

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**CRITERIOS DE SELECCION Y OPERACION
DE UN SISTEMA CLARIFICADOR DE
JUGO DE MANZANA POR FILTRACION**

**T E S I S P R O F E S I O N A L
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
JAVIER APELLANIZ DE LA PUENTE**

**ASESOR:
I. Q. JOSE CABEZA PARRADO**

EDO. DE MEXICO, 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N D I C E

CAPITULO I	Objetivo - - - - -	1
CAPITULO II	Introducción - - - - -	3
	Fig. 2.1.- Superficie Cosechada de manzana y perón - - - - -	4
	Fig. 2.2.- Producción de manzana y perón - - -	5
	Fig. 2.3.- Consumo Nacional de manzana y perón-	6
	Fig. 2.4.- Consumo per-cápita de manzana y perón - - - - -	7
	Fig. 2.5.- Canales de comercialización de la manzana - - - - -	9
	Tabla 2.1.- Valor Nutritivo de la manzana - - -	10
CAPITULO III	Industrialización de la manzana para obtención de jugo - - - - -	13
	Tabla 3.1.- Clasificación de los jugos en base a su relación ácido - azúcar - - - - -	15
	Tabla 3.2.- Relación ácido - azúcar en jugos de varios países - - - - -	16
	Proceso de obtención de jugo de manzana - - - -	18
	Métodos Alternativos de conservación - - - - -	26
	Fabricación de jugos concentrados - - - - -	27

CAPITULO IV	Filtración - - - - -	29
	Equipo de filtración - - - - -	31
	Filtro prensa - - - - -	33
	Filtro de medio granular - - - - -	37
	Filtro de bolsa - - - - -	38
	Filtro de hojas - - - - -	38
	Filtro de cartucho - - - - -	41
	Filtro discontinuo de vacío - - - - -	41
	Filtro de tambor rotatorio - - - - -	43
	Filtro horizontal - - - - -	49
	Filtro de disco rotatorio al vacío - - - - -	51
	Filtro continuo de presión - - - - -	51
	Medios de filtración y filtro ayudas - - - - -	56
	Teoría de filtración - - - - -	58
	Efecto de las variables de operación - - - - -	66
	Efecto de la presión - - - - -	67
	Efecto del espesor de la torta - - - - -	68
	Efecto de la viscosidad - - - - -	69
	Efecto de la temperatura - - - - -	69
	Efecto del tamaño de partícula - - - - -	70
	Efecto del tipo de medio filtrante - - - - -	70
	Efecto de la concentración - - - - -	71
	Ultrafiltración y Osmosis Inversa - - - - -	71

CAPITULO V	Clarificación por Filtración - - - - -	76
	Hojas de los filtros - - - - -	78
	Teles del filtro - - - - -	79
	Procedimiento de filtración - - - - -	80
	Formación de precepa - - - - -	81
	Filtración - - - - -	83
	Equipo auxiliar - - - - -	86
	Selección del filtro ayuda - - - - -	89
	Pruebas y evaluaciones - - - - -	92
	Problemas y sus causas - - - - -	94
	Manual de operación de un sistema de clarifica ción mediante un filtro de hojas - - - - -	96
CAPITULO VI	Pectinas - - - - -	101
	Nomenclatura - - - - -	101
	Presencia - - - - -	102
	Tabla 6.1.- Porcentaje en peso de pectinas con tenido en algunas frutas frescas - - - - -	103
	Composición - - - - -	103
	Propiedades físicas - - - - -	105
	Identificación de sustancias péciticas - - - - -	107

CAPITULO VII	Acoplamientos	111
	Acoplamiento tipo engranes	112
	Acoplamiento tipo Oldham	113
	Acoplamiento tipo rejilla	113
	Acoplamiento de discos	114
	Acoplamiento de "galleta"	115
	Acoplamiento de buje	115
	Acoplamiento bridado	115
	Acoplamientos móviles por fricción	116
	Causas generales de fallas	116
	Selección del acoplamiento	117
	Alineamiento de acoplamientos	117

I.- OBJETIVO

Mediante el trato directo con los procedimientos utilizados actualmente para la elaboración de jugos en una compañía líder en el mercado Mexicano de estos productos, se encontró que la clarificación de jugo de manzana es una de las operaciones más delicadas debido a la frecuencia con que se presentan problemas en su ejecución. Estos problemas ocasionan pérdida de tiempo y dinero y en algunas ocasiones una disminución de la calidad del producto.

Debido a lo anterior con la elaboración de este trabajo se persigue poner a la mano de las personas que tengan trato con la clarificación de jugo de manzana la información necesaria para llevar a cabo una buena operación del sistema, así como impartir los conocimientos necesarios para dar cierto criterio que permita el planteamiento de modificaciones convenientes a un equipo ya instalado; que ayude a llevar a cabo una buena selección cuando el caso sea la compra de un nuevo equipo; que dé orientación para establecer nuevas y mejores formas de control de la clarificación, incluyendo algunos análisis químicos que faciliten la evaluación de la calidad del producto y por lo tanto de la operación; y por último, que presente las herramientas para efectuar una rápida solución de los problemas más frecuentes en la práctica de esta operación de la Ingeniería en Alimentos.

Puesto que es importante situar cualquier tema de estudio dentro de un panorama amplio, ya que es la única manera en que puede comprenderse perfectamente dicho tema, se hablará primero de la industrialización de la manzana enfo

cada específicamente a la obtención de jugo. Posteriormente se centrará el trabajo en el estudio de la filtración, ya que es la operación básica en la clarificación de estos productos. Después de esto, se tratará directamente el aspecto de clarificación por filtración y los principales conceptos relacionados con ella. Por último se hablará de dos temas que son de suma importancia en el sentido de que están en relación directa con dos problemas muy frecuentes en la clarificación de jugos. El primero de ellos es el tema de pectinas, el cual ayudará a un mejor entendimiento de la despectinización, que es una etapa básica en el proceso de clarificación, y además, servirán las bases para establecer procedimientos de evaluación de dicha clarificación. El segundo y último tema es el de acoplamientos, y está relacionado con un problema muy común en la operación de un filtro de hojas, clarificador de jugo de manzana, y se refiere a la presencia de vibraciones excesivas en el equipo.

Así, a través de los conceptos manejados en este trabajo se pretende facilitar:

- 1.- La operación de un sistema de clarificación de jugo de manzana mediante un filtro de hojas.
- 2.- La detección de fallas de dicho equipo.
- 3.- La selección de un sistema de estos.

Por último cabe mencionar que la mayoría de los aspectos tratados son aplicables también a la clarificación de jugo de uva mediante filtración, lo cual es importante ya que se amplía la utilidad de este trabajo.

II.- INTRODUCCION

La manzana se cultiva en 23 estados del País, entre los cuales los principales productores son: Durango, Puebla, Veracruz, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León y Zacatecas, que en conjunto representan el 76% de la superficie cosechada y el 75% del volumen de la producción, según datos de 1972⁽¹⁹⁾.

Por otro lado, la superficie cosechada, así como la producción total y el consumo tanto nacional como por persona, han ido en aumento en los últimos cincuenta años, como puede verse en las figuras 2.1, 2.2, 2.3, y 2.4. Aunque los datos representados en estas figuras son para manzana y perón, son de gran interés debido a que la materia prima utilizada en la industrialización es una mezcla de ambas frutas, aunque en mayor proporción la primera.

De la producción total se consume como fruta fresca el 90% y se destina a la industrialización solo el 10%. De la fracción industrializada se obtienen principalmente los siguientes productos: jugos, néctares, jaleas, pastas, mermeladas y manzana semiseca, de los cuales, aunque no se cuenta con datos estadísticos, podría decirse que los de mayor importancia en cuanto a volumen de producción son los jugos y néctares.

El canal por medio del que se distribuye la mayor parte de la producción de manzana como fruta fresca es del fruticultor al comerciante mayorista; el canal secundario lo forman el representante de los fruticultu

Superficie Cosechada
(hectáreas)

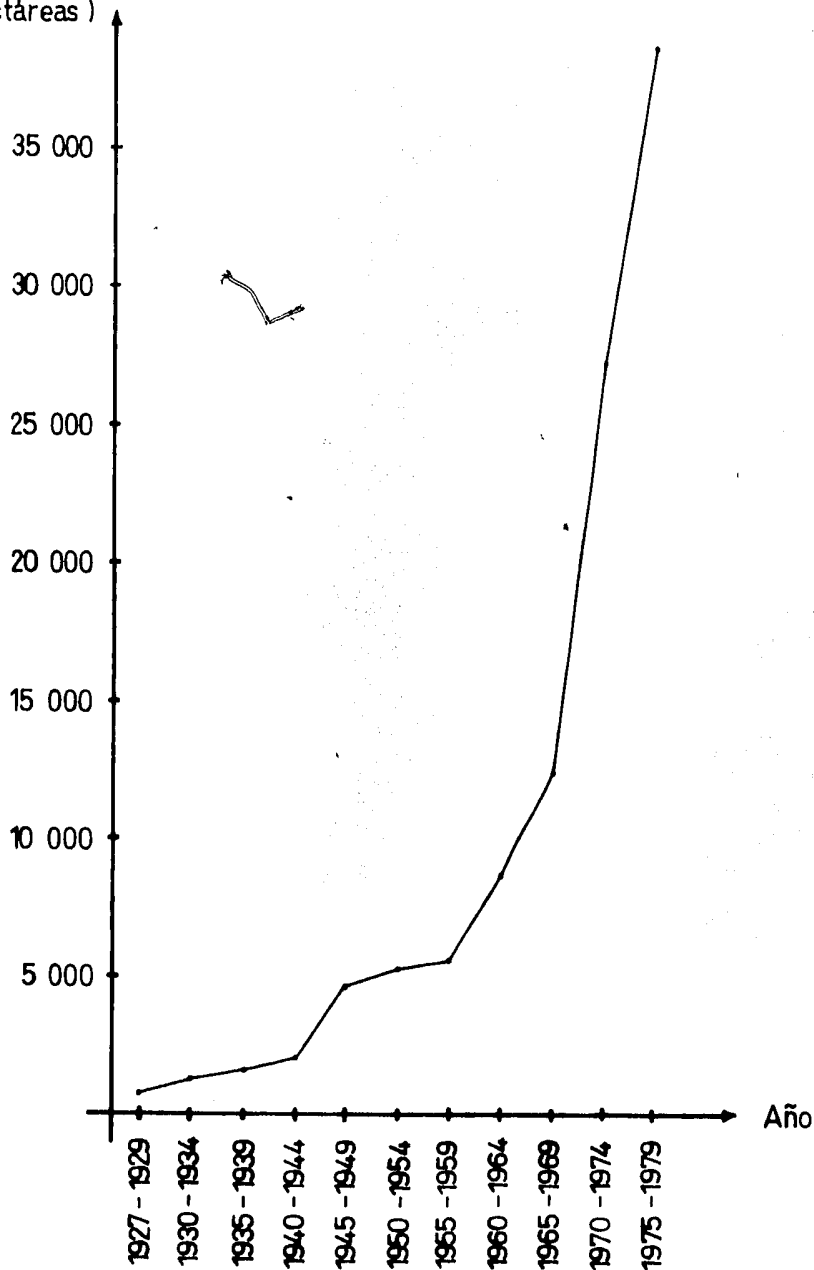


Fig. 2.1.- Superficie cosechada de manzana y perón. Fuente: Dirección General de Economía Agrícola; SARH.

Producción
(miles de toneladas)

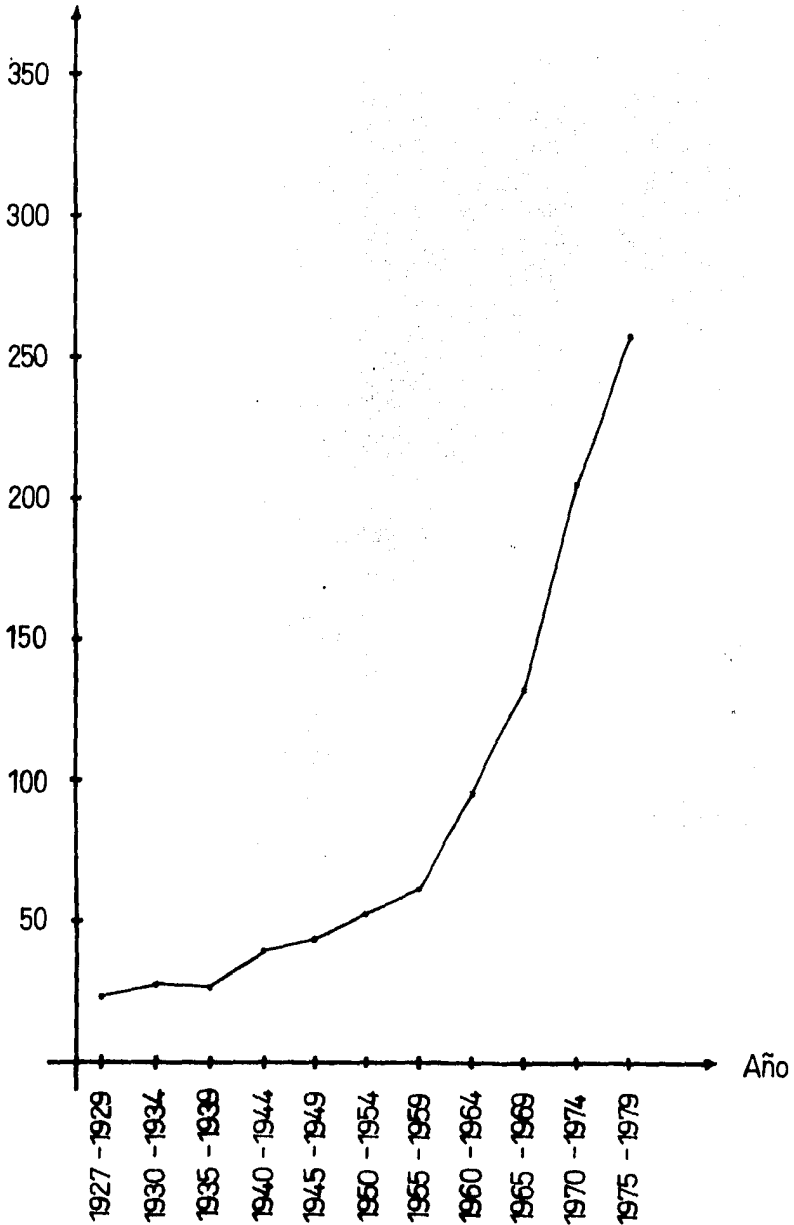


Fig. 2.2.- Producción de manzana y perón. Fuente: Dirección General de Economía Agrícola; SARH.

Consumo Nacional
(miles de toneladas)

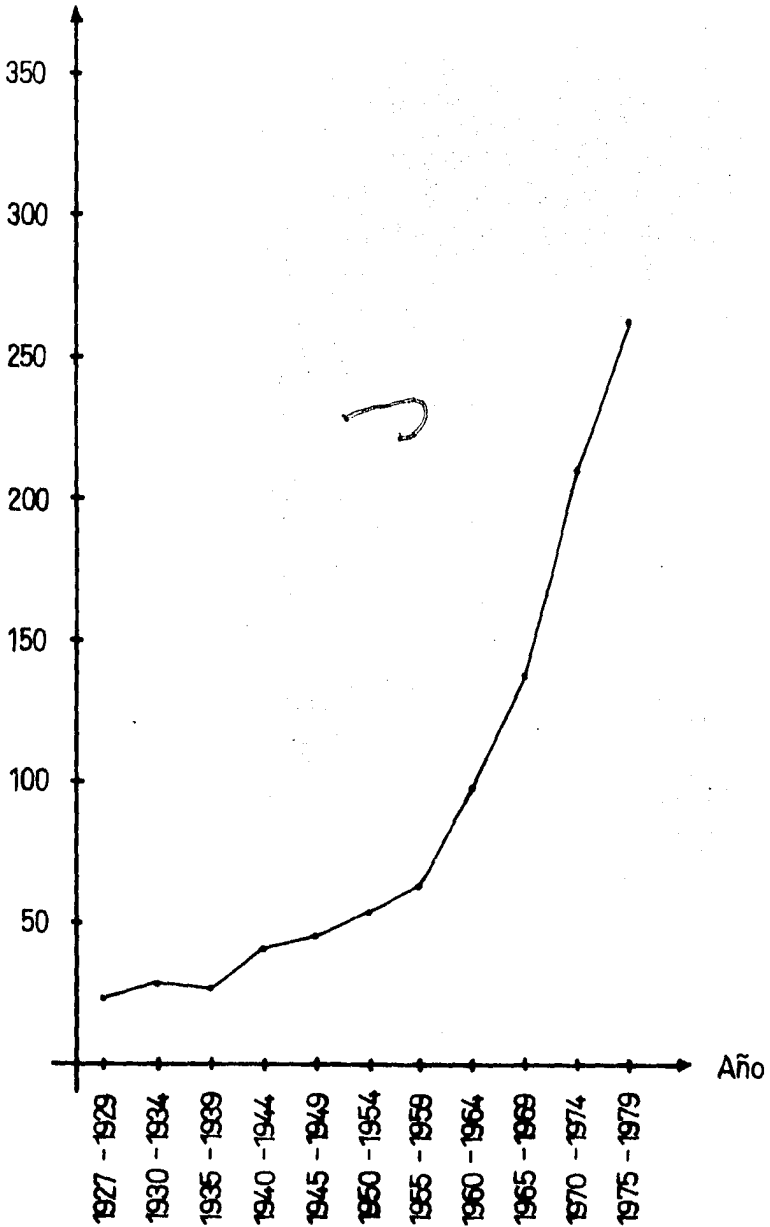


Fig.2.3.- Consumo Nacional de manzana y perón. Fuente: Dirección General de Economía Agrícola; SARH.

Consumo per-cápita
(Kg)

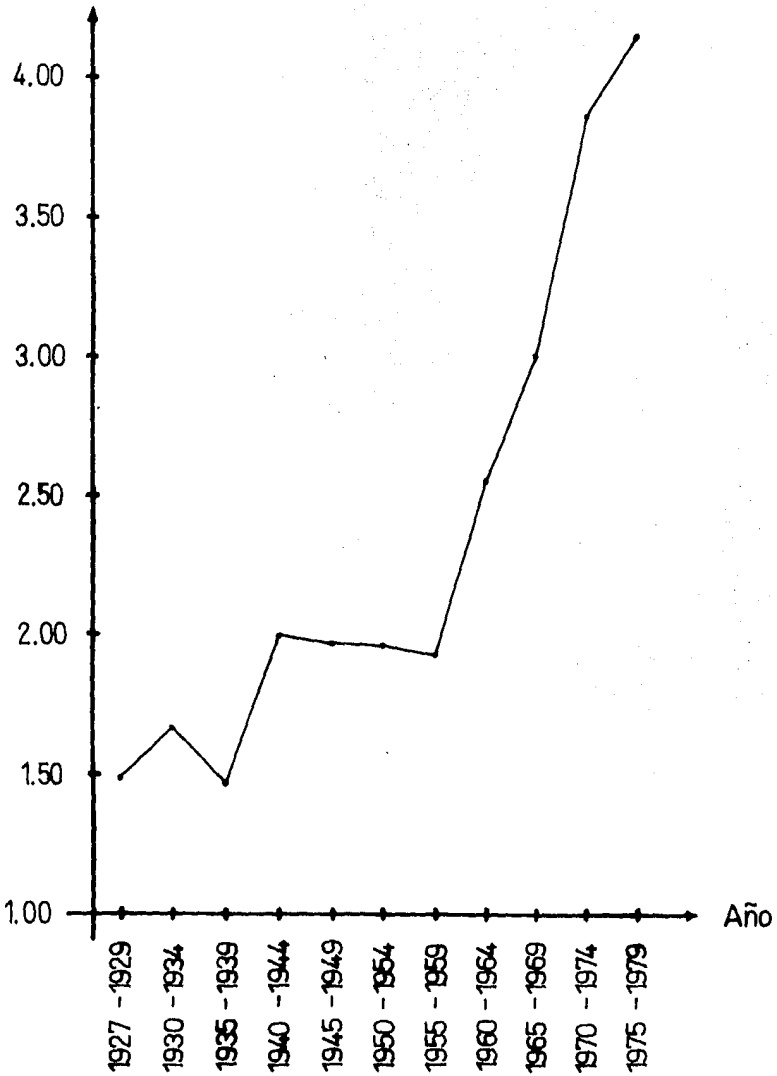


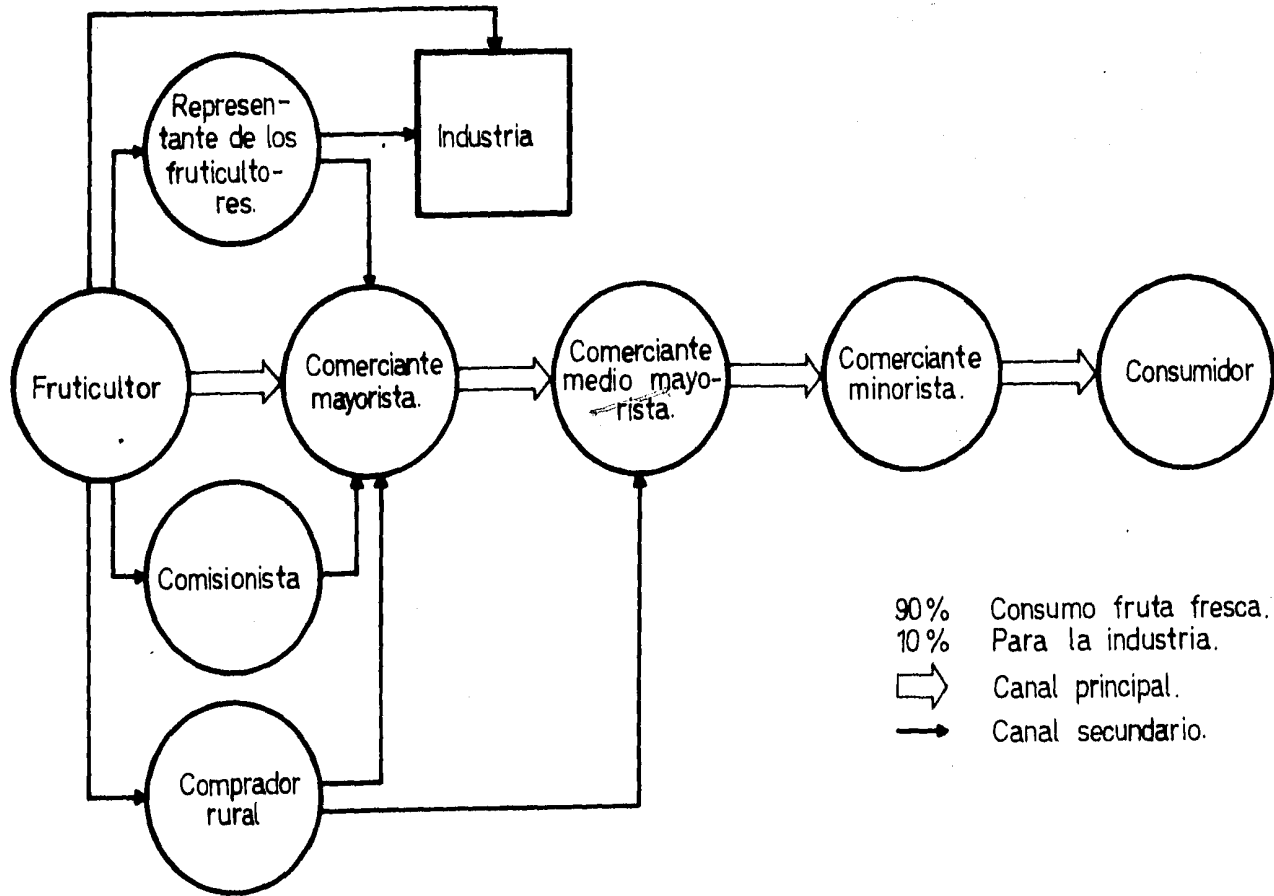
Fig.2.4.- Consumo per-cápita de manzana y perón. Fuente: Dirección General de Economía Agrícola; SARH.

tores, el comisionista, y el comprador rural, quienes canalizan el producto a través del comerciante mayorista. Esto puede observarse con más detalle en la figura 2.5

Tomando en cuenta que la manzana, al igual que todos los productos frutícolas, es un alimento bastante perecedero⁽¹⁷⁾, y que su producción y consumo van en aumento, puede plantearse la necesidad de incrementar la proporción de la producción de manzana destinada a la industrialización. Esto es favorable ya que se facilita su manejo y transporte, y aumenta el tiempo de conservación, aspectos que mejorarían su distribución en áreas donde normalmente los productos frutícolas tienen poca disponibilidad y además de esto, se elevaría su valor económico.

En cuanto al valor nutritivo, la buena alimentación requiere de calorías, proteínas, vitaminas y minerales. Por esto, los productos frutícolas deben de formar parte de la dieta del ser humano, ya que son fuentes ricas en vitaminas y minerales, así como buenas fuentes de energía por su elevado contenido de azúcares. Con respecto a la manzana podemos mencionar que un solo fruto (aproximadamente 150 g.) proporciona 70 calorías, o bien que una taza de jugo (240 g.) proporciona 120 calorías. Los valores nutritivos promedio se presentan en la tabla 2.1

Como se ha mencionado, la mayor parte de la industrialización de la manzana se enfoca a la obtención de jugos y néctares. Dentro de este can-



6

Fig.2.5.- Canales de comercialización de la manzana. Fuente: Comisión Nacional de Fruticultura, Mex.,1975.

TABLA 2.1.- Valor nutritivo de la manzana⁽¹⁸⁾ (20).

Porción comestible	75%
Energía	58 calorías/100 g.
Agua	84.1%
Carbohidratos no disponibles	1.7%
Carbohidratos disponibles	
(como monosacáridos)	12.2%
Almidón (como glucosa)	trazas
Nitrógeno total	0.04%
Proteína (N X 6.25).....	0.2 - 0.3%
Grasa	0.6%
Ceniza	0.3%
Na	0.001 - 0.0027%
K	0.110 - 0.116%
Ca	0.0036 - 0.007%
Mg	0.005%
Fe	0.00029 - 0.0003%
Cu	0.00014%
P	0.0068 - 0.01%
S	0.0037%
Vitamina "A" ^m	90 UI/100 g.

Tiamina 0.03 mg/100 g.
Riboflavina 0.02 mg/100 g.
Niacina 0.1 mg/100 g.
Acido Ascórbico 4 mg/100 g.

po, un producto muy importante es el jugo de manzana clarificado, habiendo del consumo a nivel nacional. Este jugo se caracteriza por ser cristalino y transparente, aspectos que en general lo hacen más atractivo para el consumidor mexicano. Sin embargo, en la práctica se encuentra que la clarificación lleva consigo una serie de problemas que la dificultan y que ocasionan una gran pérdida de dinero, ya que al no conocerse muchas veces los aspectos que se relacionan con ella, no se encuentran rápidamente las soluciones adecuadas y por lo tanto disminuye la productividad de la planta.

De lo anteriormente mencionado puede observarse la importancia de llevar a cabo un estudio de la clarificación del jugo de manzana, puesto que es una operación común en la industrialización de este fruto. De esta manera podrá realizarse una selección adecuada cuando desee adquirirse equipo industrial de clarificación, y/o se tendrán las bases para poder realizar una buena operación de estos equipos.

III.- INDUSTRIALIZACION DE LA MANZANA PARA OBTENCION DE JUGO

Aunque la terminología difiera dependiendo del País, en México se conoce como jugo al líquido obtenido por prensado o exprimido de la fruta, y el cual posee un bajo contenido de sólidos; y por néctar al líquido obtenido por molienda del fruto, con un posterior refinamiento, y que posee un alto contenido de sólidos. Puesto que la obtención de estos dos productos está muy relacionada, es importante hacer la diferenciación entre ambos.

La elaboración de jugos y néctares tiene una gran ventaja económica — que es el poder admitir los más bajos niveles de calidad de materia prima (refiriéndonos con esto a textura, color y apariencia), debido a que los tejidos no llegan al público. Por consiguiente, la materia prima destinada a estos productos es la que recibe los precios más bajos. Además, puesto que la firmeza deja de ser una consideración importante, es mayor la cantidad de variedades aceptables, lo cual conlleva a la baja de precios.

No obstante, la materia prima pueda variar considerablemente, estas variaciones pueden tener repercusiones de mayor o menor grado sobre la calidad del jugo, de la misma manera que variaciones durante el proceso tienen influencia sobre la misma calidad. Ahora bien, puede surgir la pregunta de como se evalúa la calidad del jugo, ya que las variacio

nes antes mencionadas no son poco frecuentes en la práctica.

La calidad del jugo depende de un gran número de factores, que incluyen el contenido de azúcar y ácido, de taninos y elementos volátiles, y de otros que son los causantes del sabor y aroma característico de la manzana. Sin embargo, un gran número de autores concuerden en que el contenido de ácido y azúcar y su proporción relativa es un excelente índice de la aceptabilidad que tendrá el jugo⁽²⁾.

Según Koch⁽²⁾, los jugos pueden clasificarse de acuerdo a su relación ácido/azúcar, y establece así la calidad del jugo, como puede observarse en la tabla 3.1 En ésta, la acidez está considerada como ácido málico y el azúcar como sólidos totales.

Según este autor, el mínimo aceptable es la clasificación 3, aunque en la práctica puede observarse que la aceptabilidad del jugo también depende de las costumbres de cada País, como lo muestra la tabla 3.2

TABLA 3.1.- Clasificación de los jugos en base a su relación ácido/azúcar

Acido/azúcar	Clasificación	Calidad
1:11,8	10	Óptima
1:12,4	9	excelente
1:13,1	8	muy buena
1:14,0	7	buena
1:15,0	6	regular
1:16,0	5	regular
1:17,2	4	regular
1:18,6	3	malo
1:20,4	2	malo
1:22,4	1	malo
1:25,0	0	inadecuado para su uso.

TABLA 3.2.- Relación ácido/azúcar en jugos de varios Países

País	Relación ácido/azúcar
E.U.A.	1:27
Alemania	1:11.2 - 1:15.5
Suiza	1:11.2 - 1:15.5
Holanda	1:12.4 - 1:17.7
Inglaterra	1:14.9 - 1:27.2

El estándar del ministerio de Agricultura de E.U.A., para jugo grado - "A" indica no menos de 11.5 grados Brix y una acidez en málico de 0.35 a 0.70%.

El uso de concentración de ácido y azúcar, así como su proporción relativa, para evaluar la calidad del jugo, se ve apoyado por el hecho de que se ha encontrado que los sólidos solubles se correlacionan bien — con el sabor y también que el consumidor no detecta diferencias entre variedades mientras la acidez sea la misma, pero sí es sensible a las diferencias de acidez aunque sea la misma variedad. De cualquier manera, la selección adecuada de la variedad puede ser útil para conseguir obtener un producto de determinadas características; esto puede hacerse teniendo en cuenta la siguiente lista:

- a).- Grupo azucarado subácido: Baldwin, Hubbardston, Rome Beauty, Stark, Delicious, Grimes, Cortland.
- b).- Grupo débilmente ácido: Winesap, Jonathan, Stayman, Northern Spy, York Imperial, Wealthy, A.I. Greening, Newtown Pippin.
- c).- Grupo aromático: Delicious, Golden Delicious, Winter Banana, Ribston, McIntosh.
- d).- Grupo astringente: Florence Hibernial, Red Siberian, Transcendent, Martha.

Existen varios tipos de jugos, que difieren por detalles de proceso, — aunque las denominaciones cambian de acuerdo a las costumbres y leyes — de cada País. Los principales tipos se describen a continuación:

Jugo natural.— Conocido también como jugo simple, es aquel que tiene — la concentración y características resultantes de prensar las manzanas — sin adicionar ni eliminar agua.

Jugo concentrado.— Es el resultante de eliminar agua del jugo natural. Esta operación ocasiona que a su vez se eliminen sustancias volátiles — originándose una pérdida parcial del aroma. En algunos casos este aroma se recupera y se reincorpora. El aumento de concentración depende — del País, pero en general oscila entre 3/1 y 7/1.

Jugo clarificado.— Es el jugo al que se le han eliminado los sólidos —

en suspensión provenientes del prensado, y tiene como característica - que es un jugo cristalino, brillante y transparente.

Jugo opalescente.- Es el jugo tal como sale de la prensa, eventualmen- te filtrado pero manteniendo la mayor parte de los sólidos en suspen- sión. Tiene como característica el ser un jugo turbio.

Bebidas de manzana.- Son mezclas de algún tipo de jugo mencionado an- teriormente con otros ingredientes y/o agua y/o jugos de otras frutas.

Conociendo ya los distintos productos que pueden fabricarse dentro de- la rama de los jugos, podemos adentrarnos en el proceso de obtención - de éstos.

Proceso de Obtención del Jugo de Manzana.

La manzana se recibe comúnmente en camiones de volteo, que realizan su descarga en silos o pilas de no más de dos metros de profundidad, para evitar los daños causados por el propio peso de la fruta. La descarga puede facilitarse mediante el uso de agua a presión aplicada con una - manguera. En el fondo de los silos, que tiene forma de "V", hay un ca- nal por donde las manzanas son transportadas por gravedad, efectuándo- se esto por el mismo arrastre con agua. Aunque estas operaciones fun- cionan además como lavado, puede efectuarse esta operación posterior- mente mediante el uso de lavadoras que en general son del tipo de ma-

lle cilíndrica rotatoria. En este lavado pueden adicionarse pesticidas o agentes químicos diversos.

Aunque la fruta recibida admite un rango muy amplio de grados de calidad y tamaños, es de primordial importancia llevar a cabo una inspección que permita detectar la fruta podrida o infectada con insectos, la cual debe ser eliminada pues una mínima cantidad de ésta es suficiente para dar un sabor rancio a cantidades apreciables de jugo. Para llevar a cabo esto, la fruta pasa por una mesa de inspección, que puede ser una simple banda o bien un transportador de rodillos giratorios en el que las manzanas van girando sobre sí mismas permitiendo su completa observación.

Posteriormente se efectúa la molienda, la cual se lleva a cabo generalmente en molinos de martillos, aunque también puede efectuarse en máquinas ralladoras, pero tienen el inconveniente de ser de menor capacidad y de más difícil limpieza. Una buena desintegración facilita el prensado y es esencial para obtener un buen rendimiento. En la descarga del molino se adiciona cascarilla de arroz, aproximadamente en un 5%, mediante un dosificador. Esta tiene la función de mejorar el prensado, ya que sin ella se forma una torta muy compacta que obstaculiza el drenado del jugo. La cascarilla de arroz puede sustituirse con cascarilla de avena, pero no es tan eficaz por tener un alto contenido de almidón.

La manzana molida pasa a un escurridor, el cual consta de un gusano que transporta la fruta dentro de un medio canal de malla con orificios de aproximadamente 3/16" de diámetro. Así, el jugo en exceso es eliminado por gravedad y depositado en un tanque.

El bagozo húmedo se transporta mediante gusanos hasta la prensa. El prensado es una operación muy importante pues su rendimiento, es decir, los litros de jugo obtenidos por kilogramo de fruta, ejerce gran influencia en el costo. Para efectuar esta operación pueden usarse diferentes equipos, que pueden ser continuos, semicontinuos o discontinuos, y que requerirán mayor o menor mano de obra para su operación.

Las prensas más tradicionales son las de marcos. La pulpa se descarga sobre una tela que se halla rodeada por un marco. Se forma una capa de dos o tres pulgadas y la tela la envuelve. Sobre ella se forma una nueva y así sucesivamente. La pila de paquetes es prensada mediante fuerza hidráulica, llegándose a una presión de 5 a 10 atmósferas. La presión va aumentando gradualmente, tomando el ciclo unos 20 a 45 minutos. Terminada la operación se descarga la presión y se sacan los paquetes uno por uno y se elimina el bagozo, el cual en general es considerado como desperdicio. La fruta tiene comúnmente un rendimiento del 70%⁽²⁾. Este equipo tiene varios inconvenientes: es discontinuo, requiere mucha mano de obra para la carga y descarga (normalmente dos hombres por-

prensa), es un trabajo sucio, las telas son fuente de contaminación del sabor e incluso bacterianas si no se siguen técnicas rigurosas de higiene, y deben ser lavadas, lo cual implica una operación adicional.

Otro tipo de prensa es la Willmess. Consiste de un cilindro horizontal de paredes perforadas cuyo interior está formado de tela filtrante. Adentro hay un "pulmón", que es un tubo de hule inflable, colocado concéntricamente. La pulpa se deposita entre la malla y el pulmón. La carga común es de una tonelada o más de pulpa mezclada con la cascari—lla. Efectuada la carga, se hace girar la prensa para llevar a cabo una buena distribución de la misma y se infla el tubo de goma con aire comprimido a una presión de unos 6 kg/cm^2 , realizándose el "exprimido" de la pulpa. Estos equipos también dan rendimientos del 70%, pero tienen la ventaja de ocupar menos mano de obra. También son equipos discontinuos o "batch".

Uno de los primeros equipos de prensado continuo fue una prensa de dos secciones. La primera es una centrífuga de paredes perforadas donde se hace la extracción del jugo más fácilmente extraíble (jugo en exceso), seguida por un sistema de prensa de tornillo que completa la extracción.

Existe también la prensa continua de tornillo. Consiste de un tornillo sin fin colocado en el interior de una pared perforada. A la salida un cono flotante operado mediante un cilindro neumático retarda la descar-

ga del bagazo, generando suficiente presión para que el jugo pase por las perforaciones de $1\frac{1}{2}$ mm. de la pared. Al salir el jugo se bombea sobre un tamiz giratorio de malla 94⁽²⁾, el cual separa los sólidos suspendidos de mayor tamaño. En estos equipos, utilizando manzanas firmes cosachadas en temporada, puede alcanzarse hasta el 85% de rendimiento, sin prensa-ayuda (cascarilla).

El jugo sale de las prensas como un líquido ambarino, viscoso y con sólidos en suspensión. La viscosidad se debe principalmente a sustancias pécticas. Este jugo se deposita en el mismo tanque donde se depositó el jugo proveniente del escurridor.

Si el jugo va a venderse como opalescente, es poco el proceso posterior que requiere. Se manda a tanques profundos dejándose reposar de 12 a 36 hrs., y si su temperatura es de 5° C ó menos puede mantenerse de 24 a 72 hrs. sin peligro de fermentación. Así, se lleva a cabo una sedimentación de las partículas en suspensión de mayor tamaño, que normalmente darían un mal aspecto al producto. Posteriormente el jugo se manda directamente a pasteurización o puede previamente tener un calentamiento seguido de enfriamiento para eliminar los sólidos que puedan coagular al pasteurizar. El material celular en exceso también puede eliminarse por centrifugación o por filtración. El uso de uno u otro método depende del grado de cuerpo que se desee dejar al jugo.

Si se pretende elaborar jugo clarificado el proceso difiere. La sola filtración o centrifugación no es suficiente, en parte porque muchos de los materiales son coloidales y no se eliminan más que parcialmente y también porque estos materiales tapan muy rápidamente los filtros. Por esto se usa un tratamiento destructor del sistema coloidal, después de lo cual se elimina el mismo. Hay cuatro métodos típicos:

- 1.- Calentamiento flash.
- 2.- Método tanino - gelatina.
- 3.- Método de la Bentonita.
- 4.- Método enzimático.

El método de calentamiento flash consiste en calentar rápidamente a 88°C, mantener el jugo a esta temperatura unos 20 segundos y enfriar rápidamente a 27°C. Esto produce una coagulación poco compacta que ocasiona velocidades de filtración muy lentas, por lo que en general se usa como precalentamiento seguido de uno de los otros tres métodos, o bien no se usa.

El tratamiento tanino - gelatina, se basa en que la gelatina disuelta en agua se combina con los taninos del jugo, formando un coágulo que decanta arrastrando otros sólidos en suspensión. Debe tenerse un control cuidadoso ya que un exceso de gelatina pasa a tener un efecto estabilizante de los coloides, por lo que la cantidad agregada debe ser

exacta. Por otro lado, debe finalmente adicionarse tanino, para compen sar el que se va a consumir, pues de no ser así, se modificará el sabor. El proceso se hace en tanques preferiblemente altos y angostos, donde el jugo debe decantar unas 24 horas. El método requiere de mucho tiempo y manipuléo químico, por lo que se usa poco. Da un jugo levemente más claro que el método enzimático, del cual se hablará más adelante.

El procedimiento de calentamiento flash puede ser mejorado si posterior mente se envía el jugo a un tanque agitado, donde se le agrega una suspensión de partes iguales de bentonita molida fina y un filtro ayuda. Se usan 0,525 - 0,600 kg de mezcla por cada 1000 litros de jugo⁽²⁾. La bentonita hace que el material coagulado por el calor flocule y esto más el filtro ayuda permite una filtración razonablemente rápida.

El método más usado en todos los Países es el enzimático. Se basa en emplear enzimas pécticas para hidrolizar los coloides. La cantidad de pectinasa depende del modo como se haga el tratamiento y de su actividad relativa, factores generalmente aconsejados por el proveedor y que luego se ajustan en la fábrica. El ataque enzimático precipita parte del material en suspensión y solubiliza el resto. Una de las enzimas utilizadas es la klerzime - 200; de esta, se utilizan 10 g. por hectolitro de jugo. Primeramente la enzima se activa en agua a 40 - 45°C, a una concentración del 2 - 3% durante una hora; hecho esto se agrega la-

cantidad antedicha. La despectinación puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, pero a 40 - 45°C es mucho más rápida. Otras marcas muy conocidas son: "Pectinol" en E.U.A. y "Filtragol" en Alemania. El tratamiento enzimático es muy seguro.

Una de las formas prácticas de evaluar la despectinación es por medio de una prueba de filtrado con tierras de diatomeas, valorando ópticamente la nitidez del jugo clarificado. Si bien el procedimiento de filtración y los equipos utilizados se tratan con todo detalle en capítulos posteriores a continuación se dará una breve explicación de la operación.

El jugo tratado (despectinizado) es enviado a un tanque provisto de agitador, donde se le adiciona un filtro ayuda. Si se clarificó con bentonita, la adición es simultánea con la de ésta última. El filtro ayuda suele ser tierra de diatomeas o similar, adicionándose 1.2 - 2.4 kg. por cada 1000 litros de jugo. Luego se pasa a través del filtro.

Ya filtrado (clarificado), el jugo se pasteuriza utilizando intercambiadores de calor de placas y finalmente es envasado.

El envasado puede efectuarse en latas, botellas u otros recipientes, pero es precisamente el uso de botellas donde tiene realmente sentido la clarificación del jugo, ya que siendo una característica de atracción visual al consumidor es necesario que el jugo esté a la vista del mismo. La temperatura de llenado debe ser de más de 88°C, para que no sea necesario ha

cer un nuevo tratamiento térmico después de cerrar herméticamente el envase. Inmediatamente después se debe enfriar a unos 32°C para no afectar el sabor.

Métodos Alternativos de Conservación.

Además de la pasteurización el jugo puede preservarse por refrigeración, aditivos químicos, filtración estéril, adición de gas carbónico y congelamiento⁽²⁾.

La refrigeración a 0 - 10°C retarda el crecimiento de levaduras, hongos y bacterias. Es el medio más común cuando se trata de distribuir jugo fresco. La vida de anaquel varía de 1 a 2 semanas.

En cuanto a conservadores químicos, uno muy común es el benzoato de sodio, agregado al 0.1%. Debido a que imparte un mal sabor al jugo, ha sido reemplazado por el sorbato de sodio o de potasio también al 0.1%, teniendo un menor efecto sobre el sabor. Ambos son más efectivos a menos de 10°C. El ácido sulfuroso, sus sales o su anhídrido, no se usan para preservar jugo fresco, pero sí es común agregarlo en jugo concentrado.

La filtración estéril se lleva a cabo en filtros que separan los microorganismos mediante membranas que poseen poros extremadamente pequeños.

En general no se usa a nivel industrial en el procesamiento de jugos, debido a que es muy costosa.

La adición de gas carbónico se usa exclusivamente en la elaboración de re frescos.

El congelamiento es uno de los mejores métodos, pudiéndose mantener la ca lidad del jugo hasta por un año.

Fabricación de Jugos Concentrados.

El jugo despectinizado y pasteurizado es llevado a un sistema de recupera- ción de aroma. El proceso más común consiste en una vaporización flash - de más o menos el 10% del jugo, lo cual separa los volátiles. Estos se - concentran en una columna de destilación fraccionada para obtener la esen cia concentrada entre 100 y 150 veces, la cual puede usarse para dar sa- bor al concentrado cuando éste es reconstituido, y además tiene un merca- do adicional en otros derivados de la manzana, incluyendo golosinas y dul ces. Estas sustancias volátiles responsables del aroma y sabor caracte- rísticos de la manzana son diferentes en función de la variedad de que se trate. Por ejemplo, el componente principal asociado con el aroma de la- manzana Delicious es el 2 - metil butirato de etilo; también el hexanal y 2 - hexenal contribuyen al aroma total característico de esta variedad.

En seguida el jugo es concentrado en evaporadores. Estos son normalmente de doble o de triple efecto, aunque a veces se usa simple efecto. La ope- ración se realiza a una presión de vacío de unos 60 cm Hg. El jugo sim- ple se precalienta mediante el enfriamiento del concentrado que sale del-

evaporador, al introducirse a un serpentín que está sumergido en un tanque con concentrado. El concentrado se extrae del tanque con una bomba de desplazamiento positivo y se introduce a tanques de almacenamiento. Como se mencionó con anterioridad, se pueden agregar preservativos como bisulfito de sodio y sorbato de potasio y de sodio. La concentración suele llevarse a 5/1 ó 6/1; es decir, partiendo de un jugo simple de 11 - 12°Bx es común-comercializar el jugo a 60 - 70 Bx. El despectinizado previo es esencial, pues arriba de 50% de sólidos la mezcla tiende a formar un gel.

Si bien, el proceso de concentración común es por medio de evaporadores, - existan otras técnicas más sofisticadas como son la concentración por congelamiento y la concentración por ósmosis inversa. La primera puede hacerse en forma discontinua, obteniéndose productos de excelente calidad con una concentración de sólidos solubles del 45 al 60%, aunque también se han propuesto equipos continuos; el inconveniente hasta la fecha es el costo.- La concentración por ósmosis inversa es un proceso basado en ejercer una - presión hidráulica que obligue a pasar al agua a través de una membrana semipermeable; se han obtenido con este método concentraciones de 40°Bx - usando una presión de 170 atmósferas; tiene el mismo inconveniente que el método anterior.

IV.- FILTRACION

La filtración es una de las aplicaciones más comunes del flujo de fluidos a través de camas empacadas. Su objetivo es la separación de un sólido de un fluido en el que éste es llevado. La separación se lleva a cabo forzando el fluido a través de un cuerpo poroso. Las partículas sólidas son atrapadas dentro de los poros y se van acumulando formando una capa sobre la superficie, pasando el líquido a través de la cama de sólidos y a través del cuerpo poroso. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o plásticas, redondas o alargadas, individualidades separadas o agregados. La suspensión a tratar puede llevar un fracción elevada o muy baja de sólidos. Puede estar fría o caliente, y estar sometida a vacío o a presión. A veces es el fluido la fase valiosa, a veces lo es el sólido, y otras, ambos. En algunos casos, la separación de las fases debe ser prácticamente completa; en otros se desea solo una separación parcial.

De cualquier manera la filtración ocasiona la formación de una capa (ó torta) de partículas sólidas sobre una superficie porosa que forma el medio filtrante. Una vez que la capa se ha formado, su superficie actúa como el medio filtrante, los sólidos se depositan y agregan al espesor de la torta, mientras el líquido filtrado pasa a través de ella. La torta se compone por lo tanto de una cierta masa de partículas de forma irregu-

lar, entre las cuales se forman pequeños canales a través de las cuales fluye el líquido en régimen laminar⁽⁸⁾.

La teoría de filtración es sumamente importante en la interpretación de pruebas de laboratorio, en la búsqueda de las condiciones óptimas de filtración y en la predicción de los efectos que ocasionen los cambios en las condiciones de operación. El uso de la teoría de filtración está parcialmente limitada desde el punto de vista de que las características de filtración de una suspensión en cuestión no son aplicables a otra. Así para llevar a cabo la selección de un equipo, generalmente se empieza con experimentos en laboratorio, los cuales nos dan una idea del comportamiento de la operación, pero finalmente se tendrá que estudiar este comportamiento en plantas piloto para asemejarlo lo más posible a un nivel industrial.

La filtración industrial difiere de la filtración en laboratorio básicamente en la cantidad de material manejado y en la necesidad de efectuar la operación a bajo costo. Así, para obtener un flujo razonable con un filtro de tamaño moderado, la caída de presión puede aumentarse, o bien, disminuirse la resistencia al flujo. En la mayor parte de los equipos industriales se disminuye la resistencia al flujo aumentando lo más posible el área de filtración sin aumentar el tamaño global del equipo. La selección del equipo de filtrado depende en gran parte de aspectos -

económicos, los cuales están relacionados con los siguientes puntos⁽⁴⁾.

- 1.- Viscosidad, densidad y reactividad química de la suspensión.
- 2.- Tamaño de partícula sólida, distribución de tamaños, forma, tendencias a la floculación y deformabilidad.
- 3.- Concentración de la suspensión.
- 4.- Cantidad de material a manejarse.
- 5.- Valor absoluto y relativo del sólido y del líquido.
- 6.- Grado de separación requerida.
- 7.- Costo relativo de mano de obra, capital y energía.

EQUIPO DE FILTRACIÓN

Debido a que este trabajo está enfocado a la filtración de jugos, se limitará la descripción al proceso de filtración líquido-sólido.

Los filtros líquido-sólido, pueden dividirse en cuatro grupos, dependiendo del servicio que realicen,⁽⁵⁾: coladores, clarificadores, filtros de torta y espesadores. Un colador es usualmente una tela metálica colocada a través de un canal de flujo para separar la "suciedad" de un líquido en movimiento; cuando la tela se obstruye se reemplaza fácilmente. Los clarificadores separan pequeñas cantidades de sólidos, para producir generalmente líquidos transparentes, como algunas bebidas. Los filtros de torta

separan grandes cantidades de sólidos en forma de una pasta o lodo. Un espesador produce una separación parcial de una suspensión ligera, descargando un líquido claro y espesando la suspensión de sólidos.

Los líquidos fluyen a través de un medio filtrante, gracias a una presión diferencial a través del medio. Por consiguiente, los filtros se clasifican también en filtros de presión, siendo aquellos que operan con una presión superior a la atmosférica en el lado de la alimentación y filtros de vacío, que son los que operan a presión atmosférica del lado de la alimentación y a presión menor a la atmosférica del lado de la descarga. Las presiones superiores a la atmosférica pueden producirse por la fuerza de gravedad debida a una columna hidrostática, con una bomba, o por fuerza centrífuga. En un filtro de gravedad el medio filtrante no puede ser más fino que un tamiz grueso o un lecho de partículas gruesas como arena.

Otra clasificación usual, que se basa en el tipo de descarga de los sólidos, es la de filtros continuos y filtros discontinuos o batch.

Durante gran parte del ciclo de operación de un filtro discontinuo el flujo de líquido a través del aparato es continuo, pero debe interrumpirse periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo, tanto la descarga de los sólidos como del líquido es ininterrumpida cuando el aparato está en operación.

A continuación se hará una descripción de los equipos más comunes en la filtración industrial.

a) Filtros discontinuos.

FILTRO FRENSA.-

Este filtro ha sido durante mucho tiempo el más comúnmente utilizado en la industria. Aunque está siendo actualmente sustituido en grandes instalaciones por filtros continuos, tiene las ventajas de un bajo costo inicial, poco mantenimiento, extrema flexibilidad y fáciles de inspeccionar en su interior; tienen la relación más baja de volumen a área⁽⁹⁾, lo que hace que ocupen poco espacio y que tengan poco líquido sin filtrar al finalizar el ciclo de filtración. Sin embargo, la necesidad de desarmarlo periódicamente representa requerimientos de mano de obra en general excesivos.

Este tipo de filtro, contiene una serie de placas diseñadas para formar una serie de cámaras o compartimientos, en los cuales pueden recogerse los sólidos. Las placas están recubiertas con un medio filtrante. La suspensión entra a presión en cada compartimiento; el líquido pasa a través del medio filtrante y sale por un tubo de descarga, dejando atrás una pasta húmeda de sólidos.

El filtro prensa está diseñado para llevar a cabo una variedad de funciones, cuya secuencia, se controla manualmente. Durante la filtración

la prensa, 1) permite el reparto de la suspensión en las superficies filtrantes a partir de un ducto, 2) permite el forzamiento de la suspensión contra las superficies filtrantes, 3) permite que el filtrado que ha pasado a través de las superficies filtrantes salga por otro ducto mientras - 4) las superficies filtrantes retienen los sólidos que estaban originalmente en la suspensión. Durante la secuencia de lavado la prensa (1) permite la distribución del agua en los sólidos filtrados a través de su propio ducto, 2) permite el forzamiento del agua de lavado a través de los sólidos retenidos en el filtro y 3) permite que el agua de lavado y las impurezas salgan por otro ducto independiente. El diseño del filtro puede incluir cuatro tuberías independientes, como se indicó anteriormente o puede consistir de solo dos tuberías cuando la contaminación de los productos líquidos no es importante.

El diseño más común de filtro prensa se muestra en la Figura 4.1 y consiste de platos y marcos alternados sostenidos sobre una percha y sujetados firmemente mediante un mecanismo hidráulico o con un tornillo. El medio filtrante es sostenido sobre los platos extendiéndolo sobre ambas caras, y puede ser una tela natural o sintética, papel filtro o tela de alambre.

Cuando la prensa es cerrada, el medio filtrante actúa como una empaquetadura, sellando los platos y marcos y formando un canal continuo. La suspensión se bombea a la prensa bajo presión. La tubería de alimentación -

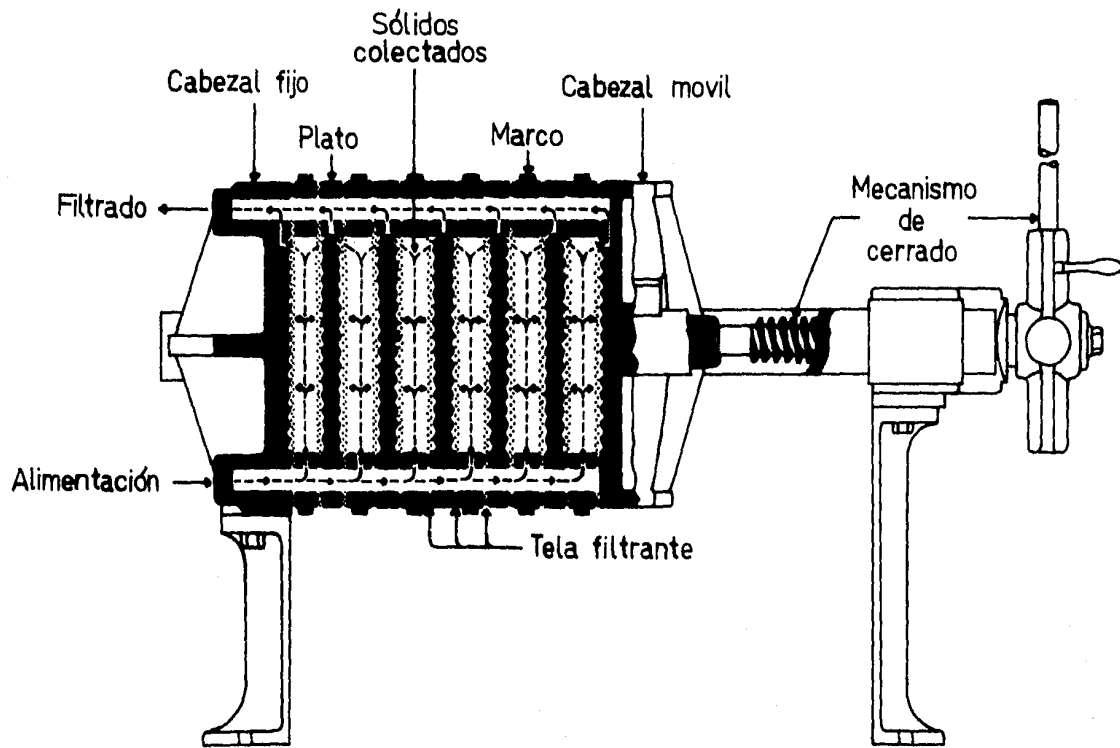


Fig.4.1. Filtro Prensa.

tiene salida en cada marco de manera que la suspensión llena los marcos - en paralelo. El líquido fluye a través del medio filtrante mientras los sólidos forman una capa del lado del marco. El filtrado fluye entre la - tela filtrante y la cara del plato a la tubería de salida. Mientras la - filtración prosigue, la torta crece sobre la tela filtrante hasta que las - tortas formadas en cada cara del marco se encuentran y hacen contacto en - el centro. Cuando esto ocurre, el flujo de filtrado el cual ha estado -- disminuyendo continuamente al ir creciendo la torta, disminuye bruscamen- te hasta llegar a ser solo un goteo. Usualmente, la filtración se detie- ne antes de que esto ocurra. Si es necesario, puede introducirse enton- ces líquido de lavado para eliminar las impurezas solubles contenidas en - el sólido, después de lo cual se puede "insuflar" la torta con vapor o -- aire para desplazar todo el líquido residual que sea posible. Se abre la prensa y se retira la torta de sólidos del medio filtrante. En algunos - filtros prensa estas operaciones se realizan automáticamente.

Es común en la operación de los filtros el uso de filtro ayuda, de los - cuales se hablará posteriormente. Aunque los filtros de plato y marco se fabrican en todas las combinaciones posibles de posiciones de alimentación y descarga, para lograr una adecuada suspensión de filtro ayuda y una bu na precepa, deben tener una entrada inferior y una salida superior. En - el caso de filtros de mayor tamaño, éstas deben estar en lados opuestos -

del filtro. Es absolutamente necesario que todo el aire se expulse del - filtro antes de que se complete la precapa.

El lavado completo de un filtro prensa puede requerir varias horas, puesto que el líquido de lavado tiende a fluir por el camino más fácil sin penetrar por las partes fuertemente compactadas de la torta. Si la torta - es menos densa en algunas partes que en otras, como sucede generalmente, - gran parte del líquido de lavado es ineficaz. Si el lavado debe ser ex--cepcionalmente bueno, lo mejor es hacer una nueva suspensión con la torta parcialmente lavada y un gran volumen de líquido, y volver a filtrar, o - usar un filtro de hojas y carcasa que permite un lavado más efectivo que-- el filtro prensa.

FILTRO DE MEDIO GRANULAR.-

Es uno de los más simples, y consiste de una o más capas de partículas sdlidas soportadas sobre una capa de grava que está colocada sobre una rej*í*lla, a través de las cuales el material a ser filtrado fluye por grave--dad o por presión.

Estos filtros son usados principalmente donde se requiere manejar un flu--jo grande de una suspensión muy diluida, siendo el producto sólido y el - líquido de bajo valor y cuando el producto sólido no va a ser recuperado. Así, por ejemplo, estos filtros son la base en los sistemas de purifica--ción de aguas de desecho. Cuando el flujo decrece, o la caída de presión

llega a ser excesiva, la filtración se detiene y la cama es limpiada con agua a contraflujo o con aire. Este contraflujo debe ser suficientemente rápido para fluidizar la cama granular.

FILTRO DE BOLSA.-

En general se usa para filtrar mezclas gas-sólido. Consiste de bolsas de tela colocadas en un armazón a través del cual fluye el gas. Pueden colocarse varios cientos de estas bolsas un paralelo. El gas que pasa a través de las bolsas deposita los sólidos en éstas. Periódicamente las bolsas son limpiadas, ya sea mediante un sistema de vacío, con una corriente de aire a contraflujo o inclusive manualmente.

En algunas ocasiones son usados los filtros de bolsa en la filtración de jugos, pero al menos que ésta se asocia con un filtro ayuda, normalmente no se obtendrá un producto clarificado. En este sentido, este filtro solo es útil como un tratamiento preliminar a un jugo que va a ser filtrado en un tipo de filtro más efectivo o en preparaciones caseras.

FILTRO DE HOJAS.-

Se compone de platos perforados soportados internamente que son cubiertos permanentemente con el medio filtrante. La suspensión a ser filtrada, llena el espacio alrededor de las hojas y es forzada por presión a pasar a través de ellas. La torta se va formando sobre el lado externo de las hojas y el filtrado pasa del interior de la hoja al sistema de descarga.

Cuando la torta crece hasta un espesor deseado, el filtro es abierto y las hojas son sacadas para efectuar su limpieza o bien limpiadas en su lugar - automáticamente por aspersión de agua sobre los sólidos. Este filtro se - representa en la figura 4.2.

El sistema de lavado mediante aspersión de agua puede llevarse a cabo de - tres diferentes formas: 1) En un sistema inmóvil, 2) Mediante rotación de las hojas con aspersores fijos y 3) Mediante rotación de los aspersores con las hojas fijas.

El diseño de estos filtros puede ser de diversas formas: arreglo vertical, arreglo horizontal, con hojas verticales u horizontales, dependiendo de -- las características de la suspensión a filtrar, de la necesidad de recupera- ración de los sólidos, del tipo de descarga (seca o húmeda), entre otros - factores.

El uso de filtros de hojas rotatorias se adapta particularmente a instala- ciones en donde es muy difícil desprender la torta por medio de inyectoros en un sistema fijo. Está diseñado de modo que las hojas puedan girar 360°, permitiendo que el área completa recibe toda la fuerza del chorro a pre- - sión.

Los filtros de hojas se usan ampliamente en filtraciones que emplean fil- - tro ayudas. Tienen una gran ventaja que reside en el hecho de que están - contruidos de tal modo, que en la mayoría de los casos las hojas pueden -

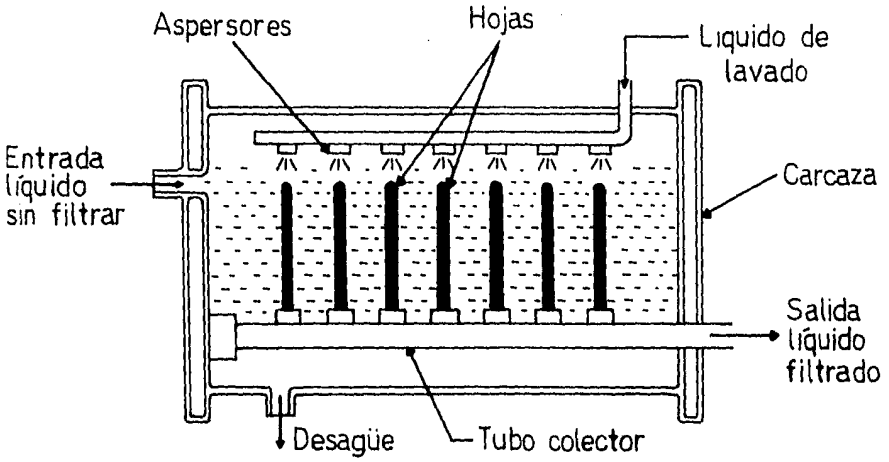


Fig.4.2(a).- Diagrama esquemático de un Filtro de Hojas.

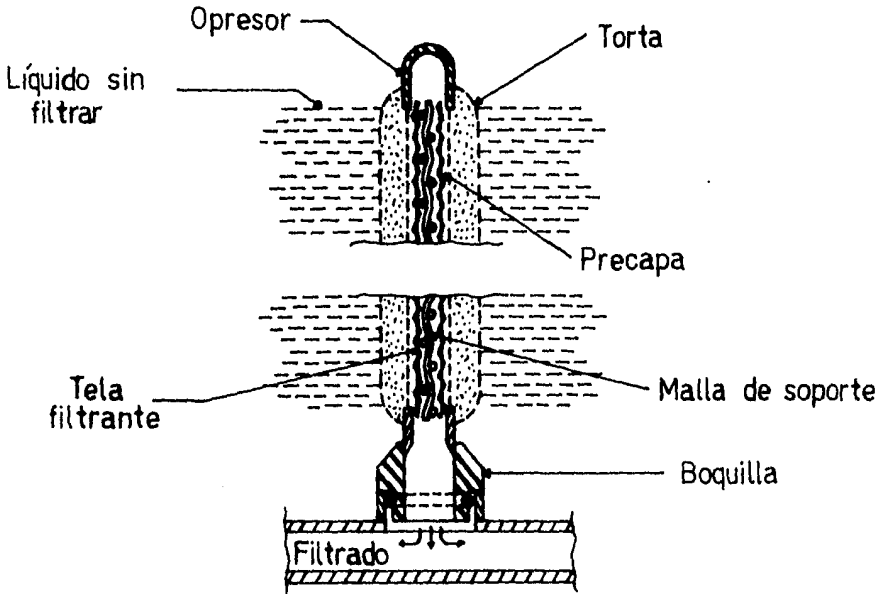


Fig.4.2(b).- Corte transversal de una hoja.

ser sacadas del filtro rápidamente, permitiendo una fácil inspección para detectar roturas en el tamiz, fugas alrededor de los bordes de la malla o alrededor de los empaques del tubo colector, formación incorrecta de la precapa, etc.

FILTROS DE CARTUCHO.-

Se usan para separar pequeñas cantidades de sólidos de un fluido. El cartucho filtrante es una serie de discos metálicos delgados de 8-25 cm. de diámetro, colocados verticalmente y dejando espacios muy estrechos y uniformes entre ellos. Los discos se disponen sobre un eje vertical husco y se introducen en una carcasa cilíndrica cerrada. El líquido entra en la carcasa a presión, fluye por entre los discos hasta unas aberturas situadas sobre el eje central y sale por la parte superior de la carcasa. Los sólidos son retenidos principalmente en la periferia de los discos y deben descargarse periódicamente. Esto puede lograrse girando el cartucho, ya que el equipo posee dientes estacionarios de un peine limpiador que pasan entre los discos haciendo que los sólidos caigan al fondo de la carcasa, de donde se pueden retirar a intervalos de tiempo bastante grandes. Este equipo se muestra en la Figura 4.3

FILTROS DE VACIO.-

Aunque en general los filtros discontinuos son de presión, como todos los

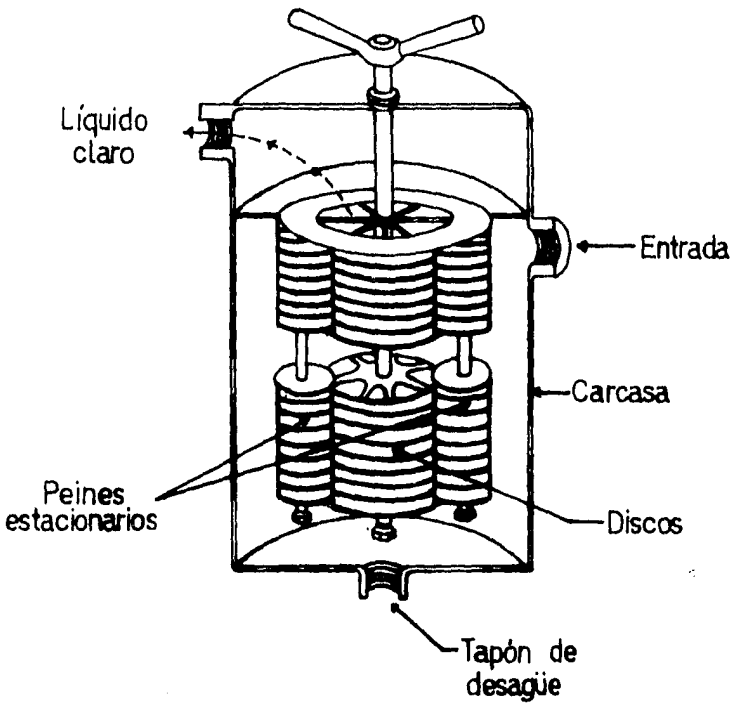


Fig.4.3.- Filtro de Cartucho.

casos anteriores, a veces suelen ser útiles los filtros discontinuos de vacío, aunque no tienen aplicación práctica en la industria alimentaria. Estos equipos son en realidad un embudo Buchner grande, con un diámetro de 1 a 3 mts., que puede obtener una capa de sólidos de 10 a 30 cm. de espesor. A causa de su simplicidad pueden fabricarse con materiales anticorrosivos y es útil cuando hay que filtrar cargas experimentales de materiales corrosivos. No se recomienda para las operaciones de producción a causa del elevado costo de mano de obra necesaria para retirar la torta de sólidos.

b) Filtros continuos

FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO.-

Hay algunos líquidos con sólidos tan poco permeables que es imposible filtrarlos con filtros de presión bajo condiciones razonables de operación.

Algunos otros líquidos contienen un volumen tan elevado de sólidos que los filtros antes descritos se llenarían rápidamente con ellos. Esto requeriría interrupciones costosas para efectuar su limpieza. El filtro rotatorio fue diseñado para solucionar estas condiciones y se muestra en la Figura 4.4. Consta de un tambor horizontal de superficie acanalada que gira con una velocidad de 0.1-0.2 rpm sumergido parcialmente en un depósito que contiene la suspensión. Un medio filtrante, tal como lona, cubre la superficie del tambor. Debajo de la superficie acanalada del tambor principal-

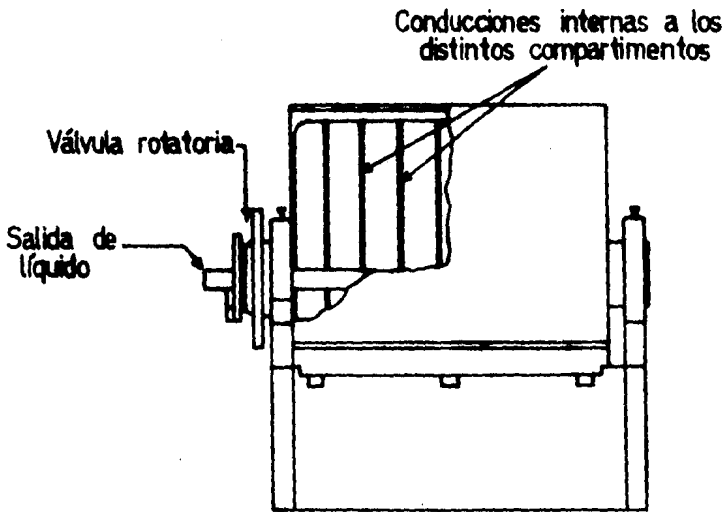
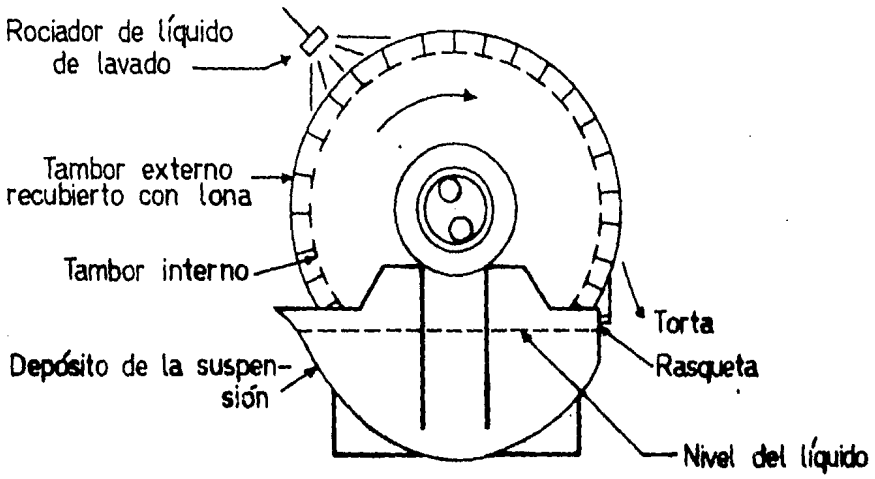


Fig.4.4.- Filtro de Tambor Rotatorio.

se encuentra otro más pequeño. Entre los dos tambores se forman compartimientos separados, conectado cada uno mediante un tubo interno a un orificio situado en la placa rotatoria de la válvula giratoria. Se aplican alternativamente aire y vacío a cada compartimento a medida que gira el tambor. La tela filtrante cubre la cara expuesta de cada compartimento para formar así una sucesión de paneles.

Considérese un panel que esté situado en el momento de introducirse en la suspensión. En cuanto se sumerge en el líquido se aplica vacío a través de la válvula rotatoria. Se forma una capa de sólido sobre su superficie a medida que el líquido pasa por la tela hasta el compartimento, de ahí al tubo interno, a la válvula y finalmente al tanque colector. En cuanto el panel deja la suspensión y entra en la zona de lavado y secado, se introduce, desde un sistema separado, líquido de lavado y aire que pasan a través de la torta de sólidos. El líquido de lavado se extrae a través del filtro hasta un tanque colector. Después de que la torta depositada sobre la superficie del panel ha sido aspirada hasta que se seque tanto como sea posible, el panel deja la zona de secado, se retira el vacío y se desprende la torta rasquándola con una cuchilla horizontal o rasqueta. Se sopla un poco de aire bajo la torta para hinchar la tela, con lo cual se rompe la torta y se separa de la tela, haciendo innecesario que la cuchilla roce la cara del tambor. Una vez que se descarga la torta, el panel vuelve a en-

trar a la suspensión y se repite el ciclo. Un sistema de filtración más completo se muestra en la Figura 4.5.

Existen muchas variedades comerciales de filtros de tambor rotatorio. En algunos diseños no hay compartimentos en el tambor y se aplica vacío a toda la superficie interna del medio filtrante. El filtrado y el líquido de lavado se retiran juntos a través de un tubo sumergido; los sólidos se pueden descargar mediante aire, como se explicó anteriormente; mediante una serie de cuerdas paralelas y muy juntas, o bien por medio de una cuchilla. El líquido de lavado puede rociarse directamente sobre la superficie de la torta o, con tortas que se rompan fácilmente, se puede rociar sobre una tela que se desplaza con la torta a través de la zona de lavado y que presiona fuertemente la superficie externa. En ocasiones, en el tanque de inmersión, la suspensión es agitada continuamente para evitar una posible sedimentación; otras veces, para partículas gruesas que sedimentan rápidamente y que forman una torta porosa, es más recomendable una tolva de alimentación, en lugar de la alimentación por inmersión.

Cuando se utiliza el sistema de inmersión, la parte sumergida del tambor es también variable. La mayoría de los filtros operan con cerca del 30% de su área de filtración sumergida en la suspensión. Cuando se desea una capacidad de filtración elevada, y no hace falta lavar, puede usarse un filtro de inmersión profunda, con un área de filtración sumergida del 60 al 70%

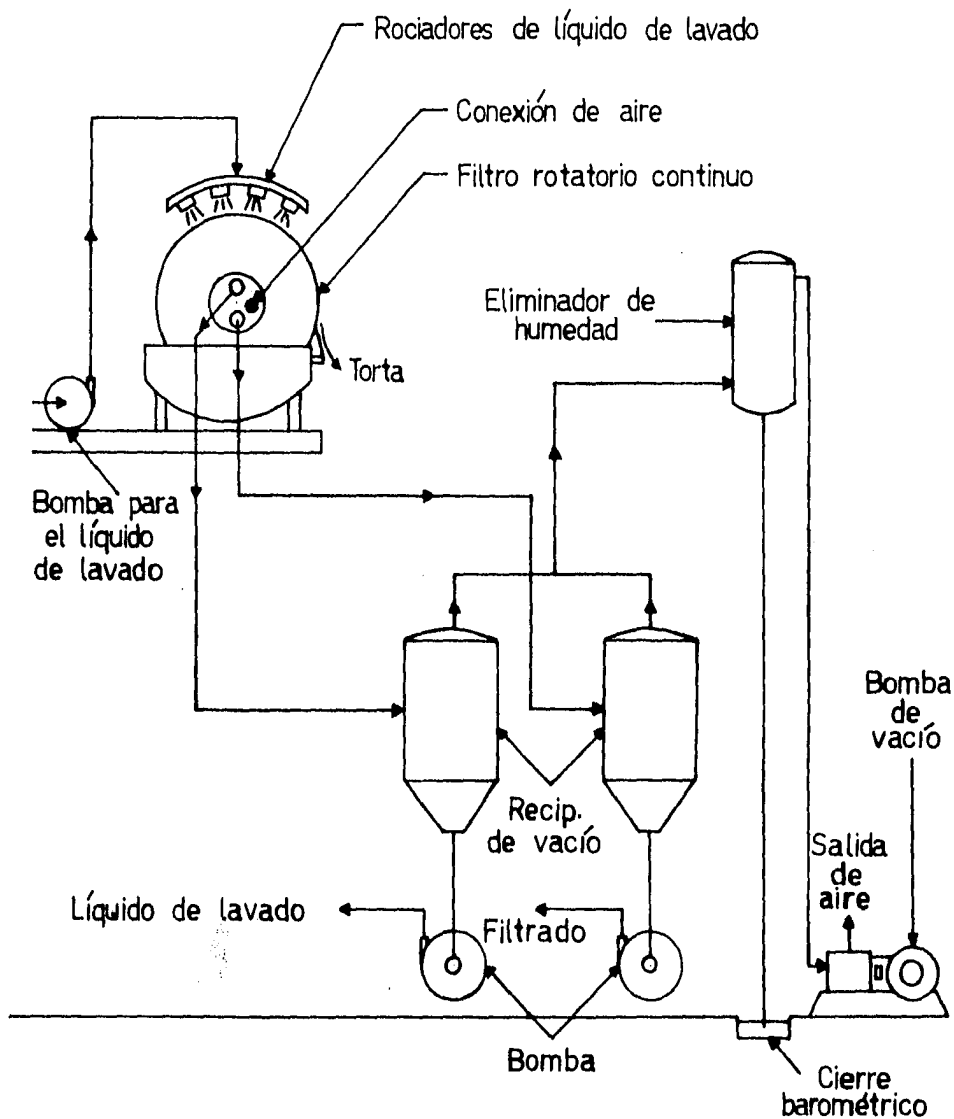


Fig.4.5.- Sistema de filtración para un Equipo de Tambor Rotatorio.

La capacidad de cualquier filtro rotatorio depende de las características de la suspensión alimentada y especialmente del espesor de torta que se puede permitir durante la operación. Las tortas formadas sobre filtros rotatorios de vacío industriales tienen un espesor de 0.3 - 4.0 cm. Los tamaños comunes de los tambores varían entre 0.3 m. de diámetro y 0.3m. de longitud, y 3 m. de diámetro y 5 m. de longitud.

Los filtros de tambor rotatorio pueden diseñarse también para trabajar con recubrimiento previo. Esta modificación es necesaria cuando se desea filtrar pequeñas cantidades de sólidos finos o gelatinosos que ordinariamente obstruyen las telas filtrantes. En este caso, el tambor se sumerge un 30 - 50% en el líquido. El tambor está cubierto con un tamiz capaz de retener el recubrimiento o filtro ayuda. Durante la operación se forma una precapa de 1 - 4 pulgadas de espesor sobre el tambor, bombeando una suspensión de filtro ayuda desde un tanque de precapa a través del filtro y recirculándola. Después que se ha formado la precapa, el líquido sin filtrar se introduce en el tanque de inmersión. A medida que el tambor gira, una cuchilla transversal avanza continuamente hacia el tambor, separando los sólidos además de una pequeña cantidad de precapa, para dejar así, de forma continua, una superficie fresca de material poroso, dispuesta para el filtrado. Esto continúa hasta que la cuchilla se encuentra a $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{8}$ de pulgada del tambor; en este momento se limpia y se establece una nueva precapa. La cuchilla se mueve tan lentamente que una sola precapadura por ejemplo una semana⁽⁴⁾.

Los filtros de recubrimiento previo solo pueden usarse cuando se desechan los sólidos o cuando la mezcla con grandes cantidades del medio filtrante no constituye un problema importante.

FILTRO HORIZONTAL

Cuando es preciso lavar cuidadosamente sólidos que securran fácilmente, y en especial cuando, por cualquier razón, debe ser fácilmente accesible la tubería del filtrado, puede usarse un filtro horizontal, representado en las Figuras 4.6 y 4.7. Consiste de un depósito horizontal en forma de anillo que tiene un falso fondo recubierto con tela. El depósito gira lentamente alrededor de un eje central. El espacio por debajo del fondo falso está dividido en compartimientos, y una gran válvula rotatoria aplica vacío o cada compartimiento y lo interrumpe a intervalos apropiados. El filtrado y el líquido de lavado que se rocía sobre la torta durante su recorrido, son aspirados a través de la tela hasta los compartimientos y de ahí salen a través de la válvula rotatoria. En el punto de descarga se suprime el vacío y se retiran los sólidos radialmente por medio de un tornillo sin fin. Cada sección del filtro horizontal puede considerarse como un embudo Buchner, que se somete sucesivamente a zonas de filtrado, lavado y secado. Los filtros horizontales tienen capacidades muy grandes cuando operan con sólidos que securran fácilmente⁽⁵⁾. Se aplican principalmente a la filtración de sólidos cristalinos de rápido drenado. Su superficie horizontal evita la caída de los sólidos y la pérdida de los mismos por arrastre con el agua de lavado y usualmente puede trabajarse una capa pesada de sólidos.

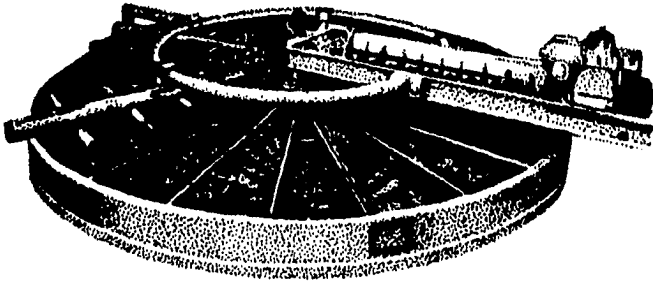


Fig.4.6.- Filtro Horizontal.

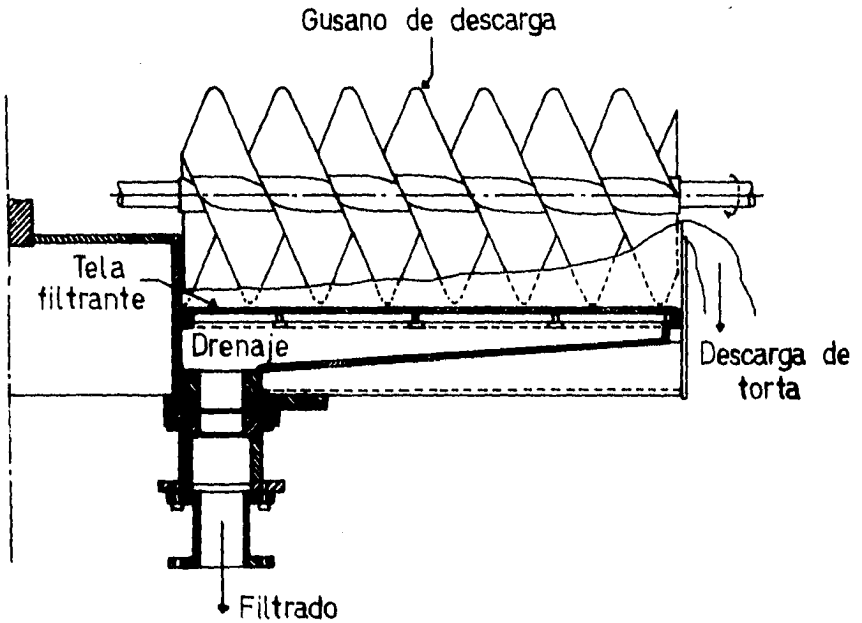


Fig.4.7.- Corte transversal de un Filtro Horizontal

FILTRO DE DISCO ROTATORIO AL VACIO

Este equipo se muestra en la figura 4.8. La filtración se lleva a cabo en hojas con forma de cuña cubiertas con el medio filtrante. Las hojas giran en un plano vertical sobre un eje horizontal. La suspensión llena la paila del filtro casi hasta el eje. Como las hojas se sumergen en la suspensión, colectan una torta sobre sus superficies mientras el filtrado pasa a un sistema de descarga central. Las hojas llevan la torta a la parte superior de la rotación, mientras se hace pasar aire a través de la misma torta para drenarla. La torta es arrastrada hacia afuera por medio de cuchillas o por medio de aire comprimido alimentado en el interior de las hojas antes de que se sumerjan otra vez en la suspensión. Si la tela filtrante se llega a desgastar, en cada segmento puede reemplazarse individualmente de una manera relativamente rápida. Estos filtros tienen la ventaja de ser de bajo costo⁽⁹⁾ y son fáciles de inspeccionar.

FILTROS CONTINUOS DE PRESION

Aunque la mayoría de los filtros continuos son filtros a vacío, los filtros continuos de presión tienen ciertas aplicaciones. A veces la filtración a vacío no es posible o no resulta económica, como ocurre cuando los sólidos son muy finos y filtran muy lentamente, el líquido tiene una presión de vapor alta, una viscosidad mayor de 100 cp⁽⁵⁾, o es una solución saturada que cristaliza si se enfría. Con suspensiones que filtran len-

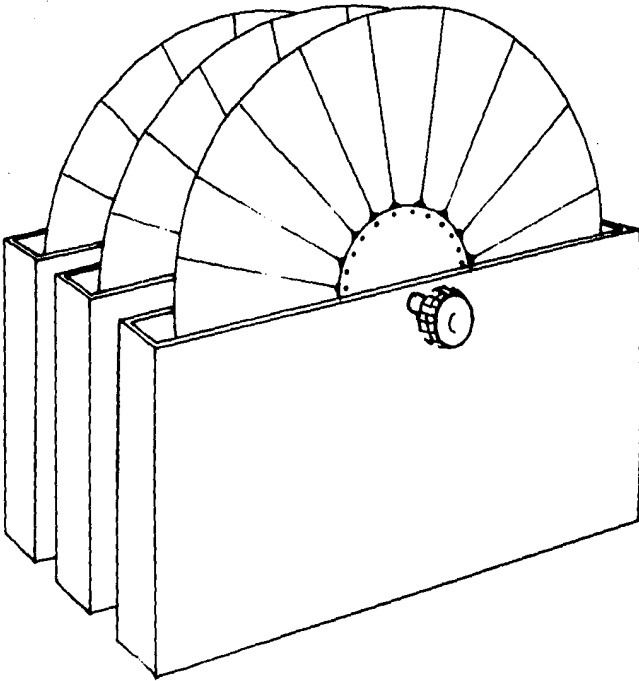


Fig.4.8.- Filtro de Disco Rotatorio al Vacío

tamente, la diferencia de presión a través del medio filtrante debe ser mayor que la que puede obtenerse en un filtro de vacío; con líquidos que se evaporizan o cristalizan a presión reducida, la presión a la salida del medio filtrante no puede ser menor que la atmosférica.

Un filtro continuo de presión muy utilizado es el filtro espesador. El objeto de este equipo es separar parte del líquido contenido en una suspensión diluida para obtener otra concentrada. En apariencia este aparato parece un filtro prensa; sin embargo, no contiene marcos y las placas están modificadas (Fig. 4.9). Las placas sucesivas llevan canales apareados que forman, cuando se monta la prensa, una conducción larga en espiral para la suspensión. Esta fluye continuamente a través del aparato, primeramente por los canales formados por las caras de dos placas, luego a través de una abertura y finalmente pasa entre las caras del par de placas contiguas. Los lados de los canales están recubiertos con un medio filtrante mantenido entre las placas. A medida que la suspensión pasa por el canal a presión, parte del líquido fluye a través del medio hasta unos canales en las caras de las placas y de ahí va al distribuidor múltiple de descarga de líquido claro. La suspensión así espesada se mantiene en movimiento suficientemente rápido para que no se obstruya el canal. Se escoja el número de placas de modo que la diferencia de presión en todo el aparato no exceda de 6 kg/cm^2 . En estas con

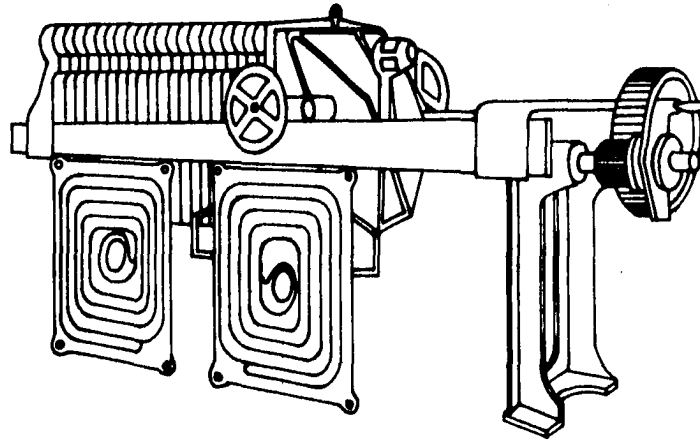


Fig.4.9.- Filtro Espesador.

dición es posible, generalmente, duplicar la concentración de la suspensión de entrada. Cuando se necesita un grado de concentración mayor, la suspensión parcialmente espesada en un filtro se introduce nuevamente en un segundo filtro para concentrarla más.

CUADRO 4.1.- PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS EQUIPOS DE FILTRACION

EQUIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FILTRO PRENSA	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo inicial. - Poco mantenimiento. - Versatilidad. - Fácil inspección interna. - Relación baja de volumen/área. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requerimientos de mano de obra excesivos.
FILTRO DE MEDIO GRANULAR	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicidad de diseño. - Bajo costo. - Poco mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad en la recuperación de sólidos. - Área de filtración pequeña. - Relación alta volumen/área.
FILTRO DE BOLSA	<ul style="list-style-type: none"> - Poco mantenimiento. - Bajo costo. - Simplicidad de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Área de filtración pequeña. - Baja capacidad.
FILTRO DE HOJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad de lavado. - Facilidad de inspección. - Requerimientos bajos de mano de obra. - Facilidad de uso de filtro ayudas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo inicial relativamente alto.

EQUIPO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

FILTRO DE CARTUCHO

- Tiempo de operación relativamente largo.
- Requerimientos bajos de mano de obra.

- Baja capacidad.

FILTRO DISCONTINUO DE VACIO

- Gran simplicidad

- Costo elevado de mano de obra.
- Area de filtración pequeña.

FILTRO DE TAMBOR ROTATORIO

- Efectividad en la filtración de sólidos poco permeables.
- Efectividad en la filtración de suspensiones con un alto contenido de sólidos.
- Gran capacidad.
- Facilidad de uso de filtro ayudas.
- Sistema continuo.

- Complejidad de diseño.
- Costo inicial elevado

FILTRO HORIZONTAL

- Accesibilidad a la tubería de filtrado.
- Sistema continuo.
- Facilidad de lavado de sólidos.
- Fácil recuperación de sólidos.

- Ineficiencia con sólidos poco porosos

EQUIPO

FILTRO DE DISCO ROTATORIO AL VACIO

VENTAJAS

- Facilidad de mantenimiento.
- Bajo costo.
- Facilidad de inspección.
- Sistema continuo.

DESVENTAJAS

- Capacidad relativamente baja.
- Dificultad de lavado de sólidos.

FILTRO CONTINUO DE PRESION

- Efectividad con sólidos poco porosos.
- Aplicabilidad a líquidos con presión de vapor alta.
- Efectividad con líquidos viscosos.
- Efectividad con soluciones que cristalizan al enfriarse.

- Separación parcial de líquido y sólido.

MEDIOS DE FILTRACION Y FILTRO AYUDAS

El medio filtrante de cualquier filtro debe cumplir los siguientes requisitos⁽⁵⁾:

- 1.- Retener los sólidos que han de filtrarse, dando un filtrado suficientemente claro.
- 2.- No debe obstruirse
- 3.- Ser química y mecánicamente resistente a las condiciones de proceso.
- 4.- Permitir la descarga limpia y completa de la torta formada.
- 5.- Ser de bajo costo.

En la filtración industrial el medio filtrante más común es la lana, aunque existan muchos otros materiales, entre los que se encuentran: tela de lana, telas metálicas, fibra de vidrio, papel, nylon y polipropileno. La selección del material adecuado se acompaña por cuestiones económicas de manera que se escoja un medio que efectúe la filtración requerida a un costo global que sea el menor posible.

Durante la operación, algunos sólidos de la torta penetran el medio filtrante y tapan algunos de los poros. Al continuar la filtración, la torta empieza a formarse sobre la superficie del medio. En casos normales, entre el 5 y el 25% del volumen de poros del medio filtrante es tapado con sólidos⁽⁴⁾. Esto ocasiona que la resistencia al flujo aumente rápidamente. Por esto, cuando se desean separar sólidos muy finos, que forman una torta

densa e impermeable, se requiere que la porosidad de la torta se aumente - para permitir el paso del líquido con una velocidad razonable. Esto se lo gra mediante el uso de filtro ayudas.

Los filtro ayudas son sólidos finamente divididos, que forman por sí mis- mos una torta compresible y abierta. Los más utilizados son la tierra de diatomeas (ó diatomáceas), asbestos y celulosa de madera purificada. - Aplicado como una precapa sobre la tela filtrante, el filtro ayuda actúa - como un medio filtrante primario y permite la remoción completa de particu- las sólidas muy finas presentes en la suspensión. Otro método de aplica- ción es mediante la mezcla del filtro ayuda con la suspensión. Aquí, el - filtro ayuda se distribuye en la torta manteniéndola relativamente abierta al flujo, y suministrando una mayor superficie para la adhesión de sólidos muy pequeños. Esta función es particularmente útil cuando se filtran sólidos coloidales que forman una torta compresible muy densa, que no va a ser recuperada. Si se desea recuperar los sólidos, el filtro ayuda puede sepa- rarse disolviendo los mismos o quemando el filtro ayuda. Si los sólidos no tienen valor se desechan junto con el filtro ayuda. Debe entenderse que el recubrimiento con filtro ayuda es realmente una parte del medio filtrante- y no de la torta.

TEORIA DE FILTRACION

En casi todos los casos prácticos, el flujo de líquido a través de la torta de sólidos sigue un régimen laminar⁽⁴⁾, aplicándose la ecuación de -- Carmán-Kozeny. Sin embargo, es necesario hacer algunas modificaciones a -- ésta ecuación para poder introducir en ella las variables medibles en una filtración. La ecuación de Carmán-Kozeny relaciona la caída de presión a través de la torta con la velocidad de flujo, la porosidad y el espesor de la torta, y el diámetro de las partículas sólidas.

El diámetro de partícula se define en términos del diámetro de una esfera-equivalente⁽⁴⁾. Para una partícula irregular, cuya razón área a volumen -- es conocida, solamente hay un tamaño de esfera que posee esta misma razón. El diámetro de esta esfera es tomado como una característica de la partícula. Así:

$$D_p = \frac{6}{A_p/V_p} = \frac{6}{S_o} \quad (4.1)$$

donde:

D_p = diámetro de partícula

A_p = Área de la partícula

V_p = Volumen de la partícula

S_o = Área superficial específica de la partícula,

ft^2/ft^3 de volumen sólido

De esta manera, la ecuación de Carman-Kozeny puede escribirse como sigue:

$$\frac{1}{A} (dV/d\theta) = \frac{(-\Delta P) g_c \epsilon^3}{5L \mu S_o^2 (1-\epsilon)^2} \quad (4.2)$$

donde: ΔP = Caída de presión a través de la torta.

ϵ = porosidad de la torta, definiéndose como la fracción hueca del volumen total.

$dV/d\theta$ = Velocidad de filtración, es decir, volumen de filtrado que pasa a través de la torta - por unidad de tiempo.

A = Área de filtración

L = Espesor de la torta

μ = Viscosidad del filtrado

El espesor de la torta puede relacionarse con el volumen de filtrado mediante un balance de materia:

$$LA(1-\epsilon)\rho_s = W(V+\epsilon LA) \quad (4.3)$$

donde: ρ_s = Densidad de los sólidos en la torta

W = Peso de sólidos en la suspensión por unidad de volumen de líquido en la misma

V = Volumen de filtrado que ha pasado a través de la torta.

El término (ϵLA) representa el volumen de filtrado retenido en la torta, y comparado con V puede despreciarse. Así, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{d\theta} = \frac{(-\Delta P) g_c \epsilon^3}{\frac{5WV}{A \rho_s} \mu (1-\epsilon) S_0^3} = \frac{(-\Delta P) g_c}{\frac{\alpha \mu W V}{A}} \quad (4.4)$$

donde α es la resistencia específica de la torta, la cual es una constante para una torta particular en su condición inmediata, y se define por:

$$\alpha = \frac{5(1-\epsilon) S_0^3}{\rho_s \epsilon^3} \quad (4.5)$$

Puede obtenerse una ecuación similar en términos de L , eliminando V entre las ecuaciones (4.2) y (4.3).

La ecuación (4.4) es la ecuación básica de filtración en términos de la caída de presión a través de la torta únicamente. Debe entenderse que la resistencia específica de la torta no es necesariamente constante para una suspensión dada, debido a que ϵ y S_0 presentan variaciones. La fracción vacía ϵ normalmente varía al presentarse cambios en la fuerza compactante ejercida sobre la cama de sólidos. Como esta fuerza es directamente proporcional a $(-\Delta P/L)$, como L varía en el transcurso del proceso, ϵ puede también variar. Además tanto ϵ como S_0 son afectados por el grado de floculación del precipitado en la alimentación. La flocu-

lación puede variar con la turbulencia, por lo que puede ser función de la velocidad de filtración. Sin embargo, en la mayoría de las filtraciones a presión constante, α es constante excepto en el inicio de la filtración cuando la velocidad de flujo es muy alta y no se ha establecido la forma de la torta. De hecho, para muchas tortas, cambios en el ΔP no afectan α . Se dice que estas tortas son incompresibles, aunque realmente casi ninguna torta es completamente incompresible.

En el rango usual de condiciones de operación, la resistencia específica de la torta α se relaciona con la presión por medio de la expresión:⁽⁸⁾

$$\alpha = \alpha' \Delta P^S \quad (4.6)$$

donde α' es una constante determinada principalmente por el tamaño de las partículas que forman la torta; S es la compresibilidad de la torta, variando desde cero, cuando es rígida (incompresible), tal como la arena fina y la diatomita, hasta 1.0 para tortas altamente compresibles. Para la mayoría de las suspensiones industriales, S cae entre 0.1 y 0.8. ΔP es la caída de presión a través de la torta.

La ecuación (4.4) representa la forma general de velocidad expresada como la fuerza impulsora entre la resistencia. En esta ecuación, ambos parámetros se aplican a la torta únicamente. En la práctica, el ΔP incluye no solo la caída de presión a través de la torta, sino también la caída de presión de varios canales de flujo antes y después del área filtrante en sí.

Si en la ecuación (4.4) se usa esta caída de presión total ΔP_t , la resistencia también debe incluir las resistencias al flujo de las diversas partes adicionales del equipo. Como estas resistencias se encuentran en serie se obtiene:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{(-\Delta P_t) gc}{\mu \left(\frac{\alpha WV}{A} + R_m \right)} \quad (4.7)$$

donde R_m tiene las unidades de ft^{-1} y representa la resistencia del medio filtrante y de la tubería y demás accesorios por los que ocurre el flujo. Por conveniencia en el análisis de datos, la resistencia del medio filtrante y de los canales de flujo R_m es usualmente expresada en términos de un volumen equivalente de filtrado:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{-\Delta P_t gc}{\frac{\mu \alpha W}{A} (V + V_e)} \quad (4.8)$$

donde V_e es el volumen de filtrado necesario para construir una torta ficticia que tenga una resistencia igual a R_m .

Las ecuaciones (4.7) y (4.8), pueden integrarse si el ΔP y α pueden relacionarse con V y θ . Como se mencionó anteriormente, hay muchas suspensiones para las que α es prácticamente constante durante el ciclo de filtración. El análisis siguiente considerará estas suspensiones únicamente, es decir, aquellas suspensiones que forman tortas incompresibles.

La variación del ΔP durante el ciclo de filtración depende del proce-

dimiento de operación y del tipo de filtro utilizado. En filtros de arena, el ΔP varía en función de la columna de líquido presente sobre la cama de sólidos, es decir, en función de la presión hidrostática instantánea. En filtros de tambor rotatorio al vacío, el ΔP será constante a poco menos de 1 atm⁽⁴⁾. En filtros prensa y filtros de hojas, la presión puede ser manejada por el operador, dentro de los límites del equipo. La operación puede también llevarse a cabo a velocidad constante mediante el uso de una bomba de desplazamiento positivo y continuando la corrida hasta que la presión de alimentación alcance cierto límite. Muchas veces, la operación se inicia a velocidad constante hasta que la presión alcanza un nivel predeterminado, después del cual la presión se mantiene constante. Esto tiene la ventaja de que solo una cantidad mínima de sólidos es forzada a introducirse en los poros del medio filtrante. Cuando se alcanza una presión óptima (económicamente) o máxima, se continúa la filtración a esta presión.

Realizando la integración de la ecuación (4.8) para tortas incompresibles (α constante) y a presión constante se obtiene:

$$\theta = \frac{\mu \alpha W}{9cA^2(-\Delta P_t)} \left(\frac{V^2}{2} + V_e V \right) \quad (4.9)$$

de donde se puede calcular el tiempo necesario para obtener una cierta cantidad de volumen de filtrado.

La aplicación de la ecuación (4.9) requiere la evaluación de dos constan

tes, α y V_e . La resistencia específica de la torta α puede evaluarse de las propiedades de la torta, si ϵ y S_0 son conocidas para las condiciones dadas de filtración. Sin embargo, V_e debe determinarse de datos de filtración en plantas piloto. Debido a esto, es un procedimiento usual el evaluar tanto α como V_e a partir de corridas en plantas piloto, usando la suspensión real que se pretende filtrar a condiciones tan cercanas como sea posible a las empleadas a nivel industrial. Para poder evaluar estas constantes a partir de datos experimentales, la ecuación (4.8) es rearrreglada como sigue:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\mu\alpha W}{gcA^2(-\Delta P_t)} (V + V_e) \quad (4.8a)$$

Esta ecuación representa una relación lineal entre $d\theta/dV$ y V si $-\Delta P_t$ es constante. Así, de datos de filtración a presión constante reales, $d\theta/dV$ se grafica en las ordenadas como una función de V en las abscisas para dar una línea recta. El valor $d\theta/dV$ se obtiene de intervalos finitos en lugar de diferenciales, y en su forma inversa, es decir, $\Delta V/\Delta\theta$ que representa la velocidad promedio durante un intervalo de tiempo entre V y $V+\Delta V$. La pendiente de la línea recta es, por tanto:

$$\alpha\mu W / gcA^2(-\Delta P_t)$$

de donde puede determinarse α , y la ordenada al origen es:

$$[\mu\alpha W/gcA^2(-\Delta P_t)]V_e$$

Al dividir este último valor entre la pendiente se obtiene V_e .

Si la corrida de prueba se efectúa a velocidad constante en lugar de a presión constante, la ecuación (4.8) se rearrregla de la siguiente manera:

$$-\Delta P_t = \frac{\mu\alpha W}{gc A^2} \left(\frac{dV}{d\theta} \right) (V + V_e) \quad (4.8b)$$

La ecuación (4.8b), representa también una línea recta para velocidad de filtración constante, cuando se grafica $-\Delta P_t$ contra V . En tonces la pendiente será

$$(\mu\alpha W/gcA^2)(dV/d\theta),$$

y la ordenada al origen

$$[(\mu\alpha W/gcA^2)(dV/d\theta)]V_e$$

Otra vez, las constantes no conocidas se determinan de la pendiente y de la ordenada al origen.

Las ecuaciones anteriores pueden también ser expresadas en términos del espesor de la torta L , en lugar del volumen del filtrado, lo cual es conveniente cuando se trata de filtros rotatorios al vacío o de filtros de hojas, cuando se desea establecer la duración del ciclo mediante el espa—sor de la torta formada en la superficie del filtro.

Para tortas compresibles, el cálculo de α se efectúa mediante la ecuación (4.6), la cual es una fórmula empírica. Los valores de α' y S deben determinarse de una serie de pruebas de filtración a presión constante. Esta ecuación es obviamente incorrecta a valores bajos de ΔP pues $\Delta P = 0$ predeciría que $\alpha = 0$. Sin embargo, es una ecuación útil para determinar rápidamente las constantes, pero debe utilizarse en rangos pequeños de presión.

EFECTO DE LAS VARIABLES DE OPERACION

La ecuación (4.7), brinda información muy útil acerca de los efectos de las variables de operación.

Cuando la torta se compone de partículas granulares duras (torta incompresible), $S = 0$, por lo que $\alpha = \alpha'$. Despreciando la resistencia

R_m se obtiene:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2(-\Delta Pt)gc}{\mu \alpha' WV} \quad (4.10)$$

Por lo tanto, para tortas incompresibles, la velocidad de flujo es directamente proporcional al área y a la presión e inversamente proporcional a la viscosidad, a la cantidad de sólidos y a α' .

Cuando la torta consiste de partículas muy blandas, S se aproxima a 1.0.

Despreciando de nuevo R_m se obtiene:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 gc}{\mu \alpha' WV} \quad (4.11)$$

De aquí puede observarse que, para tortas muy compresibles, la velocidad de filtración es independiente de la presión.

EFECTO DE LA PRESION

Se ha encontrado que en la filtración de sólidos granulares o cristalinos un aumento en la presión causa un aumento casi proporcional en la velocidad de flujo. Por otro lado, en los precipitados viscosos o floculentos, la velocidad de filtración aumenta solo ligeramente al aumentarla presión. Algunos materiales tienen una presión crítica sobre la cual un aumento posterior ocasiona una disminución en la velocidad de flujo.

En la filtración de ciertas mezclas no homogéneas, tales como aquellas de sólidos viscosos a las cuales se han agregado filtro ayudas, se ha encontrado que una velocidad de flujo constante durante la filtración es más satisfactoria que una presión constante, ya que esta última ocasiona una pobre claridad inicial del filtrado y un rápido aumento de la resistencia de la torta. De hecho, la filtración de suspensiones prácticamente incompresibles es más satisfactoria cuando se usa una baja presión al inicio de la corrida. Esto es especialmente importante en la filtración de suspensiones de bajo contenido de sólidos.

Como la mayoría de los filtros a presión son alimentados por bombas centrífugas, su operación rara vez es a presión constante o a velocidad constante, sino que, de acuerdo a las características de la bomba, es esen-

cielmente a velocidad constante durante su primera etapa y a presión constante durante la última parte del ciclo. Las bombas que tienen alta presión de descarga no operan ni a velocidad constante ni a presión constante durante ninguna parte del ciclo, sino que operan siempre a condiciones intermedias de aumento de presión y disminución de velocidad de flujo.

EFECTO DEL ESPESOR DE LA TORTA.

La teoría de filtración demuestra que, despreciando R_m , la velocidad de filtración es inversamente proporcional a la cantidad de torta depositada. El espesor de la torta permitido en un ciclo de filtración debe optimizarse considerando la resistencia específica de la torta, la resistencia del medio filtrante, el tiempo requerido para remover la torta producida y preparar el medio para el siguiente ciclo, la dificultad de descarga de la torta, entre otros. Por ejemplo, si la resistencia específica de la torta es tan alta que aún una torta muy delgada ocasiona una resistencia al flujo excesiva con respecto a R_m , la máxima productividad del filtro se obtiene con una torta extremadamente delgada. Sin embargo, esta torta tan delgada puede ocasionar mayor dificultad de descarga, mayor cantidad de ciclos de lavado requeridos, más mano de obra, etc. Por esto, la optimización consiste en un balance de cuestiones técnicas y económicas que engloban todos los factores anteriores, de manera que la productividad de la operación sea la mayor posible.

EFECTO DE LA VISCOSIDAD

La velocidad de filtración en cualquier momento es inversamente proporcional a la viscosidad del filtrado. La alta viscosidad de algunos filtrados puede reducirse diluyendo la suspensión inicial, a veces con una ganancia neta en la velocidad de filtración no obstante el aumento de volumen del filtrado. Si se requiere que el filtrado tenga una concentración elevada para tratamientos posteriores, o por ser en sí un producto, la dilución es factible solo si el costo de una reconcentración no ocasiona que la economía de la filtración sea infavorable.

EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura tiene influencia sobre la velocidad de filtración de sólidos incompresibles de una manera indirecta debida a su efecto sobre la viscosidad. La viscosidad de la mayoría de los líquidos disminuye marcadamente al aumentar la temperatura. Así, al operar a una mayor temperatura se permiten velocidades de filtración más altas; si el filtrado fuera agua, por ejemplo, un aumento de 20 a 60°C duplicaría la velocidad de flujo (8). Las suspensiones que formen tortas compresibles son afectadas en su filtración de una manera más complicada por los aumentos de temperatura, pero el efecto general se inclina a aumentar la velocidad de la misma. Los límites en los que una suspensión puede ser calentada son fijados por el costo de calentamiento y, en filtraciones al vacío, por la presión de-

vapor del filtrado.

EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTICULA

El tamaño de partícula afecta en gran medida las resistencias de la torta y de la tela. Pequeños cambios en el tamaño de partícula afectan al coeficiente α' y cambios mayores afectan inclusive, la compresibilidad.

S. Una disminución en el tamaño de partícula ocasiona una menor velocidad de filtración y un mayor contenido de humedad de la torta, pero a veces una mayor eficiencia de lavado⁽⁸⁾. Debido a esto, es importante controlar el tamaño de partícula en la alimentación del filtro. Por un lado, la degradación del tamaño de partícula que puede ser ocasionada por el bombeo o por una agitación violenta, debe evitarse; por otro lado, un pretreamiento de la suspensión por medios físicos o químicos puede originar la floculación de partículas finas formando unidades mayores más fáciles de filtrar.

EFECTO DEL TIPO DE MEDIO FILTRANTE

Este efecto, muchas veces no es totalmente reconocido. Al seleccionar el medio para una filtración dada, debe hacerse un balance entre tener una malla muy abierta para reducir el taponamiento y una muy cerrada para evitar el "escurrimiento" de la torta. Una vez que se ha formado un pequeño espesor de torta, el efecto del medio filtrante es generalmente nulo, -

ya que el escurrimiento normalmente se detiene, y las partículas finas son atrapadas en la torta.

EFECTO DE LA CONCENTRACION

Con respecto a esto, existe un efecto explícito en el sentido de que el tiempo necesario para depositar una determinada masa de sólidos es inverso a la cantidad de sólidos presentes en la suspensión. Sin embargo, también puede haber efectos implícitos. El cambio en la concentración de la suspensión puede afectar α y la velocidad de taponamiento del medio filtrante. En diluciones extremas, los mismos sólidos que, cuando se depositan en una suspensión más concentrada siguen el patrón de filtración en torta, pueden cambiar el patrón de filtración en medio filtrante, equivalente a un taponamiento extremadamente rápido del medio filtrante. Estos efectos implícitos favorecen el aumento en la concentración de la suspensión a filtrar.

ULTRAFILTRACION Y OSMOSIS INVERSA

Todo lo mencionado anteriormente en este capítulo trata de los métodos tradicionales de filtración. Sin embargo, existen dos métodos más recientes y más sofisticados que tienen un campo muy amplio de aplicación en la Industria Alimenticia. Estos son la ultrafiltración y la Osmosis Inversa.

ULTRAFILTRACION

La ultrafiltración es un proceso que utiliza la presión para fraccionar y concentrar suspensiones que contienen coloides y materiales de alto peso molecular. La separación se lleva a cabo mediante una membrana selectiva y semipermeable que retiene dichos materiales de alto peso molecular y permite que el solvente y los solutos de bajo peso molecular pasen a través de ella. Entre los procesos de separación con membranas, la ultrafiltración se caracteriza por efectuarse a baja presión, esto es, entre 200 y 800 kpa.

En la filtración ordinaria, el líquido fluye perpendicularmente al filtro; en la ultrafiltración, el líquido fluye paralelamente a la membrana. Los materiales de alto peso molecular no tapan la membrana ya que no penetran en ella; en vez de esto, la turbulencia del líquido arrastra los materiales hacia afuera. De esta manera, pueden obtenerse altas velocidades de filtración continua sin retrolavado (Figura 4.10)

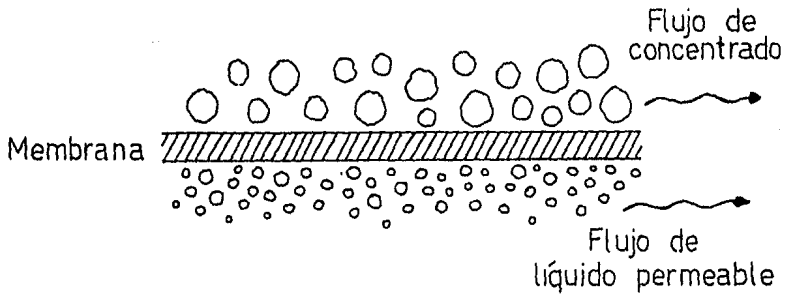


Fig.4.10.- Diagrama esquemático del Proceso de ultrafiltración.

Así la ultrafiltración puede concentrar o purificar grandes moléculas, - tales como proteínas, virus, polisacáridos, y enzimas en solución. Algunas aplicaciones son: concentración de suero de queso, concentración de leche, concentración de gelatinas y clarificación de jugos.

Las membranas para la ultrafiltración se fabrican de finas películas de polímeros. Resisten temperaturas altas de operación y amplios rangos de "pH". Los poros de la membrana tienen un diámetro menor a 0.005 micras, siendo mucho menor que el de los materiales que se pretenden retener.

Las membranas se fabrican en dos arreglos diferentes: arreglo tubular y arreglo en espiral. El arreglo en espiral tiene una relación alta superficie-volumen, tiene muy poco volumen de retención, patrones uniformes de flujo y es más barato que el arreglo tubular. Permite una fácil limpieza y hace posible la operación a temperaturas superiores a los 85°C. Este arreglo brinda una mayor capacidad de filtración.

El arreglo tubular es el más sencillo. Las membranas tubulares se limpian fácilmente en su sitio (CIP) y su reemplazo es muy fácil. Además, su diseño abierto evita la obstrucción y permite la inspección visual y la limpieza mecánica. Esto hace que sea el arreglo más adecuado para usos sanitarios.

Durante la operación, la alimentación a presión se introduce en un extremo del tubo. La membrana separa la alimentación en dos corrientes: un concentrado de alto peso molecular y un líquido con los materiales de bajo peso molecular.

Un sistema de ultrafiltración consiste de un tanque de alimentación, bomba, instrumentación, controles, válvulas y las membranas. El sistema puede ser operado por lote (batch) o en flujo continuo. La operación continua se recomienda para aplicaciones sanitarias; consiste de etapas múltiples arregladas en serie. Cada etapa concentra la alimentación (proveniente de la etapa anterior) en cierto grado dependiendo del diseño. El

corto tiempo de residencia del líquido limita el crecimiento bacteriológico y la degradación biológica.

OSMOSIS INVERSA

Aunque el fundamento es el mismo que en la ultrafiltración, la osmosis inversa se caracteriza por ser un proceso de membrana a alta presión (2000-8000 kpa), utilizado para la separación de sales, iones y moléculas de bajo peso molecular.

La osmosis inversa, como su nombre lo indica, es lo opuesto a la osmosis, que es un fenómeno natural en el que el agua pasa a través de una membrana semipermeable desde una solución diluida hacia una solución concentrada. Cuando se aplica una presión mayor que la presión osmótica natural a la solución concentrada, el flujo de agua se invierte; el agua difunde a través de la membrana hacia la solución diluida, dejando atrás un cierto volumen de solución concentrada.

V.- CLARIFICACION POR FILTRACION

El procedimiento más usado para clarificar jugo de manzana es aquel que utiliza la filtración con filtro ayuda como operación básica. Esta forma de filtración es también muy usual en el procesamiento de otros líquidos, como son: antibióticos, aceites animales y vegetales, productos lácteos y otros jugos de frutas.

Se producen industrialmente varios grados de filtro ayuda de distintas finuras. El grado más abierto permite un flujo aproximadamente 20 veces más grande que el grado más cerrado, pero éste último tiene la propiedad de atrapar y retener partículas coloidales más finas. Debido a esto, debe seleccionarse el grado más abierto que sea posible, de manera que se logre la clarificación a una alta velocidad de flujo.

Durante la clarificación se pretende llevar a cabo la eliminación de cierto tipo de materia suspendida que normalmente no puede obtenerse económicamente con solo usar un medio filtrante convencional (telas, mallas, etc.) Lo que ocurre en general es lo siguiente:

Los sólidos más finos pasan con el líquido a través de las aberturas relativamente grandes de la malla o tela del filtro, mientras que las partículas mayores son retenidas. Esto origina la obstrucción de las aberturas disminuyendo o paralizando por completo el flujo en el interior del filtro. Lo anterior ocurre debido a que las partículas que se desean eliminar en una clarificación son normalmente lodosas, sin rigidez o coloidales.

les. El uso de filtro ayudas ha solucionado bastante bien este problema de producción, pudiendo lograrse el grado exacto de la clarificación deseada, mediante una selección adecuada del filtro ayuda.

A modo de comparación, aunque una malla 60 (por ejemplo) presenta 3,600 pequeñas aberturas por pulgada cuadrada de superficie, una capa de filtro ayuda presenta alrededor de 2.500,000 canales, parecidos a capilares, por pulgada cuadrada que permiten el paso del líquido y retienen hasta las partículas más finas. (9)

Existen principalmente filtro ayudas a base de mezclas de celulosa y diatomita y filtro ayudas de 100% celulosa, ambos de varios grados dependiendo de lo que se vaya a filtrar y del equipo a utilizar, cubriendo así los requerimientos específicos de cada proceso. Además de estos, se fabrican también absorbentes a base de silicatos sintéticos, los cuales se usan para filtraciones que requieran el control de ácidos grasos, la decoloración, deodorización o la remoción de impurezas coloidales indeseables y de ácidos orgánicos e inorgánicos.

En cuanto a su origen y naturaleza, la diatomita se obtiene de minas, principalmente en Lampoc, California, que es donde se encuentran los depósitos más grandes y de mayor pureza. Consiste de restos de esqueletos de diminutas plantas acuáticas que florecieron en las aguas prehistóricas; a través de los siglos estos esqueletos formaron un profundo depósito en el suelo del océano y lagos, que después se elevaron, dejando yacimientos de una

gran pureza y que poseen una variedad infinita de formas y tamaños.

Pués bien, los filtro ayudas se usan para formar una capa de filtración uniforme con poros muy finos, cubrir imperfecciones de la malla del filtro, -- prevenir el daño de las mallas o la pérdida de claridad durante un cambio -- repentino de presión o flujo y facilitar la remoción de los sólidos al finalizar el ciclo de filtración. Por esto, un filtro ayuda eficiente y económico debe:⁽⁹⁾

- 1.- Tener partículas individuales, fuertes y porosas, formadas integralmente.
- 2.- Formar una torta de filtración incompresible, rígida y altamente permeable.
- 3.- Eliminar los sólidos más finos a altas velocidades de flujo.
- 4.- Ser químicamente inerte e insoluble.

Ningún material ha cumplido estos requisitos tan bien como la diatomita. -- Por ejemplo, la perlita, que es un sustituto comúnmente ofrecido, no tiene ni la estructura de partícula integral ni la incompresibilidad.

El uso de filtro ayudas es aplicable básicamente a filtros rotatorios al vacío y a filtros de hojas. Sin embargo, en la clarificación de jugos de frutas, se utiliza casi exclusivamente éste último tipo, por lo que el estudio se limitará a este caso.

Hojas de los filtros.- La forma y construcción de las hojas del filtro va--

rian ampliamente. Sin embargo, básicamente existen dos tipos: de tres y de cinco capas. La hoja de tres capas consta de una pieza central de drenaje - la cual puede ser una malla metálica de alambre grueso o cualquiera de los diversos metales perforados; esta pieza central es cubierta por un tamiz - de tela o de metal en cada lado (Fig. 4.2).

La hoja de cinco capas consta de un material de refuerzo pesado con un tamiz de malla más fina o una hoja de metal perforada a ambos lados, cubierto con un tamiz de tela o de acero aún más fino, igualmente a ambos lados.

Hay algunos aspectos importantes en relación con las hojas del filtro:

- 1.- Las hojas deben ser rígidas de manera que no se flexionen a medida que aumenta la presión sobre ellas. Cualquier movimiento de la hoja durante la filtración formará grietas en la torta y permitirá que penetren los sólidos no porosos, dificultándose la clarificación.
- 2.- La tela o tamiz debe colocarse rígidamente, de manera que no se arrugue ni se mueva durante la filtración. Esto se aplica cuando al armar el filtro se efectúa la colocación independiente de la tela.
- 3.- El diseño de la hoja debe proporcionar un buen drenaje para evitar la acumulación de sólidos dentro de ella y para tener una capacidad de descarga adecuada de modo que no forme más de 0,5 lbs por pulgada cuadrada de contra presión al inicio de la filtración⁽⁹⁾.

Teles del Filtro.- La función principal de la tela, tamiz o malla es sosten

ner el filtro ayuda, el cual es el que prácticamente efectúa la filtración. Por lo tanto, no es necesario un tamiz muy pesado excepto cuando hay inestabilidad en la torta debido a fluctuaciones en la presión u otras influencias externas. Si la torta se descarga en seco y es densa o pesada debe usarse un tamiz fuerte.

En general, los tamices deben tener:⁽⁹⁾

- 1.- Buena estabilidad dimensional.
- 2.- Fuerza adecuada para cubrir las aberturas en la malla de refuerzo o placa sin sufrir estiramiento.
- 3.- Aberturas uniformes de mayor sección transversal que la de los canales de la precapa.

Las telas pueden ser fabricadas de metal o de fibras naturales o sintéticas. En general, cualquier tamiz con una abertura de menos de 0.005" es adecuado para los filtros ayuda de flujo regular.

Procedimiento de filtración.- Los componentes esenciales de un sistema de filtración con filtro ayuda son el filtro, la bomba alimentadora del filtro, tanques que contienen el filtro ayuda, y en ocasiones un mecanismo de dosificación del mismo.

La filtración es una operación de dos etapas. Primero, una delgada capa protectora de filtro ayuda (la precapa) es formada sobre la tela del filtro mediante recirculación del líquido. El espesor de esta precapa usualmente es de 1/16 a 1/8 de pulgada. Posteriormente se inicia la filtración del lí

quido turbio agregando regularmente pequeñas cantidades de filtro ayuda. A medida que la filtración progresa, el filtro ayuda, mezclado con el líquido turbio, se deposita en la precapa, formando continuamente una nueva superficie de filtración. El cambio de precapa a filtración debe efectuarse con el mínimo de variación en la presión, o de otra manera podrá dificultarse, o aún imposibilitarse, la clarificación.

PASO No. 1.- FORMACION DE PRECAPA.-

La precapa tiene 3 finalidades:

- 1.- Evitar que la tela se obstruya con impurezas con lo que se prolonga su duración considerablemente.
- 2.- Facilitar la limpieza del tamiz al finalizar el ciclo.
- 3.- Proporcionar claridad inmediata.

La formación de la precapa se realiza haciendo recircular una suspensión de filtro ayuda a través del filtro. Debido a que la mayor parte de las partículas son más pequeñas que las aberturas en el tamiz, éstas deben formar la precapa haciendo un puenteo sobre las mismas. Estos puentes pueden ser destruidos por burbujas de aire, cambios bruscos en la presión o vibraciones, haciendo que el líquido filtrado se enturbie hasta que se corrijan estos defectos.

Las cantidades correctas para formar la precapa deben ser de 10 a 15 lbs. de filtro ayuda por 100 pies cuadrados de área de filtración; se usan mayo

res cantidades cuando la distribución de flujo dentro del filtro es mala o cuando se van a poner en marcha nuevos filtros. Si la distribución es correcta, 10 lbs. de filtro ayuda por cada 100 piés cuadrados de área de filtración formarán una precapa de aproximadamente 1/16" de espesor. Si la distribución es incorrecta, puede ser que exista una velocidad interior insuficiente para formar la precapa. Este problema se puede solucionar con una bomba mayor.

La concentración de la suspensión para la precapa dependerá principalmente de la relación área a volumen del equipo de filtración (incluyendo filtro y tubería). Sin embargo las suspensiones fluctuarán entre 0.3% y 0.6%. Si son inferiores al 0.3% puede resultar difícil la formación de la precapa ya que la formación del puenteo depende en gran parte del efecto de aglomeración de las partículas de filtro ayuda que tratan de pasar a través de las aberturas del tamiz o tela.

La suspensión para la precapa puede hacerse en agua o algún otro líquido limpio conveniente, o bien utilizando el mismo líquido que se desea clarificar.

La velocidad con que se forma la precapa dependerá principalmente de la viscosidad del líquido tratado. La velocidad de flujo debe ser suficiente como para mantener el filtro ayuda en suspensión, pero no debe ser muy alta ya que tiraría la torta en el interior del filtro. Con agua, la velocidad debe ser de 1 a 2 galones por pié cuadrado por minuto. Para líquidos viscosos puede ser hasta de 5 galones por pié cuadrado por hora. Un criterio general

para formar la precapa es mantener un flujo que garantice una caída de presión de unas 2 lb/plg.² Para agua se requiere una velocidad relativamente alta, cuando menos 4.5 piés/min para lograr una suspensión adecuada de filtro ayuda.

El líquido filtrado durante la formación de la precapa debe quedar claro -- dentro de los 5 a 15 minutos iniciales. La falta de claridad puede ser causada por alguna de las siguientes razones: purga inadecuada del aire del filtro, erosión de la precapa originada por la recirculación de líquido demasiado rápida, obstrucción del tamiz filtrante, precapa insuficiente en la parte superior de las hojas originada por una recirculación muy lenta, roturas en la malla o tela; mallas viejas, con alambres muy gastados o separados; orificios entre el tamiz y el borde de la hoja, empaques inadecuados entre la boquilla de descarga de la hoja y el tubo de descarga; arrugas en el tamiz, principalmente.

PASO No. 2.- FILTRACION

Una vez clarificado el líquido de la precapa, se inicia la filtración del líquido que se desea clarificar, iniciándose una dosificación continua de filtro ayuda. Esto se realiza abriendo la línea de la bomba de alimentación del filtro y cerrando simultáneamente la línea de la bomba de circulación de la precapa de modo que el flujo sea continuo a través del filtro y sin fluctuaciones bruscas en la presión.

Los efectos que se causan al variar la cantidad de dosificación se ilustran

en la figura 5.1, la cual muestra el rendimiento total contra el porcentaje de dosificación.

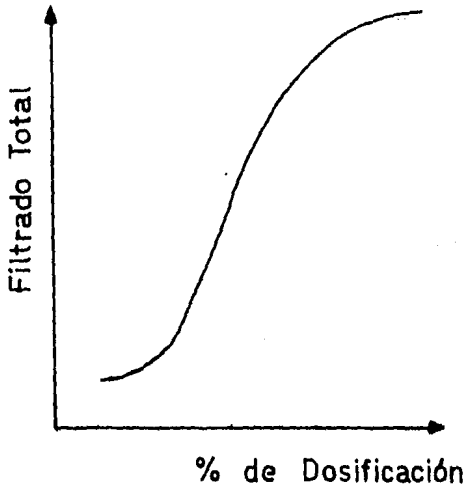


Fig. 5.1.- Efecto de la cantidad de filtro ayuda dosificada sobre la cantidad de filtrado obtenido en un ciclo de filtración.

(Fuente: Johns Manville Mexicana, S.A. de C.V.)

Como se puede apreciar, al agregar una cantidad demasiado pequeña de dosificación, simplemente se reduce el rendimiento total ya que la partícula de filtro ayuda está completamente rodeada de sólidos no porosos. Esto únicamente aumenta el espesor de la torta sin hacerla realmente permeable. A partir de este punto, a medida que aumenta la dosificación, el rendimiento total aumenta lentamente, y después, por un breve período de tiempo, aumenta más rápido. La proporción de aumento decrece hasta alcanzar un punto después del cual ya no aumenta.

Al agregar grandes cantidades de dosificación, disminuye el rendimiento, lo cual se debe a que las partículas de turbidez se pierdan en el filtro ayuda. En tales casos, las cantidades adicionales de dosificación simplemente aumentan el espesor de la torta. La cantidad de dosificación también dependerá de la velocidad a la que se filtra el líquido.

Un aspecto muy importante es el hecho de que si se llegan a tocar las tortas entre las hojas, las presiones desiguales que se originan en las hojas pueden causar una distorsión irreparable en ellas. La cantidad de filtro ayuda que se puede agregar sin causar este problema puede calcularse por la capacidad del filtro (multiplicando el área por el espesor de la torta permitido, dejando una separación cuando menos de $\frac{1}{8}$ " a $\frac{1}{2}$ " entre las tortas), y la densidad del filtro ayuda en la torta. Para la mayoría de los filtro ayudas se puede emplear el valor de 20 lb/pié cúbico de densidad. Las impurezas retenidas en la torta no afectan significativamente los cálculos.

En cuanto se inicia la filtración se deberá obtener una claridad inmediata del líquido. Si no ocurre así, la falla puede ser originada por alguna de las siguientes circunstancias: las hojas se encuentran parcialmente obstruidas, existe aire en el líquido de alimentación, hay pérdida de flujo durante el cambio de precapa a filtración lo que da por resultado el despreñamiento de la precapa, o bien es debido a una formación incorrecta de la precapa.

La presencia de ciclos cortos puede deberse a un paro temporal o permanente de la dosificación, a una obstrucción de la tela o malla, a cambios en las

características del líquido que se está filtrando, a una introducción de aire al filtro, o a una velocidad de filtración muy elevada.

Al finalizar el ciclo de filtración, la torta del filtro se puede desprender por cualquiera de los siguientes métodos:

- 1.- Retrolavado.
- 2.- Desprendimiento por medio de inyectores a alta presión (descarga húmeda).
- 3.- Descarga seca, golpeando ligeramente o raspando las hojas o bien por vibración mecánica. Para esto, previamente se tiene que eliminar el líquido retenido en el filtro y se tiene que secar con aire la torta.
- 4.- Una combinación de descarga seca y húmeda.

Cualquiera que sea el método usado para eliminar la torta, es sumamente importante que dicha eliminación sea completa, de otro modo el tamiz se obstruiría y el resultado sería un funcionamiento inadecuado del filtro.

EQUIPO AUXILIAR.-

Bomba de alimentación del filtro.-

Las bombas centrífugas se usan casi universalmente, ya que no producen pulsaciones que alteren la torta del filtro. Sin embargo estas bombas tienen dos desventajas: su alta velocidad, que tiende a romper grandes sólidos acumulados, haciéndolos más difíciles de filtrar; y su reducción del flujo de salida a medida que aumenta la presión. Para reducir al mínimo la degradación de los sólidos, deben usarse bombas de baja velocidad (1800 RPM) con impulsores abiertos. Cuando los sólidos son grandes y grumosos, es conveniente - -

usar una bomba centrífuga con impulsor cóncavo, o bien una bomba de pistón -- de etapas múltiples provista de cámaras de aire de suficiente capacidad. -- Las bombas de engranes pueden usarse cuando los sólidos no son abrasivos y -- no está presente el filtro ayuda. Comparadas con las bombas centrífugas, és -- tas últimas rinden un flujo constante bajo una presión variable.

Todas las bombas de alimentación del filtro deben operar bajo una carga hi-- drostática positiva para impedir la succión de aire dentro del líquido de -- alimentación del filtro.

Tanques Dosificadores y de Precapa.

Estos tanques deben equiparse con agitadores de espas que giren aproxima-- mente a 50 RPM, o con agitadores del tipo de propulsión con cuchillas gran-- des de baja velocidad. El filtro ayuda una vez suspendido es fácil mantener -- lo en suspensión. Es conveniente que los tanques tengan fondos cóncavos, có -- nicos o inclinados de modo que el líquido pueda descargarse más eficazmente.

Los tanques de precapa deben tener un 125% del volumen del filtro (incluyen-- do bomba y tuberías de conexión), de manera que una pequeña cantidad resi-- dual permanezca en el tanque después de que se ha llenado el filtro con la -- suspensión de precapa. La línea de retorno del filtro al tanque de precapa-- debe quedar en el fondo del tanque para impedir que entre aire al líquido. -- Si es necesario deben instalarse deflectores para impedir que se formen remp -- linos y evitar que se introduzca aire en el filtro. El tanque debe estar -- instalado de tal manera que origine una presión positiva en el lado de suc--

ción de la bomba.

Sistemas de Dosificación de filtro ayuda.

La dosificación de filtro ayuda puede hacerse en forma seca o en suspensión. Si es en suspensión, la concentración puede ser hasta del 10% pero se recomienda mantenerla a un 5%.

Sea cual sea el sistema usado debe reunir las siguientes características:

- 1.- Bajo costo de mantenimiento
- 2.- Régimen de alimentación constante
- 3.- Debe tener un mecanismo para regular la velocidad de alimentación mientras el sistema esta funcionando (dosificación regulable).
- 4.- No debe degradar la estructura de partícula del filtro ayuda (los sistemas que requieren de circulación constante de la suspensión, durante largos periodos de tiempo suscitan este problema por lo cual no se recomiendan).

Las bombas dosificadoras trabajan mejor operando continuamente; por esto, es recomendable recircular la suspensión hacia el tanque de dosificación cuando el filtro se esta lavando. Pueden usarse para este efecto bombas de pistones de cerámica o bombas de diafragma.

Una alternativa al sistema de dosificación continua por bombeo mencionado anteriormente, es el llevar a cabo una mezcla del líquido que se pretende filtrar, con una determinada cantidad de filtro ayuda, de manera que al avanzar la filtración las partículas de filtro ayuda vayan regenerando la superficie

de filtración sin necesidad de tener un sistema de dosificación. Este método tiene ventajas económicas obvias en el sentido de la cantidad de equipo necesario, aunque es menos efectivo que el sistema de dosificación continua, por lo que se utiliza cuando la cantidad de sólidos en suspensión es muy baja.

SELECCION DEL FILTRO AYUDA

En el uso de filtro ayudas es evidente que a medida que aumenta el tamaño de partícula y por consiguiente la proporción del flujo, disminuye la capacidad del filtro ayuda para eliminar las pequeñas partículas del material en suspensión. En forma contraria, a medida que disminuye el tamaño de partículas del filtro ayuda y por consiguiente la velocidad del flujo, aumenta la capacidad del filtro ayuda para eliminar las pequeñas partículas del material suspendido. Hasta que punto ocurre esto, depende en gran parte del tipo y distribución de tamaños de partículas de los sólidos no disueltos que se están eliminando.

En la mayoría de los casos es tal la variedad de tamaños de partículas de los sólidos no disueltos que cualquier grado más fino de filtro ayuda aumentará la claridad del filtrado. Sin embargo, si un filtro ayuda eliminara el 100% de los sólidos no disueltos, un grado más fino si bien daría un flujo menor debido a su fina estructura, no aumentaría la claridad.

El mejor grado de filtro ayuda seleccionado es el que proporciona la mayor velocidad de flujo (o mayor rendimiento) a una claridad adecuada. Por esto,

debe determinarse y especificarse la claridad que se desea obtener en la filtración. Esta claridad, la cual está relacionada directamente con la cantidad de sólidos no disueltos en el líquido, puede determinarse de varias formas. Algunos métodos son:

- 1.- Examen visual de una muestra de filtrado
- 2.- Comparación de una muestra de filtrado con un patrón
- 3.- El uso de instrumentos electrónicos que determinan la turbidez (aunque tienen el inconveniente de que no diferencian muy bien entre líquidos de diferentes colores y además, algunos instrumentos funcionan mal con líquidos de diferentes densidades)
- 4.- Filtrando una muestra del líquido en un papel filtrante fino de color blanco o negro, observando las impurezas sobre el papel.
- 5.- Análisis químico
- 6.- Análisis gravimétrico

Es sumamente difícil determinar el tamaño de partículas que serán eliminadas por el filtro ayuda. En primer lugar se debe especificar el método para medir el tamaño de partícula. Puede ser, por ejemplo, por sedimentación (la cual determina el diámetro pero no la forma de la partícula) o por examen visual de la partícula a través de un microscopio electrónico. Además, los sólidos que pueden eliminarse de un líquido no pueden eliminarse de otros, debido a las características de aglomeración en diferentes líquidos. Si se usan pruebas de sedimentación, se pueda asentar una partícula pesada de for-

ma irregular a la misma velocidad que una partícula más ligera en forma de esfera que tiene un diámetro real mucho más pequeño. Estas partículas parecerán tener el mismo tamaño mediante sedimentación, pero requieren un grado de filtro ayuda mucho más fino para eliminarlas. Una partícula filamentosas se eliminaría fácilmente si se aproxima a la torta del filtro por un costado, pero si se aproxima en punta, se iría a través de dicha capa. Así mismo, una partícula suave puede introducirse a través de la torta del filtro, mientras que una partícula rígida del mismo tamaño no lo haría. Todo esto ocasiona que el análisis de tamaño de partícula para efectuar la selección del filtro ayuda, sea un método muy complicado.

Se puede lograr una aproximación del grado de claridad que se obtiene con un determinado filtro ayuda, realizando pruebas de filtración en un embudo Buchner. Se debe tener cuidado de no extraer aire a través del embudo ya que la precapa se movería y ocasionaría que se obtuviera una lectura incorrecta de la claridad de la muestra. Estas pruebas no son exactas ya que en una filtración real, a medida que el ciclo progresa, la capa del filtro tiende a obstruirse con las partículas de los sólidos suspendidos que están siendo eliminados. Esta compactación de la torta del filtro produce un filtrado de claridad progresivamente mayor.

Por lo tanto, para hacer una evaluación correcta, es conveniente que se considere la claridad promedio, mezclando el filtrado de todo el ciclo, y no los grados de claridad aislados. Esto permitiría el uso de un grado más va

loz de filtro ayuda.

De lo anterior puede resumirse que para un líquido la claridad depende principalmente de:

- 1.- El grado y la cantidad de filtro ayuda dosificado.
- 2.- El grado y la cantidad de filtro ayuda de precapa.
- 3.- La duración del ciclo.

Ya que una de las funciones de la precapa es proteger al tamiz del filtro - para que no se ensucie, no debe haber penetración de sólidos suspendidos en la misma. Esto es, que debe haber una línea definida que divida la precapa de los sólidos suspendidos y la precapa debe ser lo suficientemente fina como para evitar que los sólidos penetren en ella, y lleguen al tamiz con lo que causarían su obstrucción.

PRUEBAS Y EVALUACIONES

Antes de realizar una filtración, excepto las de rutina, deben hacerse pruebas, ya que es imposible predecir los resultados de la filtración con exactitud solo teniendo en consideración los datos físicos. Generalmente se hacen estas pruebas por las siguientes razones:

- 1.- Para proyectar una nueva planta de filtración mediante los resultados obtenidos en la planta piloto.
- 2.- Para ensayar diferentes grados de filtro ayuda en las plantas de filtración existentes.

3.- Para determinar los costos mínimos de operación.

4.- Para determinar el mínimo de claridad permisible.

5.- Para determinar los efectos de los diferentes tratamientos en líquidos no filtrados.

Las pruebas de filtración comprenden las tres categorías siguientes:

1.- Ensayos de laboratorio utilizando un embudo Buchner o un aparato similar para poder realizar una aproximación de la claridad y de la velocidad de flujo.

2.- Pruebas de velocidad de flujo aceleradas en ciclos cortos.

3.- Pruebas de velocidad de flujo según diseño, en ciclos completos.

Las pruebas en ciclos cortos se realizan generalmente en filtros bomba, a presión constante, con duración de 20 minutos. Sin embargo, debido a la compresibilidad de la torta filtrante, los resultados obtenidos en estas pruebas no pueden ser extrapolados a ciclos de escala industrial, y son útiles, únicamente, para pruebas de retención. Esto es sumamente importante, debido a que la compresibilidad tiene un efecto directo en la porosidad. La disminución de esta última puede deberse a uno o más de los siguientes factores:

1.- Compactación de la torta debido al reordenamiento de las partículas.

2.- Compactación debido al rompimiento de las partículas.

3.- Compactación debido a la deformación de las partículas.

4.- Compactación debido a la misma acumulación de los sólidos eliminados.

La forma en que se presenta lo anterior no depende solamente de la naturaleza de los sólidos que se eliminan, sino también de la velocidad de filtración, caída de presión y de la presión al final del ciclo.

PROBLEMAS Y SUS CAUSAS

Los problemas más frecuentes que se presentan en la operación de un filtro clarificador, pueden resumirse en dos tipos:

- 1.- Problemas de claridad.
- 2.- Problemas de ciclos cortos, alta presión y/o flujo lento.

Las causas más comunes de estos problemas se enlistan a continuación:

1.- Problema: Claridad.

Causas:

A.- Durante la formación de la precapa.

- a) Cantidad insuficiente de filtro ayuda.
- b) Filtro mal purgado.
- c) Flujo demasiado lento (Asentamiento).
- d) Flujo demasiado rápido (lavado). Esto ocurre por ejemplo si no existen sistemas deflectores o están mal diseñados provocándose una turbulencia excesiva en ciertas áreas de la tela, impidiéndose la formación de precapa en esas zonas.
- e) Deflectores deficientes.
- f) Tela del filtro demasiado abierta.

- g) Fugas de tipo mecánico en tamices -empaques- tubo colector principal.
- h) Excesiva dilución de la suspensión de precapa.

B.- Durante la filtración.

- a) filtro ayuda demasiado grueso.
- b) Hojas y tamices torcidos, hoja demasiado floja, tela del filtro demasiado abierta, fugas de orden mecánico en tamiz -empaques- tubo colector.
- c) Cambio incorrecto de válvulas entre la formación de la precapa y la filtración.
- d) Fluctuaciones de presión.
- e) Lavado de la torta por deflectores deficientes.
- f) Lavado de la torta por flujo demasiado rápido.
- g) Aire dentro del filtro.
- h) Cambios en el líquido que se está filtrando.
- i) Tamices sucios.
- j) Vibración excesiva del equipo.

2.- Problema: Ciclos cortos, alta presión, flujo lento.

Causas:

A.- Durante la formación de la precapa.

- a) Aire en la bomba debido al bajo nivel o remolinos que se forman en el tanque de precapa.
- b) Aire en el filtro.

c) Tamiz parcialmente obstruido.

d) Presencia de sólidos insolubles en el líquido de precepa.

B.- Durante la filtración.

a) Presión diferencial demasiado baja debido a: bomba de alimentación - desgastada, bomba demasiado pequeña, contra presión demasiado alta, - grado incorrecto de filtro ayuda, tamices sucios.

b) Dosificación demasiado rápida o lenta.

c) Diámetro de tuberías de conexión demasiado pequeño.

d) Drenaje insuficiente de las hojas.

e) Dosificación irregular.

f) Degradación del filtro ayuda en bombas y mezcladores.

g) Línea de dosificación obstruida.

h) Obstrucción de la línea de salida.

i) Succión de aire en la bomba.

j) Cambios en el líquido que se está filtrando.

k) Combinación incorrecta de precepa y dosificación.

l) Excesiva variación de velocidades de flujo.

m) Recirculación excesiva durante la formación de la precepa.

n) Tamices obstruidos por formar la precepa con líquido no filtrado o - sucio.

DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE CLARIFICACION POR FILTRACION Y MANUAL DE OPERACION.

Para poder integrar lo antedicho en este capítulo, se hará una descripción de

un sistema de clarificación utilizado actualmente en México.

Como se mencionó, las partes principales de un sistema de clarificación por filtración son: bomba, filtro, tanque de filtro ayuda y tanque de alimentación. En este caso, no se utiliza un sistema de dosificación continua. La distribución y conexión de estas, se muestra en la figura 5.2. Se efectuará la explicación de un ciclo de filtración en este sistema.

Suponer todas las válvulas cerradas.

Primeramente debe ser vaciado el filtro ayuda de precapa, en la cantidad especificada, en el tanque de lechada. Después, abriendo las válvulas 1, 2 y 10, es llenado el mismo tanque por gravedad, con jugo turbio. Accionando el agitador del tanque, se hace la suspensión de precapa (lechada).

Posteriormente se cierra la válvula 2, se abren las válvulas 3, 5 y 12, y se hecha a andar la bomba. Al efectuar esto se está recirculando la lechada en el interior del filtro, realizando la formación de la precapa. Al llegar el líquido a una cierta claridad (alrededor de 5 minutos de recirculación); lo cual puede observarse en la mirilla de salida del filtro, se procede a la filtración del jugo.

Debe notarse que durante la circulación de la lechada, la válvula 12 está abierta al menos los primeros 3 minutos, para dar salida al aire presente en el interior del filtro. Como la purga del aire arrastra cierta cantidad de líquido, sobre todo cuando el filtro está completando su llenado, la des

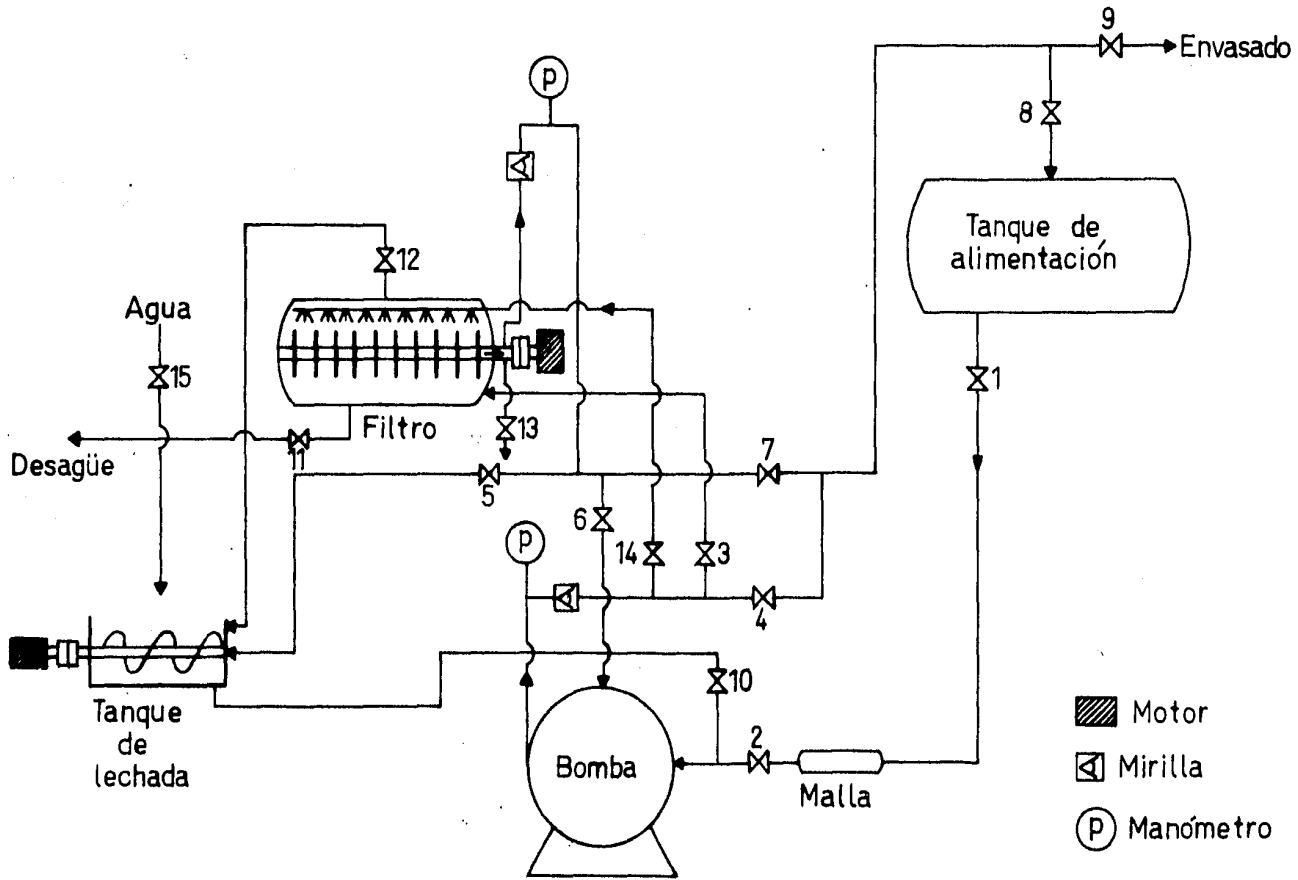


Fig. 5.2.- Sistema de Clarificación por Filtración

carga de esta línea se encuentra en el mismo tanque de lechada. Después de esos tres minutos aproximadamente, o cuando se considere que todo el aire ha sido extraído, la válvula 12 es cerrada.

Para hacer el cambio de formación de precapa a filtración, deben abrirse — primero las válvulas 2, 7 y 8, y después cerrarse las válvulas 10 y 5. Al hacer esto se inicia la recirculación del jugo a través del filtro. Debe — recordarse que el jugo turbio (dado que no se usa un sistema de dosifica- — ción), ya está mezclado con una cierta cantidad de filtro ayuda.

Si bien la clarificación puede evaluarse visualmente mediante la mirilla de descarga del filtro, el equipo dispone de la válvula 13 para poder tomar — muestras y ser analizadas aplicando cualquier método de evaluación deseado.

Debe señalarse que la bomba dispone de una malla en su succión, para evitar el paso de cualquier partícula de gran tamaño. Además, en su descarga, — existe otra mirilla en la que puede detectarse la presencia de aire en el — flujo, y también sirve para comparar la claridad del líquido a la entrada y a la salida del filtro. Por otro lado, el sistema cuenta con dos manóme- — tros, uno a la salida de la bomba y otro a la salida del filtro, de donde — puede observarse la caída de presión existente y el funcionamiento relativo del equipo.

Una vez que se ha determinado que el jugo posee el grado de claridad desea- — do, se procede a su envasado. Para efectuarlo, se abre la válvula 9 y se — cierra la 8, con lo que el tanque de alimentación inicia su vaciado. Un mg

mento antes de terminarse el jugo en el tanque, la bomba comienza a succio-
ner aire, el cual ocasiona la caída de la torta y el enturbiamiento del lí-
quido. En este punto, el operador del equipo debe estar observando cuidada-
mente la mirilla de salida del filtro, para que, cuando detecte enturbia-
miento, proceda al paro de la bomba.

Ya parada la bomba se inicia el lavado del filtro. Para hacerlo, se cie-
rran las válvulas 2 y 3, y se abren las válvulas 14, 12 y 11. Se llena con
agua el tanque de lechada, y, manteniendo abierta la válvula 15 de alimenta-
ción de agua, se enciende la bomba. A la vez, debe ponerse en marcha el mo-
tor que hace girar las hojas del filtro. Al llevar a cabo lo anterior, en-
tra agua a presión a una serie de espreas fijas que se encuentran sobre las
hojas del filtro; al girar estas últimas, la torta es eliminada y enviada -
al desagüe. Cuando se determine que el lavado es suficiente, mediante aná-
lisis visual del agua que va hacia el desagüe, se para la bomba y se proce-
de a efectuar el siguiente ciclo de filtración.

Por último cabe mencionar que el sistema posee una conexión que le permita
la recirculación de líquido entre la bomba y el filtro, sin involucrar ni -
el tanque de lechada ni el de alimentación; este procedimiento es usado -
cuando es necesaria la corrección de algún problema en alguna de las líneas
(que no formen parte de esta recirculación) sin necesidad de parar la bomba
y por lo tanto de perder el ciclo de filtración al ocasionar el desprendi-
miento de la torta. Para realizar esta recirculación, en el momento que se
está llevando a cabo la filtración, se abre la válvula 6 y se cierran las -
válvulas 2 y 7.

VI.- PECTINAS

Como se mencionó con anterioridad, una de las operaciones requeridas durante el proceso de obtención de jugo de manzana, cuando este último va a someterse a una clarificación, consiste en un rompimiento del sistema coloidal originado durante la extracción del jugo. Este sistema coloidal consiste básicamente de sustancias pécticas en suspensión, las cuales, además de proporcionar un alto grado de turbidez al jugo, ocasionan problemas en la filtración cuando se encuentran en niveles altos de concentración. Debido a esto, se ha destinado el presente capítulo al estudio de estas sustancias, para así poder determinar si los problemas en la clarificación se deben a una deficiencia en el pretratamiento del jugo (despectinación), y así poder aplicar la solución adecuada.

NOMENCLATURA

Según la American Chemical Society, existen las siguientes definiciones:

Sustancias Pécticas.- Es una designación global para aquellos derivados de carbohidratos coloidales complejos presentes en los vegetales y contienen una gran proporción de unidades de ácido anhidrogalaetúrnico el cual se cree que existe en combinación formando cadenas. Los grupos carboxilo del ácido poligalaetúrnico pueden ser parcialmente esterificados por grupos metilo y parcial o completamente neutralizados por una o más bases.

Protopectina.- Se aplica a la sustancia péctica progenitora, insoluble en-

agua, que está presente en los vegetales, y a partir de la cual, mediante - hidrólisis, se produce pectina o ácidos pectínicos.

Ácidos Pectínicos.- Se usa para designar ácidos poligalacturónicos coloidales que contienen una proporción apreciable de grupos éster metílicos. Los ácidos pectínicos, bajo condiciones adecuadas son capaces de formar geles - con azúcar y ácido, o, si su contenido en metoxilos es suficientemente bajo, con ciertos iones. Las sales de los ácidos pectínicos pueden ser normales - o pectinatos ácidos.

Pectinas.- Designa a aquellos ácidos pectínicos solubles en agua de contenido variable de éster metílico y de grado de neutralización, que son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones adecuadas.

Ácido Pectico.- Se aplica a sustancias pecticas compuestas principalmente de ácidos poligalacturónicos coloidales y esencialmente libres de grupos - - éster metílicos. Las sales de los ácidos pecticos pueden ser normales o - - pectatos ácidos.

PRESENCIA

Las sustancias pecticas están presentes sin excepción dentro y entre las pa redes celulares de plantas verdes fotosintéticas. La tabla 6.1 muestra el contenido promedio de pectinas de algunas frutas⁽¹³⁾.

Tabla 6.1.- Porcentaje en peso de pectinas contenido en algunas frutas -
frescas.

Fruta	Pectina %
Manzana	0,5 - 1,6
Plátano	0,7 - 1,2
Cereza	0,2 - 0,5
Uva	0,2 - 1,0
Toronja	3,3 - 4,5
Limón	3,0 - 4,0
Durazno	0,6 - 0,9
Pera	0,5 - 0,7
Fresa	0,6 - 0,7
Tomate	0,1 - 0,5

Como puede observarse, excluyendo los cítricos, la manzana es uno de los -
frutos que tienen mayor contenido de sustancias pécticas. Debe quedar cla-
ro que se puede caer fuera de estos intervalos ya que el contenido de pecti-
nas varía considerablemente durante el crecimiento y maduración del fruto.

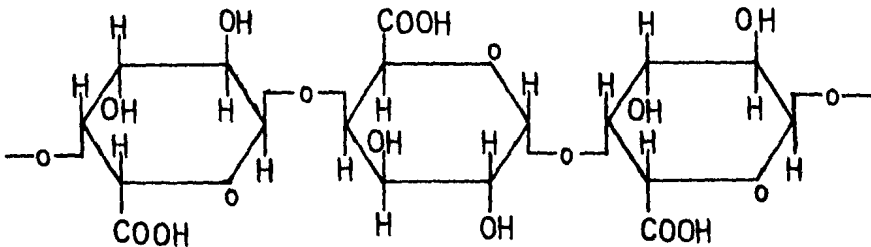
COMPOSICION

Se ha observado que las sustancias pécticas están formadas por ternas de po-
lisacáridos, consistiendo de galacturona, arabona y galactona⁽¹³⁾, de las -
cuales el componente central es la galacturona.

La galacturona está compuesta principalmente de unidades de ácido α -D-(1-4)-galactopianurónico, con cantidades variables de grupos éster metílicos (carbometoxilos) sobre los grupos carboxilos. Algunos de los grupos carboxilos son ácidos libres y otros son neutralizados con diversos iones.

En muchas pectinas se presentan también grupos acetilos secundarios. Los acetilos pectínicos son importantes porque afectan las propiedades de gelificación de las pectinas⁽¹³⁾.

Las sustancias pecticas son susceptibles de ser hidrolisadas produciéndose azúcares neutros como son la arabinosa, la galactosa y la xilosa, entre otras. Solamente en algunos casos, (como en el caso de pectina de manzana fraccionada) se producen galacturonas puras. La fórmula estructural de la galacturona es la siguiente:



Los ácidos pecticos han mostrado dos constituyentes ácidos: galacturona pu-

ra y galacturonas con azúcares neutros como parte de la molécula. Se presentan así mezclas de polisacáridos ácidos y neutros en asociación física muy estrecha.

Las diferencias en cuanto a pectinas de las distintas plantas parece no deberse tanto a las diferencias de especies, sino a las características de crecimiento del vegetal.

Las sustancias pécticas difieren en propiedades químicas de otros polisacáridos principalmente debido a la presencia de grandes cantidades de grupos carboxilos. Cuando los grupos carboxilos están esterificados, la pectina es fácilmente degradada por un álcali. El álcali cataliza una reacción de β -eliminación la cual rompe el enlace glicosídico y produce una estructura insaturada con un doble enlace entre el carbón 4 y el 5.

Además de las reacciones con álcali, las sustancias pécticas desarrollan degradación oxidativa con reactivos como el peróxido, dicromato, permanganato, halógenos, ácido ascórbico y otros.

PROPIEDADES FÍSICAS

Como un polímero de ácido galacturónico, las sustancias pécticas tienen muchas propiedades físicas únicas debidas principalmente al grupo carboxilo. Los grupos carboxilo influyen la viscosidad de las soluciones pectínicas dependiendo del grado de esterificación. Las soluciones de pectina totalmente esterificada no cambian apreciablemente su viscosidad con el cambio de pH, pero cuando contienen pectina menos esterificada, la viscosidad llega a

depender apreciablemente del pH. El pH influencia la ionización de los grupos carboxilo. El azúcar o una sustancia hidrofílica similar es necesaria para reducir la solvatación de la molécula de pectina. De esta manera, se requiere de dos condiciones para que las moléculas de pectina se asocien: pH bajo y alto contenido de azúcar. La asociación ocurre probablemente a través de puentes de hidrógeno entre el carboxilo no ionizado y los grupos alcohol.

Generalmente, una pectina con un grado de esterificación del 70% o arriba formará un gel más rápidamente o a mayor temperatura que una con un grado de esterificación entre el 50 y el 70%. Las pectinas con grados de esterificación menores al 50% no se usan comúnmente para hacer geles muy sólidos, porque tienden a precipitar muy rápido en medio ácido, así como a formar geles irregulares.

Otro factor importante que influye en las propiedades de la pectina es su peso molecular. Aunque la pectina es un polímero grande, su peso molecular es mucho menor al de la celulosa o al del almidón, y varía desde un valor de 30,000 hasta 100,000 o mayor.

Los enlaces entre las moléculas de pectina probablemente incluyen puentes de hidrógeno entre grupos carboxilos libres y posiblemente entre grupos carboxilos e hidroxilos. Sin embargo, la precipitación rápida de las pectinas muy esterificadas sugiere que otros enlaces pueden jugar un papel importante.

IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS PECTICAS

Hay muchas pruebas cualitativas para determinar la presencia de sustancias pecticas. La reacción de Ehrlichs (acetato de plomo con ácido galacturónico) sirve como una prueba útil. La pectina o las sustancias pecticas son hidrolizadas por la enzima pectinasa a ácido galacturónico. La solución de acetato de plomo forma un precipitado blanco con galacturonato, el cual cambia a rojo ladrillo al someterlo a calentamiento. La reacción parece ser específica para ácido galacturónico, aunque las oligogalacturonidas dan colores variando del anaranjado al amarillo.

Otra prueba utilizada consiste en una reacción con hidroxilamina para colorear sustancias pecticas. El ácido hidroxámico pectínico da un precipitado insoluble rojo intenso, con fierro.

También se ha usado la determinación de viscosidad como una prueba indirecta de la presencia de sustancias pecticas en una solución. Para esto, debe construirse una curva patrón de viscosidad contra concentración de pectina.

Además, existen varias pruebas de identificación y análisis cualitativos aplicados para las pectinas. Los más comunes son:

- 1.- Solubilidad.- La pectina disuelta en agua forma una solución coloidal-opaca. Es insoluble en alcohol.
- 2.- A una solución 1:100 de la muestra de pectina se agrega un volumen igual de etanol. Se forma un precipitado gelatinoso traslúcido.

3.- A 5 ml de una solución 1:100 de pectina se agrega 1 ml de hidróxido de sodio 2 N y se deja reposar a temperatura ambiente durante 15 minutos. Se forma un gel o semigel entre opaco y traslúcido.

4.- Se acidifica el gel de la prueba anterior con ácido clorhídrico diluido y se agita bien. Se forma un precipitado voluminoso, gelatinoso e incoloro, que al hervir flócula y se torna blanco (ácido péptico).

PRUEBA DEL ACIDO HIDROXAMICO PARA SUSTANCIAS PECTICAS. ⁽¹³⁾

Reactivos: Hidroxilamina, 1.4g en 10 ml de etanol al 60%; hidróxido de sodio, 1.4g en 10 ml de etanol al 60%; ácido clorhídrico, 1 volumen de ácido concentrado (densidad específica = 1.18) con 2 volúmenes de etanol al 99%; y cloruro férrico, 2.5 g de hexahidrato de cloruro férrico en 10 ml de ácido clorhídrico 0.1 N en etanol al 60%.

Procedimiento: Se suspenden o disuelven 0.005 g de la sustancia a probar (pectina) en 1 ml de agua. Se agrega 1 ml del reactivo hidroxilamina, y luego 1 ml de la solución de hidróxido de sodio y se deja reposar 2 minutos. Se agrega 1 ml del reactivo ácido clorhídrico y 1 ml del reactivo cloruro férrico. Si la prueba es positiva se produce un precipitado. Se corre a la vez un control agregando el ácido clorhídrico primero, seguido por los otros reactivos.

DETERMINACION DE PECTINAS POR EL METODO DEL CARBAZOL ⁽¹²⁾

Reactivos:

- 1.- Etanol al 95%
- 2.- Acetona
- 3.- Verseno al 0.5%. Se disuelven 5 g de la sal tetrasódica del ácido Etilendiamintetracético (EDTA) en agua destilada y se lleva a 1000 ml.
- 4.- Acido Sulfúrico concentrado.
- 5.- Reactivo de Carbazol. 0,15 g de carbazol se disuelven en 100 ml de etanol purificado.
- 6.- Acido anhidro galacturónico.
- 7.- Poligalacturonasa de Aspergillus niger purificada.
- 8.- NaOH 1N.
- 9.- Acido Acético.

Curva de calibración:

Se prepara una solución tipo con 50 mg de ácido anhidro galacturónico en 1000 ml de agua destilada. En tubos de vidrio se agregan 12 ml de ácido sulfúrico concentrado y se enfrían en baño de hielo hasta una temperatura de 3°C. Se agregan alícuotas de la solución tipo de 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 y 2,0 ml, haciéndose un testigo con agua destilada. Se completa el volumen a 14 ml con agua destilada, se agita y se enfría en baño de hielo hasta 5°C. Se calientan los tubos en baño de agua a ebullición durante 10 minutos y se enfrían posteriormente a 20°C. Se agrega 1 ml del reactivo de carbazol; se agita y se deja desarrollar color durante 25 minutos a temperatura ambiente.

Se lee la absorbancia a 520 nm. A las lecturas de las muestras se les resta la lectura del testigo y se elabora la curva de calibración, mediante la cual se calculan los mg. de ácido galacturónico correspondientes a una unidad de absorbancia.

Obtención del residuo insoluble en alcohol (RIA):

Se mezclan en alcohol al 95% 30 g de muestra durante 20 minutos, con agitación suave; se filtra después al vacío. El filtrado se desecha y el residuo se "lava" nuevamente con 100 ml de alcohol al 80% durante 20 minutos. Se enfría y se lava posteriormente con acetona, y se filtra al vacío hasta que la muestra no tenga color. El residuo se seca en una estufa a 45 - 50°C hasta que no huela a acetona. Se pesa la cantidad de RIA obtenido.

Determinación de Pectinas totales:

Se humedecen con etanol al 95% 0.1 g de RIA y se suspenden en 50 ml de verge no; se ajusta el pH a 11.5 con NaOH 1 N y se incuba por 30 minutos en un baño de agua a 25°C. Se acidifica hasta pH 5 con ácido acético para desesterificar las pectinas y se agregan 10 mg de poligalacturonasa. Se incuba 1 hora a 25°C; se filtra y se completa a un volumen de 250 ml con agua destilada. Se toma una alícuota adecuada y se determina ácido galacturónico como en la curva de calibración. Las pectinas se reportan como gramos de ácido galacturónico / 100 g de muestra (%).

TECNICA PRACTICA UTILIZADA EN LA DETERMINACION DE PECTINAS.

Los métodos descritos anteriormente son los citados generalmente en la bibliografía referente a este tema. Sin embargo, en la práctica se ha encontrado - que la prueba más utilizada específicamente para saber si un jugo está correctamente despectinizado es el siguiente:

- Introducir en un tubo de ensayo 10 ml de jugo clarificado y 20 ml de etanol acidificado (etanol 96° GL, adicionado de 0.5 % HCl concentrado en volumen).
- Agitar lentamente revolviendo 3 veces.

Según el nivel de degradación de las materias pécticas, se observará:

- a) La formación de un anillo gelatinoso por encima del líquido con partículas gelatinosas pegadas en la pared del tubo por encima del líquido. Esto indica que la pectina está insuficientemente degradada.
- b) No se comprueba enturbiamiento ni precipitado 5 a 10 minutos después de la adición de alcohol. Indica que la despectinización es perfecta.
- c) La formación de un enturbiamiento gris o blanquecino que sedimenta con el tiempo: puede tratarse de cadenas cortas pécticas no degradadas o de otras sustancias no pécticas (gomas de tipo arabanos, galactanas, proteínas o - asociación proteína-tanino).

d) En ciertos jugos, se puede observar, después de una adición de alcohol, — la formación de un precipitado filamentosos que no queda adherido sobre — las paredes del tubo: se trata a menudo de gomas segregadas por ciertos micro-organismos (por ejemplo dextranos de la podredumbre).

VII.- ACOPLAMIENTOS

Un problema muy frecuente en la práctica industrial de la clarificación de jugo es la falta de claridad del producto ocasionada por una vibración excesiva del equipo de filtración. Esta vibración, la mayoría de las veces, es debida a un acoplamiento inadecuado entre el motor y la bomba.

Se llama acoplamiento la unión de dos árboles o de dos secciones consecutivas de un mismo árbol. Los acoplamientos pueden clasificarse en dos grandes grupos: rígidos y flexibles. Sin embargo, en los equipos de clarificación se usan casi exclusivamente los del tipo flexible, debido a que son los que eliminan un alto porcentaje de la vibración antes mencionada.

El propósito de un acoplamiento flexible es transmitir el torque desde la flecha matriz a la flecha contra matriz y al mismo tiempo compensar desalineamientos. Hay otras funciones suplementarias tales como permitir deslizamiento axial o bien restringirlo.

Normalmente la razón del costo de un cople flexible con respecto al valor del equipo conectado es aproximadamente de 1 a 100, aunque hay casos individuales donde la razón puede ser tan baja como 1 a 20 o tan alta como 1 a 1000. Debido a esto, es muy importante la selección, especificación, compra, instalación y mantenimiento del acoplamiento. Muchas veces los acoplamientos son seleccionados en base a una información muy escasa (usualmente en base a la potencia, velocidad y tamaño de flechas), y se adquiri-

rido un cople de bajo costo, pero que no es adecuado al trabajo que va a desempeñar.

Tipos de acoplamientos.

Básicamente, todos los coples flexibles se dividen en dos categorías:

- 1.- Aquellos que dan flexibilidad por medio de elementos deslizantes.
- 2.- Aquellos que dan flexibilidad por medio de elementos que flexionen a un material tal como el acero o el hule.

Se clasifican en estos dos grupos porque el mecanismo de compensación del desalineamiento es la base para determinar la cantidad y tipo de mantenimiento requerido.

ACOPLAMIENTO TIPO ENGRANES.

En este caso se ajustan las condiciones de desalineamiento mediante superficies deslizables. El torque es transmitido desde la flecha motriz a la flecha contra motriz por medio de muelones tipo engrane. Los dientes de los engranes son usualmente curvados para evitar que ocurra forzamiento cuando el acoplamiento está desalineado.

Para evitar el desgaste, el acoplamiento dispone de un depósito de aceite que debe llenarse apropiadamente con el tipo de lubricante recomendado por el fabricante; el tipo de lubricante puede variar dependiendo de las condiciones de operación; por ejemplo, puede recomendarse un tipo de lubricante para altas temperaturas y otro para bajas temperaturas. Algunas instala-

ciones pueden requerir cambio de tipo de lubricante al cambiar de estación del año.

Por otro lado, estos acoplamientos requieren además un cambio periódico — del lubricante. El tiempo entre cada cambio depende del tipo de servicio, pero en promedio se hace cada 6 meses. Debido a que el lubricante está su jeto a altas fuerzas centrífugas, la conexión de llenado debe ser firme y a prueba de fugas.

Un acoplamiento de engranes no es reparable al estar ya desgastado. Por — esto, es importante considerar que el lubricante debe estar limpio y debe ser el adecuado y que el alineamiento debe mantenerse en cierta tolerancia.

ACOPLAMIENTO TIPO OLDHAM

También conocido como acoplamiento de bloque y mandíbula, se usa para com— pensar condiciones de desalineamiento mediante superficies deslizantes. — El torque se transmite del eje motriz al eje contra motriz por medio de — mandíbulas que empujan con un bloque central flotante. Mediante el uso de diversos materiales impregnados con lubricante se ha eliminado la necesi— dad de recipientes de aceite. Por esto, la aplicación de estos acoplamien— tos se limita a bajas velocidades y bajas potencias. Algunos de los tipos fabricados pueden repararse.

ACOPLAMIENTOS DE REJILLA

Este tipo usa una combinación de superficies deslizables y muelles flexi—

bles para adaptarse por sí mismo a varias condiciones de desalineamiento.

El mamelón matriz y el mamelón contra matriz están renurados axialmente. Un muelle delgado o rejilla transmite el torque de uno al otro. Debido a que hay superficies deslizables, es primordial llenar el recipiente de aceite con el lubricante apropiado para evitar el desgaste.

La conexión de aceite, los retenes y la empaquetadura deben ser firmes para evitar la pérdida del lubricante. La cubierta debe abrirse periódicamente para renovar el lubricante. Las rejillas de este tipo de acoplamientos son reemplazables. La alineación debe caer dentro de las tolerancias recomendadas por el fabricante.

ACOPLAMIENTOS DE DISCOS.

Utilizan un anillo metálico laminado flexible. No posee partes deslizables, por lo que no requieren mantenimiento, excepto una revisión ocasional de pernos y el asegurarse que el alineamiento es el adecuado. Todas las partes son metálicas y bajo condiciones normales no se deterioran. Para condiciones ambientales severas se dispone de acoplamientos de acero inoxidable o de otros materiales no corrosivos. Estos acoplamientos son absolutamente reparables sin alterar el equipo conectado. Son muy efectivos en mantenimiento preventivo ya que se pueden inspeccionar visualmente sin desmontarlos. Si el anillo laminado muestra desgaste puede ser reemplazado. Cuando ocurre esto, debe chequearse inmediatamente el alineamiento ya que el desgaste de los anillos laminados es un índice de flexionamiento excesivo debido a un desalineamiento mayor al que soporta el acoplamiento.

ACOPLAMIENTO DE "GALLETA" DE HULE

No posee partes deslizables y obtiene su capacidad para compensar desalineamientos al flexionar y desplazar el hule insertado. El mantenimiento incluye chequeo ocasional del alineamiento, revisión de pernos y condición del hule ("galleta"). Es sumamente económico pero solo se encuentra en tamaños pequeños.

ACOPLAMIENTOS RIGIDOS.

Los más utilizados son el acoplamiento de buje y el acoplamiento bridado.

ACOPLAMIENTO DE BUJE

Consiste en un cilindro hueco de fundición que ajusta a los extremos de los ejes y se une a ellos por medio de una chaveta empotrada que entra la mitad en los ejes y la otra mitad en el acoplador. En algunos casos, los extremos de los ejes se hacen de mayor diámetro que el resto, a fin de que no se debiliten al hacerles el chavetado.

ACOPLAMIENTO BRIDADO.

Consiste de dos discos o platos enchavetados a los ejes y unidos entre sí con pernos. Los platos suelen ensamblarse a caja y espiga, con cuyo objeto se le hace a uno de ellos un saliente en el centro, que se encaja en un entrante correspondiente del otro plato.

ACOPLAMIENTOS MOVILES POR FRICCION

Cuando se desea acoplar un eje que gira a otro que está en reposo, sin que se dañe la maquinaria a ellos unida, es necesario que el movimiento se -- transmita gradualmente. Esto es imposible, a menos que durante el arran-- que ocurra algún deslizamiento entre los dos ejes. Es esto lo que ocurre en los embragues por fricción, donde el movimiento se transmite por rozam-- iento, y por lo tanto, es fácil conseguir el deslizamiento necesario. Al aumentar el rozamiento, el deslizamiento disminuye en proporción, hasta que cesa por completo cuando los dos ejes giran a la misma velocidad.

CAUSAS GENERALES DE FALLAS

En general, las fallas en los acoplamientos se dividen en dos categorías:

1.- Fallas debidas a defectos internos. Los problemas más comunes se rela-- cionan con fallas en concentricidad, caras descuadradas y tolerancias-- en los diámetros usados como patrones. En otras ocasiones, el uso de-- materiales defectuosos ocasiona fallas prematuras. También fallas en-- el diseño puede ocasionar defectos internos.

2.- Fallas debidas a condiciones externas que rebasan la capacidad del aco-- plamiento. Las más comunes son:

- a) Selección inadecuada del acoplamiento.
- b) Desalineamiento excesivo.

Estos dos aspectos se explican a continuación:

Selección del acoplamiento.

Se hace principalmente en base a la carga y a la velocidad. Si la velocidad es alta, el acoplamiento debe estar dinámicamente balanceado.

Alineamiento de acoplamientos flexibles.

Cuando en un acoplamiento existe un alineamiento perfecto, no ocurre ningún movimiento ni de deslizamiento ni de flexión. Si esto fuera posible, no habría desgaste ni deterioro en el acoplamiento y probablemente así continuaría indefinidamente. Por esta razón, es deber de la persona que instala el acoplamiento (y posteriormente, de la persona que le dá mantenimiento) efectuar el mejor alineamiento posible para asegurar la mayor vida media del mismo. Cualquier tipo de acoplamiento, cuando está mal alineado, puede fallar en menos de una semana o aún en un solo día. Además, como se mencionó anteriormente, cuando el acoplamiento es parte integral del equipo de clarificación (lo cual es muy frecuente), si éste está mal alineado, provoca vibraciones excesivas que dificultan y a veces imposibilitan la operación de clarificación. Debido a ésto, a continuación se darán los fundamentos para realizar un buen alineamiento.

El primer punto (y generalmente pasado por alto) es espaciar el equipo motoriz y el contramotriz (o accionado) de manera que los extremos de las flechas, estén en la relación correcta (Fig. 7.1). Esto es necesario para que el acoplamiento pueda operar en su posición normal.

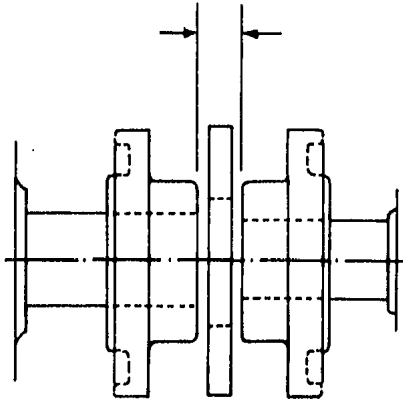


Fig. 7.1.- Espaciamiento del Equipo.

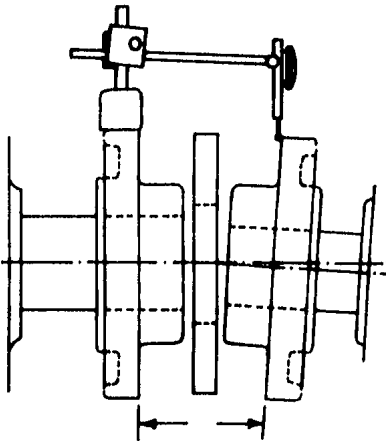


Fig. 7.2.- Desalineamiento Angular.

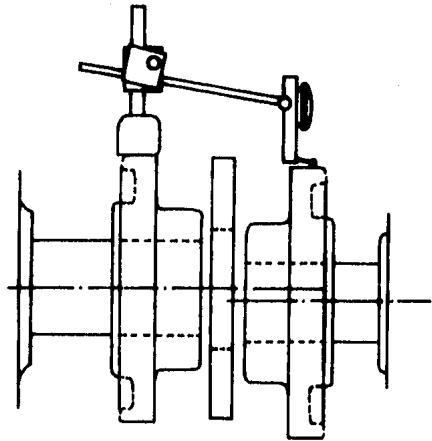


Fig. 7.3.- Desalineamiento Axial ó Paralelo.

El siguiente problema es ajustar la parte motriz con la accionada. Esto -
comunmente se conoce como la eliminación del desalineamiento angular. Por
muchos años el método aceptado ha sido el uso de una regla. Sin embargo, -
con la llegada de equipo más pequeño, realizando mayores trabajos a mayo-
res velocidades y esfuerzos, la regla ha cedido el paso al indicador, como
un mejor medio de lograr un buen alineamiento.

No hay reglas o métodos, específicos para montar un indicador para cierto-
trabajo de alineamiento. Sin embargo debe señalarse que el soporte debe -
ser rígido para evitar lecturas falsas.

En algunos casos el alineamiento debe hacerse con el acoplamiento abierto-
o parcialmente desmontado. Si este es el caso, es necesario girar una -
pieza del equipo de manera que la varilla del indicador roce la superficie
de la pieza estacionaria. Sin embargo, es preferible alinear el equipo -
con el acoplamiento totalmente ensamblado. Así, el indicador gira con el-
equipo, y la varilla permanece sobre la superficie del contacto. En la si
guiente descripción será asumido que el acoplamiento está totalmente ensam-
blado y que las partes motriz y accionada pueden girarse juntas.

Para checar desalineamiento angular, el indicador es fijado rigidamente a-
uno de los mamelones y la varilla es colocada contra la cara del mamelón -
opuesto (Fig. 7.2).

Las flechas conectadas son giradas juntas varias revoluciones para permir-
tirles que tomen su posición axial normal. Se continúa la rotación en la-

misma dirección hasta que la aguja del indicador registra una lectura máxima. La carátula del indicador es puesta en cero, y la rotación es continua da otra vuelta. Así la lectura del indicador debe mostrar el desplazamiento angular total en una distancia igual al diámetro del círculo que el indicador ha descrito. El motor debe moverse de manera que se reduzca este desplazamiento a no más de 0.002 pulgadas por cada pulgada de diámetro descrita por el indicador.

Mientras que el valor de 0.002" es tomado en aplicaciones comunes, hay casos donde el alineamiento debe ser de 0.0005" ó aún de 0.0002" por pulgada de diámetro, como es el caso de velocidades sumamente elevadas.

Posteriormente, debe chequearse el desalineamiento axial. Para corregir este desalineamiento, la aguja del indicador debe moverse a una posición en donde haga contacto sobre la superficie radial (usualmente sobre el diámetro externo del reborde del manalón) (Fig. 7.3).

De nuevo el equipo es girado hasta que se obtiene una lectura máxima, en — donde la carátula es ajustada a cero. Se continua la rotación media vuelta, mostrándose así la posición y magnitud del desalineamiento paralelo.

Aunque no puede darse como regla un cierto desalineamiento permisible en — una instalación, en general, para los casos más usuales, los valores permitidos más frecuentemente encontrados son ⁽²⁸⁾;

Tamaño del acoplamiento (plgs.)	Máximo desalineamiento (plgs.)
1 - 2	0,010 lectura total del indicador
2½ - 4	0,015 lectura total del indicador
4 - 7	0,020 lectura total del indicador

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Puede concluirse con un enlistado de aspectos de suma importancia relacionados con la clarificación de jugo de manzana mediante filtración. Estos aspectos, aunque algunos son aplicables a varios sistemas de filtración, aquí se plantean específicamente para un filtro de hojas, y muchos de ellos están relacionados con problemas comunes en la operación de estos equipos.

- 1.- Es importante el asegurarse de que el jugo que se va a clarificar haya sido debidamente procesado, principalmente en la etapa de despectinización, ya que el sistema de filtración establecido funciona únicamente en un rango determinado de contenido de sustancias pécticas. Si el jugo a tratar se sale de éste rango, puede ser necesaria la modificación del sistema, o de su operación, para lograr obtener un jugo debidamente clarificado.
- 2.- El filtro debe operarse con un filtro ayuda de grado adecuado, de manera que se permita el mayor flujo posible con un nivel de clarificación aceptable.
- 3.- El filtro ayuda debe dosificarse en una cantidad adecuada, dentro de un cierto intervalo. La dosificación no deberá de ser tan baja que ocasione ciclos muy cortos de filtración, ni tan alta que ocasione que las tortas de dos hojas consecutivas lleguen a tocarse.
- 4.- El equipo debe tener un sistema de eliminación de torta eficiente para lograr así una limpieza adecuada que permita el buen trabajo durante el siguiente ciclo.

- 5.- Cuando el equipo está trabajando en la etapa de precapa o de filtración, debe vigilarse que los inyectores de eliminación de torta no estén funcionando en lo absoluto. Esto puede ocurrir cuando la válvula que abre el flujo en esta línea (línea de lavado de filtro) no cierra bien. Por esto, cada vez que se desmonta el filtro para su limpieza debe chequearse el buen funcionamiento de esta línea.
- 6.- En la etapa de formación de precapa, debe asegurarse una buena purga de aire del filtro.
- 7.- El tiempo de formación de precapa debe ser el adecuado. Si es muy corto, puede dificultar o imposibilitar la clarificación debido a una mala formación de la torta. Si es muy largo, puede originar un ciclo corto de filtración.
- 8.- El cambio de formación de precapa a filtración debe ser rápido y de tal manera que no se obstruya en ningún momento el flujo de líquido en el filtro.
- 9.- Debe revisarse periódicamente el estado de las hojas, esto es, que no estén rotas, deformadas, abiertas; que el operacior haga una buena unión de las mallas; que la unión de las hojas y el tubo colector esté en buenas condiciones, que los empaques estén en buen estado, etc., de manera que no haya corrientes parásitas de suspensión que fluyan por donde no es debido. Cualquiera de estos puntos ocasiona que no haya una correcta retención de sólidos en suspensión.

- 10.- La bomba del filtro debe ser de un tipo que ocasione pocas fluctuaciones en la presión. Una recomendable es, por ejemplo, la bomba centrífuga de impulsores múltiples.
- 11.- En el caso de que el sistema trabaje con bomba centrífuga, es recomendable revisar periódicamente el estado de los impulsores así como su fijación al eje de la bomba. Esto es importante para asegurar una buena velocidad de flujo de la suspensión.
- 12.- Debe cuidarse que en la operación del sistema la bomba no succione aire. Esto es frecuente cuando se permite que baje demasiado el nivel de líquido en los tanques de donde succiona la bomba.
- 13.- Debe chequearse periódicamente que no existan fugas en el sistema, principalmente en las conexiones de la bomba, juntas y sellos de la misma, para que se evite la inclusión de aire a la suspensión.
- 14.- Debe mantenerse en buen estado el acoplamiento del motor y la bomba para que no transmita vibración excesiva al filtro. Relacionado con esto mismo, debe utilizarse un acoplamiento que absorba en buena medida los desalineamientos posibles.
- 15.- Debe vigilarse que el lavado del filtro sea correcto antes de iniciar un ciclo de clarificación.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- SAAM, Subsecretaría de Agricultura y Operación; Dirección General de Economía Agrícola; Departamento de Estudios de la Economía Agropecuaria Nacional. "Econotecnia Agrícola", Consumos Aparentes de Productos Agrícolas, Vol. 7, No. 9.
- 2.- Rotstein, E. et al., "Industrialización Integral de la Manzana"; informe al Ministerio de Economía de la Provincia de Río Negro. Bahía Blanca, Argentina; 1969.
- 3.- Woodroof, J. G. & Phillips, G. F. "Beverages: Carbonated and Noncarbonated".
AVI Publishing Company, INC.: 1981.
- 4.- Foust, A. S. et al.; "Principles of Unit Operations", 2d. ed.
John Wiley & Sons, 1980.
- 5.- McCabe, W. L. y Smith, J. C.; "Operaciones Básicas de Ingeniería Química"
Vo. II.
Ed. Reverté, S.A.; 1978.
- 6.- ABCOR, INC.; U.S.A. "Ultrafiltration for sanitary service". Folleto técnico.
- 7.- ABCOR, INC.; U.S.A. "Reverse Osmosis". Folleto técnico.
- 8.- Perry, R.H. & Chilton, C.H.: "Chemical Engineers Hand-book", 5th ed.
McGraw-Hill Kogakusha, 1973.

- 9.- Johns Manville Mexicana, S.A. de C.V. "Filtración con Celite". Folletos técnicos.
- 10.- Gruess, W.V.; "Commercial Fruit and Vegetable Products", 4 th ed.
McGraw-Hill Book Company; 1968.
- 11.- Meloan, C.E. & Pomeranz, Y. "Food Analysis Laboratory Experiments", 2d. ed.
AVI Publishing Company, INC.: 1980.
- 12.- Muñoz Bénditez, H.V.; TESIS "Cambios Fisiológicos y Químicos durante el Desarrollo y la Maduración de la Granada de China";
UNAM, FESC, QFB.
- 13.- Joslyn, M.A.; "Methods in Food Analysis. Physical, Chemical and Instrumental Methods of Analysis". 2d ed,
Academic Press, 1970.
- 14.- Woods, A.E. & Aurand, L.W.; "Laboratory Manual in Food Chemistry".
AVI Publishing Company, INC.; 1977.
- 15.- Espinoza, H.; "Máquinas Industriales". Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos Wilfrido Massieu;
IPN.
- 16.- Morrow, L.C.; "Maintenance Engineering Handbook", 2d ed.
McGraw-Hill, 1966.
- 17.- Casa, N.; "Frutas y Hortalizas". ENEP-C, UNAM
Depto. de Química.

18.- Woodroof, J.G. & Shiun Luh, B.; "Commercial Fruit Processing".

AVI Publishing Company, INC.; 1975.

19.- CONAFRUT; "Comercialización de las Principales Especies Frutícolas".

Serie Especial No. 34.

México, 1975.

20.- Watt, B.K. & Merrill, A.L.; "Handbook of the Nutritional Contents of Foods".

United States Department of Agriculture.

Dover Publications, INC., New York.