

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**UN METODO PARA LA LOCALIZACION DE CUELLOS**  
**DE BOTELLA EN PLANTAS DE PROCESO.**



**T R S I S**  
**PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A N**

**HECTOR GERARDO ALCANTAR CARDENAS**  
**JOSE GUILLERMO CAMPOS CASTILLO**  
**MIGUEL ANGEL LINARES SANDOVAL**

**1 9 8 0**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION.

Es común en cualquier tipo de Industria, ya sea Manu-  
facturera o de Proceso, el encontrar, en una o varias etapas de  
la producción, limitaciones para alcanzar la productividad de-  
seada y es imposible asegurar que existe solo una causa de este  
problema, ya que la producción no es un sistema aislado de los-  
factores de Programación, Mantenimiento y demás presentes en la  
elaboración de un producto, sino que existe cierta inter-rela-  
ción entre ellos, para el logro de un objetivo específico, esto  
es, la operación óptima de la planta.

De esta manera, es factible englobar a todos los obs-  
táculos que frenan la producción bajo el nombre genérico de cue-  
llos de botella, ya sea que se trate de una operación deficien-  
te de un equipo o baja capacidad de éste, así como de una mala -  
programación de la producción, o bien un bajo mantenimiento co-  
rrectivo y/o preventivo, etc.

La finalidad del presente trabajo, es el planteamien-  
to de una metodología capaz de permitir la localización de di-  
chos cuellos de botella en plantas de proceso, aún cuando con -  
ciertas correcciones podría ser aplicable a la Industria de - -  
transformación en general.

Es obvia la imposibilidad de abatir completamente los

cuellos de botella, ya que al corregir uno, siempre surgirá -- otro, tendiendo así el tamaño de la planta al infinito, pero -- la aplicación de este método permite a todos los equipos traba-- jar a una capacidad similar, evitando con ello al máximo, la -- presencia de inversiones osciosas. Este procedimiento requie-- re de ciertos datos, los cuales deben reunir características -- dependientes principalmente del tipo de proceso, distribución-- y tamaño de la planta.

Para recabar esta información, en ningún caso se in-- terfiere con los programas de producción ó mantenimiento por-- que los reportes cotidianos, es la única base necesaria para -- la evaluación que se pretende.

La metodología anterior se ha bautizado con el nom-- bre de "Método de los Factores", y consiste en la determina-- ción de una serie de relaciones denominadas factores, siendo -- cada uno de ellos capaz de detectar deficiencias del proceso,-- las cuales pueden ir desde un mal trabajo de mantenimiento, -- hasta un desperdicio de materia prima, o bien pueden señalar -- el equipo o área que sea insuficiente, hasta dar una visión de su buena o mala operación. El método de los factores es lo su-- ficientemente versátil para ser aplicado a cualquier planta de proceso, constando de las siguientes partes:

1.- Factor de diseño:

Permite localizar equipos o áreas que por su diseño, tienen una capacidad notablemente inferior a la teórica de la planta.

2.- Factor de utilización:

Este factor es capaz de cuantificar la eficiencia de la programación en la utilización de cierto equipo, área de proceso o línea de producción.

3.- Factor de servicio:

Con él puede evaluarse el grado de capacidad del departamento de mantenimiento.

4.- Factor de Productividad.

Con este factor puede visualizarse la forma de operación de planta y dá una idea bastante clara del trabajo realizado por el departamento de producción.

5.- Factor de Calidad:

Cuando esta relación es evaluada, se obtiene un panorama sobre la efectividad del control de calidad del producto.

6.- Factor de Rendimiento.

Esta relación dá una idea concisa de la eficiencia en la utilización de materias primas.

Podrá pensarse y con justa razón, que este método es una optimización, nosotros lo hemos considerado como tal, ya que utiliza el equipo existente para obtener los mejores resultados en cuanto a la eficacia y eficiencia de operación en los procesos, pero queremos hacer notar la diferencia entre esta y la optimización clásica. La optimización clásica requiere describir en forma matemática los fenómenos que tienen lugar a lo largo del proceso, para ello es necesario determinar las variables dominantes y relacionarlas de tal forma que el volumen o el costo de producción o la cantidad de insumos, queden como una función de ellas, y aplicando el cálculo diferencial, puede llegarse a una maximización o minimización, según sea el caso más deseable.

Obviamente, ésta es una ruta sumamente teórica para optimizar un proceso, ya que en ella se ignoran las dificultades presentes en el campo para cambiar los variables de operación, o bien, para mantener fija o fijas algunas de ellas.

Existe también otro método factible de aplicar por la optimización clásica y en él se trata el proceso como si fuera una "caja negro", esto es, manteniendo fijas todas las variables excepto una, se desarrollan análisis estadísticos sin importar lo sucedido en cada parte, área o equipo de producción, logrando así la obtención del valor óptimo de cada variable, ca paz de permitir acrecentar la producción o minimizar su costo.

También pueden detectarse varios inconvenientes para-

la utilización de este método, entre ellos, pueden citarse los siguientes:

- a).- Es necesario hacer una gran número de pruebas en la planta, lo cual además de interferir en el programa de producción presenta el peligro de destruir lotes completos que aún siendo pequeños representan un desembolso indeseable. Esto puede ser resuelto mediante la instalación de una planta piloto, que también requiere una importante inversión.
- b).- Debe también mencionarse el problema existente en caso de obtener resultados poco representativos durante las pruebas, originados por errores humanos o cualquier otra causa que conduzcan a una conclusión errónea y con ello, a una mala decisión.

Es conveniente señalar, que aún cuando ya se ha mencionado cada uno de los factores y su utilización, la definición junto con la metodología de cálculo, además de la interpretación de los resultados, se describe en el capítulo siguiente.

La justificación para la aplicación de este método, consta primordialmente de dos condiciones:

La primera de ellas y la más importante, se cumple cuando la capacidad de producción real de la planta es significativamente más pequeña en comparación con la de diseño.

Y la segunda, se presenta en el momento en que en el mercado existente para el producto es capaz de absorber el aumento de producción originado al optimizar la planta.

En base a lo anterior, puede predecirse el fuerte impacto producido por el "Método de los Factores", tanto en los renglones micro como macro-económico, ya que las condiciones - necesarias para su aplicación están regidas por ellos.

El presente trabajo es por lo tanto, capaz de proporcionar una metodología sencilla, y a la vez económica, con la cual se detecten y corrijan los errores críticos inherentes a la producción, con el fin de maximizarla a un mínimo costo.

A continuación se mostrará en forma somera el contenido de cada uno de los capítulos que forman este trabajo, con el fin de proporcionar al lector un panorama general con el cual puede determinar su utilidad.

a).- En el segundo capítulo, denominado "El Método de los Factores", se mencionarán las ventajas más importantes que se pueden obtener con la aplicación del método. A continuación se definirán todos los factores, explicándose para cada uno de ellos los siguientes puntos:

- Definición
- Relación algebraica
- Errores que pueden detectar

- Personal o departamento capacitado para reportarlo y/o delegar responsabilidades.

b).- Obviamente para la aplicación del método, es imprescindible la necesidad de conocer el mercado del producto para satisfacer el consumo, por lo cual es necesario efectuar un estudio económico con el que pueda obtenerse una conclusión capaz de justificar la inversión requerida para la aplicación.

En el caso específico de este trabajo, se desarrollará en el tercer capítulo, llamado "Justificación del Método, un estudio de mercado para el hule SBR, en virtud de que se ha decidido aplicar el "Método de los Factores", a una planta de obtención de este producto que opera en nuestro país.

c).- El capítulo cuarto constará de la aplicación del Método de los Factores a la planta antes mencionada.

En ésta parte se hará una descripción del proceso. A continuación se expondrán las bases y criterios de trabajo con que se ejecutará la evaluación.

Enseguida se mostrará la forma de recopilación de datos y la manera en que se hacen los cálculos y presentaciones de resultados.

- d).- En el quinto capítulo, se determinará la localización de los cuellos de botella, además se dan las recomendaciones para la solución de los conflictos, también se hará un estimado de la inversión requerida para efectuar el estudio.
- e).- Finalmente, en el último capítulo se presentarán las conclusiones a este trabajo.

## C A P I T U L O    I I

### EL METODO DE LOS FACTORES.

#### Introducción.-

En el capítulo precedente se mencionó como finalidad, reducir las deficiencias de producción, lo cual visto desde -- otro punto de vista, permitiría aumentar la utilidad de un proceso, y de esta manera una mayor oferta del producto en cues-- tión.

El método de los Factores aprovecha la tecnología exis tente, localizando sus deficiencias y propone soluciones a és-- tas.

Cuenta además con las siguientes ventajas:

- A) Facilidad para su realización y corto tiempo de -- evaluación.
  - B) Versatilidad en su aplicación.
- A) Facilidad para su realización y corto tiempo para su evalua ción.

Es común que todas las plantas efectúen durante su operación, una serie de reportes periódicos, ya sea diarios, semanales, o mensuales en cada una de las diferentes áreas que componen el proceso, lo cual es de suma importancia para la aplica-- ción del método de los factores, debido a que éste requiere--

únicamente de ésta información para localizar los cuellos-de botella capaces de frenar la producción de la planta.

Por esta razón, la recopilación de la información requerida, es sumamente fácil de hacer, con la que el tiempo requerido para desarrollar este estudio es significativamente -- corto, los reportes accesorios mencionados al inicio de este inciso son:

i).- Del Departamento Producción.- Este debe informar la cantidad producida en un cierto intervalo de tiempo, -- así como el consumo de materia prima.

ii).- Del Departamento de Mantenimiento.- En el cual, se mencione la frecuencia de reparaciones para cada uno de los equipos en esa temporada.

iii).- Del Departamento de Programación.- En él tiene que reportar los planes de producción, para el mismo período.

iv).- Del Departamento de Ingeniería.- Debe esperarse de este reporte una recomendación de las condiciones más adecuadas para la operación.

v).- Del Departamento de Control de Calidad.- Debe dar información de la proporción de producto dentro de especificaciones que es capaz de producir la planta.

b) Versatilidad en su aplicación.

Los requerimientos citados en el párrafo anterior, permiten visualizar que el campo de aplicación del método de los factores no está restringido a ninguna división dentro de la industria de proceso, éste indica que puede ser utilizado en cualquier tipo de industria, tales como la petroquímica, alimenticia, papelera, textil, farmacéutica, etc., y con un mínimo de organización dentro de la planta se pueden obtener resultados en los que se detecten y eliminen los cuellos de botella.

Al hacer la aplicación de este método a la operación de algunas plantas, debe presentarse especial interés a la interpretación de los resultados obtenidos, debido a que es muy posible caer en un error en la traducción de éstos a decisiones, la cual se debe a que generalmente el personal capacitado para dictaminar las soluciones no es el encargado de hacer este tipo de estudios técnicos, y por lo mismo, carece del conocimiento profundo del procedimiento que se realizó. La mayor forma de eliminar este problema es contar con la asesoría de los ejecutivos del método de los factores.

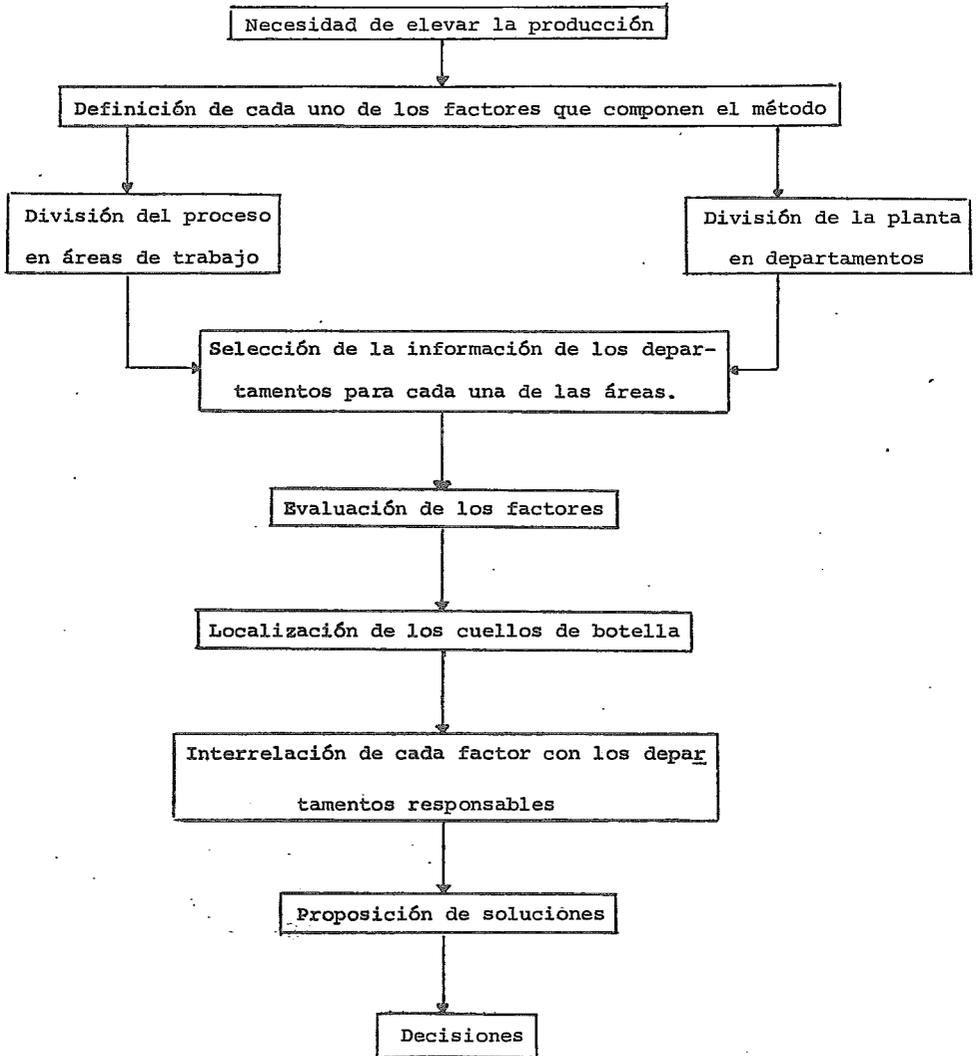
PRESENTACION DEL METODO.

Para aplicar el método de los factores, es necesario haber detectado la necesidad de aumentar la producción, ya sea-

porque el mercado es capaz de absorber este aumento y/o bien -- porque el rendimiento para el cual fue diseñada la planta es considerablemente inferior al real.

El método de los factores es un procedimiento lógico-que ayuda a identificar los cuellos de botella; para lograr este objetivo se deben desarrollar básicamente los pasos mostrados en el siguiente diagrama:

SECUENCIA PARA LA APLICACION DEL METODO DE LOS FACTORES



a).- Como se observa en el diagrama anterior, se debe especificar, entender e interpretar físicamente cada uno de los factores siguientes: los cuales forman la parte medular del método:

- I.- Factor de diseño.
- II.- Factor de utilización.
- III.- Factor de servicio.
- IV.- Factor de productividad.
- V.- Factor de calidad.
- VI.- Factor de rendimiento.

Más adelante se expondrá detalladamente cada uno de los elementos y su método de cálculo.

b).- El paso a seguir es realizar una división tanto del proceso como de la planta, esta operación es necesaria por varias razones, las cuales son:

I.- Resulta más fácil tratar con subsistemas que con el sistema completo y porque así puede trabajarse con partes individuales, bien definidas. Además estudiando aisladamente cada una de estas secciones, puede encontrarse cuál de ellas no opera correctamente.

II.- Para calcular cada uno de los factores, es imprescindible tener dividido al personal por departamentos, de

bido a que los datos necesarios para su evaluación deben ser generados por éstos grupos.

III.- Una vez evaluados los factores, se confieren -- responsabilidades a los departamentos encargados con el fin de eliminar las deficiencias.

Para el caso especial del presente trabajo, se optó-- por subdividir la planta petroquímica en las siguientes áreas,--

- i) Area de recepción y purificación de Butadieno
- ii) Area de recepción y purificación de Estireno
- iii) Area de recepción y purificación de Solvente
- iv) Area de químicos Auxiliares
- v) Area de purificación de producto.
- vi) Area de acabado y empaque de producto.
- vii) Area de almacenamiento de producto.
- viii) Area de servicios.

Debe aclararse que la división está en función del -- tipo de complejidad del proceso a tratar.

Básicamente la disposición anterior se hace porque -- cualquier planta de proceso puede dividirse en cuatro partes:

- i) Materias Primas.
- ii) Transformación de materias primas a productos.
- iii) Productos
- iv) Servicios

Una vez que hemos dividido la Planta en áreas, es necesario dividir la Empresa en Departamentos o grupos de trabajo, los cuales serán los responsables de las áreas mencionadas. Para este efecto, planteamos la siguiente distribución:

- a) Departamento de programación
- b) Departamento de Ingeniería.
- c) Departamento de mantenimiento.
- d) Departamento de control de calidad.
- e) Departamento de producción.

a).- Como es el caso de la mayor parte de las plantas de proceso, éstas están diseñadas para producir varios productos. El control de la elaboración de cada una de éstas, lo ejerce el Departamento de Programación, el cual se encarga de conjugar las necesidades del grupo de ventas, con las limitaciones de producción: de tal manera que la planta siempre esté en la mejor posición para satisfacer a sus clientes. De acuerdo a esto, el Departamento de Programación será encargado de proporcionar los reportes del tiempo de uso de un equipo o área de proceso para cada uno de los productos: los cuales son útiles para evaluar el "factor de utilización".

Es conveniente señalar que de no existir variedad en la producción, la existencia de este factor debe permanecer ya que se verá en su definición, esto no se restringe por haber o no distintos productos, ya que entonces se analizarán los volú-

menes de producción.

b).- El Departamento de Ingeniería, será el encargado de proveer los datos de diseño de cada uno de los equipos de -- proceso y servicios, tales como capacidad de diseño, junto con su especificación, los cuales se requieren para determinar el -- factor de diseño.

c).- El Departamento de Mantenimiento y Conservación, es vital para realizar operaciones tanto preventivas como correctivas a la planta: entendiéndose como ésta, aquéllas medidas que ayuden a conservarla en las mejores condiciones posibles.

La información para realizar este servicio ya sea para efectuar reparaciones, limpieza, etc., en cada equipo y/o -- área de proceso, ya sea en paros programados o no, será recabada a través del Departamento de Mantenimiento y será determinante para obtener el "factor de servicio", y con él visualizar la eficiencia de mantenimiento.

d).- La calidad de producto debe estar debidamente -- controlada, por el Departamento de Control de Calidad: el cual se preocupará y responsabilizará porque todos los atributos necesarios para los consumidores estén presentes en el producto.

Por lo tanto, este grupo deberá realizar un registro que reporte las cantidades obtenidas de producto dentro y fuera de respecificaciones a lo largo de un cierto período de producción y con ello, podrá calcularse el "factor de calidad".

e).- Finalmente, el Departamento de Producción es de los más importantes en la planta, debido a que supervisa las áreas del proceso en cuanto al control de variables capaces de influir en la producción; tales parámetros pueden ser: presión, temperatura, flujo, etc., además está obligado a cumplir con el programa de producción fijado con el Departamento de Programación. Será por lo tanto, el encargado de suministrar reportes de operación, consumos de materia prima y servicios, y de producto obtenido, los cuales son útiles para calcular los factores de utilización, servicio, productividad y rendimiento.

### Los Factores

A continuación, se definirá y mostrara la forma de cálculo de cada uno de los factores, conforme al siguiente orden:

- a).- Definición.
- b).- Expresión algebraica.
- c).- Personal o departamento capacitados para reportarlo y/o responsabilizar del factor específico.
- d).- Evaluación numérica.
- e).- Errores que pueda detectar.

#### 1.- Factor de diseño.

Es la relación existente entre la capacidad del equipo menor y la teórica de la planta (Capacidad de diseño), en teniendo como equipo menor aquel que cause un déficit en la

producción y origina problemas en el proceso, debido a su baja-capacidad.

Por lo tanto, la expresión algebraica será:

$$FD = \frac{CME}{CDP}$$

donde FD = Factor de diseño.

CME = Capacidad del equipo menor, ésto es, el equipo originador del cuello de botella.

CDP = Capacidad de Diseño de la Planta.

El departamento encargado de el análisis de este factor es el de Ingeniería, debido a que cuenta con los datos de diseño del equipo presente en la planta.

La determinación de dicho factor debe hacerse para cada una de las áreas de proceso, con la cual se determinará el equipo problema para esa sección.

En su evaluación debe contarse con los datos de diseño, mismos que se listarán en la forma indicada en la sig. hoja.

Con la finalidad de obtener un control más efectivo sobre ésta información, se recomienda construir el listado por áreas ya que si se realizará en forma general, su manejo se haría con más dificultad que en la forma recomendada.

Estos datos no pueden ser aplicados directamente al método, sino que deben transformarse a la "cantidad equivalente de producto terminado, para la totalidad de los equipos. Para ilustrar lo anterior, se expone el siguiente ejemplo:

AREA:

CANTIDAD	DESCRIPCION	IDENTIFICACION DEL EQUIPO	CAPACIDAD	CONDICIONES DE OPERACIONES	OBSERVACIONES
1	Cosedora de sacos	300 - 025	40 sacos/hr.		

Cálculo de la Cant. equivalente:

Peso de cada saco = 25 Kg/Hr.

Capacidad de diseño = 40 sacos/Hr.

Cantidad equivalente =  $\frac{(25\text{Kg.})}{\text{saco}} \times \frac{(40 \text{ sacos})}{\text{Hr.}} = 1000 \text{ Kg/Hr.}$

Una vez obtenida la capacidad equivalente de producto en toda la maquinaria de proceso, podrá localizarse para cada área la parte más crítica, con lo que podrá evaluarse su "factor de diseño". Así, suponiendo que para la sección donde se encuentra la máquina cosedora del ejemplo anterior, ésta resultará poseedor la menor cantidad equivalente y la capacidad de la planta tiene un valor de 1500 Kg/hr., entonces, el factor de diseño para esa área sería: (ver hoja siguiente):

$$FD = \frac{CDE}{CDP} = \frac{1000}{1500} = 0.667$$

CDE = 1000 Kg/Hr:          CDP = 1500 Kg/Hr.

Por lo tanto, el factor de diseño para el área en que se halle la máquina cosedora de sacos, será 0.667.

Este valor por sí sólo no dá pauta alguna para determinar si la máquina cosedora es o nó un cuello de botella, ya que el criterio determinante surgirá por comparación con los valores correspondientes a los demás equipos de otras áreas.

Teóricamente, el valor óptimo para este factor o cualquiera de los enunciados más adelante, es la unidad, pero esto significaría que todos los equipos tendrían la misma capacidad-

CUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDADES

INSTALADAS Y REQUERIDAS

AREA :

<u>CANTIDAD</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>CAPACIDAD UNITARIA</u>	<u>CAPACIDAD EQUIVALENTE</u>	<u>CAPACIDAD REQUERIDA</u>	<u>OBSERVACIONES</u>
1	Cosedora de sacos	40 Sacos/hr	1000 Kg/hr.	1500 Kg/hr	

equivalente de producto terminado, lo cual resulta ser muy difícil cuando se trabaja bajo condiciones reales, por lo tanto, debe pretenderse aumentar el valor de todos los factores, hasta hacerlo lo más próximo posible a la unidad.

La descripción anterior del factor de diseño, permite visualizar que la magnitud de este es capaz de indicar cuál equipo ó área está originando un cuello de botella, debido a tener una capacidad de diseño sensiblemente menor a la de la mayoría de los demás que existen en la planta.

## 2.- Factor de utilización.

Puede definirse el factor de utilización como el cociente existente entre el tiempo consumido para la fabricación del producto, incluyendo el tiempo consumido en reparación del equipo, y el tiempo total disponible, es decir, los 365 días anuales.

Traduciendo el párrafo anterior al lenguaje algebraico, se obtiene la siguiente expresión.

$$F.U. = \frac{T_u + T_r}{T_t}$$

donde FU = Factor de utilización.

Tt = Tiempo total (365 días anuales)

Tu = Tiempo utilizado para producir

Tr = Tiempo usado en reparación del Equipo.

Para evaluar el factor de utilización, se hace imprescindible la cooperación de 3 departamentos, programación, producción y mantenimiento, cuyas funciones serían las siguientes.

a).- Programación.- Este departamento es quien elabora los planes de ventas en base a los pedidos de los clientes y con esos planes se determina una programación durante un cierto lapso.

b).- Producción.- El personal de producción es el encargado de ejecutar los planes elaborados por el Departamento de Programación, esto quiere decir que producción es quien opera el equipo y debe solucionar todos los problemas inherentes al funcionamiento de él.

c).- Mantenimiento.- Este departamento es quien auxilia a producción a resolver las dificultades generadas por razones mecánicas en la planta aunque ésta no es su única función, ya que además del mantenimiento correctivo, también debe ejercer un mantenimiento preventivo de los equipos críticos de la planta.

Por el anterior planteamiento, puede concluirse que la sección preponderante en la determinación del factor de utilización, debe ser la de Programación, ya que ésta es la más enterada de las necesidades de la planta, pero no por ello deben menospreciarse la función de los otros departamentos, los cuales deberán proporcionar sus respectivos reportes, con el fin de poder utilizarlos como se indicará en el siguiente ejemplo:

Pensemos en una planta petroquímica con una capacidad para desarrollar una variedad de 3 tipos de hule (A, B y C) a lo largo de un año, durante 3 turnos diarios y que de acuerdo a la oferta del mercado, deberá manufacturar distintas cantidades de cada uno de sus productos: entonces el departamento de programación construirá un reparto similar al siguiente.

Tipo de Hule	Cantidad requerida (Ton.)	Tiempo de producción (mesas)
C	1500	0.9
A	3000	1.8
C	1500	0.9
B	5000	3.0
A	4000	2.4
B	5000	3.0

Este listado muestra por orden de prioridades las cantidades y tipo de hule a producir durante el año.

Estas necesidades de la empresa, obligan al Departamento de producción a elaborar un plan de trabajo, que le permita obtener estas cantidades dentro de un tiempo de entrega razonable y sobre todo competitivo en el mercado.

Basándose en el reporte de programación, listado anteriormente y en la experiencia cotidiana, sobre el tiempo requerido para producir una cierta cantidad de hule, deberá hacerse un plan de trabajo para el Departamento de Producción, similar al mostrado en la tabla siguiente.

Bimestre	Tipo de Hule	Cantidad a Producir (ton)	Cantidad Acumulada (Ton)	Tiempo requerido (meses)	Observaciones
1	A	1830	1830	1.1	
	B	0	0	0	
	C	1500	1500	0.9	Se cumple primer pedido
2	A	1170	3000	0.7	Se cumple segundo pedido.
	B	670	670	0.4	Se cumple tercer pedido
	C	1500	1500	0.9	
3	A	0	0	0	
	B	3330	2000	2	
	C	0	0	0	
4	A	2330	2330	1.4	
	B	1000	5000	0.6	Se cumple cuartdo pedido.
	C	0	0	0	
5	A	1670	4000	1.0	Se cumple quinto pedido
	B	1670	1670	1.0	
	C	0	0	0	
6	A	0	0	0	
	B	3330	5000	2	Se cumple sexto pedido
	C				

Este plan de trabajo está desglosado para permitir vi sualizar en que bimestre cubrirá totalmente cada uno de los pe- ríodos, pero lo más importante, es que contempla las necesidades planteadas por programación y dá una solución a los compromisos con los clientes.

Pero para lograr que producción pueda seguir su plan- de trabajo, se hace imprescindible la cooperación del Departamen- to de Mantenimiento, el cual deberá proporcionar un servicio co- rrectivo a los equipos, cuando éstos no puedan operar debido a- fallas mecánicas importantes y también tendrá que ofrecer un -- programa de mantenimiento preventivo, para lo cual requerirá de paros periódicos en algunas áreas, según lo permita el Departamen- to de Producción.

Para el ejemplo que nos ocupa, el Departamento de Man- tenimiento deberá reportar únicamente los tiempos en que inter- vino en cada equipo, de la siguiente manera:

Tiempo usado para reparar equipos	1,750 hrs.
Tiempo usado para limpieza (programado)	876 hrs.
Total de mantenimiento (tr)	2,626 hrs.

Por su parte, Producción reporta su trabajo como se - indica a continuación:

Tiempo usado para producir (Tu) = 3,506 hrs.

Este dato debe producirse al restar del tiempo total-anual (8760) las horas consumidas por mantenimiento y las pérdidas por tiempos muertos de operación (2,626 hrs.).

Así, usando la relación mencionada anteriormente para el factor de utilización, se obtiene:

$$Fu = \frac{Tu + Tr}{Tt} = \frac{3506 + 2626}{8760} = 0.7$$

La comparación de este valor con la unidad es un índice de la eliminación de los tiempos "muertos" en la Planta, esto es cuando el factor de utilización es cercano a uno, puede asegurarse que el tiempo perdido es mínimo.

El origen de los tiempos muertos puede ser variado, - pero algunas de las razones más frecuentes son:

- Mala Operación.
- Deficiencia en el mantenimiento preventivo.
- Falta de materia prima o mala calidad de ella.
- Uso de equipo obsoleto.

Finalmente, para resumir, puede decirse que el factor de utilización es un valor capaz de mostrar la eficiencia con - que se ocupó el equipo para producir.

### 3.- Factor de Servicio.

Se entenderá el factor de servicio, como la relación- existente entre el tiempo de operación de planta y la suma de -

este tiempo con el usado para reparación para este período.

Por lo tanto, su expresión algebraica debe ser:

$$F.S. = \frac{Top}{top + Tm}$$

En la que:

F.S. = Factor de servicio

Top = Tiempo de operación (hrs.)

Tm = Tiempo de mantenimiento (hrs.)

Si se compara esta relación con la mencionada en el punto anterior, podrá observarse que los datos requeridos para evaluar una y otra, son básicamente los mismos, por lo cual para calcular el factor de servicio, son necesarios los reportes de los Departamentos de Producción y Mantenimiento, cuyo uso se muestra a continuación.

Del ejemplo anterior, usado en el Factor de utilización, tiene:

Tiempo de operación (Top) = 3506 hrs.

Tiempo usado por mantenimiento (Tm) = 1750 hrs.

Sustituyendo en la relación anterior:

$$FS = \frac{Top}{Top + Tm} = \frac{3506}{3506 + 1750} = 0.67$$

Fácilmente puede visualizarse que para aumentar el valor de este factor, es necesario disminuir al máximo el tiempo-

de mantenimiento, lo cual puede lograrse siempre que la calidad del trabajo de este Departamento sea óptimo.

#### 4.- Factor de Productividad.

El factor de productividad se describe como el cociente entre la cantidad total de producto obtenido (dentro y fuera de especificaciones) y la cantidad teórica a producir. En otras palabras, es la relación entre la producción real y la de diseño.

La cantidad producida realmente, se obtiene de los reportes de producción, mientras que la producción de diseño puede calcularse multiplicando la capacidad de diseño de área o -- equipo de que se trata, por la diferencia entre el tiempo total anual y el tiempo de mantenimiento.

Lo anterior induce a describir matemáticamente al factor de productividad como:

$$FP = \frac{CR}{CD} = \frac{CE \times (TU)}{(Tt) PH}$$

Donde:.

FP = Factor de productividad,

CR = Capacidad real (ton/).

CD = Capacidad de diseño (Ton/).

Tt = Tiempo total (hrs).

TU = Tiempo de utilización (hrs.).

CE = Capacidad equivalente de mat. prima (ton/hrs).

PH = Producción horaria (ton/hr).

De la ecuación anterior puede determinarse que para; calcular el factor de productividad es necesario contar con los reportes de operadores y supervisores de producción en cada una de las áreas, además de las capacidades de diseño proporcionadas por el Departamento de Ingeniería.

Siguiendo con el ejemplo que nos ocupa:

$$CE = 25 \text{ Ton/hr.}$$

$$Tt = 8760 \text{ hr.}$$

$$TU = 6134 \text{ hr.}$$

$$PH = 30 \text{ Ton/hr}$$

$$FP = \frac{25 \text{ Ton/hr. (6134)}}{30 \text{ Ton/hr. (8760)}} = 0.584$$

El factor de productividad evaluado de esta forma, -- ofrece un criterio de la eficiencia en la operación de la planta la cual se traduce en una medición de la aptitud del Departamento de Producción.

Es conveniente señalar la preponderancia de este factor en el aspecto económico, ya que es un índice de la producción de la planta, y por lo tanto su influencia en el progreso monetario de la empresa es sumamente importante.

##### 5.- Factor de Calidad.

Es la razón dada por la cantidad de producto vendido o dentro de las especificaciones y la cantidad total de produc-

to obtenido. En base a esta definición, algebraicamente puede expresarse el factor de calidad como sigue:

$$FC = \frac{Pe}{Pt} = \frac{Pe}{Pe + Pf}$$

En esta ecuación se tiene que:

FC = Factor de calidad.

Pe = Cantidad de producto dentro de especificaciones (Ton/año).

Pt = Cantidad total de producto (Ton/año).

Pf = Cantidad de producto fuera de especificaciones (Ton/año).

El grupo responsable de la maximización de este factor, deberá ser al de control de calidad, el cual deberá reportar las cantidades de producto, dentro y fuera de especificaciones, en cada parte del proceso, así como las de producto total. Enlistados similares a los siguientes. Siguiendo con el ejemplo de la planta de producción de hule:

Reporte Global:

Año	Hule "A" (Ton/año)	Hule "B" (Ton/año)	Hule "C" (Ton/año)	Total (ton/año)
1974	5000	11000	5000	21000
1975	6000	9000	4000	19000
1976	8000	7000	6000	21000
1977	7000	10000	3000	20000

Desglose:

Reporte para hule "A"

Año	Producto dentro de especificación (Ton/año).	Producto fuera de especificación (Ton/año)	Total (Ton/año)
1974	4 475	525	5000
1975	5 478	522	6000
1976	7 064	936	8000
1977	6 335	665	7000

Para Hule "C"

Año	Producto dentro de especificación (Ton/año).	Producto fuera de especificación (Ton/año).	Total (Ton/año)
1974	4 250	750	5000
1975	3 480	520	4000
1976	5 400	600	6000
1977	2 640	360	3000

A partir de estos reportes, el cálculo del factor de calidad puede hacerse con mucha facilidad, ya que todos los datos requeridos por la ecuación citada al inicio de esta descripción aparecen en ellos.

Así por ejemplo, para calcular el factor de calidad -- para el hule "C" en el año de 1977, deberá efectuarse ésta operación:

$$PF = \frac{Pe}{Pt} = \frac{Pe}{Pa + Pf} = \frac{2640}{2640 + 360} =$$

$$PF = 0.88$$

De esta manera puede construirse una tabla que muestre los factores de calidad para cada uno de los distintos tipos de hule en todos los años que abarque el estudio. Es conveniente - ilustrar una forma recomendable de esta tabla:

AÑO	<u>FACTOR DE CALIDAD</u>		
	Hule "A"	Hule "B"	Hule "C"
1974	0.895	0.923	0.85
1975	0.913	0.92	0.87
1976	0.883	0.89	0.90
1977	0.905	0.86	0.88

Con la evaluación del factor de calidad, puede conocerse la eficacia de conversión de materias primas a producto terminado, aún cuando ésto no implica por fuerza la presencia de reacción química en el proceso, ya que el método es aplicable aún a fábricas manufactureras.

Como se mencionó anteriormente, el Departamento de Control de calidad, es el encargado de la maximización de este factor, ésto quiere decir que su principal función, en la optimización de la planta, estriba en dar directrices capaces de propiciar el incremento o afirmación en el valor de dicho factor.

Pueden existir varias razones por las que el factor de calidad no tenga un valor deseable, pero las más comunes, son:--

- Materia prima de baja pureza.
- Deficiencia en las condiciones de operación, tales-- como tiempo de reacción, presión, temperatura, flujo

etc.

- Uso de tecnología deficiente.
- Bajo control en la obtención de productos indeseables, causado por poca habilidad o descuido de los operadores.

Factor de Rendimiento.

La definición de este último factor, se considera como el cociente dado por la cantidad total de producto entre la cantidad de materias primas consumidas, tomando para esta determinación como base un cierto tiempo de operación.

Por lo tanto, la expresión algebraica capaz de describir este factor será:

$$FR = \frac{Pt}{Mp}$$

donde:

FR = Factor de rendimiento

Pt = Cantidad de producto total obtenido (Ton/Día)

Mp = Cantidad de materia prima utilizada (Ton/Día)

Para obtener los datos requeridos en la determinación de este factor, es necesaria la colaboración del Departamento de producción. Continuando con el ejemplo que se ha venido siguiendo, se evaluará el factor de rendimiento para cada uno de los tres tipos de hule en el año de 1977.

El grupo de producción, deberá reportar para el año de 1977.

Año	Hule "A" (Ton/año)		Hule "B" (Ton/año)		Hule "C" (Ton/año)	
	PT	MP	MP	PT	MP	PT
1977	7000	7500	10800	10000	3300	3000

Cálculando para el hule "A" en el año de 1977:

$$FR = \frac{PT}{MP} = \frac{7000}{7500} = 0.933$$

De forma similar se evalúa para los otros dos productos, obteniéndose la siguiente tabla:

Año	Hule "A"	Hule "B"	Hule "C"
1977	0.933	0.926	0.909

Estos valores son un excelente índice para conocer la eficiencia en el consumo de materias primas, esto es, sirve para juzgar desde otro punto de vista la competencia del Departamento de Producción, ya que éste es el encargado de vigilar constantemente y minimizar la pérdida de materia prima.

Una vez determinada la evaluación de los seis factores que componen el método, en cada una de las áreas es conveniente sintetizar los resultados obtenidos en una tabla, cuyo formato se muestra a continuación.

AREA	(Ton/año)							(Ton/año)
	CAPAC. TEORICA	FD	FU	FS	FP	FC	FR	CAPAC. REAL
REACCION	60	1	0.95	0.8	0.7	1	1	31.92

Para encontrar el valor de la capacidad real, es necesario multiplicar el producto de todos los factores correspondientes a una área específica por su capacidad teórica. Así por ejemplo en el área de reacción, el cálculo se haría de la siguiente forma:

$$\text{Capacidad Teórica} = 60 \text{ Ton/año.}$$

$$FD = 1$$

$$FU = 0.95$$

$$FS = 0.8$$

$$FP = 0.7$$

$$FC = 1$$

$$FR = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= \text{Cap. Teórica} (FD) (FU) (FS) (FP) (FC) (FR) = \\ \text{real} &= 60 \frac{\text{TON}}{\text{AÑO}} (1) (.95) (.8) (.7) (.1) (1) = 31.92 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Para calcular este resultado es necesario involucrar a todos los factores, ya que cada uno de ellos contribuye en forma independiente para el abatimiento de la producción.

De esta manera es fácil localizar cuál de todas las áreas de proceso es crítica por su baja capacidad y haciendo un análisis más profundo de ella, puede determinarse cuál de todos los factores influye más para reducir la eficiencia de dicha área.

Por lo tanto, el método es capaz no solo de localizar cuellos de botella, sino que permite dar prioridades a los problemas más importantes de la planta.

Resumiendo: el método de los factores es capaz de determinar la localización y magnitud de los cuellos de botella, además proporciona un criterio para responsabilizar a los grupos involucrados en la baja eficiencia de producción y puede también determinar cuales equipos son insuficientes en comparación con la capacidad teórica de la planta: en el aspecto económico debe hacerse hincapié en la baja inversión necesaria para su aplicación y en el pequeño desembolso requerido para tomar las medidas necesarias encaminadas a la optimización de la planta, lo cual es el punto de mayor importancia para obtener la capacidad deseada.

### C A P I T U L O   I I I

#### ESTUDIO DEL MERCADO POTENCIAL DE CONSUMO DE HULE ESTIRENO-BUTA DIENO.

##### 1. JUSTIFICACION DEL METODO DE LOS FACTORES.

Una de las dos condiciones básicas que deben reunirse para justificar la aplicación del método de los factores a cualquier planta, es la presencia de un mercado potencial para el producto cuya producción se trata de aumentar; la otra como se mencionó en el primer capítulo, consiste en que los problemas presentes en elaboración, sean tales que produzcan un deterioro significativo en la capacidad de diseño de la fábrica.

En esta parte del trabajo, se pretende hacer un estudio del mercado potencial para el hule estireno-butadieno, con el fin de cuantificar cuales son los requerimientos de este -- producto, y de esta manera decidir la viabilidad de aplicación del método a una planta productora de este material, ya que se presupone que la planta en cuestión, tiene obstáculos para obtener la producción para la cual fué diseñada.

Se hará una revisión de la situación de la industria-hulera en nuestro país, en términos de consumo aparente y de -- capacidad instalada, con el fin de hacer una proyección de la demanda y visualizar de esta forma las ventajas que se obtendrían al ampliar la producción de hule estireno-butadieno (que en -- adelante llamaremos SBR), apto para la elaboración de llantas,

pisos, moldeados, suelas y tacones, pavimentos, etc.

## 2. Situación de la Industria hulera en México.

### A). Principales centros de consumo.

Básicamente el consumo de hule se localiza en las siguientes Ciudades:

Guadalajara, León, México y Monterrey.

Esto se debe a que en ellos están ubicados las industrias que requieren del SBR como material prima para la elaboración de sus productos como son las fábricas de llantas y zapatos principalmente.

### Distribución y Comercialización de SBR.

Los principales centros de producción, son las ciudades de Altamira Tams., y Salamanca, Gto, ya que en ellas se encuentran las plantas de mayor capacidad en nuestro país. Aunque estos no son los únicos, ya que también los puertos importantes del pacífico como Mazatlán, Manzanillo y Salina Cruz, junto con Tampico y Veracruz, del lado del golfo hacen las fuentes principales de abastecimiento hacia el Centro e Interior de la República.

El problema primario con que cuenta la distribución es el alto costo del transporte desde los puertos marítimos, hasta los centros de consumo, aún cuando se cuente con suficientes vías de comunicación, ya que el sistema montañoso de nuestro --

CENTROS DE CONSUMO  
DE SBR EN MEXICO



CENTROS DE DISTRIBUCION DE  
SBR EN MEXICO



país tiende a influir en el incremento de los fletes, que finalmente se ve reflejado en el precio del SBR.

#### CAPACIDAD INSTALADA.

La tabla que se muestra a continuación, presenta una relación de las capacidades instaladas para producción de SBR, - lo cuál es una información sustancial para determinar el mercado potencial de este hule.

TABLA I

AÑO	CAPACIDAD INSTALADA (Ton./año)
1968	20,000
1969	20,000
1970	33,500
1971	43,000
1972	43,000
1973	59,500
1974	59,000
1975	59,500
1976	64,500
1977	64,500
1978	84,000

CAPACIDAD INSTALADA DE HULE SINTETICO EN MEXICO

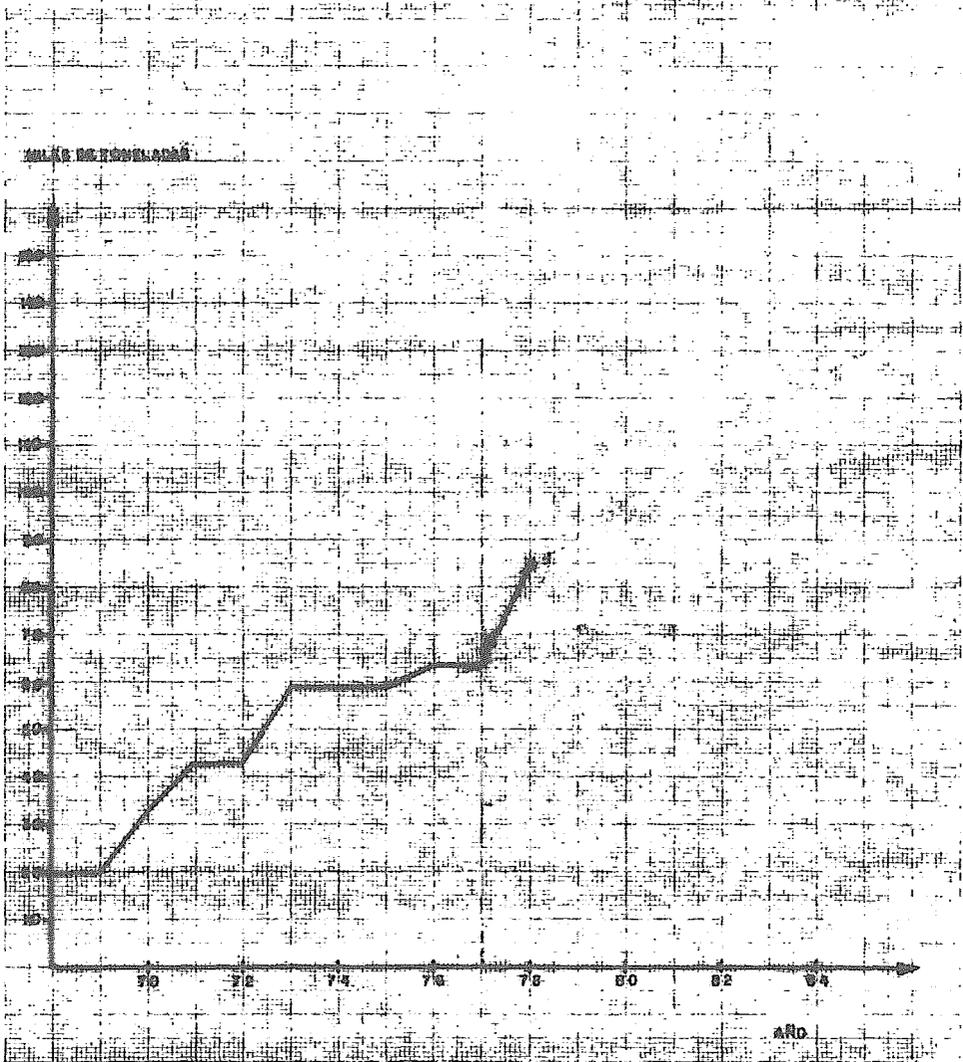
FUENTE: CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA HULERA.

REPORTES ANUALES 1968 - 1978.

#### Consumo

Aún cuando en este caso no se trata de un producto perecedero, la evaluación del consumo aparente es un índice lo suficientemente confiable como para poder asemejarlo al consumo -

## CAPACIDAD INSTALADA



## C A P I T U L O   I V

### APLICACION DEL METODO DE LOS FACTORES DE UNA PLANTA DE HULE

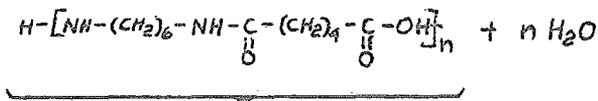
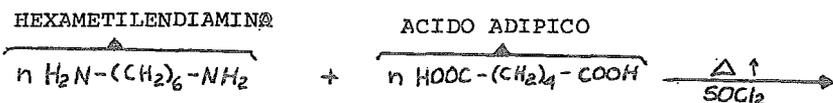
Podría asegurarse sin exagerar que la producción de -- caucho, tiene su principal exponente en la fabricación de SBR de bido a que éste polímero satisface alrededor del 60% del consumo de hule ya sea natural ó sintético, y aún cuando su mayor demanda, está enmarcada en primer lugar por la fabricación de llantas, también los consumos para la elaboración de suelas para calzado-pisos y últimamente como aditivo en los asfaltos para carreteras deberán considerarse.

El caucho sintético surgió en época de la segunda guerra mundial como consecuencia de las limitaciones en el abastecimiento de hule natural, para ello, fué necesario profundizar en el estudio de las reacciones de polimerización es decir en aquellas cuyo producto principal es un polímero, describiendo a éste como una "molécula muy grande, constituida por unidades que se repiten".

Dichas unidades reciben el nombre de monómeros. Los po límeros pueden clasificarse en dos grandes grupos según su reacción de obtención:

a) Polímeros de condensación.- Formados por la elimina ción de pequeñas moléculas como el agua).- La característica prin cipal de éste tipo de polímeros es que al formarse, el monómero-rompe completamente un enlace quizás los polímeros más conocidos

por reacciones de condensación sean las poliamidas (nylons) - -  
ejemplo:



NYLON "6,6" (DACRON)

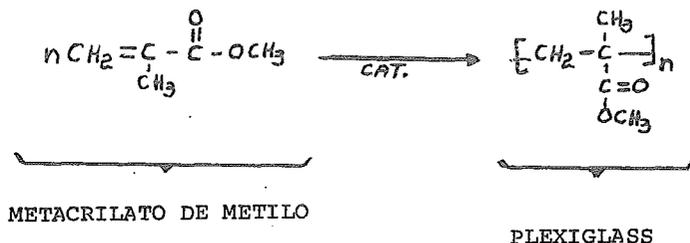
Pueden citarse otros ejemplos de polímeros por condensación como los poliuretanos, poliesters, entrecruzados (bakelita), derivados de la celulosa, etc.

Se dice que las reacciones de polimerización por condensación están en equilibrio, por lo que los polímeros formados no alcanzan grandes pesos moleculares, pero lo que realmente se trata de explicar con ésta expresión es la importancia de la estequiometría de la reacción, ya que como en el caso del ejemplo del nylon 6,6 la estequiometría es rigurosamente 1:1 y cuando - ésto no es respetado, la continuidad de las cadenas poliméricas se ve obstaculizada.

b) Polímeros de adición.- Este grupo de polímeros se caracteriza por que la unidad monómera no rompe completamente - ninguno de sus enlaces, por lo que debe partirse de moléculas-- que contengan uno ó más uniones dobles, de las cuales se requerirán los electrones  $\pi$  (PI) para formar los enlaces de la poli

merización. Este tipo de reacción puede efectuarse por cualquier mecanismo, ya sea aniónico, catiónico ó por radicales libres.

Existe una gran variedad de polímeros importantes generados por éste medio como son el cloruro de polivinilo (PVC), -- polimetacrilato de metilo (plexiglass o lucite), hule de estireno-butadieno, etc. ejemplo:



Como puede observarse en los dos ejemplos citados anteriormente (el de nylon 6,6 y el de plexiglas). Las reacciones de polimerización pueden llevarse a cabo entre unidades moleculares de la misma especie, (en cuyo caso el producto se denominará homopolímero) ó monómeros de distinta naturaleza (resultando así-- los llamados copolímeros). Para el fin específico del presente-- trabajo, son de vital importancia las reacciones de adición por radicales libres entre distintas unidades monómeras, ya que el-- SBR es un copolímero de estireno butadieno cuyo proceso de fabri-- cación involucra radicales libres.

La polimerización se inicia con un catalizador, (comun-- mente persulfato de potasio) y el peso molecular del producto se regula con mercaptano, lo que es de suma importancia, ya que los

distintos tipos de SBR existentes en el mercado, deben sus peculiares características al tamaño de la molécula construída - en la polimerización.

Las reacciones químicas generalmente ocurren en caliente (50°C aproximadamente) mediante la técnica de polimerización en emulsión, que consiste en elaborar una mezcla cuya receta típica para monómeros vinílicos es, según D.J. Shaw:

Monomero	100 gr.
Agente Emulsionante,	2-5 gr. (jabón de ácido graso)
Catalizador	0.1-0.5 gr. (K <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )
Agua	180 gr.

Usando ésta técnica de emulsión, son fácilmente superables las dificultades asociadas con la disipación del calor de reacción, además de que se ejerce un mejor control del peso molecular y la viscosidad del sistema varía muy poco con el transcurso de la reacción.

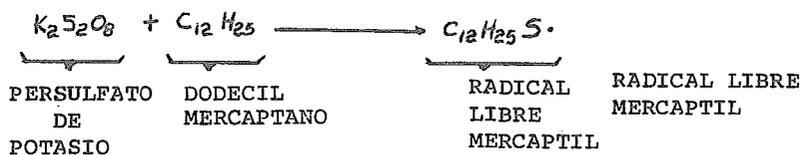
Para el caso de la fabricación de SBR el "Technical-Advisory Comitee of rubber Reserve" adopto la siguiente formula.

## PARTES POR C/100 DE MONOMERO

BUTADIENO	75
ESTIRENO	25
AGUA	180
AGENTE EMULSIONANTE	5
MERCAPTANO	0.5
PERSULFATO DE POTASIO	0.3
TEMPERATURA DE REACCION	50°C
TIEMPO DE REACCION	12 HRS.
CONVERSION	75%

Como toda reacción que se efectúa por radicales libres, la polimerización consta de 3 partes principales: iniciación, -- propagación y terminación. A continuación se ilustra el mecanismo:

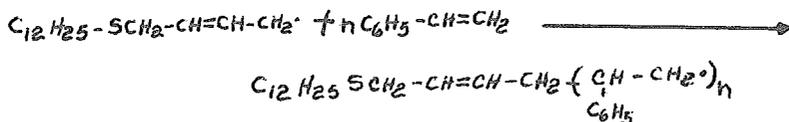
## GENERACION DE RADICALES LIBRES:



## 1. INICIACION



## 2. PROPAGACION.



Débito a las características específicas que cada polímero requiere para su fabricación, su proceso de polimerización puede efectuarse por cualquiera de las siguientes cuatro técnicas:

- a) POLIMERIZACION EN MASA
- b) POLIMERIZACION EN SOLUCION
- c) POLIMERIZACION EN EMULSION
- d) POLIMERIZACION EN SUSPENSION

a) POLIMERIZACION EN MASA.

Al monómero insaturado en forma líquida, libre de inhibidor, se le agrega un catalizador polimerizante (Azo ó peróxido) y se vacía al molde cuya forma debe ser la del producto final que se pretenda obtener.

El molde se tapa y el sistema se calienta aproximadamente a 60°C con el fin de propiciar la descomposición térmica del catalizador en sus radicales libres que abrirán las dobles ligaduras del monómero quedando éste listo para iniciar la propagación de la polimerización, traduciéndose esto en un espesamiento del líquido hasta que la viscosidad es tal que éste solidifica tomando la forma interna del recipiente. La pieza así obtenida se extrae del molde, gracias a una pequeña contracción que experimente el polímero al enfriarse a temperatura ambiente.

No es conveniente dosificar exceso de catalizador, ni

umentar la temperatura más de lo recomendable, ya que los catalizadores peróxidos liberan  $\text{CO}_2$  y los azos generan  $\text{N}_2$  cuyas burbujas quedan englobadas en el líquido de alta viscosidad y al solidificar éste, permanecen en el bloque compacto disminuyendo así sus resistencias físicas, química, mecánica y eléctrica. Este tipo de polimerización también es conocido con el nombre de polimerización en bloque y actualmente es muy poco usado a nivel industrial, ya que presenta serios problemas para la disipación del calor de reacción. Aunque a nivel laboratorio sí es de considerable importancia, ya que se usa para la obtención de muestras para prueba.

#### b) POLIMERIZACION EN SOLUCION.

Esta técnica consiste en diluir el monómero insaturado y puro, en un solvente orgánico para formar una solución en la que se agrega el catalizador polimerizante, peróxido o azo, llevándose el sistema a una temperatura de  $70^\circ\text{C}$  aproximadamente, esto es, ligeramente mayor que en el proceso en masa, ya que el solvente orgánico actúa como difusor del calor. A medida que la reacción progresa, la viscosidad se incrementa llegando a un máximo, lo que indica el fin de la polimerización, resultando así un producto sumamente espeso que contiene al polímero solubilizado en el seno del solvente.

Frecuentemente el producto así obtenido es utilizado como insumo para la elaboración de fibras sintéticas, las cua--

les se obtienen haciendo pasar la solución a través de una "regadera" de orificios capilares para que salgan filamentos que se reciben en un baño de agua, donde queda disuelto el solvente orgánico usado, las fibras así obtenidas se someten a estiramientos y torciones para impartirles resistencia mecánica.

También en la industria de pinturas se utiliza la solución de alta viscosidad, rebajándola con más solvente y puede servir como barniz transparente e incoloro, ó bien puede incorporársele algún pigmento para dar el color deseado a la pintura.

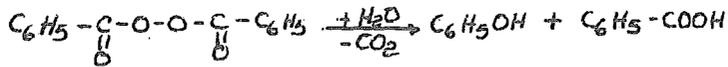
Otro uso muy difundido para la solución de polímero, es su aplicación directamente como adhesivo e incluso como vehículo de tintas flexográficas para imprenta.

#### c) POLIMERIZACION EN EMULSION.

En ella, el monómero ó monómeros al estado líquido, libres de inhibidores, se dispersan en agua que contengan algún jabón ó detergente sintético que actúa como agente tensoactivo-para disminuir la tensión interfacial entre las fases monómeras inmiscibles con el agua, asegurándose así una emulsión homogénea y estable.

El agua debe contener además en solución un catalizador polimerizante, pero ya no un peróxido orgánico, debido a que se descompone en presencia de humedad, bajando mucho su --

reactividad:



Como la temperatura de operación es aproximadamente de 60°C, se induce fácilmente la descomposición del peróxido en sus radicales libres, uniéndose el C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>. Con el .OH del agua para dar fenol y el C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COO. Con el .H para proporcionar ácido benzoico cuyos iones no son tan activos como los radicales libres del peróxido de benzoilo. Por tal razón es mejor usar persulfatos, siendo el más usado, el de potasio.

La emulsión polimerizante se agita y calienta a 60°C, con lo que el persulfato de potasio se descompone en sus radicales libres, que inducen a la apertura de las dobles ligaduras del monómero en las micelas coloidales de la emulsión, lo cual se traduce en un espesamiento de la misma, hasta que se llega a una viscosidad máxima que ya no aumenta aún cuando se continúe el proceso y es entonces que se puede suspender la agitación.

Esta técnica presenta la factibilidad de una mejor disipación del calor de reacción, que las dos mencionadas anteriormente, porque el agua es un mejor vehículo dispersor de la energía que los medios orgánicos.

El producto obtenido por medio de este procedimiento presenta un aspecto de emulsión lechosa con alta viscosidad y en ésta forma es solicitada para ciertos usos como por ejemplo-

adhesivos y pinturas con base acuosa.

Cuando las emulsiones no se usan como producto terminado, como es el caso de la fabricación de hule, entonces es un producto en proceso cuya reacción es inhibida mediante el uso de hidroquinona una vez lograda la conversión deseada.

La emulsión lechosa así obtenida, llamada latex, se separa de los monómeros que no reaccionaron y se pasa a un procesamiento de coagulación mediante agitación, lo que permite al latex tomar una apariencia de grupos de migajón suspendidos en agua, se transfieren hasta una sección de la planta donde se secan por medio de aire caliente y se empacan formándose bloques de hule mediante compresión.

De ésta manera el hule queda listo para ser utilizado en las formulaciones de termoplásticos que se requieran.

#### d) POLIMERIZACION EN SUSPENSION.

Este método es muy similar al proceso de emulsión, -- con la única variante de que aquí no se utilizan agentes tensoac--  
tivos, es decir, se introduce al reactor el monómetro líquido -  
insaturado, libre de inhibidor y se suspende en agua, que con--  
tiene el catalizador polimerizante (persulfato), mediante agita--  
ción vigorosa se mantiene dicha suspensión al estado coloidal-  
y a medida que el tiempo transcurre van apareciendo turbideces-  
debidas a la formación del polímero hasta que resultan pequeñas  
lentejuelas capaces de precipitar a pesar de la agitación, a --

continuación el agua se decanta y los grumos así obtenidos son sacados del reactor quedando listos para intervenir en las formulaciones de termoplásticos.

Otra aplicación sumamente importante de este tipo de polimerización consiste en la fabricación de lentejuelas expandibles, para lo que es necesario agregar algún solvente orgánico completamente miscible con el monómero e inmisible con el agua, vehículo de la suspensión, de modo tal que el polímero al formarse atrape en su interior pequeñas porciones de solvente y los granulos al someterse a un incremento de temperatura se expandan debido a la presión de vapor del líquido volátil, adheriéndose además unos con otros hasta que la espuma toma la forma interior del molde que la contiene. De ésta manera se pueden obtener espumas rígidas como de poliestireno, o semiflexibles - como es el caso del polietileno.

Cabe mencionar que los plásticos más comerciales obtenidos vía suspensión son: polimetil metracrilato, PVC, acetato de polivinilo, etc.

El caso específico del presente trabajo, analiza un proceso cuyo desarrollo no es típicamente alguna de las cuatro técnicas descritas con anterioridad, si no una combinación del proceso en emulsión y el de solución, ya que para el inicio de la reacción se requiere emulsionar el iniciador persulfato en una fase orgánica formada por los monómeros y el solvente con el fin de generar radicales libres. Y una vez formados éstos el resto de la copolimerización se lleva a cabo vía solución.

continuación el agua se decanta y los grumos así obtenidos son sacados del reactor quedando listos para intervenir en las formulaciones de termoplásticos.

Otra aplicación sumamente importante de este tipo de polimerización consiste en la fabricación de lentejuelas expandibles, para lo que es necesario agregar algún solvente orgánico completamente miscible con el monómero e inmiscible con el agua, vehículo de la suspensión, de modo tal que el polímero al formarse atrape en su interior pequeñas porciones de solvente y los granulos al someterse a un incremento de temperatura se expandan debido a la presión de vapor del líquido volátil, adheriéndose además unos con otros hasta que la espuma toma la forma interior del molde que la contiene. De ésta manera se pueden obtener espumas rígidas como de poliestireno, o semiflexibles como es el caso del polietileno.

Cabe mencionar que los plásticos más comerciales obtenidos vía suspensión son: polimetil metracrilato, PVC, acetato de polivinilo, etc.

El caso específico del presente trabajo, analiza un proceso cuyo desarrollo es típicamente alguna de las cuatro técnicas descritas con anterioridad, si no una combinación del proceso en emulsión y el de solución, ya que para el inicio de la reacción se requiere emulsionar el iniciador persulfato en una fase orgánica formada por los monómeros y el solvente con el fin de generar radicales libres. Y una vez formados éstos el resto de la copolimerización se lleva a cabo vía solución.

## DESCRIPCION DEL PROCESO:

Aún cuando la aplicación del método de los factores - no exige una comprensión muy profunda del desarrollo del proceso de fabricación, si es necesario un conocimiento regular de éste. Para resolver dicho problema, se plantea una explicación - más o menos detallada de cada una de las operaciones y equipos - utilizados en la elaboración de hule SBR.

## I.- PURIFICACION DE MATERIAS PRIMAS.

La primer descripción a atacar es la del acondicionamiento de butadieno, que es la materia prima utilizada en mayor proporción, dicho material debe pasar por las etapas siguientes.

- a) RECEPCION
- b) ALMACENAMIENTO.
- c) PURIFICACION
- d) PESADO

## DIAGRAMA No. 1

## a) RECEPCION.

El Butadieno como monómero, licuado a presión, es recibido en carros tanque de donde se descarga mediante presurización hasta un tanque esférico (100-001) de almacenamiento de butadieno. Para ello se utiliza un compresor (300-001) que extrae parte de la fase gaseosa, presente en equilibrio con el líquido

de la esfera y que lo manda hasta los carros tanque aproximadamente a 80 psig. Una vez descargada todo el monómero líquido, se recuperan los vapores de presurización mediante el mismo compresor, el cual, los envía a un condensador (400-004) de butadieno, en estado líquido, a la esfera de butadieno.

b) ALMACENAMIENTO.

Este sistema cuenta con serios problemas originados por los cambios de presión debido a las fluctuaciones de la temperatura ambiente, ya que la esfera almacenadora del butadieno saturado está a intemperie. Por lo tanto, cuando se registra un aumento considerable de presión en el interior del tanque, los vapores deben extraerse y condensarse usando el mismo equipo -- que en la recepción, para poder recircularse a la esfera en forma líquida, de ésta manera se elimina la carga térmica introducida al sistema por incremento de la temperatura ambiente y/o-- radiación solar.

Es fácil la concepción de éste sistema cuando se le asemeja a una refrigeración mecánica, donde existe un fluido -- que es comprimido, condensado y flasheado (despresurizado y expandido), enfriando el medio que lo rodea, siendo en éste caso el mismo butadieno.

Esta materia prima puede mandarse a purificación independientemente de sí se están descargando carros tanque o se está operando el sistema de refrigeración, ya que la descarga -

de Butadieno se hace por medio de una bomba centrífuga (200-001) cuya succión está conectada a la parte inferior de la esfera.

C) PURIFICACION.

Esta etapa se requiere en virtud de que principalmente los inhibidores de la polimerización y la humedad, deben eliminarse para lograr una buena reacción; dicha purificación se efectúa por destilación.

El butadieno proveniente de la esfera es precalentado hasta aproximadamente 50°C, utilizando un intercambiador de calor (400-002) mediante vapor de agua, enviándose a continuación a una columna llamada de secado (300-002), la cual, recibe el fluido en la parte superior y descarga el producto deseado en la inferior. Esta torre cuenta con un rehervidor (400-003) para su operación.

La materia prima se hace pasar por el condensador --- (400-001) y es transferida mediante la bomba de butadieno seco- (200-003) hasta un tanque flash (400-005) y el vapor obtenido es condensado (400-021) y almacenado (100-003) quedando disponible para los requerimientos de producción.

d) PESADO.

Dado que en el área de reacción, el proceso es por lotes, todas las materias primas se adicionan por partes. El caso del butadieno no es la excepción y para medirlo se utili-

za un sistema de pesado (100-004), ya sea manual o automático,-- el cual permite determinar la cantidad requerida de butadieno - para llevar a cabo la reacción dentro del mejor margen de efi-- ciencia. A continuación se bombea (200-004) este lote hasta los reactores donde se formará el copolimero.

Otro tipo de medición que podría usarse sería determi nado el gasto volumétrico requerido para la reacción, contando para ello con una válvula automática controladora de flujo y un totalizador que midiera la cantidad de butadieno demandada en - el área de reacción.

## 2.- ESTIRENO.

### DIAGRAMA No. 2

Otra materia prima de suma importancia en la fabrica- ción de hule es el estireno, que en similitud al butadieno es - sometido a cuatro etapas básicas antes de copolimerizarse, efec tuándose cada una en forma distinta.

#### a) RECEPCION.

El estireno también se recibe en carros tanque que en tran en la planta por medio de espuelas de ferrocarril y es bom beado (200-005) hasta un tanque cilíndrico vertical (100-005)-- de almacenamiento de estireno crudo.

## b) ALMACENAMIENTO.

El tanque (100-005) almacena el estireno a condiciones ambientales de presión y temperatura y tiene como única finalidad, permitir tener un inventario de esta materia prima disponible para el momento que se requiere.

## c) PURIFICACION.

El estireno demandado para la fabricación de SBR. es enfriado con amoniaco (400-006), para disminuir su solubilidad en el agua logrando la formación de dos fases, una orgánica (estireno) y otra acuosa, las cuales son separadas en un decantador (300-004) llamado "COALESCER". La fase orgánica, se transfiere mediante bombeo (200-006) a las columnas de secado de estireno (300-005), donde se efectúa un proceso de adsorción de la humedad con el empaque de dichas torres, que normalmente son esferitas de alumina.

El estireno secado mediante ésta técnica, es recibido en un tanque receptor (100-006), donde queda en situación de poder ser consumido para la elaboración de SBR.

## d) PESADO.

Del tanque receptor de estireno seco, el fluido se manda, con la bomba (200-007) hasta un tanque pesador (100-007) donde se mide la cantidad de este fluido requerida para la reacción.

Una vez formado éste lote es manejado por la bomba -- (200-008) que lo envia para cargar el reactor en turno de operación.

### 3.- SOLVENTE.

La tercer materia prima de importancia requerida para producir SBR, es ciclohexano, el cual, aún cuando se toma parte activa en la reacción, si tiene un papel preponderante en su desarrollo, ya que actúa como medio de ésta.

A continuación se utiliza como vehículo de la reacción el cual, es capaz de dispersar el gran calor generado en ella - y de arrastrar el producto fuera de los reactores donde se separa del proceso para recircularse y servir nuevamente como - - vehículo de las materias primas requeridas en la producción de SBR.

### DIAGRAMA No. 3

Para su recepción se utiliza la bomba (200-009) que - lo envia al tanque de almacenamiento de solvente crudo (100-008) de donde se toma la cantidad de éste material requerida como reposición en el circuito anteriormente descrito para el ciclohexano. Dicho flujo es alimentado al tanque (100-009) de solvente húmedo utilizando la bomba (200-010), con la bomba (200-011), - en el que se separa la fase húmeda y se drena mientras la parte

orgánica es trasladada al intercambiador de calor con solvente destilado (400-007), donde se calienta hasta 180°F a expensas de parte del calor latente cedido por el vapor proveniente de la destilación. A continuación pasa a un precalentador de solvente húmedo (400-008), en el cual obtiene la temperatura de burbuja (190°F) quedando listo para alimentarse a la columna de destilación de solvente (300-007). Dicho equipo cuenta con un rehervidor (400-009) para su operación y posee tres descargas, una superior para la parte volátil; una intermedia para destilado; y la inferior por donde se obtienen los "PESADOS", cuya temperatura se abate en el enfriador (400-012) hasta aproximadamente 100°F. de ésta manera, los pesados se transfieren con la bomba (200-016) al tanque acumulador de destilados pesados (100-015) a cuya descarga está conectada la succión de la bomba (200-017), la cual tiene la función de enviar el fluido fuera del área de proceso, específicamente a carros tanque y ésta forma eliminar la fracción indeseable presente en el solvente capaz de crear problemas en la fabricación del hule sintético.

Los destilados ligeros obtenidos por la parte alta de la torre en estado gaseoso, son recibidos en el condensador (400-011), el que a su vez descarga los condensados ligeros al tanque acumulador (100-014), para que desde éste se recirculen por bombeo (200-015) al coalescer de solvente, obteniéndose así una óptima extracción de ciclohexano de alta pureza.

Por otro lado, la corriente principal obtenida de la torre de destilación de solvente, es decir la rica en ciclohexano, se extrae en alguno de los platos intermedios y es recibida en el tanque de descarga de solvente destilado (100-010), el cual actúa como un plato, esto es, sirve como un sitio donde existe un equilibrio líquido-vapor tal que la composición de éste es exactamente la requerida por el proceso por lo que se extrae del sistema, mientras el líquido se circula para reflujo de la torre.

El vapor así obtenido, es transportado hasta el intercambiador de calor (400-007) cuya forma de operación ha sido descrita en párrafos anteriores, para ser enviado como siguiente paso a un condensador de solvente destilado (400-010) que consume agua como fluido removedor de calor.

#### DIAGRAMA No. 4

El solvente, ahora en fase líquida, libre de impurezas pero no completamente de humedad, se recibe en el tanque acumulador de solvente destilado (100-011) para que de ahí se transporte mediante la bomba (200-012) hasta las columnas de secado de solvente (300-008) las cuales, gracias a su empaque de sílica gel, eliminan la humedad remanente en el ciclohexano, mismo que se envía hasta un tanque de almacenamiento de solvente seco (100-012) quedando disponible para que la bomba (200-013) pueda

mandarlo a los reactores, siendo de ésta manera usado como vehículo de la reacción. Y ya que su grado de pureza es considerablemente alto, una fracción de éste material, se usa para arrastre del iniciador desde el tanque de solvente con iniciador (100-028) que se descarga con la bomba (200-033), la cual envía la suspensión a la línea de solvente que tiene como destino final los reactores.

En el inicio de la descripción se indicó la importancia de éste fluido no sólo como vehículo y dispersor del calor de reacción, sino que también se señaló su papel como material de arrastre del producto fuera de los reactores. En este caso la alta pureza deja de ser vital, ya que para éste fin, la incorporación del ciclo hexano, en el proceso, es posterior a la etapa de copolimerización por ésta razón, el solvente aquí utilizado es aquel obtenido "fuera de especificación" en las columnas de secado además del que se recuperó en el área de proceso en el lote anterior.

Antes de mezclarse, el solvente de reposición, proveniente de las columnas empacadas con sílica gel, y en fase gaseosa, puede ser enviado a dos partes según se requiera. La primera es a un condensador enfriante (400-019) que envía el material al tanque de almacenamiento de solvente húmedo desde donde nuevamente todo el ciclo de tratamiento descrito hasta ahora. La segunda opción es transferir dicho gas al condensador de sol

vente regenerado (400-013) para que a continuación los condensados así obtenidos puedan separarse de la humedad que puedan contener, en un nuevo "coalescer" de solvente (100-016) drenándose de éste la fase pesada, rica en agua, bombeándose (200-018) la fase ligera, rica en ciclohexano a un calentador vaporizador de solvente regenerado (400-014) que genera vapor saturado, el cual se sobresaeta en un calentador que contiene resistencias eléctricas (400-015) para poder enviarlo nuevamente a las columnas de secado que desalojan en ésta ocasión el producto hasta un tanque de almacenamiento de solvente con inhibidor (100-013), el cual alojará el fluido hasta que éste sea requerido al término de la polimerización; cuando esto sucede, el solvente contaminado es manejado por la bomba (200-014) quien lo alimenta al precalentador de solvente a reactores (400-020) donde éste fluido adquiere una temperatura similar a la existente dentro de los reactores a los que se alimentará, evitándose de ésta manera un choque térmico capaz de dañar mecánicamente a dichos equipos.

Finalmente deberá mencionarse la existencia de un grupo de equipos diseñados para la recuperación de solvente. En primera instancia hay en el área de reacción y en la de agitación dos equipos de transferencia de calor y un tanque flash respectivamente cuya operación será descrita en el punto II.

Existe además en el área de purificación de solvente-

un tanque receptor del solvente recuperado (100-017) en las - - áreas de reacción y agitación, el cual, cuenta con la bomba - - (200-020) para recircular el solvente a los tanques (100-012) ó (100-013) según se necesite.

#### SUSTANCIAS AUXILIARES      DIAGRAMA No. 5

A lo largo del proceso, se requiere en ciertas áreas- la adición de sustancias capaces de impartir las condiciones de operación necesarias para lograr un buen rendimiento ó bien para alcanzar algunas características específicas de calidad en el - producto final.

El manejo de dichas sustancias se ilustra en el "Diagrama de flujo de químicos auxiliares" y el orden en que son-- demandados en el proceso es el siguiente:

- a) dispersante
- b) Inhibidor
- c) Antioxidante ó aditivo
- d) Aceites (Nafténico y Aromático)

#### a) DISPERSANTE

Este material se requiere en el área de reacción ya - que la polimerización necesita que los monómeros estén emulsio- nados en MEDIOS ORGANICO Y POLAR, debido a la inmiscibilidad de los reactivos en la presencia de un agente tensoactivo es de -

suma utilidad para la reacción.

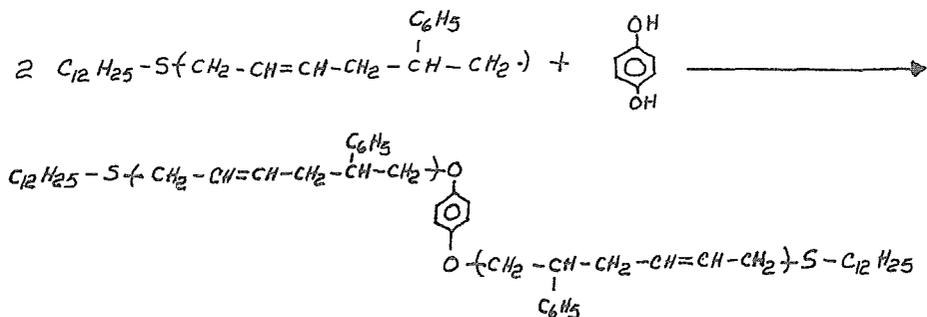
El papel del dispersante en la reacción es disminuir la tensión interfacial entre las faces POLAR y ORGANICA, para- que mediante la agitación vigorosa en los reactores, se dé lu- gar a la formación de micelas coloidales, es decir, pequeñas bur- bujas, en el seno del solvente, donde tendrá lugar la polimeri- zación.

La adición del dispersante a los reactores, se reali- za preparandopreviamente una emulsión de dicho material en el tan- que (100-025) donde se agrega solvente y un detergente sintéti- co, (dodecil mercaptano), los cuales son transferidos mediante- la bomba (200-030) hasta el reactor en turno para cargarse.

b) INHIBIDOR.

El inhibidor utilizado en la producción de SBR es hi- droquinona y su incorporación al proceso es a la descarga de los reactores. por lo tanto podría decirse que es un aditivo contro- lador de la conversión de monómeros, ya que obstaculiza la poli- merización en el momento de adición.

El mecanismo de reacción es el siguiente:



Este mecanismo ilustra la reacción total entre dos moléculas de polímero y una de inhibidor resultando un producto final cuya longitud es la de las dos moléculas de polímero que -- participarán en la reacción. Puede presentarse el caso de que -- la reacción sea 1:1 entre el polímero y el inhibidor y enton-- ces la longitud y el peso molecular estarán determinados por la única cadena que participó en el proceso.

Afortunadamente el segundo caso es el más común, ya -- que estereocquímicamente tiene una mayor factibilidad, lo cual -- se aprovecha para controlar el grado de conversión, así como:

También la proporción estequiométrica del sistema de -- la reacción, por lo que la adición de inhibiente debe ser cuan-- tificada.

Para el manejo de éste material, se requiere un tan-- que de recepción y almacenamiento (100-026), una bomba de carga y descarga (200-031) que transfiere el inhibidor hasta un tan--

que de corrida (100-027) donde se afora un volúmen específico-- el cual será dosificado al proceso por medio de la bomba - - - (200-032) en la cantidad requerida para controlar la reacción.

c) ANTIOXIDANTE

Debido a las condiciones drásticas en la reacción así como a la presencia en alto grado de compuestos orgánicos insaturados, se provoca en cierta medida la descomposición vía oxidación del polímero repercutiendo dicho problema obviamente en un bajo rendimiento del proceso y abatiendo la calidad del producto final.

Para combatir esta deficiencia, se ha hecho necesaria la introducción de ciertos aditivos que jueguen el papel de antioxidante en el proceso. Dicha sustancia deberá poseer cierta capacidad reductora, usándose comunmente algún compuesto de tipo orgánico, el cual es suministrado a la planta empacado en sacos ó a granel por lo tanto, deberá disolverse previamente en el tanque (100-024), quedando listo para que la bomba de aditivo (200-029) pueda enviarlo a la descarga de los agitadores, según cada uno lo vaya necesitando.

d) ACEITES.

El polímero obtenido en el proceso de reacción dista mucho de poseer las características óptimas de resistencia mecánica requeridas para la elaboración de productos de consumo di-

recto, y por ello se somete a varios tratamientos capaces de proporcionar las cualidades necesarias para su uso.

La práctica común de las plantas productoras de SBR es efectuar el primer tratamiento encaminado a éste fin, al que se denomina oleogxtensión la cual consiste en adicionar al polímero ciertas cantidades de aceites nafténico y/o aromático según las características de plasticidad demandadas en el hule.

La razón por la cual, la oleoxtensión se lleve a cabo - en las plantas de fabricación se justifica porque los aceites, - además de proporcionar ciertas cualidades al producto, se utiliza como carga con lo que el volúmen de producción aumenta considerablemente.

Es conveniente mencionar que todos los demás tratamientos impartidos al hule para lograr su mayor resistencia, no se realizan en las plantas de fabricación, sino en las de manufactura como son principalmente las llanteras, zapateras, etc.

Dichos tratamientos son básicamente: La adición de cargas como negro de humo, colorantes, aditivos químicos específicos, etc. y la vulcanización que en forma general consiste en la cocción de una pieza moldeada en presencia de azufre que convierte las cadenas poliméricas en redes enlazadas entre sí mediante átomos de azufre obteniéndose así la resistencia deseada - según sea el producto que se requiera manufacturar.

En las plantas de fabricación de hule se requiere de un sistema de recepción de aceites, el cual en éste caso está constituida por la bomba (200 - 026) que es capaz de succionar desde los carros tanque en que se suministra uno u otro aceite a la fábrica hasta los tanques de almacenamiento de aceite nafténico (100-020) ó aceite aromático (100-022) según se trate.

Desde estos tanques, el aceite se transfiere mediante la bomba (200-027) hasta los tanques de corrida de aceite nafténico ó aromático, (100-021 y 100-023) respectivamente donde se efectúa una medición volumétrica que permita dosificar la cantidad exacta de aceite al proceso, usando para ello la bomba (200-028).

## II OBTENCION y PURIFICACION DE PRODUCTO

### a) REACCION DIAGRAMA 6

Puede asegurarse que la parte medular en la fabricación de SBR es la reacción, debido a que es en ella donde se forma el copolímero deseado y de uno existir un buen control tanto en la pureza de las materias primas como en las condiciones de operación, el tiempo de resistencia en los reactores puede alargarse hasta un punto en que resulte incosteable la producción ó bién la baja calidad con que se obtenga el producto, podrá ser causa del desplazamiento en el mercado para la empresa.

En el caso de la planta que se analiza, se poseen 3 -

reactores tipo "BATCH" (300-009, 010 y 011) con chaqueta para -- enfriamiento con agua, provistos además con agitadores mecánicos los cuales operan durante todo el tiempo de reacción, mismo que oscila entre 2 y 3 horas.

La copolimerización se efectúa a 140°F y 50 PSI de pre sión. Los ingredientes son butadieno, estireno y solvente, así - como pequeñas proporciones de catalizador polimerizante (persulfato de potasio) cuyo papel en la reacción ha sido descrito con anterioridad.

Una vez lograda la conversión deseada, se descarga el reactor, haciendo pasar el latex obtenido por un mezclador - - (300-012), que tiene la función de homogenizar con el inhibidor de reacción (hidroquinona).

La mezcla así obtenida, es enviada por la bomba - - - (200-019) hasta un tanque flash (300-013), donde se separa el -- solvente presente en el producto, el ciclohexano así obtenido - se licúa mediante un condensador (400-016) enfriado por aire y se abate su temperatura en el enfriador (400-017) mandándose a con- tinuación el área de almacenamiento de solvente con el fin de po der usarlo nuevamente en otro lote.

#### b) AGITACION. DIAGRAMA No. 7

La fase de agitación tiene como principal fin, propor- cionar el óptimo medio para finalización de la copolimerización,

para ello el látex libre de solvente se bombea (200-021) hasta 3 tanques agitadores (300-014, 015 y 016), donde se retiene el producto por espacio de 5 a 6 horas, constantemente con agitación y a condiciones de presión y temperatura ambientales hasta obtener el grado de mezcla deseado.

Lo sucedido en éste lapso, no es más que la homogenización completa del inhibiente, en el seno del producto y es por ello que se menciona éste medio como el mejor para el fin de la reacción.

Los tanques agitadores son descargados por una bomba (200-022) que envía el producto hasta los mezcladores de línea (300-017 y 300-020) donde se adiciona antioxidantes y aceites respectivamente.

#### c) COAGULACION DIAGRAMA No. 8

Esta parte del proceso tiene como finalidad la obtención de productos en forma de coágulos ó grumos propicios para ser secados y empacados como producto final.

Previa a la llegada de producto a los coaguladores, éste sufre la adición de aceites aromáticos y nafténicos en un mezclador (300-020) instalado para dicho fin.

La proporción con que se agregan éstos componentes al SBR, varía de acuerdo a las características deseadas en el producto final tales como resistencia mecánica y principalmente química.

Debido a ésta adición el producto sufre un aumento de volúmen, por lo que ésta técnica recibe comunmente el nombre de oleoextensión y el hule así elaborado, oleoextendido.

La coagulación tiene lugar en dos equipos, el coagulador primario (300-018) y el secundario (300-019) en ellos, se - recibe la mezcla en la parte superior y se enfria de tal manera - que cuando el producto cae al fondo, se han formado grupos del producto en forma de pequeñas esferas.

El producto así obtenido, es bombeado (200-023 A y B) utilizando agua como vehículo hasta el tanque de migajón - - - (300-032), en el que se persigue el crecimiento de los grupos - obtenidos en los coaguladores mediante agitación vigorosa durante 1 a 2 horas.

Una vez alcanzado el tamaño deseado del grumo, aún en suspensión acuosa, el producto se manda mediante la bomba - - (200-024) hasta el salón de acabado, donde se obtiene el producto final.

### III ACABADO Y EMPAQUE DIAGRAMA 9

En ésta área el hule se obtiene como producto final - ensacado y listo para la venta a los consumidores. En ella se - recibe la suspensión acuosa de grumos grandes en unos coladores - coladores (300-021 y 022) donde se separan las partículas que no -- crecieron lo suficiente en el tanque de migajón, las cuales se - reciben junto con el agua que sirvió de vehículo en un tanque -

de grumos finos (100-018) para a continuación ser descargados - en un tanque de recirculación de grumos (100-019) desde donde - succiona la bomba (200-025) que los manda nuevamente al tanque- de migajón para ser reprocesados.

Los cuajos de hule que sí crecieron lo suficiente, -- son sometidos a un prensado para eliminar gran parte del agua - que contienen, utilizando para ello el exprimidor (300-023) y - siendo secados mediante aire caliente en el secador (300-024).- A continuación el producto, aún en forma de grumos, pero ya se- co, es conducido hasta la báscula prensadora (300-028) por un - sistema de transportadores vibratorios (300-025, 026 y 027) los cuales están diseñados para dar el menor maltrato al producto.

En la báscula, se pesan porciones de 25Kg., mismas -- que son compactadas por un sistema neumático instalado en dicho equipo, obteniéndose así bloques de hule, los cuales son condu- cidos mediante los transportadores de rodillos (300-029 y 300-030) hasta un ensacador-cosedor de sacos (300-031) para finalmente - enviar el hule así obtenido al almacén de producto terminado.

#### LEVANTAMIENTO DE CAMPO

Es necesaria la realización de estas actividades como medio de obtención de la información requerida en la aplicación del "Método de los Factores" como una verificación de los datos proporcionados por cada uno de los Departamentos que intervienen

**100-004**  
CONDENSADOR  
DE BUTADIENO  
CAP.: 2200000 BTU/Hr

**100-002**  
PRECALENTADOR  
DE 300-002  
CAP.: 750000 BTU/Hr

**200-003**  
BOMBA DE BUTADIENO  
SECO,  
CAP.: 60 GPM

**100-003**  
TANQUE DE  
BUTADIENO SECO  
CAP.: 26200 GAL.

**100-004**  
TANQUE DE PESADO  
DE BUTADIENO  
CAP.: 1250 GAL.

**300-001**  
COMPRESOR DE  
BUTADIENO  
CAP.: 34 SCFM

**400-001**  
CONDENSADOR DE  
300-002  
CAP.: 1200000 BTU/Hr

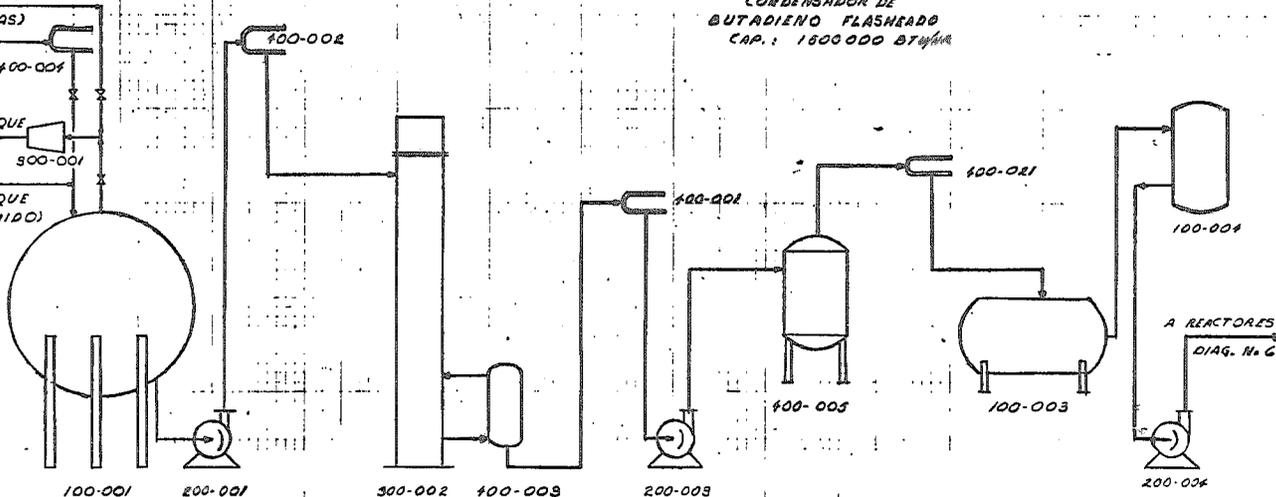
**400-002**  
VAPORIZADOR DE  
BUTADIENO  
CAP.: 2100000 BTU/Hr

**200-002**  
BOMBA DE BUTADIENO  
A REACTORES  
CAP.: 120 GPM

DE CARROS-TANQUE  
(BUTADIENO GAS)

A CARROS-TANQUE

DE CARROS-TANQUE  
(BUTADIENO LIQUIDO)



**100-001**  
ESFERA DE  
BUTADIENO  
CAP.: 6900 GAL.

**200-001**  
BOMBA DE BUTADIENO  
HUMEDO  
CAP.: 50 GPM

**300-002**  
COLUMNA DE SECADO  
DE BUTADIENO  
CAP.: 75 GPM

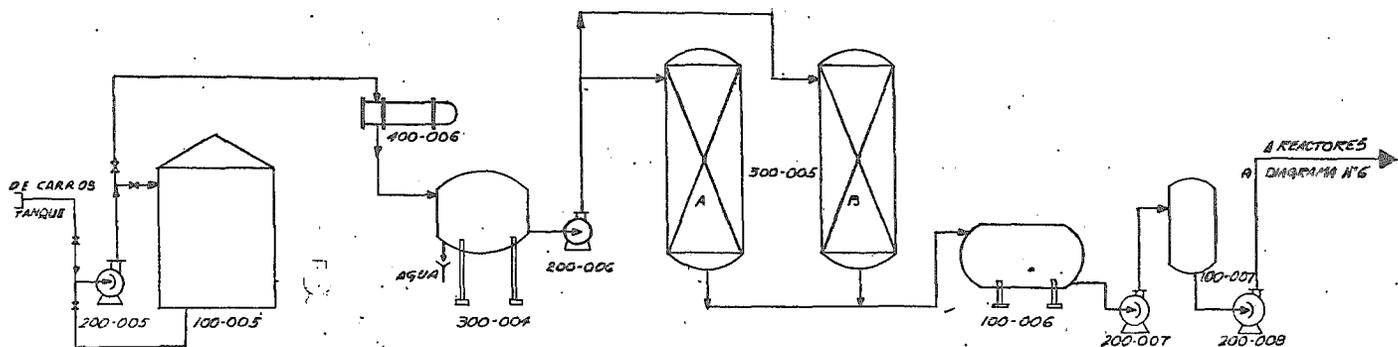
**400-003**  
REHENVADOR DE  
300-002  
CAP 1300000 BTU/Hr

DIAGRAMA DE FLUJO DE RECEPCION Y  
PURIFICACION DE BUTADIENO

TESIS  
PROFESIONAL

GERARDO ALCANTAR DIAGR.  
GUILLERMO CAMPOS NO.  
MIGUEL A. LINARES

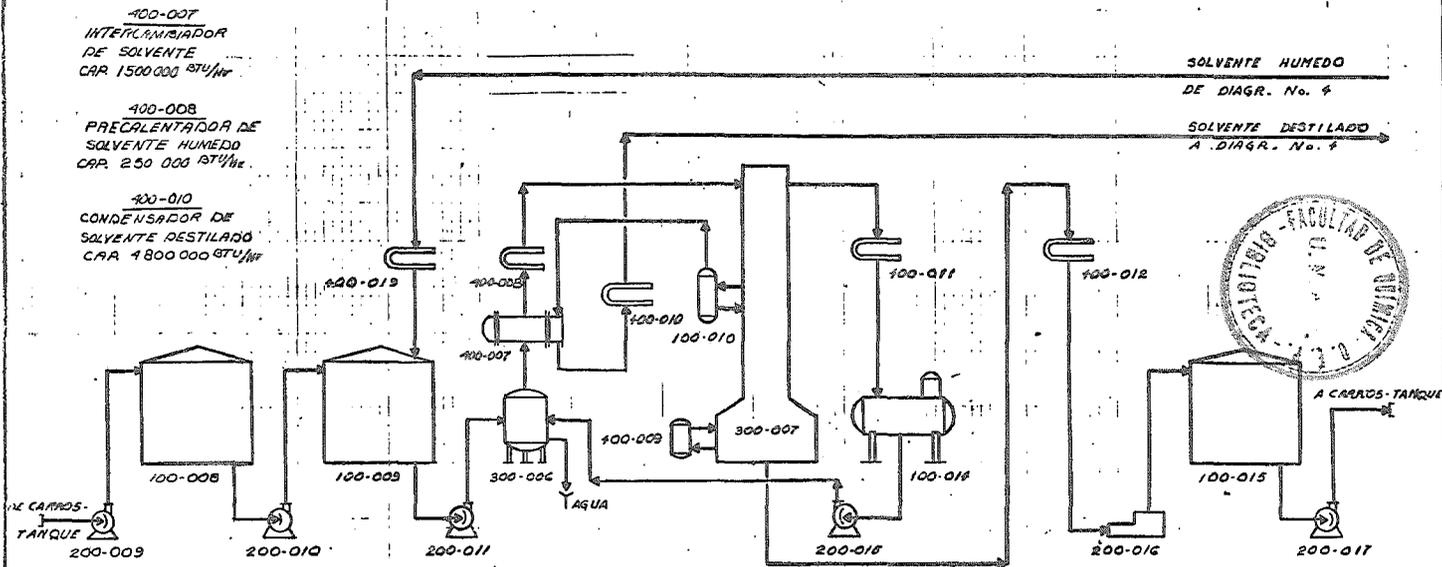
FACULTAD DE QUIMICA



<u>200-005</u>	<u>100-005</u>	<u>200-006</u>	<u>400-006</u>	<u>300-004</u>	<u>300-005</u>	<u>100-006</u>	<u>200-007</u>	<u>100-007</u>	<u>200-008</u>
BOMBA DE ESTIRENO CRUDO.	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ESTIRENO	BOMBA DE ESTIRENO A COLUMNA DE SECADO	ENFRIADOR DE ESTIRENO	COALESCER DE ESTIRENO.	COLUMNAS DE SECADO DE ESTIRENO	TANQUE RECEPTOR DE ESTIRENO SECO	BOMBA DE ESTIRENO SECO	TANQUE DE ESTIRENO SECO.	BOMBA DE ESTIRENO A REACTORES.
CAP. 100 GPM	CAP. 23700 GAL	CAP. 60 GPM	CAP. 200000 <sup>BTU</sup> / <sub>HR</sub>	CAP. 130 GAL	CAP. 20 GPM	CAP. 9500 GAL	CAP. 40 GPM	CAP. 330 GAL	CAP. 40 GPM

DIAGRAMA DE FLUJO DE RECEPCION Y PURIFICACION DE ESTIRENO

TESIS PROFESIONAL	GILBERTO ALCAÑIZ GUILLERMO CAMPOS MIGUEL A. LINARES	UNIVERSIDAD NA. N.º 2
	FACULTAD DE QUIMICA UNIVAN	



79

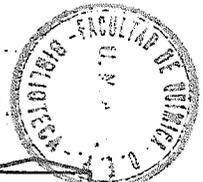
400-007  
INTERCAMBIADOR  
DE SOLVENTE  
CAP. 1500000 BTU/Hr.

400-008  
PRECALENTADOR DE  
SOLVENTE HUMEDO  
CAP. 250 000 BTU/Hr.

400-010  
CONDENSADOR DE  
SOLVENTE DESTILADO  
CAP. 1800000 BTU/Hr.

SOLVENTE HUMEDO  
DE DIAGR. No. 4

SOLVENTE DESTILADO  
A DIAGR. No. 4



200-009  
BOMBA DE SOLVENTE  
A ALTO.  
CAP.: 100 GPM

100-009  
TANQUE DE ALMTO.  
DE SOLVENTE HUMEDO  
CAP.: 257 000 GAL

400-010  
CONDENSADOR  
ENFRIANTE  
CAP. 344 000 BTU/Hr

300-007  
COLUMNA DE DEST.  
DE SOLVENTE  
LIGEROS  
CAP. 104 GPM

100-014  
TANQUE ACUMULADOR  
DE DESTILADOS LIGEROS  
CAP. 1500 GAL

100-015  
TANQUE ACUMULADOR  
DE DESTILADOS PESADOS  
CAP. 23600 GAL

200-017  
BOMBA DE DEST.  
PESADOS A CARGOS  
CAP. 50 GPM

100-008  
BOMBA DE ALMTO.  
DE SOLVENTE CRUDO.  
CAP.: 84000 GAL

200-011  
BOMBA DE SOLVENTE  
AL COALESER  
CAP.: 100 GPM

400-009  
REHENVIDOR DE LA  
COLUMNA DE SOLVENTE  
CAP. 5980 000 BTU/Hr

400-011  
CONDENSADOR DE  
DEST. LIGEROS  
CAP. 1153000 BTU/Hr

400-012  
ENFRIADOR DE  
DEST. PESADOS  
CAP. 12500 BTU/Hr

200-010  
BOMBA A TR. DE ALMTO.  
DE SOLVENTE HUMEDO  
CAP.: 25 GPM

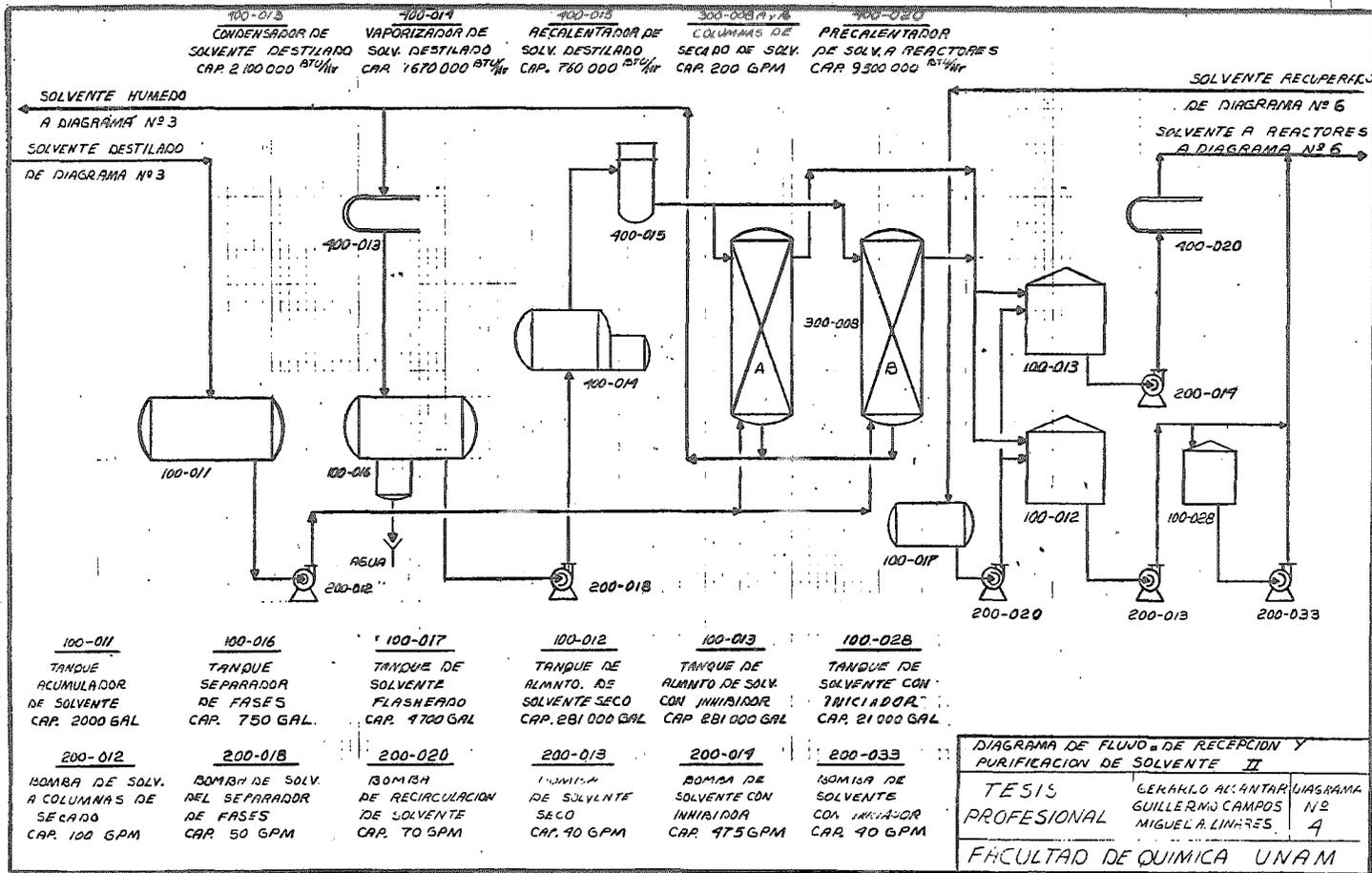
300-006  
COALESER DE SOLVENTE  
CAP.: 130 GPM

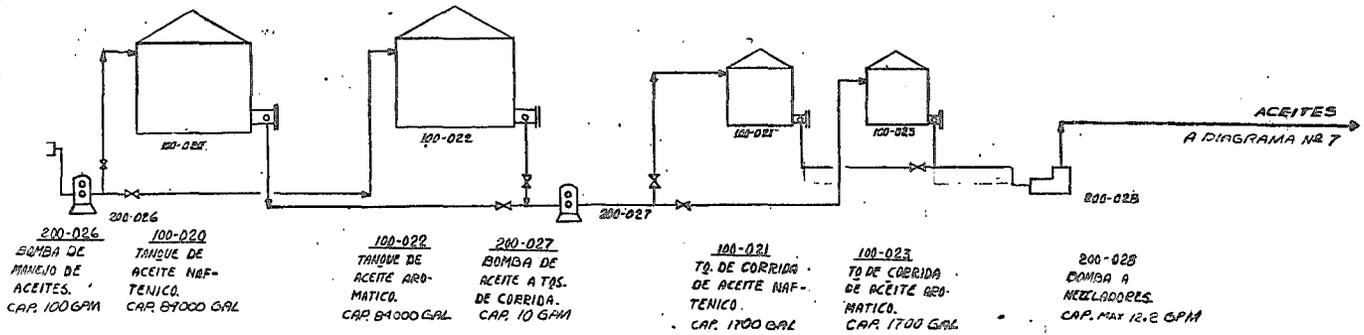
100-010  
TANQUE DE SOLVENTE  
DESTILADO  
CAP. 1420 GAL

200-015  
BOMBA DE DEST.  
LIGEROS A COALESER  
CAP. 30 GPM

200-016  
BOMBA DE DEST.  
PESADOS  
CAP. 140 GPM

DIAGRAMA DE FLUJO DE RECEPCION Y PURIFICACION DE SOLVENTE		
TESIS PROFESIONAL	GERARDO ALCANTAR GUILLERMO CAMPOS NIGUEL A. LINARES	DIAGRAMA Nº 3
FACULTAD DE QUIMICA UNAM		





200-026  
BOMBA DE  
MANEJO DE  
ACEITES.  
CAP. 100 GPM

100-020  
TANQUE DE  
ACEITE NAF-  
TENICO.  
CAP. 87000 GAL

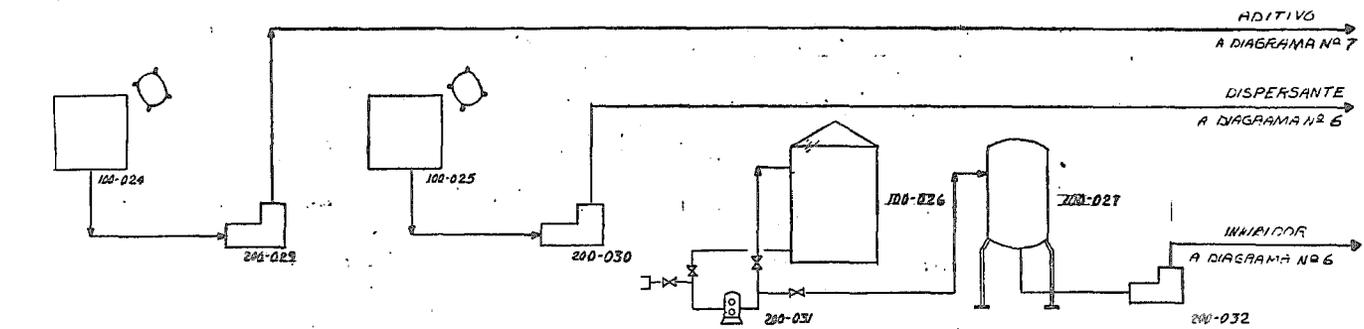
100-022  
TANQUE DE  
ACEITE ARD-  
MATICO.  
CAP. 87000 GAL

200-027  
BOMBA DE  
ACEITE A TOS.  
DE CORRIDA.  
CAP. 10 GPM

100-021  
TQ. DE CORRIDA  
DE ACEITE NAF-  
TENICO.  
CAP. 1700 GAL

100-023  
TQ. DE CORRIDA  
DE ACEITE ARD-  
MATICO.  
CAP. 1700 GAL

200-028  
BOMBA A  
MEZCLADORES.  
CAP. MAX 12.2 GPM



100-024  
TANQUE DE  
ADITIVO.  
CAP. 1700 GAL

200-029  
BOMBA DE  
ADITIVO.  
CAP. 6 GPM

100-025  
TANQUE DE  
DISPERSANTE.  
CAP. 1700 GAL

200-030  
BOMBA DE  
DISPERSANTE.  
CAP. 6 GPM

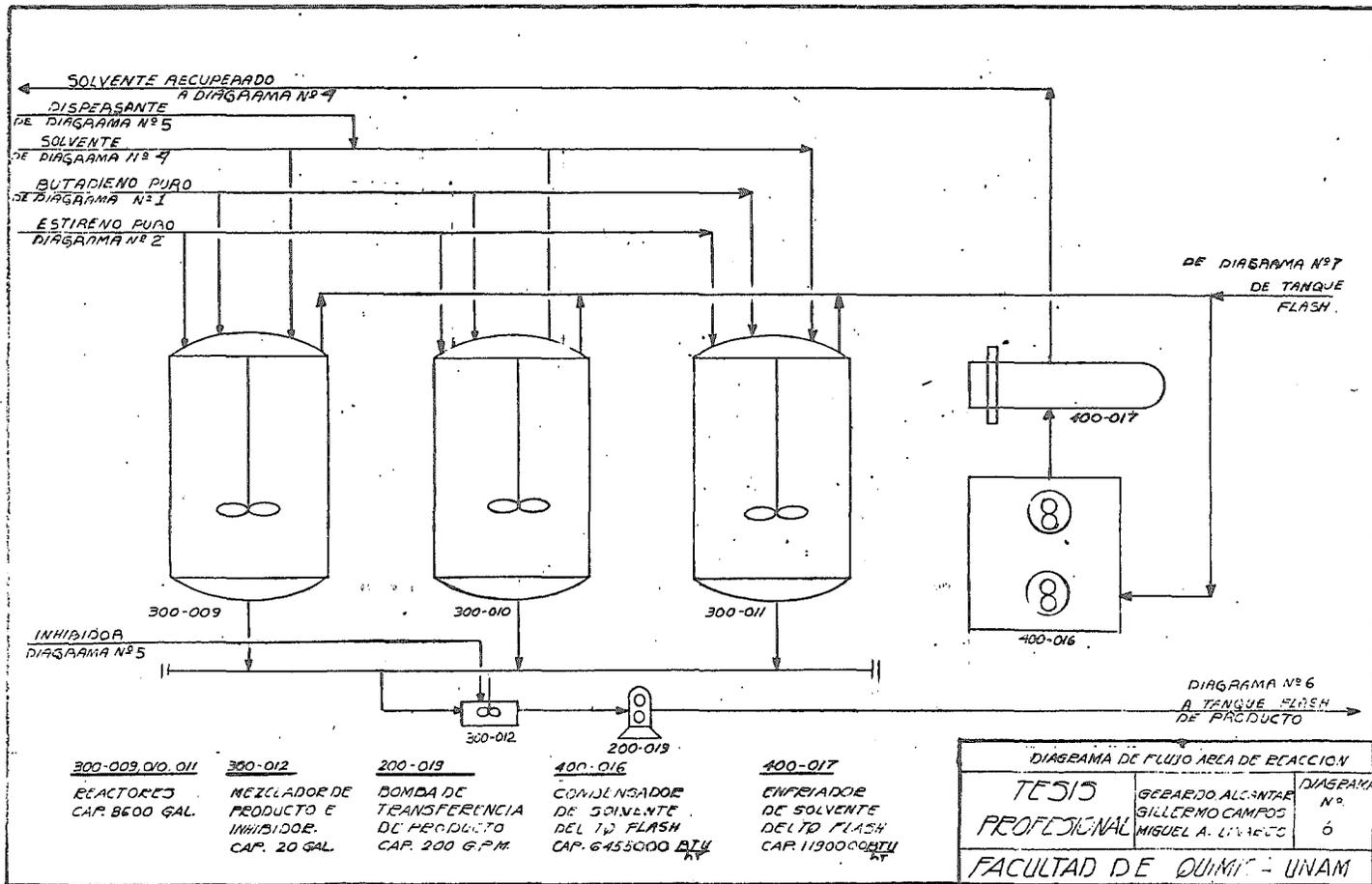
200-031  
BOMBA DE  
INHIBIDOR.  
CAP. 45 GPM

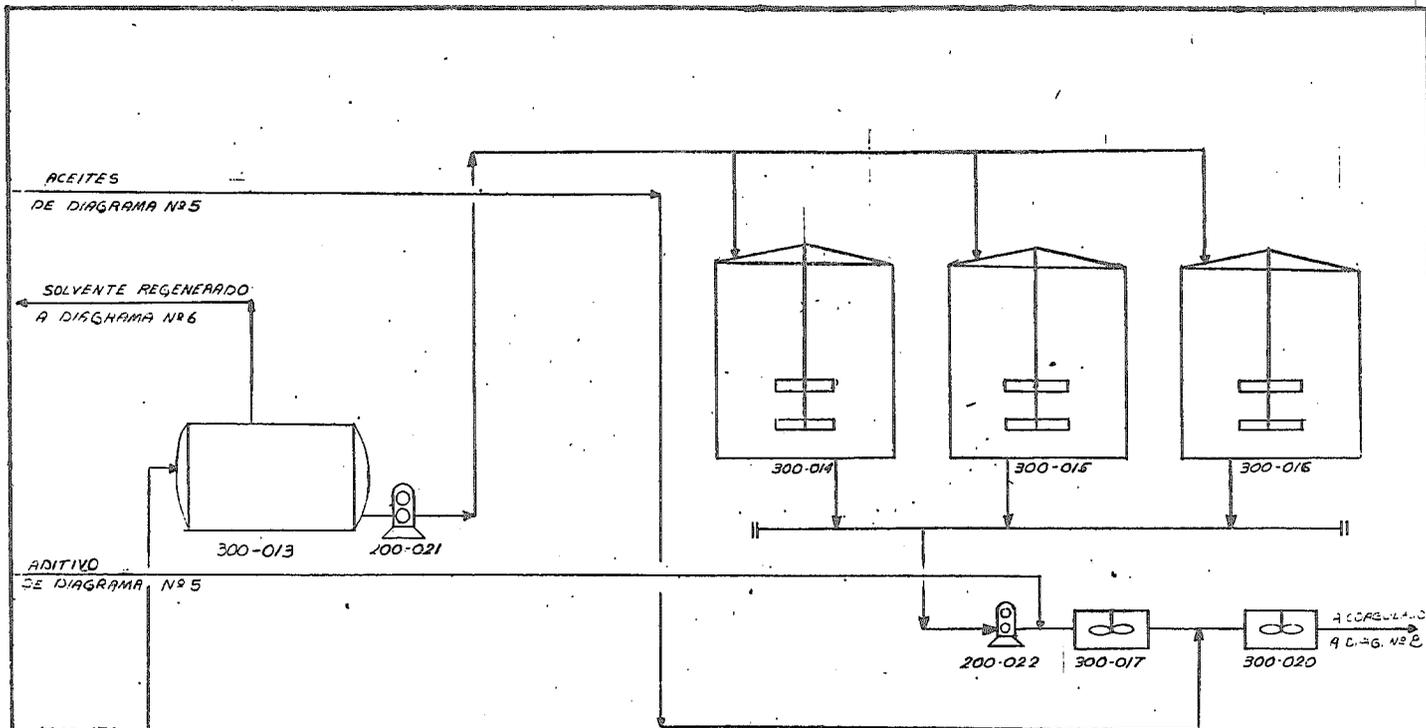
100-026  
TANQUE DE  
INHIBIDOR.  
CAP. 15000 GAL

100-027  
TANQUE DE  
CORRIDA  
DE INHIBIDOR.  
CAP. 750 GAL

200-032  
BOMBA DE  
INHIBIDOR A  
MEZCLADOR.  
CAP. 0.5 GPM

DIAGRAMA DE FLUJO DE QUIMICOS ADILIARES		
TESIS PROFESIONAL	GERARDO ALCANTAR GUILLERMO CAMPOS MIGUEL A. LINARES	SING. Nº E
FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.		





300-013  
TANQUE  
FLASH DE  
PRODUCTO  
CAP 5000 GAL

200-021  
BOMBA DEL  
FLASH  
REACTOR  
CAP 200 GRM.

300-017  
MEZCLADOR  
DE SAB Y  
ADITIVOS  
CAP 20 GAL

300-020  
MEZCLADOR  
DE SAB Y  
ADITIVOS  
CAP 20 GAL

300-014,015,016  
TANQUE S  
MEZCLADORES  
CAP 8800 GAL

200-022  
BOMBA DE  
PRODUCTO A  
COAGULADORES  
CAP 125 GAL.

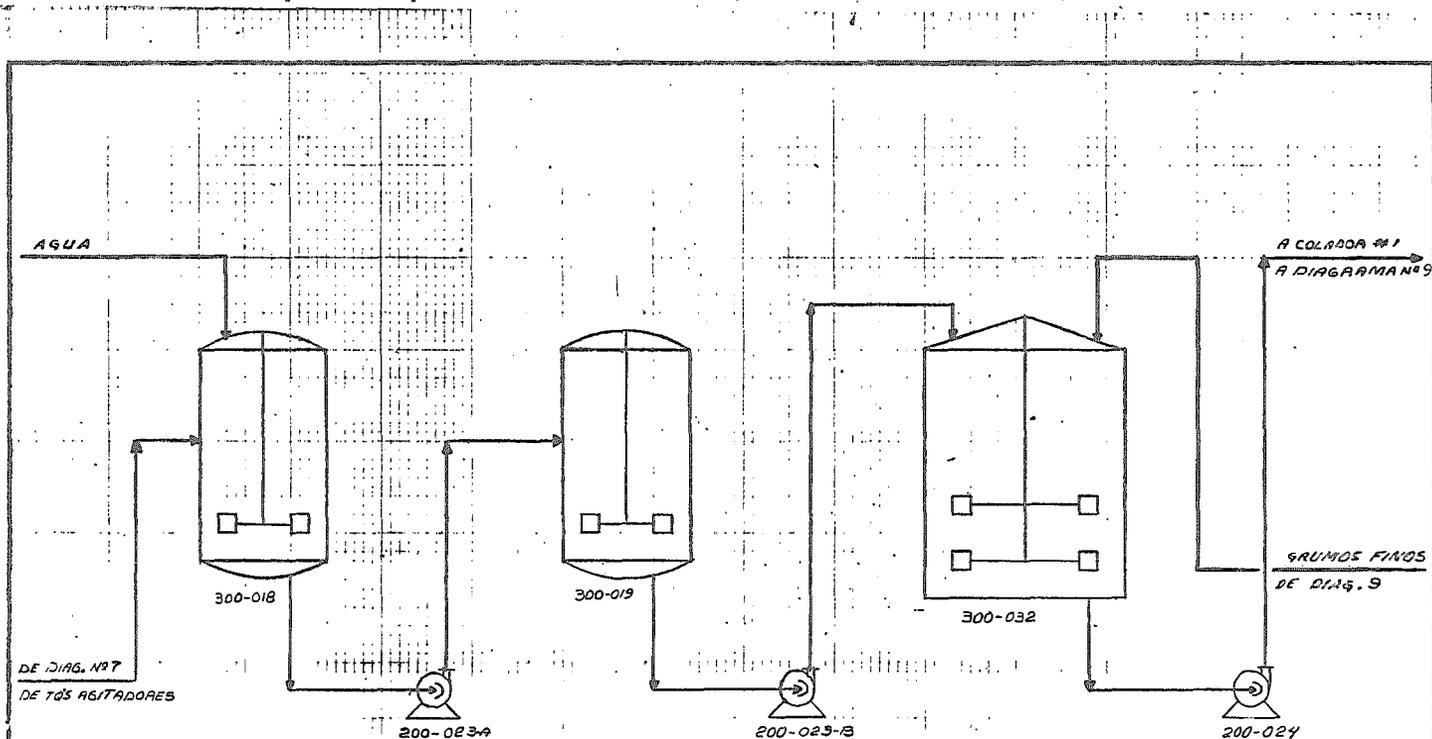
DIAGRAMA DEL FLUJO AREA DE AGITACION

TESIS  
PROFESIONAL

GERARDO ALCANTARA  
GUILLERMO CAMPOS  
MIGUEL A. VARELA

2011  
7

FACULTAD DE QUIMICA UNAM



300-018  
 TANQUE  
 COAGULADOR  
 PRIMARIO  
 CAP. 10 400 GAL

200-023A y B  
 BOMBAS DE  
 PRODUCTO DE  
 TANQUES COAGULADORES  
 CAP. 200 GPM

300-019  
 TANQUE  
 COAGULADOR  
 SECUNDARIO  
 CAP. 10 400 GAL.

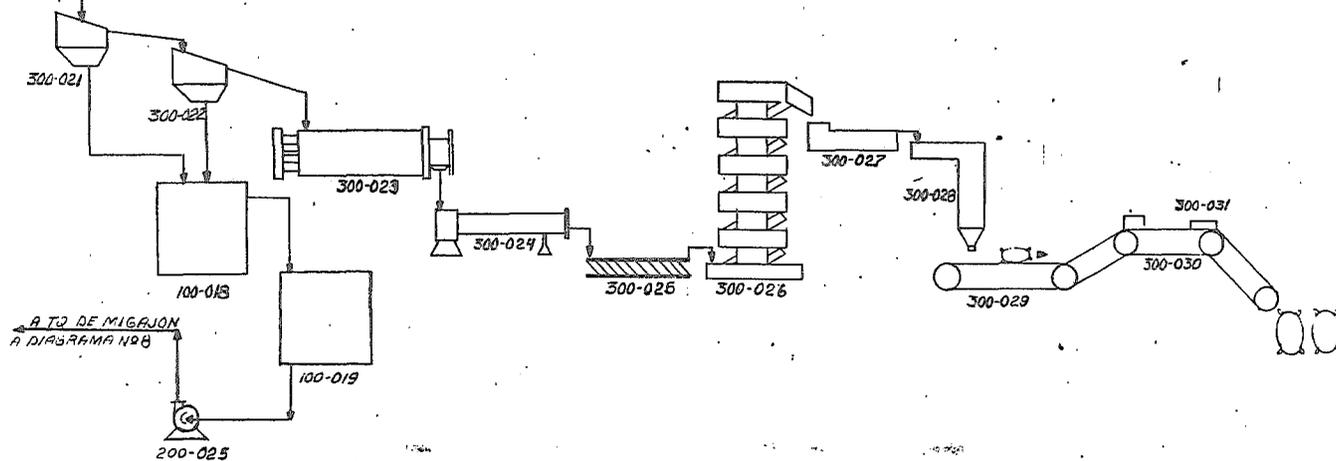
300-032  
 TANQUE DE  
 MIAJON  
 CAP. 40 000 GAL

200-024  
 BOMBA DE  
 PRODUCTO  
 A COLADORES  
 CAP. 200 GPM

DIAGRAMA DE FLUJO AREA DE CONSULACION		
TESIS PROFESIONAL	GERARDO ALCANTAR	DIAGRAMA
	GUILLEMO CAMPOS MIGUELA LINARES	Nº 8
FACULTAD DE QUIMICA UNAM		

<u>300-021</u> COLADOR DE HULE # 1 CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-022</u> COLADOR DE HULE # 2 CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-023</u> EXPRIMIDOR DE HULE CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>100-018</u> TANQUE DE GRUMOS PEQUEÑOS CAP. 1000 GPM	<u>300-025</u> BASCUA Prensadora CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-029</u> TRANSPORTADOR DE BLOQUES # 1 CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-030</u> TRANSPORTADOR DE BLOQUES # 2 CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-031</u> ENSACADOR CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>
--	--	---	--	--	---	---	--

GRUMOS DE DIAGRAMA N° 8



<u>200-025</u> BOMBA DE MANEJO DE GRUMOS CAP. 150 GPM	<u>100-019</u> TANQUE DE RECIRCULACION DE GRUMOS CAP. 3000 GAL	<u>300-024</u> SECADOR DE HULE CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-025</u> TRANSPORTADORA DE HULE # 1 CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-026</u> ELEVADOR DE HULE CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>	<u>300-027</u> TRANSPORTADOR DE HULE # 2 CAP. 6000 <sup>16</sup> / <sub>hr</sub>
---	--	--	---	---	--

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SALON DE ACABADO

<b>TESIS PROFESIONAL</b>	GERARDO ALCANTAR GUILLERMO CAMPOS MIGUEL A. LINARES	DIAG. NO. 9
FACULTAD DE QUIMICA UNAH		

en la Planta, ajustándola si es requerido.

La verificación que se realiza en el campo es sobre -  
los siguientes Reportes:

- a) De diseño de los equipos (incluído en diagramas)
- b) De tiempo de operación.
- c) De consumo de materias primas
- d) De obtención de productos.
- e) De tiempo de servicio y reparación.
- f) De registro de cantidades que estan dentro de especi  
cificación.

Una vez realizada esta actividad, se estará en posibil  
lidad de utilizar dichos datos para el calculo de los factores-  
según se describión en el capitulo II.

DEPARTAMENTO: Producción

PERIODO Abril 1979

REPORTE DE : Tiempo de operación

A R E A

DESCRIPCION  
TIEMPO DE OPERACION

Purificación de butadieno	540 hrs.
Purificación de estireno	134 hrs.
purificación de solvente	462 hrs.
Reactores	421 hrs.
Coaguladores	451 hrs.
Salón de acabado	429

DEPARTAMENTO: Producción

AÑO 1979

REPORTE DE : Consumo de materias primas

TIPO DE MATERIAL

DESCRIPCION: Cantidad total de materia prima consumida

Butadieno

18,580,263

Estireno

6,193,421

Solvente

66,464,611

DEPARTAMENTO : Producción

REPORTE DE : Producto total obtenido

<u>PERIODO</u>	<u>DESCRIPCION:</u> <u>LB X 10<sup>6</sup></u>	<u>Cantidad total de producto obtenido</u>
ENERO	2.985	
FEBRERO	1.949	
MARZO	2.262	
ABRIL	2.812	
MAYO	0.924	
JUNIO	2.394	
JULIO	1.943	
AGOSTO	2.627	
SEPTIEMBRE	1.608	
OCTUBRE	1.001	
NOVIEMBRE	1.962	
DICIEMBRE	1.068	
T O T A L	23.535	

DEPARTAMENTO: Mantenimiento

PERIODO: Abril, 1979

REPORTE DE : Tiempo de Servicio

<u>AREA</u>	<u>DESCRIPCION:</u>	<u>Tiempo de Servicio</u>
Purificación de butadieno		72 hrs.
Purificación de estireno		6 hrs.
purificación de solvente		25 hrs.
Reactores		24 hrs.
Coaguladores		20 hrs.
Salón de acabado		120 hrs.

DEPARTAMENTO: Control de calidad

AÑO : 1979

REPORTE DE : Producto dentro de especificación

<u>PERIODO</u>	<u>DESCRIPCION:</u> LB X 10 <sup>6</sup>	<u>Cantidad de producto dentro de especificación</u>
ENERO	2.345	
FEBRERO	1.828	
MARZO	2.013	
ABRIL	2.171	
MAYO	0.761	
JUNIO	2.143	
JULIO	1.698	
AGOSTO	2.519	
SEPTIEMBRE	1.140	
OCTUBRE	0.983	
NOVIEMBRE	1.789	
DICIEMBRE	1.056	
T O T A L	20.446	

\* EVALUACION DE LOS FACTORES \*

## 1.- Factor de diseño

Recordando lo dispuesto en el capítulo II en el -  
que se define el factor de diseño como:

$$FD = \frac{CD}{CE}$$

donde:

FD= Factor de Diseño

CD= Capacidad de diseño

CE= Capacidad equivalente

Se procederá a calcular esta relación en función de la siguiente formulación de S B R y de las ecuaciones -- descritas en los próximos seis incisos, según sea el area - a tratar:

BUTADIENO	3 partes
ESTIRENO	1 parte
SOLVENTE	5 partes
OTROS	variable

## CALCULO DE LAS CAPACIDADES EQUIVALENTES

## a) Butadieno.

Dada la necesidad de tres partes de este material por cada una que se desee obtener de S B R y definiendo una producción de 20,000 toneladas anuales (5000 lb/hr), se tiene para los equipos cuya capacidad este expresada en galones por minuto:

$$C.E. = \frac{GPM (500) 5.6}{3} = 167 \text{ GPM (S.G.)}$$

DONDE:

C.E. = Capacidad equivalente de producto

GPM = Gasto en galones por minuto

S.G. = Gravedad específica = 0.6134 (para butadieno)

Para el caso de los equipos de transferencia de calor, cuya capacidad esta expresada en BTU/HR:

$$C.E. = \frac{BTU/HR}{3 \Delta T (CP)} \quad 6$$

$$C.E. = \frac{BTU/HR}{3 \lambda}$$

DONDE:

BTU/HR	=	Capacidad del equipo
$\Delta T$	=	$T_2 - T_1$
$T_1$	=	temperatura inicial del fluido ( $^{\circ}F$ )
$T_2$	=	temperatura final del fluido ( $^{\circ}F$ )
$C_p$	=	Capacidad calórfica = 0.36 BTU/lb $^{\circ}F$ (para butadieno)
$\lambda$	=	Calor latente = 173 BTU/LB (para butadieno) (105 $^{\circ}$ C)

Los equipos como compresores, o algunos otros que manejen gases y su capacidad este expresada en pies cúbicos - standar por minuto, serán suficientes para producir S B R en la proporción predicha por la siguiente ecuación:

$$C.E. = \frac{SCFM}{3 \text{ vstd}} \quad 60 = 20 \frac{SCFM}{\text{vstd}}$$

SIENDO:

SCFM = Capacidad en pies cúbicos standar por minuto.

vstd = Volumen standar = 6.776 FT<sup>3</sup> std/LB (para butadieno)

Finalmente en los tanques, cuyo volumen esta expre

sado en galones, su capacidad equivalente se evaluara según:

$$C.E. = \frac{GAL(S.G.) 62,371}{3 (7.481) TR} = 2.76 \frac{GAL(S.G.)}{TR}$$

PARA LO CUAL:

GAL = volumen del tanque en galones

TR = Tiempo de residencia en horas

#### b) ESTIRENO

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la capacidad equivalente en los equipos que manejan estireno, son básicamente las mismas que en el caso del butadieno, variando únicamente el factor numérico, ya que en este caso, solo se requiere de una parte de estireno por cada una que se desee obtener de S B R. De esta forma según el tipo de equipo a evaluar se tiene:

BOMBAS:

$$C.E. = 500 (GPM) (S.G.)$$

INTERCAMBIADORES DE CALOR:

$$C.E. = \frac{BTU/HR}{\Delta T (Cp)}$$

TANQUES:

$$C.E. = \frac{62,371 \text{ (GAL)} \text{ (S.G.)}}{7.481 \text{ (T.R.)}} = \frac{8.34 \text{ (GAL)} \text{ (S.G.)}}{\text{T.R.}}$$

Sabiendo que las propiedades del estireno son:

$$S.G. = 0.9$$

$$C_p = 0.47$$

c) SOLVENTE

En este caso se requerira hacer la corrección de - las ecuaciones en función de una demanda de cinco partes de - ciclohexano por cada una de producto, resultando las siguientes relaciones:

$$C.E. = \frac{500 \text{ (GPM)} \text{ (S.G.)}}{5} = 100 \text{ (GPM)} \text{ (S.G.)}$$

$$C.E = \frac{BTU/HR}{5 \Delta T (C_p)} \quad \text{ó} \quad C.E. = \frac{BTU/HR}{52}$$

$$C.E. = \frac{62.371 \text{ (GAL)} \text{ (S.G.)}}{5 (7.481) \text{ TR}} = \frac{1.67 \text{ (GAL)} \text{ (S.G.)}}{\text{T.R.}}$$

Siendo que las características para este material son las siguientes:

$$S.G. = 0.768$$

$$C_p = 0.52$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

#### d) SUSTANCIAS AUXILIARES

Las sustancias auxiliares como dispersante, inhibidor antioxidante y aceites son requeridos en el proceso en cantidades pequeñas, además las cualidades de plasticidad son variables y dependen del tipo y cantidad de carga alimentada. -- Entonces se considera que la capacidad o equivalente sea de -- 5000 lb/hr de producto y el factor de diseño será por lo tanto -- igual a uno.

#### e) OBTENCION Y PURIFICACION DE PRODUCTO

Debido a que en esta área casi solo existen bombas y tanques solo se desarrollan las ecuaciones para el cálculo de las capacidades equivalentes de dichos equipos.

Es conveniente hacer notar que los pocos intercambiadores de calor presentes en esta sección unicamente manejan solvente, por lo que para el cálculo de ellos deberán considerarse las propiedades de este material. Mientras que para el Latex, deberá pensarse en un S.G. = 0.65 y un total de 9 partes de ingredientes para la elaboración de S.B.R.

Por lo tanto para las bombas se tendrá:

$$C.E. = \frac{500 \text{ (GPM)} (.65)}{9} = 36.1 \text{ (GPM)}$$

Y para Tanques:

$$C.E. = \frac{62.371 \text{ (GAL)} (.65)}{7.481 \text{ (9) TR}} = 0.602 \frac{\text{GAL}}{\text{TR}}$$

Pero debido a que después de la coagulación, se agrega agua al producto acarreando esto un aumento de gravedad específica hasta 0.96.

Las ecuaciones anteriores se modificarán en la forma siguiente:

$$C.E. = 53.3 \text{ GPM.}$$

Y

$$C.E. = 0.889 \frac{\text{GAL}}{\text{TR}}$$

#### f) ACABADO Y EMPAQUE

En la primera parte se consideran las mismas ecuaciones utilizadas en el área de coagulación.

Para Bombas:

$$CE = 53.3 \text{ (GPM)}$$

Para Tanques:

$$CE = \frac{0.889 \text{ (GAL)}}{\text{TR}}$$

Para los coladores:

Solidos 20%

$$CE = 53.3 \text{ (GPM - D.B (.2) )}$$

En la segunda parte como se maneja el hule, la ca  
pacidad del equipo es igual a la capacidad equivalente.

CUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDADES INSTALADAS Y REQUERIDAS

AREA: AIMTO. Y PURIFICACION DE BUTADIENO

CLAVE	DESCRIPCION	CAP. UNI.	CAP. EQUIV. LB/HR.	FACT. DE DISEÑO	OBSERVA- CION
100-001	Esfera de butadieno	630,000 GAL	6349	1.27	TR= 7 dias
300-001	Compresores de butadieno	34 SCFM	100	0.02	
400-004	Condensador de butadieno	2,200,000 <u>BTU</u>	4239	0.85	
200-001	Bomba de butadieno humedo	50 GPM HR	5122	1.02	
400-002	Pre calentador de 300-002	750,000 <u>BTU</u> HR	6944	1.39	AT= 100°F
300-002	Columna de butadieno	75 GPM	7683	1.54	
400-003	Rehervidor de 300-002	1,300,000 <u>BTU</u> HR	2505	0.50	
400-001	Condensador de 300-002	1,600,000 <u>BTU</u> HR	3083	0.62	100
200-003	Bomba de butadieno seco	60 GPM	6146	1.23	
400-005	Vaporizador de butadieno	2,100,000 <u>BTU</u> HR	4046	0.81	
400-021	Condensador de butadieno flasheado	2,200,000 <u>BTU</u> HR	4239	0.85	
100-003	Tanque de butadieno seco	25,200 GAL	7110	1.42	TR= 6Hr.
100-004	Tanque pesado de butadieno	1,250 GAL	6348	1.27	TR= 20Min.
200-004	Bomba de butadieno a reactores	120 GPM	12,293	2.46	

CUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDADES INSTALADAS Y REQUERIDAS

AREA: ALIMENTO Y PURIFICACION DEL ESTIRENO

CIAVE	DESCRIPCION	CAP. UNI.	CAP. EQUIV. LB/hr.	FACTOR DE DISEÑO	OBSERVACIONES
200-005	Bomba de estireno crudo	100 GPM	45,000	9.0	
100-005	Tanque de almnto. de es. tireno	237,000 GAL	7412	1.48	TR= 10dias
400-006	Enfriador de estireno	200,000 BTU HR	7465	1.49	AT= 57 °F
300-004	Coalescer de estireno	20 GPM	9000	1.80	
200-006	Bomba de estireno a secado	60 GPM	27,000	5.40	
300-005	Columna de secado de estire no (2)	20 GPM	9000	1.80	101
100-006	Tanque receptor de estireno seco	9500 GAL	7923	1.58	TR= 9Hr.
200-007	Bomba de estireno seco	40 GPM	18000	3.6	
100-007	Tanque de pesado de estireno	350 GAL	5254	1.05	TR= 1/2Hr.
200-008	Bomba de estireno a reactores	40 GPM	18000	3.60	

CUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDADES INSTALADAS Y REQUERIDAS  
AREA: ALMACENAMIENTO Y PURIFICACION DE SOLVENTE

CLAVE	DESCRIPCION	CAPACIDAD UNITARIA	CAPACIDAD EQUIVALENTE	FACTOR DE DISEÑO	OBSERVACIONES
200-009	Bomba de solvente a almacenamiento	100 GPM	7680	1.54	
100-008	TQ de almto de solvente crudo	84000 GAL	4489	0.9	TR= 24 Hrs.
200-010	Bomba a tanque 100-009	25 GPM	1920	0.38	
100-009	Tanque de almto de solvente humedo	257000	45780	9.16	TR= 3 Dias
200-011	Bomba de solvente a coalescer	100 GPM	7680	1.54	
300-006	Coalescer de solvente	130 GPM	9984	2.0	
400-007	Intercambiador de solvente	1500000	<u>BTU</u> Hx 9615	1.92	AT= 60°F
400-008	Pre calentador de solvente humedo	250 000	" 4808	0.96	AT= 20°F
300-007	Columna de destilacion de solvente	104 GPM	10816	2.16	
400-009	Rehervidor de la columna de solvente	5 480 000	<u>BTU</u> Hx 7211	1.44	
400-012	Enfriador de destilados pesados	12 500	<u>BTU</u> Hx 4808	0.96	AT= 1°F
200-016	Bomba de destilados pesados	2.33 GPM	5800	1.16	Cap. Req. 2 GPM
100-015	TQ Acumulador de destilados pesados	23 600 GAL	5045	1.01	TR= 6 Hrs.
200-017	Bomba de dest. pesados a carros	50 GPM	5000	1.0	Llenado carro - tanque 30 mins.
400-011	Condensador de destilados ligeros	1153 000	<u>BTU</u> Hx 4324	0.87	Cap. Req. = 16 GPM
100-014	TQ. Acumulador de destilados ligeros	1500 GAL	7695	1.54	TR = 1/4 Hr.
200-015	Bomba de dest. ligeros a coalescer	40 GPM	7500	2.0	Cap. Req. 30 GPM

AREA: ALMACENAMIENTO Y PURIFICACION DE SOLVENTE

CLAVE	DESCRIPCION	CAPECIDAD UNITARIA	CAPECIDAD EQUIVALENTE	FACTOR DE DISEÑO	OBSERVACIONES
100-010	Tanque de solvente destilado	1420 GAL	7289	1.46	TR = 1/4 Hr.
400-010	Condensador de solvente destilado	4 800 000 GTU/HR	6316	1.26	
100-011	Tanque acumulador de solvente	2000 GAL	9356	1.87	TR = 10 Min.
200-012	Bomba de solvente a secado	100 GPM	7680	1.54	
300-008	Columna de secado de solvente (2)	200 GPM	15360	3.07	
100-012	TQ de almnto de solvente seco	281 000 GAL	7508	1.50	TR = 2 Dias.
200-013	Bomba de solvente seco	40 GPM	3072	0.61	
100-028	TQ de solvente con catalizador	21 000 GAL	5386	1.08	TR = 5 Hr.
200-033	Bomba de solvente con catalizador	40 GPM	3072	0.61	
400-019	Condensador enfriante de solvente	544 000 BTU/HR	11450	2.29	CAP. REQ. = 1560 lb/Hr.
400-013	Condensador de solvente destilado	2100 000 BTU/HR	10466	2.09	Cap. REQ. = 6600 lb/Hr
100-016	Tanque separador de fases	750 GAL	5771	1.15	TR = 10 Min.
200-018	Bomba del separador de fases	50 GPM	7353	1.47	CAP. REQ. = 34 GPM
400-014	vaporizador de solvente destilado	1670 000 BTU/HR	8323	1.66	CAP. REQ = 6600 lb/Hr
400-015	Recalentador de solvente destilado	760 000 BTU/HR	4872	0.97	6600 AT = 150°F
100-013	TQ de almnto de solvente con inhibidor	281 000 GAL	5006	1.0	TR = 3 Dias
200-014	Bomba de solvente con inhibidor	475 GPM	36480	7.3	
400-020	precalentador de solvente a reactores	9500 000 BTU/HR	24359	4.87	AT = 150°F
100-017	Tanque de solvente flasheado	4700 GAL	6028	1.21	TR = 1 HR
200-020	bomba de recirculacion de solvente	70 GPM	5376	1.00	

CUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDAD INSTALADAS Y REQUERIDAS  
AREA: OBTENCION Y PURIFICACION DE PRODUCTO

CLAVE	DESCRIPCION	CAPACIDAD UNITARIA	CAPACIDAD EQUIVALENTE	FACTOR DE DISEÑO	OBSERVACIONES
300-009	Reactor # 1	8600 GAL	1725	0.35	TR = 3 HR.
300-010	Reactor # 2	8600 GAL	1726	0.35	TR = 3 HR.
300-011	Reactor # 3	8600 GAL	1720	0.35	TR = 3 HR.
300-012	Mezclador de sobre inhibidor	20 GAL	5040	1.01	TR = 8.6 SEGS.
200-019	Bomba de transferencia de producto	200 GPM	7220	1.44	
300-013	Tanque flash de producto	5000 GAL	6020	1.2	TR = 1/2 HR.
400-016	Condensador de solvente flasheado	6455000 BTU/HR	8493	1.7	
400-017	Enfriador de solvente flasheado	1190000 BTU/HR	5721	1.14	AT = 80°F.
200-021	Bomba solvente flasheado	200 GPM	7220	1.44	
300-014	Tanque agitador # 1	88000 GAL	2207	0.44	TR = 1 DIA.
300-015	Tanque agitador # 2	88000 GAL	2207	0.44	TR = 1 DIA.
300-016	Tanque agitador # 3	88000 GAL	2207	0.44	TR = 1 DIA.
200-022	Bomba de producto a coaguladores	125 GPM	4513	0.9	
300-017	Mezclador de SBR y aditivos	20 GAL	5040	1.01	TR = 8.6 SEG.
300-020	Mezclador de SBR y aceites	20 GAL	5040	1.01	TR = 8.6 SEG.
300-018	Coagulador primario	10400 GAL	6164	1.23	TR = 1.5 HRS.
300-019	Coagulador secundario	10400 GAL	6164	1.23	TR = 1.5 HRS.
200-023A	Bomba de producto de coagulador No. 1	200 GPM	10660	2.13	
200-023B	Bomba de producto de coagulador No. 2	200 GPM	10660	2.13	
300-032	Tanque de migajón	40000 GAL	4445	0.89	TR = 8 HR.
200-024	Bomba de producto acoladores	200 GPM	10660	2.13	

CUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDAD INSTALADAS Y REQUERIDAS  
AREA ACABADO Y EMPAQUE.

ClAVE	DESCRIPCION	CAPACIDAD UNITARIA	CAPACIDAD EQUIVALENTE	FACTOR DE DISEÑO	OBSERVACIONES
300-021	Colador de hule No. 1	200-8% S.GPM	10 669	2.13	
300-022	Colador de hule	200-8% S.GPM	10 669	2.13	
100-018	Tanque de grumos pequeños	1000 GAL	5 334	1.07	TR = 10 MIN.
100-019	Tanque de recirculacion de grumos	3000 GAL	5 334	1.07	TR = 1/2 HR.
200-025	Bomba de manejo de grumos	150 GPM	7 995	1.6	
300-023	Exprimidor de hule	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-024	Secador de hule	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-028	Bascula prensadora	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-025	Transformador de hule No. 1	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-026	Elevador de hule No. 1	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-027	Transformador de hule No. 2	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-029	Transformador de bloques No. 1	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-030	Transformador de bloques No. 2	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	
300-031	Ensacador	6000 lb/Hr.	6 000	1.2	

## 2.- FACTOR DE UTILIZACION

Dicho factor será calculado con la ecuación:

$$F.U. = \frac{t_u + t_r}{T_t}$$

Considerando:

FU = Factor de utilización

Tu = Tiempo de utilización u operación

Tr = Tiempo de reparación o manteni --  
miento

Tt = Tiempo total disponible (720 Hrs.)

Así en base a los reportes de tiempos de reparación y de operación, se obtienen los siguientes valores para el mes de abril de 1979.

AREA	Tu (Hrs.)	Tr (Hrs.)	F.U.
Purificación de Butadieno	540	72	0.85
Purificación de estireno	134	6	0.19
Purificación de solvente	462	25	0.68
Reactores	421	24	0.62
Coaguladores	451	20	0.65
Salón de Acabado	429	120	0.76

## 3.- FACTOR DE SERVICIOS

Dado que el cociente descrito a continuación:

$$F.S. = \frac{tu}{tr + tu}$$

Expresa la evaluación de este factor y aplicándolo a los datos recopilados en los reportes de tiempos de servicios y operación, será posible determinar el factor de servicio para las siguientes áreas.

AREA	F.S.
Purificación de Butadieno	0.88
Purificación de Estiereno	0.96
Purificación de Solvente	0.95
Reactores	0.95
Coaguladores	0.96
Salón de acabado	0.78

## 4.- FACTOR DE PRODUCTIVIDAD

Este solo se calculará en base a la información - recabada en los reportes de consumo de materias primas y de tiempo de operación:

$$FP = \frac{CR}{CD} = \frac{tu \text{ C.E.}}{tt (5000 \text{ lb/Hr.})}$$

CR = Capacidad real = (LB)  
 CD = Capacidad de diseño = (LB)  
 tu = Tiempo de utilización = (HRS)  
 C.E. = Capacidad equivalente de materia prima  
 (Lb/Hr.)  
 Tt = Tiempo total disponible = 720 Hrs.

Para Butadieno : C.R. =  $8048/3 = 2682$  Lb/Hr.  
 Para Estireno : C.E. =  $3003/1 = 3003$  Lb/Hr.  
 Para Solvente : C.E. =  $28789/5 = 5758$  Lb/Hr.

Así, se obtiene que el factor de productividad es el siguiente para las áreas mostradas:

AREA	F.P.
Purificación de Butadieno	0.40
Purificación de Estireno	0.11
Purificación de Solvente	0.74

Es conveniente indicar que los denominadores para el cálculo de la capacidad equivalente de las materias primas son el resultado de haber considerado la proporción requerida de cada una de ellas en la formulación de S.B.R.

## 5.- FACTOR DE CALIDAD

La determinación de la efectividad en la transformación de materia prima a producto, se determina con esta razón:

$$F.C. = \frac{P_e}{P_t}$$

$P_e$  = Producto dentro de especificación (LB/año)

$P_t$  = Producto total (LB/AÑO)

Según los reportes de producto dentro de especificación y de producto total obtenido, expedidos por los departamentos de control de calidad y producción, respectivamente, se obtiene que el factor de calidad global para toda la planta, es:

$$F.C. = \frac{20\ 446\ 000}{23\ 535\ 000} = 0.868$$

## 6.- FACTOR DE RENDIMIENTO

Recordando que esta relación es:

$$F.R. = \frac{P_t}{M_p}$$

siendo:

$M_p$  = Cantidad total de materias primas consumidas  
lb/año.

$$Pt = \text{Producción total} = 23535000 = 0.48$$

Cabe aclarar que para calcular este factor son necesarios los reportes de consumo de materias primas y de productos total obtenido recopilado a través del departamento -- de producción de la planta.

TOTAL DE MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS:

18,580,263	Butadieno
<u>6,193,421</u>	Estireno
24,773,684	Lb/año

$$F.R. = \frac{23,535,000}{24,773,684} \times 100 = 95\%$$

TABLA DE RESULTADOS

FACTORES AREA	F.D.	F.U.	F.S.	F.P.
Purificación de Butadieno	0.5	0.85	0.88	0.4
Purificación de Estireno	1.0	0.19	0.96	0.4
Purificación de Solvente	0.96	0.68	0.95	0.74
Reactores	0.9	0.62	0.95	
Coaguladores	0.9	0.65	0.96	
Salón de acabado	1.0	0.76	0.78	

F.C. = 0.868

F.R. = 0.95

## C A P I T U L O V

### ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y RECOMENDACIONES

#### A.- LOCALIZACION DE LOS CUELLOS DE BOTELLA EN LA PLANTA DE HULE Y RECOMENDACIONES

El objeto de este análisis es el de interpretar los resultados obtenidos para cada uno de los factores y dar las recomendaciones para cada caso:

##### 1.- FACTOR DE DISEÑO.

###### a) Almacenamiento y Purificación de Butadieno.

Dentro de esta área se puede observar que el compresor de butadieno posee un F.D. igual a 0.02, lo que significa que la capacidad requerida, con respecto al demás equipo, es insignificante. Esto acarrea que el tiempo usado para descargar el butadieno sea grande, aparte de que se esta desperdiciando la capacidad de los otros equipos, ya que crea un cuello de botella. El rehervidor y el condensador de la columna de butadieno resultan ser equipos conflictivos, así lo demuestra su valor de F.D. 0.05 y 0.62 respectivamente el resultado de estos valores crea una insuficiencia en la capacidad de la torre y mayor tiempo para la purificación del butadieno. Se sugiere que el departamento de Ingeniería realice

un estudio para sustituir al compresor actual además de checar las capacidades del condensador y del rehervidor de la columna de butadieno.

b) Almacenamiento y Purificación de Estireno.

El valor de F.D. resulta muy parecido para todos los equipos, con excepción de la bomba de estireno crudo y la bomba de estireno a secado, las cuales están sobrediseñadas.

c) Almacenamiento y Purificación de Solvente.

Dentro de esta área los cuellos de botella por diseño resultan ser las bombas, el valor de 0.38 del F.D., para la bomba 200-010, la cual envía solvente al tanque de almacenamiento. Es muy bajo, con respecto a los demás valores, este resultado lo debemos interpretar como un mal diseño, en el mismo caso se pueden situar las bombas 200-013 y 200-033. Este mal diseño crea dificultades en el manejo del solvente, ocasionando pérdidas de tiempo. Se deberán diseñar las bombas 200-013 y 200-033, con respecto con un gasto mayor.

d) Obtención y Purificación de Producto.

Dentro de esta área se puede observar valores bajos de F.D., tanto para los reactores como para los tanques agitadores. Esto significa que estos equipos son los que determinan la capacidad de la planta.

## e) Acabado y Empaque.

De acuerdo a lo obtenido se ve que todos los equipos poseen un valor de F.D., similar y por lo tanto una capacidad semejante.

## 2.- FACTOR DE UTILIZACION.

De acuerdo con la definición de este factor, el valor nos dará una idea del tiempo "muerto", en la planta. Se recomienda que el Depto. de Programación realice un estudio más profundo de tiempos y movimientos del personal ya que los valores obtenidos estan por abajo del valor óptimo (0.95-1.00).

## 3.- FACTOR DE SERVICIO.

Los valores del F.S. muestran la efectividad del departamento de mantenimiento y como se ve esta eficiencia -- esta dentro de los límites permisibles (0.90-1.00), la excepción la constituye el salón de acabado. Se sugiere que el departamento de mantenimiento realice una revisión al inventario de partes para el área en cuestión, ya que posiblemente esta sea la causa de tener un valor de F.S. = 0.78.

## 4.- FACTOR DE PRODUCTIVIDAD.

Este factor muestra la eficiencia de la producción, esto es que tanto diferimos de la producción de diseño. Los --

resultados obtenidos indican que esta relación esta muy por debajo de lo permitido (0.90-1.00).

Se recomienda que el personal de producción lle a cabo un estudio profundo en las torres de destilación, para el caso del solvente y del butadieno y las torres empacadas usadas para el estireno, ya que estas son las causas principales de este bajo rendimiento.

#### 5.- FACTOR DE CALIDAD.

El valor obtenido para este factor muestra que cerca de un 15% del producto total esta fuera de especificación y debe ser reprocesado. Se sugiere que el Departamento de producción ponga una mayor atención al proceso de coagulación, ya que este paso es el que esta creando los problemas.

#### 6.- FACTOR DE RENDIMIENTO.

La idea que nos da este factor es la de eficiencia en la utilización de las materias primas. El valor calculado muestra una ineficiencia del 50% aproximadamente. Sin embargo se deberá vigilar el consumo de solvente ya que su recuperación tiene deficiencias.

## 2.- ESTIMADO DE LA INVERSION PARA EL ESTUDIO.

En el capítulo II, se mencionó, que el desembolso para realizar este estudio para cualquier tipo de planta de proceso, es bajo, lo demuestran los siguientes números:

El método de los factores se aplicó a una planta localizada en México, en la que se obtuvieron los siguientes resultados:

## Costo de Ingeniería:

Horas - Hombre		1,500.00
Costo/Hora-Hombre	\$	250.00
Subtotal	\$	375,000.00
Viajicos	\$	60,000.00
Otros	\$	<u>10,000.00</u>
	\$	445,000.00

Como se observa se tiene una inversión total de \$ 445,000.00, considerando la información que proporciona a la gerencia para la toma de decisiones en la eliminación de los cuellos de botella es significativamente bajo, ya que el aumento de productividad de la planta fué cercano al 100%.

El tiempo requerido para proporcionar la información de la localización y características de estos cuellos -

de botella es de 45 días o sea muy corto, considerando 5 técnicos para su elaboración.

## C A P I T U L O VI

### C O N C L U S I O N E S

Es factible desprender una serie de conclusiones inherentes a este trabajo, las cuales serán mencionadas conforme su orden de aparición:

1. El concepto de cuello de botella en una Planta, es tratado aquí en su enfoque más amplio, ya que se considera como tal, a cualquier factor capaz de obstaculizar el alcance del óptimo volumen de producción, sin discriminar entre bajas capacidades de equipo, mala organización de un departamento, operación deficiente, etc.

2. El método de los factores, ha comprobado su gran utilidad al ser realmente aplicado a la Planta de Hule tratada en el presente trabajo, arrojando resultados muy satisfactorios para el fin a que fué diseñado, esto es, la detección de "Cuellos de Botella" a partir de los reportes cotidianos de cada uno de los departamentos de la Empresa involucrados en la producción.

3.- Deberán existir dos premisas básicas para justificar la aplicación del método:

a) La producción real debe ser menor a la esperada por diseño .

b) Deberá existir una demanda insatisfecha del pro  
ducto.

Sin embargo, cuando la segunda premisa esté presen  
te, podrá justificarse la aplicación del método aunque no --  
exista la primera, ya que en este caso podrá enfocarse como -  
un aumento de capacidad.

4. Durante la aplicación del método, es de suma im  
portancia el completo entendimiento de los factores, ya que -  
esto es básico para emitir decisiones.

a) Factor de diseño.- Localiza los cuellos de bo -  
tella.

b) Factor de utilización.- Cuantifica la eficiencia  
de la programación.

c) Factor de servicio.- Evalúa el mantemiento.

d) Factor de productividad.- Describe el funciona -  
miento de producción.

e) Factor de calidad.- Valora la efectividad del --  
control de calidad.

f) Factor de rendimiento.- Permite visualizar la --  
eficiencia en la utilización de materias primas.

5. Se requiere tener una organización matricial que  
permita un perfecto control de cada área por parte de los de -  
partamentos en ella involucrados. Los cuales necesariamente --

deberán proporcionar la información específica requerida para la aplicación del método.

6. Es necesario un análisis de los resultados numéricos del estudio, que junto con una apropiada delegación de responsabilidades, permita el mejor control de la producción.

7. El método posee la suficiente flexibilidad para ser aplicable a cualquier tipo de Planta de Proceso y aún-  
Manufacturera, además de que el desembolso causada por su uso es relativamente bajo en comparación de los beneficios por --  
él acarreados.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Kern, Donald Q.  
Process Heat Transfer.  
Mc. Graw - Hill  
New York - 1950.
- 2.- Riegel, Emil R.  
Industrial Chemistry  
Reinhold  
New York - 1950.
- 3.- Allinger, Norman L.  
Química Orgánica  
Reverte  
Barcelona - 1973.
- 4.- Shaw, Duncan J.  
Introduction to Colloid & Surface  
Chemistry  
Butterworths  
London - 1970
- 5.- Perry, John H.  
Chemical Engineer's Handbook  
Mc. Graw - Hill  
New York - 1973.
- 6.- Peters, Max Stone  
Plant Design & Economics  
For Chemical Engineers  
Mc. Graw - Hill  
New York - 1958.
- 7.- Rase, Howard F.  
Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso  
Continental  
México - 1973.
- 8.- Merril, William C.  
Introducción a la Estadística Económica  
Amorrortu  
Buenos Aires - 1972.

- 9.- Morrison, Robert Thornton  
Organic Chemistry  
Allyn & Bacon  
Boston -1966
- 10.- Aries, Robert Sancier  
Chemical Engineering cost estimation  
Mc. Graw - Hill  
New York - 1955.