación por lotes sigue siendo la técnica tradicional para la hidrogenación de los aceites y grasas, más no así para la hidrogenación de los ácidos grasos, en donde es más utilizada la técnica de la hidrogenación continua, debido a que los problemas de isomerización y selectividad son menos importantes.

II.G. DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso en este circuito de hidrogenación es por lotes de 15 toneladas de aceite, el cual es la capacidad del reactor. A continuación se describe el proceso para cada lote, teniendo en cuenta que los lotes se van sucediendo uno tras otro conforme avanza el proceso. Las figuras II.14 y II.15 muestran el diagrama de flujo del proceso.

II.G.1. Carga y calentamiento

Desde los tanques de almacenamiento respectivos, el aceite blanqueado o estearina por medio de la bomba P110 es enviado al tanque balanza T110, el cual posee cuatro celdas de carga con la finalidad de pesar la

cantidad de aceite que después ingresará al reactor. Antes de ingresar al tanque T110, el aceite pasa a través del intercambiador de calor E110, donde el aceite se precalienta enfriando el aceite hidrogenado de salida del tanque T120. Una vez que el aceite es cargado en la cantidad deseada al tanque T110, se procede a calentar dicho aceite pasando vapor de media presión por los serpentines internos del tanque, hasta que la temperatura del aceite alcance el valor deseado según el producto a obtener. Una vez alcanzada esta temperatura, se procede a desalojar la mezcla vapor-líquido condensado del serpentín por medio de un soplado con aire comprimido, esto con la finalidad de dejar vacío el interior del serpentín para que el peso registrado para el siguiente lote corresponda enteramente al aceite cargado. Después este aceite es descargado al hidrogenador T100 aprovechando la fuerza de gravedad, ya que el tanque T110 está ubicado en el tercer piso del edificio y el hidrogenador T100 está en el segundo piso. Debe anotarse también que el tanque intercambiador E110 está ubicado en el cuarto piso, por tanto, el paso de aceite del intercambiador E110 al tanque T110 es por caída libre. De esta forma se ahorra el costo del bombeo de aceite de un tanque a otro.

II.G.2. Hidrogenación

Cuando el hidrogenador se encuentra cargado, el operador solicita a la Planta de Generación de Hidrógeno el pase respectivo para comenzar el proceso. Los operadores de esta planta deben verificar la cantidad de gas almacenada en sus botellas (el gas se almacena en tanques cilíndricos horizontales o verticales, con ambos extremos de terminación cóncava, llamados comúnmente botellas) en forma indirecta mediante la indicación de la presión interna de las mismas. Si la cantidad de gas es suficiente (mayor a la requerida, según el producto a obtener), se da el pase respectivo; de otra forma, se tiene que esperar hasta tener la cantidad de gas suficiente. Para evitar estas demoras, tiene que haber una coordinación estrecha con esta planta para fijar la capacidad de producción de gas hidrógeno en función del consumo programado en la Planta de Hidrogenación en su conjunto.

Cuando la Planta de Generación de Hidrógeno da el pase respectivo, el operador puede dar inicio al proceso de hidrogenación. Para esto lo primero que hace es agregar el catalizador al aceite dentro del reactor. Este catalizador se agrega en forma de lodo al reactor (lodo formado por

una mezcla del aceite a hidrogenar y catalizador), luego se permite el ingreso del gas hidrógeno al reactor. Utilizando el controlador de presión del reactor, se controla el ingreso del gas hidrógeno hasta tener la presión deseada según el producto a obtener. La reacción de hidrogenación es una reacción exotérmica, por tanto, el calor liberado ocasiona que el aceite aumente su temperatura gradualmente conforme avanza la reacción. Cuando la temperatura del aceite alcanza el valor de la temperatura de reacción deseada, se arranca la bomba P171 para que agua blanda circule a través de los serpentines de calentamiento y enfriamiento, y se controle la temperatura del aceite dentro del reactor. De esta forma el calor liberado a partir de este momento es removido por el agua blanda. Se dispone de dos circuitos de circulación de agua blanda al reactor, en el primero el agua ingresa directamente al reactor desde la descarga de la bomba P171 y en el segundo el agua primero pasa a través del intercambiador E171, donde se enfria por intercambio de calor con agua tratada proveniente de la torre de enfriamiento N° 4 y luego ingresa al reactor. El primer caso se utiliza cuando la velocidad de reacción no es muy alta, aproximadamente menor o igual a 2 unidades de índice de iodo por minuto; si la velocidad de reacción es mayor, se utiliza el segundo caso. Esto se manifiesta cuando es imposible controlar la temperatura de reacción sin que el agua pase a través del intercambiador E171. El agua que sale del serpentín del reactor está normalmente en dos fases: agua líquida y vapor, la proporción de estas dos fases está en función de la cantidad de calor removido. Esta mezcla va al tanque flash T171A, en donde la fase vapor se libera al ambiente y la fase líquida es succionada por la bomba P171. Debido a que se libera vapor al ambiente, para mantener la cantidad de agua circulante aproximadamente constante, se repone agua blanda fresca al tanque pulmón T171, cuya descarga está unida a la descarga del tanque flash T171A. Esta reposición se efectúa por medio de la bomba P170. La bomba P171 se detiene cuando la temperatura del aceite dentro del reactor tiene tendencia decreciente y no es necesario circular más agua por los serpentines.

Se controla el avance de la reacción midiendo el índice de refracción del aceite dentro del reactor. Para esto el operador toma pequeñas muestras de aceite desde un tubo colocado en el interior del reactor, destinado a tal fin. Las muestras se toman al principio de la reacción en un intervalo de 15-20 minutos y cuando la reacción se acerca al punto final, cada 2-3

minutos. El aceite que se coloca en el prisma del refractómetro es previamente filtrado, para que las partículas de catalizador no interfieran con la lectura. El índice de refracción se mide a una temperatura de 60 °C.

Cada vez que se mide el índice de refracción, el operador debe ir anotando el valor en la carta registradora correspondiente, de tal forma que quede registrado el avance de la reacción y sirva como referencia para los lotes siguientes.

El índice de refracción en el punto final, se determina por referencia con un lote anteriormente hidrogenado del mismo producto y para verificar que el aceite esté dentro de las especificaciones fijadas de punto de fusión o índice de iodo, se envía una muestra al laboratorio para que se realice el análisis correspondiente. Si el resultado del análisis arroja un valor menor que el especificado, se continua hidrogenando y después se envía una nueva muestra para realizar el análisis anterior. En cambio, si el resultado está dentro de las especificaciones, se da por terminada la reacción. Si el valor obtenido del análisis es mayor que la especificación, también se da por terminada la reacción, en este caso este lote luego de las demás operaciones, se separa en un tanque de almacenamiento o se almacena en un tanque que contenga un producto de similares características. Se debe hacer notar aquí, que resultado de la experiencia, se conoce en forma aproximada los incrementos del punto de fusión de un producto determinado por cada unidad de reducción en el índice de refracción, de esta forma, luego de conocer el primer resultado del punto de fusión, es posible determinar con mayor precisión el punto final de la reacción.

Cuando se alcanza el punto final y se da por terminada la reacción, el operador cierra el ingreso de gas hidrógeno y somete al reactor a una presión de vacío para eliminar el hidrógeno remanente dentro del reactor, sobre la superficie del aceite y del hidrógeno difundido dentro de la masa del mismo. Luego comunica a la Planta de Generación de Hidrógeno que la reacción ha terminado para que el operador de esta planta cierre la válvula de suministro. Se trabaja de esta forma por razones de seguridad.

II.G.3. Enfriamiento y descarga

Si el tanque de enfriamiento T120 se encuentra vacío, se procede a descargar el aceite hidrogenado del reactor hacia este tanque. La

descarga se realiza por medio del soplado con vapor de media presión que ingresa por la parte superior del reactor. Para esto el operador deja de hacer vacío al reactor y somete a presión de vacío al tanque T120, se abren las válvulas correspondientes en la línea de aceite y luego se abre la válvula respectiva para permitir que ingrese el flujo de vapor dentro del reactor. El vapor que ingresa va empujando al aceite desde su superficie, descargando de esta forma el reactor. Esta operación se ve favorecida por la presión de vacío que existe en el tanque T120. La descarga termina cuando existe un aumento brusco de la presión en el tanque T120, debido a que vapor y no aceite está ingresando al tanque. Finalizada la descarga, se cierra la válvula de vapor y se hace vacío al reactor para evacuar todo el vapor que ha quedado en el reactor, luego el reactor queda listo para recibir un nuevo lote. Si la temperatura del aceite dentro del tanque T120 está por encima del valor deseado, arranca la bomba P172 y comienza el enfriamiento del aceite por medio de la circulación de agua blanda por el serpentín del tanque T120. Debido a la alta temperatura del aceite hidrogenado en este tanque, al igual que en el reactor, el agua sale del serpentín en forma de una mezcla líquido-vapor, el cual va al tanque flash T172A, donde el vapor es liberado y el agua líquida es succionada por la bomba P172 y descargada nuevamente hacia el tanque T120. Para mantener la cantidad de agua circulante aproximadamente constante, se repone agua blanda al tanque pulmón T172 por medio de la bomba P170. Al igual que el sistema de enfriamiento del reactor, se dispone de dos circuitos de enfriamiento, el primero en el cual el agua que descarga la bomba P172 entra directamente al serpentín del tanque T120 y la segunda en el cual el agua primero pasa a través del intercambiador E172, donde se enfría por intercambio de calor con agua tratada proveniente de la torre de enfriamiento N° 4 y luego ingresa al serpentín del tanque T120. El primer circuito es utilizado cuando la temperatura del aceite es elevada, normalmente por encima de 150-160 °C, en caso contrario se utiliza el segundo circuito. De esta forma se mantiene aproximadamente constante la tasa de enfriamiento del aceite dentro del tanque T120.

Cuando el aceite alcanza la temperatura de enfriamiento fijada y el tanque desmetalizador T130 se encuentra vacío o con señal de nivel bajo (si el lote es del mismo tipo que el anterior), se hace vacío al tanque T130 y se procede a descargar el tanque T120 por medio de la bomba P120. El

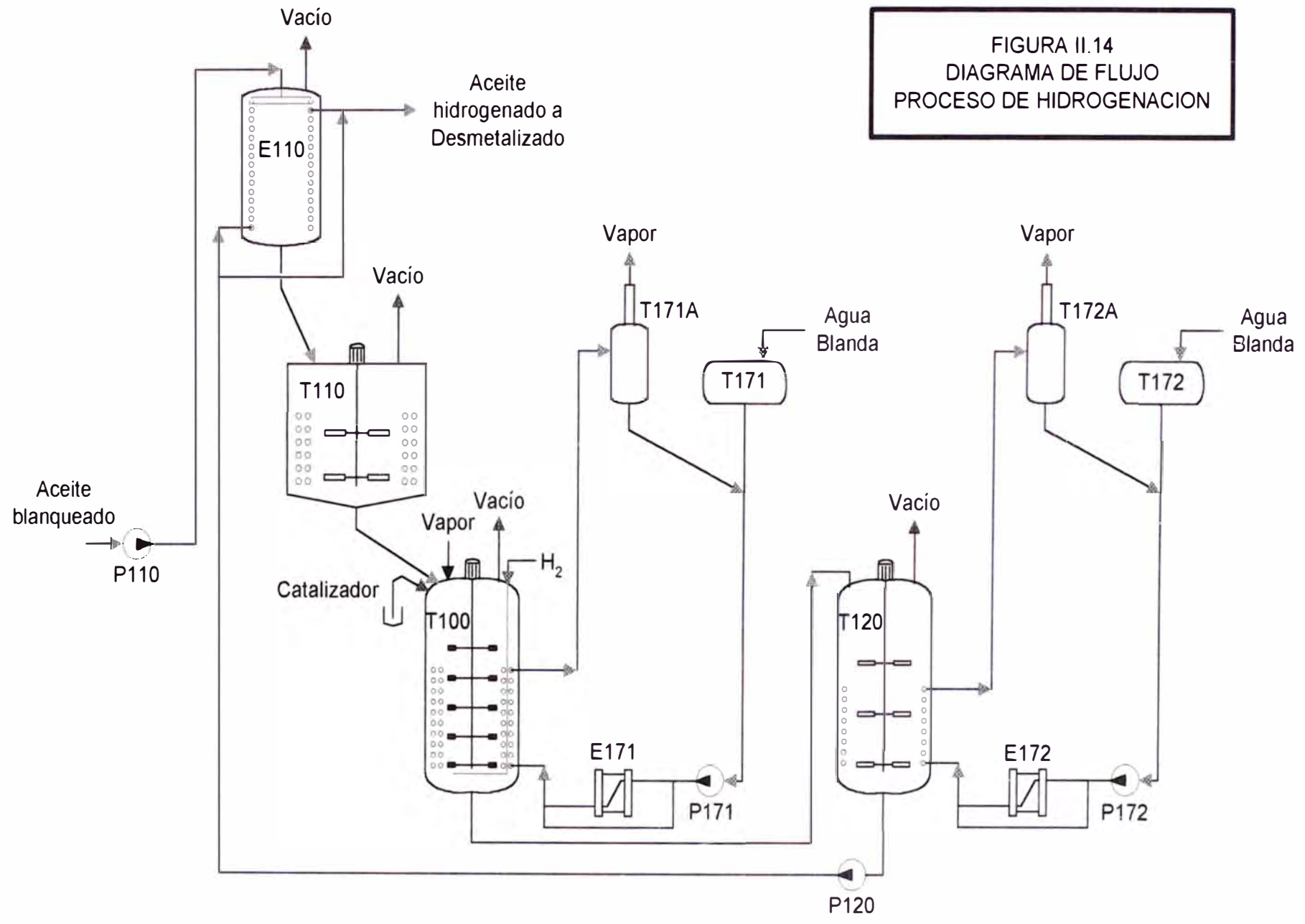


FIGURA II.14
 DIAGRAMA DE FLUJO
 PROCESO DE HIDROGENACION

aceite en el trayecto hacia el tanque T130 pasa a través del tanque intercambiador E110, por tanto, cuando se descargue el tanque T120 también se debe cargar un nuevo lote de aceite al tanque T110, esto en forma simultánea para que ambas corrientes pueden intercambiar calor en E110. Se regulan los flujos de ambas corrientes de tal manera de maximizar el intercambio de calor. Actualmente se regulan los flujos a 10000 kg/h, por tanto, demora 1,5 h aproximadamente la descarga del tanque T120. Se debe notar que se fija la temperatura de enfriamiento en el tanque T120 de tal manera, que el aceite luego de intercambiar calor en E110 ingrese al tanque T130 a una temperatura adecuada para las operaciones posteriores de desmetalizado y postblanqueo. Esta temperatura es del orden de 90-110 °C.

Cuando termina la descarga del aceite hidrogenado del tanque T120, se sopla la línea con aire comprimido para evitar atoros y contaminación si el lote siguiente es de un producto distinto.

II.G.4. Desmetalizado

Una vez terminada la descarga del tanque T120, se rompe la presión de vacío en el tanque T130 y se recircula el aceite al mismo tanque por medio de la bomba P130 a través del filtro prensa F130 (comúnmente llamado prensa negra) durante 30-45 minutos aproximadamente. El catalizador que se agregó al aceite en el reactor, queda retenido en el filtro F130. Durante esta recirculación, el operador procede a tomar una muestra de aceite a la salida del filtro y la envía al laboratorio para que se realice el análisis de punto de fusión o índice de iodo según corresponda, y en forma excepcional, otros análisis que se consideren necesarios (análisis de contenido de sólidos, color Lovibond, etc.).

Al cabo de este tiempo, se deja de recircular al tanque T130 y se pasa el aceite al tanque blanqueador donde se llevará a cabo la operación de postblanqueo. Se dispone de dos tanques blanqueadores T140A y T140B, que trabajan en paralelo. Esta disposición permite procesar 8 lotes por día de aceite hidrogenado, es decir, 120 toneladas de aceite por día. Si el lote de aceite hidrogenado en el tanque T130 es el último de su tipo, se debe dejar el tanque T130 completamente vacío, todo el aceite debe pasar al tanque T140A o B según sea el caso. Caso contrario, el aceite hidrogenado es descargado del tanque T130 sólo hasta la altura de la señal de nivel bajo (aproximadamente 1 tonelada remanente). Luego este

aceite remanente en el tanque T130 se mantiene recirculando a través del filtro F130 hasta que el tanque reciba un nuevo lote de aceite hidrogenado. Se trabaja de esta manera para que la precapa formada en el filtro prensa F130 no tienda a caerse, esto es, el espesor de la precapa se mantenga uniforme en toda el área de la placa.

Si se deja el tanque T130 vacío, se sopla luego la línea con aire comprimido desde la descarga del tanque a través del filtro F130 hacia el tanque blanqueador respectivo.

II.G.5. Postblanqueo

Una vez que termina de pasar el aceite hidrogenado al tanque blanqueador, se inicia la operación de postblanqueo. Esta consiste en agregar una solución acuosa de ácido cítrico al 50 % preparada con una cantidad de ácido cítrico anhidro de 0,01-0,02 % en peso de aceite. Luego de un adecuado tiempo de contacto (aproximadamente 20 minutos), se agrega tierra blanqueante en una cantidad que varía entre 0,1-0,2 % en peso de aceite, según el tipo de producto a tratar y luego se mantiene en agitación por 20-30 minutos. Toda la operación se realiza bajo presión de vacío (aproximadamente 600-700 mbar) y a una temperatura de 90-100 °C. Después de este tiempo, se recircula el aceite por medio de la bomba P140 (A o B, la que esté en operación) a través del filtro prensa F140 (comúnmente llamado prensa blanca) hacia el mismo tanque blanqueador, durante 45-60 minutos, luego de los cuales se toma una muestra de aceite a la salida del filtro F140 y se envía al laboratorio para que se realicen los análisis de Filter test y Níquel test. Si el resultado de ambos análisis es negativo, se procede a pasar el aceite al tanque final T150. Caso contrario, se detiene la recirculación, se agrega más tierra blanqueante y/o ácido cítrico, y luego de circular el aceite durante 30 minutos se toma una nueva muestra de aceite para que se realicen nuevamente los análisis arriba mencionados.

Una vez que termine de pasar todo el aceite hidrogenado del tanque blanqueador T140A o B hacia el tanque final T150, se sopla la línea con aire comprimido hacia el mismo tanque blanqueador a través del filtro F140, o si este lote de aceite es el último de su tipo, se sopla hacia un tanque de soplados; allí se colecta todo el aceite de los soplados de este filtro en caso de cambio de producto.

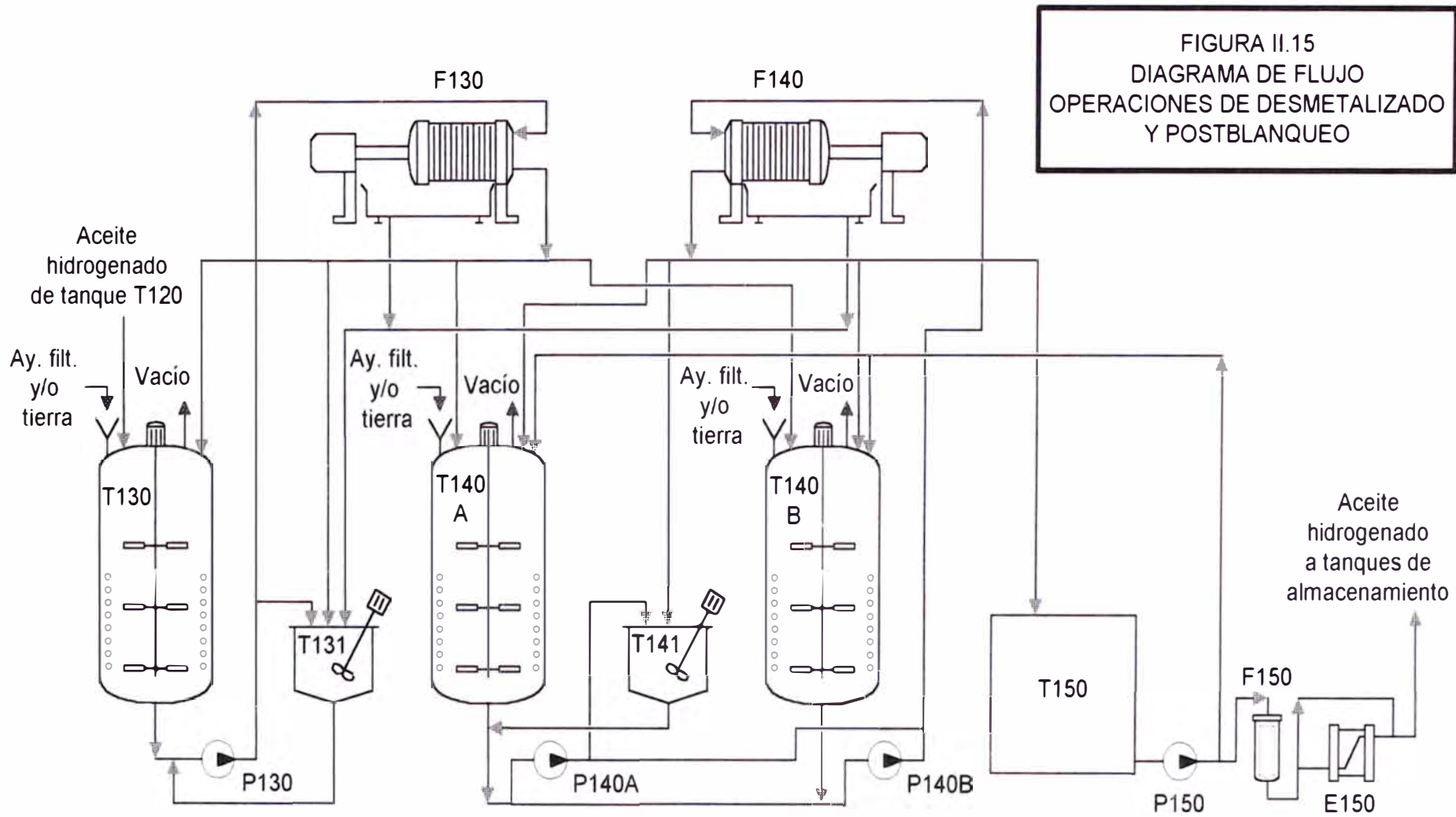


FIGURA II.15
 DIAGRAMA DE FLUJO
 OPERACIONES DE DESMETALIZADO
 Y POSTBLANQUEO

La limpieza de los filtros prensa F130 y F140 se realiza cuando éstos se saturan de tierra blanqueante y/o catalizador, una indicación de esto es cuando la presión de ingreso al filtro es mayor o igual a 5,0 bar. También deben limpiarse estos filtros en los cambios de producto para evitar contaminaciones.

Se procede luego a tomar una muestra del tanque T150 y se envía al laboratorio para que se realicen los análisis de Filter test y Níquel test. Si el resultado de ambos análisis es negativo, el aceite hidrogenado es enviado al tanque de almacenamiento respectivo por medio de la bomba P150, a través del filtro de pulido tipo bolsa F150 (cuya funda filtrante es de 25 micrones) y del enfriador de placas E150, donde intercambia calor con agua tratada proveniente de la torre de enfriamiento N° 4, con la finalidad de enfriar el aceite hasta una temperatura adecuada para su almacenamiento, normalmente esta temperatura está entre 50-70 °C.

Si el resultado de los análisis de Filter test y/o Níquel test son positivos, el lote de aceite hidrogenado por medio de la bomba P150 es retornado al tanque blanqueador respectivo para ser procesado nuevamente.

II.G.6. Parámetros de operación

Los parámetros de operación del proceso de hidrogenación para los diferentes productos se muestran en el cuadro II.8.

II.G.7. Cambios de Producto

Para evitar contaminaciones, en los cambios de producto se deben realizar ciertas acciones, especialmente en las operaciones de desmetalizado y postblanqueo. A continuación se detallan las acciones a realizar dependiendo del tipo de producto a cambiar.

De producto hidrogenado pescado a producto hidrogenado vegetal:

- Se debe asegurar que los tanques T130, T140A, T140B y T150 queden vacíos.
- Se soplan con aire comprimido los filtros prensa F130 y F140 hacia un tanque de soplados.
- Se limpian los filtros prensa F130 y F140.

De producto hidrogenado vegetal a producto hidrogenado pescado y entre dos productos vegetales o de pescado de diferente tipo:

- Se debe asegurar que los tanques T130, T140A, T140B y T150 queden vacíos.

CUADRO II.8
PARAMETROS DE OPERACION DEL PROCESO DE HIDROGENACION

PARAMETRO	UNIDAD	ALGODON SEL.	SOYA SEL.	SOYA NO SEL.	PALMA SEL.	PESCADO NO SEL.	PESCADO NO SEL.	PESCADO SEL.	PESCADO NO SEL.
Temperatura de calentamiento	°C	140-145	140-145	140-145	140-145	100-110	100-110	130-135	100-110
Cantidad de Catalizador	kg/t	1,5-2,5	0,5-1,5	0,5-1,0	1,5-2,0	1,0-1,5	0,5-1,0	1,5-2,5	0,5-1,5
Temperatura de reacción	°C	215-225	200-220	180-200	175-185	150-155	180-185	220-230	200-210
Presión de hidrogenación	Bar	0,5-1,5	0,5-2,0	0,5-1,0	0,3-1,0	0,5-1,5	4,0-5,0	3,0/1,0 ⁽¹⁾	4,0-5,0
Indice de iodo	g/100 g	-	-	-	-	120-128	-	-	-
Punto de fusión	°C	42-44	35-37	38-40	50-52	-	36-38	36,5-38,0	40-43
Temperatura de enfriamiento	°C	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110	100-110

⁽¹⁾ Se inicia la reacción con presión de hidrógeno de 3 bar. Al llegar a la temperatura de 200°C se cierra la válvula de hidrógeno, se purga por la válvula de evacuación bajo vacío y se reinicia la reacción con una presión de 1 bar.

- Se soplan con aire comprimido los filtros prensa F130 y F140 hacia un tanque de sopladors.
- No es necesario limpiar los filtros prensa F130 y F140.

II.G.8. Formación de precapa

La precapa se forma agregando tierra ayudante de la filtración al aceite hidrogenado en una cantidad que varía entre 0,45–0,60 % en peso de aceite. Luego, esta mezcla se recircula a través del filtro prensa respectivo durante aproximadamente 30 minutos verificando visualmente después de este tiempo que el aceite filtrado esté totalmente claro.

Después de formada la precapa, el filtro se encuentra listo para entrar en operación.

II.G.9. Sistemas y programa de control

Para el control de todo el proceso de hidrogenación y operaciones de desmetalizado y postblanqueo en el circuito de hidrogenación N° 1, se dispone de dos paneles de control independientes. El primero de estos es el panel de control neumático, en donde se tienen instalados el controlador neumático de presión del reactor y el registrador de presión y temperatura del reactor. El otro es el panel de control secuencial, donde está ubicado el controlador lógico programable (PLC), el panel de operador OP25, los interruptores de accionamiento manual de la apertura y cierre de válvulas, y las botoneras de accionamiento manual de arranque y parada de motores de bombas y agitadores.

De acuerdo a las características del control, se tienen básicamente tres sistemas de control en todo el funcionamiento de este circuito de hidrogenación, los cuales son:

a. **Sistemas de control de retroalimentación**, se tienen tres sistemas de control de retroalimentación, los cuales son:

- Sistema de control de presión del reactor, por medio de la regulación del flujo de ingreso de gas hidrógeno. Como elementos del control se tienen: un sensor de presión tipo diafragma, un transmisor de presión neumático, el controlador neumático y la válvula de control tipo diafragma.
- Sistema de control de flujo de aceite blanqueado de ingreso al tanque balanza T110, por medio de la regulación del flujo de aceite descargado por la bomba P110, al variar la velocidad de giro del

motor. Esta variación de la velocidad de giro del motor se consigue al entregar energía eléctrica al motor con frecuencias de diferente magnitud. Entre los elementos principales de este sistema de control se tienen: un sensor de flujo tipo vortéx y un dispositivo variador de frecuencias. El papel del controlador de este sistema lo realiza el controlador lógico programable (PLC).

- Sistema de control de flujo de aceite hidrogenado de descarga del tanque T120, es similar al sistema de control anterior; se regula el flujo de aceite descargado por la bomba P120, al variar la velocidad de giro del motor, al entregar energía eléctrica con frecuencias de magnitud variable. Al igual que el sistema anterior, se dispone de un sensor de flujo tipo vortéx y un dispositivo variador de frecuencias. La función de control lo realiza el controlador lógico programable (PLC).

Los dos últimos sistemas de control nos permiten maximizar la recuperación de calor en el intercambiador E110.

b. **Sistemas de control todo o nada (On-Off)**, de este tipo de control se tienen cuatro sistemas:

- Sistema de control de peso de aceite dentro del tanque balanza T110, por medio de desactivar la bomba P110 cuando el peso de aceite dentro del tanque T110 alcanza el valor deseado. Los elementos de este sistema son: cuatro sensores de peso tipo celdas de carga sobre los cuales descansa el tanque T110 y un indicador-transmisor de peso. La función de control lo realiza el controlador lógico programable (PLC).
- Sistema de control de temperatura de los tanques T130, T140A y T140B (3), por medio de abrir y cerrar la válvula que permite el ingreso de vapor a los serpentines de calentamiento de estos tanques. El sistema se activa y desactiva al arrancar y parar los agitadores de estos tanques. Para disminuir la frecuencia de apertura y cierre de estas válvulas, el control es de tipo todo o nada con rango.

c. **Sistemas de control secuencial**, lo realiza el controlador lógico programable, mediante un programa de control previamente cargado y que controla la apertura y cierre de válvulas, y el arranque y parada de motores de bombas y agitadores.

El panel de operador OP25 (figura II.16) como se mencionó anteriormente, permite que el operador interactúe con el sistema automático, active las rutinas de carga y descarga de los diferentes tanques del circuito de hidrogenación y fije los valores de las temperaturas a los niveles deseados según el producto a obtener. También el operador puede visualizar en pantalla el estado de los diferentes equipos del circuito (activado o parado, abierto o cerrado).

El panel tiene varias teclas, los cuales muestran lo siguiente:

- Tecla F1 Pantalla de carga al tanque de calentamiento T110.
- F2 Pantalla de gráfico de temperaturas de los tanques.
- F3 Pantalla de descarga del tanque T110 y carga al reactor T100.
- F4 Pantalla de accionamiento de las rutinas de carga y descarga de los tanques y fijación de temperaturas.
- F5 Pantalla de descarga del reactor y carga al tanque T120.
- F6 Pantalla de fijación de los parámetros de los controladores de flujo y de los flujos de carga al tanque T110 y descarga del tanque T120.
- F7 Pantalla de descarga del tanque T120 y carga al tanque T130.
- F8 Pantalla que muestra el logotipo de la empresa (alcorp S.A.).
- F9 Pantalla que permite cambiar el estado AUTO/MANUAL de las válvulas del sistema y accionarlas en modo manual.
- F10 : Pantalla que permite cambiar el estado AUTO/MANUAL de los motores del sistema (bombas y agitadores) y accionarlos en modo manual.
- F11 : Tecla de pausa.
- F14 : Tecla de escape.
- K1 Pantalla que muestra avisos en espera (accionamiento de motores, inicio y fin de secuencias, etc.).
- K2 : Pantalla que muestra alarmas generadas por el sistema.
- K10 : Muestra la fecha y hora del sistema en la esquina superior derecha de la pantalla.

Se dispone también de teclas numéricas en la parte derecha del panel de operador que sirven para introducir los valores deseados de los diferentes parámetros del proceso.

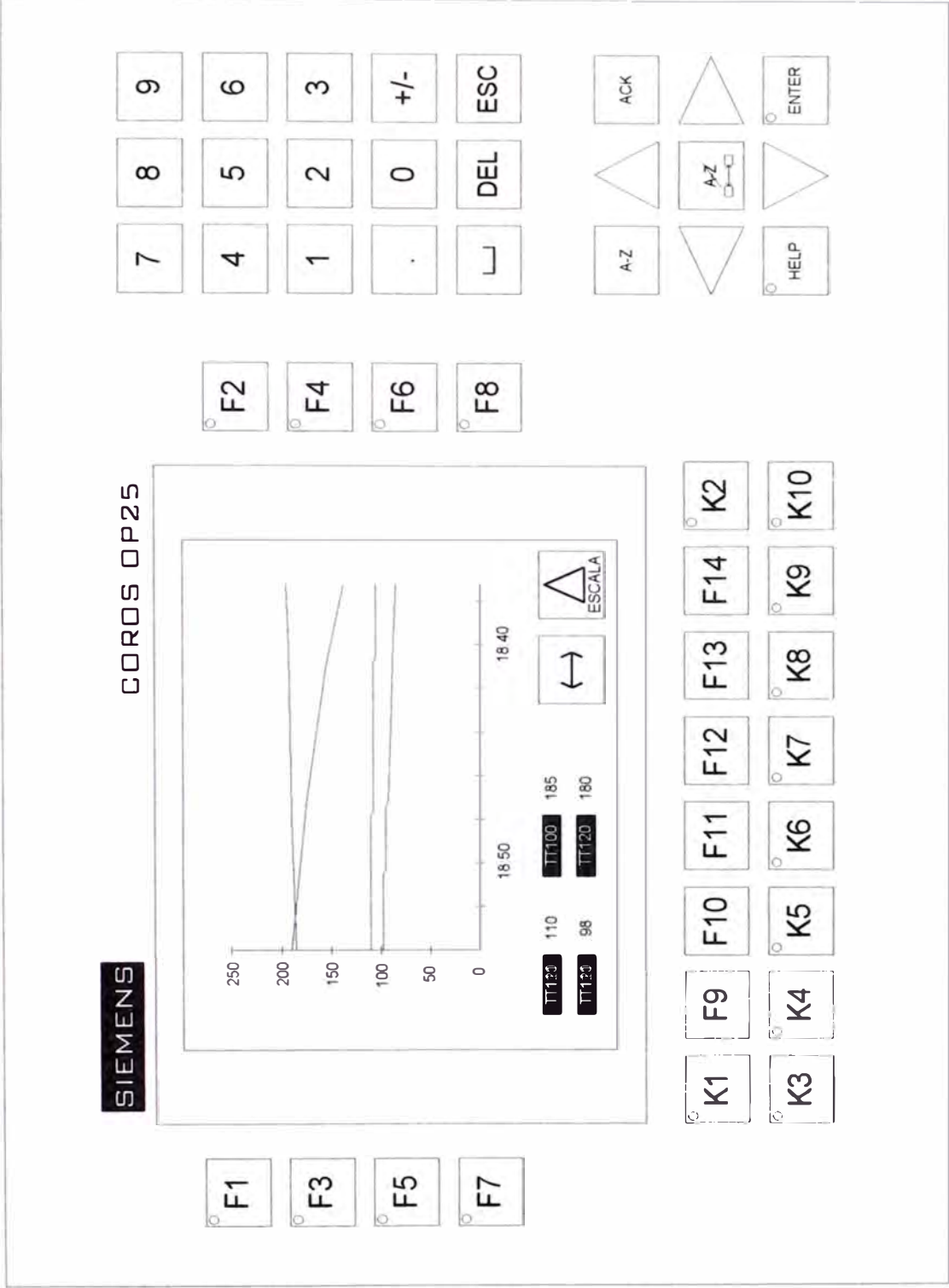


FIGURA II.16 PANEL DE OPERADOR OP25

Se desarrolló la lógica de las secuencias de control para cada parte del proceso, de acuerdo a nuestra experiencia previa en la operación de los restantes equipos de hidrogenación. Estas secuencias de control sólo incluyen el proceso de hidrogenación y la operación de desmetalizado; la operación de postblanqueo no está incluida en el programa de control (estará incluida en una etapa posterior), por tanto, esta se realiza enteramente en forma manual. Este programa de control luego fue cargado al controlador lógico programable (PLC) y verificado después su funcionamiento durante el arranque de la planta. La lógica de control, escrita en forma de operaciones secuenciales es presentada en el Apéndice A-4.

II.G.10. Controles analíticos

Durante la operación del circuito de hidrogenación N° 1, se realizan diferentes controles analíticos en varios puntos del circuito, que se muestran en el cuadro II.9.

II.H. CASOS DE APLICACION

II.H.1. Caso I: Puesta en marcha

En la etapa final del montaje electromecánico de todos los equipos involucrados en este nuevo circuito de hidrogenación, se designó al personal obrero encargado de la operación directa de estos equipos y comenzó la etapa de capacitación, que consistió en una primera instancia en explicar el funcionamiento de la planta y la distribución de los equipos según el diagrama de flujo, y posteriormente un reconocimiento en planta de los diferentes equipos del circuito. Al igual como se realizó en la puesta en marcha del nuevo sistema de control del circuito de hidrogenación N° 4, se dividió al grupo de 6 personas en dos grupos de 3 personas para trabajar con ellos en dos turnos, ya que las labores de puesta en marcha normalmente tomaron de 12 a 16 horas diarias.

Con este personal y conjuntamente con un grupo de contratistas del área de Diseño y Nuevas Instalaciones, otro grupo de trabajadores del taller eléctrico y de instrumentos, y con representantes de la empresa encargada de desarrollar y cargar el programa de control en el controlador lógico programable y verificar el correcto funcionamiento de éste; se

CUADRO II.9

CONTROLES ANALITICOS EN EL CIRCUITO DE HIDROGENACION N° 1

PUNTO DE MUESTREO	ANALISIS
Tanques de almacenamiento aceites blanqueados y estearina	Opcional: Punto de fusión, Índice de iodo, SFC
Hidrogenador T100	Punto de fusión o Índice de iodo Opcional: SFC
Salida del filtro prensa F130	Punto de fusión o Índice de iodo Opcional: SFC, Filter test, Níquel test
Salida del filtro prensa F140	Filter test y Níquel test Opcional: SFC, Color Lovibond, Color de saponificación, Índice de peróxido
Tanque final T150	Filter test y Níquel test Opcional: SFC, Color Lovibond, Color de saponificación, Índice de peróxido
Tanques de almacenamiento productos hidrogenados	Punto de fusión o Índice de iodo, SFC, Filter Test y Níquel test Opcional: Color Lovibond, Color de saponificación, Índice de peróxido

procedieron a efectuar las acciones de la puesta en marcha de este circuito de hidrogenación.

a. Verificaciones

A pesar de haber supervisado la instalación de los diferentes equipos, tuberías, instrumentos y accesorios, se realizaron las siguientes verificaciones:

- La correspondencia de la instalación de las tuberías con el diagrama de flujo del proceso.
- La adecuada instalación de los accesorios: válvulas de no retorno, trampas de vapor, filtros de canastilla, filtros en línea, etc.
- La limpieza de todos los tanques (incluyendo el intercambiador E110) y que estos se encuentren cerrados.
- La correcta instalación de los medidores de flujo según las disposiciones dadas de posición y de colocación de soportes, según el manual del fabricante.
- La instalación en los lugares señalados de los sensores de temperatura, termómetros y manómetros.
- La instalación de los tracers de calentamiento, para evitar posibles fugas de vapor, especialmente por las uniones roscadas.
- El correcto funcionamiento del sistema hidráulico de apertura y cierre de los filtros prensa F130 y F140.
- La correspondencia de las señales de apertura y cierre de las válvulas con las indicadas en los interruptores del panel de control y en el panel de operador OP25.
- La correspondencia de las señales de arranque y parada de los motores de agitadores y bombas, con las indicadas en las botoneras del panel de control y en el panel de operador OP25.
- El sentido correcto de giro de los motores de agitadores y bombas.

b. Pruebas del proceso

Después de hechas las verificaciones arriba mencionadas, se procedieron a realizar las pruebas del proceso de las diferentes partes del mismo, que se indican a continuación:

- Limpieza de la tuberías de vapor, para retirar las partículas metálicas remanentes producto de los trabajos de soldadura. Esto se realizó abriendo un extremo de cada tramo de tubería y luego

inyectando vapor a la línea. Luego se llenaron las líneas con vapor para comprobar la no existencia de fugas.

- Limpieza de las tuberías de agua, de la misma forma que en el caso de las tuberías de vapor, pero pasando agua a través de la línea.
- Se probaron las bombas de los sistemas de enfriamiento del reactor y del tanque T120, circulando agua por ambos circuitos de enfriamiento. Para evitar daños en las bombas por posibles partículas metálicas remanentes, se colocaron coladores en la succión de las bombas. Esta acción también sirvió para comprobar el correcto ajuste de las bridas para evitar fugas de agua.
- Se probó el funcionamiento de la bomba de vacío P180 y se reguló el flujo de agua para el sello hidráulico.
- Se efectuó un prueba de presión del reactor T100, inyectando vapor hasta alcanzar una presión interna de 6 bar. Esto aseguró la no existencia de fugas en el reactor.
- Se hizo una prueba de hermeticidad en todos los tanques, haciendo vacío en cada uno de ellos y se efectuaron los ajustes necesarios en bridas de tuberías, válvulas, visores de vidrio y tapas de entrada de hombre.
- Se limpiaron con agua las tuberías de aceite desde la bomba P110 hasta el tanque T130. Se llenó el tanque T110 con agua (que pasó desde la bomba P110 a través del intercambiador E110) y luego en forma manual abriendo y cerrando válvulas, arrancando y parando bombas se trasladó esta masa de agua hasta el tanque T130. Después esta cantidad de agua fue descargada abriendo la válvula manual de purga. También en este caso para evitar posibles daños en las bombas causadas por partículas metálicas remanentes, se colocaron coladores en la succión de las mismas. De esta manera, se comprobó además, la adecuada colocación y ajuste de bridas para la no existencia de fugas.
- La acción anterior también sirvió para probar el sistema de soplado con vapor del reactor, para descargar el agua del reactor hacia el tanque T120.
- Se probó el sistema de ingreso de gas hidrógeno al reactor, para limpiar la línea de partículas metálicas remanentes de los trabajos de soldadura y comprobar la no existencia de fugas en la tubería.

- Se llenaron parcialmente los tanques T140A y T140B con agua para limpiar luego la tubería de descarga de estos tanques hasta la succión de la bomba (se mantuvo la brida abierta en la succión).
- Se probó el sistema manual de ablandamiento de agua, normando el método de operación y regulando los tiempos de las diferentes etapas: producción, retrolavado, regeneración y enjuague.
- Se probó el sistema automático de reposición de agua blanda a los tanques pulmón T171 y T172. Se calibraron también los indicadores de nivel de estos tanques.
- Se probó el sistema de control de flujo de aceite de llenado del tanque T110, calibrando el medidor de flujo y ajustando los parámetros PID del controlador para conseguir una respuesta rápida y sin oscilaciones.
- Se probó el sistema de control de peso de aceite en el tanque balanza T110, para esto se pesó en un tanque balanza mecánico 15 toneladas de aceite, y se comparó luego con el peso final de aceite indicado por el indicador-transmisor de peso, de esta forma se calibraron las celdas de carga. También se fijaron el peso máximo y mínimo para que el transmisor emita su señal de control al controlador lógico programable (PLC).
- Se probó el funcionamiento del programa de control para el calentamiento del aceite dentro del tanque balanza T110 y luego para el desalojo del vapor de los serpentines de calentamiento, fijando los tiempos adecuados de apertura y cierre de las válvulas correspondientes.
- Se probó el funcionamiento del programa de control para el enfriamiento del aceite en el tanque T120, arrancando y parando la bomba respectiva, y abriendo y cerrando las válvulas correspondientes, según la temperatura de enfriamiento fijada y la temperatura de cambio del circuito de enfriamiento.
- Se probó el sistema de control de flujo del aceite de descarga del tanque T120, calibrando el medidor de flujo y ajustando los parámetros PID del controlador para conseguir una respuesta rápida y sin oscilaciones.
- Se probó el programa de control para la recirculación de aceite por el filtro F130 al tanque T130 y el paso de aceite al tanque T140A y T140B.

- Al pasar aceite desde el tanque T110 hasta el tanque T130 (en principio sin hidrogenar), se calibraron los sensores de nivel de los tanques T110, T100 y T120.
- Se hizo una prueba de hidrogenación con un lote de aceite; de esta forma se probó el sistema de dosificación de catalizador, el sistema de control de presión del reactor y el control manual de temperatura del aceite dentro del reactor.
- Se hizo una prueba completa de hidrogenación con tres lotes de aceite para comprobar el funcionamiento de todo el programa de control. Esto permitió ajustar los flujos de aceite en el intercambiador E110 y maximizar la recuperación de calor. También permitió hacer los últimos ajustes al programa de control para el arranque del nuevo circuito de hidrogenación con varias cargas continuas trabajando las 24 horas del día.

c. Resultados

Durante la prueba de los diferentes equipos y sistemas se tuvieron los siguientes resultados:

- Se encontraron varias fugas en tuberías de agua, vapor, aceite y aire, por un inadecuado ajuste de las uniones bridadas y roscadas que tuvieron que ser reparadas.
- Se tuvieron que hacer correcciones en la disposición de tuberías, principalmente para mejorar la facilidad de operación en las secciones de desmetalizado y postblanqueo.
- Se tuvo que modificar la ubicación de los indicadores de nivel bajo de los tanques T110, T100 y T120, para asegurar el vaciado completo de estos tanques.
- Para facilitar la mejor homogenización de la mezcla catalizador-aceite y la dosificación del mismo dentro del reactor, se tuvo que fabricar un nuevo recipiente para realizar esta mezcla, del doble de volumen que el recipiente anterior.
- Se tuvieron que hacer correcciones en el cableado de las señales de las válvulas y motores de agitadores y bombas, para que se correspondan con los indicados en los interruptores y botoneras respectivas, y en el panel de operador OP25.
- Se hicieron correcciones en la lógica del programa de control en todas las secciones del proceso, modificando la secuencia de

apertura y cierre de válvulas, accionamiento de bombas y agitadores, y fijando tiempos adecuados de espera entre una acción y otra.

d. Conclusiones

- En el desarrollo del proyecto de instalación y montaje de una nueva planta de producción, debe participar el sector responsable de la futura operación de la planta, para asegurar una disposición tal que permita una operación eficiente y segura, y una facilidad de mantenimiento de los equipos.
- Es muy importante supervisar y verificar las operaciones de instalación y montaje de equipos y demás accesorios, ya que comúnmente las empresas contratistas no tienen un conocimiento pleno de la importancia de un buen montaje para el funcionamiento adecuado de los equipos y conseguir productos con la calidad especificada.
- La puesta en marcha de una nueva planta debe ser realizada por el personal responsable de su operación, ya que es una excelente oportunidad para tener un mejor conocimiento de la operación de la misma y para capacitar adecuadamente a los operadores encargados de su funcionamiento.
- Se deben seguir estrictamente las indicaciones de los fabricantes en cuanto a la instalación de los equipos: posición, disposición de soportes, temperatura externa, tensión eléctrica de trabajo, etc., para un adecuado funcionamiento de los mismos.
- Antes de probar el funcionamiento de un equipo, se debe verificar y probar cada una de sus partes independientemente, para evitar daños mayores al equipo.
- La puesta en marcha de una planta, nos da la oportunidad de realizar cambios tanto en la parte física como en la parte lógica del programa (diferentes a como fueron concebidos inicialmente) para una mejor operación de la misma.
- Es necesario tener experiencia en el manejo de procesos similares, así como conocimientos básicos de mecánica, electricidad, instrumentación, funcionamiento y programación de controladores lógicos programables, etc., para dirigir efectivamente las acciones de la puesta en marcha de una planta.

- La prueba de los diferentes equipos y sistemas, así como las correcciones necesarias deben ser hechas en forma ordenada y llevando un registro sistemático de las fallas encontradas y los trabajos de reparación realizados.

II.H.2. Caso II: Pruebas de hidrogenación

La actual dinámica del mercado nos plantea el reto de desarrollar constantemente nuevos productos o modificar los existentes para satisfacer nuevos requerimientos de nuestros clientes. Esto trae como consecuencia una mayor diversificación de los productos, cada uno de ellos con fines específicos de utilización.

El caso de la producción de mantecas industriales es un ejemplo de esta dinámica del mercado. El cliente de este tipo de producto es una industria, que utiliza éste como un insumo en su proceso de elaboración de productos cuyo consumidor final es la población. Debido a la gran competencia existente y a la necesidad de elaborar productos con mayor valor agregado, que se diferencien con los de su competidor, y a la demanda del consumidor final de mayor calidad en los productos a menores precios, el industrial para disminuir costos y mejorar la calidad de su producto requiere de insumos que estén específicamente diseñados para el tipo de producto a elaborar.

El desarrollo de nuevas mantecas industriales requiere realizar continuas pruebas de hidrogenación con la finalidad de determinar las condiciones apropiadas del proceso, para obtener una base hidrogenada que satisfaga estos nuevos requerimientos.

Como se mencionó en el apartado II.C.2, la formulación de propuestas para la mejora del proceso productivo, que incluye el desarrollo de nuevos productos, es parte de nuestra función, y como tal tomamos parte activa en la realización de estas pruebas de hidrogenación.

El caso que se presenta aquí, es el resultado del desarrollo de una nueva manteca industrial a base de aceite de palma hidrogenada (100 %), a partir de una base de palma hidrogenada ya existente, y cuyo desarrollo se llevó a cabo en el circuito de hidrogenación N° 1.

a. *Diseño de las pruebas*

El sector de Desarrollo de Mantecas realizó una serie de pruebas de hidrogenación en un equipo piloto para determinar las características

de calidad que debe tener la nueva manteca; dichos resultados fueron enviados a nuestro sector para realizar las pruebas en planta y determinar luego las condiciones adecuadas para obtener una manteca con las mismas características solicitadas.

Como características de calidad nos referimos a los análisis de punto de fusión, índice de iodo, contenido de sólidos (SFC) y composición cromatográfica (de ácidos grasos).

La técnica empleada para realizar la prueba de hidrogenación consistió en realizar los siguientes pasos:

- Comparar las diferencias existentes en el contenido de sólidos entre la grasa de nuevo requerimiento (objetivo) y la base hidrogenada producida actualmente (actual). Como se aprecia en el cuadro II.10, las grasas actual y objetivo tienen puntos de fusión similares, pero una gran diferencia en los valores del contenido de sólidos.
- Comparar los resultados de la composición cromatográfica (de ácidos grasos) de la base hidrogenada actual y de la grasa objetivo. Según estos resultados (mostrados en el cuadro II.11) la grasa objetivo tiene un menor contenido de compuestos saturados y poli-insaturados que la base hidrogenada actual y un mayor contenido de compuestos monoinsaturados, lo que revela según lo indicado en el apartado II.F.3, que la grasa objetivo fue obtenida utilizando condiciones más selectivas en su hidrogenación que la base hidrogenada actual.
- Se realizaron las pruebas de hidrogenación fijando las condiciones de operación teniendo en cuenta nuestro conocimiento sobre cómo afectan las variaciones de los diferentes parámetros en el contenido de sólidos de la grasa final (indicados en el apartado II.F.4); y los cambios de condiciones de una prueba a otra se realizaron por prueba y error, esto es, luego de realizada una prueba y conocido el resultado del contenido de sólidos, se fijaron las condiciones para la siguiente prueba, cambiando los valores de los parámetros pertinentes. Se procedió de esta forma hasta conseguir un resultado de contenido de sólidos y punto de fusión (el índice de iodo por consecuencia), que asemeje lo mejor posible a las características de la grasa objetivo.

b. Resultados

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, conjuntamente con la condiciones de operación empleadas para cada prueba, se muestran en el cuadro II.10.

En el cuadro II.11, se muestran los análisis resultantes de la composición cromatográfica (de ácidos grasos) para el aceite blanqueado de palma y para las grasas actual, objetivo y la prueba 6; esta última fue la prueba en la cual se obtuvieron las características deseadas. Se puede notar como la hidrogenación altera la composición cromatográfica del aceite y la similitud en la composición de las grasas objetivo y la obtenida en la prueba 6.

En la figura II.17, se muestran en forma gráfica los resultados del contenido de sólidos del aceite blanqueado de palma, base de palma hidrogenada actual, grasa objetivo y el obtenido en la prueba 6.

c. Conclusiones

- Las pruebas de hidrogenación constituyen una oportunidad excelente para aplicar los conocimientos teóricos y aumentar nuestra experiencia sobre la hidrogenación de aceites y grasas. La combinación de teoría y práctica es la que nos permite alcanzar en forma rápida (como se requiere en la industria) los objetivos propuestos. La teoría sobre hidrogenación nos indica como afectan las variaciones de los diferentes parámetros de operación sobre las características de calidad de la grasa resultante, y la experiencia nos indica en que magnitud cambiarán dichas características.
- Es necesario antes de proceder a realizar una prueba de hidrogenación, tener toda la información sobre las características de calidad de la grasa objetivo y de la grasa actual, para diseñar las pruebas en forma adecuada y convergente hacia el objetivo propuesto.
- Las condiciones de operación de la prueba 6, son las que nos permiten obtener una grasa que tiene las características de calidad deseadas, y por tanto, satisfacer a plenitud el requerimiento del cliente.

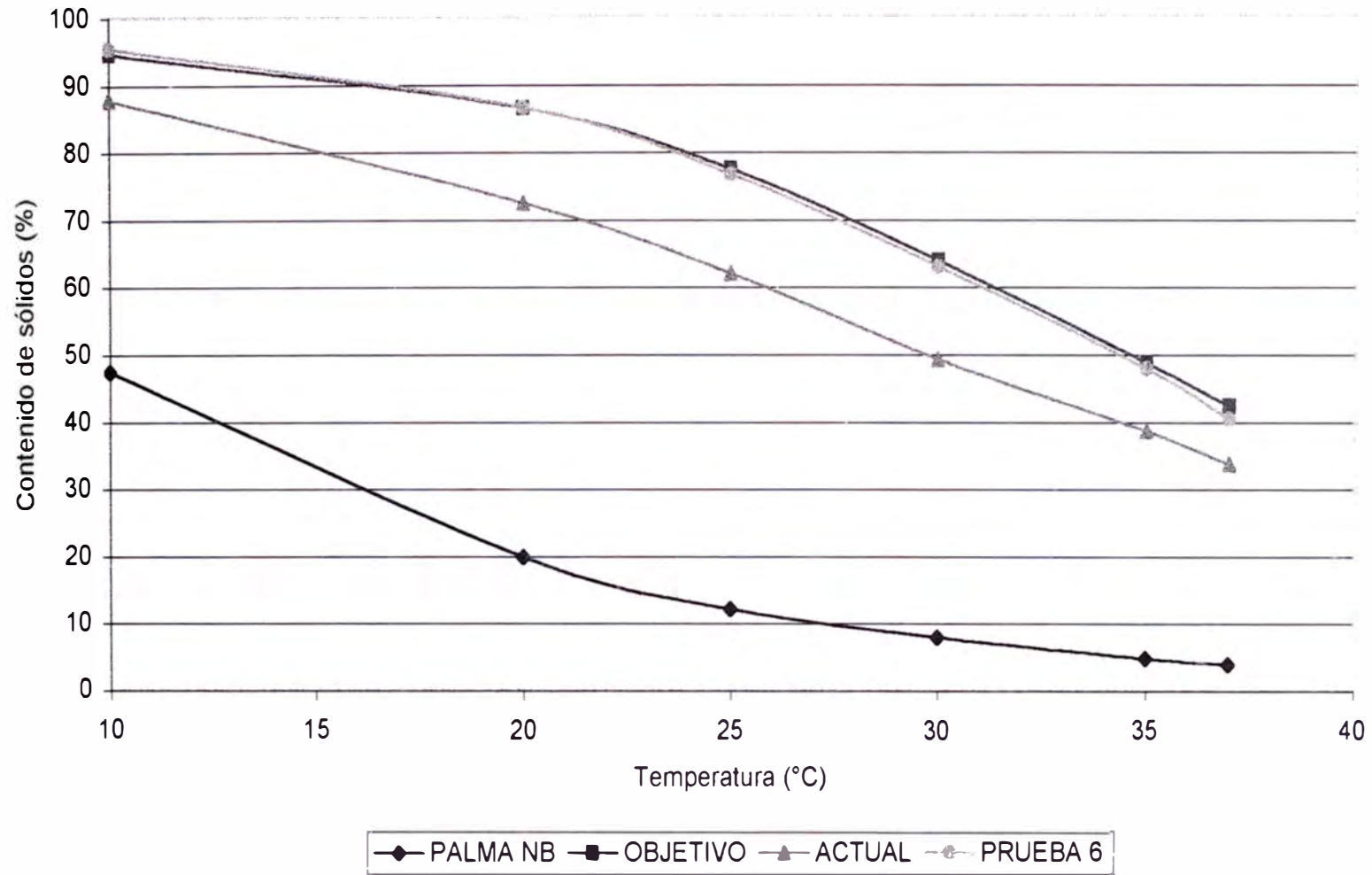
CUADRO II.10
PRUEBAS DE HIDROGENACION
CONDICIONES DE HIDROGENACION Y ANALISIS SFC

CONDICIONES	UNIDAD	ACTUAL	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6
Temperatura de inicio	°C	140	142	160	136	133	142	145
Cantidad de catalizad.	kg	0,5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Presión de hidrógeno	bar	3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
Temperatura de reacc.	°C	170 - 180	170 - 180	170 - 180	170 - 180	170 - 180	170 - 180	170 - 180
Tiempo de reacción	min.	50	300	90	60	75	120	60
SFC	CURVA OBJETIVO							
10 °C	94,6	87,8	94,2	94,5	89,3	93,8	95,2	95,4
20 °C	86,5	72,5	81,3	81,7	72,7	82,0	88,1	86,6
25 °C	77,5	62,0	69,8	70,8	61,4	74,0	80,4	76,7
30 °C	64,0	49,3	55,8	56,5	48,1	60,4	68,7	63,1
35 °C	48,8	38,7	42,3	41,9	35,6	46,0	55,7	47,9
37 °C	42,4	33,7	36,7	35,6	30,8	39,9	49,7	40,5
Punto de Fusión (°C)	50,7	51,7	52,2	51,3	51,4	51,8	53,0	50,1
Indice de iodo	38,6	37,6	36,9	36,3	39,2	37,1	31,1	39,6

CUADRO II.11
PRUEBAS DE HIDROGENACION
ANALISIS SFC Y COMPOSICION CROMATOGRAFICA

PRODUCTO	PALMA NB	OBJETIVO	ACTUAL	PRUEBA 6
SFC				
10 °C	47,4	94,6	87,8	95,4
20 °C	19,9	86,5	72,5	86,6
25 °C	12,1	77,5	62,0	76,7
30 °C	7,9	64,0	49,3	63,1
35 °C	4,8	48,8	38,7	47,9
37 °C	3,9	42,4	33,7	40,5
Punto de Fusión (°C)	-	50,7	51,7	50,1
Indice de iodo	-	38,6	37,6	39,6
COMPOSICION CROMATOGRAFICA				
C14:0	0,6	1,2	1,1	0,7
C16:0	39,8	42,0	41,6	38,7
C16:1	0,2	0,8	0,5	0,8
C18:0	5,4	11,6	15,0	12,3
C18:1	41,1	43,6	39,6	46,1
C18:2	11,8	0,2	1,8	0,5
C20:0	0,4	0,4	0,4	0,4

FIGURA II.17
PRUEBAS DE HIDROGENACION
PALMA HIDROGENADA PARA MANTECA



II.I. EVALUACION ECONOMICA

Como se mencionó en la Introducción, el motivo principal por el que se instaló el circuito de hidrogenación N° 1, no fue por la posible ventaja económica que ello pudiera conllevar, sino por la necesidad de aumentar la capacidad de producción de la Planta de Hidrogenación.

Sin embargo, debido al diseño moderno de este circuito, éste incorpora una operación que no se tiene en los otros circuitos de hidrogenación, el cual es la recuperación de calor, efectuada en el tanque intercambiador E110 y que viene a ser la principal ventaja económica debido a la reducción significativa en el consumo de vapor que ello involucra. Esta reducción, conjuntamente con los consumos en los demás servicios y mano de obra de todos los circuitos de hidrogenación de la planta, se muestran en el cuadro II.12. Aquí, se puede notar claramente la gran reducción en el consumo de vapor (aproximadamente de 75 %), que tiene este nuevo circuito comparado con los otros, y que en términos anuales, a los actuales costos del vapor, representa un ahorro de más de **US \$ 30 000**.

II.J. CONCLUSIONES DE LA ACTIVIDAD

- Esta actividad desde sus primeras etapas nos permitió desarrollar nuestras habilidades para trabajar en equipo, ya que debido a la complejidad de sus operaciones y procesos, requirió de un grupo de personas especialistas en diferentes áreas, como: electricidad, instrumentación, mecánica, etc., con funciones definidas y que sin un buen trabajo de coordinación no hubiese sido posible llevar a cabo con éxito el proyecto.
- Es importante la planificación y el desarrollo sistemático de las acciones a seguir, para evitar retrasos en la ejecución del proyecto y detectar fallas a tiempo antes de que éstas originen daños mayores a los equipos y al producto.
- En la instalación y montaje de equipos y accesorios, debe tenerse presente la facilidad para el mantenimiento y operación de los equipos, ya que esto implica velar por la seguridad del personal encargado de su operación y mantenimiento, y evitar posibles accidentes por condiciones inseguras de trabajo.

CUADRO II.12
CONSUMOS DE SERVICIOS EN LA PLANTA DE HIDROGENACION

SERVICIO	UNIDAD	CIRCUITO DE HIDROGENACION			
		1	2	3	4
Vapor	t	0,030	0,120	0,120	0,120
Energía Eléctrica	kWh	25	25	25	25
Agua	m ³	0,30	0,30	0,30	0,30
Mano de Obra	hh	0,53	1,20	1,20	0,40

Todos los consumos están referidos a una tonelada de aceite hidrogenado producido.

- La ejecución de esta actividad nos ayudó a incrementar nuestra experiencia en el manejo de personal, desarrollando nuestra habilidad para la capacitación y motivación de grupos, con la finalidad de alcanzar un alto estándar de desempeño de los operadores, optimizar los procesos y mejorar constantemente la calidad del producto.
- El desarrollo de este proyecto nos permitió aplicar los conocimientos adquiridos en nuestra carrera profesional y también ampliarlos, no sólo en el área de la ingeniería química y de procesos, sino también en áreas relacionadas con la instalación y operación de una planta industrial, tales como: ingeniería mecánica (montaje y diagnóstico preliminar de fallas en el funcionamiento de los equipos: bombas, agitadores, etc.), ingeniería eléctrica (selección y detección de fallas en motores, diagnóstico preliminar de fallas en el cableado y en los diferentes elementos de los sistemas eléctricos: contactores, relés térmicos, etc.), ingeniería electrónica (conocimiento de los principios de funcionamiento de los diversos dispositivos: controladores lógicos programables, sensores de temperatura, presión, nivel, flujo, peso, válvulas electroneumáticas, etc.), ingeniería industrial (distribución de planta, programación y planificación de la producción, etc.) e ingeniería de higiene y seguridad industrial (aplicación de programas de seguridad industrial: control de pérdidas por accidentes, eliminación de factores ambientales dañinos, etc.).

III. RESUMEN

El desarrollo del proyecto de la instalación del circuito de hidrogenación N° 1, se dividió en tres etapas:

- La primera etapa consistió en la instalación y montaje de los equipos; como se mencionó en la Introducción, la mayor parte de los equipos se trasladaron de la Planta de Hidrogenación de la Planta FAL, estos equipos fueron: el tanque de calentamiento T110, el hidrogenador T100, el tanque T120, el intercambiador E110, los filtros prensa F130 y F140, los tanques de precapa T131 y T141, las bombas de las operaciones de desmetalizado y postblanqueo P130, P140A y P140B, y el intercambiador E150, también algunos agitadores, válvulas automáticas, las celdas de carga, medidores locales de temperatura y presión, y algunos sensores de temperatura. Los demás equipos como: los tanques de desmetalizado y de postblanqueo, los equipos del sistema de control de temperatura y enfriamiento del hidrogenador T100 y del tanque T120, así como todos los indicadores de nivel, fueron fabricados o adquiridos externamente.

Esta etapa comprendió desde Abril hasta Junio de 1997. Integramos un equipo de trabajo multidisciplinario, conjuntamente con los supervisores del sector de Servicios Industriales: supervisor del Taller Eléctrico y de Instrumentos, del Taller Mecánico y del área de Diseño y Nuevas Instalaciones. Nuestra labor fue la de coordinar el trabajo de todas estas áreas, poniendo énfasis en la facilidad de la operación y mantenimiento de los equipos, y en la seguridad del personal encargado de la operación directa de la planta. Durante esta etapa efectuamos también diversos cálculos: para la ubicación de los indicadores de nivel, de los sensores de presión, de temperatura, de los indicadores locales de presión y temperatura, para la selección apropiada de los diámetros de tuberías y trampas de vapor. También, definimos los recorridos de las tuberías, ubicación de válvulas automáticas, ubicación de las conexiones necesarias en la parte superior del reactor, y elaboramos las secuencias lógicas de control del proceso.

- La segunda etapa consistió en la puesta en marcha de la planta; tarea que se realizó durante el mes de Julio de 1997. Esta etapa fue de nuestra entera responsabilidad y se dividió en dos partes:
 - La primera consistió en realizar las verificaciones de la instalación: limpieza de líneas, detección de fugas, pruebas de arranque y parada de motores, apertura y cierre de válvulas automáticas, pruebas del sistema de vacío, hermeticidad de líneas y equipos, etc. Para realizar las correcciones respectivas contamos con la participación de un grupo de trabajadores del área de Diseño y Nuevas Instalaciones y del Taller Eléctrico y de Instrumentos. Durante esta etapa comenzó la capacitación al personal seleccionado del sector para operar la planta.

- La segunda parte de esta etapa consistió en las pruebas de proceso con agua y luego con aceite, para verificar el cumplimiento de las secuencias de control automático. Aquí se trabajó conjuntamente con el personal de la empresa contratada para el desarrollo y carga del programa de control al controlador lógico programable (PLC). Se hicieron los ajustes correspondientes al programa, se determinaron los tiempos adecuados para los temporizadores, y se efectuaron varias corridas de prueba (se hidrogenaron varios lotes de aceite), con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento del programa y la correcta operación del mismo por el personal de la planta.
- La tercera etapa consistió en la supervisión y control de la operación de la planta; ya integrada a la cadena de producción, conjuntamente con los otros circuitos de la Planta de Hidrogenación. Esta etapa continua hasta el presente.

El presente informe técnico trata principalmente sobre la realización de las dos últimas etapas de este proyecto, en donde la responsabilidad por la culminación exitosa de estas fue enteramente nuestra. Así, la etapa de la puesta en marcha se trata en detalle en el apartado sobre los casos de aplicación: Caso I; y la etapa de la supervisión y control de la operación de este nuevo circuito de hidrogenación de aceites y grasas, incluyendo aspectos tales como: materias primas, insumos, servicios, análisis de laboratorio, reportes, medidas de seguridad, flujo de los materiales a través de todo el proceso, condiciones de operación, sistemas de control, pruebas de hidrogenación, etc., se trata en detalle en los apartados correspondientes.

Se incluye en el presente informe un apartado sobre la teoría de la hidrogenación de los aceites y grasas, para esclarecer conceptos y definir términos usados en otros apartados del informe y hacer más comprensible la lectura del mismo.

IV. BIBLIOGRAFIA

1. Arcillas Activadas Andinas, Hoja Técnica sobre la tierra blanqueante Tonsil Premiere, Callao, Perú, 1996.
2. Bailey A. E., Aceites y Grasas Industriales, Editorial Reverté, Barcelona, España, 1ra. Edición, 1961, 741 páginas.
3. Bernardini E., Tecnología de Aceites y Grasas, Editorial Alhambra, Madrid, España, 1era. Edición, 1981, 499 páginas.
4. Drew Chemical Corporation, Oils and Fats, Technical Bulletin, Catalyst Division, New Jersey, E.U.A., 1965.
5. Hernández Edgar, United Catalysts, Consideraciones prácticas en la hidrogenación de grasas y aceites, publicación del VI Simposio Latinoamericano sobre optimización de procesos de refinación en aceites y grasas, Foz da Iguazú, Brasil, abril 1993.
6. Hastert Robert, Hydrogenation: Proceedings of an AOCS Colloquium, AOCS Press, Champaign, Illinois, E.U.A., 1987, 246 páginas.
7. Patterson H. B. W., Hydrogenation of Fats and Oils: Theory and Practice, AOCS Press, Champaign, Illinois, E.U.A., 2da. Edición, 1994, 267 páginas.
8. Sociedad Minera Cóndor, Boletín Técnico sobre Auxiliares Filtrantes, Santiago de Chile, Chile, 1994.

V. APENDICES

Div. Oleaginosos

Av. Argentina 5077 Callao 3
Casilla 2965 Lima Perú
Teléfono 525570 Fax 519170

"OSO DE LAS INVERSIONES PRODUCTIVAS"

F *Fabril*

La Fabril S.A.
RS 417 162
Reg. Mercantil de Lima
Oficina Central
Chinchón 980 Lima 27
Casilla 1228 Lima Perú
Teléfonos 423300 422552
Fax 216611

CERTIFICADO DE TRABAJO

Dejamos constancia que el señor JORGE MARTIN TOVAR ARROYO, de nacionalidad peruana, identificado con L.E.No.08562828, trabajó en la empresa COMPAÑIA OLEAGINOSA DEL PERU S.A., en el periodo que a continuación detallamos, según consta en los registros de dicha compañía:

del 04 de noviembre de 1991
al 30 de junio de 1993

De igual manera, laboró en LA FABRIL S.A. en el periodo siguiente:

del 01 de julio de 1993
al 22 de mayo de 1995

Al momento de su retiro, el señor Jorge Tovar, se desempeñaba como Monitor de Procesos en nuestro sector de Refinerías.

Durante el tiempo que laboró en nuestra empresa, el señor Jorge Tovar ha demostrado un desempeño satisfactorio y contracción al trabajo, gozando de nuestro aprecio y confianza, retirándose en forma voluntaria.

Extendemos el presente certificado en virtud de que por Escritura Pública de fecha 02.08.93 Compañía Oleaginosa del Perú S.A. quedó disuelta al fusionarse con La Fabril S.A.

Callao, 22 de mayo de 1995

A. LA FABRIL S.A.




Planta Copsa
Av. Argentina 5027 Callao
Casilla 2965 Lima 100 Peru
T (511) 464 0080
F (511) 464 8220

CONSTANCIA DE TRABAJO

HACEMOS CONSTAR: Que el señor **JORGE MARTIN TOVAR ARROYO** trabaja en nuestra empresa desde el 24 de mayo de 1995, desempeñando el puesto de Monitor de Procesos en nuestro sector de Refinerías.

Extendemos la presente a solicitud del interesado para ser presentada a la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.**

Callao, 11 de noviembre de 1998

p. alicorp S.A.
[Handwritten signature]

EMDP/ctdv

CONTROL DE HIDROGENACION

FECHA :

HIDROGENADOR 1					HIDROGENADOR 2					HIDROGENADOR 3					HIDROGENADOR 4								
CARGA	PRODUCTO	CATALIZADOR (kg)	INDICE DE REFRACCION		I.Y. P.F.	CARGA	PRODUCTO	CATALIZADOR (kg)	INDICE DE REFRACCION		I.Y. P.F.	CARGA	PRODUCTO	CATALIZADOR (kg)	INDICE DE REFRACCION		I.Y. P.F.	CARGA	PRODUCTO	CATALIZADOR (kg)	INDICE DE REFRACCION		I.Y. P.F.
			INICIAL	FINAL					INICIAL	FINAL					INICIAL	FINAL					INICIAL	FINAL	
OBS:						OBS:						OBS:						OBS:					

OPERADOR	OPERADOR	OPERADOR
1er. TURNO	2do. TURNO	3er. TURNO

OPERADOR	OPERADOR	OPERADOR
1er. TURNO	2do. TURNO	3er. TURNO

OPERADOR	OPERADOR	OPERADOR
1er. TURNO	2do. TURNO	3er. TURNO

OPERADOR	OPERADOR	OPERADOR
1er. TURNO	2do. TURNO	3er. TURNO

LISTA DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL CIRCUITO DE HIDROGENACION N° 1

EQUIPO	NOMBRE
<u>Tanques</u>	
Tanque balanza	T110
Tanque hidrogenador	T100
Tanque de descarga	T120
Tanque desmetalizador	T130
Tanque blanqueador 1	T140A
Tanque blanqueador 2	T140B
Tanque final	T150
Tanque precapa 1	T131
Tanque precapa 2	T141
Tanque flash 1	T171A
Tanque flash 2	T172A
Tanque pulmón 1	T171
Tanque pulmón 2	T172
Tanque separador de grasa del sistema de vacío	T180
<u>Intercambiadores</u>	
Tanque intercambiador	E110
Enfriador de placas del hidrogenador	E171
Enfriador de placas del tanque de descarga	E172
Enfriador de placas del tanque final	E150
<u>Bombas</u>	
Bomba de carga del tanque balanza	P110
Bomba de descarga del tanque de descarga	P120
Bomba de descarga del tanque desmetalizador	P130
Bomba de descarga principal de los tanques blanqueadores	P140A
Bomba de descarga auxiliar de los tanques blanqueadores	P140B
Bomba de descarga del tanque final	P150
Bomba de agua blanda	P170
Bomba de circulación de agua al hidrogenador	P171
Bomba de circulación de agua al tanque de descarga	P172
Bomba de vacío	P180

<u><i>Agitadores</i></u>	
Agitador del tanque balanza	M110
Agitador del hidrogenador	M100
Agitador del tanque de descarga	M120
Agitador del tanque desmetalizador	M130
Agitador del tanque blanqueador 1	M140A
Agitador del tanque blanqueador 2	M140B
Agitador del tanque precapa 1	M131
Agitador del tanque precapa 2	M141
<u><i>Filtros</i></u>	
Filtro en la descarga del tanque de descarga	F120
Filtro prensa de desmetalizado	F130
Filtro en la descarga del tanque desmetalizador	F131
Filtro prensa de postblanqueo	F140
Filtro en la descarga del tanque blanqueador 1	F141A
Filtro en la descarga del tanque blanqueador 2	F141B
Filtro tipo bolsa en la descarga del tanque final	F150
<u><i>Sensores de nivel</i></u>	
Sensor de nivel bajo del tanque balanza	LL110
Sensor de nivel alto del tanque balanza	HL110
Sensor de nivel bajo del hidrogenador	LL100
Sensor de nivel bajo del tanque dedescarga	LL120
Sensor de nivel bajo del tanque pulmón 1	LL171
Sensor de nivel alto del tanque pulmón 1	HL171
Sensor de nivel bajo del tanque pulmón 2	LL172
Sensor de nivel alto del tanque pulmón 2	HL172
Sensor de nivel bajo del tanque desmetalizador	LL130
Sensor de nivel alto del tanque desmetalizador	HL130
Sensor de nivel alto del tanque blanqueador 1	HL140A
Sensor de nivel alto del tanque blanqueador 2	HL140B
Sensor de nivel alto del tanque final	HL150

<u><i>Sensores de temperatura</i></u>	
Sensor de temperatura en línea de aceite hidrogenado de salida del tanque intercambiador	TT121
Sensor de temperatura del tanque balanza	TT110
Sensor de temperatura del hidrogenador (RTD)	TT100
Sensor de temperatura del hidrogenador (capilar)	TT101
Sensor de temperatura del tanque de descarga	TT120
Sensor de temperatura del tanque desmetalizador	TT130
Sensor de temperatura del tanque blanqueador 1	TT140A
Sensor de temperatura del tanque blanqueador 2	TT140B
<u><i>Sensores de flujo</i></u>	
Sensor de flujo en línea de aceite blanqueado de ingreso al tanque intercambiador	FT110
Sensor de flujo en línea de aceite hidrogenado de salida del tanque de descarga	FT120
<u><i>Variadores de frecuencia</i></u>	
Variador de frecuencia del motor de bomba de carga al tanque balanza	FV110
Variador de frecuencia del motor de bomba de descarga del tanque de descarga	FV120
<u><i>Sensores de peso</i></u>	
Sensor de peso del tanque balanza (celdas de carga)	WT110
<u><i>Limites de carrera</i></u>	
Límite de carrera de la válvula de descarga del tanque desmetalizador	LS130
<u><i>Válvulas electroneumáticas (ON-OFF)</i></u>	
Válvula de entrada al tanque intercambiador o tanque balanza aceite blanqueado	VF110
Válvula de descarga del tanque balanza	VD110
Válvula de descarga del hidrogenador	VD100

Válvula de descarga del tanque de descarga	VD120
Válvula de derivación del tanque intercambiador aceite hidrogenado	VD121
Válvula de entrada al tanque intercambiador aceite hidrogenado	VD122
Válvula de salida del tanque intercambiador aceite hidrogenado	VD123
Válvula de salida del filtro prensa hacia el tanque desmetalizador	VD131
Válvula de salida del filtro prensa hacia los tanques blanqueadores	VD132
Válvula de derivación del enfriador de agua del hidrogenador	VW101
Válvula de entrada al enfriador de agua del hidrogenador	VW102
Válvula de salida del enfriador de agua del hidrogenador	VW103
Válvula de derivación del enfriador de agua del tanque de descarga	VW121
Válvula de entrada al enfriador de agua del tanque de descarga	VW122
Válvula de salida del enfriador de agua del tanque de descarga	VW123
Válvula de reposición de agua al tanque pulmón 1	VW171
Válvula de reposición de agua al tanque pulmón 2	VW172
Válvula de entrada de vapor al tanque balanza	VS110
Válvula de entrada de vapor al tanque desmetalizador	VS130
Válvula de entrada de vapor al tanque blanqueador 1	VS140A
Válvula de entrada de vapor al tanque blanqueador 2	VS140B
Válvula de entrada de aire de soplado al tanque balanza	VA110
Válvula de salida de aire (purga) del tanque balanza	VA111
Válvula en línea de vacío al tanque intercambiador	VV111
Válvula en línea de vacío al tanque balanza	VV110
<i>Válvulas de control</i>	
Válvula de control de presión del hidrogenador	PCV100

PROGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA DE HIDROGENACION N° 1

Parámetros del sistema

- * *Variables* (configurables desde el indicador-transmisor de peso y panel de operador OP25)
 - Flujo de aceite de carga al tanque balanza T110 (F_E).
 - Flujo de aceite hidrogenado de descarga del tanque T120 (F_S).
 - Peso máximo de aceite en el tanque balanza T110 (W_{MA}).
 - Peso mínimo de aceite en el tanque balanza T110 (W_{MI}).
 - Temperatura de calentamiento máxima del aceite en el tanque balanza T110 (T_{CMA}).
 - Temperatura de calentamiento mínima del aceite en el tanque balanza T110 (T_{CMI}).
 - Temperatura de enfriamiento del aceite hidrogenado en el tanque T120 (T_E).
 - Temperatura de cambio de sistema de enfriamiento en el tanque T120 (T_S).
 - Temperatura de calentamiento mínima del aceite en los tanques T130, T140A y T140B (T_{MI}).
 - Temperatura de calentamiento máxima del aceite en los tanques T130, T140A y T140B (T_{MA}).

- * *Constantes* (estos valores forman parte del programa de control)
 - Tiempo de retardo antes de abrir la válvula de soplado del serpentín del tanque balanza T110 (t_{S1}).
 - Tiempo de soplado del serpentín del tanque balanza T110 (t_{S2}).
 - Tiempo de retardo antes de cerrar la válvula de descarga del serpentín del tanque balanza T110 (t_{S3}).
 - Tiempo de descarga del tanque balanza T110 (t_b).
 - Tiempo de descarga del hidrogenador T100 (t_h).
 - Tiempo de descarga del tanque T120 (t_d).

- * *De monitoreo* (sólo se visualizan en las pantallas del panel de operador OP25)
 - Temperatura del aceite en el tanque balanza T110.
 - Temperatura del aceite en el hidrogenador T100.
 - Temperatura del aceite hidrogenado en la salida del tanque intercambiador E110.
 - Temperatura del aceite en el tanque T120.
 - Temperatura del aceite en el tanque desmetalizador T130.

- Temperatura del aceite en el tanque blanqueador T140A.
- Temperatura del aceite en el tanque blanqueador T140B.

Adicional a las señales de campo provenientes de los sensores o recibidas por los dispositivos finales de control, se requieren de señales externas enviadas por el operador al sistema para activar o desactivar secuencias específicas de operación.

Estas señales externas son enviadas por el operador a través del panel de operador OP25, en la pantalla *ESTADO DE SECUENCIAS*. A continuación se muestran las diferentes secuencias que se pueden activar o desactivar.

* CARGA DE T110

- Activar carga de tanque
- Desactivar carga de tanque

* CARGA DE T100

- Activar carga de tanque
- Desactivar carga de tanque
- Activar descarga de tanque
- Desactivar descarga de tanque

* DESCARGA DE T120

- Activar descarga de tanque
- Desactivar descarga de tanque

* CARGA DE T140A/B

- Activar carga de tanque
- Desactivar carga de tanque

* DRENAJE TOTAL T130

- Drenaje desactivado
- Drenaje activado

Carga y calentamiento del aceite en el tanque balanza T110

Si:

- Existe bajo nivel en T110 (LL110 = 1) y
- Válvula VD110 está cerrada (VD110 = 0) y
- Está activada señal de carga a T110 y
- Está desactivada señal de carga a T100

entonces:

- Abrir válvula VF110
- Abrir válvula VV110
- Abrir válvula VV111
- Arrancar bomba P110 Se activa variador de frecuencia según valor fijado F_E

Si:

- Peso en T110 alcanza el valor máximo fijado ($WI110 = W_{MA}$) o
- Existe alto nivel en T110 ($HL110 = 1$)

entonces:

- Parar bomba P110
- Cerrar válvula VF110
- Cerrar válvula VV111
- Arrancar agitador M110

Si:

- Temperatura en T110 es menor que valor mínimo fijado ($TT110 < T_{CMI}$)

entonces:

- Abrir válvula VS110

Si:

- Temperatura en T110 alcanza el valor máximo fijado ($TT110 = T_{CMA}$)

entonces:

- Cerrar válvula VS110
- Abrir válvula VA111
- Activar temporizador por t_{S1} seg.
- Abrir válvula VA110
- Activar temporizador por t_{S2} seg.
- Cerrar válvula VA110
- Activar temporizador por t_{S3} seg.
- Cerrar válvula VA111

Carga al hidrogenador T100

Si:

- Existe bajo nivel en T100 ($LL100 = 1$) y

- Temperatura en T110 es mayor o igual al valor mínimo fijado ($TT110 \geq T_{CMI}$) y
- Válvula VD100 está cerrada ($VD100 = 0$) y
- Está activada señal de carga a T100 y
- Está desactivada señal de carga a T110

entonces:

- Cerrar válvula VV110
- Abrir válvula VD110
- Parar agitador M110

Si:

- Peso en T110 alcanza el valor mínimo fijado ($WI110 = W_{MI}$) o
- Existe bajo nivel en T110 ($LL110 = 1$)

entonces:

- Activar temporizador por t_b seg.
- Cerrar válvula VD110
- Arrancar agitador M100

Descarga del hidrogenador T100 y enfriamiento del aceite en el tanque drop T120

Si:

- Existe bajo nivel en T120 ($LL120 = 1$) y
- Válvula VD120 está cerrada ($VD120 = 0$) y
- Está activada señal de descarga de T100 y
- Está desactivada señal de descarga de T120

entonces:

- Abrir válvula VD100
- Parar agitador M100

Si:

- Existe bajo nivel en T100 ($LL100 = 1$)

entonces:

- Activar temporizador por t_h seg.
- Cerrar válvula VD100
- Arrancar agitador M120

Si:

- Temperatura en T120 es mayor o igual al valor fijado ($TT120 \geq T_E$)

entonces:

- Abrir válvula VW121
- Arrancar bomba P172

Si:

- Temperatura en T120 es menor al valor fijado de cambio ($TT120 < T_S$)

entonces:

- Abrir válvula VW122
- Abrir válvula VW123
- Cerrar válvula VW121

Si:

- Temperatura en T120 es menor al valor fijado ($TT120 < T_E$)

entonces:

- Parar bomba P172
- Cerrar VW121
- Cerrar VW122
- Cerrar VW123

Descarga del tanque T120

Si:

- Temperatura en T120 es menor al valor fijado ($TT120 < T_E$) y
- Existe bajo nivel en T130 y
- Está activada señal de descarga de T120 y
- Está desactivada señal de carga a T140A/B

entonces:

- Abrir válvula VD120
- Arrancar bomba P120 Se activa variador de frecuencia según valor fijado F_S

Si:

- Bomba P110 está activada ($P110 = 1$)

entonces:

- Abrir válvula VD122

- Abrir válvula VD123
- Cerrar válvula VD121

Si:

- Bomba P110 está desactivada ($P110 = 0$)

entonces:

- Abrir válvula VD121
- Cerrar válvula VD122
- Cerrar válvula VD123

Si:

- Existe bajo nivel en T120 ($LL120 = 1$) o
- Existe alto nivel en T130 ($HL130 = 1$)

entonces:

- Activar temporizador por t_d seg.
- Cerrar válvula VD120
- Parar bomba P120
- Parar agitador M120
- Cerrar válvula VD121
- Cerrar válvula VD122
- Cerrar válvula VD123

Circulación del aceite en el tanque desmetalizador T130 y pase a los tanques blanqueadores T140A/B

Si:

- No existe bajo nivel en T130 ($LL130 = 0$) y
- Está desactivada señal de carga a T140A/B

entonces:

- Abrir válvula VD131
- Cerrar válvula VD132

Si:

- No existe bajo nivel en T130 ($LL130 = 0$) y
- Está activada señal de carga a T140A/B y
- Está desactivada señal de drenaje total de T130

entonces:

- Abrir válvula VD132
- Cerrar válvula VD131

Si:

- Existe alto nivel en T140A (HL140A = 1) o
- Existe alto nivel en T140B (HL140B = 1)

entonces:

- Abrir válvula VD131
- Cerrar válvula VD132

Si:

- Existe bajo nivel en T130 (LL130 = 1) y
- Está activada señal de carga a T140A/B y
- Está desactivada señal de drenaje total de T130

entonces:

- Abrir válvula VD131
- Cerrar válvula VD132

Si:

- Existe bajo nivel en T130 (LL130 = 1) y
- Está activada señal de carga a T140A/B y
- Está activada señal de drenaje total de T130

entonces:

- Abrir válvula VD132
- Cerrar válvula VD131

Si:

- Existe alto nivel en T140A (HL140A = 1) o
- Existe alto nivel en T140B (HL140B = 1)

entonces:

- Abrir válvula VD131
- Cerrar válvula VD132

Si:

- Existe señal de límite de carrera de válvula de descarga del tanque T130 (LS130 = 1)

entonces:

- Cerrar válvula VD131
- Cerrar válvula VD132

Control de temperatura de calentamiento en el tanque desmetalizador T130

Si:

- Temperatura en T130 es menor al valor mínimo fijado ($TT130 < T_{MI}$) y
- Está activado agitador del tanque desmetalizador M130

entonces:

- Abrir válvula VS130

Si:

- Temperatura en T130 es mayor o igual al valor máximo fijado ($TT130 \geq T_{MA}$) o
- Está desactivado agitador del tanque desmetalizador M130

entonces:

- Cerrar válvula VS130

Control de temperatura de calentamiento en el tanque blanqueador T140A

Si:

- Temperatura en T140A es menor al valor mínimo fijado ($TT140A < T_{MI}$) y
- Está activado agitador del tanque blanqueador M140A

entonces:

- Abrir válvula VS140A

Si:

- Temperatura en T140A es mayor o igual al valor máximo fijado ($TT140A \geq T_{MA}$) o
- Está desactivado agitador del tanque blanqueador M140A

entonces:

- Cerrar válvula VS140A

Control de temperatura de calentamiento en el tanque blanqueador T140B

Si:

- Temperatura en T140B es menor al valor mínimo fijado ($TT140B < T_{MI}$) y
- Está activado agitador del tanque blanqueador M140B

entonces:

- Abrir válvula VS140B

Si:

- Temperatura en T140B es mayor o igual al valor máximo fijado ($TT140B \geq T_{MA}$) o
- Está desactivado agitador del tanque blanqueador M140B

entonces:

- Cerrar válvula VS140B

Control de nivel en el tanque pulmón T171

Si:

- Existe bajo nivel en T171 ($LL171 = 1$)

entonces:

- Abrir válvula VW171
- Arrancar bomba P170

Si:

- Existe alto nivel en T171 ($HL171 = 1$)

entonces:

- Parar bomba P170
- Cerrar válvula VW171

Control de nivel en el tanque pulmón T172

Si:

- Existe bajo nivel en T172 ($LL172 = 1$)

entonces:

- Abrir válvula VW172
- Arrancar bomba P170

Si:

- Existe alto nivel en T172 ($HL172 = 1$)

entonces:

- Parar bomba P170
- Cerrar válvula VW172