

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  

---

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

**Cálculo de la capacidad de los Clarificadores  
Jacobs del Ingenio "El Potrero"**

TESIS  
Que para su Examen Profesional de  
INGENIERO QUIMICO  
presenta

**Carlos Armando Torres Goytortúa**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

A MIS PADRES.

Con todo cariño

A MIS HERMANOS

A MI ABUELITA.

A LA FAMILIA OCHOA.

Respetuosamente.

A MI ESCUELA.

A MIS MAESTROS  
Y COMPAÑEROS.

INTRODUCCION.

CAPITULO I.—GENERALIDADES.

CAPITULO II.—CLARIFICADORES JACOBS.  
OTROS CLARIFICADORES.

CAPITULO III.—CONDICIONES DE LOS CLARIFICA-  
DORES JACOBS EN EL INGENIO "EL  
• POTRERO".

CAPITULO IV.—PERDIDAS POR RADIACION.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

## INTRODUCCION

La cantidad de caña en los campos, y el tiempo disponible para la zafra son dos factores básicos que han hecho que la industria azucarera y por consiguiente los distintos Ingenios de la República Mexicana hayan aumentado su capacidad, ya sea agregando maquinaria o variando la capacidad de ésta.

Este es el caso del Ingenio "El Potrero", que siempre ha procurado ir a la cabeza de las fábricas, modificando sus máquinas; cambiando sus métodos de elaboración; balanceando la capacidad en los distintos departamentos; eliminando maquinaria anticuada; etc.

El Ingenio "El Potrero", ubicado en la estación El Potrero del estado de Veracruz, contaba para la zafra 1951-52 en el Departamento de Refinería con 5 clarificadores Jacobs de una capacidad nominal de 3785 lts/hr y 3 filtros Sweetland que se encargaban de filtrar todo el licor fundido pasara o no por los clarificadores.

Hoy se encuentran trabajando 6 clarificadores de una capacidad nominal de 3785 lts/hr y 2 de 6056 lts/hr.

Este trabajo que presento a consideración de mis Maestros, tiene por objeto calcular las condiciones de este Departamento de la Refinería en la zafra 1952-53, comparándolo con las condiciones existentes en la zafra 1951-52.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

- 1.—HISTORIA.
- 2.—DESARROLLO DE LOS CLARIFICADORES WILLIAMSON.
- 3.—MODO DE OPERACION.

## HISTORIA.

El primero en aplicar el proceso de la flotación fué William Haynes en el año de 1860; mezclaba el mineral por tratar con una cantidad de aceite que variaba entre  $1/5$  y  $1/9$  del peso del mineral y luego trituraba la mezcla resultante, después la trataba con agua logrando en esta forma separar los sulfuros combinados y el agente graso, del residuo. En 1885 Carrie J. Everson usó en vez de agua pura, ácidos diluídos, sales neutras o bases.

Hasta esa época no se encontraban sino dos fases líquidas (agua y aceite) y una sólida (el mineral). Pero a partir del período comprendido entre los años de 1901 a 1905, surgió un invento Australiano que empleaba como medio separador un gas. Los inventores fueron Guillaume Daniel Delprat y Charles Vicent Potter, quienes hicieron uso del gas producido por la reacción de una pulpa fuertemente ácida (pH de 0.3) y la suspensión de sulfuros o carbonatos. A este tipo de flotación se le dió el nombre de flotación por generación química.

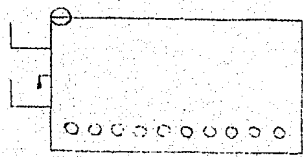
Más tarde Francis Edward Elmore (1904) sugirió que se utilizara el gas originado por la electrólisis del agua; sin embargo este procedimiento no se aplicó industrialmente. Elmore ideó también la generación de burbujas por medio del vacío, esto fué de mucha utilidad y aun se está usando.

Sulman, Picard y Ballot en 1906 y Hoover en 1910 introdujeron el gas empleando un batidor o impulsor. Luego se utilizó un fondo poroso (Callow en 1914) o tubos sumergidos (Forrester y Hunt) para la misma alimentación del gas.

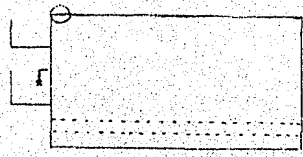
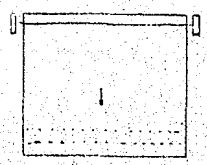
Durante todo este tiempo, en la industria azucarera se hacía uso del sistema Taylor para la filtración del licor que se alimentaba a los filtros de carbón. Dicho sistema consiste en lo siguiente:

Se efectúa la defecación con ácido fosfórico y cal haciendo uso para filtrar el precipitado de los llamados filtros bolsas. Estos filtros consistían en una caja de hierro fundido que tenía la parte superior perforada a intervalos. Cada agujero tenía un niple corto del cual colgaba una bolsa formada por capas de tela, siendo la exterior de cuerda tejida no muy cerrada y la interior de algodón.

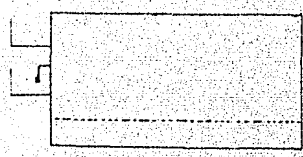
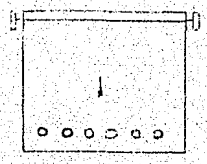
El licor defecado era llevado a la parte superior del filtro que estaba rodeado por un borde que impedía que el licor se regara; entraba por cada uno de los niples a las bolsas y se iba filtrando quedando el precipitado en el interior de la bolsa. Sin embargo, después de un corto tiempo, la filtración era muy lenta, por lo cual era necesario lavar dichas bolsas. El lavado se hacía en la siguiente forma: primero se dejaba que las bolsas escurrieran todo el licor, o se les extraía usando vacío; después se le pasaba agua dulce alcalizada y por último se le daban unas tres o cinco lavadas con agua caliente a presión. Las bolsas eran después separadas de los niples y se lavaban en unas cubas a fin de quitarles la cachaza. Como puede observarse este método es muy insalubre, había una gran cantidad de inversión y el costo de la mano de obra era muy grande.



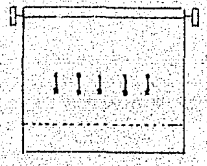
A



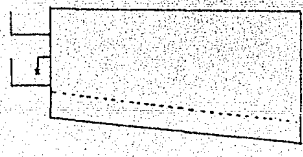
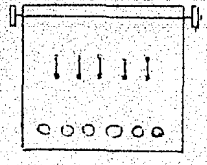
B



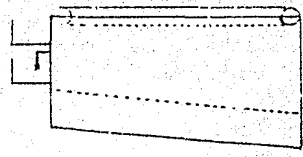
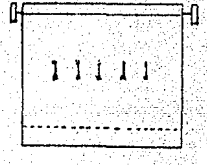
C



D



E



F

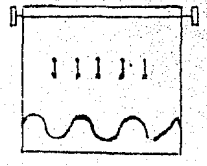


FIG 1

## DESARROLLO DE LOS CLARIFICADORES WILLIAMSON.

El clarificador Williamson original no era sino un tanque plano con tubos de vapor colocados transversalmente al flujo del licor, con las salidas del licor y de las espumas en el mismo extremo; tenían sólo una salida para el licor claro, y las espumas eran eliminadas empleando un cilindro giratorio (fig. 1-A).

Más tarde se varió la dirección de los tubos de vapor quedando longitudinalmente al flujo del licor (fig. 1-B).

Después se eliminaron los serpentines, quedando en vez de ellos una cámara de vapor hecha de un falso fondo. En este mismo tipo de clarificador, aumentaron el número de las salidas de licor llegando a ser hasta cinco (fig. 1-C).

El siguiente tipo es una variante de los dos últimos. Dicha variante consistió en inclinar el fondo del clarificador, quedando la salida del licor y de la espuma en la parte menos profunda (fig. 1-E y 1-D).

Por último, en los clarificadores hechos por Williamson y colaboradores el fondo del clarificador se hizo corrugado, aumentando en esta forma la superficie de calentamiento (Fig. 1-F).

Estos clarificadores tienen como detalle en común con respecto a las salidas del licor, que éstas son variables en su altura, o sea que pueden extraer licor de cualquier nivel.

### MODO DE OPERACION.

Todos los clarificadores que emplean el sistema de defecación ácido fosfórico-cal, se basan en una diferencia del peso específico así como de la adsorción para lograr la separación de las sustancias coloridas, coloides e impurezas orgánicas e inorgánicas. Dicha diferencia en la gravedad específica, se logra gracias a la inyección de aire, elevación de temperatura y características del precipitado.

Sin embargo, para lograr un licor claro, de la mejor calidad, es necesario que el licor de entrada a los aparatos sea de alta pureza, ya que mientras más alta sea la calidad del azúcar, el tratamiento será menor y el licor será mucho más claro.

Además es necesario que la cantidad de licor que entra sea constante, a fin de evitar sobrecalentamientos o enfriamientos repentinos, lo que traería como consecuencia que se produjera un licor turbio y colorido.

El licor que se alimenta a los clarificadores debe estar libre de bagacillo, basura y de cualquier otra clase de sustancia en suspensión, ya que esto causa que la arandela de alimentación se tape y por lo tanto que la cantidad que pasa disminuya, con lo cual la calidad del licor baja, pues se producen fluctuaciones en el gasto.

El licor debe ser calentado rápidamente a fin de que su viscosidad disminuya, permitiendo en esta forma que las burbujas de aire suban a la superficie con más libertad y por lo tanto con más rapidez. Conviene que la presión del vapor alimentado sea constante, pues variaciones en ella traen como consecuencia que la película de separación entre la espuma y el licor baje de nivel.

Se recomienda también que la calidad del licor sea constante, es decir, que si se está agregando fundido proveniente de la disolución de azúcar "A" o "B", se alimenta sólo con dicha clase de azúcar. Para explicar esto supongamos que estamos fundiendo azúcar "A" sola, se hacen las pruebas para ver cuál es la cantidad de ácido fosfórico y de cal más convenientes para lograr una buena clarificación y un pH adecuado. Pero al poco tiempo de estar trabajando, se empieza a fundir azúcar que es una mezcla de azúcares "A" y "B". Inmediatamente se observa que la calidad del licor baja, pues la cantidad de ácido y cal agregados es ahora insuficiente, y para lograr una buena clarificación se necesitan volver a hacer pruebas para fijar nuevamente la cantidad de reactivos necesarios.

Ahora, supongamos el caso contrario, en el cual estamos fundiendo sólo azúcar "B" al principio y al poco tiempo la revolvementos con azúcar "A". La calidad del licor fundido sube con lo

cual los reactivos están en exceso, lo que redundará en una pérdida debido a la cantidad de ácido y de cal que no debían haber sido empleados.

En los lugares en los que el licor que sale de los clarificadores no es pasado por filtros a presión antes de pasar a los filtros de carbón, es necesario regresar todo el licor que salga turbio, pues en caso contrario la refinera pierde mucha capacidad debido a la capa de precipitado de fosfato de calcio que se forma en la parte superior de los filtros. En los lugares en los que sí se pasa el licor claro por filtros a presión no es necesario, aunque sí conveniente pasar el licor turbio a ser tratado de nuevo, pues se corre el riesgo de obtener un licor con algo de color.

En cuanto al tratamiento de fundido es necesario que éste siempre esté a una densidad constante, habiéndose fijado para las condiciones de El Ingenio "El Potrero", de un Brix corregido de 62 a 64.

La cantidad de ácido fosfórico y cal debe ser suficiente para lograr una buena clarificación. La cantidad de ácido fosfórico agregada varía entre 0.4 a 0.48 gramos de  $P_2O_5$  por cada 100 litros de licor fundido, siendo la densidad del licor la apuntada en el párrafo anterior. En cuanto a la cal es necesario buscar siempre un pH de 7.8 a 8.0 para el licor tratado a fin de que el licor que sale de los Jacobs tenga alrededor de 7.2. Se ha encontrado, que a este pH las pérdidas por inversión son mínimas, aún en el caso como el presente en el que el licor es calentado a altas temperaturas, pudiendo estar bastante tiempo sin ser utilizado o fuera de proceso.

La adición de ácido y cal debe ser hecha a una temperatura aproximada de 71° C. (160° F).

En cuanto a la operación de los clarificadores se recomienda antes que nada una limpieza absoluta desde el momento que el azúcar sale de las centrifugas para ser fundida hasta que el licor entre a la refinera. Deben eliminarse las basurillas que pueden tapar las arandelas (en el Ingenio "El Potrero", el licor se pasa por un concenco antes de ser tratado). Los orificios de alimentación a cada una de las canoas, ya dentro del clarificador,

deben conservarse limpios también a fin de que la distribución del licor a ellas sea pareja. Además conviene lavar con frecuencia los clarificadores para que el coeficiente de transmisión no baje debido a las incrustaciones formadas.

La temperatura de salida del licor debe ser de 96 a 99° C. (205 a 210° F.) con lo que se logra una total eliminación de las burbujas de aire y del precipitado formado y en consecuencia de las impurezas englobadas y adsorbidas por dicho precipitado.

El nivel del licor debe ser siempre uniforme, evitando en lo posible que haya arrastres de licor hasta la carnoa de las espumas.

Nunca debe permitirse que las duelas arrastradoras de espumas, así como la bomba aereadora dejen de moverse, pues esto trae como consecuencia directa el que se obtenga un licor turbio.

Cabe hacer notar que en la zafra 1951-1952, en el Ingenio "El Potrero", las bombas aereadoras no cumplían su misión completamente, pues lo único que hacían era revolver perfectamente el aire con el licor, pero no absorbían aire de la atmósfera.

El aire era tomado por el licor en el tanque de nivel constante así como en los tanques de tratamiento al agitar, cuando se agregaba la cal y el ácido.

## CAPITULO II

- 1.—CLARIFICADORES JACOBS.
- 2.—OTROS CLARIFICADORES.
  - a.—CLARIFICADOR TURL.
  - b.—CLARIFICADOR WILLIAMSON.

## CLARIFICADORES JACOBS. — OTROS CLARIFICADORES

CLARIFICADORES JACOBS. — Al terminar el derecho de patente de Williamson, fué cuando se lograron los mayores adelantos en estos clarificadores del sistema cal fosfórico, desde el punto de vista funcional; y fué en el año de 1936 cuando Harold J. Jacobs en colaboración con J. J. Munson y C. F. Dahlberg lograron hacer un nuevo diseño del clarificador en el cual se eliminaban todas las desventajas presentadas por los tipo Williamson. Este nuevo diseño fué patentado en 1940 y desde entonces ha sido de una gran utilidad en la industria azucarera, pues permite manejar mayores cantidades de fundido en menor tiempo, como se explicará más adelante.

Tiene como una de sus principales características, la de haber logrado una enorme superficie de calentamiento debido a que se ha dividido en secciones, por paredes huecas, que forman la cámara de vapor. Las paredes dividen al clarificador longitudinalmente conduciendo el licor por unos canales, comunicados entre sí, por la parte superior. La superficie de calentamiento au-

mentó alrededor de cuatro veces con respecto a la de un Williamson que tuviera las mismas medidas exteriores, pues se usa no solo el fondo sino también las paredes, como apuntábamos atrás. Además, se logró que hubiera condiciones uniformes de temperatura, cosa que es necesaria para lograr una buena clarificación.

En los clarificadores Williamson, para lograr una temperatura uniforme, lo que era bastante difícil, puesto que sólo se calentaba la parte inferior del licor o sea la que estaba directamente en contacto con el fondo, se hizo uso de unas mamparas puestas transversalmente al flujo del licor, con lo que se logró que el calor se transmitiera no sólo por las corrientes de convección producidas por la diferencia de densidades, sino también por una convección forzada lograda por estas mamparas. Sin embargo, la disposición de dichas mamparas tenía que ser determinada prácticamente para cada caso. Generalmente la parte superior de ellas se ponía en la superficie del licor, o sea donde comenzaba la capa de espuma. En esta forma, el licor se hacía cambiar de dirección varias veces, subiendo y bajando, dependiendo el número de la cantidad de mamparas, lográndose en esta forma una temperatura uniforme en el licor, pero al mismo tiempo había grandes fluctuaciones en su velocidad y dirección lo que venía en detrimento de una clarificación eficiente.

En el diseño de los Jacobs se ha procurado eliminar totalmente las mamparas, habiendo resultado un flujo directo, siguiendo las canoas, paralelo entre sí, y con la velocidad del licor aumentada.

Al haberse aumentado la velocidad y no obstante que el volumen del licor que existe en el clarificador es menor, se obtiene mayor rapidez de clarificación, es decir, que se puede manejar mayor cantidad de licor en menor tiempo. Esto es consecuencia también del calentamiento más constante, uniforme y rápido.

También se puede observar que la cantidad de defecantes empleados es menor en comparación con la que era primitivamente.

Ya vimos que el tamaño de la burbuja de aire afecta grandemente la flotación. Ahora bien, para lograr un tamaño uni-

forme de la burbuja de aire, Jacobs y colaboradores inventaron un aerador centrífugo el cual produce a bajo costo la mezcla deseada de aire con licor, teniéndose al mismo tiempo la división del precipitado en partículas más pequeñas que se unirán a burbujas de aire pequeñas también.

Como consecuencia de la formación de burbujas de aire y partículas de un tamaño definido, así como la de una temperatura constante, la clarificación del licor se lleva a cabo con facilidad y rapidez.

En la superficie del licor se forma una capa de espuma consistente, que sirve como aislante, evitándose así grandes pérdidas por radiación en la superficie del clarificador.

La temperatura máxima del licor está a la salida del aparato; el grado de temperatura necesario para una buena clarificación va a depender de la calidad del azúcar utilizado, sabiéndose que a más baja calidad de azúcar, más alta será la temperatura necesaria.

Como dato comparativo entre la velocidad de flujo de los clarificadores Williamson y de los Jacobs, expongo lo siguiente: en los Jacobs se lleva a cabo un desplazamiento total del licor en 35 ó 40 minutos a una velocidad de flujo de 3400 a 3785 lts/hr. (900 a 1000 gals/hr.). En cambio en los Williamson el desplazamiento además de no ser constante, tarda alrededor de 65 a 80 minutos a un gasto de 2270 a 2650 lts/hr (600 a 700 gals/hr.)

Otra modificación fué hecha para la eliminación de espumas, pues se emplean una serie de rastrillos suspendidos a lo largo de todo el clarificador, avanzando con un movimiento contrario al del flujo del licor. La velocidad de las paletas está de acuerdo con la velocidad del licor, con el fin de evitar que haya agitación que traería como consecuencia que la espuma se mezclara con el licor. En esta forma se logra eliminar las espumas en la superficie total, sin deshacer la capa formada. Las paletas al salir del clarificador quedan embarradas con espuma, que es necesario quitar para que al volver a entrar al clarificador no se re-

vuelvan con el licor claro; para lograr esto, se pone un tubo de agua caliente, que tiene conectados a intervalos unos aspersores que van a lavar las paletas.

La uniformidad del flujo del líquido a través de las secciones del clarificador se asegura por una altura constante en el aerador centrífugo, alimentando cada clarificador con un orificio fijo en la línea de entrada del aerador. Este orificio fijo debe cambiarse de acuerdo con las condiciones, dependiendo su diámetro de la altura del tanque de nivel constante a fin de no sobrecargar el clarificador.

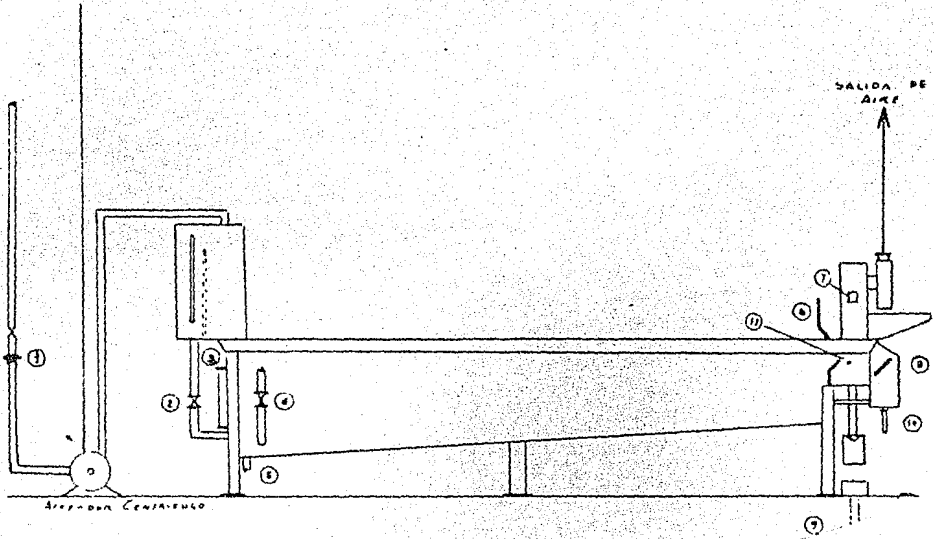
Se logra una altura constante dentro del Jacobs haciendo que las salidas estén siempre al mismo nivel, lo que se consigue moviendo una palanca a la cual van sujetos los tubos de salida. En caso de que estén los tubos desnivelados, se pueden componer moviendo un tornillo individual para cada salida. Debe procurarse como nivel máximo aquel que permita salir sólo las espumas sin dejar escurrir nada del licor.

En cuanto al vapor de calentamiento, debe tener una presión constante. La cámara de vapor está hecha para resistir con toda seguridad 10 lbs. manométricas de presión.

Como dato adicional diremos que se ha hecho el diseño de un clarificador de espumas, que es semejante al del licor con la única variación con respecto a su funcionamiento, de que el agua dulce y la espuma corren en la misma dirección. Esta espuma de alimentación es mezclada con agua, se pasa por una bomba aereadora y es alimentada al clarificador; se trabaja a unos 15° brix y a una temperatura más baja que la del licor; el pH se procura que sea más o menos el mismo que el del licor. El agua dulce producida puede ser empleada para disolver el azúcar proveniente de las centrífugas.

**CLARIFICADOR TURL.** — Este clarificador es muy parecido al Jacobs; tiene una bomba aereadora en la parte posterior que descarga a un tanquecito alimentador; este tanque tiene sólo dos descargas con una válvula cada una, debiéndose regular estas

# TURL



Nº	DESCRIPCION
1	ORIFICIO
2	SALVADAS DE ALIMENTACION
3	SALIDA DE GASES
4	ENTRADA DE VAPOR
5	SALIDA DE CONDENSADOS
6	MANERAL PARA ESPUMAS
7	REGULADOR DE SUCCION
8	AJUSTADOR DE NIVEL
9	SALIDA DE ESPUMAS
10	SALIDA DE LIQUIDO CLARO
11	AGUA CALIENTE PARA ESPUMAS

válvulas en tal forma que siempre haya 6" a 8" de profundidad a la entrada de estos tubos alimentadores. Si estas válvulas se dejan abiertas totalmente, habrá una succión de aire en la tubería de alimentación por el flujo del licor, y al entrar al clarificador este aire se elevará rápidamente a la superficie, lo que causará disturbios en la clarificación. Para ajustar estas válvulas, es necesario observar el nivel en el tanque de alimentación, ya que el licor puede derramarse al estar las válvulas cerradas. Las dos válvulas deben estar abiertas el mismo número de vueltas para lograr una alimentación uniforme. Después de que estas válvulas se han regulado, no es necesario tocarlas a menos que la velocidad de alimentación deba ser cambiada.

La principal característica de estos clarificadores está en el método de eliminación de espumas, contando para ello de un aspirador que tiene los siguientes puntos principales para su manejo:

1.—La abertura de la parte inferior es fija y no puede ajustarse. La superior tienen un pivote y puede moverse por medio de una manivela. Esta manivela nos sirve para ajustar la cantidad de espuma que debe ser eliminada. Funcionando ya el aspirador, se verá que la capa de espuma se mueve como si fuera un solo cuerpo debido a la adhesión de sus partículas.

2.—Sin embargo, puede suceder que al estar eliminando las espumas pase también mucho licor. Si es así hay que reducir el flujo de aire para lo cual se hace uso de unos reguladores que tiene el aspirador, abriéndose o cerrándose, según esté pasando licor o no. Sin embargo, debe haber el necesario para eliminar toda la espuma existente.

3.—Pero si se ha movido ya el regulador de aire al máximo y sigue habiendo flujo de licor a la canal de espumas, entonces lo que debe hacerse es bajar el nivel del licor, moviendo para esto los tubos de salida.

Los tres ajustes pueden ser hechos rápidamente para determinar las mejores condiciones de operación, y no deben cambiarse a menos que se cambie la velocidad del flujo o la cantidad de ácido fosfórico.

En lo que respecta a las condiciones del licor a la entrada de estos clarificadores, son substancialmente las mismas que se expusieron con anterioridad para los Jacobs.

**CLARIFICADOR WILLIAMSON.** — Al hacer referencia a este aparato voy a basarme en el existente en el Ingenio "El Potrero" durante la zafra 1952-53. Haré mención sólo a las particularidades que lo hacen diferente de Turl y Jacobs.

Como primera diferencia tenemos que el sistema de aereación, no era con bomba como sucede en los Turl y Jacobs (decimos originalmente debido a que el existente en este Ingenio se le ha puesto bomba). Dicho sistema está basado en el principio del eyector o de la trompa de vacío; el licor entra por la parte central a un tubo que lo introduce al aparato; este tubo además del que lo alimenta tiene otros a la atmósfera en tal forma que hay una succión de aire al ir pasando el licor, sin embargo, así nunca queda perfectamente revuelto, como es el caso de los clarificadores ya descritos.

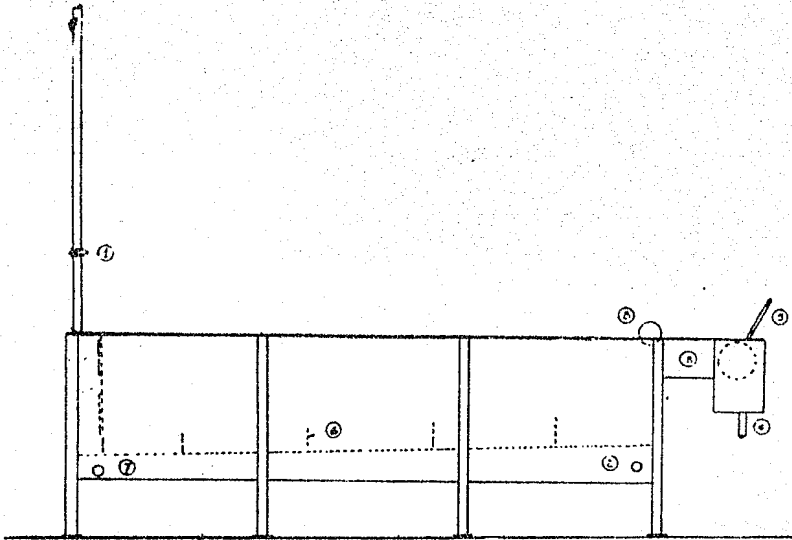
En el cuerpo del aparato existen unas mamparas puestas a diferentes alturas, con el fin de lograr un mayor y más rápido calentamiento en el licor. Sin embargo, tienen el defecto de que van a causar turbulencias que afectan un poco la calidad del licor.

Para el calentamiento del licor se emplea una cámara de vapor, y a través del fondo del tanque el licor recibe la cantidad de calor necesaria para que la elevación de espumas se lleve a cabo. El área es demasiado pequeña por lo cual se consigue un trabajo más lento.

La eliminación de espumas se hace utilizando un cilindro giratorio puesto en el mismo extremo de la salida del licor; las tomas del licor están colocadas más o menos a la altura de la mitad. Se ha visto sin embargo que esta eliminación de espumas es deficiente, engrosando la capa hasta que llega un momento en el cual es necesario liquidar el aparato, pues la espuma empieza a aparecer mezclada con el licor claro.

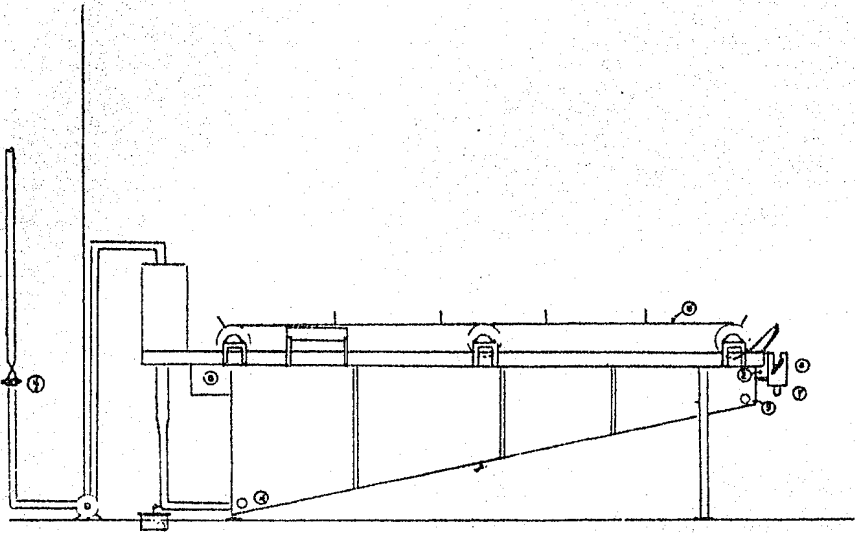
Debido antes que nada a la poca superficie de calentamiento, estos aparatos tienen una baja capacidad, comparada con los otros dos tipos de clarificadores, sin embargo clarifica muy bien.

# WILLIAMSON



Nº	DESCRIPCION
1	ORIFICIO
2	ENTRADA DE VAPOR
3	SALIDA DE ESPUMAS
4	SALIDA DE LICOR
5	AJUSTADOR DE NIVE
6	MAMPARAS
7	SALIDA DE CONDENSADOS
8	RODILLO DESPUMADOR

# JACOBS



NR	DESCRIPCION
1	ORIFICIO
2	SALIDA DE LIQUIDO
3	ENTRADA DE VAPOR
4	SALIDA DE CONDENSADO
5	PALETAS DESDUMADORAS
6	AJUSTADOR DE NIVEL
7	SALIDA DE LIQUIDO
8	SALIDA DE ESPUMA

## CAPITULO III

### CONDICIONES DE LOS CLARIFICADORES JACOBS EN EL INGENIO "EL POTRERO"

#### a) INICIALES.

I.—CALCULO DE LA CAPACIDAD.

II.—CALCULO DEL COEFICIENTE DE  
TRANSMISION.

#### b) FINALES.

I.—CALCULO DE LA CAPACIDAD.

II.—CALCULO DEL COEFICIENTE DE  
TRANSMISION.

III.—FACTORES QUE AFECTAN LA  
CLARIFICACION.

## CONDICIONES DE LOS CLARIFICADORES JACOBS

### EN EL INGENIO "EL POTRERO"

#### a) INICIALES.

Contaba el Ingenio con cinco clarificadores con una capacidad nominal de 3785 lts/hr. (1000 gals/hr.), cada uno; sin embargo, esta capacidad tuvo que ser disminuída debido a que el licor obtenido de ellos no era suficientemente claro, siempre llevaba precipitado flotando, siendo eliminadas estas partículas posteriormente en los filtros Sweetland. Pero al hacer bajar su capacidad se observó que eran insuficientes, ya que era necesario pasar de 3785 a 5680 lts/hr (1000 a 1500 gals/hr.) directamente por los filtros sin pasar antes por los clarificadores, obteniéndose así un licor no tan bueno como debiera ser.

Con los filtros se estaban sufriendo obstrucciones continuas en la refinería, debido al filtro ayuda que pasaba ya fuera por mala operación al hacer la precapa o por rompimiento de cualquiera de las telas.

Sin embargo, buscando la mejoría de los aparatos, se les dotó de válvulas de control automático para la alimentación de vapor, lográndose en esta forma un mejor trabajo, y efectuándose éste con mayor facilidad.

El azúcar del cual provenía el licor era "A" o "B" solas o "A" y "B" mezcladas, dando por resultado que la calidad del licor variara continuamente, haciendo imposible por lo tanto que la cantidad de defecantes pudiera ser regulada exactamente.

Como fuente de ácido fosfórico se usaba el "Dry Sugar" que tenía alrededor de 48% en peso de  $P_2O_5$ . Se agregaba al licor en suspensión por lo cual su acción era más lenta que la del ácido fosfórico líquido.

## I.—CALCULO DE LA CAPACIDAD.

Al principio se usaban arandelas de alimentación de 9/16" que después fueron cambiadas a 1/2".

Para calcular la capacidad voy a tomar como base los datos enviados por el fabricante para conocer el Reynolds del licor, y la diferencia de presiones existe a la salida y a la entrada del orificio.

Los cálculos serán hechos suponiendo que la diferencia de presiones varía linealmente con respecto a la altura del tanque de alimentación y al diámetro del orificio. Además, se supondrá que la bomba aereadora no comunica ninguna presión al licor, sino que lo único que hace es revolver el aire y el licor.

Los datos del fabricante estipulan: capacidad de 3785 lts/hr. (1000 gals/hr.) para una arandera de 9/16", estando el tanque a 4.57 mts. (15 pies) de altura.

Para el cálculo usará las siguientes fórmulas:

$$V = \frac{q}{S_0}$$

$$Re = \frac{V D \rho}{M}$$

$$V = \frac{C \sqrt{2gH}}{\sqrt{1 - S_0^2/S_1^2}}$$

En las cuales:

V = Velocidad en pies/seg.

q = Gasto en pies<sup>3</sup>/seg.

S<sub>0</sub> = Area del orificio en pies<sup>2</sup>

D<sub>0</sub> = Diámetro del orificio en pies.

ρ = Densidad del licor en lbs/pie<sup>3</sup>.

M = Viscosidad del licor en lbs/pie seg.

C = Constante que depende del Reynolds.

H = Diferencia de presiones entre la entrada y la salida del orificio en pies.

$S_1$  = Area de la tubería en la cual está insertado el orificio, en pies<sup>2</sup>.

$D_1$  = Diámetro de dicha tubería en pies.

Tenemos como datos:

$q$  = 1000 gals/hr.

$D_o$  = 9/16"

$\rho$  = 1.3 grs/cm.<sup>3</sup>

$M$  = 6.22 cps.

$D_1$  = 1.5"

Sustituyendo en las ecuaciones puestas con anterioridad al mismo tiempo que se hace la transformación de unidades a un solo sistema, tenemos:

$$V = \frac{q}{S_o} = \frac{1000 \times 4 \times 144 \times 16 \times 16}{3600 \times 7.48 \times 3.14 \times 9 \times 9} = 21.5 \text{ pies}$$

$$Re = \frac{VD\rho}{M} = \frac{21.5 \times 9 \times 1.3 \times 62.4}{16 \times 12 \times 6.22 \times 0.000672} = 13200$$

Por el Reynolds se puede observar que tenemos un régimen de flujo turbulento, para el cual tenemos un valor para la constante C de 0.61, obtenida tomando en cuenta que la relación de diámetro es:

$$\frac{9}{16 \times 1.5} = 0.37$$

Ahora, si se despeja a H en la ecuación que nos liga con la velocidad tenemos:

$$H = \frac{V^2 (1 - S_w^2/S_1^2)}{C^2 \cdot 2g}$$

y sustituyendo valores:

$$H = \frac{21.6 \times 21.6 \left(1 - \frac{81}{256 \times 2.25}\right)}{0.63 \times 0.63 \times 2 \times 32} = 16.9 \text{ pies}$$

Ahora se va a calcular la diferencia de presiones que hay en el orificio para un tanque situado a 13.12 pies de altura.

$$15 : 16.6 :: 13.12 : x$$

$$x = 14.5 \text{ pies}$$

Pero este valor es para un orificio de 9/16" y se quiere para 1/2" que es la que tienen los aparatos.

$$14.5 : 9/16 :: x : 1/2$$

$$x = 12.85 \text{ pies}$$

Teniendo este valor se puede calcular ahora sí, el gasto de los clarificadores Jacobs utilizando en la zafra 51 - 52 sabiendo que el tanque está a 13.12 pies de altura y que el orificio empleado era de media pulgada.

Para encontrar la capacidad utilizaremos sólo la ecuación:

$$q = \frac{S_o C \sqrt{2gH}}{\sqrt{1 - D_o^4/D_1^4}}$$

Sustituyendo valores:

$$q = \frac{0.785 \times 0.61 \times 7.48 \times 3600 \sqrt{64.4 \times 12.85}}{4 \times 144 \sqrt{1 - \frac{5.08}{16}}}$$

Efectuando operaciones encontramos un valor para q de 3090 lts/hr (830 gals/hr).

Este valor es para cada Jacobs por lo cual para cinco será de 15450 lts/hr (4050 gals/hr).

## II.—CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION

Para el cálculo del coeficiente de transmisión vamos a considerar los aparatos no como cambiadores de calor, sino como clarificadores. Es decir, vamos a suponer, como efectivamente lo es, que estos aparatos no tienen como misión principal calentar, sino clarificar.

Desde este punto de vista, el cálculo se hará tomando en cuenta las condiciones óptimas de clarificación y no de calentamiento. Esto trae como consecuencia que no obstante ser hechos

los aparatos del mismo material, su coeficiente de transmisión varíe al variar la cantidad del licor, de acuerdo con la ecuación:

$$W C_p \Delta T = U A \Delta T$$

ya que todos los valores son constantes, siendo susceptible de variación sólo el valor del flujo del líquido ( $W$ ) con lo cual cambia también el valor de  $U$ .

Hecha esta aclaración procederemos al cálculo del coeficiente de transmisión de los 5 primeros Jacobs.

Para calcular este coeficiente vamos a hacer uso de la ecuación:

$$W C_p (T_2 - T_1) = \frac{U A [(t_2 - T_1) - (t_1 - T_2)]}{\ln \frac{t_2 - T_1}{t_1 - T_2}}$$

en la cual tenemos que:

$W$  = Cantidad de licor en lbs/hr

$C_p$  = Calor Específico en Btu/lb °F

$T_2$  = Temperatura de salida del licor en °F

$T_1$  = Temperatura de entrada del licor en °F

$U$  = Coeficiente de transmisión de calor en Btu/lb pie<sup>2</sup> °F

$A$  = Area de calentamiento en pies cuadrados

$t_1$  = Temperatura de entrada del vapor en °F

$t_2$  = Temperatura de salida del agua de condensados en °F

Todos estos datos se pueden conocer, unos por medio de tablas, otros prácticamente, debiendo calcular el valor de  $A$  a partir de algunas mediciones hechas en los aparatos.

Los clarificadores están divididos en secciones o canales con el fondo inclinado, teniendo este fondo una forma curva que consideraremos constante a lo largo de todo el aparato.

Para el cálculo se va a dividir cada una de las canales en 3 partes a saber:

a) Area comprendida en la parte que une dos paredes, conocidas vulgarmente con el nombre de "costillas".

b) Area de las paredes.

c) Area del fondo.

Se tiene que usar para la primera sección la fórmula:

$$S = L \times A$$

En la cual

$$L = \text{Largo} = 365 \text{ cms}$$

$$A = \text{Ancho} = 6 \text{ cms}$$

$$S = 365 \times 6 = 2190 \text{ cms}^2$$

Este valor es el de una costilla y como en el aparato existen cinco, se tendrá como área total en esta parte:

$$S = 2190 \times 5 = 10950 \text{ cms}^2$$

Para calcular la segunda parte, se encuentra que las paredes tienen una forma triangular, siendo la base el largo del aparato, y la altura del triángulo la diferencia de las alturas del aparato.

$$S_2 = \frac{b \times h}{2}$$

$$\text{Altura mayor} = 74 \text{ cms}$$

$$\text{Altura menor} = 19 \text{ cms.}$$

$$h = 55 \text{ cms}$$

$$s = \frac{365 \times 55}{2} = 10000 \text{ cms}^2$$

Existen en el aparato 12 paredes por lo cual se tendrá:  
 $10000 \times 12 = 120000 \text{ cms}^2$

Por lo que respecta al área del fondo se va a tener que calcular a partir de las ecuaciones siguientes:

$$c = 2 \sqrt{2hr - h^2}$$

$$c = 2 r \text{ sen } A/2$$

$$s = \frac{r A}{180}$$

En las que:

c = cuerda

h = flecha

r = radio del círculo

S = área

A = Angulo que subtiende el arco

Se tienen los siguientes valores:

c = 25 cms

h = 19 cms

En la primera ecuación se despeja a r y se substituyen valores:

$$r = \frac{c^2}{8h} + \frac{h}{2} = \frac{25 \times 25}{8 \times 19} + \frac{19}{2}$$

Efectuando operaciones se encuentra un valor para  $r$  de 13.6 cms.

En la segunda ecuación despejamos el valor de  $\text{Sen } A/2$

$$\text{Sen } A/2 = \frac{c}{2r}$$

Sustituyendo valores y efectuando operaciones:

$$\text{Sen } A/2 = \frac{25}{2 \times 13.6} = 0.9191$$

El ángulo correspondiente a ese seno es de  $67^\circ$ , por lo que  $A = 134^\circ$

Ahora se sustituye para encontrar el valor de  $S$

$$S = \frac{3.14 \times 13.6 \times 134}{180} = 31.8 \text{ cms.}$$

Este valor hay que multiplicarlo por la longitud del fondo, que debe ser calculado como la hipotenusa de un triángulo que tiene como catetos el largo y la diferencia de alturas del aparato.

$$L = \sqrt{365 \times 365 + 55 \times 55} = 372 \text{ cms.}$$

$$\text{Areal del fondo} = 31.8 \times 372 = 11800$$

Este valor va a tener que ser multiplicado por 6, puesto que existen 6 canales con sus respectivos fondos:

$$11800 \times 6 = 70800 \text{ cms.}^2$$

El área del aparato será:

$$10950 + 120000 + 70800 = 201750 \text{ cms.}^2$$

Este valor está en  $\text{cms}^2$ , por lo que debe ser dividido entre 929 para transformarlo en  $\text{pies}^2$ .

$$\frac{201750}{929} = 218 \text{ pies}^2$$

Ya tenemos conocidos todos los valores para encontrar a U sustituyendo en la ecuación puesta al principio de este capítulo.

En nuestro caso tenemos que:

$$W = 830 \times 3.785 \times 1.30 \times 2.2 = 8980 \text{ lbs/hr}$$

Se multiplica el valor en gals/hr por esos factores para transformarlos a lbs/hr.

$$C_p = 0.695 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 208 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 180 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = 218 \text{ pies}^2$$

En cuanto a la temperatura de entrada del vapor, se considerará una presión manométrica de 10 lbs/pulgada<sup>2</sup>, aunque prácticamente hay variaciones a la entrada del aparato entre 8 y 11 lbs/pulgada<sup>2</sup>.

Se supondrá vapor saturado.

Para una presión absoluta de 24.7 lbs/pulgada<sup>2</sup>, se tiene una temperatura de vapor de 240<sup>o</sup>F.

La temperatura del agua condensada es de 212<sup>o</sup>F.

Sustituyendo estos valores en la ecuación de U puesta con anterioridad.

$$U = \frac{8980 \times 0.695 (208 - 180) 2.3 \times \log. (240 - 212) / (212 - 180)}{218 [ (240 - 212) - (212 - 180) ]}$$

$$U = \frac{8980 \times 0.695 (28 \times 0.0569)}{218 \times 4}$$

Efectuando operaciones:

$$U = 26.10 \text{ Btu/lb. pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

## b) FINALES.

La zafra 52-53 fué de un gran adelanto en lo que respecta a estos clarificadores, pues fué cuando se les dió la importancia que realmente tienen.

Su número se aumentó de 5 a 8, siendo uno de ellos Williamson, otro un Jacobs de 10 salidas, y el último un Jacobs de espumas acondicionado para trabajar con licor.

No se volvió a utilizar fundido proveniente de azúcar de segunda sola; el "Dry Sugar" utilizado durante la zafra anterior desapareció dejando en su lugar ácido fosfórico líquido.

El Baumé de la cal, la temperatura de salida de los tanques de tratamiento y la presión de vapor fueron reguladas en esta zafra como nunca antes se había hecho.

## I.—CALCULO DE LA CAPACIDAD

Los cinco clarificadores utilizados en la zafra anterior permanecieron en las mismas condiciones, es decir con arandela de

alimentación de 1/2", por lo cual la cantidad de licor que pasa por estos aparatos es exactamente la misma que antes.

En lo que respecta al Williamson, se estuvieron haciendo pruebas para ver cuál era la medida del orificio requerida para este aparato. Se encontró que con una arandela de 1/2" se obtenía un licor claro tan bueno como el de los demás aparatos.

Si se observa el diámetro de la arandela y se compara con el de la empleada en los 5 Jacobs ya calculados, encontramos que son iguales; además, la altura del tanque de nivel constante es exactamente igual para todos los aparatos, excepto el No. 8. Esto quiere decir que el clarificador Williamson tiene una capacidad idéntica a la de los Jacobs de la zafra anterior o sean 3090 lts./hr (830 gals/hr).

El Jacobs número 7 que es de 10 salidas, tiene una arandela de alimentación con un orificio de 19/32".

Se va a utilizar, entonces para el cálculo de la capacidad, las mismas fórmulas que fueron utilizadas para obtener la capacidad de los otros Jacobs, o sea:

$$V = \frac{q}{S_0} = \frac{C \sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - D_0^4/D_1^4}}$$

$$D_0 = 19/32$$

$$D_1 = 1.5$$

Para obtener el valor de C necesitamos sacar la relación de diámetros, y luego ir a la gráfica del Walker.

La relación es:

$$\frac{19}{32 \times 1.5} = 0.398$$

Para la cual C tiene un valor de 0.63

Ahora se necesita encontrar el valor de H. Se sabe que para una altura de 15 pies y un orificio de 9/16 el valor de la diferencia de presiones en dicho orificio es de 16.6 pies, por lo cual

$$15 : 16.6 :: 13.12 : x$$

$$x = 14.5 \text{ pies}$$

Pero esto es para un orificio de 9/16, para uno de 19/32 será:

$$9/16 : 14.5 :: 19.32 : x$$

$$x = 15.2 \text{ pies}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación a la vez que se multiplica por 3600 y 7.48.

$$q = \frac{0.785 \times 19 \times 19 \times 0.63 \times 3600 \times 7.48}{32 \times 32 \times 144} \sqrt{\frac{64.4 \times 14.5}{19 \times 19} \times \frac{1}{32 \times 32 \times 2.25}}$$

Efectuando operaciones encontramos que:

$$q = 1000 \text{ gals/hr}$$

En lo que respecta al Jacobs No. 8 que fué usado en la zafra anterior para la clarificación de las espumas, ha sido modificado.

En un principio se pretendió hacer trabajar el aparato directamente con licor, sin hacerle ninguna modificación; se puso una arandela de 3/8" para reducir la alimentación y se echó a andar el aparato. Con esa arandela y tomando en cuenta que la altura a la que está con respecto al tanque de nivel constante es

de 7.62 mts. (25 pies), se lograban clarificar 1752 lts/hr (463 gals/hr).

Más tarde el aparato fué modificado, cambiando la forma de alimentación haciéndola igual a la de los demás aparatos, cambiando también el sentido de la eliminación de espumas que originalmente era por el mismo lado de la salida del licor y ahora es por el lugar donde entra.

Se le colocó una arandela de 9/16". Para esta arandela y la altura a la que se encuentre colocado el tanque de alimentación, se hace necesario calcular la diferencia de presiones suponiendo como siempre, que varía linealmente una con otra.

O sea:

$$15 : 16.6 :: 25.5 : x$$

$$x = 27.7 \text{ pies}$$

La relación de diámetro es de 0.325, siendo por lo tanto el valor de  $C = 0.61$ , ya que el flujo es turbulento.

Se tienen por lo tanto los siguientes valores:

$$D_0 = 9/16''$$

$$D_1 = 1.5''$$

$$C = 0.61$$

$$H = 27.7$$

y sustituyendo valores:

$$q = \frac{0.785 \times 81 \times 0.61 \times 3600 \times 7.48}{16 \times 16 \times 144} \sqrt{1 - \frac{64.4 \times 27.7}{81 \times 16 \times 16 \times 2.25}}$$

Efectuando operaciones

$$q = 1190 \text{ gals/hr (4500 lts/hr)}$$

De acuerdo con éstos se tienen para la zafra 52-53 como capacidad de Jacobs la siguiente:

Jacobs del 1 al 5 . . . . .	4050 gals/hr (15450 lts/hr)
Williamson . . . . .	830 gals/hr ( 3090 lts/hr)
Jacobs No. 7 . . . . .	1000 gals/hr ( 3785 lts/hr)
Jacobs No. 8 . . . . .	1190 gals/hr ( 4500 lts/hr)
<b>T O T A L . . . . .</b>	<b>7070 gals/hr (26825 lts/hr)</b>

En esta zafra, la molienda máxima alcanzada fué de 3200 toneladas de caña en 24 horas. El rendimiento máximo fué de 12.52, siendo el azúcar refinado producido tomado para hacer este cálculo; pero como los Jacobs utilizan azúcar mascabado, consideraré el rendimiento un 1.5% más alto, o sea de 14%. Lo cual quiere decir que los clarificadores tenían que trabajar con 18.6 toneladas de azúcar por hora.

Tomando en cuenta los cálculos hechos con anterioridad, así como que la densidad correspondiente a un licor del Baumé de éste es de 1.3, tenemos:

$$7070 \times 1.30 \times 3.785 \times 65 = 22.6 \text{ tons/hr.}$$

Esto quiere decir que esta estación de la fábrica tiene una capacidad suficiente para las condiciones actuales del Ingenio "El Potrero".

## II.—CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION

En esta zafra, los cinco Jacobs del año pasado estuvieron trabajando: ya está calculado su coeficiente de transmisión de calor, así que no lo repetiremos. Sólo nos falta calcular el de los Jacobs 7 y 8 y el de Williamson.

### *Cálculo del coeficiente de transmisión del Jacobs No. 7*

Necesitamos antes que nada encontrar el área de calentamiento para lo cual vamos a dividirla en tres partes.

a) Área de la parte que une las paredes:

Ancho      3 cms.

Largo      364 cms.

por lo cual:

$$A_1 = 3 \times 364 = 1092 \text{ cms}^2$$

Esta es el área ocupada por una costilla, por lo que de 9, que son las que tiene el aparato será de 9840 cms<sup>2</sup>.

b) La segunda parte es la correspondiente a las paredes. Para hacer el cálculo consideraremos un trapecio en el cual las alturas mayor y menor del aparato forman las bases, mientras que el largo del aparato es la altura de dicho trapecio. Tenemos por lo tanto:

Altura mayor      73 cms

Altura menor      16 cms

Largo              364 cms

$$\text{Area} = \frac{16 + 73}{2} \times 364 = 16200 \text{ cms}^2$$

Son 20 paredes por lo cual el área total es de 324 000 cms<sup>2</sup>

c) La tercera parte es la del fondo del aparato.

Tiene una forma tal, que haciendo un corte nos da un segmento circular en el que conocemos la cuerla y la flecha, haciéndonos falta conocer el radio y el ángulo.

Emplearemos las mismas ecuaciones que se usaron para calcular el fondo de los otros Jacobs, en las que tenemos los siguientes valores:

$$c = 21$$

$$h = 3.5$$

Por lo que sustituyendo valores:

$$r = \frac{21 \times 21}{8 \times 3.5} + \frac{3.5}{2} = 17.45 \text{ cms.}$$

$$\text{Sen } A/2 = \frac{21}{2 \times 17.45} = 0.6017$$

El ángulo correspondiente a ese valor es de  $37^\circ$  por lo que  $A = 74^\circ$

Entonces S será

$$S = \frac{3.14 \times 17.45 \times 74}{180} = 22.6 \text{ cms.}$$

Este valor hay que multiplicarlo por la longitud.

Para calcular esta longitud, va a ser necesario formar un triángulo rectángulo en el que uno de los catetos es la diferencia de las alturas, otro el largo del aparato, mientras que la longitud buscada es la hipotenusa.

Diferencia entre las alturas: 57 cms.

$$\text{Largo} = \sqrt{57 \times 57 + 364 \times 364} = 368.43 \text{ cms.}$$

Con este valor podemos calcular el área del fondo.

$$A_3 = 368.43 \times 22.6 = 8312 \text{ cms.}^2$$

Este valor hay que multiplicarlo por el número de canales para encontrar el área total correspondiente a esta sección.

$$8312 \times 10 = 83120 \text{ cms}^2$$

Por lo tanto el área total del aparato será:

$$9840 + 324000 + 83120 = 416\ 960 \text{ cms}^2$$

Por razones de cálculo necesitamos convertir estos cms<sup>2</sup> a pies<sup>2</sup>, por lo que dividimos entre 929.

$$\frac{416\ 960}{929} = 448 \text{ pies}^2$$

Las condiciones de entrada y de salida, tanto del licor como del vapor son exactamente las mismas que se emplearon para el cálculo en los cinco primeros Jacobs.

La cantidad de licor en el caso presente:

$$W = 1000 \times 3.785 \times 1.28 \times 2.2 = 10760 \text{ lbs/hr}$$

Entonces en la ecuación:

$$W C_p (T_2 - T_1) = \frac{UA[(t_1 - T_2) - (t_2 - T_1)]}{\text{Ln} \frac{t_1 - T_2}{t_2 - T_1}}$$

tenemos los siguientes valores:

$$W = 10760 \text{ lbs/hr}$$

$$C_p = 0.695 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 212 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 180 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 240 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 212 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = 448 \text{ pies}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior después de haber despejado a U

$$U = \frac{10760 \times 0.695 (208 - 180) 2.3 \log 32/28}{448 [ (212 - 180) - (240 - 212) ]}$$

Efectuando operaciones encontramos un valor para U de  
15.3 Btu/hr pie<sup>2</sup> °F

#### CLARIFICADOR WILLIAMSON.

En este clarificador, el área de calentamiento es sólo la del fondo, a diferencia de los Jacobs que calientan también por las paredes.

Tenemos los siguientes datos:

$$\text{Largo} = 368 \text{ cms}$$

$$\text{Ancho} = 304 \text{ cms}$$

Por lo que el área será = 111700 cms<sup>2</sup> ó sean 120 pies<sup>2</sup>

Sustituyendo valores en la ecuación despejada de U

$$U = \frac{8810 \times 0.695 \times 28 \times 2.3 \times 0.0569}{120 \times 4}$$

$$U = 46.8 \text{ Btu/lb hr } ^\circ\text{F}$$

*Jacobs No. 8.*

Para calcular el área de estos aparatos se emplearon las mismas ecuaciones que se usaron para los otros Jacobs, y se encontraron los siguientes valores:

$$\text{Area de las costillas} = 8\,235 \text{ cms}^2$$

$$\text{Area de las paredes} = 325\,740 \text{ cms}^2$$

$$\text{Area del fondo} = 82\,220 \text{ cms}^2$$

$$\text{Area total} = 416\,195 \text{ cms}^2$$

$$\text{Cantidad del licor} = 1190 \times 3.785 \times 1.28 \times 2.2 = 12700 \text{ lbs/hr.}$$

Sustituyendo valores y efectuando operaciones en la ecuación de U encontramos que

$$U = 18.10 \text{ Btu/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

### III.—FACTORES QUE AFECTAN LA CLARIFICACION

El licor proveniente de los clarificadores debe estar perfectamente limpio, sin partículas sólidas en suspensión, y además tener un color lo más bajo posible a fin de que al pasar a la siguiente estación, los filtros de carbón, éstos puedan trabajar al máximo de eficiencia. Supongamos que pasa precipitado de fosfato de calcio con el licor, este precipitado debido a sus caracte-

rísticas no podrá pasar el filtro, quedando detenido en la parte superior formando una capa a veces bastante gruesa, que impide que el licor pase tan rápidamente como debe hacerlo, y algunas veces impidiéndolo por completo. Es por esto por lo cual el precipitado no debe salir de los Jacobs junto con el licor.

En caso de que haya mucha coloración, es obvio que el carbón de los filtros tendrá que trabajar más y por lo tanto se agotará más pronto, resultando en un corto plazo de tiempo un licor refinado con un color bastante alto.

Ahora bien, para el óptimo funcionamiento de estos clarificadores es necesario llenar una serie de condiciones inherentes algunas al aparato, y otras al licor.

Entre las principales tenemos:

Densidad

Temperatura

pH

Acreación.

Velocidad del licor.

Eliminación de espumas.

Limpieza.

**DENSIDAD.** — La densidad del licor debe ser controlada lo mejor posible, pues pequeñas variaciones en ella traen como consecuencia un mal funcionamiento del aparato.

Si la densidad es menor se corre el peligro de ebullición debido a las altas temperaturas de trabajo con lo cual la espuma formada se revuelve con el licor saliendo éste muy turbio. Además, el aire introducido saldría muy rápidamente en forma de burbujas de gran tamaño con lo que se causaría agitación en el licor.

Si por el contrario, la densidad es mayor que la acostumbrada, la viscosidad aumenta y por lo tanto el precipitado tendrá mayor dificultad para elevarse desde el seno del líquido hasta la superficie, no alcanzando a hacerlo en todo lo largo del aparato, produciéndose por lo tanto un licor turbio.

Esta dificultad ha sido resuelta en el Ingenio "El Potrero" haciendo uso de densímetros cuya escala varía de  $29^{\circ}$  Bé como mínimo hasta  $40^{\circ}$  Bé como máximo, con lo que el error debido a la lectura se reduce al mínimo.

**TEMPERATURA.** — La elevación del precipitado se deba a que con la aereación y la elevación de temperatura llega a tener una densidad menor que la que tiene el medio que la rodea. Si la temperatura es más baja que la necesaria, entonces el precipitado no puede elevarse en su totalidad, con lo cual queda algo de él dentro del licor, resultando un líquido turbio. Si por el contrario la temperatura es demasiado alta, entonces se corre el peligro de ebullición con la misma consecuencia apuntada con anterioridad.

Para conservar una temperatura constante, se están empleando válvulas automáticas, movidas por aire y controladas por un termómetro cuyo bulbo está insertado dentro del licor. Así, la cantidad de vapor que se alimenta al aparato nunca llega a ser demasiado ni insuficiente.

**pH.** — El pH del licor debe conservarse siempre entre ciertos límites para evitar que haya pérdidas por inversión si es ácido, o que haya una gran elevación de color si es alcalino. En este último caso, como se le agrega cal, la cantidad de sólidos disueltos en el licor es mucha, trayendo como consecuencia que el carbón en la refinería se agote más pronto y corriendo además el peligro de que se produzca azúcar con un alto porcentaje de cenizas.

Este renglón ha sido uno de los más difíciles de controlar en este Ingenio debido antes que nada a que para disolver el azúcar

se hace uso de agua de condensados proveniente del cuádruple. Dicha agua llega a variar desde un pH de 6.9 hasta otro de 8.2 en el mismo día. Se compraron un comparador y un potenciómetro que no han dado los resultados apetecidos.

**AEREAACION.** — Siempre debe haber una correcta aereación, pues de ella dependen que el precipitado pueda elevarse y llegar a formar espuma.

Los aparatos tienen una bomba aereadora especial que toma el aire de la atmósfera y lo emulsiona perfectamente con el licor, dando por resultado una correcta elevación de dicho precipitado.

**ELIMINACION DE LAS ESPUMAS.** — La eliminación de las espumas debe ser hecha correctamente, lo que se logra por medio de unas paletas o rastrillos que llevan la espuma a uno de los extremos del aparato. El movimiento de ellas es bastante lento a fin de evitar agitaciones nocivas al licor.

**LIMPIEZA.** — De todos los factores que afectan la clarificación, el único que influye en el coeficiente de transmisión y que además puede ser corregido es el correspondiente a la incrustación haciendo que ésta sea lo mínima posible, limpiando periódicamente los aparatos.

**VELOCIDAD DEL LICOR.** — La velocidad del licor está controlada por el diámetro de la arandela de admisión. Esta debe ser de un tamaño tal que permita el paso de una cantidad de licor en tal forma que éste pueda salir perfectamente limpio. Sin embargo, se corre el peligro de poner una arandela demasiado pequeña con lo cual la capacidad del aparato queda muy reducida.

## CAPITULO IV

PERDIDAS POR RADIACION

JACOBS 1 - 5

WILLIAMSON

JACOBS 7

JACOBS 8

CONSUMO DE VAPOR

## PERDIDAS FOR RADIACION

Una de las partes más importantes en el montaje de cualquier aparato es la de estimar o calcular las pérdidas por radiación y ver si conviene o no aislar dichos aparatos para lograr que se pierda la menor cantidad de calor posible.

En el Ingenio "El Potrero", los Jacobs no están aislados, sólo tienen una capa de pintura de aluminio con lo que se ha logrado que las pérdidas por radiación sean menores, ya que la emisividad de las superficies plateadas es mucho menor que la de las superficies oxidadas y sin pintar. No obstante esto, creo que si se aislaran estos aparatos la cantidad de vapor consumido disminuiría y además el control de la temperatura del licor sería mucho mejor puesto que existiría el aprovechamiento de calor que ahora se dispersa en la atmósfera, máxime cuando la temperatura ambiente es baja y se da el caso de que al mismo tiempo sople viento frío.

Para calcular las pérdidas por radiación haremos uso de la ecuación:

$$q = 0.178 A e \left[ \left( \frac{T_1^4}{100^4} \right) - \left( \frac{T_2^4}{100^4} \right) \right]$$

en la que:

$A$  = Superficie de radiación en pies cuadrados.

$e$  = Emisividad.

$T_1$  = Temperatura de la superficie en °R.

$T_2$  = Temperatura ambiente en °R

Lo primero que necesitamos hacer es calcular el área total de los aparatos. Vamos a considerar que todos están hechos del mismo material, que todas las superficies externas son igualmente radiante (hay partes en contacto con la cámara de vapor y otras que no lo están, sin embargo estas últimas por conducción se encuentran igual de calientes que las primeras).

JACOBS 1 - 5.

Largo = 3.65 mts.

Ancho = 1.83 mts.

Altura mayor = 1.10 mts.

Altura menor = 0.48 mts.

*Cálculo del área:*

Area del frente =  $1.83 \times 0.48 = 0.8784$  mts.<sup>2</sup>

Area posterior =  $1.83 \times 1.10 = 2.013$  mts.<sup>2</sup>

Area de los lados: Es en todos los aparatos, excepto en Williamson un trapecio, por lo cual

$$\frac{1.10 \times 0.48 \times 3.65 \times 2}{2} = 5.767 \text{ mts.}^2$$

Area del fondo: El fondo en todos los Jacobs es inclinado, por lo que es necesario calcular la longitud de él, siendo ésta la hipotenusa de un triángulo rectángulo que tiene como catetos la longitud del aparato y la diferencia de las alturas de dicho aparato:

$$\sqrt{(1.10 - 0.48)^2 + 3.65^2} \times 1.83 = 6.77 \text{ mts.}^2$$

$$\text{Area total} = 15.428 \times 5 = 92.568 \text{ mts.}^2$$

## WILLIAMSON.

Hay un ligero desnivel en este aparato, sin embargo consideraremos que las alturas son de las mismas dimensiones:

$$\text{Largo} = 3.68 \text{ mts.}$$

$$\text{Ancho} = 3.04 \text{ mts.}$$

$$\text{Alto} = 0.83 \text{ mts.}$$

*Cálculo del área:*

$$\text{Area del frente y posterior} = 3.04 \times 0.83 \times 2 = 5.046 \text{ mts.}^2$$

$$\text{Area de los lados} = 3.68 \times 0.83 \times 2 = 6.1090$$

$$\text{Area del fondo} = 3.68 \times 3.04 = 11.1872$$

$$\text{Area total} = 22.342 \text{ mts.}^2$$

## JACOBS 7.

Largo = 3.61 mts.

Ancho = 2.41 mts.

Altura mayor = 1.10 mts.

Altura menor = 0.51 mts.

*Cálculo del área:*

Area del frente =  $2.41 \times 0.51 = 1.229$  mts.<sup>2</sup>

Area Posterior =  $2.41 \times 1.10 = 2.651$  mts.<sup>2</sup>

Area de los lados =  $\frac{1.10 \times 0.51 \times 3.61 \times 2}{2} = 5.812$  mts.<sup>2</sup>

Area del fondo =  $\sqrt{(1.10 - 0.51)^2 + 3.61^2} \times 2.41 = 8.796$  mts.<sup>2</sup>

Area total = 18.48 mts.<sup>2</sup>

## JACOBS 8.

Largo = 3.65 mts.

Ancho = 2.41 mts.

Altura mayor = 1.14 mts.

Altura menor = 0.52 mts.

*Cálculo del área:*

Area del frente =  $2.41 \times 0.52 = 1.253$  mts.<sup>2</sup>

Area posterior =  $2.41 \times 1.14 = 2.747$  mts.<sup>2</sup>

$$\text{Área de los lados} = \frac{1.14 \times 0.52 \times 3.66 \times 2}{2} = 6.076 \text{ mts.}^2$$

$$\text{Área del fondo} = \sqrt{(1.14 - 0.52)^2 + 3.66^2} \times 2.41 = 8.941 \text{ mts.}^2$$

$$\text{Área total} = 19.017 \text{ mts.}^2$$

$$\text{Área de todos los aparatos} = 152.407 \text{ mts.}^2$$

Por razones de cálculo necesitamos transformar de metros cuadrados a pies cuadrados por lo que tendremos que multiplicar el valor de arriba por 10.76, o sea:

$$152.407 \times 10.76 = 1639.899 \text{ pies}^2$$

A la emisividad le consideraremos un valor de 0.27, y a la temperatura ambiente de 27°C; la temperatura a la que se encuentran las paredes de 99°C. llegando algunas hasta 100°C.

Resumiendo:

$$A = 1639.899 \text{ pies}^2$$

$$e = 0.27 \text{ pies}^2$$

$$T_1 = 670^\circ\text{R.}$$

$$T_2 = 540^\circ\text{R.}$$

Sustituyendo valores:

$$q = 0.173 \times 1639.899 \times 0.27 (670^4/100^4 - 540^4/100^4)$$

Efectuando operaciones:

$$q = 89224.66 \text{ Btu/hr}$$

## CONSUMO DE VAPOR:

Todo el calor necesario para calentar el licor dentro de los aparatos, así como el perdido por radiación es suministrado ex-

clusivamente por el vapor, por lo cual podemos calcular la cantidad necesaria aplicando la ecuación:

$$S \lambda = W C_p (T_2 - T_1) + R$$

en la que

$S$  = cantidad de vapor en lbs/hr.

$\lambda$  = Calor latente en Btu/lb.

$W$  = Peso del licor en lbs/hr.

$C_p$  = Calor específico del licor en Btu/lb °F.

$T_2$  y  $T_1$  = Temperaturas de entrada y salida del licor en °F.

$R$  = Pérdida por radiación.

Todos estos valores han sido encontrados en los capítulos anteriores, por lo cual vamos a sustituir dichos valores en la ecuación al mismo tiempo que despejamos a  $S$ .

$$S = \frac{49600 \times 0.695 (208 - 180) + 89224.66}{952.10}$$

$S = 1100$  lbs/hr de vapor a 24.7 lbs/pulg<sup>2</sup> abs.

Ahora vamos a ver el porcentaje de calor que se pierde por radiación; dicho porcentaje está dado por la relación entre la suma del numerador del quebrado que nos da el valor de  $S$  en Btu/hr y las pérdidas por radiación, o sea:

$$\frac{89224.66 \times 100}{1,049,224.66} = 8.5\%$$

## CONCLUSIONES

1.—La capacidad de los Jacobs es exactamente la necesaria para las actuales condiciones de trabajo. Convendría sin embargo, aumentarla a fin de lograr una buena limpieza de los aparatos y para evitar que haya una acumulación de licor al fallar alguno de ellos.

2.—La capacidad de los Jacobs 7 y 8 puede ser aumentada cuando menos a 4920 lts/hr.

3.—Es urgente que estos clarificadores sean aislados para lograr que las pérdidas por radiación disminuyan.

4.—Por lo que respecta a las condiciones actuales, comparándolas con las de la zafra anterior, vemos en el transcurso del presente trabajo que son mucho mejores, ya que ahora se lleva un control más exacto de las condiciones de trabajo, lo que trae como consecuencia que la clarificación sea mejor.

## BIBLIOGRAFIA

I.—Walker, Lewis, McAdams and Gilliland.—Principles of Chemical Engineering.—McGraw Hill Book Co.—New York. 1937.

II.—Perry, J. H.—Chemical Engineering Handbook. —McGraw Hill Book Co.—New York.—1950.

III.—McAdams William. — Heat Transmission. — McGraw Hill Book Co. — New York.—1942.

IV.—Spencer and Meade.—Cane Sugar Handbook. — John Wiley and Sons Inc.—London. 1945.

V.—Greven John P. — The Jacobs continuous clarifier for fosforic acid and lime clarification of melted sugar solutions used for white sugar manufacture. — Ind. Engineering Chem. 34, 633. 1942.

VI.—Brown J. M. and Bemis W. A. — Advantages and Disadvantages of continuous Clarifiers for Refining. — Ind. Eng. Chem. 34, 633. — 1942.

VII.—Brown J. M. and Bemis W. A. — Continuous Clarifiers for Refining.—Intern, Sugar J. 45, 16. — 1943.

VIII.—Halverson G. G. and Bollaert A. R. — Defecation of Refinery Sirup.—Intern. Sugar J. 48, 264. — 1946.