

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



INFORME TECNICO

**"OPERACIONES Y PROCESOS EN
UNA PLANTA OLEAGINOSA"**

PARA LA OBTENCION DEL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR:

DANIEL ANTONIO BENITES ELORREAGA

PROMOCION: 90-I

UNI, NOVIEMBRE DE 1995

Gracias a mi familia,
a mis amigos de la UNI,
a mis amigos de COPSA.

INDICE

I.- INTRODUCCION	6
II.- ACTIVIDADES PROFESIONALES	9
II.1.- PRIMERA ACTIVIDAD: Responsable del Sistema de la Unidad de Control de la Planta de Fraccionamiento Tirtiaux	11
II.1.A.-El Organo Empresarial	11
II.1.B.-Relación Profesional-Empleador ...	13
II.1.C.-Trabajo Profesional desarrollado ..	15
II.1.D.- Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales	16
II.1.E.- Objetivos, alcances y características principales de la actividad	17
II.1.F.-Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales	24
II.1.G.-Descripción del proceso	29
II.1.H.- Caso: Prueba de Garantía	34
II.1.I.- Ventajas económicas de la nueva planta de fraccionamiento	41
II.1.J.-Conclusiones de la Actividad	43
II.2.- SEGUNDA ACTIVIDAD: Responsable del Sistema de la Unidad de Control Automático de la Planta de Refinación Alfa-Laval 500 ...	45
II.2.A.- El Organo Empresarial	45
II.2.B.- Relación Profesional-empleador ...	45
II.2.C.- Trabajo Profesional desarrollado ..	45
II.2.D.- Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales	46
II.2.E.- Objetivos, alcances y características de la actividad	47

II.2.F.-Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales	55
II.2.G.- Descripción del proceso	79
II.2.H.-Caso: Puesta en marcha de la Planta de neutralización y blanqueo Alfa- Laval ...	88
II.2.I.-Ventajas económicas de la nueva planta de neutralización y blanqueo	95
II.2.J.-Conclusiones de la Actividad	97
II.3.- TERCERA ACTIVIDAD: Supervisión de la Planta de Hidrogenación	99
II.3.A.-El Organo Empresarial	99
II.3.B.-Relación Profesional-Empleador	99
II.3.C.-Trabajo Profesional desarrollado...	99
II.3.D.- Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales	100
II.3.E.-Objetivos, alcances y características principales de la actividad	102
II.3.F.- Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales	108
II.3.G.-Descripción del Proceso	120
II.3.H.-Caso: Mejora en el postratamiento de aceites hidrogenados	124
II.3.I.-Conclusiones de la actividad	129
III.-RESUMEN	131
IV.- BIBLIOGRAFIA	135
V.- APENDICES	137

I.- INTRODUCCION

El presente informe técnico se origina como una necesidad para la obtención del Título de Ingeniero Químico. En él se da cuenta de las actividades realizadas en el ejercicio de la profesión, las cuales tuvieron lugar en una fábrica del sector oleaginoso del Consorcio de Alimentos Fabril-Pacífico. La labor realizada corresponde fundamentalmente a la supervisión de plantas de proceso dentro del sector Refinerías.

El empeño reciente de la empresa por renovarse y elevar el nivel tecnológico de sus medios de producción, motivó la compra de plantas con un gran avance en automatización, y esto le significó la necesidad paralela de asimilar personal técnico de nueva generación, para la operación y supervisión de las mismas. Adicionalmente, la tendencia empresarial hacia la competitividad hizo que se produjeran fusiones de empresas, y se precipitaran decisiones conducentes a la racionalización del personal a todo nivel. Este es el contexto en el cual se desarrollaron las actividades que son motivo del informe, y es en parte la explicación de la naturaleza y oportunidad de la asignación de responsabilidades en los cargos desempeñados.

Nos ha correspondido entonces, la responsabilidad de la Planta de Fraccionamiento Tirtiaux puesta en marcha el año 1990, de la Planta de Neutralización y Blanqueo Alfa-Laval puesta en marcha en 1992 y actualmente de la Planta de Desodorización De Smet cuya etapa de puesta en marcha está por culminar. Todas estas plantas son controladas por PLC's y monitoreadas desde una computadora personal.

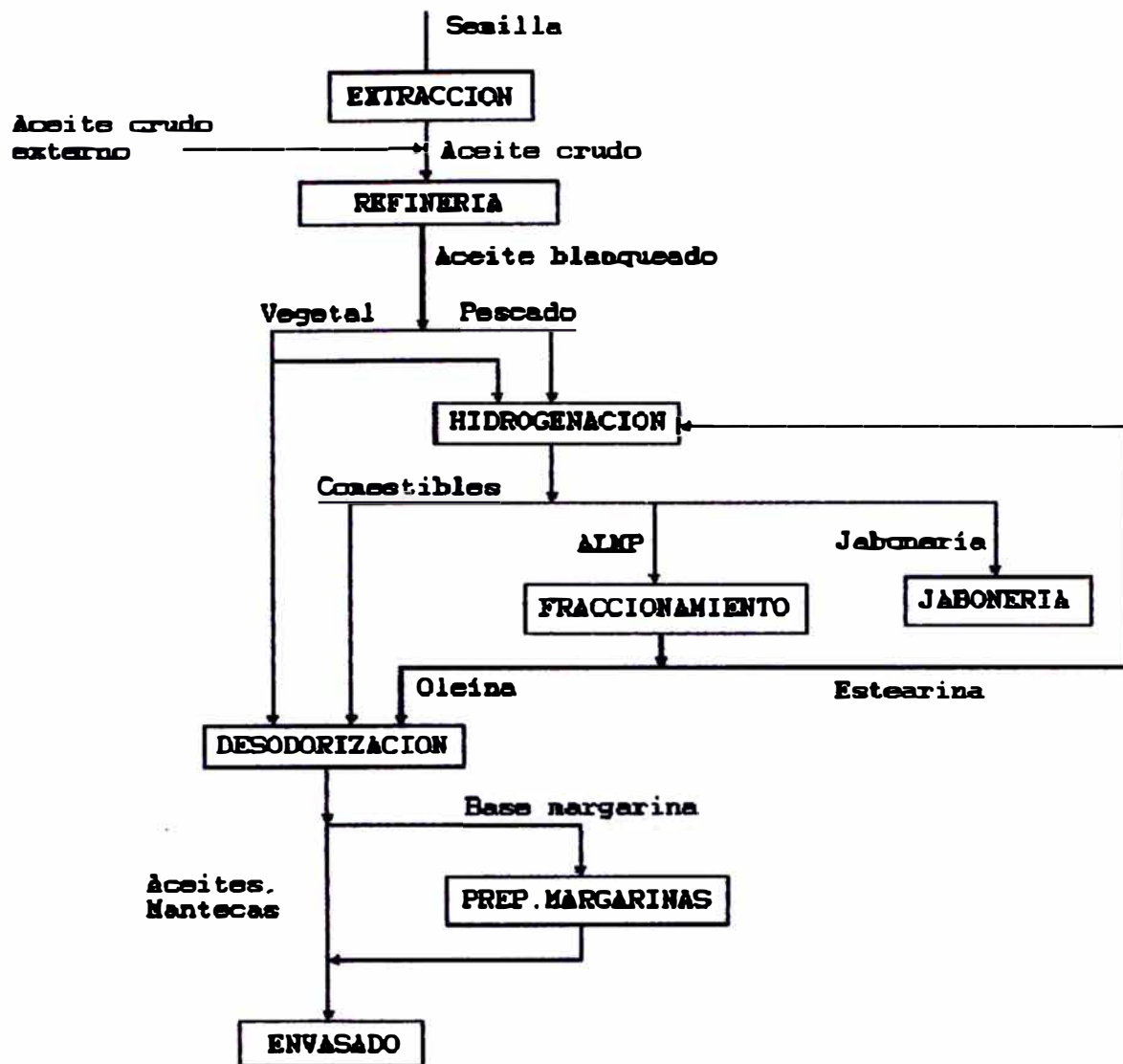


FIGURA I-1. PROCESAMIENTO DEL ACEITE

Adicionalmente se asumió la responsabilidad de la Planta de Hidrogenación, que resulta siendo en la actualidad la única planta de su generación en el sector Refinerías de la fábrica, por su bajo nivel de automatismo, lo cual seguramente será superado en el corto plazo.

El orden en el cual se desarrolla el informe es el mismo en el cual se desarrollaron las actividades. Es preciso aclarar, sin embargo, que respecto al orden lógico de tratamiento de los aceites no hay correspondencia. Como se ve en la figura I-1 una secuencia completa de tratamiento del aceite comienza por la extracción del mismo desde la semilla, obteniendo el aceite crudo. En la Planta COPSA existe una planta preparada para ese fin. A continuación el aceite crudo es neutralizado y blanqueado en la refinería, obteniéndose el aceite blanqueado. Si se desea un aceite líquido, el blanqueado se desodoriza para su envasado posterior. Si se desea un producto endurecido, primero se hidrogena. En el caso de los aceites líquidos compuestos, el componente de pescado es obtenido por fraccionamiento del hidrogenado especial de aceite de pescado (ALMP).

II.- ACTIVIDADES PROFESIONALES

Es necesario aclarar que las diferentes actividades que son objeto del presente informe fueron desarrolladas en la misma fábrica, pero la empresa cambió de razón social hasta la fecha en tres oportunidades, desde el inicio de las actividades del suscrito, principalmente por razones de fusión empresarial. Las actividades desarrolladas no se vieron afectadas por estos cambios y sus períodos de desarrollo no coinciden con la vigencia de las razones sociales. A continuación se detalla la secuencia de los cambios mencionados:

COMPANIA OLEAGINOSA DEL PERU S.A.: hasta el
30-6-93

LA FABRIL S.A.: del 1-7-93
al 21-5-95

COMPANIA INDUSTRIAL PERU PACIFICO S.A.: 23-5-95
al 3-7-95

CONSORCIO DE ALIMENTOS FABRIL PACIFICO S.A.:
desde 4-7-95

II.1.- PRIMERA ACTIVIDAD: Responsable del Sistema de la Unidad de Control de la Planta de Fraccionamiento Tirtiaux

II.1.A.-El Organismo Empresarial

II.1.A.1.- Nombre: Consorcio de Alimentos Fabril Pacífico. Planta COPSA.

II.1.A.2.- Sector: Alimentos.

II.1.A.3.- Estructura: La que se indica en el organigrama de la figura II.1-1.

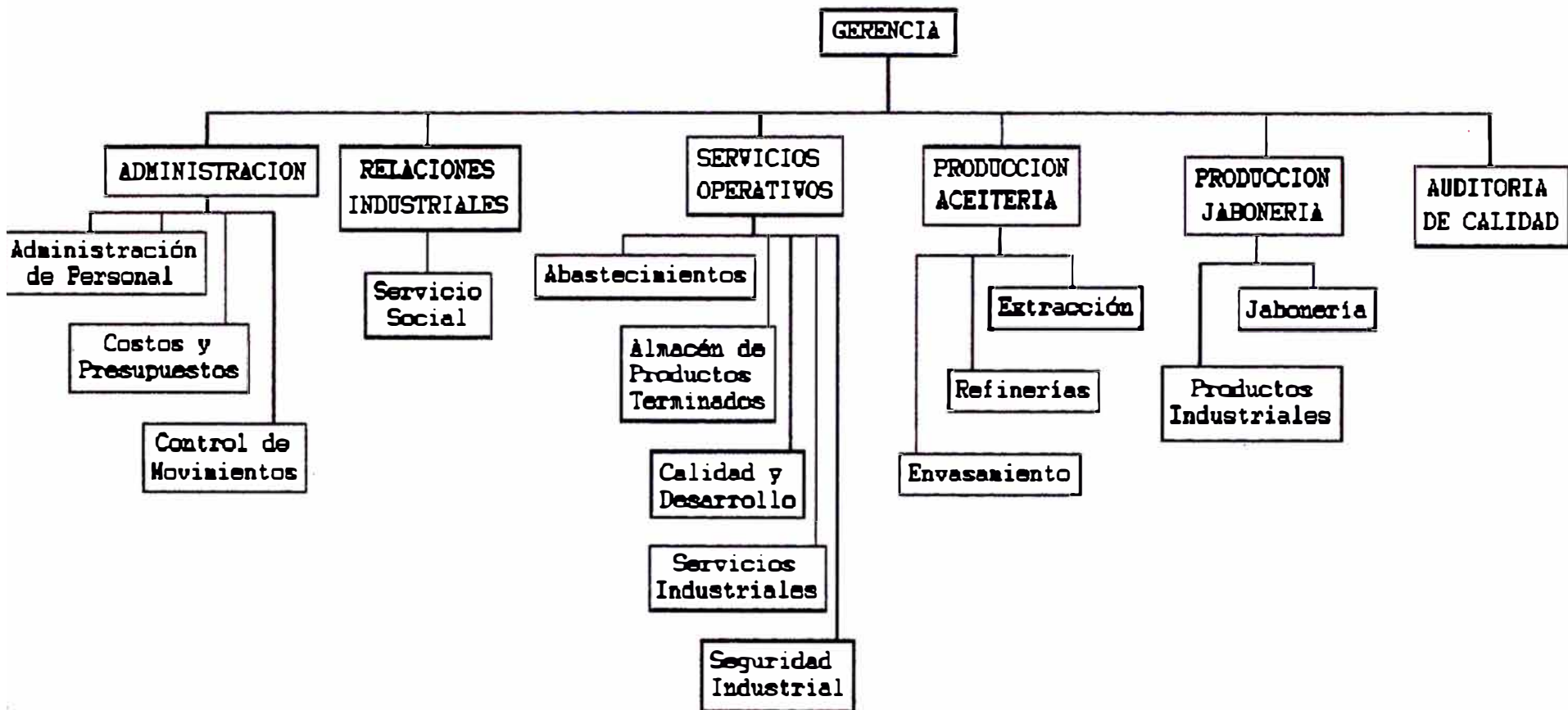
II.1.A.4.- Líneas de Producción: Hay dos líneas principales de producción: Aceitería y Jabonería. Estas a la vez producen de acuerdo a una división por sectores como sigue:

a) Aceitería

a.1) Aceite Crudo: Se encarga de extraer el aceite crudo vegetal y comprende las plantas de Prensado y Extracción de aceite por solventes para el tratamiento de semillas principalmente de Algodón y Palmiste.

a.2) Refinerías: En este sector el aceite crudo se refina mediante la eliminación de elementos impurificantes como la acidez, sólidos en suspensión, gomas, materias colorantes y odoríferas. Además se preparan variando su punto de fusión, contenido de sólidos y composición triglicérida.

FIGURA II.1-1: ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



Se incluyen las plantas de Neutralización y Blanqueo, de Hidrogenación, de Fraccionamiento y de Desodorización.

a.3) Envasado: Los productos desodorizados se envasan de acuerdo a sus respectivas presentaciones y usos. Aquí se preparan las margarinas antes de envasarlas. Comprende las plantas de margarinas, de fabricación de botellas plásticas y de envasado.

b) Jabonería

b.1) Jabonería : Se fabrican y envasan los jabones del tipo tocador y lavandería. Se localizan las plantas de preparación de Jabón, de Terminación y de Pailas.

b.2) Productos Industriales : Se fabrican y envasan glicerina y ácidos grasos. Está constituido por las plantas de Glicerina y de Ácidos Grasos.

II.1.A.5.- Layout de las Unidades de producción: Es el que se detalla en la figura II.1-2.

II.1.B.-Relación Profesional-Empleador

II.1.B.1.- Condición: Nombrado.

II.1.B.2.- Documentos Probatorios: Ver Apéndice A.

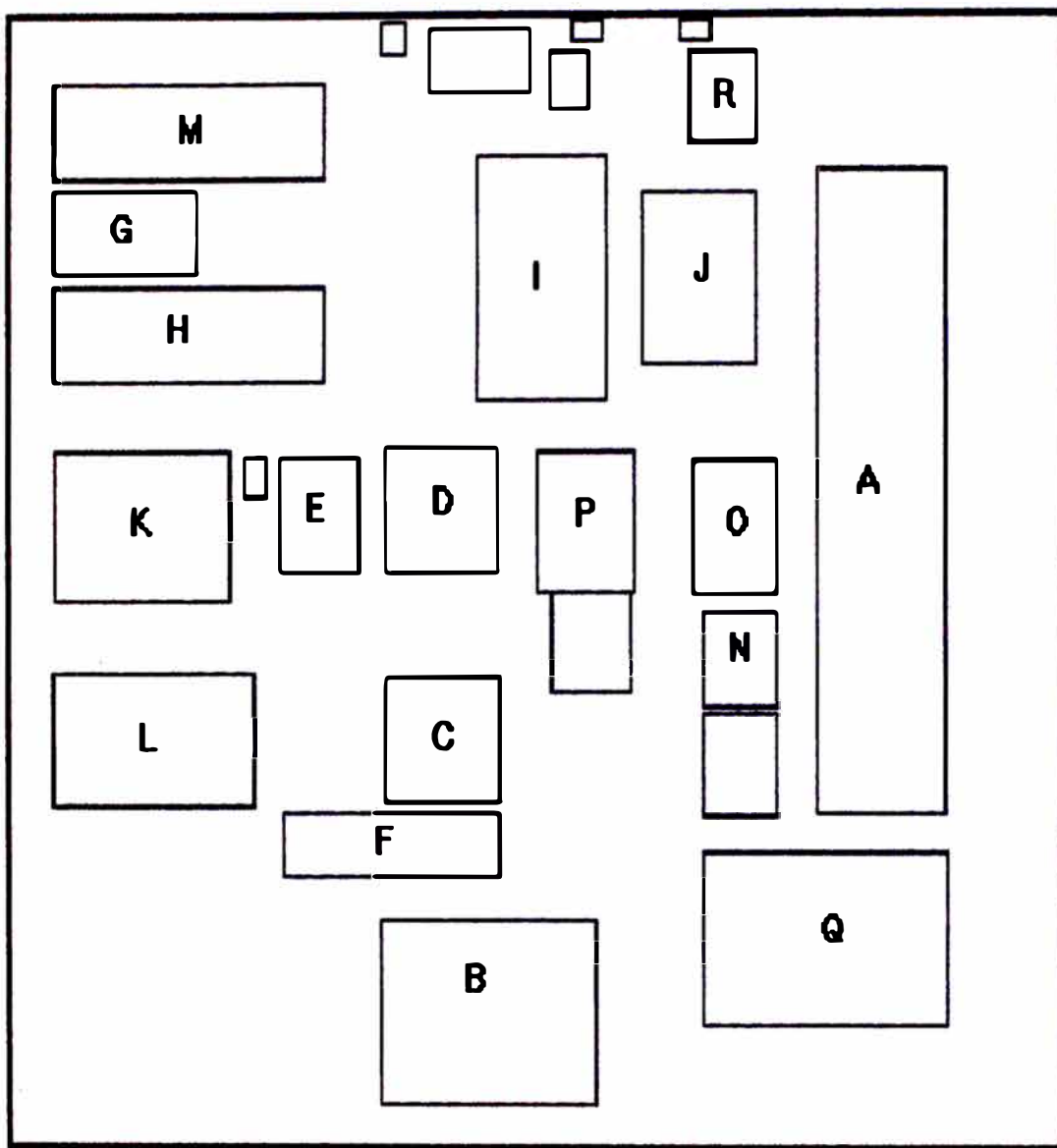


FIGURA II.1-2:

Layout de las Unidades de Producción

- A: Extracción de aceites
- B: Tanques de aceites crudos y blanqueados
- C: Planta de neutralización y blanqueo
- D: Planta de Hidrogenación
- E: Planta de Fraccionamiento
- F: Planta de desodorización
- G: Planta de Margarina y Envasado
- H: Almacén de Productos terminados
- I: Planta de Jabonería
- J: Antigua Refinería de aceites vegetales
- K: Planta de Hidrógeno
- L: Planta de Acidos Grasos
- M: Almacén de envases vacíos
- N: Sala de Calderas
- O: Talleres
- P: Almacén de repuestos
- Q: Almacén de materias auxiliares
- R: Administración

II.1.C.-Trabajo Profesional desarrollado.

II.1.C.1.- Cargo desempeñado: Monitor de Procesos.

II.1.C.2.- Funciones asignadas al cargo desempeñado: El cargo de Monitor de Procesos en la Planta de Fraccionamiento tiene como funciones :

-Operación, monitoreo y supervisión de la planta. Se incluye además la responsabilidad de los tanques de materia prima y los del producto fraccionado. Estas labores se apoyan en el uso de Controladores Lógicos Programables para el control y una Computadora personal para el monitoreo.

-Elaboración de reportes de producción que incluyen hojas por cada lote y resúmenes semanales y mensuales presentados al Jefe del Sector Refinerías y al Auxiliar administrativo.

-Formulación de propuestas de modificaciones físicas o de procedimiento para la optimización del proceso.

-Programación del mantenimiento del equipo de planta.

-Gestión del suministro de insumos y repuestos necesarios para la producción, la limpieza y el mantenimiento de la planta.

II.1.C.3.- Tiempo de prestación de servicios en la actividad descrita: Desde la fecha de ingreso 4 de Noviembre de 1991 hasta la actualidad. Esta responsabilidad se comparte actualmente con la Supervisión de la Planta de Hidrogenación.

II.1.D.- Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales.

II.1.D.1.- Tipo de Técnicas de Ingeniería necesarios:

- a) Conocimientos sobre cristalización: influencia de la formación de núcleos en el crecimiento de los cristales. Influencia de las velocidades de enfriamiento y de agitación.
- b) Conceptos básicos de la termodinámica de las reacciones.
- c) Transferencia de calor.
- d) Filtración.
- e) Técnicas de planificación de la producción para determinar la oportunidad del inicio del procesamiento de los lotes a fraccionar, así como el número máximo de cargas que se pueden procesar completamente en la semana.
- f) Se utilizan además técnicas básicas de estadística para el tratamiento de los resultados que caracterizan a cada carga fraccionada.
- h) Control automático: instrumentación y lazos de control.

II.1.D.2.- Cantidad y Tipo de Personal administrado: Ninguno.

II.1.D.3.- Formatos de Registro de Actividades:
Hoja de Registro de cada carga fraccionada como se indica en Apéndice B. Además se lleva un cuaderno en el cual se anotan las actividades realizadas o

pendientes y sirve para que el supervisor se informe de las ocurrencias del turno anterior o lo que debe realizarse en adelante.

II.1.E.- Objetivos, alcances y características principales de la actividad.

II.1.E.1.- Objetivo:

El objetivo es operar la planta, garantizando un buen funcionamiento tomando en cuenta el cumplimiento del programa de producción, la calidad del producto y el mantenimiento del equipo de proceso de planta.

II.1.E.2.- Equipo:

A continuación se describe el equipo utilizado para el desarrollo de la actividad:

II.1.E.2.1.- Equipo de Proceso:

Cristalizadores: Existen tres tanques de 45 toneladas de capacidad (la planta está preparada para cuatro), provistos cada uno de un agitador vertical, chaqueta y serpentín para el intercambio de calor con un area total de 158 m². Se denominan CR1, CR2 y CR3. Cada uno tiene además una unidad de circulación de agua formada por una bomba centrífuga, válvulas de control y un intercambiador de calor, que en el caso de los cristalizadores 1 y 2, es compartido.

Filtros: Dos filtros continuos autolimpiables del tipo florentino, que trabajan en paralelo. Trabajan a una presión de vacío máxima de 200 mbar y tienen una capacidad nominal de 100 TM/dia/filtro.

II.1.E.2.2.- Equipo de Servicio:

Enfriador de agua: Una pequeña torre en la cual el agua a enfriar pasa por un haz de tubos sometidos a un flujo de aire a tiro forzado, que se acompaña de una lluvia de agua de enfriamiento. Trabaja a un caudal de 56 m³/h.

Refrigerador de agua: Que utiliza gas freón como refrigerante. Está provisto de tres compresores, un evaporador y dos condensadores enfriados con agua. Tiene una capacidad nominal de enfriamiento de 300000 kcal/h.

II.1.E.2.3.- Equipo de Control y

Supervisión:

PLC: Un controlador lógico programable marca Mitsubishi.

Medidores de Masa: Existen tres medidores de masa del tipo coriolis que envían sus señales al computador. Estos se ubican en la línea de carga a cristalizadores y en la salida de oleína de los filtros.

Sensores y elementos de control final: Termómetros de resistencia, válvulas neumáticas, variadores de velocidad, y otros.

Computadora de Proceso: Es una computadora personal provista de un sistema gráfico para el monitoreo, desde la cual se visualizan las diferentes partes de la planta descritas por diagramas de flujo. En ella se detallan también curvas de temperatura, características de los controles puntuales, recetas para el enfriamiento y el diagrama del circuito principal de potencia. Sirve para comunicar al PLC los valores a controlar (recetas), así como por medio de él, dar comandos de apertura o cierre y arranque o parada de válvulas y motores, respectivamente, en su opción manual remota. Presenta la utilidad de revisión de cualquier pantalla ya sea de diagrama de flujo o de curvas de temperatura; pudiendo de este modo verse la evolución del proceso minuto a minuto, en el pasado. Muestra los valores del volúmen, la temperatura, el flujo másico y la masa acumulada, tanto de lo cargado a cada cristalizador como del líquido obtenido de cada filtro. Cada alarma que se genera y cada comando que se da se imprime automáticamente.

Computadora de Reportes: También es una computadora personal pero

trabaja de manera independiente, contando con un procesador de textos y una hoja de cálculo.

Impresoras: Dos impresoras de matriz de puntos de carro angosto.

Radio transmisor: Por medio del cual se puede establecer comunicación con supervisores de producción y de servicios, y con personal de seguridad. Este radio se usa en adición al teléfono que hay en la sala de control.

Cámara fotográfica: Se cuenta con una de tipo instantáneo con un adaptador para el microscopio.

Microscopio: Con lentes para aumento de 5 y 10 veces.

II.1.E.3.- Tratamiento de los datos: Reportes.

Hoja de Proceso: En base a los registros de una base de datos se elabora una hoja de reporte de la carga con los valores notables de temperaturas y tiempos, de masas, características del producto cargado.

Perfil de Temperaturas: Desde la computadora de proceso se imprime la pantalla del perfil de temperatura de la carga ya fraccionada antes de filtrar.

Fotografía: La vista al microscopio de los cristales formados es registrada en una fotografía instantánea.

Reporte de carga: Las dos hojas impresas se guardan en una mica junto con la foto y constituyen el reporte impreso de la carga, el cual se archiva.

Resumen semanal: Un reporte extraído de la base de datos que indica las masas cargadas, de la oleína obtenida, las características de ésta y de la estearina (Resistencia al frío y punto de fusión), y el rendimiento de cada carga.

Resumen mensual: De características similares al semanal pero correspondiente al mes.

II.1.E.4.- Trabajo de Gestión:

Para el logro del objetivo de la actividad se requiere del trabajo de gestión de recursos y el mantenimiento de la planta. Se generan entonces los siguientes documentos:

Vale de salida de materiales: Formulados en original y copia, y que sirven para solicitar repuestos, y material diverso como solventes, película fotográfica, detergente, etc.

Orden de Trabajo: Formulada en original y tres copias. Es para que el sector de servicios realice el trabajo de mantenimiento que se indica.

Solicitud de Compra: En original y tres copias. Se dirige al sector de logística para la compra de material necesario no comprendido dentro del stock de almacén.

Memorandum interno: Formulados en original y copia, se utilizan para el encargo de tareas especiales a sectores que no son el de servicios. También se usa para hacer comunicaciones a otros sectores como el de personal.

II.1.E.5.- Otros Reportes:

Aparte de los reportes mencionados se realizan otros a solicitud de la Jefatura del sector o cuando se requiere para casos especiales:

Resumen de cargas filtradas: Recibe este nombre un resumen de la producción en un período determinado y que reporta adicionalmente la proyección del número de cargas de acuerdo a la característica de la cargas reportadas.

Lista de Trabajos pendientes: Se extrae de una base de datos de los trabajos ordenados con indicación de la urgencia y el taller responsable.

Otros informes: Se elaboran los informes que para diversos fines solicite la jefatura del sector o se solicite desde otro sector.

II.1.E.6.-Reglas de Seguridad:

Es una planta bastante segura, sin embargo, debe observarse lo siguiente para la seguridad tanto del personal como de las máquinas:

- a) Detener localmente los agitadores de los cristalizadores si se va a tomar muestras.
- b) Evitar la manipulación de la banda filtrante cuando está en funcionamiento.
- c) Desconectar eléctricamente el motor de un equipo si se realiza un trabajo en él o cerca de él.

- d) Detener la banda filtrante si se detecta algún defecto físico como falla en la soldadura o rotura.
- e) Mantener limpios y libres de obstáculos los pisos de la planta, las escaleras, las plataformas de los filtros, las pasarelas de los cristalizadores, etc.
- f) Evitar forzar las bombas de vacío de los filtros florentinos.
- g) Evitar la apertura del tablero de potencia. En lo posible tomar conocimiento del estado del circuito principal a través del computador.
- h) Purgar periódicamente los separadores de aceite del ducto evacuador de la cámara de filtración para evitar arrastre de aceite a la atmósfera. Con el mismo propósito debe purgarse la canaleta interna de colección de aceite arrastrado de la cámara de filtración.
- i) Limpiar periódicamente la canaleta del piso de la planta y la poza de recuperación de grasas para evitar algún arrastre al desagüe.

II.1.E.7.- Efectos de los efluentes:

La planta de fraccionamiento por la naturaleza del proceso que desarrolla no tiene una salida constante de efluente acuoso ni de otro tipo. Lo poco que se

genera es producto de la limpieza de la planta que, además, como ya se indicó, prácticamente no genera suciedad.

II.1.F.—Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales

El fraccionamiento de las grasas o aceites endurecidos constituye un procedimiento para la obtención de aceite líquido más estable. En el caso del aceite de pescado el fraccionamiento se realiza por su baja estabilidad oxidativa debido a su alto grado de insaturación. El fraccionamiento está precedido por una hidrogenación selectiva del aceite neutralizado y blanqueado hasta lograr una saturación correspondiente a valores de índice de yodo cercanos a 120. El aceite de pescado que se fracciona se llama Aceite Líquido Modificado de Pescado (ALMP). Las fracciones líquida y sólida que se obtienen se denominan respectivamente oleína y estearina.

II.1.F.1.—Teoría del Fraccionamiento

La cristalización en aceites y grasas es una reacción dinámica durante la cual las moléculas glicéridas se encuentran en equilibrio. Dicho equilibrio está influido por factores inherentes al aceite como su composición, y además por fenómenos de polimorfismo e intersolubilidad. El proceso también se influye por sí mismo por medio de la variación de parámetros como la tasa de enfriamiento y la agitación, los gradientes de temperatura, y otros.

Los triglicéridos pueden cristalizarse bajo diferentes patrones llamados formas polimórficas. Estas se clasifican como "a" (alfa), β , β' , las cuales tienen estabilidad y punto de fusión crecientes. Por ejemplo en la forma "a" hay una cantidad mayor de desórdenes de cadena en comparación con los que presentan las formas β , β' .

Los triglicéridos se cristalizan naturalmente en la forma "a" y bajo el influjo de energía pasan a través de la secuencia "a" \rightarrow β' \rightarrow β . Cada transición de un estado a otro es lenta para las cadenas de ácido graso de largo diferente y los triglicéridos asimétricos. Los últimos muestran generalmente una forma β' estable con muy poca tendencia al polimorfismo.

Por el contrario, las transiciones son rápidas para los ácidos grasos de igual largo y los triglicéridos simétricos. Esto corresponde más al aceite de palma con su 6-8% de tripalmitin y 26% de palmito-oleo-palmitin (POP).

Los cristales de forma β' son los mejores para la filtración con filtros florentinos. Estos cristales constan de agujas delgadas muy pequeñas. Estas tienden a desarrollar derivaciones regulares de aspecto esférico que crecen durante la cristalización. Esos cristales permanecen en suspensión en el aceite líquido y son fáciles de filtrar.

Otro factor determinante es la intersolubilidad entre los varios constituyentes del aceite o de la grasa. Cuando el enfriamiento se realiza rápidamente hay una mayor proporción de

grasa que se cristaliza en comparación con la misma grasa cuando se enfría lentamente.

El enfriamiento rápido favorecerá una cristalización al azar con formación de cristales mixtos. Estos pueden constar de triglicéridos altamente insaturados (UUU, UUS, USU) con triclicéridos saturados (SSS, SUS, SSU). Dichos cristales mixtos se forman también aplicando enfriamiento lento, pero entonces una especie de desmezclamiento se observa con la vuelta a derretir de algunos glicéridos. La lentitud del enfriamiento, por lo tanto, favorecerá un equilibrio constante y conducirá a una mejor selectividad.

La fuerza que impulsa la cristalización es la supersaturación: lo derretido debe contener más soluto de lo que se disolverá bajo equilibrio. Esto se logra reduciendo la temperatura de lo derretido para hacer que se formen los núcleos de los glicéridos saturados.

Para obtener una buena cristalización se necesita un grado moderado de superenfriamiento y una agitación lenta para producir un número reducido de núcleos. Se puede producir más rápidamente la nucleación y con un menor grado de superenfriamiento si se adicionan semillas (cristales de estearina) o cuando se presentan materias extrañas.

La nucleación se induce también por la agitación y el choque de los cristales contra las paredes. Sin embargo deben evitarse la agitación rápida y los agitadores fragmentadores, debido a que dan

lugar a demasiados núcleos. Esto conduce a un aumento de la viscosidad e inhibe el crecimiento de los cristales. La velocidad de enfriamiento debe ser lenta y gradual para que se formen cristales grandes a partir de pocos núcleos de glicéridos de alto punto de fusión. Estos cristales a la vez actúan como iniciadores de la cristalización de glicéridos de bajo punto de fusión. Si la tasa de enfriamiento es alta, el gran número de núcleos y el consiguiente incremento de viscosidad reducirán su movilidad. Como consecuencia de esto se produce una formación de conglomerados grandes y desordenados de cristales pequeños, lo cual lleva, generalmente, a una filtración difícil y con oclusión de oleína.

Debe considerarse además que la cristalización es una reacción exotérmica y puede provocar que la temperatura de la grasa suba. Por eso es importante que la velocidad sea adecuada removiendo así el calor liberado evitando un derretimiento parcial de los cristales que se están formando.

En la figura II.1-3 se observan cristales del tipo β' y en la figura II.1-4 cristales aglomerados. La excesiva formación de núcleos conduce también a la formación de cristales muy pequeños como los de la figura II.1-5.

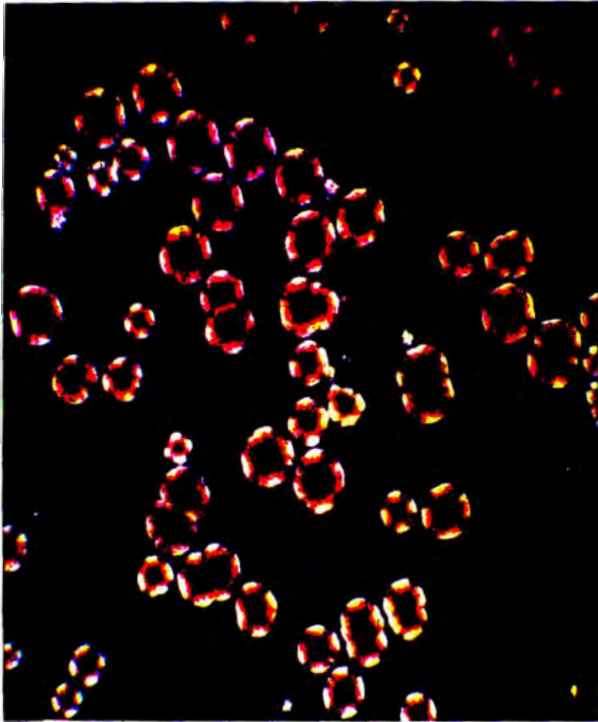


FIGURA II.1-3: CRISTALES θ'

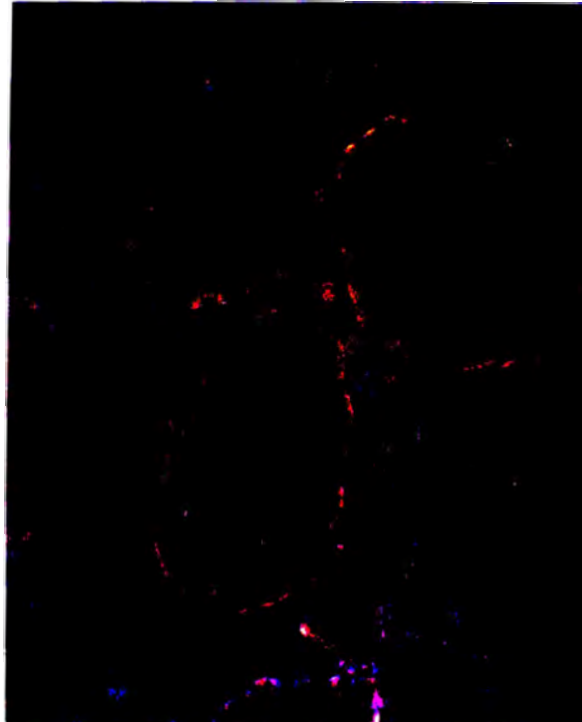


FIGURA II.1-4: CRITALES AGLOMERADOS

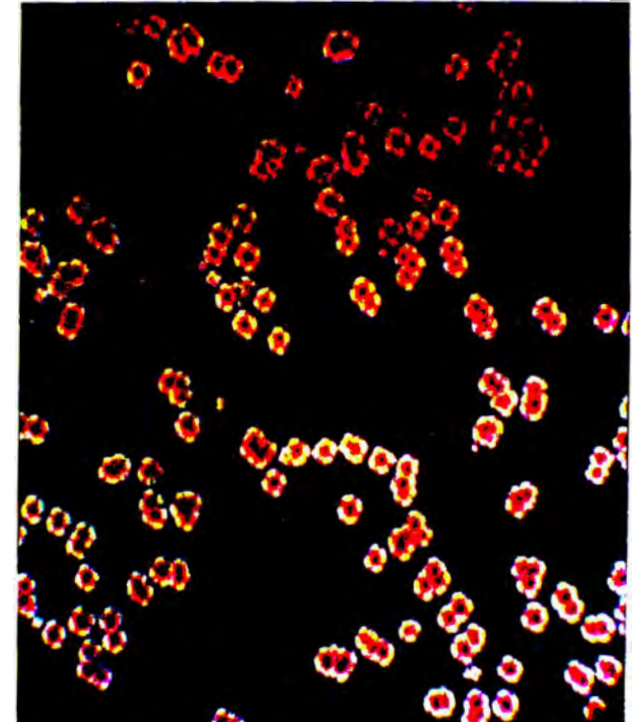


FIGURA II.1-5: CRISTALES PEQUEÑOS

II.1.G.-Descripción del proceso

El proceso consta de dos etapas: cristalización y separación. La figura II.1-6 muestra el diagrama de flujo de la planta. Un gráfico típico de las curvas de temperatura durante el enfriamiento se muestra en la figura II.1-7. En el apéndice B-2 se muestra el aspecto de la pantalla de receta de un cristalizador que indica además la información actual de la carga: "Situación del Cristalizador".

II.1.G.1.- Cristalización: En esta etapa tiene lugar la formación de los cristales. Las etapas del proceso son en total 10 pero se comienza normalmente desde la etapa 4 de enfriamiento inicial. Las etapas 1, 2 y 3 corresponden a espera de arranque, calentamiento y atraso de enfriamiento, respectivamente. La etapa 2 es usada para fundir una carga mal cristalizada o para calentar antes del enfriamiento para eliminar cristales existentes. Se pueden describir como sigue (Los valores que se indican corresponden a un ALMP típico):

a)Enfriamiento inicial: Durante la etapa 4 la masa de ALMP se enfría a una velocidad alta desde una temperatura T_1 cercana a 45°C manteniendo entre el agua de enfriamiento y el aceite una diferencia de temperaturas DT_1 controlada de 10°C . La agitación en esta etapa es alta y usualmente igual a 60% que corresponde a 8.5 rpm.

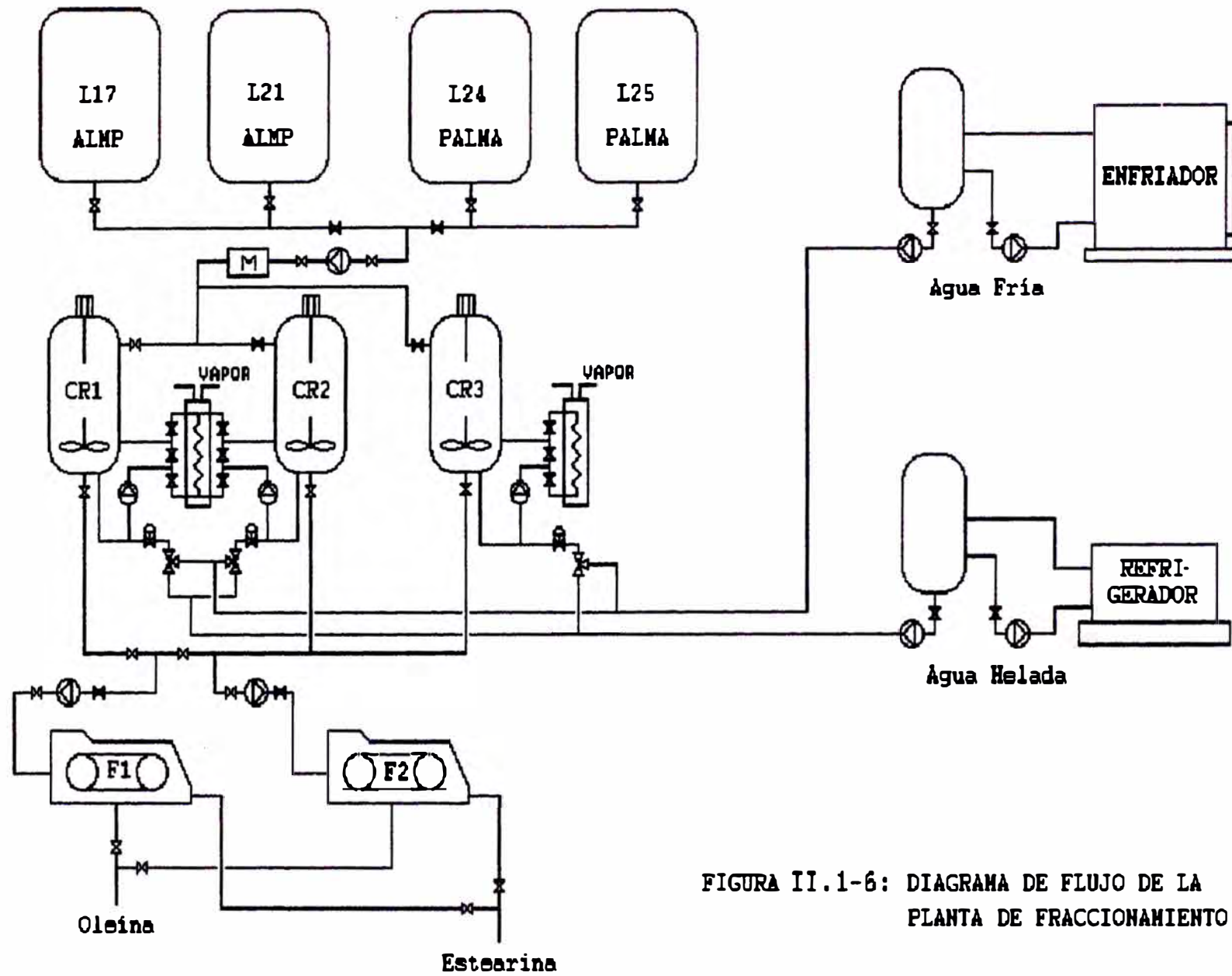
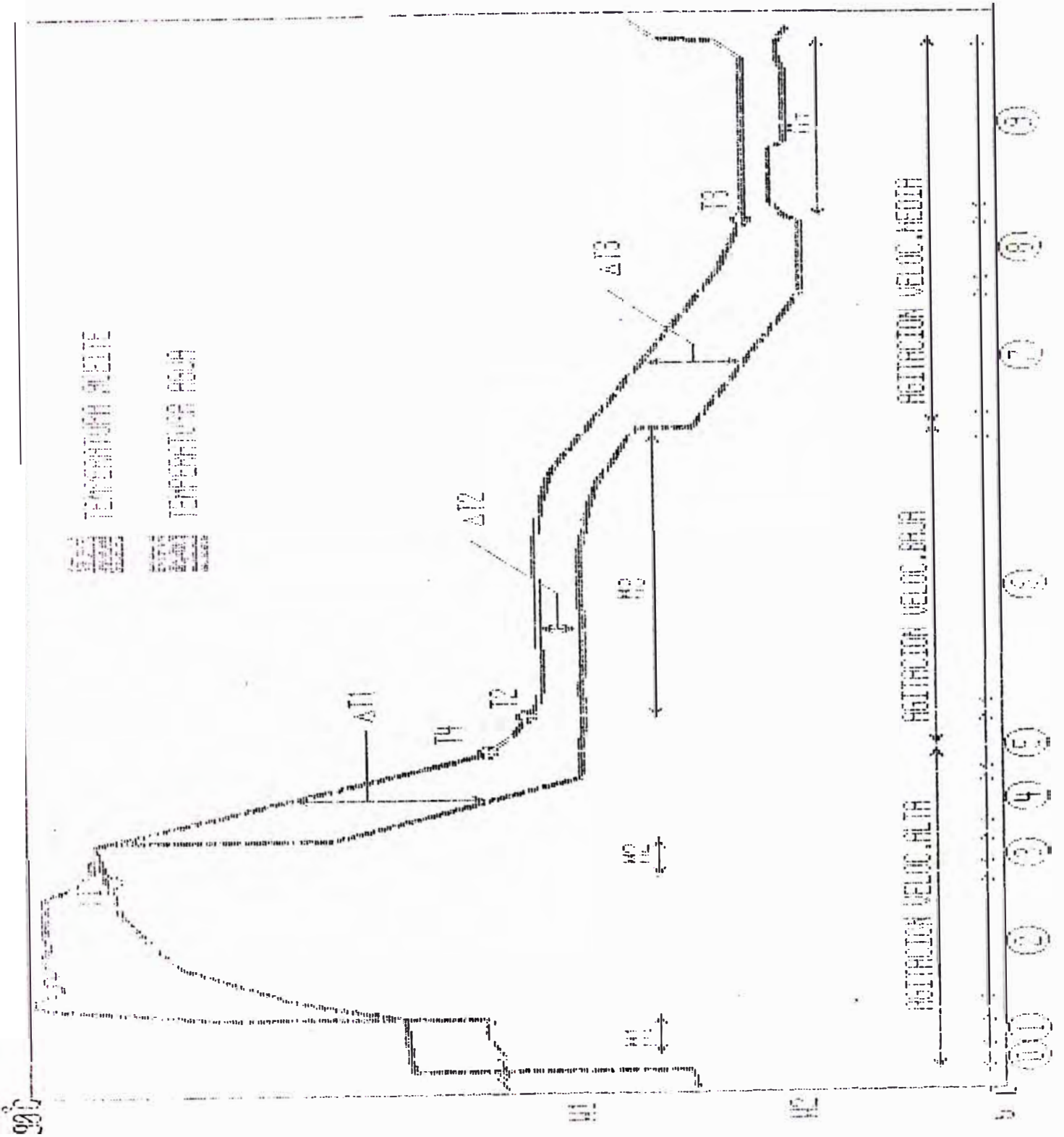


FIGURA II.1-6: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO

Cuando el agua alcanza la temperatura W_1 termina la etapa.

b) Super-enfriamiento: Manteniendo la temperatura W_1 del agua constante e igual a 26°C , el aceite se lleva a una temperatura T_2 uno o dos grados debajo de su punto de fusión o sean 28°C . En esta etapa número 5 se inicia la formación de los núcleos de los cristales de estearina. La agitación se mantiene alta pero puede reducirse manualmente.

c) Crecimiento de cristales: El ALMP se enfría lentamente en la etapa 6 desde T_2 por un período de 6 a 10 horas, controlando en este caso una diferencia de temperatura DT_2 de 2°C entre el agua y el aceite. Al inicio de esta etapa se terminan de formar los núcleos y luego en torno a éstos se agrupa la masa sólida formando cristales de estearina. La agitación en esta etapa es baja, estableciéndose una velocidad denominada baja de 25% o 3.57 rpm. Se da término a esta etapa cuando se observa que los cristales han dejado de crecer, notándose además que la curva de temperatura del aceite "cae" debido a la falta de liberación de calor. El término formal de esta etapa se determina por el tiempo M_3 fijado en la receta.



d) Enfriamiento final: Luego de haber cristalizado el aceite se enfría en la etapa 7 con una agitación media de 40% o 5.7 rpm, manteniendo una diferencia de temperatura DT3 de 9°C, hasta que el agua llega a W2 igual a 11°C, cuando se inicia la etapa 8 manteniéndose esta temperatura hasta llevar el aceite a una temperatura T3 de filtración igual a 17°C.

La etapa 9 es de espera de filtración y la 10 es la filtración de proceso (separación).

II.1.G.2.- Separación: La masa fría con los cristales en suspensión se filtra en los filtros florentinos que operan de modo continuo y en paralelo con una presión de vacío de 150 mbar. Aquí debe tenerse cuidado de que la presión de vacío no suba demasiado, es decir que las bombas de vacío no se fuercen y pueda ocurrir algún daño. Los filtros cuentan con un sistema de regulación manual de la velocidad de alimentación de la grasa fraccionada y también de la velocidad de accionamiento de la banda filtrante. Con estos mecanismos se puede realizar una regulación que ayude a la separación rápida de la carga según las características de los cristales. Si se observa que la torta de estearina está húmeda puede reducirse la velocidad de accionamiento de la banda para que el tiempo de residencia de la grasa en la zona de filtración sea mayor y poder así

extraer la mayor cantidad de líquido. Esto producirá un aumento en la presión de vacío (Esfuerzo de las bombas) debido al engrosamiento de la torta por lo cual se debe reducir también la velocidad de alimentación.

II.1.H.- Caso: Prueba de Garantía

La empresa belga Tirtiaux S.A. envió a dos técnicos representantes suyos para Latinoamérica para llevar a cabo una prueba de garantía de la planta. O sea para probar formalmente que se podían alcanzar los requerimientos de calidad del producto y capacidad de la planta, exigidos al momento de comprarse ésta.

El conjunto de pruebas se desarrolló esencialmente bajo la dirección del técnico de Tirtiaux enviado para ese fin, resultando nuestra labor como de asesoría y ejecución de las pruebas, durante éstas y al final de evaluación objetiva de los resultados.

II.1.H.1.-Metodología: Se realizaron las pruebas comenzando por aquellas cargas con parámetros considerados estándar. La prueba consistía en fraccionar ALMP durante exactamente seis días y evaluar la capacidad real de la planta junto con el rendimiento en oleína y la resistencia al frío que ésta posee. Previamente se realizaron ensayos en los cristalizadores para determinar los parámetros más adecuados a la materia que se tenía disponible. Se encontró que el punto de fusión era alto respecto a los normales

para el ALMP durante la primera prueba. Por eso se realizó una segunda prueba. Los términos técnicos de la Garantía se pueden resumir en lo siguiente:

- a) Capacidad: 810 toneladas de ALMP procesado en una semana de seis días.
- b) Rendimiento en oleína de 72%.
- c) Resistencia al frío (Cold test) de la oleína igual a 45 minutos.

Los técnicos de Tirtiaux de acuerdo a como se presentaban los resultados de las cargas iban proponiendo cambios en la receta de enfriamiento, los cuales eran observados o aceptados por nosotros de acuerdo a la experiencia en el trabajo y al conocimiento del Aceite de pescado que se trata. En todo caso los cambios se realizaban estrictamente de acuerdo a como lo decidía el técnico responsable.

II.1.H.2.-Resultados:

Cálculos: El tratamiento de los resultados es bastante sencillo en este caso y la mayoría de los valores presentados en la tabla fueron tratados para la obtención de medias aritméticas (mostrados como "promedio").

El número proyectado de cargas a ser tratadas en una semana se calcula de la siguiente manera:

Sean, en horas:

TC: tiempo de carga

TE: tiempo de enfriamiento

TF: tiempo de filtración

TP: tiempo de proceso

TT: tiempo total

N: Número de cargas

M: Masa procesada considerando 45 toneladas por carga

$$TP=TC+TE$$

$$TT=TC+TE+TF=TP+TF$$

Considerando que son tres cristalizadores, se tienen dos casos notables: Cuando TF es igual o mayor que un tercio de TT y cuando es menor que un tercio de TT. En el primer caso los filtros presentan un período ocioso. En el segundo caso siempre se está filtrando, la filtración es cuello de botella, y los cristalizadores presentan un tiempo ocioso. Con la ayuda de la figura II.1-8 puede observarse que la periodicidad en el primer caso está determinada por el tiempo total TT para cada cristalizador, mientras que en el segundo esto ocurre con el tiempo de filtración para los tres.

Luego:

$$\text{Si } TF \geq TT/3$$

$$N=(144-TC-TE)/TF$$

$$N=(144-TP)/TF$$

Debe considerarse que el número de cargas es en realidad el mayor entero que no excede a N.

$$\text{Si } TF < TT/3$$

$$N=144/TT+(144-TF)/TT+(144-2*TF)/TT$$

En este caso no se coloca TT como denominador común porque por tratarse cada sumando de un cristalizador debe considerarse para cada uno el mayor entero que no lo excede.

En cualquier caso: $M=45*N$

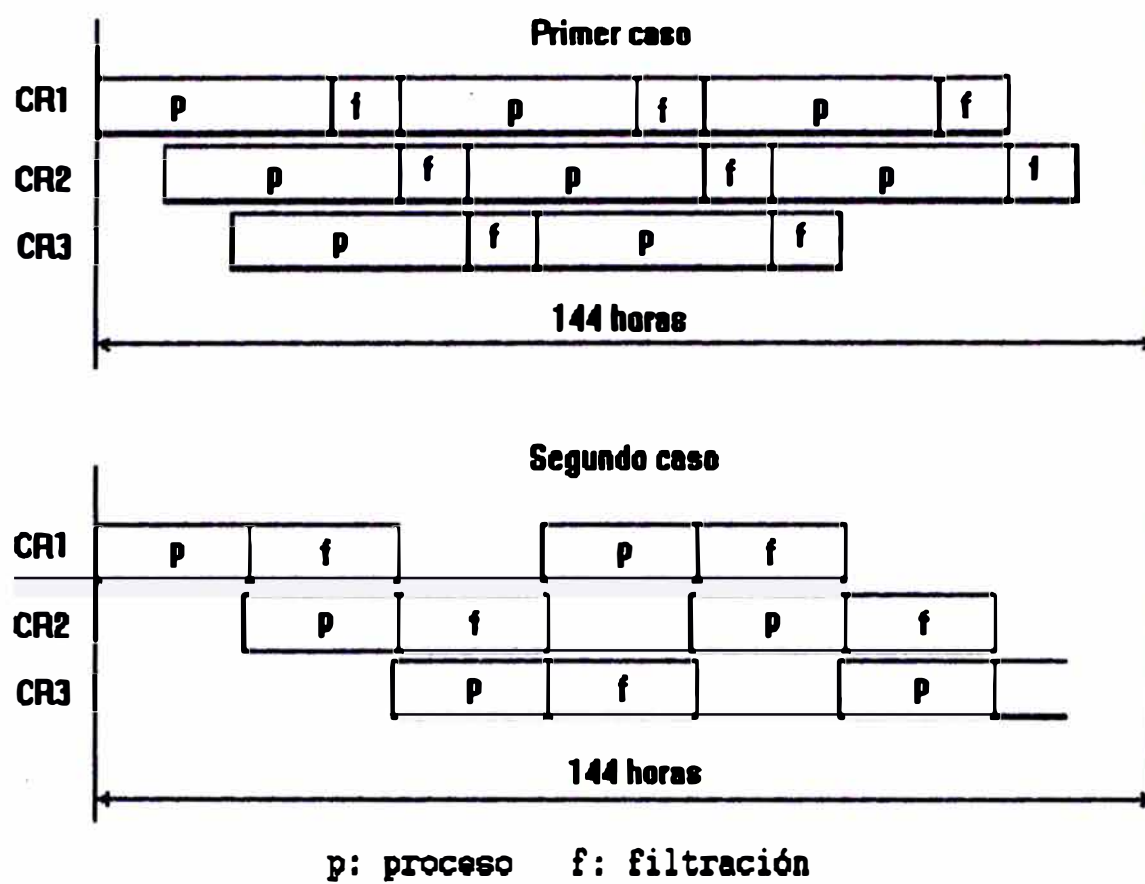


FIGURA II.1-8: PROGRAMACION DE CARGAS A FRACCIONAR

Primera prueba: En el Apéndice C-1 se presentan los resultados que resumen la primera prueba que se realizó. Esta incluye el análisis del ALMP empleado y los parámetros que determinan la receta utilizada para cada carga.

Obsérvese que en las primeras cargas la temperatura de cristalización se fijó a tres grados debajo del punto de fusión del ALMP, y como al reducir esa diferencia en la cuarta carga se obtuvo menor tiempo de filtración, en las siguientes se ensayó colocando la temperatura de cristalización encima incluso que el punto de fusión. Los tiempos de filtración mejoraron para varias cargas, reduciéndose sin embargo el rendimiento.

La mayoría de las cargas presentan reducción de la velocidad de agitación al iniciarse la cristalización, o sea la velocidad a T4 (es una temperatura del aceite dentro de la etapa 5). El enfriamiento se inicia con 60% de velocidad, a T4 se redujo a 35% y finalmente al ingresar a la cristalización propiamente dicha cambia a 25%. El punto más crítico de los tres que forman parte de la garantía es el de capacidad, dado que los otros proporcionan cierta flexibilidad y son manejables. De otro lado no se necesita que termine una filtración para conocer el rendimiento aproximado a el *cold test* de la oleína. Por eso algunas filtraciones se interrumpieron, ganándose así algo de tiempo. Aparentemente la calidad singular de la materia prima fraccionada (ALMP proveniente de un aceite

de pescado muy estearinoso desde su origen) no permitía una mayor influencia de las variaciones indicadas. Por ejemplo las cargas 250 y 251 de características similares difieren en el cuidado que se tuvo con la primera de reducir la velocidad de agitación al iniciarse la nucleación pero los resultados señalan que la filtrabilidad de la primera fue pobre frente a la segunda. Del mismo modo fueron mejores el rendimiento y el *cold test*.

Segunda prueba: El Apéndice C-2 muestra los resultados que corresponden a la segunda semana de pruebas. Nótese la diferencia de los puntos de fusión del ALMP respecto a los obtenidos en la primera semana. Los resultados correspondientes a la filtrabilidad muestran una mejoría sustancial pero un menor porcentaje de rendimiento como promedio. Debe hacerse notar que aparentemente los cristalizadores no se comportan de igual modo ya sea por pequeñas diferencias en su estructura o por el comportamiento del sistema de control de temperaturas. El cristalizador 2 ha presentado los menores tiempos de filtración tanto en la primera semana de pruebas como en la segunda. El *cold test* también fue menor en la segunda semana, obteniéndose sin embargo una filtrabilidad alta respecto a la primera, lo cual se puede ver en los Apéndices C-3 y C-4 que muestran las proyecciones de capacidad de acuerdo a los tiempos de filtración de proceso registrados. Debe indicarse que el aumento de cargas semanales proyectado

según los resultados de la segunda semana de pruebas se debe no a la reducción del tiempo de proceso en sí, si no a la reducción del tiempo de filtración de proceso que ha resultado ser el cuello de botella del proceso global. En realidad, incluso, en la segunda semana el tiempo de enfriamiento o tiempo de proceso aumentó respecto al de la primera semana de pruebas. Estas afirmaciones se apoyan en la forma de calcular el número esperado de cargas por semana que se mostró antes en esta sección. En esta segunda tanda de pruebas se ha experimentado el paso del primer caso de cálculo de número de cargas al segundo, en el cual la parte crítica no es la filtración. El punto notable T2, temperatura de cristalización se estableció para este segundo grupo de pruebas siempre por encima del punto de fusión del ALMP. Esto hace que la formación de núcleos se realice durante un enfriamiento de tasa menor resultando en una formación de núcleos gradual y controlada por el propio equilibrio de la nucleación. En este caso tampoco fué muy influyente la reducción de la velocidad de agitación durante el inicio de la nucleación, que fue de 35% para cinco de las seis primeras cargas, siendo en el resto igual a 60%. En general, a pesar de la optimización del tiempo de filtración logrado en la segunda semana de pruebas los términos de la garantía no se llegaron a alcanzar.

II.1.H.3.-Conclusiones

- * No se logró alcanzar los valores de capacidad, resistencia al frío ni rendimiento que se establecen como garantía.
- * Se ha encontrado que el comportamiento de los cristalizadores en cuanto a los resultados no es el mismo para recetas iguales, debido a diferencias en los elementos del lazo de control de temperaturas o a aspectos físicos de su estructura.
- * Existe una mejor formación de cristales en lo que respecta a filtrabilidad cuando se procesa el ALMP fijando como temperatura de cristalización una ligeramente mayor que el punto de fusión.
- * El tiempo corto de filtración produce un mayor grado de oclusión de oleína con la consiguiente reducción del rendimiento.
- * La reducción del tiempo de filtración es determinante para el aumento de la capacidad de la planta.

II.1.I.-Ventajas económicas de la Nueva Planta de Fraccionamiento.- Con respecto a la antigua planta, la Planta Tirtiaux presenta la ventaja que sus costos de operación son menores en 44 %, como se puede observar en la tabla de la figura II.1-9. Obsérvese que el grado de automatismo hace que haya mayor reducción del costo en la mano de obra. Esto también ocurre en la Planta Alfa-Laval de refinación de aceites.

FIGURA II.1-9

COSTOS DE OPERACIÓN EN FRACCIONAMIENTO
para una tonelada de producto

INSUMO	TIRTIAUX			WINTER		
	consumo (unid)	cost.unit. (USD/unid)	costo (USD)	consumo (unid)	cost.unit. (USD/unid)	costo (USD)
Vapor	0.10 TM	12.93	1.29	0.03 TM	12.93	0.36
Energía eléct.	25.0 kW-h	0.05	1.25	43.23 kW-h	0.05	2.16
Agua	0.30 m3	0.26	0.08	0.97 m3	0.26	0.25
Mano de Obra	0.41 h-h	1.64	0.68	1.88 h-h	1.64	3.08
TOTAL			3.3			5.85

II.1.J.-Conclusiones de la Actividad

Acerca de la actividad desarrollada en general se pueden señalar las siguientes conclusiones:

- * El fraccionamiento de ALMP es un proceso bastante complejo cuyos resultados son muy sensibles a la naturaleza del aceite procesado, las condiciones fijadas por los parámetros e incluso el equipo particular utilizado.
- * La planta Tirtiaux tiene como cuello de botella la filtración en sus filtros florentinos, resultando esta operación la limitante para el logro de la capacidad deseada.
- * La utilización de los filtros florentinos presenta la ventaja de su autolimpieza y trabajo en modo continuo pero tiene la limitación de operar con efectividad solamente con cristales de tamaño superior al tamaño de los orificios de la cinta filtrante.
- * Los medidores de masa del tipo coriolis permiten la determinación inmediata del rendimiento de cada carga y facilitan la elaboración de los resúmenes de producción.
- * El grado de automatización de la planta y la moderada complejidad de la planta en los controles necesarios hace que sea

bastante segura en lo que respecta al proceso, el equipo y el personal.

- * La planta Tirtiaux brinda mucha facilidad en lo que respecta al e investigación de eventos y problemas, debido a que el monitoreo por computadora brinda las facilidades del registro automático de alarmas y la revisión en el pasado minuto a minuto de todas pantallas de control de la planta.
- * La tecnología del fraccionamiento aplicada al ALMP no está suficientemente desarrollada como para garantizar los rendimientos y calidad del filtrado requeridos, ni garantizar siquiera consistencia en los resultados aunque estos no sean los óptimos.
- * El control lógico y la programación de secuencias empleando PLC's es mucho más confiable y más fácil de manejar que los realizados con dispositivos electroneumáticos convencionales.

II.2.- SEGUNDA ACTIVIDAD: Responsable del Sistema de la Unidad de Control Automático de la Planta de Refinación Alfa-Laval 500

II.2.A.- El Organismo Empresarial: El que se describe en II.1.A.

II.2.B.- Relación Profesional-empleador: La que se describe en II.1.B.

II.2.C.- Trabajo Profesional desarrollado

II.2.C.1.- Cargo desempeñado: Monitor de Procesos

II.2.C.2.- Funciones asignadas al cargo desempeñado:

-Operación, monitoreo y supervisión de la planta. Se incluye además la responsabilidad de los tanques de materia prima y los del producto fraccionado. Estas labores se apoyan en el uso de Controladores Lógicos Programables para el control y una Computadora personal para el monitoreo.

-Elaboración de reportes de producción que incluyen el parte diario de producción, resumen de producción por corrida, tabulación y grafico del comportamiento de las variables de proceso por corrida, y otros que son presentados al Jefe del Sector Refinerías y al Auxiliar administrativo.

-Formulación de propuestas de modificaciones físicas o de procedimiento para la optimización del proceso.

-Programación del mantenimiento del equipo de planta. Responsabilidad directa del mantenimiento de las separadoras

centrífugas. Reparación de éstas con la ayuda del Ayudante de Refinación cuando se presentan imprevistos durante la producción y la simplicidad y urgencia lo justifican.

-Gestión del suministro de insumos y repuestos necesarios para la producción, la limpieza y el mantenimiento de la planta.

II.2.C.3.- Tiempo de prestación de servicios en la actividad descrita: de Mayo a Diciembre de 1992 en dedicación exclusiva por la puesta en marcha. Desde Enero de 1993 hasta la actualidad se desarrolla por períodos como reemplazo por vacaciones u otras situaciones que requieran el apoyo.

II.2.D.- Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales.

II.2.D.1.-Tipo de técnicas de Ingeniería necesarios:

- a) Reacciones de neutralización e hidrólisis.
- b) Separación líquido-líquido (centrifugación).
- c) Agitación.
- d) Secado.
- e) Filtración.
- f) Transporte de fluidos.
- g) Transferencia de calor.

II.2.D.2.- Cantidad y tipo de personal administrado: Un ayudante de planta obrero con conocimientos básicos sobre la práctica de la refinación.

II.2.D.3.- Formatos de registro de actividades:

- a) Una hoja de reporte de producción con estado de tanques, resultados de análisis de laboratorio y otros (véase apéndice D-1).
- b) Una hoja de reporte de cambios de los parámetros de proceso que se establecen para el control de proceso (véase apéndice D-2).
- c) Cuaderno de reporte de actividades, notas importantes, asuntos pendientes, y otros para la comunicación escrita entre los supervisores de la planta.
- d) Dietario con la indicación de los trabajos realizados sobre cualquier parte o equipo de la planta.

II.2.E.- Objetivos, alcances y características de la actividad.

II.2.E.1.- Objetivo:

Garantizar la operación correcta de la planta de acuerdo al programa de producción y las normas de calidad, manteniendo los equipos en óptimas condiciones de operación.

II.2.E.2.- Equipo:

A continuación se describe el equipo utilizado para el desarrollo de la actividad:

II.2.E.2.1.-Equipo de proceso:

La capacidad de la planta es de 500 toneladas por día. Cada equipo está diseñado para esa capacidad.

Separadoras Centrífugas: Tres que operan en serie. Trabajan a 5000 rpm y poseen un sistema de autolimpieza. Cada una posee un controlador y un panel que consta de una pequeña pantalla digital y un teclado especial para la introducción de parámetros de trabajo. Están diseñadas para un flujo de hasta 21 toneladas por hora.

Blanqueador: Un tanque que opera de modo continuo. Está provisto de:

- a) Un agitador vertical
- b) Un sistema de dosificación de tierra de blanqueo
- c) Un sistema de vacío de eyectores a vapor.

La alimentación del aceite y la dosificación de la tierra de blanqueo se realizan por la parte lateral superior. Opera a una presión de vacío controlada de 550 mbar. Tiene una capacidad máxima de 13 m³ pero trabaja normalmente con 10 m³.

Secador: Es un tanque sin agitación que opera de modo continuo y a un vacío mayor que en el blanqueador ($P_{ab.máx} = 50$ mbar). Posee una capacidad para 2.5 m³, sin embargo opera con 1 m³.

Filtros: Dos filtros discontinuos que operan de modo alternativo:

computador. Estos se usan para la medición de flujos máxicos de agua, soda, aceite y la densidad de la soda que se dosifica en línea durante el procesamiento del aceite.

Computadora de proceso: Es una PC Value Point de IBM 433DX/Si que se utiliza para el monitoreo del proceso. Cuenta con un teclado especial (*keypad*) plano protegido para ambientes industriales. Desde ella se establecen los valores de los parámetros de proceso, se seleccionan los tanques a utilizar, el proceso a seguir, la velocidad de los mezcladores, etc. Cada sección de la planta está graficada para un adecuado monitoreo con el estado de los equipos (en marcha, parado,abierto, cerrado) diferenciado por colores. Además en ella se cuenta con gráficos de tendencia de las diferentes variables del proceso así como de las constantes de los controladores. Almacena en un disco flexible los valores que registra de temperaturas, presiones, etc., los cuales se grafican posteriormente al término de la corrida de refinación de un producto.

Impresoras: Se cuenta con dos impresoras de matriz de puntos y una del tipo láser. Una de las primeras es la que imprime los

eventos y alarmas del proceso y las otras se usan para la elaboración final de los reportes.

II.2.E.3.- Tratamiento de los datos: Reportes.

Parte diario: Contiene los datos de análisis del aceite, estado de tanques, consumos de materias primas auxiliares, consumo de servicios. etc. Básicamente es una hoja de registro pero se puede asumir como un reporte que cada turno de trabajo hace al posterior.

Gráfico de Variables: Se grafican los valores cargados automáticamente por el computador y que comprenden flujos, temperaturas, presiones, niveles, consumo de vapor, etc. Se realiza al término de la corrida de un producto determinado, que puede corresponder a dos o tres días de trabajo como promedio.

Resumen de la Corrida: Un reporte que presenta las masas de crudo procesado, blanqueado obtenido, pérdidas porcentuales, rendimiento, consumo de vapor para la corrida de refinación realizada para un producto determinado.

II.2.E.4.- Trabajo de Gestión:

De modo similar a lo descrito en II.1.E.4.

II.2.E.5.- Otros Reportes:

Aparte de los reportes mencionados se realizan otros a solicitud de la Jefatura del sector o cuando se requiere para casos especiales:

Resumen mensual: Toda la producción del mes así como los valores de consumo en servicios y material auxiliar se reportan en un informe.

Mantenimiento de Separadoras: Un listado de los trabajos de mantenimiento realizados a las separadoras centrífugas, piezas cambiadas y horas de trabajo de las mismas.

Lista de Trabajos pendientes: Se extrae de una base de datos de los trabajos de mantenimiento en general ordenados con indicación de la urgencia y el taller responsable.

Otros informes: Se elaboran los informes que para diversos fines solicite la jefatura del sector o se solicite desde otro sector.

II.2.E.6.- Reglas de seguridad

Deben considerarse las siguientes reglas básicas:

- a) Manipular con mucho cuidado los bidones de ácido fosfórico y la bomba eléctrica de mano usada para su transporte al tanque fuente de dosificación. Esto debe realizarse siempre con el uso de los guantes de nitrilo y los lentes de protección. El mismo cuidado debe tenerse en el caso eventual de la manipulación de la soda cáustica.
- b) Manipular las válvulas de vapor observando las normas de seguridad establecidas, abriendo gradualmente al

recibir el fluido en planta, realizar las purgas de condensado, etc.

- c) Revisar frecuentemente las estaciones de reducción de presión de vapor para el servicio de la planta.
- d) Evitar el humedecimiento de los motores y cables eléctricos.
- e) Mantener limpios de grasa y otros todos los pisos y las escaleras de planta. Debe removerse además cualquier objeto que dificulte el tránsito normal y seguro.
- f) No intervenir las separadoras antes de que se hayan detenido completamente.
- g) Evitar someter a presión el blanqueador y el secador.
- h) Verificar que esté evacuada la zona de descarga de tierra gastada de los filtros antes de realizarla. Verificar así mismo que se abrirá el filtro en limpieza y no el de producción (en el caso de que la apertura no sea automática).
- i) Cuando se realiza la limpieza química de filtros o de intercambiadores debe verificarse la hermeticidad de todas las juntas de la línea de soda a emplear.
- j) Mantener rotulados los recipientes con reactivos utilizados para el análisis en

planta. No exponer los que sean inflamables a excesivo calor o a ambientes que puedan hacerlos inflammar.

- k) Rocíar con agua la tierra gastada descargada de los filtros en su limpieza, para evitar que se quemé espontáneamente.

II.2.E.7.- Efectos de los efluentes:

La planta Alfa-Laval de neutralización y blanqueo posee dos tanques de decantación de acero inoxidable -uno para cada sección- los cuales separan el agua que sale del proceso, principalmente proveniente de lavados, y recuperan el aceite en compartimientos desde los cuales se bombean a los tanques de aceite recuperado. Este aceite recuperado aun puede tener cierto grado de emulsión y por eso es tratado con un electrolito (salmuera o solución de ácido cítrico) para lograr la separación de las fases. El agua de los tanques decantadores no se deriva al desagüe sino que se recibe en una poza que también sirve para decantar, con mayor tiempo de residencia que los tanques indicados. El aceite separado de estas pozas se reúne con el resto en los tanques de recuperado. Solo después de esta segunda separación el agua se deriva al desagüe.

Como se puede ver, hay un doble trabajo separador para evitar derivar materia grasa a la red de desagüe externa y así evitar contaminaciones.

Los efectos negativos de los efluentes se miden por el grado de influencia que ejercen parámetros como la temperatura, pH, contenidos de sólidos y grasa.

II.2.F.-Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales

El aceite sufre tratamiento en dos secciones: neutralización y blanqueo. En la primera se considera además el desgomado. En el desarrollo del fundamento de cada proceso se hace referencia al modo continuo de refinar que es el más usado.

II.2.F.1 Desgomado: Las gomas y los sólidos presentes en el aceite crudo se remueven básicamente con el uso de agua y mediante la separación por centrifugación. Las gomas son principalmente fosfolípidos. Existen sin embargo fosfolípidos no hidratables que requieren de un tratamiento ácido. Este último tipo de fosfolípidos está formado principalmente por sales de calcio y magnesio de los ácidos fosfatídicos. Su eliminación se lleva a cabo dosificando ácido fosfórico. La cantidad de agua requerida depende del contenido de gomas del aceite crudo. Para la hidratación de cierta cantidad de gomas, aproximadamente se estima normalmente la misma cantidad de agua. La mayoría de aceites tiene un contenido de gomas entre 0.5 y 2 por ciento, y consecuentemente debería añadirse la cantidad equivalente de agua. Si se usa muy poca agua la precipitación de las

gomas será incompleta. En el otro extremo, si se añade más agua de la que puede reaccionar con las gomas, la mezcla contendrá agua libre, la cual tiende a emulsificar el aceite neutro y causa grandes pérdidas en el desgomado.

Los factores influyentes en la eficiencia de la eliminación de los fosfolípidos son los siguientes:

- *Cantidad de ácido fosfórico
- *Tiempo de contacto
- *Intensidad de mezclado
- *Temperatura
- *Concentración de soda cáustica en el reactivo de neutralización
- *Exceso de soda cáustica
- *Utilización de rerefinación

La temperatura de desgomado debe ser preferentemente de 65 - 75 °C. A menor temperatura, la viscosidad del aceite es alta y la eficiencia de separación baja; a temperaturas mayores la precipitación de las gomas será incompleta y mayor cantidad de ella permanecerá disuelta en el aceite. Se recomienda añadir algún flujo de agua en el bolo separador para prevenir la adhesión de gomas sobre el bolo.

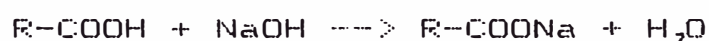
La dosificación de ácido fosfórico que se utiliza en una concentración de 85% en peso fluctúa entre 0.05% y 0.20% según la cantidad de fosfátidos no hidratables presentes en el aceite crudo. El grado de contacto se puede considerar entre 4 horas a 33°C con agitación suave en el tanque de procesamiento diario, y 15 a 45

segundos a 85-95°C con mezclado intenso en un mezclador de cuchillas. Si se hace el tratamiento a temperatura elevada y por largo tiempo se corre el riesgo de favorecer la reacción del ácido con las cadenas de los ácidos grasos formando compuestos que aumentarían el contenido de fósforo en el aceite.

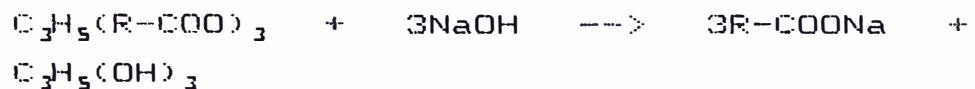
La concentración de soda cáustica como reactivo de neutralización también influye aquí debido a que la mayor cantidad de agua (menor concentración) favorecerá la remoción de los fosfolípidos hidratables. Para los no hidratables se recomiendan concentraciones mayores. Para el primer caso pueden recomendarse concentraciones de 5 a 8% en peso y para el segundo de 14 a 25%.

La influencia del exceso de soda por encima de la cantidad estequiométrica es de proporcionalidad directa. Cuando se tiene un contenido de fósforo elevado en el aceite puede deberse por eso a un exceso bajo de soda durante la neutralización.

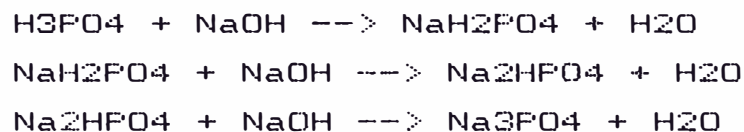
II.2.F.2 Neutralización: Los ácidos grasos libres presentes en los aceites crudos son removidos mediante este proceso que consiste en la reacción de la soda cáustica o hidróxido de sodio con el grupo carboxilo del ácido graso:



Paralelamente el hidróxido de sodio puede reaccionar con los triglicéridos para formar jabones de sodio y glicerina en una reacción indeseable que disminuye la cantidad de aceite neutro:



Normalmente la neutralización sigue a la adición de ácido fosfórico utilizado para hacer hidratables las gomas presentes en el crudo. Por eso la soda también neutraliza el ácido fosfórico utilizado en el pretratamiento:



En la práctica la tercera reacción es muy difícil que se produzca.

La soda cáustica es empleada siempre con un exceso respecto a lo requerido para la neutralización de los ácidos grasos libres del aceite y el ácido fosfórico que se usa para la eliminación de los fosfolípidos. En el proceso *ShortMix* de Alfa-Laval se ha encontrado que la fracción de exceso de soda consumida por la saponificación de los triglicéridos está entre el 50 y 70%.

La pérdida de aceite en el proceso de neutralización se puede considerar debida a tres razones:

- * Aceite neutro que se saponifica por el exceso de soda.
- * Aceite neutro arrastrado con la borra separada en la primera etapa.
- * Aceite que se arrastra con el agua durante las etapas de lavado.

Esta última es la de menos consideración comparada con las anteriores, a menos que se tengan anomalías en el proceso de lavado y separación.

La concentración baja de la soda tiende a minimizar las pérdidas por saponificación, pero hace difícil la separación de la mezcla aceite/borra. Una concentración mayor favorece la rotura de la emulsión y por ello la separación. En la práctica como regla general se recomienda que, cuanto menor sea la acidez, menor sea la concentración de soda y viceversa. Pueden considerarse los siguientes valores:

<u>ACIDEZ</u>	<u>CONCENTRACION</u>
<1%	6-12 °Bé
1 a 5%	20 °Bé
>5%	20 a 30 Bé

Durante la operación se puede corregir los problemas analizando los resultados y la naturaleza del aceite. Si el rendimiento está bajo por saponificación de aceite neutro, debe probarse una concentración más baja; en caso

contrario, si se tienen problemas de separación de aceite/borra identificados por jabones elevados en el aceite neutralizado no lavado y/o acidez de materia grasa de borra baja, debe probarse una concentración mayor de soda cáustica. El aceite neutro que sale de la primera separadora centrífuga ordinariamente tiene una acidez de 0.02 a 0.05 %.

Aún cuando el contenido de ácidos grasos del aceite haya sido cuidadosamente determinado en el comienzo del test y se ha calculado correctamente la cantidad requerida de soda, frecuentemente ocurre que los cambios en el contenido de ácidos grasos del aceite crudo necesitan una nueva verificación. El resultado de refinación final, puede, por supuesto, solamente ser juzgado después de la determinación del rendimiento pero la experiencia ha mostrado que el exceso apropiado de soda puede ser estimado por medios mucho más simples. Para este propósito puede usarse una verificación del contenido de ácidos grasos del aceite refinado así como la viscosidad y la alcalinidad de la borra.

Cuando se usa la soda de 20°Bé, se aplica lo siguiente a la mayoría de aceites:

Si no se usa exceso de soda: Entonces el aceite refinado no será neutro. (Nota: para aceites coloreados con rojo como los de palma y algodón, la fenolftaleína es un indicador inadecuado, porque el punto

final de la titulación no se puede notar claramente). El aceite tiene una tendencia a formar emulsión, y el sello líquido del separador hermético se rompe fácilmente. La acidez grasa libre en el aceite arrastrado por la borra (FFASS) es frecuentemente muy bajo, 50 por ciento o menos.

Si se usa un exceso de soda de 5 a 15 por ciento: El aceite refinado es completamente neutro. La borra, que es neutra a la fenolftaleína, tiene una superficie dura y lisa, semejante a la piel de una salchicha. FFASS está normalmente entre 60 y 70 por ciento.

Si se usa un exceso de soda de 15 a 30 por ciento: La borra da una reacción alcalina distinta. Sólo unos pocos segundos pasarán para que aparezca el color rojo. La borra es suave, y FFASS cerca de 70 por ciento.

Si se usa un exceso de soda de 30 a 50 por ciento: La borra da una reacción alcalina instantánea con la fenolftaleína. Además, la borra será muy suave. La borra de ciertos aceites con un índice de yodo alto, puede ser completamente fluida. Al mismo tiempo FFASS es alto: valores entre 80 y 90 por ciento, y aún mayores son de ningún modo poco frecuentes. El aceite refinado no está siempre claro pero contiene algo de jabón.

Si se usa un exceso mayor que 50 por ciento: La presión de alimento en el separador se incrementa gradualmente y el flujo a través se reduce. El aceite neutro contiene mucho jabón, y el aceite aparece bastante oscuro en el visor de vidrio. Estas dificultades de separación pueden ser sobrellevadas por adición de algo de agua como *flush* dentro del bolo separador.

Lo de arriba se aplica cuando se usa una soda de 20 Bé. Con otras concentraciones de soda la figura puede cambiar algo: cuando se usa una soda más débil la borra será generalmente más suave y más fina, a veces bastante fluida. Debido a la reacción hidrolítica entre el jabón y el agua, las borras diluidas siempre presentan reacción alcalina con la fenolftaleína, aún cuando no hay exceso de soda. Por otro lado, cuando se usa una soda más fuerte la borra será más dura y gruesa. Debe anotarse que las borras de aceites diferentes son de consistencias muy variantes. Generalmente, a más alto índice de yodo, mayor fluidez de la borra. Por ejemplo la borra del aceite de linaza y la de aceite de soya es suave o fluida aún cuando se usa un exceso relativamente bajo de soda. Aceites endurecidos, por ejemplo, siempre producen una borra muy dura. Aceites con un alto contenido de mucílagos o de otros agentes emulsificantes siempre dan un bajo FFASS.

Para las separadoras herméticas la posición de la interfase entre los dos líquidos en el bolo se regula por el cambio de la presión de trabajo. Si la contrapresión en la tubería de salida de la separadora se incrementa por estrangulamiento de la válvula de regulación de aceite, la posición de la interfase en el bolo será desplazada hacia afuera. Con esta regulación el aceite aparece casi claro en el visor de vidrio de la tubería de descarga. La borra es, sin embargo separada bajo condiciones relativamente desfavorables y tiene un contenido relativamente alto de aceite neutro. Si la contrapresión es demasiado alta, el sello líquido será roto y se perderá aceite en la borra. Por otro lado si la contrapresión es muy baja, la interfase estará situada más cerca del centro del bolo. Bajo estas circunstancias la borra contiene un mínimo de aceite, considerando que el aceite puede aún contener una gran cantidad de jabón y por eso aparecerá bastante turbio en el visor de vidrio. Un alto contenido de jabón en el aceite puede causar dificultades en la subsecuentes etapas de refinación y por eso debe ser evitado. El aceite debe ser tan claro en el que una línea de lápiz pueda ser claramente observada a través del visor de vidrio. Esto es normalmente alcanzado a una contrapresión de aproximadamente 0,2 MPa (2 bar). La caída de presión en la separadora depende del gasto y de la viscosidad de los

componentes. Por eso, para una cierta contrapresión, a mayor caudal, menor temperatura y mayor concentración de soda, mayor es la presión en la tuebria de alimento.

Con excesos demasiados altos de soda el proceso de separación en la separadora hermética puede ser alterado. Como es bien sabido por todos los fabricantes de jabón, los electrólitos incluyendo la soda producen salamiento o granulación, o sea que el jabón se separa en dos fases, soda gastada y jabón, del cual el primero tiene la mayor gravedad específica. Cuando el aceite está presente, la separadora tendrá que manejar tres fases diferentes. Debido al hecho de que la diferencia en las gravedades específicas entre la soda gastada y el jabón es más grande que entre el jabón y el aceite, la salida de jabón será bloqueada por la capa más pesada, y la borra descargada con el aceite neutralizado que aparece muy turbio en el visor de vidrio. No se descarga borra en la salida de jabón y la presión en la separadora se eleva. Si esto ocurre, la capa pesada de soda gastada debe ser removida. Esto puede ser realizado por adición de algún flush de agua en el bolo separador. Esta agua es mezclada con soda gastada para dar una mixtura más ligera la cual puede ser descargada junto con la borra. El fenómeno de formación de tres fases ocurre más fácilmente con aceites que son difíciles de saponificar, como el de uva.

Hay varios factores que afectan la etapa de neutralización y desgomado. Estos se relacionan con la operación de separación. Por eso se considera esta operación por separado.

II.2.F.3 Separación: La mezcla resultante luego de la neutralización presenta tendencia natural a la emulsión debido a la naturaleza tensoactiva de los jabones formados. Esta mezcla resulta siendo una dispersión de partículas de la fase acuosa densa de los jabones y otros sobre la fase oleosa del aceite de menor densidad. La operación de separación se lleva a cabo en una separadora centrífuga de discos. Dado que la separación no es completa siempre habrá que equilibrar las condiciones para minimizar la cantidad de jabón presente en el aceite neutro y el aceite arrastrado por la borra. El contenido de jabón en el aceite neutro que sale de la primera separadora varía normalmente entre 400 y 1000 ppm. La expresión matemática que define la posición de una "partícula" en el interior de una separadora es:

$$dr/dt = rw^2(Ds-Dl)dp^2/(18U)$$

donde:

r: radio (distancia al eje de rotación)

t: tiempo

w: velocidad angular

Ds: densidad del sólido

Dl: densidad del líquido

dp: diámetro de la partícula (esférica)

U: viscosidad del líquido.

Cuando se refiere a un sólido quiere decir una gotita del líquido más denso. Integrando la ecuación anterior:

$$\ln(r_2/r_1) = w^2(D_s - D_l)dt^2$$

siendo $r_2 - r_1$ el posicionamiento de la partícula en el interior de la centrífuga y t el tiempo de residencia.

Factores que influyen en la eficiencia de la separación:

II.2.F.3.1 Flujo

El flujo determina el tiempo de residencia. A partir del flujo nominal del diseño de la separadora centrífuga se puede reducir el flujo dentro de los límites especificados por el fabricante para mejorar la separación si no se logra hacer con eficiencia, o aumentarlo con las mismas limitaciones si hay muy buena separación.

Dado que de la separación en la centrífuga hay dos flujos de salida con una entrada única, en realidad se tienen dos tiempos de residencia. Para la primera separadora uno de estos corresponde a la borra de la fase pesada y la otra al aceite neutro. Cada tiempo de residencia se calcula dividiendo el volumen efectivo de cada fase entre el flujo correspondiente. Entonces el tiempo de residencia depende de la posición de la interfase porque esta define los

volúmenes efectivos. La posición de la interfase se puede variar con la modificación de la presión de descarga de una de las salidas que en la práctica resulta siendo de la fase ligera o aceite. De este modo si se aumenta la presión mencionada mediante el estrangulamiento en la salida del aceite, la interfase será desplazada alejándose del eje, hacia afuera, reduciendo el volumen de la fase pesada y aumentando el correspondiente a la fase ligera (aceite) y con esto su tiempo de residencia. Si se lleva acabo esta acción, el contenido de jabón en el aceite neutro se reducirá, pero la pérdida de aceite por arrastre en la borra aumentará.

Cuando se usan separadoras abiertas la posición de la interfase se logra por el uso de anillos de separación o turbinas centrípetas de distinto diámetro. En todo caso la posición de la interfase se puede iniciar por aquella que produce un contenido de jabón de 400 a 700 ppm en el aceite neutro saliente de la primera etapa.

II.2.F.3.2 Emulsión

La distribución del tamaño de las "partículas" de la fase pesada determina el grado de emulsión. Nótese que en la ecuación se encuentra elevada al cuadrado, por lo que su importancia es relevante. Los factores que actúan reduciendo el grado de emulsión son:

*Menor grado de agitación de la mezcla aceite-soda.

- *Mayor concentración de soda.
- *Adición de ácido fosfórico (aumento de electrolito).
- *Mayor temperatura.

II.2.F.3.3 Características físicas de las fases

La relación entre la diferencia de densidades y la viscosidad del líquido que aparece también en la ecuación es afectada principalmente por la temperatura. El principal factor que recibe influencia es la viscosidad, cuya disminución se ve favorecida por el aumento de la temperatura. Las temperaturas mayores favorecerán la separación con la consecuente reducción de la pérdida de aceite con la borra. Sin embargo las pérdidas por saponificación también aumentan significativamente con la temperatura. En general existe la posibilidad de compensar la mayor o menor temperatura con un menor o menor tiempo de residencia.

La composición de la fase pesada también influye en la eficiencia de la separación. La presencia de un electrolito, por ejemplo, aumenta su densidad y favorece la separación. El ácido fosfórico dosificado en el pretratamiento, cuando se neutraliza con la soda forma fosfato de sodio o fosfato monoácido de sodio, los cuales son electrolitos. El exceso de soda cáustica que no reacciona también produce ese efecto. Se ha recurrido incluso a la

adición de carbonato de sodio al reactivo de neutralización con la misma finalidad. Debe anotarse que si la concentración de los electrolitos es demasiado alta puede llegar a formarse un sistema trifásico de aceite, jabón y el electrolito que se denomina lejía o licor libre. Esta situación se conoce como lejía de solubilidad límite del jabón y es la base de los procesos de saponificación. Esto último es indeseable debido a que cuando tiene lugar la lejía sale en vez de la borra y esta sale con el aceite. En la práctica esto se evita con la inyección de agua caliente o *flush* de dilución, como solución inmediata para luego corregir el problema desde atrás modificando la dosificación de electrolitos.

II.2.F.4 Lavado: Es la operación que se utiliza para reducir al mínimo la cantidad de jabón presente aún en el aceite y que no pudo removerse por la centrifugación de la primera etapa. Aprovechando que el jabón es mucho más soluble en el agua que en el aceite se realiza esta extracción líquido-líquido, mezclando el aceite neutro con el agua y separándolos luego en otra separadora centrífuga. Es común el uso de dos etapas de lavado, cuando no se usa la rerefinación.

El agua que se utiliza debe estar libre de dureza, porque la presencia de sales de Calcio y Magnesio, producirán jabones de éstos que son insolubles en agua y permanecerán en el aceite. Incluso la

utilización de agua relativamente blanda produce jabones residuales: 10% de agua, relativa al aceite con 30 ppm de dureza ocasionan 32 ppm jabones como oleato de sodio, que sólo se pueden remover con tierra de blanqueo.

Como máximo el contenido residual de jabón en el aceite debe ser de 30 ppm. El contenido de agua en el aceite lavado debe ser de 0.5% para condiciones de proceso ordinarias.

II.2.F.5 Rerefinación: La neutralización en una segunda etapa se recomienda para aceites difíciles de decolorar o cuando se desea una remoción más completa de los fosfolípidos. El aceite de algodón, por ejemplo, con un alto contenido de gopipol se procesa neutralizándolo con soda al 14.7% y luego de separarse en la primera centrífuga sufre la dosificación de soda al 28% para pasar a separarse en la segunda centrífuga. En una planta convencional con tres separadoras se cuenta para este caso con una sola etapa de lavado (la tercera).

II.2.F.6 Blanqueo: El blanqueo o decoloración del aceite es importante porque por medio de él se eliminan Jabones, Productos de oxidación, fosfolípidos, metales y pigmentos. Los Jabones en el aceite constituyen veneno para los catalizadores de hidrogenación. Los productos de oxidación son principalmente hidroperóxidos. Por otro lado los fosfolípidos aparte de modificar la

hidrogenación incrementan el color del mismo modo que los pigmentos: carotenoides, clorofila. La presencia de metales es principalmente una tendencia a la oxidación. La decoloración en realidad se inicia en la etapa de neutralización con la soda cáustica, pero se hace necesaria siempre esta etapa por las señaladas impurezas que acompañan al color. Se utilizan normalmente arcillas activadas con ácidos minerales y se hará referencia a este material del mismo modo que a la operación continua. La eliminación de las impurezas durante el blanqueo se realiza por adsorción de estas por la tierra empleada.

La propiedad mejor conocida de la tierra clarificante es la adsorción de los cuerpos coloridos como los carotenos o la clorofila. Es la adsorción principalmente debida a fuerzas de Van der Waals, llamada adsorción física. Hay también reacciones químicas involucradas. Es la llamada quimisorción. El criterio importante para la adsorción física es la habilidad del adsorbente para adsorber una determinada sustancia, llamada adsorbato, a temperatura definida. Existe un equilibrio entre la concentración de la sustancia en la solución y la concentración de la sustancia adsorbida. Freundlich determinó la expresión matemática que relaciona la adsorción, respecto a la concentración residual del soluto, a una temperatura dada:

$$x/m = Kc^n$$

x : cantidad de sustancia adsorbida
 m : cantidad de adsorbente
 c : concentración de equilibrio
 K : Constante (dependiente de la temperatura y del área de la superficie del adsorbente)
 n : Constante (depende de la temperatura)

Es fácil de entender de acuerdo a esta ecuación que el poder de adsorción de la tierra clarificante se incrementa con el área de la superficie y entonces con el grado de activación. Sin embargo también las propiedades de la superficie son importantes para la capacidad de adsorción. La tierra clarificante adsorbe ciertos compuestos mejor que otros. Los compuestos con propiedades catiónicas o compuestos que son al menos un poco polares son fácilmente adsorbidos. Esto también es válido para compuestos que serán polarizados en presencia de ácidos. Esta acción es debida a la carga negativa de las laminillas de la tierra clarificante. Esto también explica por qué ciertos compuestos como el gopipol ligeramente ácido o los hidrocarburos poliaromáticos no polares no son adsorbidos por la tierra clarificante.

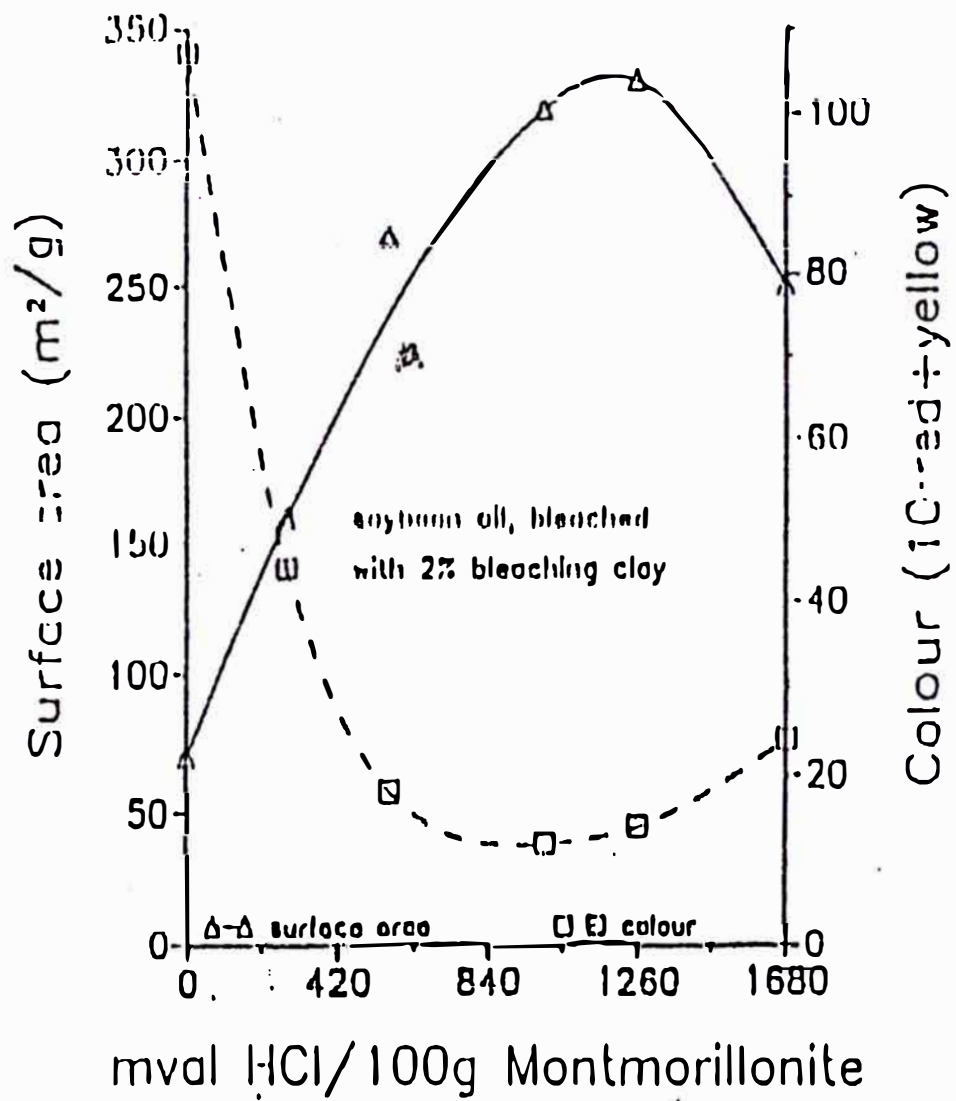
II.2.F.6.1 Material Adsorbente: Las tierras decolorantes naturales se han sustituido últimamente por las arcillas ácidoactivadas. Comparada con las arcillas naturales, la arcilla

clarificante activada presenta una mucho mayor actividad. Debido a esto es que se usan más para el blanqueo de aceites y grasas. La materia prima para la producción de la tierra clarificante activada es la bentonita, la cual contiene un alto porcentaje (alrededor de 85%) de montmorillonita. La montmorillonita es activada por ácidos minerales (clorhídrico, sulfúrico) a temperaturas elevadas por un par de horas. Este tratamiento causa un incremento de la superficie de área que originalmente fue de 40 a 60 m² por gramo e incrementada a 300 m² por gramo aproximadamente.

La figura II.2-1 muestra la influencia de la cantidad de ácido sobre la reducción de color y también respecto al área de la superficie. Se puede observar que el máximo del área de superficie no es correspondiente a la máxima reducción de color. Después de la activación la tierra clarificante activada es separada por filtración y lavada para extraer el exceso de ácido mineral, después es secada y molida para obtener la distribución de tamaño de partícula requerido.

II.2.F.6.2.- Factores que influyen en el blanqueo: Las condiciones de la operación influyen fuertemente en la reducción de color y la remoción de las otras impurezas.

FIGURA II.2-1: ACTIVACIÓN DE LA MONTMORILLONITA



Especialmente a altas temperaturas las trazas de oxígeno causan la fijación del color y una gran reducción de la estabilidad del aceite. Este es el caso más común cuando se usan tierras clarificantes activadas.

Esto explica la eventual obtención de un mejor color con tierras clarificantes naturales que con las activadas bajo condiciones atmosféricas normales. Para este caso cuando se realiza el blanqueo al vacío los resultados son exactamente opuestos.

Calidad del Aceite: Las impurezas que hay en el aceite afectan la eficiencia de la etapa de decoloración. Los jabones presentes en él harán que la tierra utilice parte de su superficie en su adsorción restándole capacidad de remoción de los colorantes. Además los jabones reaccionan con los centros ácidos de la tierra produciendo ácido graso libre con la consecuente desactivación de los primeros. La presencia de gomas también es perjudicial por la acción bloqueadora en este caso de la superficie de la tierra. Cuando el aceite tiene cierta humedad se favorece la remoción de metales y fosfolípidos del aceite ya que las sales de calcio y magnesio de los ácidos fosfatídicos "no hidratables" se dividen y se vuelven solubles en agua y posteriormente son adsorbidos por la tierra.

Temperatura: Consideramente a la tierra blanqueante como un mero adsorbente la mejor reducción de color debería ser esperada a baja temperatura. Con un incremento de la temperatura el equilibrio de adsorción debería cambiar hacia una desorción, parte de las moléculas adsorbidas serían disueltas nuevamente en el aceite. Sin embargo, esto no se observa. De modo contrario la decoloración mejora con el aumento de la temperatura. Esto indica que la tierra clarificante es más que solo un adsorbente y tienen lugar reacciones químicas sobre su superficie. De acuerdo con la regla de Van't Hoff la velocidad de la reacción es el doble con un incremento de la temperatura de 10°C . Esta regla es válida para todas las reacciones, las deseadas y las no deseadas. Consecuentemente, debe haber una óptima temperatura. Esta depende del tipo de aceite y de los coproductos e impurezas que contiene.

Entonces se puede decir como regla general que todo aceite debe blanquearse a la temperatura más baja razonable. Esta temperatura debe ser tan alta que le de la viscosidad más baja al aceite. Y al mismo tiempo tan baja como para evitar reacciones indeseables colaterales las cuales deterioran el aceite y pueden reducir la calidad y la vida en almacenaje.

Tiempo: El tiempo requerido para la máxima decoloración depende al mismo

tiempo de la calidad de la tierra empleada. Se ha probado que la decoloración del aceite de soya o aceite de algodón a 80°C mejora con el incremento del tiempo cuando la temperatura fue incrementada a 105°C. La óptima decoloración se alcanza después de los 35 minutos. Un incremento posterior de la temperatura a 120°C resulta en mejor remoción de los colorantes después de 5 minutos. El color final es más bajo a mayor temperatura. Sin embargo los tiempos prolongados de contacto producen reversión del color, la cual es mayor a la temperatura más alta. En general, un tiempo de 20 a 30 minutos es el recomendado para el blanqueo de aceites. Se recomiendan tiempos más cortos para temperaturas mayores. En la operación continua, como se sabe, el tiempo de contacto del aceite con la tierra blanqueante en un tanque blanqueador determinado se define por el volumen que se ocupa de este y el flujo del aceite. Es decir que para un flujo determinado se aumenta el tiempo de residencia elevando el nivel de trabajo del equipo y para un nivel fijo esto se logra reduciendo el flujo.

Presión: El blanqueo de los aceites se hacía antes bajo condiciones atmosféricas. Sin embargo desde hace más de sesenta años el oxígeno tuvo un efecto perjudicial en la calidad del aceite. Esto se determina por que si bien el blanqueo en sí puede ser mejor incluso a

condiciones atmosféricas, lo perjudicial es la formación de productos de oxidación como los hidroperóxidos porque estos a la vez se descomponen a ácidos grasos conjugados los cuales son más sensitivos a la oxidación. Esto es lo que hace que la etapa de clarificación se practique de ordinario al vacío en la actualidad. Una presión de vacío de 500 mbar garantiza valores del índice de peróxido nulos o 0,2 como máximo en operación a 100°C.

Cantidad: De acuerdo a la ecuación de Freundlich, la remoción de impurezas mejora con un incremento de la cantidad de tierra adsorbente. Sin embargo resulta difícil determinar la cantidad mínima de tierra a utilizar para un blanqueo eficiente. En realidad se debe esto a que también depende de la calidad del aceite a clarificar, es decir a las impurezas que en mayor o menor grado contenga y a la naturaleza de estas. Tales impurezas pueden ser jabones y pequeñas cantidades de fosfolípidos en el caso de los aceites refinados alcalinamente. Puede tratarse también de otras gomas en el caso de la refinación física. Esas impurezas pueden desactivar los centros ácidos de la tierra clarificante en el caso de los jabones o bloquear la superficie en el caso de los fosfolípidos. Resulta claro entonces que la presencia de las impurezas determinan la mayor concentración de tierra. Los jabones y las gomas también resultan perjudiciales en la operación de

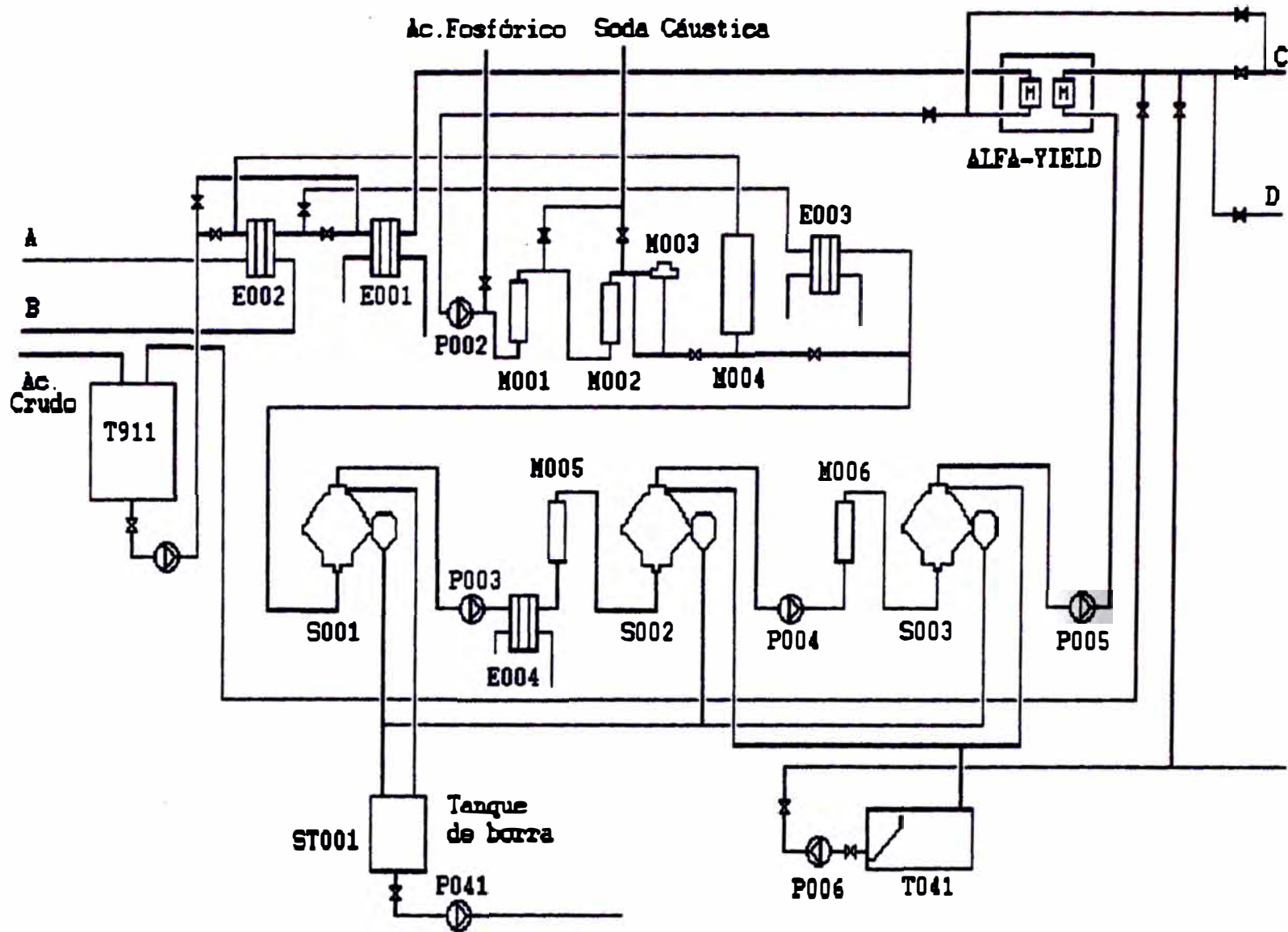


FIGURA II.2-2: SECCION DE NEUTRALIZACION

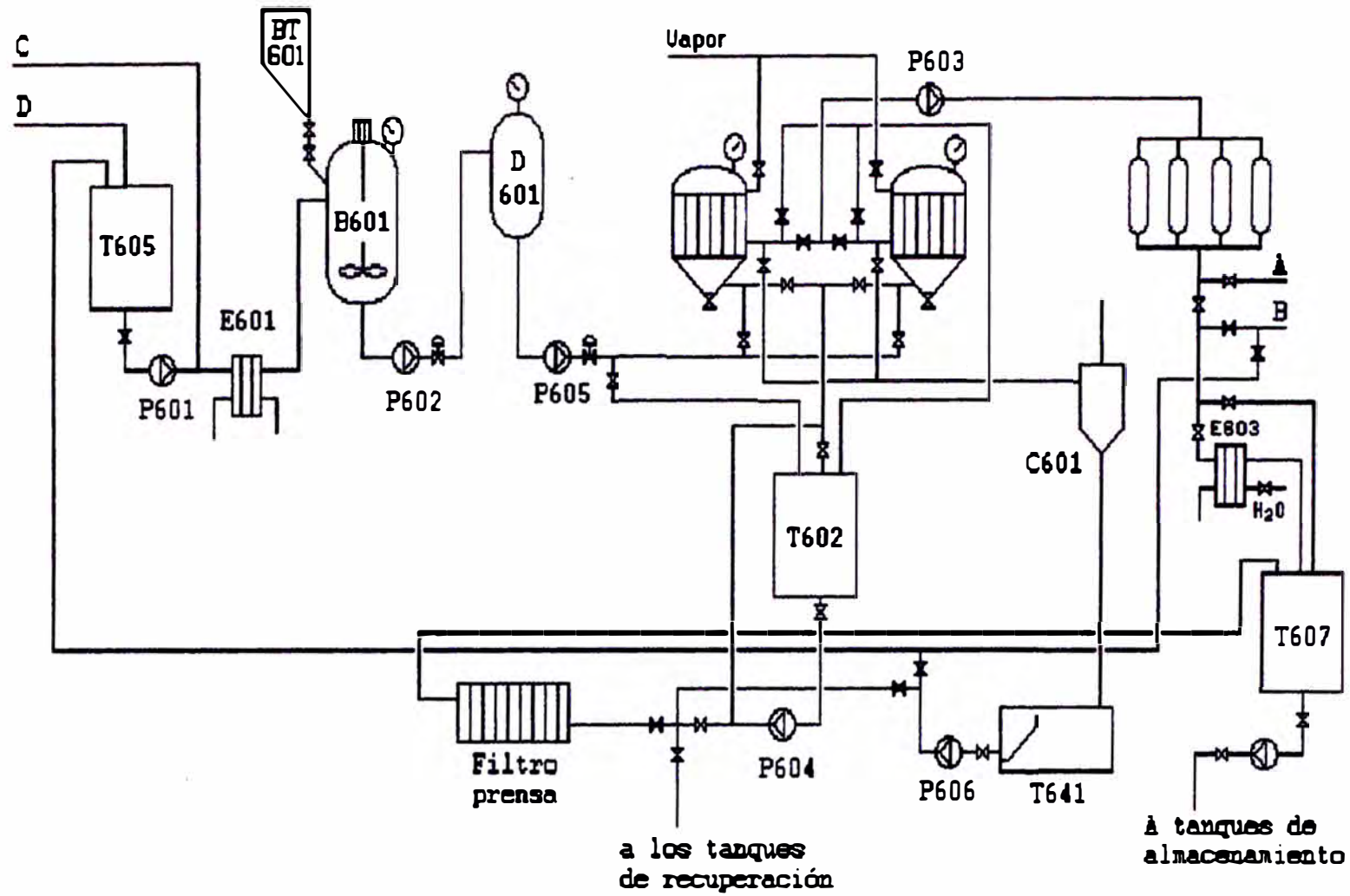


FIGURA II.2-3: Sección de Blanqueo.

Cada modalidad determina un "tipo de proceso". El proceso más usado es el de *Intermix*. Este es el proceso que se describe a continuación.

El aceite crudo es bombeado desde el tanque T911 por medio de la bomba P001 y pasa a través del primer intercambiador de calor de placas E002 donde se precalienta enfriando el aceite blanqueado que sale de la planta. Luego se calienta en E001 con vapor hasta la temperatura de neutralización normalmente igual a 95°C. A continuación se impulsa nuevamente con la bomba *booster* P002 luego de lo cual recibe la inyección de ácido fosfórico al 85%. Se mezcla en el primer mezclador de cuchillas M001 y a la salida recibe la inyección de soda cáustica. Se mezcla en M002. La mezcla ingresa a la separadora centrífuga S001 en la cual se obtiene una fase ligera: el aceite neutro y otra pesada: la borra. Esta última se bombea hacia un tanque de la sección Jabonería. El aceite neutro es bombeado por P003, pasa por E004 donde se calienta a 95°C y luego recibe inyección de agua caliente de lavado antes de entrar en el mezclador M005 del cual pasa a la separadora S002 en la que se separa el agua del primer lavado, que pasa al tanque T041 de recuperación de aceite. El aceite lavado de la S002 se impulsa nuevamente con P004 y luego recibe una segunda inyección de agua caliente y pasa al mezclador M006 para finalmente separarse en S003 del agua del segundo

lavado. El aceite así obtenido es neutro y lavado y pasa a la sección de blanqueo. Existe una estación de medición llamada *Alfa-Yield* cuyo trabajo se explica en II.2.G.3.

II.2.G.2.-Sección Blanqueo: El aceite que sale de la separadora S003 es bombeado por P005 hacia E601 en el cual se calienta a la temperatura de blanqueo usualmente igual a 100°C. Luego pasa al blanqueador B601 dentro del cual se recibe la dosificación de tierra blanqueante por un sistema de exclusiva formado por dos válvulas de mariposa. Este tanque tiene un agitador vertical y deflectores y un sistema de vacío controlado. A la salida del blanqueador el lodo se bombea por P602 hacia el secador D601. Aquí la mezcla es despojada de la humedad remanente al someterse a una presión absoluta de 50 mbar como máximo. Saliendo de este equipo la suspensión es impulsada por P605 y enviada al filtro mayor en servicio: F601 o F602. El filtrado obtenido luego es pulido al ser enviado por P603 hacia los filtros de bolsa F603 y F604, de los cuales sale para intercambiar calor con el crudo en E002 y finalmente enfriarse con agua en E603 antes de llegar al tanque de aceite blanqueado T607 desde donde se envía a los tanques mayores de almacenamiento.

Cuando esta sección está en producción, uno de los filtros F601 o F602 es el que separa la tierra del aceite, mientras que

el otro mantiene en recirculación con el tanque de precapa T602 una cantidad de aceite blanqueado. Cuando ocurre un cambio de filtro, el filtro preparado con aceite en recirculación entra inmediatamente en producción, mientras que el otro es evacuado empujando el aceite con vapor hacia el tanque de precapa. Una vez que está vacío el filtro se sigue soplando con vapor, dirigiendo esta vez la salida hacia el ciclón C601 por 20 minutos logrando así secar la torta. Luego se abre la válvula inferior de descarga de tierra cae esta a una tolva en el primer piso, constituyendo un desecho de la planta. Originalmente, después de estas acciones, el filtro evacuado se llenaba con una suspensión de aceite y ayuda filtrante (arcilla diatomácea) ya preparada en el tanque de precapa T602 durante la limpieza del filtro. Luego se mantenía la recirculación hasta formar una precapa filtrante. La práctica ha demostrado que no es necesario aplicar esta precapa sino que se puede formar la torta de tierra directamente sobre las mallas del filtro, sin perjuicio de su capacidad.

Cuando el nivel del blanqueador es demasiado alto el aceite neutro se dirige al tanque intermedio T605 de aceite neutro desde el cual se alimenta por medio de la bomba F601 el blanqueador cuando el nivel lo permite.

II.2.G.3.- Controles y Funciones: Los controladores lógicos programables llevan a cabo la mayoría de los controles de la planta, siendo los más importantes:

Llenado de T911: Cuando se activa el sensor de nivel bajo de este tanque se abre la válvula del tanque mayor de aceite crudo seleccionado del campo de tanques y arranca la bomba P901 que envía el material al T911 situado en la planta. Cuando se activa el sensor de nivel alto la bomba se detiene y la válvula del tanque mayor se cierra. Cuando se desactiva la función de llenado se realiza el soplado de la tubería hacia el T911.

Flujo de aceite: El controlador lógico FIC001 de acuerdo a la información que recibe del sensor de tipo coriolis situado en la línea de crudo del *Alfa-yield* envía una señal al variador de frecuencia que maneja el motor de la bomba P001 para la regulación del flujo al valor deseado puesto en la lista de parámetros.

Flujo de Soda: La solución de soda cáustica que se inyecta para la neutralización se "prepara" en la línea controlando los flujos de soda al 50% y del agua de dilución, y uniéndolos para luego hacer la homogenización en un mezclador estático. El flujo de soda al 50% se controla por FIC021 y el valor

deseado es calculado de acuerdo a los parámetros según:

$$F=0.8*FA*AGL/M$$

donde:

F es el flujo de soda al 50% en kg/h

FA es el flujo de aceite en kg/h

AGL es la acidez grasa libre medida después del mezclador MOO1 expresada como porcentaje

M es el peso molecular del ácido graso característico del aceite

El flujo de agua de dilución se controla por FICO31. El valor deseado se calcula por medio de la expresión:

$$F_{H2O}=F*(50-C)/C$$

donde:

F es el valor medido del flujo de soda al 50%

C es la concentración de soda cáustica de la solución deseada expresada como porcentaje

Flujo de Acido fosfórico: Es controlado por FICO23 y el valor deseado se determina en la lista de parámetros.

Pérdidas: El sensor de flujo de aceite crudo se ubica junto a un sensor similar para el aceite neutro en un arreglo de tubería y válvulas diseñado para calcular de manera permanente la diferencia entre estos flujos y así la pérdida por

neutralización. Esta tarea es realizada por el controlador llamado *Alfa-yield*.

Agua de lavado: Los flujos de agua para el primer y segundo lavados se controlan por FIC033 y FIC035. Los valores deseados se determinan por el porcentaje respecto al flujo de aceite que se determina en la lista de parámetros, considerando como este último el valor actual medido por FIC001.

Vacío en el Blanqueador: FIC601 se ocupa de mantener un valor constante de la presión de vacío indicada en la lista de parámetros. Para esto acciona una válvula que comunica la tubería de evacuación del equipo por los eyectores con la atmósfera.

Nivel en el Blanqueador: Se mantiene controlado por LIC601 que recibe información de dos sensores de presión ubicados respectivamente en el tope y el fondo del equipo, actuando sobre una válvula en la descarga.

Nivel en el secador: El controlador LIC602 trabaja de manera similar a LIC601.

Dosificación de tierra: De acuerdo al porcentaje de tierra deseado respecto al flujo de aceite que se blanquea se determina la frecuencia de caída del lote de tierra por medio de un sistema tipo esclusa.

II.2.H.- Caso: Puesta en marcha de la Planta de neutralización y blanqueo Alfa-Laval.

Terminada la instalación electromecánica de la planta por parte de la empresa contratada para ese fin, se procedió a poner en marcha la planta bajo la dirección de dos técnicos de la firma Alfa-Laval provenientes de Suecia. Uno de ellos dedicado al trabajo sobre asuntos mecánicos y de proceso, y el otro encargado de lo correspondiente al programa de control de los PLC's.

Por parte de la empresa participamos un grupo de seis supervisores para procesos y dos técnicos instrumentistas.

La primera etapa de la puesta en marcha consistió en pruebas realizadas en jornadas de trabajo de 14 horas diarias. Se dividió la responsabilidad de la supervisión en las secciones de neutralización y blanqueo, con tres supervisores por cada una. Se utilizaron radiotransmisores para la rápida comunicación entre diferentes ubicaciones y con la sala de control.

Posteriormente se pasó a la etapa de pruebas de proceso sin la supervisión de los técnicos suecos y supervisando la planta en grupos de tres, en producción continua con turnos de 12 horas cada uno.

A continuación se detallan los pasos seguidos durante la puesta en marcha:

II.2.H.1.-Verificaciones

- a) Se realizó un repaso visual de las tuberías de planta para verificar que correspondiera a las líneas de proceso descritas en los diagramas de flujo originales.
- b) Igualmente se realizó la inspección de la instalación de válvulas, filtros, válvulas, check, bombas y otros equipos para verificar que correspondieran a los diagramas y que fuera correcta la posición de instalación de acuerdo a lo previsto según el funcionamiento de cada uno.
- c) Se colocaron coladores en las succiones de las bombas para evitar que los restos de soldadura y otros sólidos extraños ingresen y produzcan daños.
- d) Verificación de la correspondencia de las señales de mando eléctrico y neumático a las diferentes válvulas de la planta desde el tablero de microswitches en la sala de control.
- e) Comprobación de la señal correspondiente a cada motor de la planta. Sentido correcto de giro.
- f) Verificación de la corrección del tendido de líneas y hermeticidad de las mismas mediante el flujo de agua a través de ellas.
- g) Verificación del funcionamiento de los sensores de nivel de los tanques de la planta. Comprobación de la corrección del

direccionamiento de las señales eléctricas correspondientes.

II.2.H.2.-Pruebas del Proceso

- a) Verificación de la secuencia establecida por el programa en la sección neutralización con la utilización de agua en lugar de aceite de proceso.
- b) Prueba de la corrección y calibración de los niveles de trabajo del Blanqueador, secador y tanque de precapa.
- c) Prueba del equipo de vacío. Medición del tiempo de alcance de la presión de trabajo con aceite y sin él.
- d) Retiro de los coladores y prueba de secuencias con aceite blanqueado.
- e) Prueba de las separadoras. Funciones especiales.
- f) Prueba de la bomba de polvos para la ayuda filtrante y la tierra blanqueante.
- g) Prueba de la dosificación de reactivos: calibración de las bombas de soda y ácido fosfórico.
- h) Prueba de funciones como controles de nivel de dos puntos.
- i) Calibración de los sensores y transmisores para la medición de flujos de masa.

- j) Prueba de la función de llenado del tanque de aceite crudo de la planta.
- k) Prueba de neutralización de aceite crudo.
- l) Prueba de la secuencia de arranque de la planta.
- m) Prueba del bombeo de la ayuda filtrante y de la tierra blanqueante.
- n) Prueba de blanqueo de aceite neutro.
- o) Prueba de refinación completa: neutralización y blanqueo. Función de cambio y autolimpieza de filtros.
- p) Prueba de la secuencia de parada de planta.
- q) Prueba de la interrupción de secuencia. Rearranque de planta.

II.2.H.3.-Resultados:

Como es de esperarse, muchas pruebas dieron resultados negativos. Entonces se llevaron a cabo las correcciones necesarias.

II.2.H.3.1.-Reparación de fugas

Lo primero que se hizo fue reparar la gran cantidad de fugas que se detectaron al hacer las pruebas con agua. Se ajustaron bridas y se cambiaron empaquetaduras. Se corrigieron uniones bridadas que se habían forzado por su no

paralelismo. Se ajustaron por el mismo motivo uniones universales y por último se repasó soldadura a aquellos puntos que presentaban fugas en uniones fijas.

II.2.H.3.2.-Corrección en tuberías

Se encontraron instaladas en sentido invertido varias válvulas check, lo cual fué corregido. Se modificaron los diámetros de algunas tuberías por razones de presión baja o alta. Se instalaron líneas de recirculación en los tanques de agua tratada caliente y fría para regulación de flujo y presión de salida.

II.2.H.3.3.-Sensores de nivel

Se observaron reboses en el tanque de aceite crudo y en el de precapa por la posición inadecuada de los sensores de nivel alto (digitales). Esto se debió a la existencia de soplados sobre el primero cuando se detenía la función de llenado estando completo el volúmen del tanque. En el segundo caso se produjo por el soplado de un filtro lleno hacia el tanque de precapa estando este con un nivel que había alcanzado al llenar el otro filtro después de estar con nivel alto el tanque de precapa.

II.2.H.3.4.-Sistema de tierra

Las tuberías de PVC para el transporte de la tierra blanqueante por una bomba neumática de diafragma desde el primer piso hasta la tolva BT601 de la azotea tenían demasiados codos y uniones de varios tipos que producían una gran

pérdida de carga la cual impidió la llegada del material. Lo mismo ocurrió cuando se hizo la prueba con la ayuda filtrante que debía llegar al segundo piso. Se eliminaron todos los codos y se reemplazaron por curvas suaves de manguera con un radio de 80 cm. con esto fue posible el transporte de la tierra blanqueante pero no de la ayuda filtrante. Esta diatomácea se compacta con mayor facilidad y produjo atoros en la línea que impidió su bombeo. Aparte la tolva T606 para ayuda filtrante en el segundo piso presntó mal funcionamiento del vibrador eléctrico y del transporte de tornillo sin fin que poseía. Esto se vió limitado por la compactación mencionada antes, ayudada por el humedecimiento de la arcilla por los vapores del tanque de precapa T602. Para poder preparar la precapa a los filtros se optó por la adición manual de la ayuda filtrante directamente al tanque T602. En la actualidad y con la práctica se ha encontrado que los filtros no mejoran su desempeño con la precapa y se ha dejado de lado su uso en producción.

II.2.H.3.5.-Programa: Se efectuaron correcciones en el programa en aspectos muy simples como variación de tiempos de soplado, temporización de bombeo de remanentes; así como en aspectos de las secuencias del proceso. En el sistema del diálogo hombre-máquina también se efectuaron cambios como por ejemplo la doble pulsación del comando de parada de

planta para que esta ocurra. El técnico programador tuvo mucho trabajo para adecuar el programa de los PLC's a lo requerido para el proceso debido a que la secuencia que se observaba no se ajustaba a lo descrito en el documento de descripción de las secuencias. En varios casos se trató de mal direccionamiento de variables y en otros falta de establecimiento de algunas entradas o eventos para el cambio a otra secuencia. Esto último, como se comprenderá, producía suspensiones indefinidas de la secuencia.

II.2.H.4.-Conclusiones: Respecto a la puesta en marcha de la planta de neutralización y blanqueo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- * Antes de probar un equipo de proceso debe verificarse el funcionamiento de sus partes elementales y así evitar su propio daño.
- * Aún cuando se hayan realizado revisiones durante la instalación es necesario repetir las verificaciones por parte de los responsables de la operación de una planta pues muchas veces los instaladores desconocen la finalidad concreta o detalles del equipo.
- * Una planta nueva requiere ajustes tanto en la parte física de los equipos como en la parte lógica de los programas y controladores.

- * Realizar modificaciones en la lógica de control y las secuencias de funcionamiento de una planta es mucho más fácil con el empleo de PLC's.
- * Deben seguirse estrictamente las indicaciones de los fabricantes de los equipos en cuanto a la posición y sentido de la instalación, rigidez de los soportes, distancias y otros para su buen desempeño y la reducción de daños.
- * La puesta en marcha de una planta por los propios responsables de su operación es fundamental para el mejor conocimiento de la misma por ellos.
- * Debido a la velocidad con que se presentan los problemas durante una puesta en marcha es necesario realizar las correcciones de la manera más ordenada posible, siguiendo un registro sistemático de las fallas encontradas y los trabajos para su enmienda.

II.2.1.-Ventajas económicas de la Nueva Planta de Neutralización y Blanqueo.- La Planta Alfa Laval 500 presenta niveles de consumo mucho más bajos que los de la planta antigua de 140 toneladas por día. Los insumos que más diferencia presentan son los de vapor y mano de obra. Pueden compararse estos valores en la tabla de la figura II.2-4.

FIGURA II.2-4

COSTOS DE OPERACIÓN EN NEUTRALIZACIÓN Y BLANQUEO
en términos de consumo para una tonelada de producto

SECCIÓN	INSUMO	DE LAVAL 140	ALFA LAVAL 500
NEUTRALIZACIÓN	Vapor (ton)	0.1343	0.0380
	Energía eléct. (kW-h)	9.7510	10.2912
BLANQUEO	Vapor (ton)	0.1159	0.0380
	Energía eléct. (kW-h)	4.1062	2.9760
NEUT. Y BLANQ.	Mano de Obra (h-h)	0.4800	0.0267

II.2.J.-Conclusiones de la Actividad: Con respecto a la actividad en general se pueden indicar las siguientes conclusiones:

- * La planta de refinación Alfa-Laval, constituye un ejemplo de la optimización de los procesos a través de la automatización. Esta le otorga confiabilidad tanto en el desarrollo de las secuencias como en los controles requeridos. Por la facilidad del monitoreo por computadora que ofrece, permite su operación cómoda por una sola persona desde una sala de control con la colaboración de un ayudante de planta.

- * La neutralización de un aceite requiere de una selección cuidadosa de los parámetros del proceso de acuerdo al tipo de aceite y a las características particulares que dentro de cada tipo puede encontrarse.

- * El responsable del sistema de la unidad de control de una planta de proceso automática necesita conocer no solamente sobre procesos si no también acerca de los principios de instrumentación, control y comunicaciones para el diagnóstico inmediato del origen de los problemas que se presenten.

- * Los principios básicos de un proceso químico son los que gobiernan una planta cualquiera sea el grado de automatización que esta ostente.

- * Con un adecuado diseño y selección de equipos de trabajo por lotes, como los filtros empleados en la sección de blanqueo, se puede garantizar la operación continua de una planta sin contratiempos.
- * La característica de la dilución de la soda cáustica en línea permite la variación instantánea de su concentración aparte de su flujo, mediante el comando desde la computadora por variación de los parámetros respectivos.
- * La característica de autolimpieza de las separadoras centrífugas mediante la descarga periódica de sólidos desde el bolo permite la operación por períodos relativamente largos sin necesitar destapar el equipo para su limpieza interior.
- * La alta capacidad de la planta obliga a una supervisión cuidadosa debido a que las fallas o deficiencias en el proceso que no sean detectadas por los sensores de alarmas producirán mermas o la necesidad del reproceso del aceite.
- * El ajuste de los parámetros de la neutralización es asistido notablemente por la información cuantificada de la pérdida instantánea que proporciona el sistema de monitoreo de pérdidas (*Alpha-Yield*).

II.3.- TERCERA ACTIVIDAD: Supervisión de la Planta de Hidrogenación

II.3.A.-El Organo Empresarial: El que se describe en II.1.A.

II.3.B.-Relación Profesional-Empleador: La que está descrita en II.1.B.

II.3.C.-Trabajo Profesional desarrollado.

II.3.C.1.- Cargo desempeñado: Supervisor de Planta.

II.3.C.2.- Funciones asignadas al cargo desempeñado: El cargo de Supervisor de Planta en la Planta de Hidrogenación tiene como funciones :

-**Programación de cargas** de acuerdo al programa establecido por la Jefatura del sector, las prioridades y la disponibilidad de hidrógeno y los servicios como vapor o agua.

-**Distribución de tareas** al personal de la planta de acuerdo a las prioridades que se tengan en producción o mantenimiento de la planta.

-**Coordinación interna y externa** sirviendo de eje del desarrollo de las actividades de los operadores de la planta y manteniendo una comunicación permanente con los Supervisores de las plantas relacionadas con la materia prima, el producto hidrogenado y con los Supervisores del sector de Servicios.

-**Supervisión del Proceso** por inspección de todos los puestos de trabajo de la planta.

-**Formulación de propuestas** de modificaciones físicas o de procedimiento para la optimización del proceso.

-**Programación del mantenimiento** del equipo de planta.

-**Gestión del suministro de insumos y repuestos** necesarios para la producción, la limpieza y el mantenimiento de la planta.

II.3.C.3.- **Tiempo de prestación de servicios** en la actividad descrita: Desde Octubre de 1993 hasta la actualidad. Esta responsabilidad se comparte actualmente con el Monitoreo de la Planta de Fraccionamiento.

II.3.D.- **Funciones desempeñadas que necesitaron el conocimiento de técnicas profesionales.**

II.3.D.1.- Tipo de Técnicas de Ingeniería necesarios:

- a) Conocimientos sobre hidrogenación. Principios de la reacción y factores influyentes.
- b) Conceptos básicos de la termodinámica de las reacciones.
- c) Transferencia de calor.
- d) Filtración.
- e) Técnicas de planificación de la producción para determinar la oportunidad del inicio del procesamiento de los lotes a hidrogenar, así como el número máximo de cargas que se pueden procesar completamente en la semana.

- f) Se utilizan además técnicas básicas de estadística para el tratamiento de los resultados que caracterizan a cada carga hidrogenada.
- h) Control automático: instrumentación y lazos de control.

II.3.D.2.- Cantidad y Tipo de Personal

administrado: El Supervisor tiene a su cargo cinco personas:

* Un operador de primera categoría a cargo de los Hidrogenadores 3 y 4 (pequeño: 10 ton y grande: 20 ton). Conoce completamente el equipo, las reglas de seguridad y los principios básicos de funcionamiento de los instrumentos de control esencialmente neumáticos que se usan.

* Un operador de segunda categoría a cargo de la operación de los tanques de pesaje (balanzas) y de los tanques de almacenamiento de producto hidrogenado. Se hace cargo del movimiento de las grasas que se han de procesar y de las procesadas. Tiene conocimiento del funcionamiento de las balanzas, las bombas que se emplean y del sistema de tuberías para el transporte de las grasas.

* Un operador de tercera categoría a cargo de la operación del Hidrogenador 2 (pequeño, 10 ton). Se hace cargo además del postratamiento del producto hidrogenado en ese equipo.

* Un operador de tercera categoría a cargo del postratamiento de las cargas procesadas en los hidrogenadores 3 y 4.

* Un ayudante de Planta a cargo de la limpieza de la planta y de tareas de apoyo o la supervisión y a los operadores de planta.

II.3.D.4.-Formatos de registro de actividades:

Una **hoja de reporte** en la cual se indica turno a turno la situación de los hidrogenadores, los productos que se hidrogenan y el estado de los tanques de almacenamiento de los productos hidrogenados. Se indica además la programación de la producción para el turno siguiente.

Además hay un **cuaderno de reportes** en el cual se registran las ocurrencias importantes de la jornada y los asuntos pendientes para el próximo turno.

II.3.E.-Objetivos, alcances y características principales de la actividad.

II.3.E.1.-Objetivo:

El objetivo es supervisar la planta de hidrogenación para que se cumpla el programa de producción sin perjuicio de la calidad del producto ni de la seguridad del personal y de los equipos.

II.3.E.2.-Equipo:

El equipo de proceso de la planta es principalmente el siguiente:

Hidrogenadores: Son los tanques reactores en los cuales se lleva a cabo la hidrogenación por lotes. Existen tres de ellos, de capacidades iguales a 20 toneladas uno de ellos y dos de 10 toneladas. Los tres son de características semejantes:

- a) Superficie de intercambio de calor para calentamiento y enfriamiento formada por haces de tubos verticales: ocho para el mayor y cuatro para los otros. Cada haz tiene 19 tubos y hacen para el de 20 toneladas un aproximado de 70 m² y para los de 10 toneladas 35 m².
- b) Agitador vertical centrado.
- c) Equipo de vacío: eyectores a vapor.
- d) Alimentación por la parte superior y descarga por la parte inferior. Embudo dosificador de catalizador.

Tanques Balanza: Se cuenta con cuatro balanzas mecánicas de 20 toneladas de capacidad cada una.

Tanques de postratamiento: Tres tanques para cada hidrogenador y de igual capacidad que éste. Los dos primeros en cada caso son agitados. Los segundos tanques cuentan además con un equipo de vacío que son eyectores a vapor.

Filtros prensa de placas y marcos: Se utilizan dos filtros por cada hidrogenador para el paso del aceite

hidrogenada del primer tanque de postratamiento al segundo y de este al tercero, respectivamente. Los filtros del hidrogenador de 20 toneladas tienen una capacidad de 500 kg en promedio y los filtros de los hidrogenadores pequeños tienen una capacidad de 250 kg. En todos los casos el medio filtrante es papel sobre lona, encima de los cuales se aplica una precapa de arcilla diatomácea.

Intercambiadores de calor: Dos intercambiadores de calor del tipo de placas para el enfriamiento del agua que se utiliza en el enfriamiento de cada unidad. El segundo de ellos es compartido por los hidrogenadores menores.

Otros: Además se utiliza la computadora de reportes y el radio de la planta de fraccionamiento, que como ya se ha indicado, es también de responsabilidad del Supervisor de hidrogenación.

II.3.E.3.-Tratamiento de los datos: Reportes.

Base de Datos de hidrogenación: en la cual se registra el número de carga, tipo de producto la masa procesada y el consumo de materias primas auxiliares o insumos para cada carga.

Resumen Semanal: Se extrae de la base de datos el conjunto correspondiente a una semana determinada.

Resumen mensual: También se hace un resumen de cada mes con las cantidades totales producidas por tipo de producto y los correspondientes consumos de materias primas auxiliares.

Base de Datos de trabajos de reparación solicitados con órdenes de trabajo con la indicación del sector responsable del trabajo.

Cuadro de incentivos de hidrogenación con la indicación del volumen de producción por equipo, para el pago correspondiente a los operadores.

II.3.E.4.-Trabajo de Gestión:

El Supervisor de la Planta de Hidrogenación es responsable del mantenimiento del equipo de planta y del suministro oportuno de insumos y servicios a la planta. Para tal fin realiza la gestión que se ha indicado ya en II.1.E.4.

II.3.E.5.-Reglas de Seguridad:

Por la presencia del hidrógeno que es un gas de alta explosividad resulta un sector de mucho cuidado. Se pueden indicar las siguientes reglas:

- * No hacer fuego en la zona de hidrogenadores ni realizar acción alguna que pueda generar chispas o sobrecalentamiento de material inflamable.

- * Detener el proceso y cerrar las válvulas de suministro de hidrógeno en el caso que se registre una fuga del gas. Avisar de inmediato a la planta de generación de hidrógeno.
- * Realizar la purga de los equipos en funcionamiento de manera cuidadosa para evitar arrastre de aceite y una eventual fuga de gas.
- * Realizar trabajos en la zona sólo si son reparaciones menores de emergencia y usando herramientas de bronce.
- * Cualquier trabajo mayor debe hacerse después del corte de suministro de hidrógeno y la evacuación de los equipos así como de una prueba de explosividad por presencia de gases.
- * En el caso de que se realice un trabajo en caliente debe desmontarse parte de la tubería de hidrógeno para garantizar el corte de suministro y llenar de agua los hidrogenadores y los tanques cercanos y posteriormente realizar la prueba de presencia de gases explosivos.
- * No permitir el funcionamiento de equipos con conexiones eléctricas sin aislar. Las botoneras de arranque de los equipos eléctricos deben ser a prueba de explosión.

- * Mantener libres de obstáculos y grasas las plataformas de la zona de hidrogenación y las escaleras.
- * Evitar mezcla la tierra de blanqueo gastada que se remueve en la limpieza de los filtros con los papeles y lonas que se emplean como medio filtrante para evitar su ignición espontánea.

II.3.E.6.- Efecto de los efluentes: En esta planta de hidrogenación la contaminación mayor se debe a la grasa presente en el agua que se desecha. La principal fuente de esta contaminación son los goteos producidos desde los filtros prensa de placas y marcos utilizados en el postratamiento de los aceites hidrogenados. Esta grasa se recibe sobre azafates instalados bajo cada filtro y por un conducto se deriva hacia el primer tanque del circuito. Sin embargo es difícil coleccionar totalmente lo que gotea, por lo cual hay una parte que cae al piso y luego de la limpieza va junto con el agua hacia la poza recuperadora de grasa de la planta. En esta poza también se recibe purgas de los sistemas de vacío de los hidrogenadores. Luego de la decantación la grasa es atrapada y se deriva el agua al desagüe. El contenido graso del agua descartada es muy bajo dado que la separación se mejora por la solidificación del material hidrogenado al exponerse al ambiente. De este modo el efecto de los efluentes ocontaminados con grasa, pudiendo ser emulsificadores y

portadoras de impurezas oleófilas, se reduce al mínimo.

II.3.F.- Desarrollo y sustentación de los conceptos fundamentales

II.3.F.1.-Teoría de Hidrogenación e Isomerización

La hidrogenación de aceites triglicéridos puede definirse como la reacción de enlaces dobles carbono-carbono de los ácidos grasos con hidrógeno, en presencia de un catalizador, para formar una mezcla sólida o semisólida. De este modo, la hidrogenación de un aceite vegetal incrementa su utilidad ya que el aceite hidrogenado puede ser usado en la manufactura de productos tales como mantecas o margarinas que permanecen semisólidas a temperatura ambiente.

En 1903 fue descrito por Norman un proceso para hidrogenación en fase líquida de materiales no volátiles como aceites vegetales. El proceso ha afectado a toda la industria de alimentos debido a que los subproductos lípidos de la manufactura de alimentos proteicos de soya, algodón, etc., pueden ser usados para una amplia variedad de alimentos.

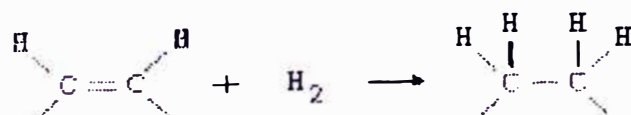


Figura II.3-1: Reacción de hidrogenación

La reacción de hidrogenación descrita en la mayoría de libros de texto de química orgánica muestra que la reacción de un enlace doble con hidrógeno en presencia de un catalizador produce un material saturado o completamente hidrogenado (figura II.3-1). Pero ¿qué ocurre realmente durante la reacción? Una forma de visualizar la secuencia de la reacción se muestra en la figura II.3-2. Primero, el enlace doble es atraído al catalizador, y el enlace abre. Una molécula de hidrógeno es también atraída al catalizador, el enlace H-H se parte, y los dos átomos de hidrógeno atacan entonces a cada carbono que tiene un centro insaturado. La molécula saturada es entonces liberada del catalizador.

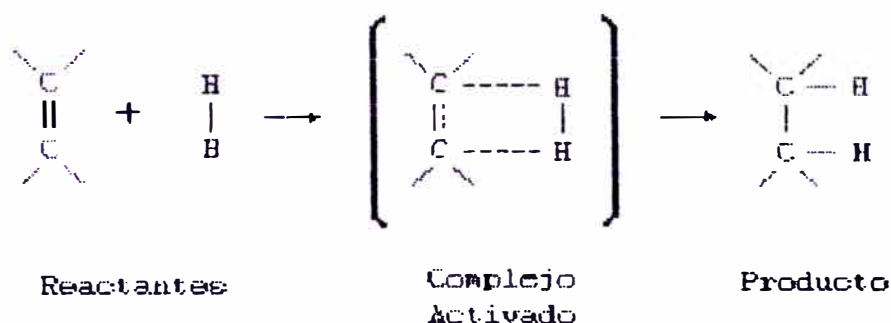


Figura II.3-2: Secuencia de la hidrogenación.

Esta reacción es bastante simple, pero si se aplica a la hidrogenación parcial de aceites, hay complicaciones. Estas se encuentran por comparación de los aceites hidrogenados bajo diferentes condiciones de presión y temperatura. Si la reacción estuvo

produciendo solamente enlaces dobles saturados, las grasas con el mismo valor medido del valor de Yodo (IV), deberían contener la misma cantidad de sólidos. Sin embargo, cuando el contenido de sólidos de estos aceites es determinado a un IV constante, sus curvas de sólidos contra temperatura son diferentes (figura II.3-3).

Estos resultados son contrarios a los esperados.

Dado que el enlace doble *trans* es más lineal que el enlace *cis*, un ácido graso con enlace doble *trans* tendrá un punto de fusión mayor. Una comparación de la cantidad de insaturación *trans* con las curvas de sólidos muestra que las grasas con más sólidos a baja temperatura tienen más insaturación *trans*.

Por eso, durante la hidrogenación, algunos enlaces dobles son saturados, pero además, algunos son cambiados de la forma *cis* a la forma *trans*.

Continuando, cuando se comparan las posiciones del enlace doble en el aceite original y los aceites hidrogenados, uno encuentra que los enlaces dobles remanentes en los aceites hidrogenados son cambiados a nuevas posiciones. Como se muestra en la figura II.3-4, el análisis original por ejemplo, del aceite de cártamo, muestra enlaces dobles en las posiciones 9 y 12. Sin embargo, los aceites parcialmente hidrogenados muestran enlaces dobles en todas las posiciones desde 6 hasta 12.

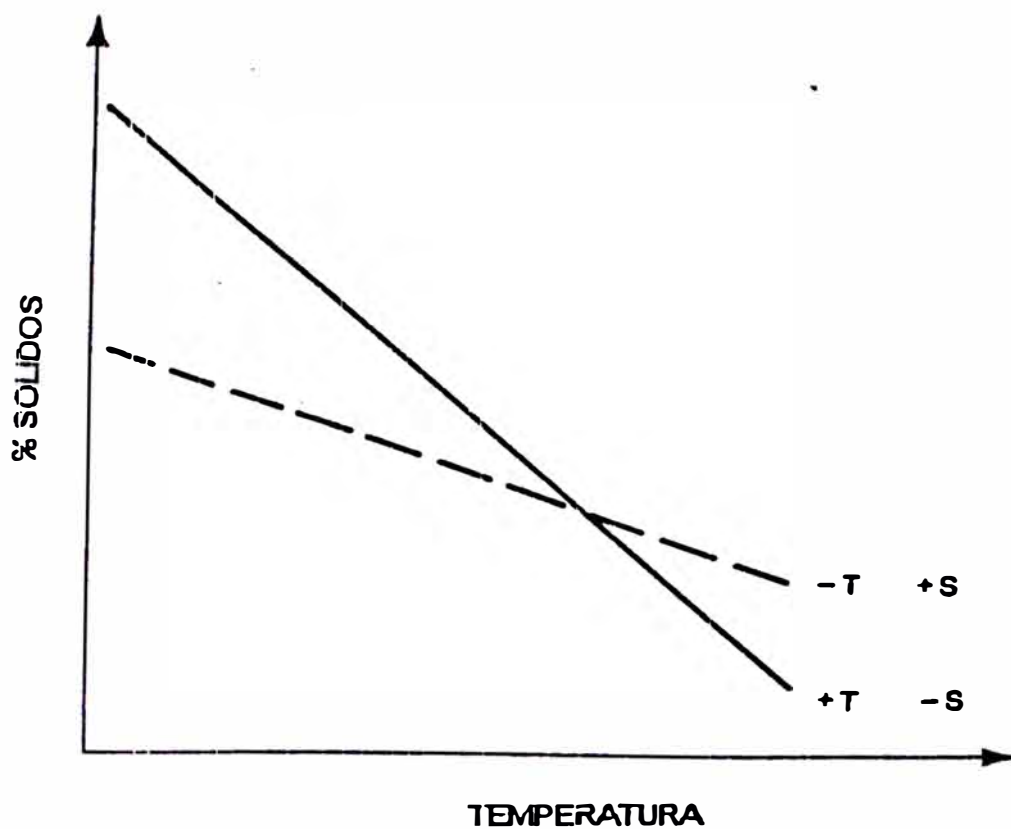


FIGURA II.3-3: CURVAS DE SÓLIDOS DIFERENTES PARA IV IGUALES

Aceite hidrogenado de cartamo

IV : 74.6

Posición	7	8	9	10	11	12	13
Cis	4.0	8.0	16.2	8.0	10.3	24.3	3.3
Trans	6.0	9.3	15.5	29.1	24.8	12.8	8.5

FIGURA II.3-4: DIVERSIFICACIÓN DE LA POSICIÓN DEL ENLACE DOBLE

Análisis más completos muestran estos enlaces en todas las diferentes posiciones que pueden estar ya sea de configuración *cis* o *trans*. La visión clásica que durante la hidrogenación un enlace doble resulta completamente saturado en un paso, no parece aplicable a grasas hidrogenadas parcialmente. Hay muchas reacciones produciéndose al mismo tiempo durante la reacción de hidrogenación. Para tratar de explicar estas reacciones, serán estudiados el ácido graso con un doble enlace, el ácido oleico. Cuando el oleato de metilo es parcialmente hidrogenado y las posiciones de los remanentes enlaces dobles se determinan, los enlaces son cambiados de su posición original.

II.3.F.2.- Selectividad

II.3.F.2.1.-Selectividad de Poliinsaturados

La selectividad de poliinsaturados es la preferencia por la reducción del contenido de poliinsaturados, de mayor a menor grado de insaturación, en una forma ordenada, sin aumentar el contenido de saturados.

II.3.F.2.2.-Selectividad de insaturación

Durante la reacción de hidrogenación se forman isómeros geométricos y de posición. Su formación depende de la concentración de hidrógeno en el sitio de la reacción. En

aceites no procesados, los ácidos grasos presentes en las moléculas de triglicéridos están presentes en 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 es el ácido elaidico, en el cual 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 la preferencia en su formación. Su configuración geométrica es más lineal, ocasionando un cambio en sus características físicas. Por ejemplo el punto de fusión para el ácido oleico es de 18.9°C mientras que para el ácido elaidico es de 43°C.

El mecanismo de este proceso podría explicarse de la siguiente manera: 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:

1. No hay hidrógeno 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 se forma el isómero "trans". Ya que esta es una forma más estable que la

"cis", es mucho más probable que el isómero "trans" vaya a ser predominante es este caso.

2. El níquel del catalizador ocasiona que un átomo de hidrógeno del carbono adyacente a la posición original del doble enlace sea perdido. Entonces se forma un compuesto intermedio 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 forma "trans".

3. 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.

II.3.F.2.3.-Selectividad de triglicéridos

Esta se refiere a la determinación del grado de saturación del triglicérido, comparado con su nivel de insaturación original, preevio al proceso de hidrogenación. En una reacción de alta selectividad, partiendo de una composición de triglicéridos 100% triinsaturados (UUU), se obtendría una mayor proporción de triglicéridos monosaturados, diinsaturados (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 poliinsaturados, y viceversa, una alta selectividad en triglicéridos está acompañada con una alta selectividad en poliinsaturados.

II.3.F.2.4.-Determinación de la selectividad

La determinación de la selectividad podría resultar entonces un poco compleja si tenemos en cuenta las posibilidades mencionadas. Sin embargo, se usan varios métodos relativamente sencillos y se aceptan con propósitos prácticos en la industria.

Uno de ellos se refiere a la determinación del índice de selectividad linolénica y linoleica. Este está basado en la composición de ácidos grasos, y tiene en desventaja el hecho 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 aceites marinos.

II.3.F.2.4.-Determinación del contenido de sólidos

Un método para la determinación de la selectividad que tiene 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 es la determinación del contenido de grasa sólida (SFC). La formación de isómeros "trans" influye 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.

El análisis del contenido de sólidos de un producto graso, permite determinar su funcionalidad 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 y 25°C nos indican la esparcibilidad del producto y su estabilidad física a temperatura de ambiente. Por otra parte, las determinaciones a 35-37°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 del producto 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 substituta de manteca de cacao presenta un nivel de sólidos muy alto a temperaturas bajas, con una caída drástica de los mismos a temperatura aproximada a 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 las temperaturas de 15 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 a temperatura de refrigerador, ni demasiado blanda a temperatura ambiente.

II.3.F.3.-Factores que influyen en la hidrogenación

Los resultados en una reacción de hidrogenación están 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 carga tras carga. Estos factores son:

II.3.F.3.1.-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 las especificaciones de los productos hidrogenados. Por este motivo es muy importante tratar los aceites en una forma rigurosa durante todas las etapas previas a la hidrogenación, de tal manera que se pueda 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 carga tras carga.

Es factible encontrar presencia de impurezas en algunos aceites, aún con pretratamientos rigurosos. Tal es el caso por ejemplo del aceite de pescado y el aceite de canola, debido a su excesivo contenido original. El contenido de impurezas remanentes en el aceite antes de la hidrogenación, debe ser tenido en cuenta, a fin de prever su posible efecto durante la reacción.

II.3.F.3.2.-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. Generalmente la agitación, va a influir 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, por encima del cual no habría un

beneficio importante. Desde el punto de vista práctico este es un parámetro que por lo general se mantiene fijo o con una variación muy limitada en los reactores convencionales. Los reactores *dead end* trabajan normalmente con velocidades de agitación entre 100 y 200 rpm.

II.3.F.3.3.-Temperatura:

El aumento de la temperatura, al igual que en toda reacción química acelera la reacción. Esta mayor velocidad de la reacción, sobrepasa el aumento en la solubilidad y dispersión del hidrógeno ocasionando por consiguiente una disminución en la concentración de hidrógeno disponible en la superficie del catalizador. Tal menor concentración de hidrógeno disminuye las posibilidades de que se presente una total saturación, y por consiguiente da lugar a una mayor selectividad.

II.3.F.3.4.-Presión:

El aumento de la presión aumenta la dispersión del hidrógeno en la fase líquida, aumentando por consiguiente la concentración de hidrógeno disponible en la superficie del catalizador. Esto ocasiona un aumento de la velocidad de la reacción pero no lo suficiente como para crear escasez en concentración de hidrógeno disponible. Por eso se espera menor selectividad.

II.3.F.3.5.-Cantidad de Níquel:

El aumento de la concentración de níquel disponible, ocasiona un aumento de la velocidad de la reacción, y por consiguiente una escasez relativa de hidrógeno en la superficie activa del catalizador, originando así una mayor selectividad en la reacción.

II.3.G.-Descripción del Proceso

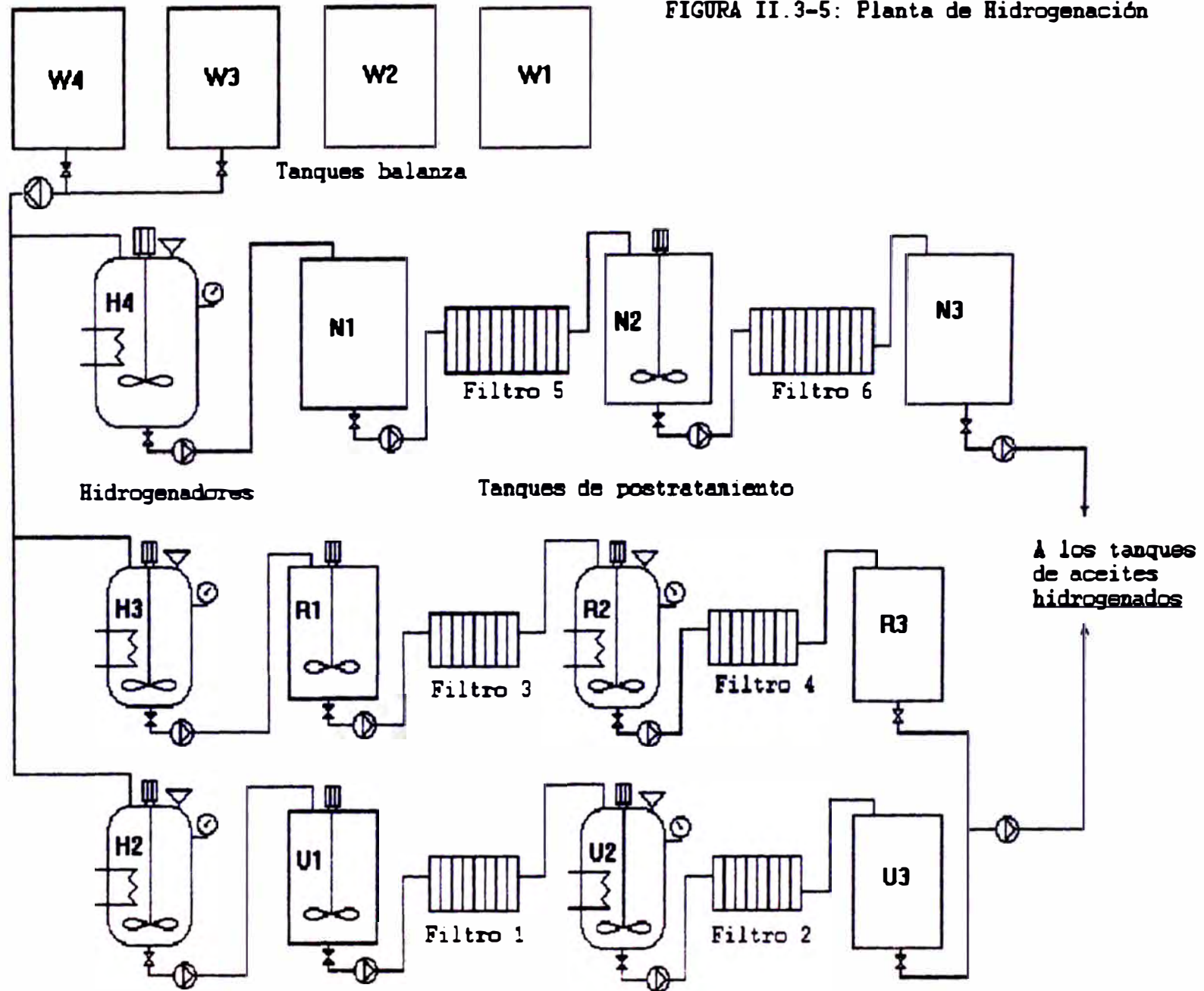
La planta trabaja por lotes en los tres hidrogenadores de 10, 10 y 20 toneladas. (Véase la figura II.3-5) El proceso completo sigue la misma secuencia para los tres equipos y puede describirse como sigue:

II.3.G.1.-Carga: Desde el tanque balanza se bombea la cantidad respectiva (20 o 10 toneladas) de aceite blanqueado al hidrogenador cuando este ya descargó el lote hidrogenado anterior.

II.3.G.2.-Calentamiento: Una vez cargado el aceite se calienta con agitación hasta que alcanza la temperatura de inicio de la reacción. Esta temperatura depende del producto que se va a preparar y el aceite que se va a procesar. En el Apéndice B se presenta una tabla con los valores típicos de temperaturas y presiones.

La última parte de esta etapa se realiza bajo vacío para remover la humedad remanente en el aceite. Luego se sella el equipo cerrando la válvula de evacuación y la de carga.

FIGURA II.3-5: Planta de Hidrogenación



II.3.G.3.-Reacción: Estando el equipo sellado y al vacío se adiciona por el embudo de la parte superior el catalizador en la cantidad adecuada según el producto. En el apéndice B se puede apreciar valores típicos de esta cantidad. Seguidamente se inicia la reacción por la inyección de gas hidrógeno a una presión también determinada por el tipo de producto. Durante la primera etapa de la reacción se produce un aumento de temperatura, el cual se tolera hasta que se alcanza la temperatura de reacción. Se mantiene esta temperatura del reactor por inyección de agua al sistema de intercambio de calor mientras dura la reacción. Durante la reacción se van tomando muestras del aceite en proceso para medir el índice de refracción que presenta y conocer el avance de la reacción y por último el punto final de la hidrogenación.

II.3.G.4.-Enfriamiento: Cuando se ha llegado al índice de refracción señalado como final para el producto que se está preparando, se detiene la reacción cerrando la válvula de hidrógeno y purgando de gases el equipo. Luego se procede a enfriar mediante agua inyectada a los intercambiadores del reactor. La temperatura al final de este enfriamiento es usualmente 100°C.

II.3.G.5.-Descarga: Una vez enfriado el producto hidrogenado se descarga hacia el tanque 1 de postratamiento (Tanque U1, R1 o N1 según se trate de los hidrogenadores 2, 3 o 4, respectivamente. Simultáneamente se

purga el sistema de intercambio de calor del hidrogenador.

11.3.6.6.-Desmetalizado: Desde el primer tanque de postratamiento se filtra por un filtro prensa de placas y marcos teniendo como medio filtrante lona y papel para filtro sobre los cuales se aplica una cama de ayuda filtrante diatomácea. La filtración se realiza recirculand, es decir, se recibe sobre el mismo tanque hasta que se clarifique por remoción del catalizador gastado. El filtro utilizado en esta etapa es conocido como prensa negra.

11.3.6.7.-Posblanqueo: El aceite pasa desde el tanque 1 hacia el 2 (U2, R2 o N2) a través de la prensa negra, ya desmetalizado. En el tanque 2 se mantiene a 100°C el aceite hidrogenado y se somete a vacío de 450 mbar aproximadamente. Aquí se le añade la tierra blanqueante en 0.125 % del aceite que se procesa. Seguidamente y luego de haberle dado un tiempo de contacto de 20 minutos se procede a la filtración a través de un filtro prensa de placas y marcos que lo mismo que el anterior se ha preparado con una precapa de ayuda filtrante. Esta operación se realiza también en ciclo cerrado hasta que se tenga resultados negativos para la prueba de níquel y la prueba de filtración, momento en el cual se pasa al tercer tanque (U3, R3 o N3) que es de recepción solamente y desde donde el operador de las balanzas envía el producto a los tanques de almacenamiento.

II.3.H.-Caso: Mejora en el postratamiento de aceites hidrogenados

II.3.H.1.-Antecedentes: El aceite hidrogenado desmetalizado proveniente del primer tanque de postratamiento se recibía en el segundo donde se trataba como se ha indicado antes a presión atmosférica con tierra blanqueante. Sin embargo este tratamiento no siempre daba resultados positivos en la eliminación del remanente de catalizador que quedaba de la primera etapa de desmetalizado. Para tal fin era necesario elevar la temperatura a un valor de 100 grados centígrados o más y esto para un aceite expuesto a la atmósfera, como se sabe, puede aumentar su contenido de productos de oxidación. Se conocía que el tratamiento con ácido cítrico en solución eliminaba el níquel disuelto en el aceite hidrogenado. Además utilizando ácido cítrico combinado con ayuda filtrante diatomácea para formar una precapa se había tratado el aceite hidrogenado de pescado para fraccionar, encontrando que la remoción de catalizador de níquel residual era prácticamente completa.

Los productos hidrogenados que han presentado mayor dificultad para la remoción de las trazas de catalizador son los provenientes de aceites marinos, ya sea de aceites blanqueados o de la estearina que se obtiene del fraccionamiento del ALMP. Probando el uso del ácido cítrico para el postratamiento eliminador del níquel, se trató estearina hidrogenada en una paila de 15 toneladas con agitación y al vacío con una solución saturada del ácido con una razón de 0.5 kg de éste por tonelada de estearina hidrogenada. El resultado fué favorable en la eliminación del níquel pero se tuvo operativamente mucha

dificultad al querer eliminar la humedad de la grasa.

II.3.H.2.-Puesta en Marcha: Del cuidado que se debía tener al calentar el aceite para su posblanqueo y la necesidad de eliminar el níquel mediante el uso de una solución de ácido cítrico se obtuvo como conclusión la necesidad de contar con un equipo que garantizara operación al vacío, alto grado de agitación y calentamiento controlado. Se realizaría la modificación a los circuitos correspondientes a los hidrogenadores de 10 toneladas dejando pendiente el trabajo para el mayor de 20 toneladas. En el diagrama de flujo de la planta de hidrogenación se aprecia que los tanques de esta modificación son el U2, para el Hidrogenador 2, y el R2 para el hidrogenador 3. Por eso se decidió el acondicionamiento de los dos tanques blanqueadores de una planta de refinación ya parada para utilizarlos como tanques de posblanqueo provistos de un mejor agitador, con calentamiento controlado y ya no expuestos al aire si no con eyectores de vacío para su evacuación y consecuente secado. Se encargó entonces a una empresa contratista externa el aumento de altura de los blanqueadores, su instalación posterior, la instalación de la tubería, equipo de vacío y de calentamiento necesarios para la operación. La planta de hidrogenación en el lado de los hidrogenadores menores se paró durante los quince días que duró el trabajo de instalación.

Características del equipo:

Cada uno de los tanques para el posblanqueo de los aceites hidrogenados instalados recientemente

en la planta tiene las siguientes características:

Capacidad: 10 toneladas

Operación: por lotes

Velocidad del agitador: 100 rpm

Impulsores del agitador: 3 niveles de 4 impulsores radiales

Equipo de vacío: Eyectores en tres etapas condensación entre etapas (Un sistema para los dos tanques)

Entrada de aditivos: Por embudo en la parte superior provisto de una válvula de compuerta.

Pruebas:

Cuando se terminó el trabajo de instalación de los nuevos U2 y R2 se hicieron las primeras pruebas:

Equipo de vacío y hermeticidad: Se puso en marcha el equipo de vacío actuando sobre cada tanque independientemente, estando cada uno de estos vacíos y sellados es decir con todas las entradas y salidas cerradas excepto la línea de evacuación. Se obtuvo un tiempo similar en ambos igual a 45 minutos para el alcance de una presión de vacío de 700 mbar. Esta presión se considera satisfactoria para la operación considerando que el aceite ya se ha secado en el hidrogenador antes de llegar a este tanque, y que el material a evacuar está constituido principalmente por el vapor del agua de dilución del ácido cítrico agregado en el mismo tanque.

Agitación: En vacío sólo se probó brevemente el sentido de rotación. Con carga oleosa se hizo el registro de la velocidad, se verificó que no se

formaran vórtices. Así mismo se verificó que la intensidad de corriente medida en el motor no estuviera por encima de lo especificado para su funcionamiento (35 A) ni sobre lo indicado para la llave térmica de protección (30 A).

Calentamiento: Se realizó la prueba de los serpentines de calentamiento en vacío, para verificar su hermeticidad, y luego con carga para verificar su efectividad. Dado que el aceite hidrogenado que llega al tanque está a una temperatura sobre los 80 grados el calentamiento en el tanque no resulta muy difícil considerando que se debe llegar a 100 grados. Las pruebas fueron satisfactorias tomando un tiempo de 15 minutos desde los 88 grados centígrados. En la operación normal, sin embargo el calentamiento puede empezarse desde el inicio del trasvase desde el primer tanque, para ahorrar tiempo.

Prueba en Proceso: Se procedió a postratar los hidrogenados de pescado del tipo comestible de la siguiente manera: Adición a 90 grados de 2 kg de ácido cítrico disueltos en 5 kg de agua. Luego de 10 min de homogenización y calentamiento paralelo a 95 grados aproximadamente se agregan 12 kg de tierra blanqueante (arcilla ácido activada). A continuación se da un tiempo de 20 minutos de agitación con la tierra, ya a 100 grados centígrados y bajo vacío. La humedad es removida rápidamente (obsérvese que es de sólo 0.05 %). La presión de vacío de trabajo fue de 680 mbar alcanzados en 10 minutos. Luego del blanqueo se procede a la filtración por un filtro prensa al cual se le aplica una precapa de ayuda filtrante (diatomácea). La filtración se realiza primero en circuito cerrado y luego de clarificar el aceite

se procede a pasarlo al tanque final. Se decide este paso por las pruebas de presencia de tierra y níquel las cuales deben dar resultado negativo.

Ahorro con el nuevo post-tratamiento de hidrogenados: Anteriormente los aceites hidrogenados ya post-tratados, que salían de la planta de Hidrogenación eran adicionalmente tratados con tierra activada para asegurar la remoción de trazas de catalizador. Actualmente esa práctica se ha eliminado, reduciéndose el costo justamente en la medida que costaba ese tratamiento final llamado de "pulido" del producto. La reducción es entonces, por cada tonelada de producto:

en vapor: 0.15 ton

en energía eléctrica: 4.8 kW-h

en mano de obra: 0.4 horas-hombre.

Conclusiones: De acuerdo a lo observado en la puesta en marcha y al desempeño del sistema de posblanqueo en la actualidad, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- * El posblanqueo en "húmedo" con posterior secado al vacío y con adición de ácido cítrico es más efectivo que el realizado a presión atmosférica y en "seco".
- * La obtención de resultado negativo en la prueba de níquel es más factible con el nuevo método de tratamiento de los aceites hidrogenados.
- * La mejora en el proceso de postratamiento de los aceites hidrogenados se ha logrado con la modificación física del tanque y la

habilitación de una plataforma sobre él sin cambios en el circuito que pudieran representar dificultades en la operación.

- * La implantación del nuevo sistema de posblanqueo ha reducido el tiempo de tratamiento tomando en cuenta que durante la filtración en recirculación se requiere esencialmente remover la pequeña cantidad de tierra añadida y no "blanquear", y que el reproceso por presencia de níquel en el aceite es innecesario.
- * La reutilización del equipo operativo fuera de uso representa un buen camino de mejora del proceso con ahorro en el costo del producto.
- * Una planta se puede modernizar no solamente en los aspectos de control y automatización sino asimilando procedimientos innovadores que mejoren el proceso.

II.3.I.-Conclusiones de la actividad: Respecto a la supervisión de la planta de hidrogenación se puede concluir en lo siguiente:

- * Una labor de supervisión se sustenta en la comunicación constante con el personal a cargo. Es importante hacer conocer los objetivos que se persiguen en lo general como en lo que corresponde a cada tarea concreta.
- * El proceso de hidrogenación requiere especial cuidado de los parámetros a controlar para poder obtener el producto con las características deseadas. Los aceites endurecidos que tienen el

mismo punto de fusión pueden ser de composición muy diferente y por lo tanto útiles para propósitos diferentes.

- * Una planta no automatizada brinda una gran flexibilidad para operar fuera de los esquemas establecidos y esto es a veces necesario de realizar para poder procesar o reprocesar (en postratamiento) productos en la justa medida de lo requerido.
- * La dependencia de la operación humana en una planta puede significar mayores probabilidades de error pero si se concientiza al personal esa cualidad se transforma en mayor posibilidad de reflexión. Un grupo de personas con enfoques distintos resulta muy útil y de desempeño fructífero si se tiene claro el objetivo.
- * La hidrogenación de aceites es un proceso de mucho cuidado debido a que la posibilidad de reproceso es prácticamente nula si el punto de fusión es muy alto o si el contenido de sólidos no es el adecuado. Procesos como el de refinación o el de fraccionamiento, en cambio sí permiten esta posibilidad casi siempre.
- * Una planta no automatizada como la de hidrogenación permite afianzar los conocimientos sobre procesos tanto por la transparencia de las operaciones manuales como por la posibilidad de asimilar la información que los operadores por la experiencia pueden brindar.

I I I . -RESUMEN

Nuestra labor profesional en la Planta COPSA ha constituido una etapa de aprendizaje y de aporte dentro del campo de la industria oleaginosa. Como se indicó en la introducción, el orden correcto de los procesos expuestos es: Refinación, Hidrogenación, Fraccionamiento. Las plantas respectivas junto a la de Desodorización constituyen la parte medular del procesamiento del aceite en la fábrica.

La planta refinadora vendida por la firma sueca Alfa-Laval procesa el aceite neutralizándolo y blanqueándolo a una razón de 500 toneladas por día. Esta planta, que se controla por PLC's y cuenta con un sistema de monitoreo por computadora fue puesta en marcha hace tres años y forma parte nuestra experiencia en la actividad profesional. Un proceso como el de neutralización en forma continua necesita contar con varias posibilidades de tratamiento y la planta Alfa-Laval del tipo *Multimix* presenta esa cualidad brindando diferentes procesos según el tiempo de contacto de la soda con el aceite y la dosificación de este reactivo en uno o dos puntos. En la práctica, para los crudos que normalmente se procesan como de pescado, soya, algodón, girasol, canola, son utilizados el proceso *Intermix* y *Refining*. El segundo se usa para el crudo de algodón, aunque este también se ha procesado con buenos resultados con el proceso *Intermix*. El responsable del control en esta planta cuenta con abundante información del estado del material procesado y de los equipos al instante y al poder variar también al instante la concentración de soda o la dosificación de tierra decolorante puede efectuar correcciones de acuerdo a su criterio con la base del conocimiento del proceso. La rapidez con la cual

se debe actuar le exige el desarrollo de una gran habilidad para el diagnóstico de los problemas.

Un aceite blanqueado libre de impurezas garantiza una buena hidrogenación y posterior desodorización. Si el aceite contiene jabón, por ejemplo, éste actuará como veneno del catalizador atrapándole y reduciendo su área superficial con la consecuente dificultad de desarrollar la fijación del hidrógeno. La hidrogenación a cargo de operadores especializados marca la diferencia en las plantas del sector Refinerías de la fábrica, otorgándole un rol distinto al profesional responsable, quien no solamente tiene que decidir técnicamente sino que tendrá que conducir tácticamente las tareas del grupo. Lo mismo que en otros procesos se deben respetar los valores deseados de los parámetros para el buen logro del producto endurecido.

En la Planta de Fraccionamiento Tirtiaux el trabajo ha sido distinto por la naturaleza compleja del proceso de la formación y crecimiento de los cristales de aceite hidrogenado de pescado. Los fabricantes de la planta son son conocedores del fraccionamiento pero principalmente trabajando con aceite de palma. Por eso para ellos mismos la puesta en marcha de esta planta y las pruebas de garantía tenían aún naturaleza de prueba e investigación. La filtración es un factor limitante tanto por el tamaño especial de cristales requerido para garantizar una buena oleína como por la relativamente baja tasa de filtración que han demostrado los filtros florentinos para el ALMP.

La actividad desarrollada en la planta COPSA representa una experiencia de aporte nuestro, con el criterio técnico basado en la formación profesional, y un acelerado aprendizaje de la

práctica en procesos y de la avanzada tecnología en el control de los mismos.

IV. - BIBLIOGRAFIA

- Bailey, A. E.; Aceites y Grasas Industriales; Editorial Reverté; Zaragoza, España; 1961.
- Deffense, Etienne; Theory and Practice of Fraccionation; Presentado al Seminario sobre Modificación de Grasas; Society of Chemical Industry: Oils & Fats Group; Chester, Inglaterra; 5 de Diciembre de 1985; 31 p.
- Deffense, Etienne y Tirtiaux, Alain; Fraccionamiento: Una Tecnología Futurista; Presentado al II Seminario Internacional sobre Extracción y Refinación de Aceites; Guadalajara, México; 20 al 30 de Noviembre de 1988; 25p.
- Hastert, Robert; Hydrogenation: Proceedings Of An AOCs Colloquium; AOCs; Champaign, Illinois; 1987; 246 p.
- Hernández, Edgar; Consideraciones Prácticas en la Hidrogenación de Grasas y Aceites; páginas 52 a 71 en la publicación del VI Simposio Latinoamericano sobre Optimización de Procesos de Refinación de Aceites y grasas; Foz de Iguazú; 18 al 21 de Abril de 1993.
- Werner Zschau; Blanqueo y Reducción de color; AOCs Latinoamérica; páginas 31 a 51 en la publicación del VI Simposio Latinoamericano sobre Optimización de Procesos de Refinación de Aceites y grasas; Foz de Iguazú; 18 al 21 de Abril de 1993.

V. - APENDICES