



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ASPECTOS REALES DEL PROCESO DE EVAPORA-  
CION EN MULTIPLE EFECTO, EN EL  
DEPARTAMENTO DE EVAPORACION  
DEL INGENIO SANTA ROSALIA.  
(Cárdenas, Tabasco)

INFORME DE PRACTICA PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

RENE DE JESUS GUZMAN DAVILA



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 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.

TESIS 1978  
~~LAS~~ M.C. ~~220~~ 204  
~~ABO~~ 216  
~~FECHA~~  
~~PROC~~  
8



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE:

Presidente	ING. HECTOR M. LOPEZ HERRERA
Vocal	ING. ERNESTO RIOS MONTERO
Secretario	ING. RUDI PRIMO STIVALET C.
1er. Suplente	ING. ROBERTO ANDRADE CRUZ
2o. Suplente	ING. JORGE MARTINEZ MONTES

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

INGENIO SANTA ROSALIA, H. CARDENAS, Tabasco.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

René de Jesús Guzmán Dávila

ASESOR DEL TEMA:

Ing. Héctor M. López Herrera

# I N D I C E :

	Pág.
INTRODUCCION Y OBJETIVOS .....	1
 C A P I T U L O I . - EVAPORACION Y GENERALIDADES	
a).- Explicación del fenómeno de evaporación.....	4
b).- Evaporadores químicos y evaporación en múltiple efecto .....	7
c).- El jugo de caña como materia prima, para el sistema de evaporación .....	12
 C A P I T U L O I I . - BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA	
a).- Propiedades del jugo clarificado a evaporar...	14
b).- Descripción del sistema de evaporación y diagrama correspondiente.....	15
c).- Tablas y gráficas para los cálculos, obtenidas como resultado de la observación y recopilación de datos en el ingenio, así como de la revisión bibliográfica .....	18
d).- Desarrollo de los cálculos .....	25
 C A P I T U L O I I I . - ANALISIS DE LOS SIGUIENTES ASPECTOS QUE ESTAN IMPLICADOS EN EL SISTEMA DE EVAPORACION	
a).- Calidad del jugo alimentado. (Clarificación)..	41
b).- Limpieza de los evaporadores (Desincrustación)	44
c).- Concentración final del guarapo .....	57
d).- Area de transmisión de calor .....	59
e).- Temperatura y su relación con la presión-vacío de los cuerpos.....	67
 C O N C L U S I O N E S .....	 74
 B I B L I O G R A F I A .....	 81

ESTE TRABAJO, LO DEJO COMO UN RECUERDO

A mis padres, con todo el cariño y respeto que se merecen.

A mis hermanos, por la estimación y comprensión que me han dado.

A mis tños, por la amabilidad que me han brindado.

A mis primos y sobrinos como una demostración de la familiaridad que nos une.

A mis parientes lejanos y amigos para que nuestra estimación que existe, no se destruya.

## INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El azúcar (sacarosa) siendo una substancia indispensable en la vida cotidiana por su propiedad energética por excelencia y por su poder endulzante, así como por ser materia prima en la Industria Sacarofarmacéutica, la producción de esta substancia en cantidades que satisfaga la demanda, lógicamente es -- una necesidad.

Este breve trabajo que se presenta, forma parte de uno - de los intermediarios en el proceso de la fabricación del azú - car y se le denomina "evaporación", y que se realiza en una - sección del ingenio denominado "Departamento de Evaporación".

Este Departamento de donde se realizó el trabajo, está in - tegrado fundamentalmente por el Sistema de Clarificación y el Sistema de Evaporación propiamente dicho. Estos dos siste - mas se encuentran interrelacionados, ya que por un lado el -- Sistema de Clarificación prepara el jugo que irá al Sistema - de Evaporación eliminando aquél lo más óptimamente posible -- las impurezas del guarapo, y el Sistema de Evaporación una -- vez que le ha llegado el jugo clarificado se encarga de elimi - nar una gran proporción del agua de dicho jugo clarificado, -

obteniéndose un jugo concentrado con determinadas características denominado "meladura".

En este trabajo se persiguen diversos objetivos de acuerdo a los aspectos que se tratarán y que son los siguientes:

a) Se desarrollará un balance de materia y energía, cuyo objetivo fundamental es ver la relación de la evaporación, es decir, las libras de agua evaporada (o Kg de agua evaporada) por libra de vapor alimentada (o Kg de vapor alimentado) como una medida de su capacidad evaporativa del sistema de evaporación.

b) Clarificación.- De cuyo análisis nos servirá para ver hasta qué punto influye y en qué forma la eliminación de impurezas del jugo crudo.

c) Limpieza de los evaporadores.- Dentro de este aspecto se realizará un experimento de desincrustación, cuyo objetivo será dar a conocer las concentraciones más recomendables de los desincrustadores utilizados en este ingenio y así mismo - que prever aquellas concentraciones (en el caso particular -- del ácido clorhídrico) que puedan ser un peligro en cuanto se refiere al ataque corrosivo.

d) Concentración final del guarapo.- El objetivo de este punto, es dar a conocer de una manera breve la importancia de una meladura en condiciones óptimas de concentración.

e) Area de transmisión de calor.- El objetivo de este -



aspecto es revisar la importancia que tiene el aprovechamiento óptimo de dicha área de transmisión de calor, en cuanto a la buena regulación del jugo en la fluxerfa, y así mismo ver la influencia que tendrfa esta área cuando se varfa en cuanto a la cantidad total de agua evaporada.

f) Temperatura y su relación con la presión-vacfo de los evaporadores. El objetivo de este aspecto, es revisar la importancia de las caídas de presión de los cuerpos, tanto a lo que se refiere al aprovechamiento de las gradientes de temperatura para el flujo de calor, así como también a los cambios químicos de la sacarosa en los puntos de ebullición del jugo.

Al final de este trabajo, se dará por separado la conclusión de cada uno de los aspectos revisados.

## C A P I T U L O   I

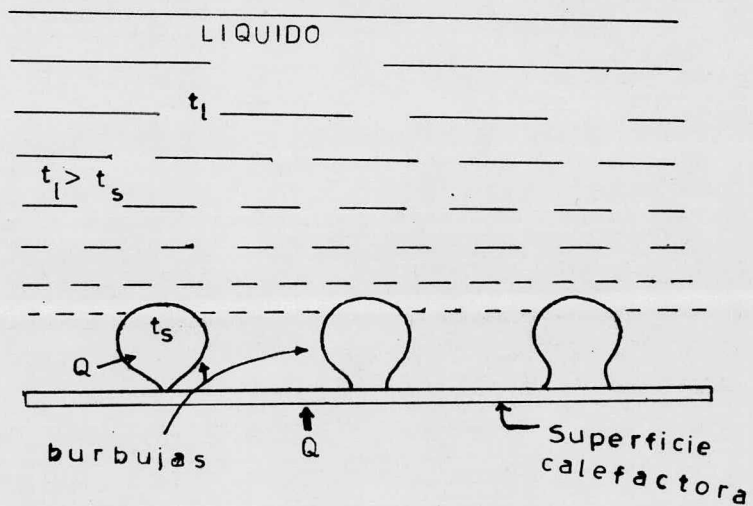
### EVAPORACION Y GENERALIDADES

#### a) EXPLICACION DEL FENOMENO DE EVAPORACION

La evaporación es la conversión de un líquido a vapor, - es decir, es un cambio de fase. Ahora bien, la forma de producir dicho fenómeno, obedece a dos variantes fundamentales: una de ellas es si la evaporación se realiza por una transferencia de calor hacia el elemento por evaporar, y otro sería el fenómeno producido por una disminución de la presión en el sistema. Las dos variantes en última instancia, es producir vapor ya que eso es el interés primordial. En los ingenios en general, la evaporación se realiza en forma mixta, es decir, por transferencia de calor y disminución de la presión - en el sistema de evaporación.

Los fenómenos de ebullición fueron estudiados ampliamente de acuerdo a los trabajos experimentales de JAKOB y FRITZ. Para ello observaron lo siguiente: Cuando a través de un tubo fluye vapor de agua y aquél se encuentra sumergido en un recipiente con líquido, se forman pequeñas burbujas de vapor de -

una manera completamente al azar en la superficie del tubo. (Ver Fig. # 1). El calor que pasa a través de la superficie del tubo donde no se forman burbujas, entra por convección al líquido que lo rodea. Algo de calor del líquido -- fluye entonces hacia la burbuja, provocando evaporación desde su superficie interna hacia el interior de la misma. Cuando se ha desarrollado suficiente fuerza ascensorial entre la burbuja y el líquido, ésta se libera de las fuerzas que la mantienen adherida al tubo y sube a la superficie del recipiente. KELVIN postuló que para que esta conducta prevalezca, el líquido debe estar más caliente que su temperatura de saturación en la burbuja incipiente. Esto es posible, ya que la naturaleza esférica de la burbuja establece fuerzas de superficie en el líquido, de manera que la presión de saturación dentro de la burbuja es menor que la del líquido -- que la rodea, originando el flujo de calor dentro de la burbuja. El número de puntos en las que se originan las burbujas depende de la textura de la superficie del tubo, aumentando con la rugosidad. JAKOB y FRITZ, han detectado la presencia de líquido sobrecalentado cercano a la superficie de calentamiento y han encontrado que la diferencia entre la temperatura del líquido sobrecalentado y la temperatura de saturación del vapor es menor para superficies rugosas que para superficies lisas. Mc ADAMS, basado en varios datos de investigadores sobre la ebullición del agua traza una cur



Q = calor

$t_l$  = temp. del liquido

$t_s$  = temp. de saturacion

FIG ~~1~~ 1.- FORMACION DE BURBUJAS

va, como se muestra en la Fig. # 2. En esta gráfica se muestra la influencia de la diferencia de temperatura (Delta "t") entre el vapor y la pared del tubo, lo cual nos indica el flujo máximo de calor para una delta "t" igual a 45° F aproximadamente.

La velocidad de transferencia de calor, es afectada en forma general por los siguientes factores:

a) Naturaleza de la superficie y distribución de las burbujas.

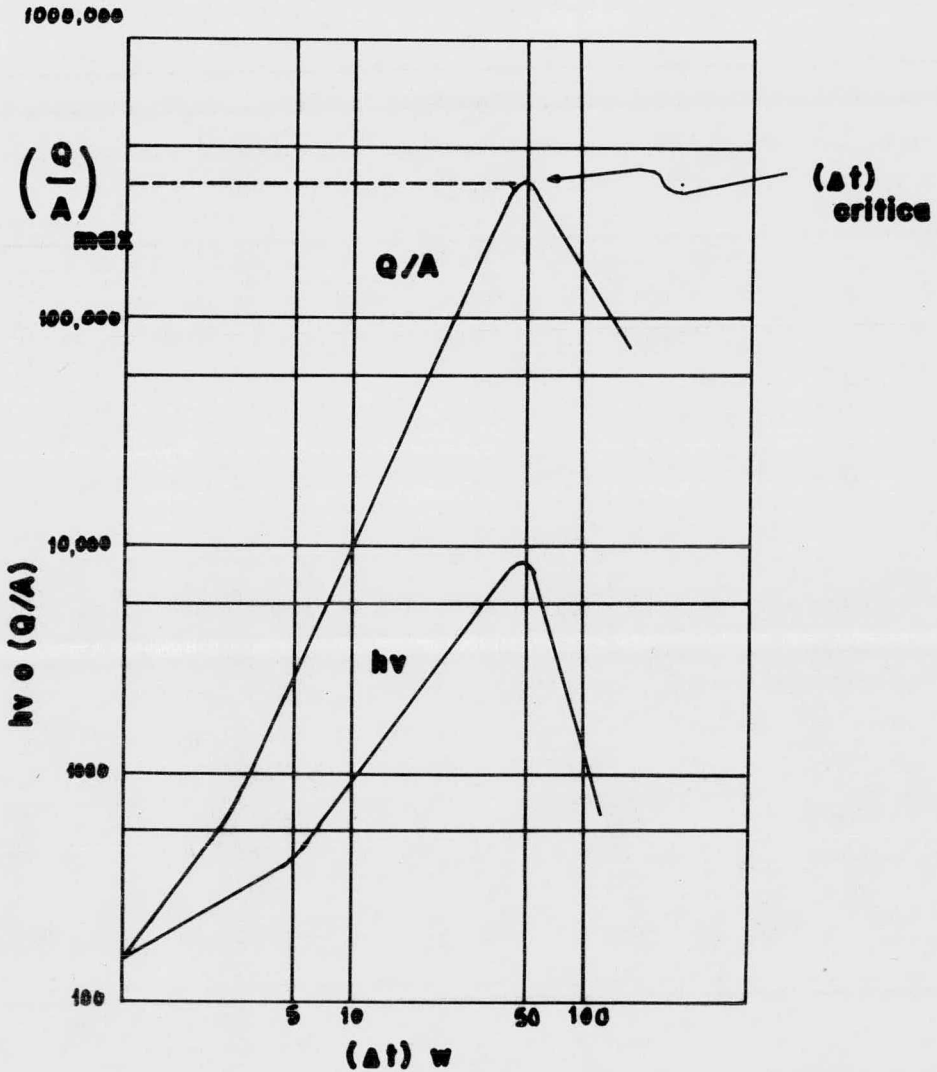
b) Propiedades del líquido tales como: tensión superficial, coeficiente de expansión y viscosidad.

c) Influencia de la diferencia de temperatura sobre la evaluación y vigor de las burbujas.

## b) EVAPORADORES QUIMICOS Y EVAPORACION EN MULTIPLE EFECTO

En forma general, hay dos tipos fundamentales de evaporadores en cuanto a su objetivo de trabajo, y son: Evaporadores de planta de fuerza y Evaporadores químicos. En los primeros, la parte no evaporada es el residuo y en los segundos, la parte no evaporada es el producto.

Los evaporadores químicos se clasifican en dos grupos: - De circulación natural y de circulación forzada. Los evaporadores de circulación natural pueden utilizarse en forma unita



**FIG. 2**  
**CURVA DE EBULLICION DEL AGUA**  
**EN RECIPIENTES (SEGUN Mc ADAMS).**

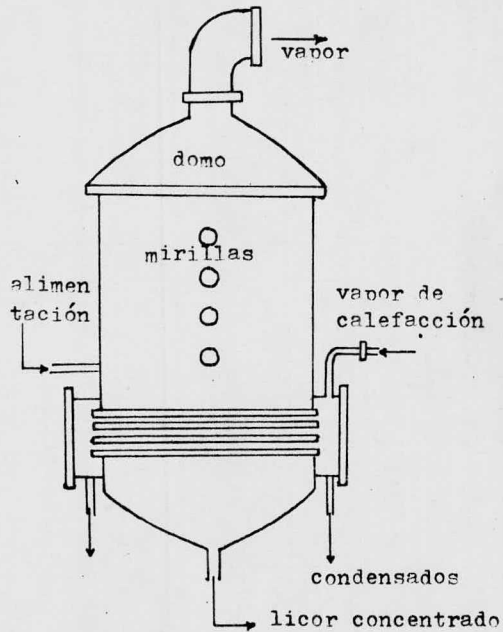
ria o en serie (múltiple efecto) y se utilizan para evaporar o concentrar soluciones que no dejan demasiada incrustación. Los de circulación forzada se usan especialmente para soluciones muy viscosas o que tiendan a incrustarse fuertemente. Los evaporadores químicos de circulación natural se dividen a su vez en cuatro clases:

- I) De tubos horizontales.
- II) De calandria con tubos verticales o evaporadores de calandria simplemente.
- III) De tubos verticales con canasta.
- IV) De tubos verticales largos.

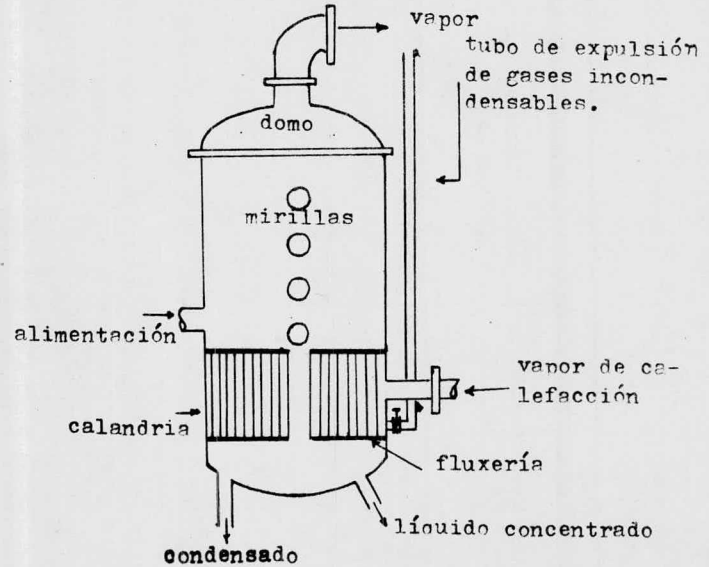
En la Fig. # 3 se representan dos tipos de evaporadores químicos de circulación natural.

A continuación daremos una descripción de los evaporadores de calandria, ya que son éstos con los que trataremos.

Un evaporador de calandria es un cuerpo vertical cilíndrico y cerrado, la parte inferior es cónica y de concavidad hacia arriba. Sobre el fondo está la calandria o zona de calefacción. La zona de calefacción está constituida por tubos (de cobre generalmente) o fluxes, que se encuentran colocados entre dos espejos que se remachan en las bridas del cuerpo del evaporador. Estos tubos se encuentran en posición vertical, en cuya parte interior circula la solución a evaporar, y en la parte exterior el vapor o elemento calefac



a) EVAPORADOR DE TUBOS HORIZONTALES.



b) EVAPORADOR DE CALANDRIA

FIG. # 3.- EVAPORADORES QUIMICOS



tor. Encima de la calandria se encuentra el espacio para la evaporación. El cilindro que rodea este espacio, está dotado de mirillas, registros-hombre, termómetros y otros accesorios. En la parte superior de este cilindro se encuentra el domo, en el cual se fija un separador o "catchal" que sirve para detener las gotas de jugo que son arrastradas por el vapor generado. Cuenta con sus respectivas entradas para el vapor de calefacción, alimentación, purgas, etc. (Ver Fig. -- # 3 (b) ).

En la industria azucarera, estos evaporadores son conectados en serie de una manera ingeniosa y con ciertas características así como detalles apropiados de instalación; éstos se pueden conectar 2, 3, 4 y a veces hasta 5 o 6 evaporadores. La evaporación en esta forma de conexión en serie se le denomina "EVAPORIZACION EN MULTIPLE EFECTO".

Dependiendo de la entrada del vapor de calefacción y la alimentación, estos sistemas de conexión en serie se dividen en dos: Cuando el alimento fluye en la misma dirección que el vapor de calefacción, se le denomina "múltiple efecto con alimentación en paralelo", y cuando el alimento lo hace en forma contraria a la del vapor se le llama "múltiple efecto con alimentación en contracorriente". En el caso particular de --- nuestro sistema de evaporación, la forma como se realiza la alimentación del vapor de calefacción y la del jugo (alimen--to) es en paralelo.

c) EL JUGO DE CAÑA COMO MATERIA PRIMA PARA EL SISTEMA DE -  
EVAPORACION

El guarapo o jugo extraído de la caña por el departamen-  
to de molinos, es un líquido turbio que resulta espumoso a -  
consecuencia del aire mezclado, siendo su color variable de  
gris claro a verde oscuro, debido a las materias contenidas  
en la corteza de la caña. Contiene en solución todos los -  
componentes solubles de la caña, como por ejemplo: sacarosa,  
azúcares reductores, sales orgánicas e inorgánicas, ácidos -  
orgánicos y gomas. Además de las burbujas de aire ya men-  
cionadas, contiene en suspensión bagazillo, tierra y arena,  
así como también clorofila y albúmina. El jugo fresco tie-  
ne reacción ácida, débil para caña verde o madura, pero más  
fuerte para cañas que han pasado su madurez.

Las diferencias en clima, en los terrenos y otros facto-  
res ambientales, hace que exista una variación amplia de los  
constituyentes químicos presentes en el guarapo de cañas pro-  
cedentes de diferentes zonas de producción; sin embargo, es-  
tas variaciones son más bien cuantitativas que cualitativas,  
ya que todos los jugos contienen aproximadamente los mismos  
constituyentes pero en proporciones variables. En la Tabla  
adjunta de componentes del guarapo, se indican los porcenta-  
jes de las principales clases de sustancias y también los -  
constituyentes individuales que se pueden encontrar en gara-  
pos de diferentes cualidades extraídas de cañas comerciales.

## COMPONENTES DEL GUARAPO

	%
AZUCARES .....	75-92
a) Sacarosa .....	78-88
b) Glucosa .....	2-4
c) Fructosa .....	2-4
SALES .....	3.0-7.5
de ácidos inorgánicos .....	1.5-4.5
de ácidos orgánicos .....	1.0-3.0
ACIDOS ORGANICOS LIBRES .....	0.5-2.5
a) Acidos carboxílicos .....	0.1-0.5
b) Aminoácidos .....	0.5-2.0
OTROS NO-AZUCARES ORGANICOS	
Proteínas .....	0.5-0.6
Almidón .....	.001-.05
Gomas .....	0.3-0.6
Ceras, grasas, fosfatos .....	.05-0.15
No azúcares no definidos .....	3.0-5.0

## C A P I T U L O   I I

### BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

#### a) PROPIEDADES DEL JUGO CLARIFICADO A EVAPORAR

El guarapo obtenido de la extracción de la caña en el Departamento de Molinos, es purificado por la aplicación combinada de sustancias químicas y calentamiento, cuya finalidad es la de alcalinizar el jugo y eliminar impurezas lo más óptimamente posible. Este jugo alcalinizado y junto con las impurezas que han sido precipitadas (gomas, ceras, sólidos en suspensión, etc.) es remitido a unos defecadores o clarificadores donde son sedimentados todos estos precipitados. El jugo que sale de estos defecadores se le denomina "jugo clarificado" o "jugo claro".

Bajo estas condiciones, este jugo tiene las siguientes propiedades:

BRIX = 16%	$C_p = 0.91 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb} \cdot ^\circ\text{F}} = 28 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
SACAROSA = 13%	$\text{p}^{\text{H}} = 7.1 - 7.2$
PUREZA = 81.2%	$T = 230^\circ \text{F} = 110^\circ\text{C}$ (temp. de entrada a los evaporadores).

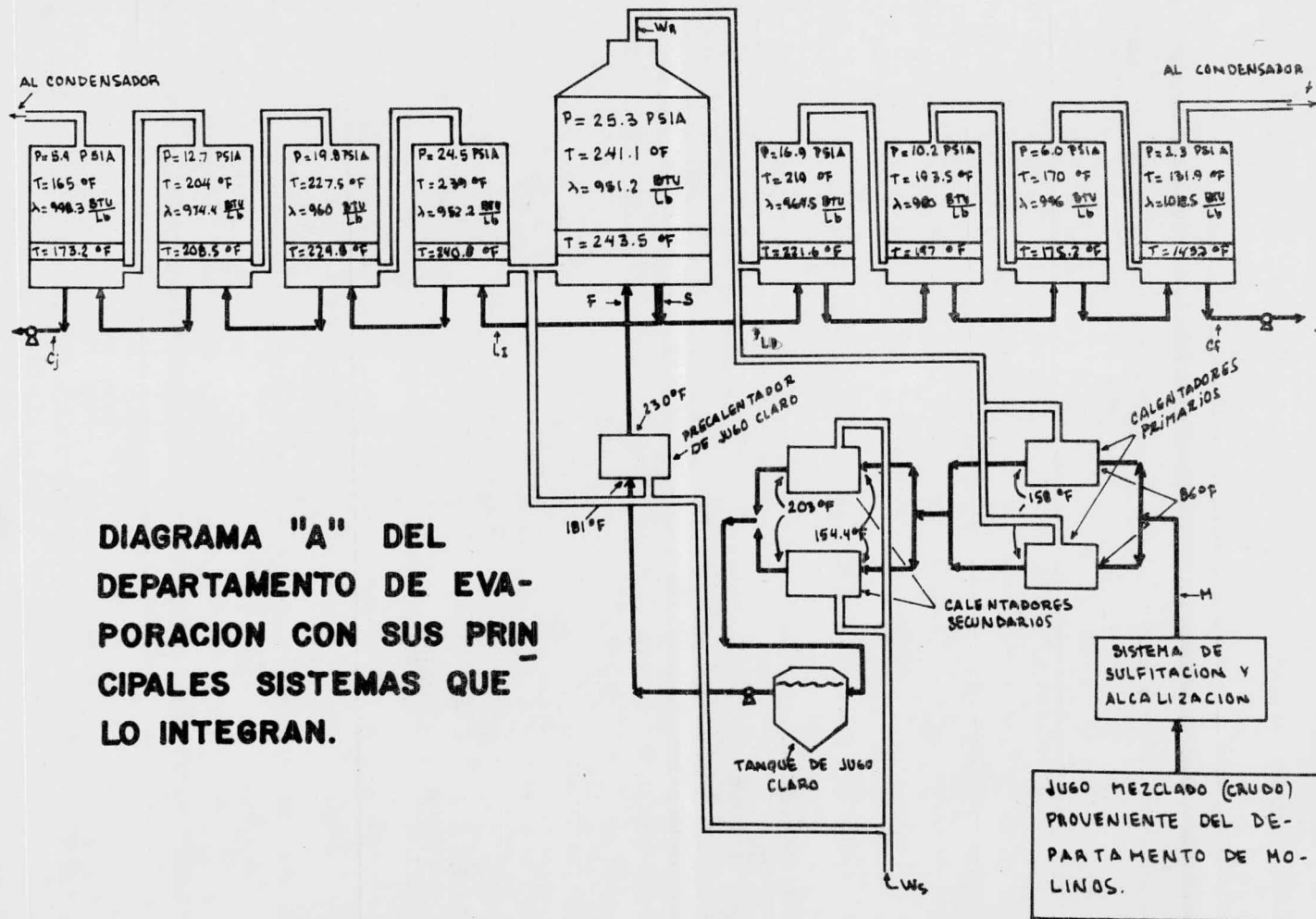
b) DESCRIPCION DEL SISTEMA DE EVAPORACION Y DIAGRAMA CORRESPONDIENTE.

Como habíamos dejado asentado anteriormente, el Departamento de Evaporación está constituido por dos secciones: El Sistema de Clarificación y el Sistema de Evaporación. El Sistema de Evaporación está formado fundamentalmente por el sistema de evaporadores formado por el arreglo "CUADRUPLE EFECTO-PREEVAPORADOR-CUADRUPLE EFECTO". El preevaporador es el cuerpo de mayor área de transmisión de calor y es alimentado con vapor directo como elemento calefactor, y con jugo clarificado proveniente del Sistema de Clarificación. Las evaporaciones del preevaporador, deben alimentar al primer cuerpo de uno de los sistemas de cuádruple efecto y para los calentadores primarios que sirven para el calentamiento del jugo crudo en su fase de clarificación. Por otro lado, el otro cuádruple efecto, es alimentado con vapor directo. El jugo y el vapor de calefacción se alimentan en forma paralela. Cada cuerpo tiene tres registros-hombre, manómetro o manovacúmetro, termómetro, cuatro mirillas o lucetas de vidrio para observar el nivel de espuma y un tubo de vidrio en la parte exterior del cuerpo a la altura de la calandria, para ver el nivel del jugo dentro de la fluxerfa.

Para la eliminación del vapor del último cuerpo evaporador, se cuenta con un condensador-eyector, que tiene la fina-

lidad de condensar este último vapor y crear el vacío correspondiente. El condensador utilizado es de contracorriente es decir, el agua de inyección entra por arriba del condensador y al chocar con unos dispositivos llamados charolas en el cual se forman unos finos chorros de agua que en contacto con el vapor del último cuerpo lo condensan. Estos condensados, son eliminados a través de un tubo llamado "columna barométrica" y descargados sobre un pozo llamado pozo caliente, que se encuentra abierto a la presión atmosférica. Los gases incondensables, son eliminados a través de unos tubos para ese objetivo, el cual se encuentran localizados en la parte más baja de la calandria.

El guarapo claro o clarificado con el cual se alimenta el preevaporador, es precalentado primeramente antes de entrar a este cuerpo hasta una temperatura promedio de 230°F, lo cual corresponde a una temperatura de 110°C. El primer jugo concentrado que sale del preevaporador, es distribuido en partes iguales a cada sistema de cuádruple efecto. El último concentrado del jugo evaporado de ambos sistemas de cuádruple efecto denominado meladura, es conducido a unos tanques para su procesamiento siguiente que es el de cristalización. Los condensados del vapor de calefacción de cada cuerpo excluyendo el último de cada sistema de cuádruple efecto, son eliminados a través de unos dispositivos llamados "trampas".



**DIAGRAMA "A" DEL DEPARTAMENTO DE EVAPORACION CON SUS PRINCIPALES SISTEMAS QUE LO INTEGRAN.**

Este sistema brevemente descrito, está esquematizado en el Diagrama "A" que se encuentra adjunto, en el cual se muestran las condiciones de operación, flujo de flúidos que se manejan y otros detalles.

- c) TABLAS Y GRAFICAS PARA LOS CALCULOS, OBTENIDAS COMO RESULTADO DE LA OBSERVACION Y RECOPIACION DE DATOS EN EL INGENIO, ASI COMO DE LA REVISION BIBLIOGRAFICA.

Las tablas y gráficas que se utilizaron para la realización de correcciones o para encontrar ciertas magnitudes indispensables de los materiales manejados en el Departamento de Evaporación, para la realización de los balances de materia y energía, son las siguientes:

Nota: Ver después de la descripción de estas tablas y gráficas su representación esquemática y numérica.

Gráfica # 1.- Esta gráfica nos sirvió para conocer el calor latente de vaporización en función de la presión de saturación del vapor saturado.

Gráfica # 2.- Esta gráfica nos sirvió para encontrar la temperatura del vapor en función de la presión de saturación.

Gráfica # 3.- Esta gráfica se utilizó para la corrección de la temperatura de ebullición del jugo en cuanto se -



refiere al aumento de ella, por concepto de Brix o por ciento de sólidos totales en solución. Esto se debe a que la temperatura de ebullición de las soluciones de azúcar es más alta que la del agua a la misma presión o vacío.

Gráfica # 4.- Esta gráfica es también una corrección de la temperatura de ebullición, en cuanto al aumento de ella debido a la presión hidrostática. La explicación de este concepto de corrección por presión hidrostática, es la siguiente: La temperatura de ebullición correcta de toda solución a cualquier presión o vacío es aquella a la cual ocurre la ebullición en la superficie del líquido. Si la ebullición ocurre por debajo de la superficie, tal ebullición está a presión superior, debido a la presión hidrostática superpuesta, por lo que también está a una temperatura correspondiente mayor. Como las superficies calóricas de los evaporadores siempre están cubiertas de jugo a mayor o menor profundidad, la influencia de la presión hidrostática se hará sentir. La presión promedio en la superficie tomada a la mitad del nivel del jugo indicado que contiene los tubos (fluxes) constituye el criterio determinado. La diferencia entre la temperatura en la superficie del líquido y la que existe en el punto de inmersión medio se llama pérdida de presión hidrostática, y esta pérdida significa que una cantidad correspondiente de la diferencia de temperaturas disponibles al evaporador quedará disipada.

Gráfica # 5.- Esta gráfica fue utilizada para encontrar el calor específico del guarapo de acuerdo a su brix.

Tabla # 1.- En esta tabla y la continuación de ella, se encuentran concentrados los datos que servirán para la realización de los cálculos correspondientes a los balances de materia y energía. En esta tabla se pueden ver las propiedades físicas del vapor directo, vapor de escape del preevaporador y la alimentación del jugo claro. Los datos de presión y vacío manométricos que se tomaron de los cuerpos, fueron transformados a presiones absolutas, y con estas presiones absolutas fueron localizadas en las gráficas # 1 y # 2 los valores de los calores latentes de vaporización y la temperatura del vapor saturado respectivamente. En el extremo superior derecho de esta tabla, se localiza la alimentación del jugo claro con las condiciones referentes a las Lbs/Hr alimentadas, el  $C_p$  y la Temperatura de entrada al preevaporador. Se encuentran así mismo, las áreas de los cuerpos, las condiciones de operación de los calentadores primarios y secundarios que manejan jugo en proceso de clarificación y las temperaturas de trabajo de los condensadores barométricos.

Tabla # 2.- En esta tabla se muestran los símbolos que se utilizarán en el desarrollo de los cálculos (ver continuación de ella también).

TABLA # 1

" DATOS OBTENIDOS PARA LOS DIFERENTES CALCULOS "

VAPOR DIRECTO

P = 29.2 psia  
T = 249.2 °F  
λ = 946.8 BTU/Lb

VAPOR DE ESCAPE DEL PREEV.

P = 25.3 psia  
T = 241.1 °F  
λ = 951.2 BTU/Lb

ALIMENTACION DE JUGO CLARO

F=317,181 Lb/h      % Brix = 16.0  
Cp = 0.91 BTU/Lb °F      % Sac = 13.0  
λ = 230 °F      % Pza = 81.2

SISTEMA CUADRUPLE EFECTO (lado izquierdo)

PREEVAPORADOR Y SISTEMA CUADRUPLE EFECTO (lado derecho)

CUERPO # 1  
AREA=8,329 Ft<sup>2</sup>

Vapor de calefacción { VAPOR DIRECTO  
Alimentación { L1=148,234 Lb/h  
Cp=0.88 BTU/Lb °F  
Condiciones de operación { P=24.5 psia  
T=239 °F  
λ=952.2 BTU/Lb

PREEVAPORADOR  
AREA=15,017 Ft<sup>2</sup>

vapor de calefacción { VAPOR DIRECTO  
Alimentación { F=357,616 Lb/h  
T=230 °F  
Cp=0.91 BTU/Lb °F  
Condiciones de operación { P=25.3 psia  
T=241.1 °F  
λ=951.2 BTU/Lb

CUERPO # 2  
AREA=6,899 Ft<sup>2</sup>

Vapor de calefacción { VAPOR DIRECTO  
Alimentación { Cp=0.86 BTU/Lb °F  
Condiciones de operación { P=19.8 psia  
T=227.5 °F  
λ=960 BTU/Lb

CUERPO # 1  
AREA=7,503 Ft<sup>2</sup>

Vapor de calefacción { VAPOR DE ESCAPE DEL PREEVAPORADOR  
Alimentación { Ld=148,234.5 Lb/h  
Cp=0.88 BTU/Lb °F  
Condiciones de operación { P=16.9 psia  
T=219 °F  
λ=964.5 BTU/Lb

CUERPO # 3  
AREA=7,203 Ft<sup>2</sup>

Alimentación { Cp=0.83 BTU/Lb °F  
Condiciones de operación { P=12.7 psia  
T=204 °F  
λ=974.4 BTU/Lb

CUERPO # 2  
AREA=5,633 Ft<sup>2</sup>

Alimentación { Cp=0.86 BTU/Lb °F  
Condiciones de operación { P=10.2 psia  
T=193.5 °F  
λ=980 BTU/Lb

CONTINUACION DE LA TABLA # 1

CUERPO # 4 | Alimentación { Cp=0.78 BTU/Lb °F  
 Condiciones de operación { P = 5.4 psia  
 T = 165 °F  
 λ = 998.3 BTU/Lb

CUERPO # 3 | Alimentación { Cp = 0.83 BTU/Lb °F  
 AREA = 5,637 Ft<sup>2</sup> | Condiciones de operación { P = 6.0 psia  
 T = 170 °F  
 λ = 996 BTU/Lb

CUERPO # 4 | Alimentación { Cp = 0.78 BTU/Lb °F  
 AREA = 6,826 Ft<sup>2</sup> | Condiciones de operación { P = 2.3 psia  
 T = 131.9 °F  
 λ = 1018.5 BTU/Lb

CALENTADORES PRIMARIOS

Vapor de calefacción { VAPOR DE ESCAPE  
 DEL PREEVAPORADOR

Alimentación de jugo mezclado. (Jugo en proceso de clarificación) { M = 330,397 Lb/h  
 Cp= 0.88 BTU/Lb °F  
 T<sub>i</sub>= 86 °F  
 T<sub>f</sub>= 158 °F

CALENTADORES SECUNDARIOS

Vapor de calefacción { VAPOR DIRECTO

Alimentación de jugo mezclado. (Jugo en proceso de clarificación) { M = 330,397 Lb/h  
 Cp= 0.88 BTU/Lb °F  
 T<sub>i</sub>= 154.4 °F  
 T<sub>f</sub>= 203 °F

PRECALENTADOR

Vapor de calefacción { VAPOR DIRECTO

Alimentación jugo "claro" { F = 317,181 Lb/h  
 Cp= 0.91 BTU/Lb °F  
 T<sub>i</sub>= 181 °F  
 T<sub>f</sub>= 230 °F

CALENTADORES BAROMETRICOS

T<sub>w</sub> = temp. del agua que entra a los condensadores barométricos = 93.2 °F

T<sub>a</sub> = grado de acercamiento a la temp. de saturación del vapor = 5°F.

T A B L A # 2 :

LISTA DE SIMBOLOS UTILIZADOS EN LOS CALCULOS:

- $W_s$  = Vapor directo.  
 $T_s$  = Temperatura de saturación del vapor directo.  
 $\lambda_s$  = Calor latente de vaporización del  $W_s$ .  
 $F$  = Alimentación de jugo claro.  
 $M$  = Jugo crudo (jugo mezclado en proceso de clarificación)  
 $Q$  = Cantidad de calor cedido o absorbido.  
 $W_r$  = Vapor de escape del preevaporador.  
 $T_r$  = Temperatura de saturación de  $W_r$ .  
 $\lambda_r$  = Calor latente de vaporización de  $W_r$ .  
 $T_i$  = Temperatura inicial.  
 $T_f$  = Temperatura final.  
 $\Delta T$  = Diferencia de temperatura =  $T_f - T_i$ .  
 $C_p$  = Calor específico a presión constante.  
 $S$  = Primer jugo conc. que sale del preevaporador.  
 $W_d$  = Cantidad de vapor de escape del preevap. al sistema de cuádruple efecto (lado derecho del preev.).  
 $L_d$  = Cantidad de jugo que entra al primer cuerpo del sistema de cuádruple efecto (lado derecho del preev.).  
 $L_i$  = Cantidad de jugo que entra al primer cuerpo del sistema de cuádruple efecto (lado izquierdo del preev.).  
 $W_1, W_2, W_3, W_4$  = Evaporaciones producidas en los respectivos cuerpos de cada sistema de cuádruple efecto.

CONTINUACION DE LA TABLA # 2...

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  = Calor latente de vaporización de los vapores producidos en los respectivos cuerpos de cada sistema de cuádruple efecto.

Cj = Cantidad de meladura saliendo en el último efecto del sistema de cuádruple efecto (lado izquierdo del preev.)

Cf = Cantidad de meladura saliendo en el último cuerpo del sistema de cuádruple efecto (lado derecho del preev.)

Bxe = Brix correspondiente a la entrada del cuerpo.

Bxs = Brix correspondiente a la salida del cuerpo.

Wt = Cantidad total de agua evaporada de cada sistema de cuádruple efecto (suma de las evaporaciones de cada cuerpo).

Tw = Temp. del agua a los condensadores barométricos.

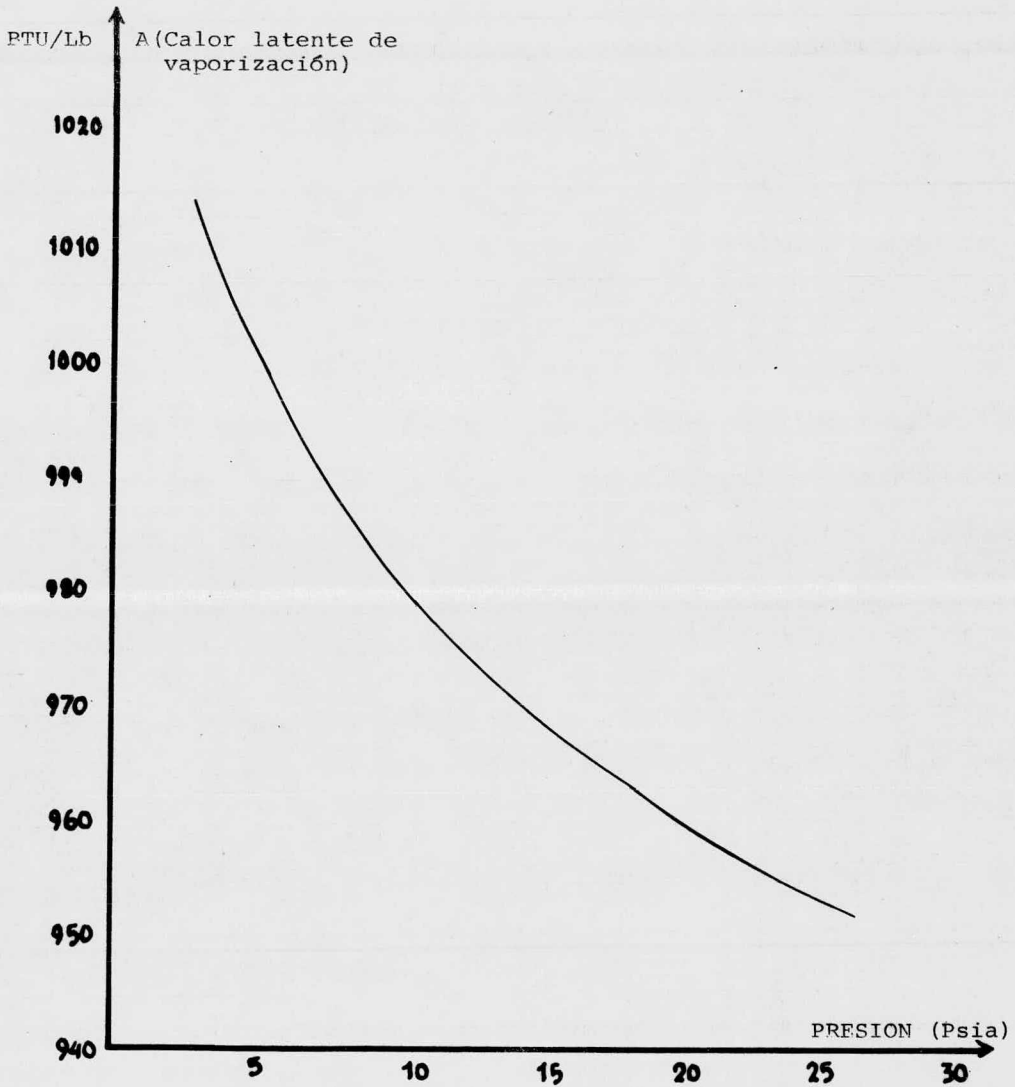
Ta = Temp. referida al grado de acercamiento de Ts

U = Coeficiente de transmisión de calor.

A = Area de transmisión de calor

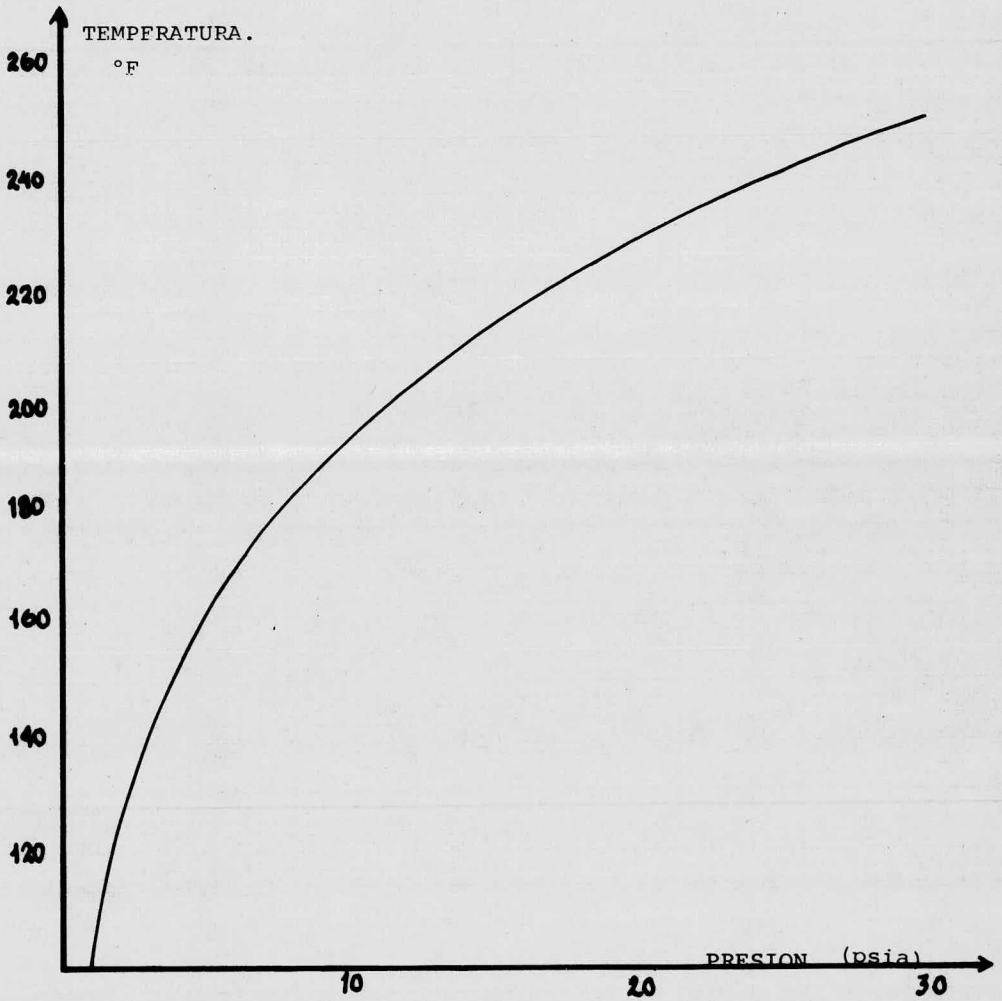
K = Cantidad total de vapor directo.

GRAFICA DE A vs. P  
DEL VAPOE SATURADO

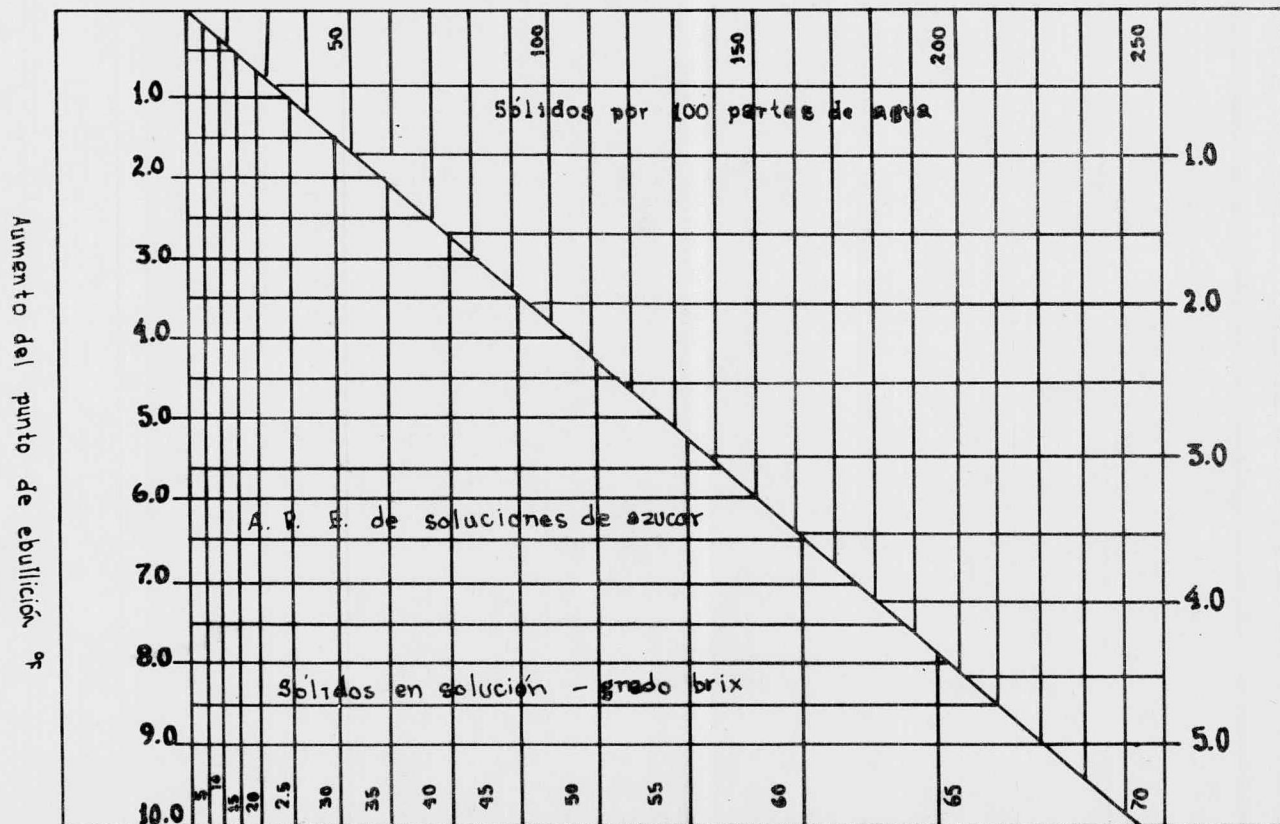


GRAFICA # 2

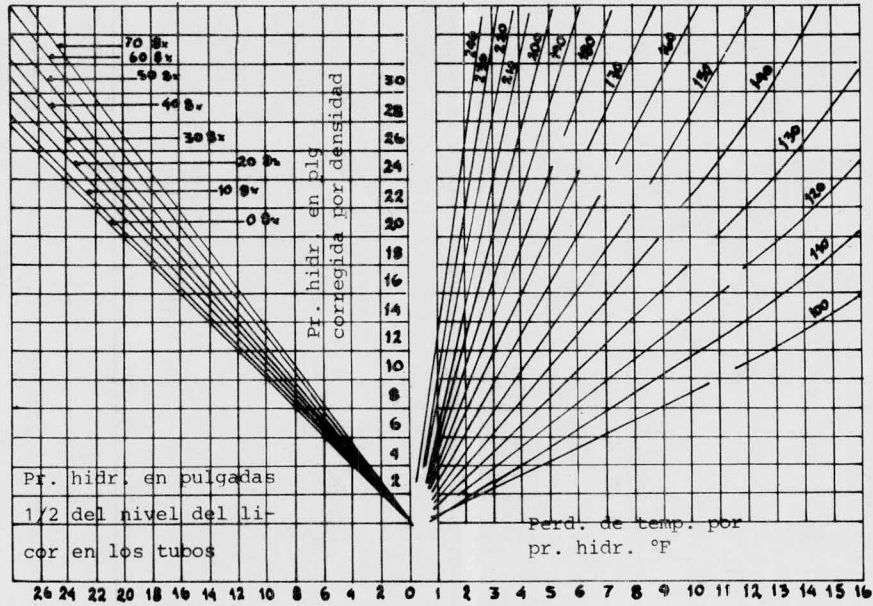
G R A F I C A T vs P  
DEL VAPOR SATUPADO





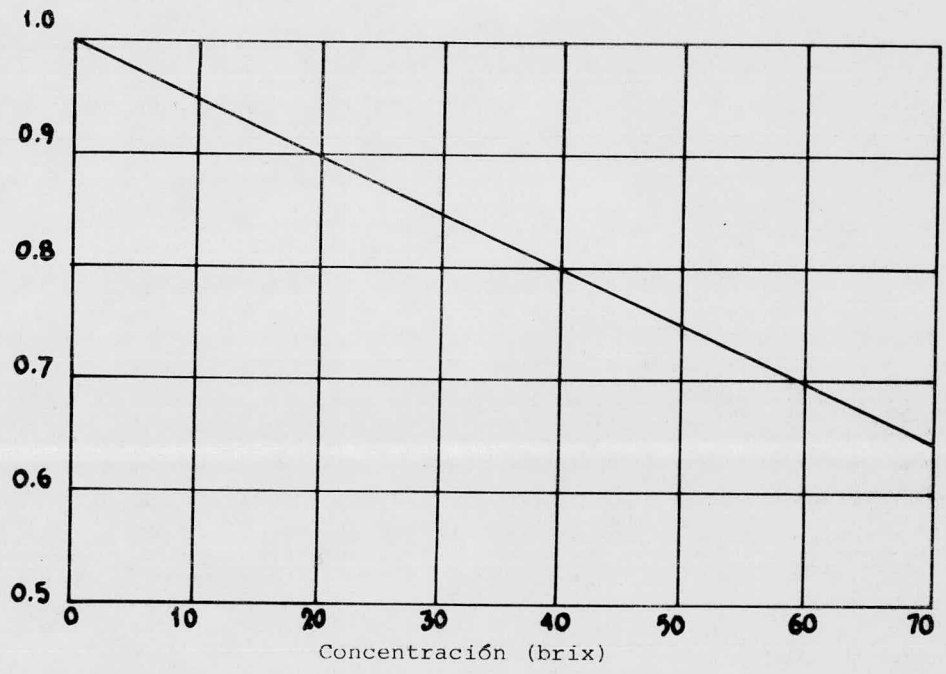


Aumento del punto de ebullición de Soluciones de azucar.



PERDIDA DE TEMP. POR EFECTO HIDROSTATICO

CALOR ESPECIFICO  $\frac{\text{BTU}}{\text{Lb } ^\circ\text{F}}$



GRAFICA # 5.- CALORES ESPECIFICOS DE SOLUCIONES DE AZUCAR

#### d) DESARROLLO DE LOS CALCULOS

Para el cálculo de los balances de materia y energía, se tomaron los datos necesarios reales que imperan en la marcha del Departamento de Evaporación ya anteriormente indicados. - Se realizaron observaciones durante un mes más o menos, y se tomaron los promedios de los valores obtenidos de tal manera de tener finalmente un patrón de datos que fueran representativos.

En el diagrama "A" del Departamento de Evaporación puede visualizarse las condiciones de operación, flujos de la alimentación de jugo y de vapor de calefacción de los equipos necesarios, abastecimiento de vapor a los sistemas de cuádruple efecto y preevaporador, etc. De acuerdo a este diagrama, - el preevaporador tiene que proporcionar el vapor necesario para los calentadores primarios del jugo en su proceso de clarificación y la otra fracción de este vapor se utilizará como elemento calefactor al primer cuerpo del sistema cuádruple efecto (lado derecho del preevaporador, diagrama "A"). Este vapor generado por el preevaporador, es el resultado de la evaporación del jugo clarificado en su primer paso de concentración. Este primer concentrado es dividido en partes iguales y alimentado a cada sistema de cuádruple efecto para su concentración final que es la meladura. Posteriormente, esta meladura es almacenada y tramitada al sistema de cristalización en otros evaporadores que trabajan individualmente y se les llama "tachos".

El cuádruple efecto (lado izquierdo del preevaporador, - diagrama "A"), su primer cuerpo es alimentado con vapor directo como elemento calefactor, este mismo vapor es utilizado para el precalentador de jugo claro.

La secuencia de cálculo en forma general y que concluirá en conocer en última instancia la relación de evaporación o - sea las Libras o Kgs de agua evaporada de cada cuádruple efecto por cada Libra o Kg de vapor alimentado que eso es nuestro objetivo primordial, será en primer término la selección de - una base de cálculo, la determinación de magnitudes que puedan definirse más fácilmente a través de cálculos en base de otros datos ya conocidos, y establecer finalmente los balances de materia y energía necesarios, planteando las ecuaciones o relaciones que incluyen las variables desconocidas. En cada planteamiento de los balances a través de sus ecuaciones, determinación de ciertas cantidades, pesos inmediatos o cualquier --- otra relación que sirva para ir dejando determinado el sistema a través de los cálculos realizados, se indicarán de antemano en qué tipo de equipos o sección se van realizando. Así mismo, para los cálculos respectivos se hará uso de la simbología que aparece en la Tabla # 2 que ya se había mencionado anteriormente; así también se hará uso de las gráficas: 1, 2, 3, 4 y 5 -- que fueron extraídas de los libros, para corregir y leer las - propiedades de los flúidos que se manejarán en el Departamento de Evaporación.

En el diagrama "A", en cada cuerpo se especifica ciertas condiciones de trabajo, y en la parte inferior del dibujo de cada cuerpo se anotan los valores de las temperaturas corregidas por Brix y presión hidrostática, cuyas temperaturas en última instancia son con las que se trabajarán. La base de -- cálculo será una hora de trabajo.

Comenzaremos los cálculos en donde el preevaporador y el cuádruple efecto (lado derecho del preev.) así como los calentadores primarios se encuentran más interrelacionados.

Balance de sólidos en el preevaporador:

$$F. B_{xe} = S. B_{xs} ; S = \frac{F B_{xe}}{B_{xs}} = \frac{(317,181)(16)}{18.5} = 274,319 \text{ Lb}$$

$$\text{primer conc. del preevap.} = S = 274,319 \text{ Lb} = 124,266.5 \text{ Kg.}$$

$$\text{Vapor generado en el preevap.} = F - S = W_r = 317,181 - 274,319$$

$$= 42,862 \text{ Lb}$$

$$W_r = 42,862 \text{ Lb} = 19,416.5 \text{ Kg.}$$

Cantidad de vapor directo al preevaporador:

$W_s \lambda_s = F C_p \Delta t + W_r \lambda_r$  ..... Balance de calor  
 substituyendo valores y despejando  $W_s$ , tenemos:

$$W_s = \frac{F C_p \Delta t + W_r \lambda_r}{s} = \frac{(317,181)(0.91)(243.5 - 230) + (42,862)(951.2)}{946.8}$$

$$W_s = 47,176.7 \text{ lb} = 21,371 \text{ kg}$$

Con esta cantidad de vapor generado por el preevaporador, se distribuirá para los calentadores primarios el sistema cuadruple efecto (lado derecho).

VAPOR NECESARIO A LOS CALENTADORES PRIMARIOS:

$$Q = M C_p \Delta t = W_r \lambda_r = (330,397) (0.88) (158 - 86) = W_r 951.2$$

$$W_r = \frac{20,933,953}{951.2} = 22,008 \text{ lb}$$

$$W_r = \underline{22,008 \text{ lb} = 9,969.6 \text{ kg}}$$

VAPOR DISPONIBLE PARA EL SISTEMA CUADRUPLE EFECTO:

(Lado derecho)

$$W_d = 42,862 - 22,088 = 20,854$$

$$W_d = \underline{20,854 \text{ lb} = 9,446.8 \text{ kg}}$$

"BALANCE EN EL SISTEMA CUADRUPLE EFECTO (lado derecho)"

$$\text{Vapor Disponible} = W_d = 20,854 \text{ lb}$$

$$\text{Alimentación jugo al sistema} = L_d = 153,020 \text{ lb a } 18.5 \text{ Bx}$$

$$\underline{\text{CANTIDAD MELADURA:}} (L_d) (18.5) = (C_f) (61)$$

$$C_f = \frac{(153,020) (18.5)}{61} = 46,407.7 \text{ lb}$$

$$C_f = \underline{46,407.7 \text{ lb} = 21,022.7 \text{ kg}}$$

AGUA TOTAL EVAPORADA POR EL SISTEMA = (Wt)

$$Wt = Ld - Cf = 153,020 - 46,407.7 = 106,612.3 \text{ Lb}$$

$$Wt = \underline{106,612.3 \text{ lb} = 48,295.4 \text{ Kg}}$$

Con los cálculos previos anteriores y el siguiente sistema de ecuaciones de balances de materia y energía nos servirá para calcular las evaporaciones en cada cuerpo, luego seguiremos con el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor en base a temperaturas corregidas y así mismo calcularemos el agua necesaria al condensador, para la condensación de la evaporación del último efecto.

$$Wd\lambda_r + Ld C_p\Delta t = W_1\lambda_1 \dots (1) \text{ Balance de calor}$$

$$W_1\lambda_1 + (Ld - W_1) C_p\Delta t = W_2\lambda_2 \dots (2) \text{ Balance de calor}$$

$$W_2\lambda_2 + (Ld - W_1 - W_2) (C_p) \Delta t = W_3\lambda_3 \dots (3) \text{ Balance de calor}$$

$$W_3\lambda_3 + (Ld - W_1 - W_2 - W_3) C_p\Delta t = W_4\lambda_4 \dots (4) \text{ Balance de calor}$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = Wt \dots (5) \text{ Balance de materia (vapor).}$$

Substituyendo valores conocidos y haciendo los despejes -- convenientes tenemos:

$$(20,854) (951.2) + (153,020) (0.88) (243.5 - 221.6) = 964.5 W_1 \dots (1)$$

$$964.5 W_1 + (153,020 - W_1) (0.86) (221.6 - 197) = 980 W_2 \dots (2)$$

$$980 W_2 + (153,020 - W_1 - W_2) (0.83) (197 - 175.2) = 996 W_3 \dots (3)$$



$$996 W_3 + (153,020 - W_1 - W_2 - W_3) (0.78) (175.2 - 143.7) = 1018.5 W_4 \quad (4)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 106,612.3 \quad (5)$$

Desp.  $W_1$  de 1 tenemos:

$$19,836,324 + 2,949,001.4 = 964.5 W_1$$

$$W_1 = \frac{22,785,325}{964.5} = 23,774 \text{ lb}$$

$$W_1 = \underline{23,774 \text{ lb} = 10,769.6 \text{ kg}}$$

Desp.  $W_2$  de 2 tenemos:

$$22,785,348 + 2,737,501.7 = 980 W_2$$

$$W_2 = \frac{25,522,849}{980} = 26,193.7 \text{ lb}$$

$$W_2 = \underline{26,193.7 \text{ lb} = 11,865.7 \text{ kg}}$$

Desp.  $W_3$  de 3 tenemos:

$$25,522,140 + 1,870,056.5 = 996 W_3$$

$$W_3 = \frac{27,392,165}{996} = 27,652.2 \text{ lb}$$

$$W_3 = \underline{27,652.2 \text{ lb} = 12,526.4 \text{ kg}}$$

Desp.  $W_4$  de 4 tenemos:

$$27,392,191 + 1,863,636.9 = 1,018.5 W_4$$

$$996 W_3 + (153,020 - W_1 - W_2 - W_3) (0.78) (175.2 - 143.7) = 1018.5 W_4 \cdot (4)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 106,612.3 \dots \dots \dots (5)$$

Desp.  $W_1$  de 1 tenemos:

$$19,836,324 + 2,949,001.4 = 964.5 W_1$$

$$W_1 = \frac{22,785,325}{964.5} = 23,774 \text{ lb}$$

$$W_1 = \underline{23,774 \text{ lb} = 10,769.6 \text{ kg}}$$

Desp.  $W_2$  de 2 tenemos:

$$22,785,348 + 2,737,501.7 = 980 W_2$$

$$W_2 = \frac{25,522,849}{980} = 26,193.7 \text{ lb}$$

$$W_2 = \underline{26,193.7 \text{ lb} = 11,865.7 \text{ kg}}$$

Desp.  $W_3$  de 3 tenemos:

$$25,522,140 + 1,870,056.5 = 996 W_3$$

$$W_3 = \frac{27,392,165}{996} = 27,652.2 \text{ lb}$$

$$W_3 = \underline{27,652.2 \text{ lb} = 12,526.4 \text{ kg}}$$

Desp.  $W_4$  de 4 tenemos:

$$27,392,191 + 1,863,636.9 = 1,018.5 W_4$$

$$W_4 = \frac{27,392,191 + 1,863,636.9}{1,018.5} = \frac{29,255,827}{1,018.5} = 28,874.4 \text{ lb}$$

$$W_4 = \underline{28,874.4 \text{ lb} = 13,080 \text{ kg}}$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 23,774 + 26,193.7 + 27,652.2 + 28,874.4 = \\ = 106,494.3 \text{ lb}$$

$$\% \text{ Error de evaporación total} = \left( \frac{106,612.3 - 106,494.3}{106,612.3} \right) \times 100 = 0.11\%$$

Este porciento de error se refiere a la evaporación calculada - en base a la alimentación, meladura y brix correpondientes con respecto a la calculada por el sistema de ecuaciones del balance de energia y materiales.

Cálculo de los coeficientes de transmisión de calor del preevaporador y de cada cuerpo de este sistema cuádruple efecto (lado derecho).

$$U \text{ preev.} = \frac{Q}{A \Delta t} = \frac{(47,176.7) (946.8)}{(15,017) (249.2 - 243.5)} = \frac{44,666,899}{85,596.9} = 521.8$$

$$U \text{ preev.} = 521.8 \text{ BTU/ofhrft}^2 = \underline{\underline{2,547.6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}}}$$

$$U_1 = \frac{Wd\lambda r}{A \Delta t} = \frac{19,836,324}{(7,503) (243.5 - 221.6)} = \frac{19,836,324}{164,315.7} = 121$$

$$U_1 = \underline{\underline{121 \text{ BTU/ofhrft} = 590.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}}}$$

$$U_2 = \frac{W_1 \lambda_1}{A \Delta t} = \frac{22,785,348}{(5,633)(221.6 - 197)} = \frac{22,785,348}{138,571.8} = 164$$

$$U_2 = 164 \text{ BTU/ofhrft}^2 = 800.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

$$U_3 = \frac{W_2 \lambda_2}{A \Delta t} = \frac{25,522,140}{(5,637)(197 - 175.2)} = \frac{25,522,140}{122,886.6} = 207.7$$

$$U_3 = 207.7 \text{ BTU/ofhrft}^2 = 1,014.1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

$$U_4 = \frac{W_3 \lambda_3}{A \Delta t} = \frac{27,392,191}{(6,826)(175.2 - 143.7)} = \frac{27,392,191}{215,019} = 127$$

$$U_4 = 127 \text{ BTU/ofhrft}^2 = 620.1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

#### CANTIDAD DE AGUA AL CONDENSADOR BAROMETRICO

La cantidad de agua que debe entrar al condensador para la condensación de la evaporación del último efecto, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Gal/min} = \frac{Q}{500 (T_s - T_w - T_a)}$$

donde:  $Q = W_4 \lambda_4$  = Cantidad de calor del vapor del último efecto (BTU)

$T_s$  = Temperatura de saturación del vapor ( $^\circ\text{F}$ )

$T_w$  = Temperatura del agua ( $^{\circ}\text{F}$ )

$T_a$  = Grados de acercamiento a  $T_s$  ( $5^{\circ}\text{F}$ )

Substituyendo valores:

$$\text{Gal/min} = \frac{29,306,726}{500 (143.7 - 93.2 - 5)} = \frac{29,306,726}{22,750} = 1,288.2$$

$$\begin{aligned} \text{AGUA AL CONDENSADOR} &= \underline{1,288.2 \text{ Gal/min}} \\ &= \underline{292.5 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}} \end{aligned}$$

BALANCE EN EL CUADRUPLE EFECTO (lado izquierdo del preev.).

Este sistema está alimentado con vapor directo y con la otra fracción del jugo que sale del preevaporador. Calcularemos la cantidad de vapor directo para esa alimentación, las evaporaciones en cada efecto, los coeficientes de transmisión de calor y la cantidad de agua al condensador barométrico.

$$\begin{aligned} \text{Alimentación de jugo que entra al primer efecto} &= \\ = L_i = S - L_d = 274,319 - 153,020 &= 121,299 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$L_i = \underline{121,299 \text{ lb a } 18.5 \text{ bx} = 54,948 \text{ kg}}$$

Cantidad de meladura y agua total evaporada

$$(L_i) (18.5) = (C_j) (62) ; (121,299) (18.5) = (C_j) (62)$$

$$C_j = \frac{(121,299) (18.5)}{62} = 36,194 \text{ Lb}$$

$$C_j = \underline{36,194 \text{ lb} = 16,395.9 \text{ kg}}$$

$$\text{Agua Evaporada (Wt)} = \text{Li} - \text{Cj} = 121,299 - 36,194 = 85,105 \text{ lb}$$

$$\text{Wt} = \underline{85,105 \text{ lb} = 38,552.6 \text{ kg}}$$

Balance de calor y materia en el Sistema

$$W_s \lambda_s + \text{Li} \text{ Cp} \Delta t = W_1 \lambda_1 \dots \dots \dots (1) \text{ Balance de calor}$$

$$W_1 \lambda_1 + (\text{Li} - W_1) \text{ Cp} \Delta t = W_2 \lambda_2 \dots \dots \dots (2) \text{ Balance de calor}$$

$$W_2 \lambda_2 + (\text{Li} - W_1 - W_2) \text{ Cp} \Delta t = W_3 \lambda_3 \dots \dots \dots (3) \text{ Balance de calor}$$

$$W_3 \lambda_3 + (\text{Li} - W_1 - W_2 - W_3) \text{ Cp} \Delta t = W_4 \lambda_4 \dots \dots \dots (4) \text{ Balance de calor}$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = \text{Wt} \dots \dots \dots (5) \text{ Balance de vapor}$$

Substituyendo los valores conocidos, tenemos:

$$(W_s) (946.8) + (121,299) (0.88) (243.8 - 240.8) = 952.2 W_1 \dots \dots \dots (1)$$

$$(952.2) W_1 + (121,299 - W_1) (0.86) (240.8 - 229.8) = 960 W_2 \dots \dots \dots (2)$$

$$(960) W_2 + (121,299 - W_1 - W_2) (0.83) (229.8 - 208.5) = 974.4 W_3 \dots \dots \dots (3)$$

$$(974.4) W_3 + (121,299 - W_1 - W_2 - W_3) (0.78) (208.5 - 173.2) = 998.3 W_4 \dots \dots \dots (4)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 85,105 \text{ lb} \dots \dots \dots (5)$$

La solución de este sistema de ecuaciones se hizo por tan

tanteos, es decir, dando valores a  $W_s$  y obteniendo los valores de  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  y  $W_4$  de tal manera de encontrar una  $W_s$  que correspondiera a un valor de  $W_t$  igual a 85,105 lb.

Algunos valores supuestos de  $W_s$  fueron:

$$W_s = 19,540 \text{ lb que correspondió a } W_t = 85,355 \text{ lb}$$

$$W_s = 19,500 \text{ lb que correspondió a } W_t = 85,206 \text{ lb}$$

$$W_s = 19,470 \text{ lb que correspondió a } W_t = 85,180 \text{ lb}$$

$$W_s = 19,400 \text{ lb que correspondió a } W_t = 84,835 \text{ lb}$$

El valor más aceptable que se tomó fue de  $W_s = 19,465 \text{ lb} = 8,817.6 \text{ kg}$ . De acuerdo a ese valor de 19,465, las evaporaciones en cada efecto fueron:  $(19,465) (946.8) + (121,299) (0.88) (243.8 - 240.8) + 952.2 W_1$

$$18,429,462 + 405,326.8 = 952.2 W_1$$

$$W_1 = \frac{18,834,788}{952.2} = 19,780 \text{ lb}$$

$$W_1 = \underline{19,784 \text{ lb} = 8,962.1 \text{ kg}}$$

$$(19,784) (952.2) + (121,299 - 19,784) (0.86) (240.8 - 229.8) = 960 W_2$$

$$18,834,788 + 960,369.7 = 960 W_2$$

$$W_2 = \frac{19,795,157}{960} = 20,625 \text{ lb}$$

$$W_2 = \underline{20,625 \text{ lb} = 9,343.1 \text{ kg}}$$

$$(20,625) (960) + (121,299 - 19,784 - 20,625) (0.83) (229.8 - 208.5) = 974.4 W_3$$

$$19,795,157 + 1,430,213.4 = 974.4 W_3$$

$$W_3 = \frac{21,225,370}{974.4} = 21,790 \text{ lb}$$

$$W_3 = \underline{21,790 \text{ lb} = 9,870.9 \text{ kg}}$$

$$(21,790) (974.4) + (121,299 - 19,784 - 20,625 - 21,790) (0.78) (208.5 - 173.2) = 998.3 W_4$$

$$21,225,370 + 1,627,699.9 = 998.3 W_4$$

$$W_4 = \frac{22,853,069}{998.3} = 22,900 \text{ lb}$$

$$W_4 = \underline{22,900 \text{ lb} = 10,373.7 \text{ kg}}$$

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 19,784 + 20,625 + 21,790 + 22,900 = 85,099$$

$$= 85,105 \text{ lb} = 38,552.6 \text{ kg.}$$

Por lo tanto el  $W_s$ , supuesto de 19,465 lb, corresponde a una evaporación total de acuerdo a la resolución del sistema de ecuaciones de 85,099 que es prácticamente igual a 85,105 lb. (38,552.6 kg).



Cálculo de los coeficientes de transmisión de calor de cada efecto del sistema cuádruple efecto (lado izquierdo)

$$U_1 = \frac{W_s \lambda_s}{A \Delta t} = \frac{(19,465) (946.8)}{(8,329) (249.2 - 240.8)} = \frac{18,429,462}{69,963.6} = 263$$

$$U_1 = 263 \text{ BTU/ofhrft}^2 = 1,284.1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

$$U_2 = \frac{W_1 \lambda_1}{A \Delta t} = \frac{19,784) (952.2)}{(6,899) (240.8 - 229.8)} = \frac{18,838,324}{75,889} = 248$$

$$U_2 = 248 \text{ BTU/ofhrft}^2 = 1,210.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

$$U_3 = \frac{W_2 \lambda_2}{A \Delta t} = \frac{(20,625) (960)}{(7,203) (229.8 - 208.5)} = \frac{19,795,157}{153,423.9} = 129$$

$$U_3 = 129 \text{ BTU/ofhrft}^2 = 629.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

$$U_4 = \frac{W_3 \lambda_3}{A \Delta t} = \frac{(21,790) (974.4)}{(6,826) (208.5 - 173.2)} = \frac{21,232,176}{240,957.8} = 88$$

$$U_4 = 88 \text{ BTU/hrofft}^2 = 429.6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}}$$

Cantidad de Agua al Condensador

Como en el caso anterior, la cantidad de agua al condensador se calcula por la ecuación siguiente:

$$\text{Gel/min} = \frac{Q}{500 (T_s - T_w - T_a)} =$$

$$Q = \text{Cantidad de calor del último vapor} = W_4 \lambda_4 \text{ (BTU)}$$

$$T_s = \text{Temperatura de saturación del vapor (°F)}$$

$$T_w = \text{Temperatura del agua (°F)}$$

$$T_s = \text{Grados de acercamiento (°F)} = 5^\circ\text{F}$$

Substituyendo valores, tenemos:

$$\text{Gal/min} = \frac{(22,900) (998.3)}{500 (173.2 - 93.2 - 5)} = \frac{22,853,069}{37,500} = 609.4$$

$$\begin{aligned} \text{AGUA AL CONDENSADOR} &= 609.4 \text{ Gal/min} \\ &= \underline{138.4 \text{ m}^3/\text{hr}} \end{aligned}$$

### CALCULO DE LA CANTIDAD DE VAPOR DIRECTO A CALENTADORES SECUNDARIOS

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de jugo a los calentadores} &= M = 330,397 \text{ lb} = \\ &= 149,669.8 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

$$\text{Temp. Inicial} = 154.4^\circ\text{F} = 68^\circ\text{C}$$

Balance de calor

$$\text{Temp. Final} = 203^\circ\text{F} = 95^\circ\text{C}$$

$$W_s \lambda_s = M C_p \Delta t$$

$$C_p = 0.88 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F} = 0.271 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \quad (W_s) (946.8) = (330,397) (6.88) (230 - 154.4)$$

$$(W_s) (946.8) = 14,130,418$$

$$W_s = \frac{14,130,418}{946.8} = 14,924 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned} \text{VAPOR A CALENTADORES SECUNDARIOS} &= \underline{14,924 \text{ lb}} \\ &= \underline{6,760.6 \text{ kg}} \end{aligned}$$

CANTIDAD DE VAPOR DIRECTO AL PRECALENTADOR DE JUGO CLARO

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de jugo claro al precalentador} &= F = 317,181 \text{ lb} = \\ &= 143,683 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\text{Temp. Inicial} = 181^\circ\text{F} = 82.8^\circ\text{C}$$

$$\text{Temp. Final} = 230^\circ\text{F} = 110^\circ\text{C}$$

Balance de Calor

$$(W_s) (\lambda_s) = F C_p \Delta t$$

$$C_p = 0.91 \text{ BTU/Lb}^\circ\text{F}$$

$$(W_s) (946.6) = (317,181)(0.91)(230-181)$$

$$= 0.280 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$(W_s) (946.6) = 14,143,100$$

$$W_s = \frac{14,143,100}{946.6} = 14,938 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned} \text{VAPOR AL PRECALENTADOR} &= W_s = \underline{14,938 \text{ lb}} = \\ &= \underline{6,767 \text{ kg}} \end{aligned}$$

CANTIDAD DE VAPOR TOTAL UTILIZADO (VAPOR DIRECTO) = K

$$\begin{aligned} K &= \text{VAPOR AL PREEVAPORADOR} + \text{VAPOR AL SISTEMA CUADRUPLE EFECTO} \\ &+ \text{VAPOR A CALENTADORES SECUNDARIOS} + \text{VAPOR AL PRECALENTA--} \\ &\text{DOR DE JUGO CLARO} = 47,176.7 + 19,465 + 14,924 + 14,938 = \\ &= 95,503.7 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$K = \underline{95,503.7 \text{ lb}} = \underline{43,263.2 \text{ Kg}}$$

RELACION DE EVAPORACION

Con los resultados anteriores, tenemos prácticamente de--  
terminado nuestro Sistema de Evaporación en cuanto a los gas--

tos de vapor a cada unidad de servicio, así como el conocimiento de otras características de él. Ahora bien, la relación de evaporación en cada sistema de cuádruple efecto que es nuestro objetivo, es el siguiente:

CUADRUPLE EFECTO, LADO DERECHO DEL PREEVAPORADOR

$$\text{Relación de evaporación} = \frac{\text{Agua evaporada por el sistema}}{\text{vapor de calefacción}}$$

$$\text{Agua evaporada por el sistema} = 106,612.3 \text{ lb} = 48,295 \text{ kg}$$

$$\text{Vapor de calefacción} = 20,854 \text{ lb} = 9,446.8 \text{ kg}$$

$$\text{Relación de evaporación} = \frac{106,612.3 \text{ lb}}{20,854 \text{ lb}} = 5.11$$

RELACION DE EVAPORACION EN EL CUADRUPLE EFECTO LADO DERECHO DEL PREEVAPORADOR = 5.11

CUADRUPLE EFECTO, LADO IZQUIERDO DEL PREEVAPORADOR

$$\text{Relación de evaporación} = \frac{\text{Agua evaporada por el sistema}}{\text{vapor de calefacción}}$$

$$\text{Agua evaporada por el sistema} = 85,105 \text{ lb} = 38,552.6 \text{ kg}$$

$$\text{Vapor de calefacción} = 19,465 \text{ lb} = 8,817 \text{ kg}$$

$$\text{Relación de evaporación} = \frac{85,105 \text{ lb}}{19,465 \text{ lb}} = 4.37$$

RELACION DE EVAPORACION EN EL CUADRUPLE EFECTO LADO IZQUIERDO DEL PREEVAPORADOR = 4.37.

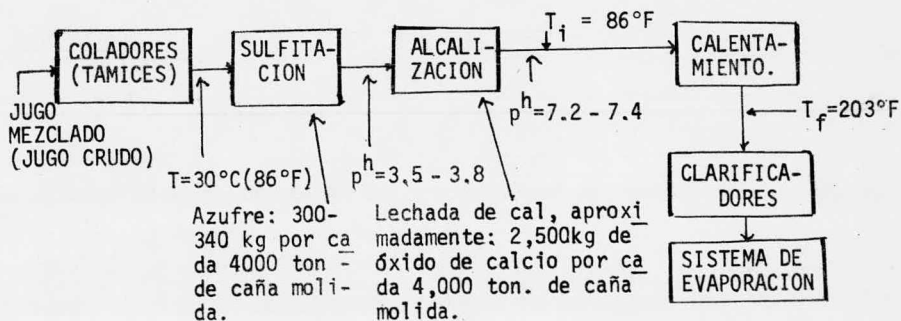
Estos resultados obtenidos respecto a las relaciones de evaporación, serán discutidos en la sección de conclusiones.

## C A P I T U L O    I I I

### ANALISIS DE LOS SIGUIENTES ASPECTOS QUE ESTAN IMPLICADOS EN EL SISTEMA DE EVAPORACION

#### a) CALIDAD DEL JUGO ALIMENTADO. (CLARIFICACION)

Para comenzar, se hace notar que este inciso y el aspecto de incrustaciones están relacionados entre sí, ya que las incrustaciones formadas en los fluxes de los evaporadores dependen enormemente del tipo de clarificación efectuada, es decir, de la calidad del jugo alimentado a los evaporadores. A continuación, se da una ligera descripción del tipo de clarificación como se realiza en el ingenio en cuestión:



En el esquema anterior de clarificación, podemos ver que

los pasos de sulfitación y alcalinización se realizan en frío y posteriormente se realiza la calefacción. La experiencia ha demostrado que la sulfitación antes de la alcalinización - ha dado mejores resultados.

Experimentalmente se ha comprobado que la buena coagulación de las impurezas exige que la sulfitación se lleve a cabo antes de agregar la cal, bajo las siguientes condiciones:

a) Con una fuerte acidez  $p^h = 3.8$  a  $4.0$  y con temperatura de  $30$  a  $40$  grados centígrados, que es la forma como se realiza en el ingenio que estamos tratando.

b) Con una débil acidez  $p^h = 5.1$  a  $5.3$  y con una temperatura entre  $70$  a  $75$  grados centígrados.

Por otro lado, y como dato adicional, se hace mención de que las técnicas de la India, insisten además en que las operaciones de sulfitación y alcalinización se hagan tan simultáneamente como sea posible.

Estos la trabajan en el mismo aparato y aseguran que los resultados son superiores a los que se obtienen sulfitando antes o después de alcalinización.

El buen control de este sistema influye mucho en cuanto a la decantación, las masas cocidas se cuecen más rápidamente, mejoramiento de la cristalización, mejor color del azúcar, y un aumento ligero de la capacidad de las centrifugas.

Pero para nuestro caso particular, lo interesante es hacer notar las consecuencias del proceso de clarificación sobre el proceso de evaporación.

Para un caso ideal, es lógico pensar que el mejor jugo -- clarificado es aquél que tuviera una pureza de un 100%, es decir, que el guarapo por evaporar fuera exclusivamente una solución de sacarosa, sin ningún otro sólido o impureza. Bajo esta condición es fácil pensar que no ocurrirá ninguna incrustación en los evaporadores; pero en la práctica los procesos de sulfitación, o alcalinización no han logrado con su efectividad un 100% de pureza. De acuerdo a esto, ¿hasta qué punto influye cada uno de los pasos de clarificación utilizados en el ingenio en cuestión, para el aumento de pureza? Haciendo un ligero análisis de cada uno de los pasos de clarificación - podremos visualizar algunos detalles interesantes:

Sulfitación.- Experimentalmente se ha comprobado que el anhídrido sulfuroso tiene sobre el jugo los siguientes efectos:

- a) Elimina las materias colorantes.
- b) Transforma en compuestos ferrosos incoloros las sales férricas que son coloridas y que pueden formarse por el contacto del jugo con los tanques, tuberías y molinos.

Estos son básicamente los resultados que se obtienen de la sulfitación.

Alcalinización y calentamiento (defecación simple).- La experiencia ha demostrado que la clarificación con cal seguida de calentamiento del jugo ha sido bastante efectiva. La cal al adicionarla al jugo neutraliza a los ácidos orgánicos que contiene el jugo. Posteriormente es calentado el jugo hasta una temperatura promedio de 230°F. Este tratamiento a base de cal y calor forma un precipitado de composición compleja del cual parte es más ligera y parte es más pesada. Este precipitado contiene sales insolubles de calcio, albúmina coagulada y diversas proporciones de ceras, grasas y gomas que contiene el guarapo. Este precipitado floculento lleva consigo la mayor parte del material fino que está en suspensión en el guarapo y que no ha sido extraído por el tamizado mecánico (coladores). Finalmente, la separación de este precipitado se logra por sedimentación y decantación.

b) LIMPIEZA DE LOS EVAPORADORES (DESINCRUSTACION).

En el transcurso de la operación de un evaporador ocurren incrustaciones tanto en la parte exterior de los fluxes como en la parte interior de ellos. En la parte exterior de estos fluxes, la incrustación es fundamentalmente de aceite que lleva el vapor directo y que lógicamente se encuentra en los cuerpos que reciben este vapor.

El depósito que dejan las incrustaciones y que sucede -



en mayor o menor proporción en todos los cuerpos y cuya limpieza o eliminación es de mayor complejidad que las incrustaciones exteriores es la que se acumula en la parte interior de los fluxes. Este tipo de incrustación, es debido a los materiales en suspensión en el jugo, que han sido mal separados por una defecación y filtración defectuosas.

Este tipo de material se deposita generalmente en el -- primer cuerpo. En el último cuerpo es muy susceptible de -- incrustarse con materiales no-azúcares que están en solución y que se insolubilizan conforme aumenta la concentración del jugo.

Las incrustaciones tienen una composición química generalmente a base de:

- 1) Sales de calcio (fosfatos, sulfatos, oxalatos y carbonatos).
- 2) Oxidos metálicos de: magnesio, aluminio y fierro.
- 3) Sílice, el cual se forma en mayor cantidad en el último cuerpo.

En los ingenios donde se emplea la sulfitación (como en el caso particular del ingenio en cuestión), éstos pueden -- formar hasta el 30% de las incrustaciones, cuando la acidez del jugo es menor de un  $p^h = 6.7$ . Para disminuir esto, se defeca el jugo hasta un  $p^h = 7.2$  (en el caso particular de nosotros, el  $p^h$  de defecación se realiza entre un  $p^h$  de 7.2 a -- 7.4) y evitando que la temperatura disminuya entre la sulfita

ción y la evaporación. Se ha comprobado que las incrustaciones más duras son las sulfatadas, y las más suaves son las silicósicas que tienen una textura porosa.

Debido a este tipo de problemas que se presentan sobre las incrustaciones, se hace necesario una parada semanal por lo general en los ingenios, con la finalidad de limpiar los cuerpos.

Limpieza de los evaporadores. La limpieza se lleva a cabo de dos maneras:

- a) Mecánicamente, por raspadores o barrenadores.
- b) Químicamente, pasando por lo general sosa y ácido.

Ya que el ingenio que estamos tratando, la limpieza que se practica es la química, hablaremos de ella. Este procedimiento consiste en hervir dentro de los cuerpos una solución de sosa y de ácido. La sosa disuelve principalmente oxalatos y silicatos. El ácido clorhídrico que es el que comúnmente se utiliza, disuelve principalmente carbonatos, sulfatos y fosfatos. Las concentraciones de sosa y de ácido varían de un ingenio a otro, así como de distintas áreas geográficas; pero en lo que respecta al ácido clorhídrico se recomienda que la concentración máxima no exceda del 2%, ya que puede ocasionar ataque corrosivo de los cuerpos.

SPENGLER (F A S agosto de 1942) recomienda el siguiente sistema de limpieza:

- 1) Paso de ácido clorhídrico (sol. al 1%)
- 2) Lavado de agua.
- 3) Paso de hidróxido de sodio (sol. al 8%).

En Java (F A S 1932) se hace hervir primero una solución al 2% o 5% de sosa cáustica, en seguida una solución al 0.25% de ácido clorhídrico. El mismo reporte afirma que soluciones más concentradas no dan mejores resultados.

En el ingenio que estamos tratando, la limpieza por lo general se realiza cada semana (de preferencia los domingos) de la siguiente forma:

- 1) Se hierve primeramente una solución de ácido clorhídrico del 2% al 3% aproximadamente durante dos horas y se desecha este ácido después de su uso.

- 2) Posteriormente se realiza un enjuague con agua pura durante un tiempo de diez minutos aproximadamente.

- 3) En seguida se hierve una solución de sosa entre 25 a -- 30 grados baumé de concentración durante un tiempo entre 5 a 5 horas y media. Esta solución por lo general se guarda y se le puede utilizar para otra limpieza.

- 4) Por último, se realizan dos enjuagues con agua pura con una duración de 10 minutos cada uno aproximadamente.

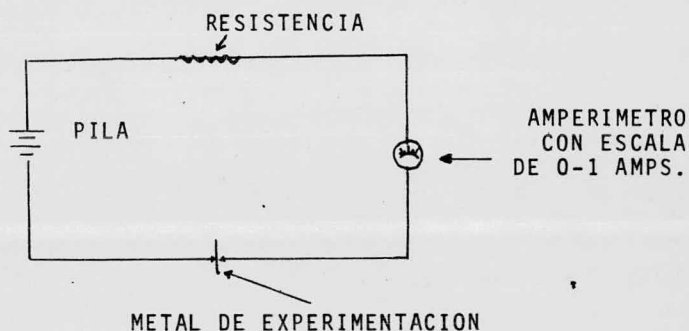
Experimento de desincrustación. Como hemos mencionado -- anteriormente, una cantidad considerable de las impurezas que -

contiene el jugo, especialmente de las sales minerales, se hacen menos solubles a medida que aumenta la concentración de dicho jugo, y como es sabido, gran parte de estas impurezas se depositan en la superficie calórica del evaporador, formando una incrustación dura. Esta incrustación es mala conductora del calor, y tiene que ser eliminada periódicamente, para mantener la eficacia de los efectos. Este es pues el mayor factor limitante de todos los evaporadores. Cuando el metal está limpio, siempre hay amplia capacidad pero tan pronto comienza a incrustarse o ensuciarse las superficies calóricas, la capacidad disminuye; muy rápidamente al principio, y después muy lentamente, hasta que al final de cierto período es necesario parar el evaporador para limpiarlo como dejamos señalado anteriormente, ya que la capacidad ha quedado disminuida a un nivel que resulta inadecuado para el trabajo. El período de operación entre una limpieza y la siguiente varía según las condiciones locales. Algunas veces no dura más que tres días y otras llega hasta las dos semanas. En Cuba, Puerto Rico, la República Dominicana y México, el procedimiento normal es una vez por semana.

Existen varias fórmulas y formas para la limpieza de los cuerpos, que se han realizado en base a la calidad de la caña, tipo de clarificación y localización geográfica de las siembras de caña y del ingenio. Es muy importante no confiarse en el aspecto, como una cosa definitiva que proporciona el me

tal después de habersele dado el tratamiento de desincrustación, ya que HUGOT menciona el caso de una fábrica en la cual después de haberse tratado el metal, los tubos o fluxes quedaban pulidos y brillantes y, sin embargo, el aparato trabajaba mal. Investigando más de cerca pudo observarse que los tubos contenían un anillo interior de incrustación muy dura con el aspecto de ágata pulida. En base a la observación que menciona HUGOT, se formuló el siguiente experimento en el cual se utilizan las mismas sustancias y tiempos de tratamiento en similitud con el ingenio que estamos viendo. El objetivo de esta sencilla experiencia es ver las proporciones (concentraciones) de sosa y ácido clorhídrico así como la combinación entre ellas que resulte más recomendable. Para esto se prepararon soluciones estándar de concentración conocidas de las sustancias anteriormente mencionadas, tomadas al azar pero en base a algunas que recomienda la literatura. Se hace notar, que la concentración más alta de ácido clorhídrico fue del 2% en volumen, ya que este ácido a concentraciones más altas se corre el riesgo de corrosión a los tubos o fluxes como habíamos dejado dicho anteriormente. Para el reconocimiento de que el metal había quedado limpio (exento de incrustaciones) y saber cuáles habían sido las concentraciones óptimas, se tomaron en cuenta dos observaciones, las cuales fueron: una organoléptica y otra de conducción eléctrica. En la primera, se tomó en cuenta su aspecto físico visual, comparado con un metal limpio y la segunda fue la medición al paso

de la corriente eléctrica por el metal después de haber sido tratado, comparado con dos testigos: un metal limpio y uno -- incrustado. Para esta segunda observación, se tomó el hecho de que la incrustación es una resistencia tanto al paso de calor como de la electricidad. Para la realización de la medida de la corriente eléctrica se preparó el siguiente circuito eléctrico:



Como podrá apreciarse en este circuito en serie, consta de una pila de 6 voltios, una resistencia para ajustar el amperaje a la escala del amperímetro, un amperímetro y el metal de experimentación.

Las mediciones del amperaje se realizaron en la siguiente forma:

Se tomó un pedazo del metal incrustado, y se tomó la lectura en el amperímetro el cual fue de cero. Posteriormente -

se intercalaron los metales tratados, y antes de cada lectura de éstos se intercalaba el metal limpio; se tomaron las lecturas de amperaje y se compararon en cada caso con la lectura del metal limpio.

La forma como se realizó la limpieza fue: Se cortaron pedazos de metal de los fluxes incrustados y se trataron de la siguiente manera utilizando las siguientes concentraciones de ácido y de sosa:

Concs. de ácido: 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1%, 1.5% y 2%.

Concs. de sosa: 1%, 3%, 5%, 7%, 7.5% y 8%.

Se practicó el tratamiento, primeramente utilizando la concentración del ácido del 0.25% - luego con cada una de las concentraciones de sosa; después se utilizó el ácido de 0.50% utilizando cada una de las concentraciones de sosa y así sucesivamente hasta llegar a utilizar el ácido de 2%. La manera como se utilizaron estas concentraciones de las substancias mencionadas fue:

- 1) Se hirvió el metal en solución de ácido clorhídrico de la conc. utilizada en cada caso durante dos horas.
- 2) Se hizo un enjuague con agua, aproximadamente durante diez minutos.
- 3) Posteriormente, se hirvió con sosa de la conc. utilizada en cada caso durante cinco horas.

- 4) Finalmente se hicieron dos enjuagues con agua durante 10 minutos cada uno aproximadamente.

El tiempo utilizado para limpieza, se basó en una jornada de trabajo.

Los trabajos obtenidos fueron los siguientes:

Testigos	Amps.	Aspecto Físico
Metal limpio	0.74	Brillante, color amarillo uniforme y pulido.
Metal sucio	0	Opaco, oscuro, sucio.

#### METALES TRATADOS:

Acido	Sosa	Amps. (M.T.)	Amps. (M.limpio)	Aspecto Físico del m. tratado
1.5%	5%	0.74	0.74	Ligeramente opaco, manchas rojizas.
1.5%	7%	0.74	0.74	Opaco con manchas negras
1.5%	7.5%	0.74	0.74	Color gris oscuro, apariencia de incrustación.
1.5%	1%	0.73	0.73	Color rojizo no uniforme, aspecto sucio.



Acido	Sosa	Amps. (M.T.)	Amps. (M.limpio)	Aspecto Ffsico del m. tratado
1.5	3%	0.73	0.73	Opaco, aspecto sucio, color gris no uniforme.
1.5%	8%	0.73	0.73	Opaco, color rojizo no uniforme, aspecto sucio.
0.75%	1%	0.72	0.72	Marcadamente opaco, color gris obscuro, aspecto de <u>incrustación</u> .
0.75%	3%	0.72	0.73	Opaco, obscuro, aspecto sucio.
0.75%	5%	0.72	0.73	Ligeramente <u>brillante</u> , manchas grises.
0.75%	7%	0.72	0.72	Opaco, color rojizo no uniforme, aspecto sucio.
0.75%	7.5%	0.72	0.72	Opaco, color rojizo no uniforme, manchas con aspecto de <u>in---crustación</u> .
0.75%	8%	0.71	0.72	Opaco, aspecto <u>marcamente</u> sucio.
1%	1%	0.71	0.72	Opaco, color gris <u>po</u> co uniforme, ligeras manchas.

Acido	Sosa	Amps. (M.T.)	Amps. (M.limpio)	Aspecto Ffsico del m. tratado
1%	3%	0.71	0.72	Opaco completamente color café-negro, - con ligeras manchas de incrustación.
1%	5%	0.72	0.72	Opaco, color café, con manchas ligeramente moradas.
1%	7%	0.72	0.72	Opaco completamente color amarillo obscuro.
1%	7.5%	0.72	0.72	Ligeramente brillante, color amarillo café.
1%	8%	0.72	0.72	Opaco totalmente color amarillo claro, algunas manchas grises.
2%	1%	0.72	0.72	Opaco, obscuro, con apariencia de incrustación.
2%	3%	0.72	0.72	Opaco, obscuro, con apariencia de incrustación.
2%	5%	0.72	0.72	Ligeramente brillante, color amarillo obscuro.

Acido	Sosa	Amps. (M.T.)	Amps. (M.limpio)	Aspecto Ffsico del m. tratado
2%	7%	0.72	0.72	Ligeramente brillante, color rojizo, - aspecto sucio con - manchas de incrustación.
2%	7.5%	0.72	0.72	Con regular brillo, aspecto bastante -- limpio.
2%	8%	0.72	0.72	Ligeramente brillante, ligeras manchas de aspecto de in--- crustación.
0.25%	3%	0.72	0-72	Opaco, color rojizo amarillo, aspecto - sucio.
0.25%	5%	0.70	0.72	Opaco completamente color cafe-oscuro sucio.
0.25%	7%	0.71	0.72	Opaco completamente aspecto sucio, co-- lor café-amerillento.
0.25%	7.5%	0.72	0.72	Con regular brillo color amarillo-café ligeras manchas gri ses.

Acido	Sosa	Amps. (M.T.)	Amps. (M.limpio)	Aspecto Ffsico del m. tratado
0.25%	8%	0.72	0.72	Con regular brillo color café violeta uniforme.
0.25	1%	0.71	0.71	Opaco completamente, color rojizo, - con manchas negras.
0.25%	1%	0.71	0.71	Opaco completamente color rojizo, con - manchas negras.
0.5%	1%	0.71	0.71	Opaco, color café, con ligeras manchas grises.
0.5%	3%	0.71	0.71	Ligeramente brillante, color rojizo, - manchas grises.
0.5%	5%	0.71	0.71	Opaco, color amarillo obscuro, ligeras manchas grises.
0.5%	7%	0.71	0.71	Aspecto brillante - color café-morado-u niforme, ligeras -- manchas de aspecto de incrustación.
0.5%	7.5%	0.71	0.71	Opaco, color amarillo-rojizo, con ligeras manchas de aspecto de incrustación.

Acido	Sosa	Amps. (M.T.)	Amps. (M.limpio)	Aspecto Ffsico del m. tratado
0.5%	8%	0.71	0.71	Ligeramente brillante, color amarillo-café uniforme, aspecto marcadamente limpio, sin ningún tipo de manchas.

Aunque el experimento realizado no nos pretende dar a conocer algún modelo sobre el mecanismo de desincrustación, ya que esto no es el objetivo en realidad, pero sí nos da una idea de la potencia de estos reactivos para el tipo de incrustación que se forma en este ingenio.

#### c) CONCENTRACION FINAL DEL GUARAPO

En forma resumida, el proceso de la obtención de azúcar, consta fundamentalmente de los siguientes pasos: molienda, clarificación, evaporación, centrífugación y secado.

Después de haber clarificado el jugo proveniente del departamento de molienda, el siguiente paso a realizar de acuerdo a la secuencia de pasos en el proceso de la obtención de azúcar, es el de la evaporación.

Dentro del aspecto de evaporación, ésta se realiza en dos pasos:

1) Evaporación de cierta cantidad de agua que contiene - el jugo clarificado en un sistema de evaporadores denominado Sistema de Evaporadores en Múltiple Efecto, hasta la obtención de un líquido viscoso llamado "meladura"; esta eliminación de agua que se realiza en estos evaporadores, se le llama "evaporación" propiamente dicho.

2) La meladura obtenida es seguida de otra eliminación de agua, lo cual es realizado en otros evaporadores de simple efecto llamados "tachos". De estos evaporadores, se obtiene una mezcla de cristales y líquido madre, llamado "templa" o -- "masa cocida", lo cual en el líquido madre sólo queda el espacio libre entre los cristales, a esta evaporación que es la final se le llama "Cristalización".

Como vimos, la meladura obtenida en el primer paso de eliminación de agua por el sistema de evaporadores, es tramitada a los tachos que son evaporadores de un solo efecto. En el -- sistema de evaporadores de múltiple efecto se acorta el ciclo de cocimiento que realiza el tacho a medida que el grado de -- concentración se hace mayor de la meladura (brix), respecto al brix inicial del jugo clarificado.

El punto de cristalización del jugo de caña se encuentra entre los 78 y los 80 grados brix. Teóricamente podría lle-- varse la evaporación hasta 72 o 75 grados brix, pero en la --- práctica los tacheros (personas encargadas del funcionamiento de los tachos) tienen la necesidad de una meladura capaz de di

solventes cristales, para el caso que se formen falsos granos al principio de la templa, esta condición es indispensable para obtener un buen cocimiento. Por este motivo, nunca debe pasarse de un brix de 70. En el caso particular del ingenio - que estamos tratando, la meladura que se obtiene tiene un --- brix de 61 en promedio. Ahora, cuando la meladura es muy baja en su concentración (meladura floja), hay problemas en cuanto al aumento del gasto de vapor debido a que los tachos necesitarán más vapor de calefacción para el cocimiento y estos no tienen la propiedad de ahorrar vapor por ser de un solo efecto lo contrario de lo que sucede en los sistemas de múltiple efecto que sí los tienen.

#### d) AREA DE TRANSMISION DE CALOR.

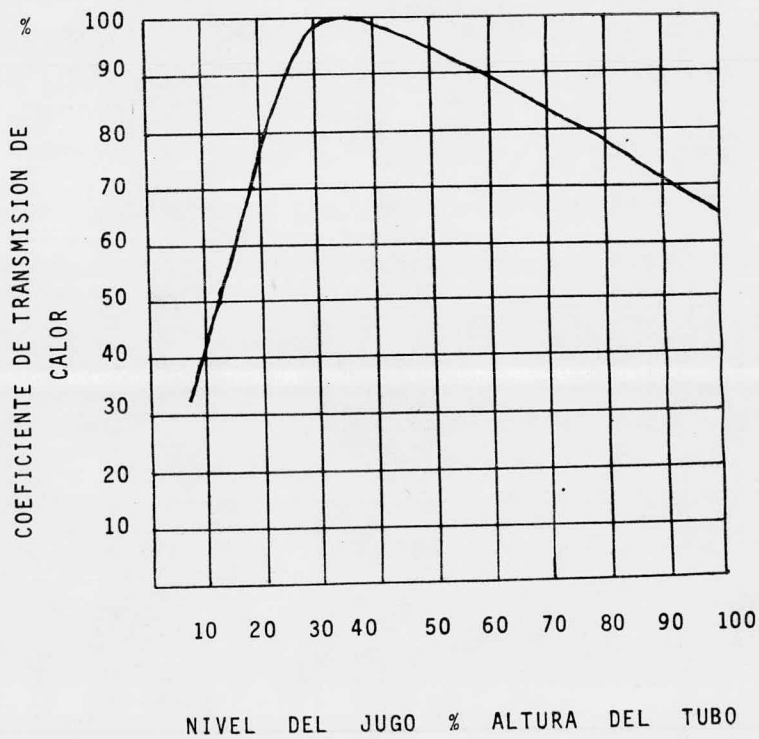
La superficie de transmisión de calor, está considerada - como la superficie interna de los tubos o fluxes medido en toda su longitud, ya que el excedente así admitido compensa más o menos la superficie restante de las placas, que se desechan por lo general. El aprovechamiento correcto de la superficie de calentamiento es obviamente un factor de eficiencia, ya que su mal uso, acarrea consecuencias más o menos graves en el funcionamiento de un sistema de múltiple efecto. De lo anterior, un caso que se presenta con relativa frecuencia es que no se - mantiene el nivel del jugo en los fluxes como lo recomienda la

literatura que debe ser a un tercio de la altura de éstos en los cuerpos y con ligera disminución en los últimos cuerpos; una de las fallas más frecuentes es que el jugo en los fluxes se mantiene a un nivel más bajo que el recomendable, lo cual hace que una parte del área de los tubos quede sin contacto - con dicho jugo, y esto trae como consecuencia variaciones en el coeficiente de transmisión de calor, así como una modificación de las condiciones de presión o vacío que corresponde a un desajuste de la distribución de los gradientes de temperaturas previamente establecidas.

En la gráfica "L" puede verse la variación del coeficiente de transmisión de calor, con respecto al nivel del jugo -- dentro de los tubos.

Un caso importante que se presenta en un sistema de evaporación de múltiple efecto, es la variación del área total; de esto: ¿qué influencia tiene la variación del área total sobre la evaporación total? Considérese un triple efecto de - cuerpos iguales, el cual se le ha agregado otro cuerpo de --- igual área que los anteriores; esto quiere decir que se ha aumentado su área total debido al cuerpo que se le agregó, considerando que no se cambia la presión de vapor de calefacción que calienta al primer cuerpo del sistema, ni el vacío producido por el condensador en el último cuerpo. ¿Cuál sería el efecto sobre la evaporación total? La diferencia de temperatura entre el vapor de calefacción y el vacío correspondiente





GRAFICA "L".- VARIACION DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR, EN FUNCION DEL NIVEL DEL JUGO EN LA CALANDRIA.

al último cuerpo al seguir siendo la misma debe repartirse - entre cuatro cuerpos y no entre tres.

De acuerdo a la fórmula de la transmisión de calor:

$$Q = K A (t_2 - t_1)$$

donde:

Q = cantidad de calor transmitido.

K = coeficiente de transmisión de calor.

A = área de transmisión de calor

$t_2$  = temperatura del fluido caliente

$t_1$  = temperatura del fluido frío.

El coeficiente de transmisión de calor permanece el mismo cada cuerpo sólo dará 3/4 de la evaporación que daba el triple, porque la caída de temperatura a la cual trabajará se redujo a la proporción de 4 a 3. Supongamos que si cada cuerpo en el triple efecto produjo 10,000 libras por hora, el cuádruple sólo dará 7,500 y la evaporación total del cuádruple efecto será --- constante, o sea:

$$(10,000) (3) = 30,000 \text{ lb/h}$$

$$(7,500) (4) = 30,000 \text{ lb/h}$$

es decir, el coeficiente de evaporación de un múltiple efecto - en  $\text{lb/h ft}^2$ , para una misma caída total de temperatura y para una misma área individual de los efectos, es inversamente proporcional al número de cuerpos.

Ahora bien, cuando hay un aumento o disminución del área de un cuerpo en particular, ¿cuál sería el efecto sobre la evaporación total? Para esto veremos dos casos, a saber:

Suponiendo primero que se trata de un cuádruple efecto de cuerpos iguales:

$$A_1 = 1000 \text{ ft}^2; A_2 = 1000 \text{ ft}^2; A_3 = 1000 \text{ ft}^2; A_4 = 1000 \text{ ft}^2;$$

lo cual nos da un área total  $A_t = 4000 \text{ ft}^2$ .

I.- ¿Cuánto disminuirá la evaporación obtenida en este cuádruple efecto de cuerpos iguales, si uno de los cuerpos, el # 3, - por ejemplo, se substituye por un cuerpo de  $800 \text{ ft}^2$ , es decir, si la superficie  $A_3$  se disminuye en un 20% y como consecuencia de esto el área total en un 5%? O sea, que debe compararse la evaporación con elcuádruple:

$$A_1 = 1000 \text{ ft}^2; A_2 = 1000 \text{ ft}^2; A'_3 = 800 \text{ ft}^2; A_4 = 1000 \text{ ft}^2;$$

lo cual nos da un área total de  $A'_t = 3800 \text{ ft}^2$ , con lo obtenido en el cuádruple efecto de 4 cuerpos iguales.

Por otro lado, ¿cuánto aumentará la evaporación si el cuerpo # 3, se substituye por uno mayor, por ejemplo, de  $2000 \text{ ft}^2$ ?

En este caso la superficie  $A_3$  se aumentó en un 100% y la total en un 25%. Es decir:

$A_1 = 1000 \text{ ft}^2; A_2 = 1000 \text{ ft}^2; A''_3 = 2000 \text{ ft}^2; A_4 = 1000 \text{ ft}^2$ ; y el área total es  $A''_t = 5000 \text{ ft}^2$ .

II.- El otro caso importante de revisar sería, ¿La disminución o el aumento de la evaporación sería la misma, cualquiera que sea la colocación del cuerpo que es diferente a los otros? Es decir, si el cuerpo disminuido o aumentado sería igual que fuera el #1 o el #2 o el último cuerpo.

Estos dos casos vamos a verlos de la manera siguiente. Para esto, vamos a dar las siguientes consideraciones:

(1) Los límites superior e inferior de temperaturas permanece constante en todos los casos.

(2) La escala de brix no varía. O sea que el cuádruple efecto toma el jugo al mismo brix y lo concentra al mismo brix final como si fuera el cuádruple efecto de cuerpos iguales permaneciendo los brix intermedios constantes. De lo cual se supone que el trabajo de la fábrica se modifica de manera que corresponda a cada caso la capacidad del cuádruple efecto.

Utilizando la fórmula de Dessin:

$$c = 0.001 (100-B) T - 54)$$

donde:

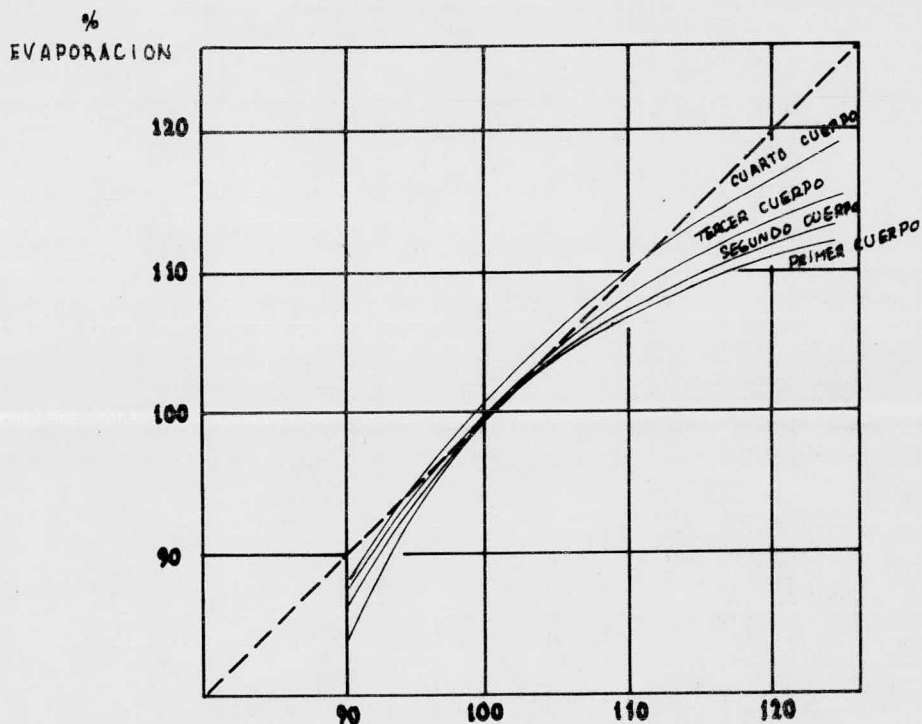
c = son las lb/h/ft<sup>2</sup>/°F

B = brix del jugo a la salida del cuerpo.

T = temperatura del vapor de calentamiento dentro de la calandria,

esta fórmula de Dessin nos proporciona la evaporación de cada cuerpo, como coeficientes por unidad de área, tiempo y por grado de diferencia. Esta fórmula conduce al resultado que se puede ver en la gráfica "M" y se sumalizó en la Tabla "M". Estas curvas y la Tabla "M" se establecieron llevando a las ordenadas la evaporación obtenida en el cuádruple efecto estudiado, uno de cuyos cuerpos es diferente a los otros; la evaporación se relacionó a la del cuádruple efecto de cuerpos iguales (tomada como 100), de cuatro cuerpos iguales que se hubieran formado, haciendo al cuerpo diferente de la misma superficie de los otros tres. Por otro lado, se tomó como variable y se -- llevó a las abscisas, la superficie total del cuádruple efecto estudiado relacionándola igualmente a la superficie del cuádruple efecto de cuerpos iguales que se tomó como 100.

Ejemplo.- Supóngase que se tiene el cuádruple efecto mencionado anteriormente, donde el cuerpo de área  $A_3'' = 2000 \text{ ft}^2$ . Su superficie total  $A_t'' = 125\%$  de la superficie  $A_t$  del cuádruple efecto de cuatro cuerpos iguales. Su evaporación se encontrará en la gráfica "M" en el punto de la abscisa 125, de la curva marcada tercer cuerpo, porque es el tercer cuerpo el que es diferente. Se encuentra entonces: 115.3 lo que significa que -- aún cuando la superficie estudiada es el 125% de la superficie del cuádruple efecto de cuatro cuerpos iguales, la evaporación que produce es sólo el 115.3% de la evaporación de ese cuádruple efecto de cuatro cuerpos iguales.



SUPERFICIE DE UN CUADRUPLE EFECTO DE TRES VASOS IGUALES Y UNO DESIGUAL % SUPERFICIE DE UN CUADRUPLE EFECTO CON CUERPOS IGUALES.

GRAFICA "M".- EVAPORACION OBTENIDA EN UN CUADRUPLE EFECTO CON TRES VASOS DE IGUAL SUPERFICIE Y UN VASO DE SUPERFICIE DIFERENTE.

T A B L A "M" .

EVAPORACION OBTENIDA DE UN CUADRUPLE EFECTO CON TRES CUERPOS IGUALES DE SUPERFICIE Y UNO DE SUPERFICIE DIFERENTE, RELACIONADA A LA EVAPORACION DE UN CUADRU--PLE DE CUATRO CUERPOS IGUALES. (EN EL QUE CADA CUER--PO ES IDENTICO A CADA UNO DE LOS TRES CUERPOS DE LA MISMA SUPERFICIE).

Superficie del - cuerpo diferen-- te % de la super ficie de cada u-- no de los otros.	Superficie del cuádruple efec-- to % de la su-- perficie de C.E. de 4 cuerpos i-- guales.	Evaporación obtenida cuando el cuerpo diferente es el:			
		1er. cuerpo %	2o. cuerpo %	3o. cuerpo %	4o. cuerpo %
60%	90%	87.8	87.2	85.9	83.7
80%	95%	95.0	97.7	94.1	93.0
100%	100%	100.0	100.0	100.0	100.0
150%	112.5%	107.8	108.3	109.5	111.6
200%	125%	112.3	113.2	115.3	119.0

e) TEMPERATURA Y SU RELACION CON LA PRESION-VACIO DE LOS CUER--POS.

Un pequeño resumen histórico, nos dará la pauta necesaria pa--ra iniciar este inciso. Por el año de 1830, el americano de o--rigen francés NORBERT RILLIEUX dio un gran avance con su descu--

brimiento sobre una forma más provechosa de la evaporación del jugo de caña. En ese mismo año de su descubrimiento ya las marmitas de fuego directo se habfan abandonado, y se comenzaba a evaporar el jugo calentándolo con vapor. La idea de RILLIEUX fue la siguiente: ya que es con vapor con lo que se calienta el jugo para evaporar el agua que contiene, ¿por qué no es posible utilizar el vapor así producido por el jugo para calentar otra fracción del mismo o para terminar la evaporación iniciada con vapor ordinario? La idea era buena, pero se presentó de momento el siguiente obstáculo: con vapor de  $110^{\circ}\text{C}$  ( $430\text{ G/cm}^2$  de presión) es posible calentar y evaporar jugo a la presión atmosférica. La temperatura del vapor del jugo hirviendo a la presión atmosférica es de  $100^{\circ}\text{C}$ . Así, con vapor de  $100^{\circ}\text{C}$  de temperatura no es posible hacer hervir jugo a  $100^{\circ}\text{C}$ , es necesario una diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el fluido calentado. RILLIEUX pudo resolver este problema, poniendo al vacfo el o los cuerpos siguientes al primero. Bajo esas condiciones, conforme se va creando el vacfo, el punto de ebullición del jugo va disminuyendo, así por ejemplo, el jugo hierve a  $90^{\circ}\text{C}$  a 23 cms. de vacfo, a  $80^{\circ}\text{C}$  a 40 cms. de vacfo, a  $70^{\circ}\text{C}$  a 52 cms. de vacfo y así sucesivamente; por tanto, es posible crear la diferencia de temperatura necesaria y utilizar el vapor del jugo, producido por el primer cuerpo, para calentar el jugo encerrado en el segundo, el vapor producido por éste, para calentar al tercero y así sucesivamente.



La creación de estas condiciones de baja presión o creación de vacíos adecuadamente diseñados, supone la necesidad de que la evaporación se realice utilizando cierto número de evaporadores en serie que permita dicho objetivo. Este sistema de evaporadores se le llama Sistema en Múltiple Efecto, del -- que ha hemos hablado anteriormente, en el que en cada efecto -- se le va creando las condiciones de presión o vacío, y en esa forma ir creando las diferencias de presión de cuerpo a cuerpo y, como consecuencia de ello, las diferencias de temperatura -- de ebullición del jugo. De esta manera, el vapor creado o generado por la evaporación del jugo en un cuerpo cuya presión -- es superior a la del otro cuerpo siguiente, la temperatura de dicho vapor generado será superior a la temperatura de ebullición del jugo a la cual ocurre en el cuerpo siguiente cuya presión es inferior, creándose de esta manera la diferencia de -- temperatura y debido a este gradiente de temperatura se realizará el intercambio de calor.

Ahora bien, de acuerdo al vacío o presión que impere en -- el cuerpo, corresponderá a un punto de ebullición del jugo, pero hasta cierto punto esto es teórico, ya que debido a ciertos efectos físicos que se presentan tales como la presión hidrostática y el brix del jugo, hace que este jugo hierva a una temperatura mayor que la que le corresponde a las condiciones de presión o vacío del cuerpo, por lo cual tendremos cierta pérda de gradiente de temperatura; esta pérdida de gradiente de --

temperatura es mayor a medida que aumenta el brix del jugo (aumento de viscosidad). En la gráfica "N" que se adjunta, puede notarse la influencia de la presión hidrostática y del brix en los puntos de ebullición del jugo, comparada con la ebullición del agua pura; así mismo, puede observarse que la mayor pérdida de gradiente de temperatura se localiza en el último cuerpo o vaso melador, debido a que el brix en ese vaso es el mayor.

Como se mencionó anteriormente, la disposición de este tipo de arreglo de varios efectos con sus respectivas disminuciones de presión de ellos, tiene sus grandes ventajas en lo que respecta a la disminución de la inversión de la sacarosa, ya que la temperatura de ebullición conforme aumenta el vacío es menor; y las múltiples pruebas de laboratorio nos han comprobado que a altas temperaturas, la inversión de la sacarosa aumenta, o en otras palabras, las altas temperaturas de ebullición favorecen las pérdidas del producto.

Con una acidez normal del jugo que circula en un múltiple efecto (7.2 en nuestro caso particular) las pérdidas de sacarosa por inversión no son mayores del 0.1% por hora a 110°C. -- Arriba de esta temperatura (caso particular de nuestro preevaporador, cuya temperatura es de 117.5°C), las pérdidas aumentan rápidamente. En los demás cuerpos aparte del preevaporador como puede observarse en el diagrama "A" (Capítulo II), -- las temperaturas de ebullición son menores de 110°C, lo cual

nos indica que las pérdidas de sacarosa por inversión se minimizan. En la Tabla "N", se dan las pérdidas de sacarosa por hora debido a la inversión, en función del  $p^h$  y la temperatura. En esta tabla podrá notarse que a  $p^h$  altos y temperaturas bajas, las pérdidas de sacarosa por inversión son mínimas. Haciendo una comparación con nuestros datos reales de temperatura y  $p^h$ , podemos visualizar las pérdidas de sacarosa en --- nuestro caso particular. Tomaremos como ejemplo, el preevaporador y el último cuerpo de uno de los sistemas de cuádruple efecto.

PREEVAPORADOR:  $p^h = 7.2$  (tomaremos 7.0, debido a la limitación de la Tabla).

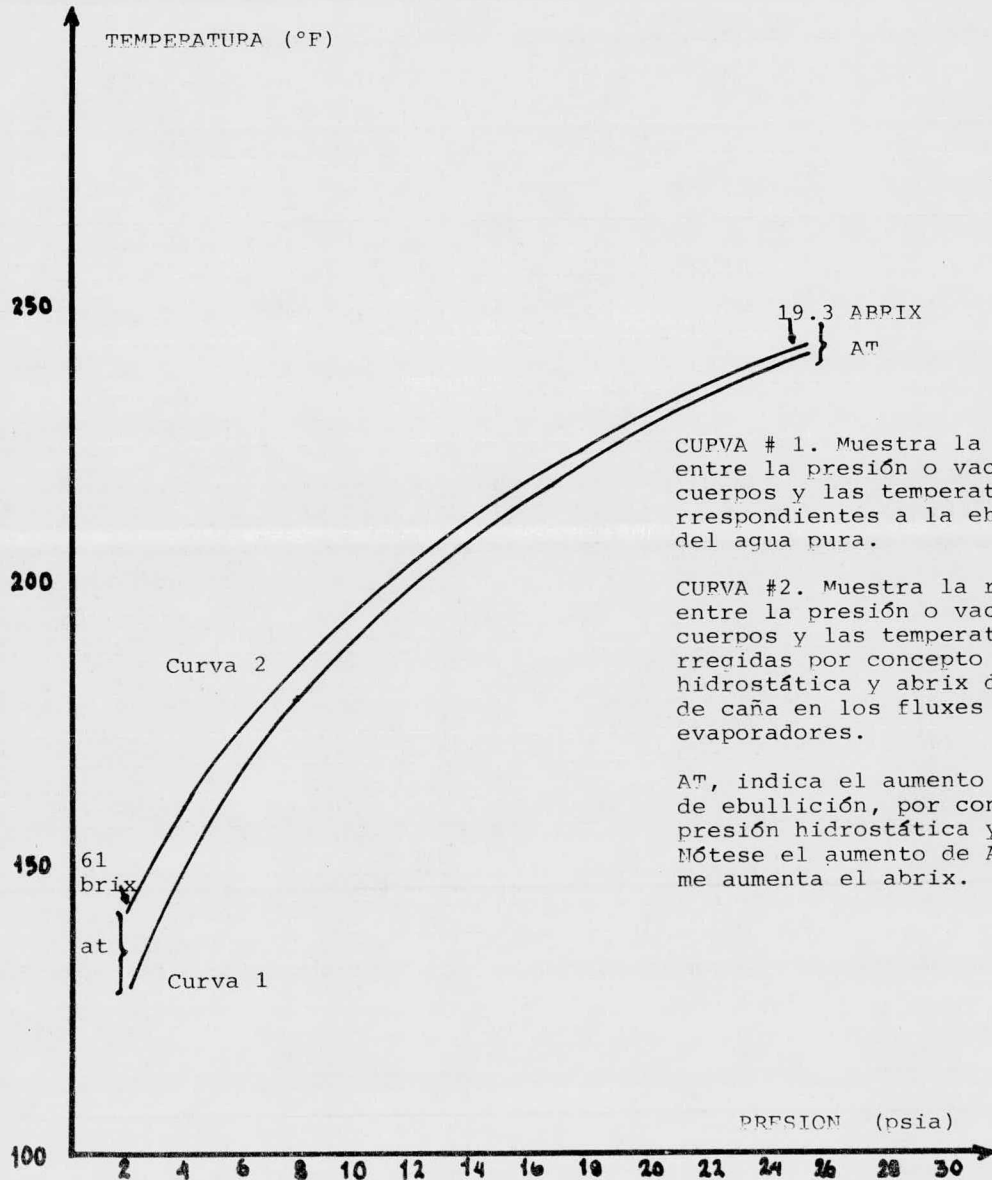
$T = 245^\circ \text{ F.}$  Pérdida por inversión (aprox.) = 0.10

ULTIMO CUERPO:  $p^h = 7.2$  (como en el caso del preev., tomaremos 7.2 por la limitación de la Tabla).

$T = 147^\circ \text{ F}$  Pérdida por inversión (aprox.) =  
= 0.0004.

Se puede observar claramente la enorme influencia que tiene la temperatura de ebullición sobre la inversión de la sacarosa, de acuerdo a la comparación entre el preevaporador y el último cuerpo.

GRAFICA "N"



CUPVA # 1. Muestra la relación entre la presión o vacío de los cuerpos y las temperaturas correspondientes a la ebullición del agua pura.

CURVA #2. Muestra la relación entre la presión o vacío de los cuerpos y las temperaturas corregidas por concepto de presión hidrostática y abrix del jugo de caña en los fluxes de los evaporadores.

AT, indica el aumento del punto de ebullición, por concepto de presión hidrostática y abrix. - Nótese el aumento de At, conforme aumenta el abrix.

TEMP. °C	TEMP. °F	p <sup>h</sup>					
		6.0	6.2	6.4	• 6.6	6.8	7.0
50	122	0.0010	0.00063	0.0004	0.00025	0.00016	0.00010
60	140	0.0035	0.0022	0.0014	0.00088	0.00056	0.00035
70	158	0.011	0.007	0.0044	0.0026	0.0018	0.0011
80	176	0.033	0.021	0.013	0.0083	0.0052	0.0033
85	185	0.053	0.034	0.022	0.013	0.0084	0.0053
90	194	0.089	0.056	0.035	0.022	0.014	0.0089
95	203	0.14	0.088	0.055	0.035	0.022	0.014
100	212	0.21	0.13	0.084	0.053	0.034	0.021
110	230	0.54	0.34	0.22	0.14	0.086	0.054
120	248	1.1	0.70	0.44	0.28	0.18	0.11

TABLA "N".- PERDIDAS DE SACAROSA POR HORA DEBIDO A LA INVERSION EN FUNCION DEL P<sup>h</sup> Y LA TEMPERATURA .

Además de la importancia que tiene el crear los vacíos -- respectivos en los cuerpos, con la finalidad de disminuir las temperaturas de ebullición del jugo y crear en esa forma las - diferencias de temperaturas favorables para la transferencia - de calor y al mismo tiempo disminuir las pérdidas de sacarosa por la inversión de ella, existe un punto muy importante que - cabe mencionar, y que se le denomina "autoevaporación o flash". Para describir la autoevaporación, daremos un antecedente que nos ayudará y que es el primer principio de RILLIEUX, el cual dice: "En un evaporador de múltiple efecto, por cada libra de vapor que se use se lograrán tantas libras evaporadas como e--fectos hayan en el equipo"; este principio es pues la idea fundamental de la evaporación en múltiple efecto, posee una des--viación significativa y que proviene del hecho que RILLIEUX no se dió cuenta de la influencia que poseía la temperatura de la solución al entrar al evaporador. En la mayoría de los casos el jugo entra en el primer efecto a una temperatura inferior a la de su punto de ebullición (como sucede en nuestro caso particular del preevaporador donde el jugo entra a una temperatura de 230°F y el punto de ebullición que le corresponde a las condiciones de presión del cuerpo es de 243.5°F) por lo que la evaporación en este primer efecto será menos de una libra por libra de vapor de calentamiento utilizada, ya que es necesario primero utilizar vapor para calentar el jugo de 230°F a 243.5°F más las libras necesarias de vapor para la evaporación después

de haber llegado a su punto de ebullición. Sin embargo, a medida de que jugo parcialmente evaporado continúa a los vasos su cesivos del múltiple efecto, que trabajan a presiones progresivamente menores o vacíos progresivamente mayores, las temperatu tas de ebullición de ese jugo que es transferido a los vasos su cesivos, son mucho menores a la temperatura que trae el jugo -- que entra al vaso, por lo cual no será necesario calentarlo a su punto de ebullición y además se aprovecharán los grados de sobrecalentamiento del jugo, como una aportación de calorías que se traduce a una disminución de la cantidad de vapor de calefacción; por lo tanto, la evaporación será mas de una libra por cada libra de vapor de calentamiento y esto es precisamente lo que se le denomina "autoevaporación o flash".

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

El análisis y conclusiones de este trabajo, se hará de acuerdo a cada aspecto tratado y su objetivo. Se hace notar que este trabajo, asume tres características generales: experimental, bibliográfico y otro más que se refiere a la observación de la marcha del Sistema de Evaporación para conocer en forma específica la relación de evaporación, que supone una serie de recolección de datos, así como los cálculos respectivos necesarios.

1. REFERENTE A LA "RELACION DE EVAPORACION".- Los resultados obtenidos de la relación de evaporación de los dos sistemas de cuádruple efecto, son valores promedios, ya que las observaciones realizadas incluyen los lunes cuando los cuerpos están limpios, y los sábados cuando están sucios.

Puede apreciarse que en el Sistema de Cuádruple Efecto -- (lado izquierdo del preevaporador; diagrama "A") la relación de evaporación es de 4.37, lo que quiere decir que por cada -- kg. de vapor de calefacción se evaporan 4.37 kg. de agua. Por principio de cuentas, este dato es un valor estándar de un sistema de evaporación que trabaja normalmente.



Por lo que respecta al Sistema de Cuádruple Efecto (lado derecho del preevaporador; diagrama "A"), la relación de evaporación fue de 5.11; este dato obtenido podría prestarse a confusión hasta cierto punto, ya que ese valor de 5.11 no se obtiene en la realidad por razones prácticas y ciertas condiciones físicas (creación de vacíos sumamente altos), y por otro lado, si son cuatro efectos, no podría esperarse que se obtuviera dicha relación de ese valor; pero la explicación de esto es el hecho notable de la influencia del preevaporador, ya que éste se encuentra en serie con el sistema de cuádruple efecto y es, por lo tanto, un cuerpo más en la red de evaporadores.

Para terminar podemos decir que:

a) La eficiencia de evaporación en base a los resultados obtenidos, se encuentra dentro del rango normal o práctico.

b) La importancia del preevaporador en cuanto al servicio que da a los calentadores y así mismo al sistema de cuádruple efecto.

2. REFERENTE A LA CLARIFICACION.- Considerando la descripción que se dio en el inciso correspondiente a este aspecto, podemos decir que el proceso de defecación tiene un efecto mayor en el aumento de pureza que el proceso de sulfitación, ya que este último estriba su mayor importancia en el aspecto de

la decoloración y cuyo resultado se manifiesta en última instancia en un azúcar de mayor apariencia pero no actúa con mayor eficiencia en lo que respecta a la eliminación de los sólidos no-azúcares que es lo que realiza más fielmente la defecación. Sin embargo, esta eliminación de impurezas realizada por la defecación es aún relativamente baja ya que el aumento de pureza del jugo crudo (80.5% de pureza del jugo crudo en promedio, que se maneja en este ingenio que estamos --- viendo) a jugo clarificado \*81.2% de pureza en promedio del jugo clarificado en el mismo ingenio), no se nota mucho aumento de pureza, lo cual es -e notarse que la purificación que se realiza es fundamentalmente física. Por lo tanto, y en base a lo anterior, se comprende claramente que el jugo clarificado que entra a los evaporadores, dejará depósitos de incrustación en los fluxes en donde se concentra en guarapo. Estas incrustaciones tendrán un efecto sobre la transmisión de calor.

### 3. REFERENTE A LA LIMPIEZA DE LOS EVAPORADORES.

En este aspecto como ya vimos se realizó un experimento sencillo para probar las concentraciones de ácido y de sosa como desincrustadores; y de acuerdo a esto, puede verse que en la Tabla los resultados del experimento, las concentraciones más recomendables y tomando en cuenta la acción corrosiva del ácido cuando sobrepasa del 2%, son: ácido clorhídrico al 0.5% y sosa al 8%, ya que de acuerdo a las consideraciones hechas son

los valores más convincentes. Es de notarse también, que la mayor parte de las concentraciones así como de sus combinaciones de ellas actúan en forma eficiente. Un punto muy importante que se notó en el experimento, es lo referente al enjuague con agua pura, ya que por observación directa se comprobó la acción bastante efectiva como eliminador total de las costuras de incrustación; lo cual es pues importante recomendar - que siempre al final de cada tratamiento de ácido y de sosa, sean enjuagadas las calandrias el mayor tiempo permitido.

#### 4. REFERENTE A LA CONCENTRACION FINAL DEL JUGO (Meladura).

Como podrá haberse notado en este aspecto, la importancia de la meladura en condiciones óptimas de concentración es de bastante interés; ya que cuando la meladura es de una concentración demasiado alta (viscosa) se encuentran problemas en cuanto a la preparación de las plantas, predispone a una posible cristalización en los evaporadores y dificultan además estas meladuras muy viscosas la producción de un grano grande y uniforme y estas masas codidas de grano desigual purgan (centrifugación) con dificultad y exigen mayor cantidad de agua y vapor para lavar el azúcar; y cuando son poco concentradas (meladuras flojas), se incrementa el gasto de vapor de calefacción.

#### 5. REFERENTE AL AREA DE TRANSMISION DE CALOR.

Haciendo referencia primero a la gráfica "L", podemos ver la influencia de la altura del jugo en los fluxes, lo cual se -

aprecia perfectamente que el coeficiente de transmisión de calor es óptimo entre un 30% a un 40% de la altura de la calandria. Muchas de las irregularidades en cuanto a la regulación de esa altura óptima, que en última instancia corresponde a una determinada área para el flujo de calor, se debe a errores del operador, ya que el control de la altura del jugo en los fluxes es completamente manual.

En cuanto a la ampliación total del área de transmisión de calor, referido al caso cuando se aumenta un cuerpo de igual área de un triple efecto, se deduce que la evaporación total de un múltiple efecto depende, no de su área total sino de la superficie individual de cada cuerpo.

Por lo que respecta al caso del aumento del área total como consecuencia del aumento del área individual de un cuerpo o bien la disminución del área total por concepto de la disminución del área de un cuerpo individual, así como la influencia en la evaporación total de este cuerpo desigual cuando ocupa una determinada posición en el sistema de evaporadores podemos concluir haciendo uso de la gráfica "M" y de la tabla "M" que:

a) Hay un aumento en la evaporación total, debido al aumento del área de un cuerpo que corresponde a un aumento del área total.

b) En el caso de la disminución del área de un cuerpo -- con la consiguiente disminución del área total, habrá una disminución de la evaporación total.

c) Haciendo referencia a la Tabla "M", puede observarse que si hay un cuerpo menor que los otros, es conveniente que éste esté al principio, inversamente, si un cuerpo es mayor -- que los otros, es conveniente que éste esté en el último lugar ya que bajo estas condiciones la evaporación total será máxima.

6. REFERENTE A LA TEMPERATURA Y SU RELACION CON LA PRESION - VACIO DE LOS CUERPOS.

Es claro ver la importancia que tiene la disminución de la presión en los cuerpos en lo que respecta a la temperatura de ebullición del jugo, ya que como podrá haberse visto en la revisión de este aspecto y a pesar de las exigencias que hay en la instalación de los equipos necesarios que realicen este tipo de función, tiene una gran ventaja en cuanto se refiere al ahorro de vapor. Esta íntima relación que existe entre la temperatura de ebullición del jugo y la presión a la cual se realiza dicha ebullición, cuando este concepto es llevado a cabo a la realidad, para evaporar el agua que contiene el jugo en un múltiple efecto, en el cual se crean los vacíos o se reduce la presión del primer cuerpo al último, se concluye lo siguiente:

a) Se realiza un aumento de la diferencia total de temperatura entre vapor y jugo, en una cantidad igual a la caída del punto de ebullición del jugo entre la presión del primer cuerpo y la del último.



b) Permite continuar la evaporación a temperaturas menos peligrosas desde el punto de vista de la inversión de la sacarosa.

c) Se obtiene un ahorro de vapor, como lo habíamos mencionado anteriormente.

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

- 1.- Hugot Emile. MANUAL PARA INGENIEROS AZUCAREROS. Compañía Editorial Continental, S.A. 1964.
- 2.- W.H. th Harloff - H. Schmidt. LA FABRICACION DEL AZUCAR BLANCO EN LOS INGENIOS. Versión castellana por C.J. Bourbakis. Londres.
- 3.- Q. Kern Donald. PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. Compañía Editorial Continental, S.A. 1974 .
- 4.- Himmeblau David M. PRINCIPIOS Y CALCULOS BASICOS DE LA INGENIERIA QUIMICA. Compañía Editorial Continental, S.A. 1974.
- 5.- P. Meade Geoge - L. Spencer Guilford. MANUAL DEL AZUCAR DE CAÑA. - Montawer y Simon, S.A. Barcelona. 1967.
6. Apuntes de Ingenierfa Qufmica I y II.