



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

103

**CONTROL DE COCIMIENTOS Y CRISTALIZACION EN
EL DEPARTAMENTO DE TACHOS DEL INGENIO
SAN PEDRO, C.D. LERDO, VER.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

JOEL LAUREANO GILES BAHENA

México, D. F.

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE	HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA.
VOCAL	JUAN MANUEL LOMELIN GALLARDO.
SECRETARIO	GILBERTO F. VILLELA TELLEZ.
1er. SUPLENTE	JOSE LUIS PADILLA DE ALBA.
2do. SUPLENTE	CARLOS ROMO MEDRANO.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

INGENIO SAN PEDRO, CD. LERDO, VERACRUZ, MEXICO.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE:

JOEL LAUREANO GILES BAHENA.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA:

ING. HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUPERVISOR TECNICO:

ING. LUIS B. RODRIGUEZ PADILLA.

Dedico muy cariñosamente
éste trabajo a mis padres y
hermanos que gracias a sus
esfuerzos he logrado esta -
finalidad.

Doy mi mas sincero agrade-
cimiento al Sr. Ing. Luis B.
Rodríguez Padilla por su va-
lioso asesoramiento técnico_
profesional tan desinteresa-
do que me brindó.

Al mismo tiempo doy gracias
a una gran cantidad de ami-
gos que me orientaron para_
la realización de éste tra-
bajo.

C O N T E N I D O

C A P I T U L O I		Pag.
Introducción	1	1
Generalidades	2	2
A).- Grado Brix ($^{\circ}$ Bx)	3	3
B).- Pureza del Material	3	3
C).- Calor Especifico de las soluciones de azúcar.	4	4
C A P I T U L O I I		
Propiedades de las Soluciones de Sacarosa		
A).- Solubilidad de la Sacarosa pura	5	5
B).- Saturación	5	5
C).- Sobresaturación (S.S.)	7	7
D).- Solubilidad de la Sacarosa en soluciones impu ras	10	10
E).- Viscosidad	11	11
F).- Velocidad de Cristalización de la Sacarosa -- (Factores que influyen)	12	12
C A P I T U L O I I I		
Cristalización y Automatización en Tachos		
A).- Aparatos de Cocción o Tachos	17	17
B).- Sistema de cocimiento de dos templeas y media.	18	18
C).- La Cristalización en el Tacho: 1.- Método de Espera; 2.- Choque; 3.- Semillamiento Completo.	22	22

	Pag.
D).- Determinación del Grado de Sobresaturación ..	26
E).- Instrumentos para medir la S.S. Efectos de - la Pureza	33
F).- Requisitos de un Sistema para Automatizar el- Cocimiento en un Tacho	38
G).- Sistemas Comerciales Actuales, Ventajas y Des- ventajas	42
H).- Sistema Automático SIEMENS Aplicado en el In- genio San Pedro para el Cocimiento de Templas de Masa Co- cida "C".	58

C A P I T U L O I V

Cálculos

A).- Balance de Sólidos en el departamento de ta- chos para el sistema de dos templas y media	74
B).- Balance de materiales, para la templa de masa cocida "C" (para cuatro pies).	79
C).- Balance de Energía, para la templa de MC "C"- (para cuatro pies).	82
D).- Conclusiones	84
E).- Bibliografía	86

I N T R O D U C C I O N

El proceso de la cristalización es una de las etapas más importantes en la fabricación comercial de azúcar de caña, el reconocimiento de esto ha promovido una gran cantidad de trabajos de investigación en la teoría y en la práctica de la cristalización de azúcar.

Desde un punto de vista práctico, se han encaminado los esfuerzos al desarrollo de técnicas adecuadas, métodos de control e instrumentos que permitan obtener un grano de tamaño uniforme, de buena calidad y con rendimiento máximo.

Con esta finalidad la División de Proyectos Industriales de SIEMENS, S. A., viendo la importancia que representa la Industria Azucarera dentro de la Economía Nacional, por ser generadora de un producto de primera necesidad y fuente de trabajo para un número considerable de nuestra población, vió la necesidad de proveerla de los medios con que cuenta la tecnología moderna con el fin de aumentar la producción extrayendo en la forma más eficiente el vital dulce de la caña de azúcar para poder satisfacer la creciente demanda que año con año va aunada al crecimiento demográfico.

En base a lo anterior SIEMENS, S. A. propuso a la C.N.I.A. hacer pruebas con un equipo que permite controlar automáticamente el proceso de cocimiento de materiales de baja pureza, para la obtención de azúcar "C" y miel final; estas pruebas se llevaron acabo durante la zafra 1978-1979 en el Ingenio San Pedro, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

GENERALIDADES.- El objetivo del Departamento de Cristalización es convertir en cristales el dulce disuelto en el jugo de la caña de azúcar.

El jugo proveniente de los molinos es, previamente clarificado y subsecuentemente concentrado por pérdida de agua en el Departamento de Evaporación, en vasos cerrados de múltiple efecto llamados evaporadores (triples, cuádruples ó quintuples), ya sea que consten de tres, cuatro ó cinco vasos respectivamente.

Al jugo así tratado se le conoce como meladura.

La cristalización se verifica mediante la concentración de la meladura por medio de una evaporación adicional, en un evaporador simple llamado tacho. En este paso la meladura es llevada de estado líquido a estado semisólido, - siendo éste estado donde cristaliza el azúcar. Al magma resultante de la mezcla de cristales y azúcar procedentes de éste proceso se le llama Masa Cocida (MC), llevandose a una concentración de 92° a 96° Brix.

El cocimiento se verifica en un solo efecto al vacío, con objeto de controlarlo eficientemente mediante operaciones cíclicas. El vacío a que se somete la cocción final -- tiene por objeto hacer la cocción a una temperatura más baja, ya que se disminuye el punto de ebullición de las soluciones con menor destrucción de azúcar y mejor aprovechamiento del calor necesario para la evaporación, conduciendo a una sobresaturación del material a baja temperatura que permite la cristalización del azúcar.

Para usos posteriores se introducen unos conceptos fundamentales.

A).- BRIX.- Brix o grado Brix es el porcentaje de sólidos disueltos en una solución considerados como hidratos de carbono.

$$\text{Brix} = \frac{\text{sólidos solubles}}{\text{sólidos solubles} + \text{agua}} \times 100$$

Ejem.- 100 Kg. de jugo a 15° Brix

$$\frac{15}{15 + 85} \times 100 = 15^\circ \text{ Brix}$$

Debe considerarse como Brix óptimo de la templa a--- que el que de acuerdo con la temperatura previamente seleccionada de operación corresponda a la sobresaturación indicada, buscando mayor velocidad de cristalización y la mayor velocidad de evaporación, el Brix es vínculo entre estos dos factores.

B).- PUREZA DEL MATERIAL.- La pureza es el criterio más simple del agotamiento, Desafortunadamente no es el mejor, sin embargo, a falta de un mejor criterio absoluto, - se adoptará provisionalmente éste.

$$\text{Pza.} = \frac{\text{S}}{\text{Bx.}}$$

Pza. = Pureza

S = S acarosa (Pol)

Bx = Sólidos en solución

Se entienden en la práctica dos tipos de purezas, en el uso de éste término:

1.- Pureza verdadera.- sacarosa Clerget/ sólidos to-

tales por desecación, picnómetro o refractómetro.

2.- Pureza aparente.- Sacarosa aparente (Pol)/Brix o sólidos aparentes (sacarosa aparente determinada por el método del subacetato seco del Dr. Horne; Brix o sólidos aparentes determinados por el sistema del aerómetro o brixómetro).

C).- CALOR ESPECIFICO DE LAS MASAS COCIDAS.- El calor específico de un cuerpo es el calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de éste 1°C . Es factor importante en el balance térmico de una unidad de evaporación y en su diseño directamente proporcional al Brix; se puede describir su cálculo por:

$$C_p = 1 - 0.006 \text{ Bx.}$$

Donde: C_p = Calor específico

Bx = Brix de la solución

C A P I T U L O I I

PROPIEDADES DE LAS SOLUCIONES DE SACAROSA.-

A).- CUANDO SE PONEN EN CONTACTO CIERTOS CUERPOS. --
(por ejemplo: cuando se agrega sal común en agua, azufre - en sulfuro de carbono, azúcar en agua) se observa que los sólidos van desapareciendo poco a poco, formándose un conjunto homogéneo. A este fenómeno se le llama disolución, y mediante el mismo se demuestra que las moléculas de algunos cuerpos acaban por mezclarse unas con otras.

En los tres ejemplos de disolución citados; la sal - común, el azufre y el azúcar son llamados solutos, y sus - solventes o disolventes respectivos son: El agua, el sulfu re de carbono y otra vez el agua. La experiencia demuestra que aumentando la cantidad de sólidos disueltos en un mismo volúmen de líquido, llega un momento en que al agregar una porción más de sólido, éste no se disuelve, entonces - se dice que la solución está saturada.

B).- AL AUMENTAR LA TEMPERATURA.- Aumenta generalmen te la cantidad de sólidos necesarios para saturar el líqui do. En general puede decirse, por consiguiente, que la so lubilidad de los sólidos aumenta o disminuye con el aumen to o la disminución de la temperatura y este es el caso de la sacarosa, aunque hay sustancias que constituyen excep ción a esta regla.

Una disolución (o solución, como corrientemente se - dice) que está saturada a cierta temperatura, podrá contener por enfriamiento de la misma, o por evaporación par cial del disolvente, una mayor proporción de sustancia di suelta que la correspondiente a su saturación. Cuando esto

sucede la solución se llama solución sobresaturada.

La solubilidad de una sustancia se puede expresar diciendo los gramos de la sustancia que hay disueltos en 100 gr. de agua de su solución saturada. A continuación ponemos la solubilidad de la sacarosa en agua a distintas temperaturas, en gramos de sacarosa por cada 100 gr. de agua de la solución. Del estudio que haremos de esta tabla (la tabla muestra la solubilidad de la sacarosa en agua, sin la presencia de otras sustancias disueltas, sus datos serán aplicables solamente a soluciones puras de sacarosa en agua y solo aproximadamente a las templeas primeras de refinado), llegaremos a la conclusión de que el rendimiento en cristales de una templea será mayor a medida que sea menor:

- 1.- La cantidad de agua de la templea, o mayor el Brix, que significa lo mismo.
- 2.- La temperatura de la templea.
- 3.- La sobresaturación del magma al purgarse la templea.

T A B L A .

Basada en los datos aportados por T. Van der Linden,
F. Jackson y C. Gillis Silsbee.

SOLUBILIDAD DE LA SACAROSA EN AGUA

<u>TEMPERATURA</u> <u>EN °C</u>	<u>GRAMOS DE SACAROSA</u> <u>EN 100 g. DE AGUA.</u>
50	262
52	268

SOLUBILIDAD DE LA SACAROSA EN AGUA

<u>TEMPERATURA</u> <u>EN °C</u>	<u>GRAMOS DE SACAROSA</u> <u>EN 100 g. DE AGUA.</u>
54	274
56	280
58	286
60	293
62	300
64	307
66	315
68	323
70	331

C).- GRADO O COEFICIENTE (SEGUN HERZFELD) DE SOBRESATURACION.- Grado de sobresaturación es el resultado de dividir los gramos de sacarosa disueltos en cada 100 gr. de agua de la solución, entre los gramos de sacarosa disueltos en 100 gr. de agua de una solución saturada S.S.=1 y de la misma temperatura y pureza de la solución cuyo grado de SS se investiga. De modo que:

$$\text{Grado de S.S.} = \frac{\text{gr. de sacarosa/100 gr. de agua del material que se investiga.}}{\text{gr. de sacarosa/100 gr. de agua de un material saturado (S.S.=1) de la misma pureza y temperatura que la del material que se investiga.}}$$

El valor del numerador del quebrado anterior se obtiene mediante análisis del material en el laboratorio. El valor del denominador se busca en la tabla de solubilidad de la sacarosa (de Van der Linden, Jackson y Gillis ó en la tabla de herzfel, en ambas tablas se notará una pequeña

diferencia de gramos de sacarosa en 100 gr. de agua).

A continuación veremos varios ejemplos teóricos sobre solubilidad basados en la tabla anterior.

EJEMPLO. 1.- El análisis de un licor de refinera de pureza = 100 arroja 280 gr. de sacarosa por 100 gr. de agua del licor y su temperatura es de 62° C. ¿Cuál es su grado de SS?

SOL.- Según la tabla de solubilidad de la sacarosa, una solución saturada (S.S.=1) y a 62° C contiene 300 gr. de sacarosa/100 gr. de agua, por lo tanto, el grado de SS del licor del ejemplo será de $280/300 = 0.93$ como el resultado es menor de uno, deducimos que el licor estará subsaturado y si agregamos gramos de azúcar éstos se disolverán.

EJEMPLO. 2.- ¿Cuál será el grado de S.S. de ese mismo licor si su temperatura bajase a 56° C?

SOL.- Según la tabla de solubilidad de la sacarosa, las soluciones a 56° C contienen 280 gr. de sacarosa/100 gr. de agua de la solución, por consiguiente, el grado de S.S. del licor será entonces de $280/280 = 1$ De modo que, a esa temperatura, el licor estará saturado y si le agregamos granos de azúcar, éstos, ni se disolverían, ni se desarrollarían.

EJEMPLO. 3.- ¿Cuál será la S.S. de ese mismo licor si su temperatura bajase hasta 50° C?

SOL.- Entonces su grado de SS será de $280/262 = 1.07$

bajo esta condición si a la solución agregamos granos de azúcar estos ganaría peso.

OBSERVACION: Al bajar la temperatura aumenta el grado de sobresaturación.

EJEMPLO. 4.- Si calentamos el licor hasta 68° C, sin evaporar nada de agua, ¿Que grado de SS tendrá entonces?

SOL.- Su grado de sobresaturación (S.S.) será ---
 $280/323 = 0.86$

OBSERVACION: Al subir la temperatura, el grado de sobresaturación disminuye. Si hay grano presente, éste se disuelve.

EJEMPLO. Si cargamos un tacho con ese mismo licor, - le evaporamos un poco de agua, lo descargamos, anotamos su temperatura que es de 68° C y una muestra del mismo enviada al laboratorio arroja 355.3 gr. de sacarosa/100 gr. de agua, ¿Cuál será su grado de S.S.?

SOL.- Según la tabla de solubilidad, a 68° C las soluciones saturadas contienen 323 gr. de sacarosa/100 gr. de agua, de manera que el nuevo grado de SS será $355.3/323 = 1.10$

EJEMPLO. 6.- Si manteniendo su temperatura en 68° C le agregamos agua y su análisis entonces da 300 gr. de sacarosa/100 gr. de agua ¿Cuál será la nueva sobresaturación?

SOL.- La nueva S.S. será de $300/323 = 0.93$

OBSERVACION: Al concentrarse un material su sobresaturación aumenta y al diluirse, su sobresaturación disminuye, si su temperatura permanece constante.

D).- SOLUBILIDAD DE LA SACAROSA EN SOLUCIONES IMPURAS.- El guarapo, la meladura y las mieles son soluciones impuras de sacarosa en agua porque, además de sacarosa, -- contienen muchas otras sustancias disueltas, tales como -- dextrosa, levulosa, sales minerales de ácidos orgánicos, - etc. las cuales colectivamente se denominan impurezas. Los investigadores científicos siempre han encontrado muchas - dificultades para determinar la solubilidad de la sacarosa en soluciones impuras a consecuencia de que la cantidad y la clase de las impurezas presentes en dichos materiales - varían notablemente, según sea la calidad y la clase de caña, su grado de madurez, el tipo de terreno donde se cultivó la caña, los fertilizantes empleados, el régimen de lluvia, la eficiencia del proceso de clarificación, y otros - factores que influyen a hacer variar la composición de las impurezas, y también, la solubilidad de la sacarosa.

Con dichas impurezas, la solubilidad es más alta en proporción a la baja de la pureza. La acción de los no azúcares afecta la solubilidad del azúcar en el agua aumentando la saturación. En este caso la solubilidad se calcula - multiplicando la solubilidad de una solución pura por el - factor de Classen correspondiente:

<u>PUREZA DEL PRODUCTO</u>	<u>FACTOR DE CLASSEN</u>
75 - 80	1.0
70 - 75	1.0 a 1.05
65 - 70	1.05a 1.10
60 - 65	1.10a 1.25
60 - o menos	1.30

E).- VISCOSIDAD.- En general la viscosidad se define como una resistencia al movimiento del líquido, considerándose como un rozamiento interno.

En la Industria Azucarera éste fenómeno se observa - en el manejo y cocimiento de mieles y masa en el departamento de tachos y su efecto posterior en cristalizadores y centrífugas. ~~La velocidad de cristalización es inversamente proporcional a la viscosidad,~~ de ahí la importancia de ésta. Los cristales están rodeados de una película de miel r, que lógicamente tienen n viscosidad.

En las mieles procedentes de la caña, la viscosidad es proporcionada generalmente por los azúcares orgánicos y la fórmula típica de coeficiente de velocidad de cristalización, en donde se puede apreciar el papel tan importante que desempeña la viscosidad en la operación de cocimiento de mieles en los tachos.

$$K = \frac{k t}{r n} \Delta c \quad \text{donde:}$$

K = velocidad de cristalización.

k = coeficiente de difusión.

t = temperatura absoluta de la masa cocida.

r = película de miel adherida al cristal (variable - de acuerdo a la velocidad de movimiento del cristal).

n = viscosidad del material.

Δc = diferencial de concentración.

Ordinariamente la viscosidad aumenta:

1.- Por conducir mal la clarificación del guarapo. -

En general el exceso de cal hace más viscoso el producto.

2.- Por una purga defectuosa de la templa final o de masa cocida "C", que origina mucha recirculación de miel final hacia las templeas que producen azúcar comercial. -- Cuando hay purga defectuosa de la masa cocida final una parte de los sólidos que se recirculan se descomponen a causa del mayor tiempo que permanecen calientes en el proceso y originan productos más viscosos.

3.- Por infección del guarapo por el Leuconostoc (Tibico) y la formación por fermentación, de la goma llamada dextrana que es extremadamente viscosa (dextrana $(C_6 H_{10} O_5)_n$).

F).- VOLICIDAD DE CRISTALIZACION DE LA SACAROSA.-- -- Tan pronto se forman granos en una solución sobresaturada de sacarosa, y mientras subsista el estado de sobresaturación, las moléculas de sacarosa (disueltas en la parte líquida) se depositarán sobre las caras de los cristales formados, haciéndolos aumentar de peso, (y por consiguiente, crecer) a una velocidad variable que puede medirse en términos de gramos (o miligramos) de sacarosa/metro cuadrado de superficie en gramos/minuto. La velocidad así expresada se denomina velocidad de cristalización y su valor -- dependen de los siguiente factores:

- 1.- Grado de sobresaturación de la miel
- 2.- Pureza de la miel
- 3.- Temperatura de la miel
- 4.- Movimiento relativo de los granos y la miel.

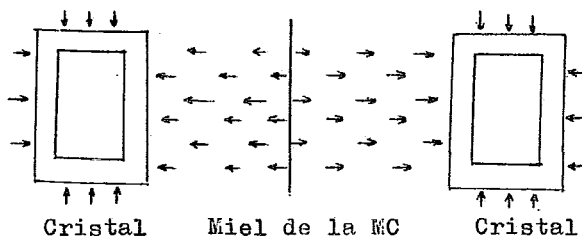
Si durante el cocimiento de una MC pudiéramos medir

cada cierto tiempo el peso de sacarosa que va pasando de la parte líquida de la MC (miel) a la parte sólida (granos) y relacionamos esos pesos con la superficie en cristales de la MC, estaríamos realizando experimentos para determinar la velocidad de cristalización de las soluciones de sa carosa. Desde luego que esa valoración es realmente difícil de realizar porque, durante el cocimiento, continuamente están variando los cuatro factores (o quizás más) que influyen en dicha velocidad de cristalización. Esta determinación generalmente se conduce en el laboratorio utilizando medios o procedimientos en que las variables sean más fáciles de controlar.

Después de cristalizado un material lo más importante es desarrollar los granos formados lo más rápidamente posible para abreviar el tiempo de cocimiento de la MC.

1.- Grado de sobresaturación de la miel.- "Mientras más alto es el grado de SS, mayor es la velocidad de crecimiento de los cristales", la figura muestra dos cristales que están suspendidos en la miel sobresaturada de una masa cocida.

MOVIMIENTO DE SACAROSA
HACIA EL CRISTAL

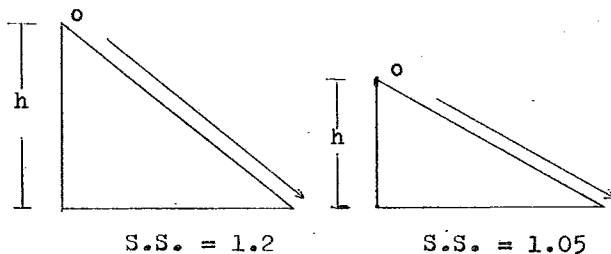


Cristales en suspensión en la miel de una Masa Cocida

"El exceso de sacarosa de la solución (miel) sobresaturada se precipita sobre la superficie de los cristales. Cuando la sacarosa cae sobre la superficie del cristal, éste comienza a crecer.

¿Qué sucede si la capa de la solución sobresaturada entrega su exceso de sacarosa? Al precipitarse el exceso de sacarosa sobre el cristal, la capa que entregó la sacarosa se convierte en una solución saturada. La tendencia natural de las soluciones es a uniformar su concentración, de modo que las capas de la solución que están sobresaturadas pasa/sacarosa a las capas que están en contacto con los cristales y que han entregado su exceso de sacarosa a éstos. Se produce un movimiento de la sacarosa disuelta que va de las partes sobresaturadas a las partes saturadas en contacto con los cristales y a través de éstas a los cristales. Mientras esto sucede los granos siguen creciendo. "La molécula de sacarosa siempre se mueven hacia las partes con menos concentración de sólidos. Alrededor de todos los cristales empieza el movimiento de la sacarosa hacia ellos y poco a poco esa sacarosa se va pegando a los cristales y aumentando su tamaño.

¿De que depende la velocidad del movimiento de la sacarosa hacia el cristal? Esta velocidad depende de la concentración de sólidos, o lo que es lo mismo, de la diferencia de sobresaturación entre las diferentes partes o capas de la solución. Para mayor comprensión de esta diferencia de grados de sobresaturación y su influencia en la velocidad del movimiento de la sacarosa hacia los cristales, tenemos el siguiente dibujo.



2.- Pureza de la miel de la masa cocida.- Mientras mayor es la pureza de la miel que está en contacto con los cristales de una MC, mayor número de moléculas de impurezas estarán al alcance de los cristales y como la sacarosa es la sustancia que se incorpora al cristal, a mayor pureza corresponderá mayor incorporación y por consiguiente mayor velocidad de cristalización ó crecimiento.

3.- Temperatura de la miel.- La temperatura tiene una gran influencia en la operación de tachos, ya que se ha comprobado que un aumento de temperatura conduce a mayor velocidad de cristalización cuando la sobresaturación se mantiene constante.

4.- El movimiento relativo de los granos y la miel.- Cuando una masa cocida se agita, la velocidad de cristalización aumenta hasta un valor máximo crítico después del cual permanece constante aún aumentando la agitación. Cuando se tiene buena agitación, la película de miel madre que envuelve el cristal se hace más delgada aumentando la difusión del azúcar de la miel madre hacia el cristal. Esta difusión es necesaria para el crecimiento del mismo a través de la película inmóvil de espesor variable y que lo acompaña durante todo el proceso.

Representando por \underline{C} la concentración de la miel sobresaturada y por \underline{c} la de la miel saturada, la velocidad de cristalización sería.

$$K = (C - c) k \text{ donde } k = \text{coeficiente de difusión.}$$

Si durante el proceso de cristalización se agita la solución la velocidad de cristalización puede llegar a:

$$K = (C - c)^2 k$$

Lo que demuestra la importancia de dar movimiento adicional a las masas cocidas durante la cocción.

C A P I T U L O III

APARATOS DE COCCIÓN O TACHOS.-

A).- EL APARATO DE COCCIÓN O TACHO.- Según la dicción española, Vacuum Pan según la versión inglesa, es un evaporador de simple efecto, similar a cualquiera de los cuerpos del evaporador (Cuádruple o triple), trabaja a vacío como unidad independiente, generalmente con sistemas independientes de condensación y está compuesto principalmente:

1.- Una unidad calefactora que puede ser calandria o serpentín; los últimos tienden a desaparecer. En los primeros - los tubos son de mayor diámetro que los usados en los evaporadores, adecuados para manejar productos viscosos.

2.- Fondo, que es el lugar donde se conectan los sistemas de alimentación (mieles, meladura y agua) y las descargas, así como la comunicación con otras unidades y aparatos auxiliares.

3.- Domo o cubierta de forma semi-esférica o cónica - que sirve para captar los vapores procedentes de la evaporación y que generalmente llevan proyecciones y arrastres de material - azucarado.

4.- Cámara o vaso de cocción

5.- Separador, está situado arriba del domo, teniendo como función separar las partículas azucaradas que arrastra el - vapor.

6.- Tubería de evaporaciones, está situada a la descarga del separador conduciendo el vapor al condensador

barométrico.

7.- Condensador barométrico, consiste en condensador de contacto (corriente paralela, contracorriente o jet) y columna barométrica.

8.- Sistema de vacío, consistente en bombas de vacío húmedo, bombas de vacío seco, eyectores de vapor o de agua.

9.- Equipo externo de conexión, como: válvula, manómetros, tableros, etc.

B).- SISTEMA DE DOS TEMPLAS Y MEDIA.- Este método de trabajo es el que se lleva a cabo en este Ingenio, y cuyo diagrama aparece en la Fig. No. 1, se caracteriza:

1.- Porque se ensemilla comúnmente en una mezcla de pureza entre 70 y 72, hecha ligando miel B y meladura (en ocasiones se emplea miel A), cuya mezcla se debe hacer en un tanque destinado a este fin (en la práctica se hace directamente en el tacho) que se denomina tanque de mezcla.

2.- Porque el tacho que ensemilla, para hacer los pies de masas cocidas de tercera (que son las templas finas de este sistema) está dotado de un granero, con el cual se facilita la actividad de los cortes, además de dar al grano cristalizado un apropiado desarrollo volumétrico.

3.- Porque el tacho que ensemilla está dotado de instrumentos que indican, registran y controlan, el grado de S.S. del material que se granula para así realizar dicha operación con la máxima eficiencia.

4.- Porque la MC A se hace virgen, es decir, con un pie de semilla desarrollada y alimentado exclusivamente con meladura.

5.- Porque la MC B que se comienza con un pie de semilla desarrollada se alimenta con meladura y se corona (se termina) con miel A (la cantidad de estos materiales depende de sus purezas). La pureza de ésta MC generalmente es de 76 a 78.

6.- Porque la MC C (o MC final) generalmente se alimenta de miel B.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

La primera operación que se hace en los tachos el primer día de zafra es cristalizar meladura (método de espera) y desarrollar mediante alimentación de meladura, el grano obtenido, de la cristalización hecha, se emplea para pies de masas cocidas comerciales o de envase. Las primeras templas necesariamente deberán ser MC A. Después que haya en los tanques la cantidad necesaria de miel A para hacer MC B, se hacen éstas masas. Y después que haya en los tanques suficiente miel B para hacer MC C es cuando se ensemilla, para así comenzar el ciclo de producción de MC C ó MC finales.

Mientras no se proceda a la purga de las MC C no habrá semilla disponible. Y por consiguiente las MC A y las MC B se siguen elaborando con pies de granos desarrollados provenientes de las cristalizaciones en meladura.

Las cristalizaciones en meladura se descontinúan tan pronto como se establezca el flujo de semilla proveniente de la purga de las MC C y es entonces cuando se pone en ple

no funcionamiento el sistema de dos templas y media (una -
templa es la MC A Virgen, la media templa es la MC B que -
se alimenta con meladura y se corona con miel A , ambas --
con su pie de semilla desarrollada, la segunda templa es -
la MC C que se alimenta de una mezcla (miel B y meladura)-
únicamente para ensemillar, y toda la miel B.

DESCRIPCION PARA OBTENER EL AZUCAR FINAL O SEMILLA.

El tacho C hace la mezcla del material de pureza - -
(Pza.) entre 70 y 72 (este material se debería preparar en
el tanque de mezcla, ya que en la práctica se lleva acabo_
directamente en el tacho, lo cual ahorraría tiempo en el -
cocimiento de la templa de cuatro pies) y la cristaliza.

El polvillo de ensemillar se introduce en el tacho -
utilizando el embudo.

a).- Alimentando miel B se hace una MC de cuatro pi-
es (100%), descargando dos pies (50% en volumen) en el -
granero primario G_1 . Con los dos pies restantes (50% en vo-
lumen) y mediante alimentación de miel B se duplica el vo-
lumen del contenido inicial, hecho ésto se descarga la mi-
tad en el granero secundario G_2 (un pie).

Con la mitad no descargada (un pie) y alimentando -
miel B hasta duplicar el volumen inicial, se fabrica la --
primera templa de tercera del grupo de cuatro que se produ-
cirán. El siguiente paso del tacho C consiste en tomar el_
contenido del granero secundario G_2 (un pie), duplicar su_
volumen para sí producir la segunda templa de tercera ali-
mentando miel.

b).- Después el tacho C toma el contenido del grane-

SISTEMA DE DOS TEMPLAS Y MEDIA
PARA AZUCAR CRUDO

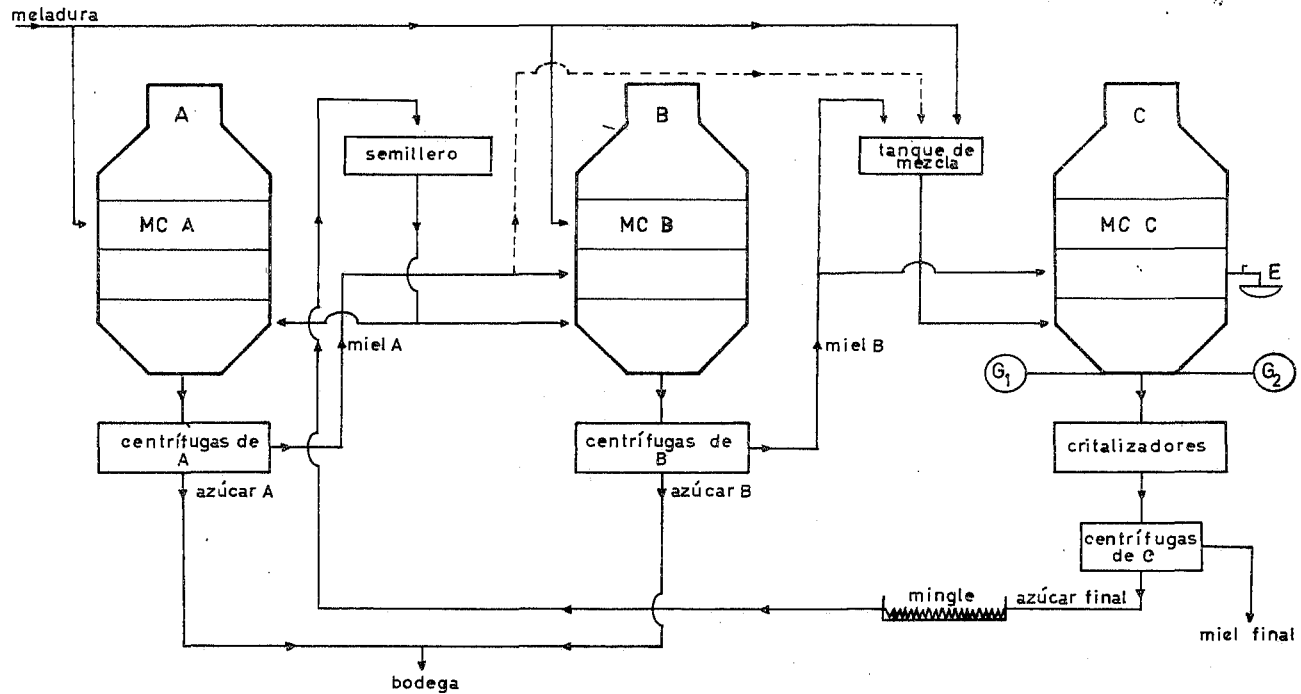


fig.No. 1

rò primario G_1 (dos pies) y duplica su volumen alimentando miel B, descarga el 50% de éste volumen (un pie) en el -- granero primario G_1

El siguiente paso del tacho C consiste en duplicar el volumen (un pie) no descargado para así producir la tercera templa de tercera. Finalmente el tacho C toma el contenido del granero primario G_1 (un pie) para duplicar su volumen alimentando miel B y así producir la cuarta templa - de tercera.

Para que la explicación anterior resultara clara y - sencilla, se asignó exclusivamente al tacho C, en la prác-tica todo esto se llevó acabo en los tachos 6, 7, 8, 9, un granero y en ocasiones se empleaba el tacho 10, el tacho 7 exclusivamente ensemillaba, es decir, hacía templeas de --- cuatro pies.

Las terceras así hechas se descargan en los crista--lizadores en donde permanecen suficiente tiempo (24 horas) enfriándose. Después, calentándose (a una temperatura de - 52°C) en el mezclador de las centrifugas, se purgan para - originar azúcar final ó azúcar de tercera y miel final, -- ésta azúcar es mezclada con agua caliente (meladura ó guara po clarificado) para hacer una magma llamada generalmente semilla (mingle en algunos lugares) que se bombea al semi-llero de donde es tomada por los tachos (tachos A y B) pe-riódicamente para hacer las MC comerciales o de envase.

C).- La cristalización en el tacho. Método de espe-ra, choque, semillamiento completo.

Pa-ra lograr la cristalización del azúcar, se lleva la solución de no saturada a sobresaturada por pérdida de

agua mediante la evaporación.

Se pueden distinguir diferentes rangos de sobresaturación, cada uno asociado con una definida fase de formación de cristales. Herzfeld distingue tres zonas (Fig. No. 2).

Zona metaestable, donde	$S = 1.0$ a 1.2
Zona intermedia	$S = 1.2$ a 1.3
Zona inestable o lábil	$S \geq 1.3$

Los expertos señalan las siguientes características a éstas zonas:

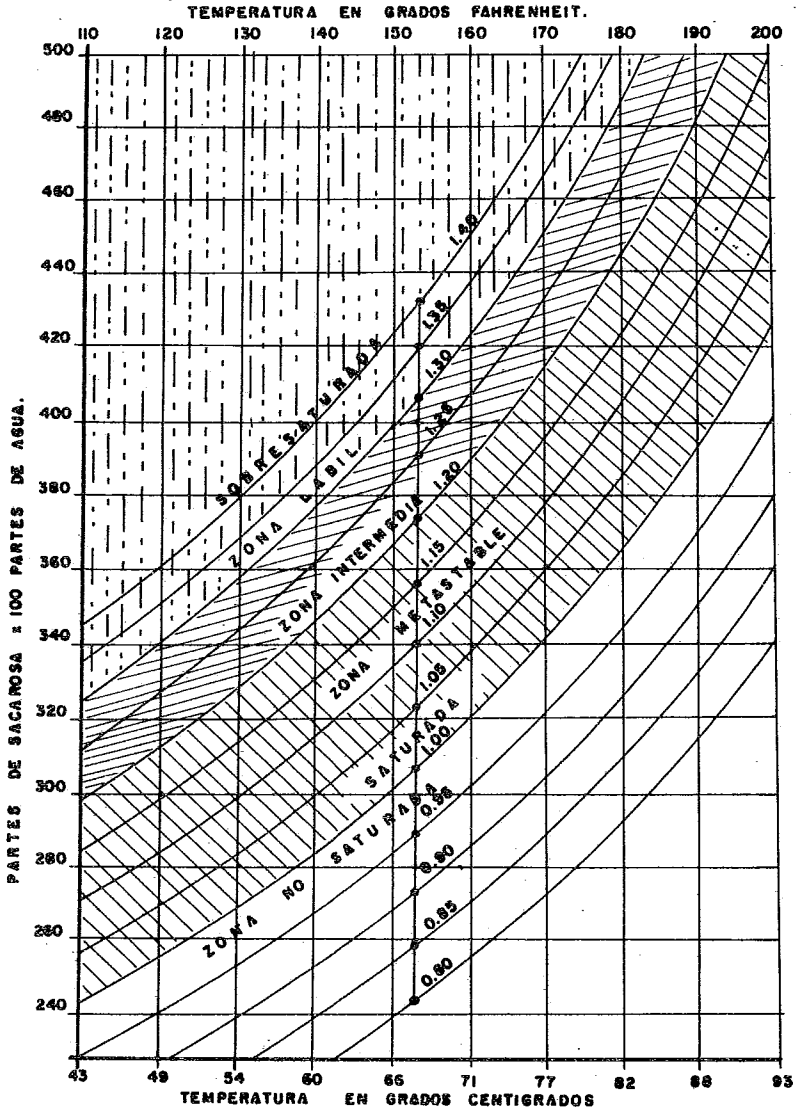
Zona meta-estable.- Esta zona está inmediatamente arriba de la línea de saturación, siendo bastante amplia. - La sobresaturación de esta zona no permite la formación de cristales, pero sí permite el crecimiento de ellos.

Zona intermedia.- En ésta zona se pueden formar nuevos cristales solamente en presencia de los existentes o - por choque.

Zona lábil.- En ésta zona se pueden formar nuevos -- cristales aún sin existir otros, formándose núcleos espontáneamente. Es ésta la zona de reproducción.

Para la formación de cristales se pueden seguir los siguientes métodos.

- 1.- Espera
- 2.- Por choque
- 3.- Semillamiento completo.



CURVAS DE SOBRESATURACION PARA SACAROSA MOSTRANDO LAS ZONAS DE CONCENTRACION, BASADOS EN LAS TABLAS DE SOLUBILIDAD DE HERZFELD.

FIG. 2

1.- Espera.- Cuando se sigue éste método hay que llevar la sobresaturación hasta la zona lábil. El coeficiente puede llegar hasta 1.6

El tachero deberá decidir cual es la cantidad de grano adecuado. Llegando el momento se alimenta meladura o agua para bajar la saturación hasta la zona meta-estable, donde continuará desarrollando el grano hasta "botar"

La templa.- Si el tachero por cualquier error tomó más grano que el necesario, se verá obligado a "bajar" hasta la zona meta-estable introduciendo agua disolviendo parte del grano. Si tomó menos grano se verá obligado a llegar otra vez a la zona lábil y cristalizar de nuevo.

Para ésto pudo haber disuelto el grano previamente o simplemente cristalizar sobre el ya existente. En ambos casos las consecuencias son indeseables, pues se pierde tiempo, se consume más energía, se obtienen granos de diferentes tamaños, se forman conglomerados, afectando además los pasos subsecuentes del proceso.

2.- Choque.- siguiendo este método, se lleva la sobresaturación a la zona intermedia hasta un valor de 1.3 ó 1.4, llegado este punto se introduce una cantidad de azúcar en polvo. Junto con el azúcar se admite algo de aire, lo que ocasiona un cambio brusco de condiciones, pasando casi instantáneamente a la zona lábil.

Como se puede ver, éste procedimiento es más rápido que el de espera, pero como quiera que sea, se está trabajando en una zona muy estrecha con valores altos de sobresaturación (S. S.). Esto provoca formaciones de conglomerados y de granos en cantidad y forma indefinida, lo cual

provoca trastornos en los procesos siguientes.

3.- Semillamiento completo.- Este procedimiento consiste en introducir al tacho "una semilla" de azúcar finamente molida suspendida en alcohol etílico; ésta suspensión tiene una consistencia pastosa (slurry). Con Este método todo el número de cristales que se obtengan de la templa será el mismo que se haya inoculado. De ésta forma se puede controlar la cantidad de cristales deseada en una solución sobresaturada. La zona en que se trabaja es la meta-estable y con valores de sobresaturación de 1.15 a 1.20. Bajo éstas condiciones se introduce la semilla por una conexión que debe tener el tacho de preferencia que dé al tubo central de la calandria, ya sea por la parte inferior o la superior del tacho.

Las ventajas que se obtienen con éste método son:

Logro de templeas con grano uniforme.
Cantidad y tamaño de grano predecible.
Mayor agotamiento.
Mejor centrifugación.

D).- DETERMINACION DEL GRADO DE SOBRESATURACION.

1.- Por lo anotado en párrafos anteriores queda demostrada la necesidad de un método para determinar en la forma más exacta posible el grado de sobresaturación del licor que se esté procesando en un tacho. El método tradicional es la prueba de "dedo". El tachero toma una muestra del cocimiento valiéndose de la sonda y la coloca entre sus dedos pulgar e índice; abriendo rápidamente los dedos, se forma una hebra de miel la cual le dá una idea al operario del grado de sobresaturación. Traducir a términos exactos

tos éste tipo de observación es muy difícil pues cada tacherero tendrá diferente sensación al tacto, aparte que el enfriamiento de la muestra altera la viscosidad. Puede apreciarse que el método es altamente subjetivo. P. Honig consigna que verificando el juicio de los tacheros contra instrumentos de medición la opinión referente al grado de sobresaturación variaba al azar.

2.- La elevación del punto de ebullición (EPE) se define como la diferencia de temperatura entre el punto de ebullición de una solución de sacarosa a una presión absoluta dada, y el punto de ebullición del agua a la misma presión absoluta.

Los primeros experimentos indicaron que las elevaciones del punto de ebullición variaban con la concentración de sacarosa, y también con el tipo y cantidad de impurezas en el caso de soluciones impuras.

Spengler, Bottger y Werner hicieron pruebas en 1938 y determinaron la elevación del punto de ebullición de soluciones puras e impuras de azúcar a diferentes concentraciones y presiones absolutas.

Holven descubrió una relación matemática lineal entre la sobresaturación y la elevación del punto de ebullición a diferentes presiones absolutas esto dió como resultado un método práctico de medir la sobresaturación directamente.

Una representación gráfica de los puntos de ebullición de las soluciones de azúcar, a cualquier grado de sobresaturación contra los correspondientes puntos de ebullición del agua a la misma presión absoluta dan una línea --

recta (Fig. No. 3). La pendiente de estas líneas varía solamente con la sobresaturación y la pureza. Para una pureza constante, la relación anterior puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{Tan } \theta = \frac{T_w - T'_w}{T_s - T'_s}$$

Donde:

T_s y T_w = Los puntos de ebullición de la solución de azúcar y el agua, a la misma presión absoluta.

T'_s y T'_w = Los puntos de ebullición correspondientes de la solución de azúcar y del agua a alguna otra presión absoluta.

Donde:

$\text{Tan } \theta$ = Pendiente de la línea de sobresaturación constante.

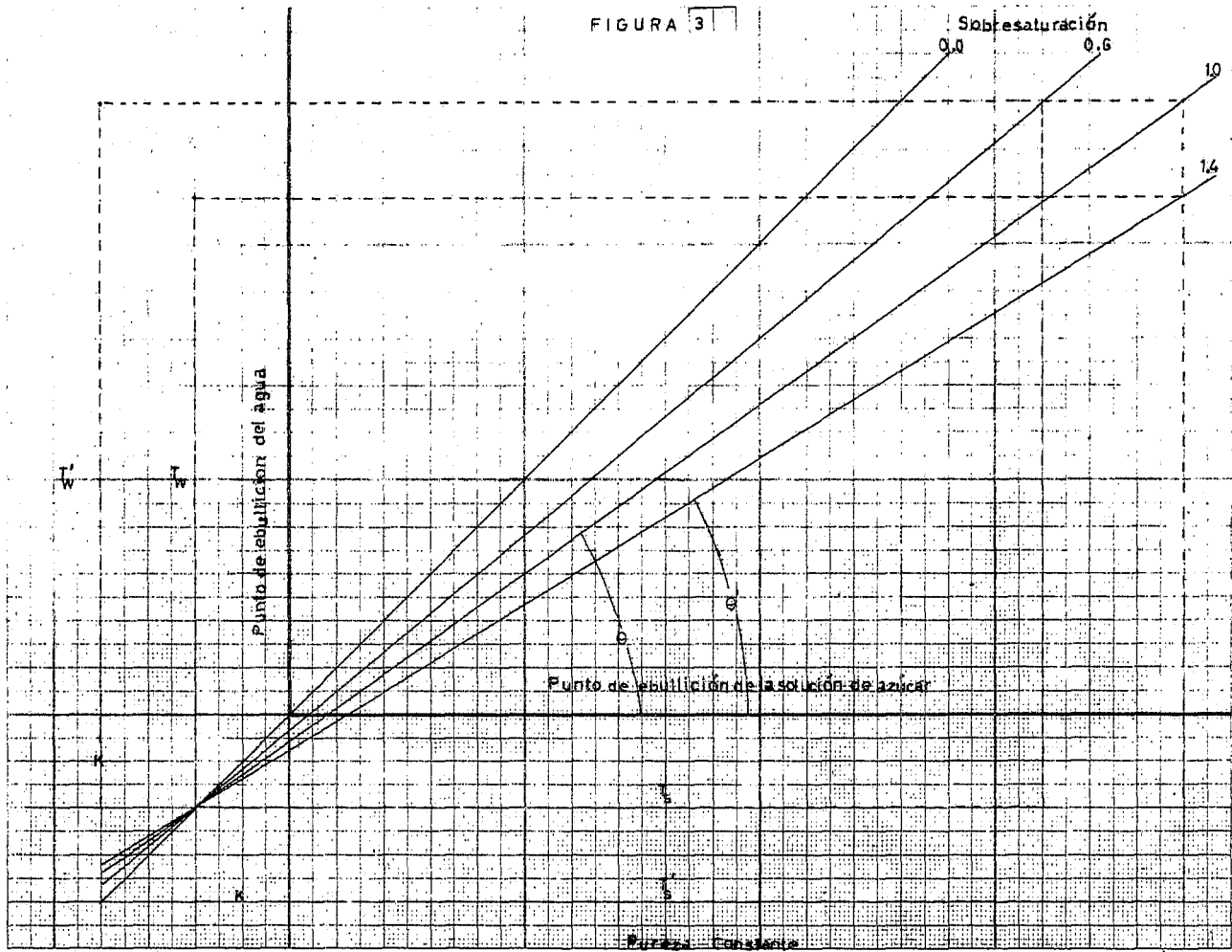
Si se sustituyen T'_s y T'_w por una constante K obtendremos una familia de líneas rectas de pendientes diversas que representan la sobresaturación (Figs. No. 3 y 4).

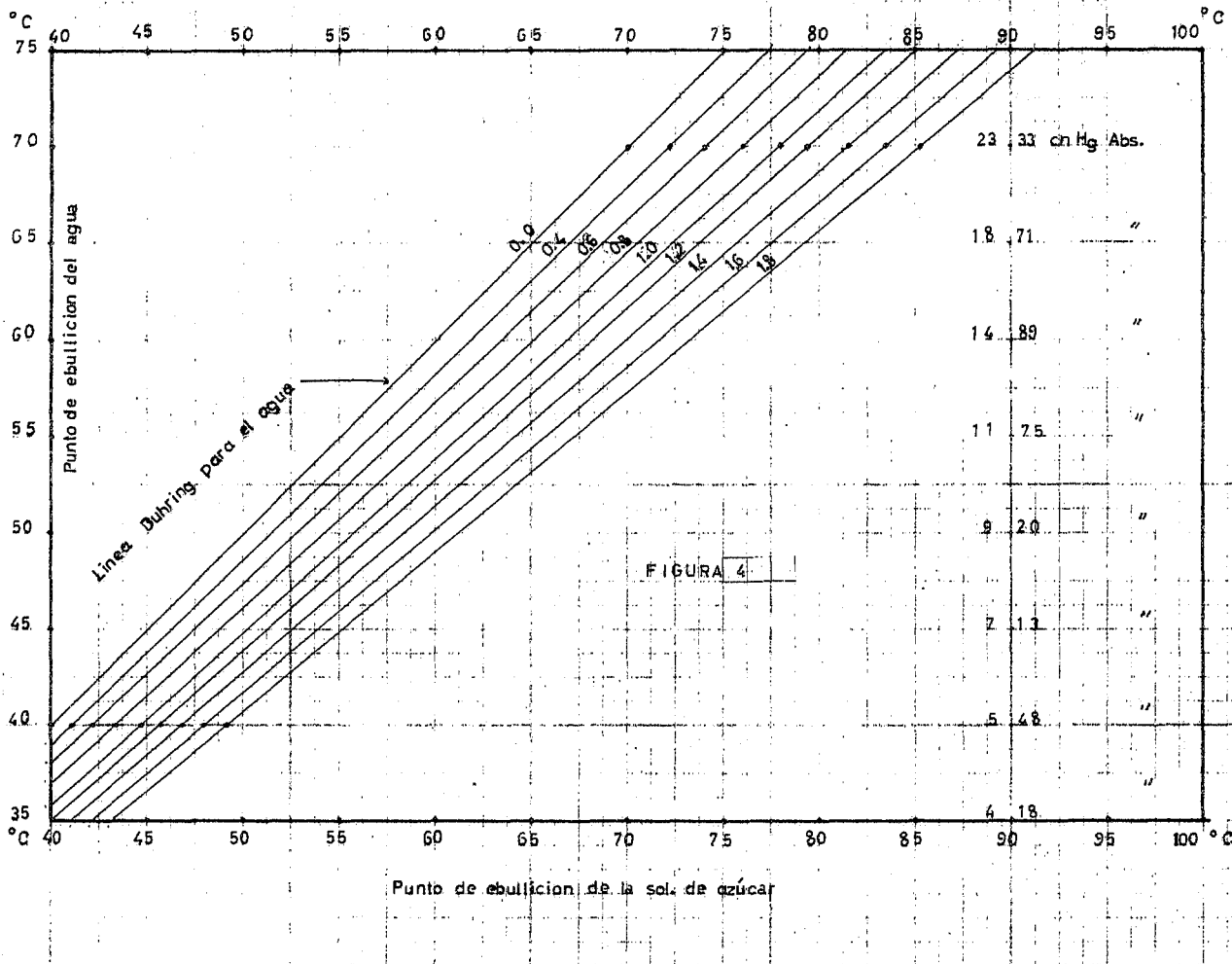
CONDUCTIVIDAD.

3.- El paso de una corriente eléctrica a través de un conductor siempre sufrirá una oposición la cual dependerá de la naturaleza de dicho conductor y su temperatura. Dicha oposición se le conoce como resistencia (R).

Geoge Simon Ohm (1787 - 1854) descubrió que la corriente (I) de un circuito varía directamente con el voltaje (E) e inversamente con la resistencia (R). La unidad de resistencia es el ohmio.

FIGURA 3





$$I = E / R$$

$$R = E / I$$

$$E = I R$$

Esta última relación se conoce como la Ley de Ohm. --
Donde:

E en voltios

I en amperios

R en ohmios

4.- La resistencia de cualquier conductor varía directamente con su longitud (L) y la resistencia específica del material ó resistividad (p) e; inversamente con el área del corte transversal (s).

$$R = \frac{L}{s} (p)$$

5.- La conductividad (Y) es la inversa de la resistividad (p), la conductividad se calcula por medio de la expresión.

$$Y = \frac{1}{p}$$

Donde: (p) representa la resistividad.

6.- La conductibilidad es la conductancia de un cuerpo de 1 cm² de sección (s) y un cm de longitud (L). --
Puesto que la conductancia (c) es igual a:

$$c = \frac{Y (s)}{L}$$

Y en este caso $s=1$ y $L = 1$, se tendrá que $c = Y$, entonces tenemos que; de la ecuación del párrafo 5 tenemos:

$$Y = \frac{1}{p}$$

Y como $c=Y$, entonces tenemos que:

$$c = Y = \frac{1}{p}$$

Ha sido costumbre expresar la conductividad en mhos u ohms recíprocos por cm^2 , cúbica. Actualmente se está generalizando el término siemens (s) como unidad y el micro-siemens (ms), la millonésima parte de un siemens. En este trabajo utilizaremos éstas últimas expresiones.

7.- La prueba de dedo que efectúa el tachero es en cierto modo un medio para tratar de detectar el grado de viscosidad de una solución concentrada de azúcar. Lo cierto es que la viscosidad está relacionada con la sobresaturación. Mientras más concentrada esté una solución más alta es su viscosidad. También es un hecho conocido que la actividad de los iones en una solución determina su conductividad eléctrica y que además está relacionada íntimamente con la viscosidad. P. Walden en 1906 estableció que en soluciones con la misma concentración de electrolitos la relación entre la viscosidad y la conductividad puede expresarse:

Conductividad x Viscosidad = Constante

8.- P. Honig, Corver y Nicola efectuaron una serie de estudios para determinar la relación entre la viscosidad -

y la conductividad de las soluciones de azúcar, encontrando que la relación arriba señalada no es exactamente correcta para estos casos.

Utilizando soluciones de sacarosa con KCI al 2% obtuvieron la siguiente ecuación:

$$\text{Conductividad} \times \text{Viscosidad}^{0.80} = \text{Constante}$$

La correlación entre Brix (grado Brix), sobresaturación, viscosidad y conductividad obtenida se presenta en la tabla No. 1. En la Fig. No. 5 se tiene la gráfica de la relación entre la conductividad y el grado de sobresaturación de la misma solución.

E).- INSTRUMENTACION PARA MEDIR LA SOBRESATURACION. EFECTOS DE LA PUREZA.

1.- Tomando como base la E.P.E. podríamos aplicar la manera más sencilla de medir la S.S. utilizando como indicadores un termómetro para la temperatura de la masa cocida, y un vacuómetro bien calibrado para inferir la temperatura del vapor saturado. Al utilizar el vacuómetro, se deberá tener cuidado de hacer la corrección debida a la presión atmosférica. Consultando las tablas de las propiedades termodinámicas del vapor publicadas por Keenan and Keyes podremos saber la temperatura del vapor saturado.

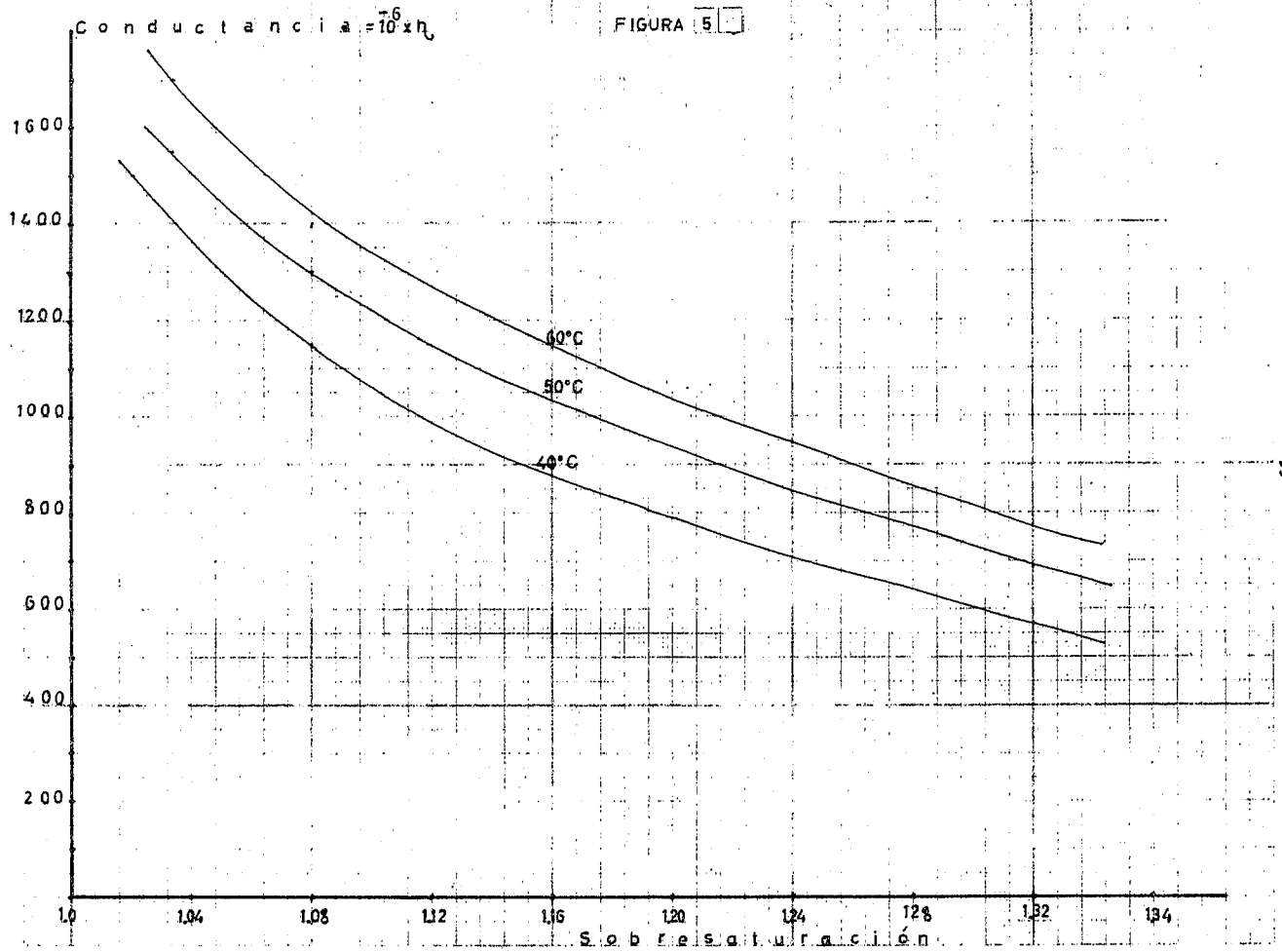
Consultando las tablas de Webre podríamos establecer la S.S., conociendo la pureza de la masa y su temperatura.

2.- Existen en el mercado por lo menos dos marcas de aparatos que, con las técnicas adecuadas hacen uso del prin

T A B L A N^o 1

BRIX	SOBRESATURACION	VISCOSIDAD EN POISES	CONDUCTIVIDAD EN μ S
7 2	0.968	0.70	18 77
7 3	1.018	0.87	14 81
7 4	1.072	1.12	12 5 5
7 5	1.130	1.43	10 77
7 6	1.192	1.79	9 0 7
7 7	1.260	2.33	7 4 4
7 8	1.335	3.05	5 9 8

FIGURA 5



cipio de operación señalado arriba. Estos aparatos dan --- lecturas directamente en grados de sobresaturación, utilizando el fenómeno de la temperatura diferencial provocado por la E.P.E. Más adelante detallaremos un poco más estos aparatos.

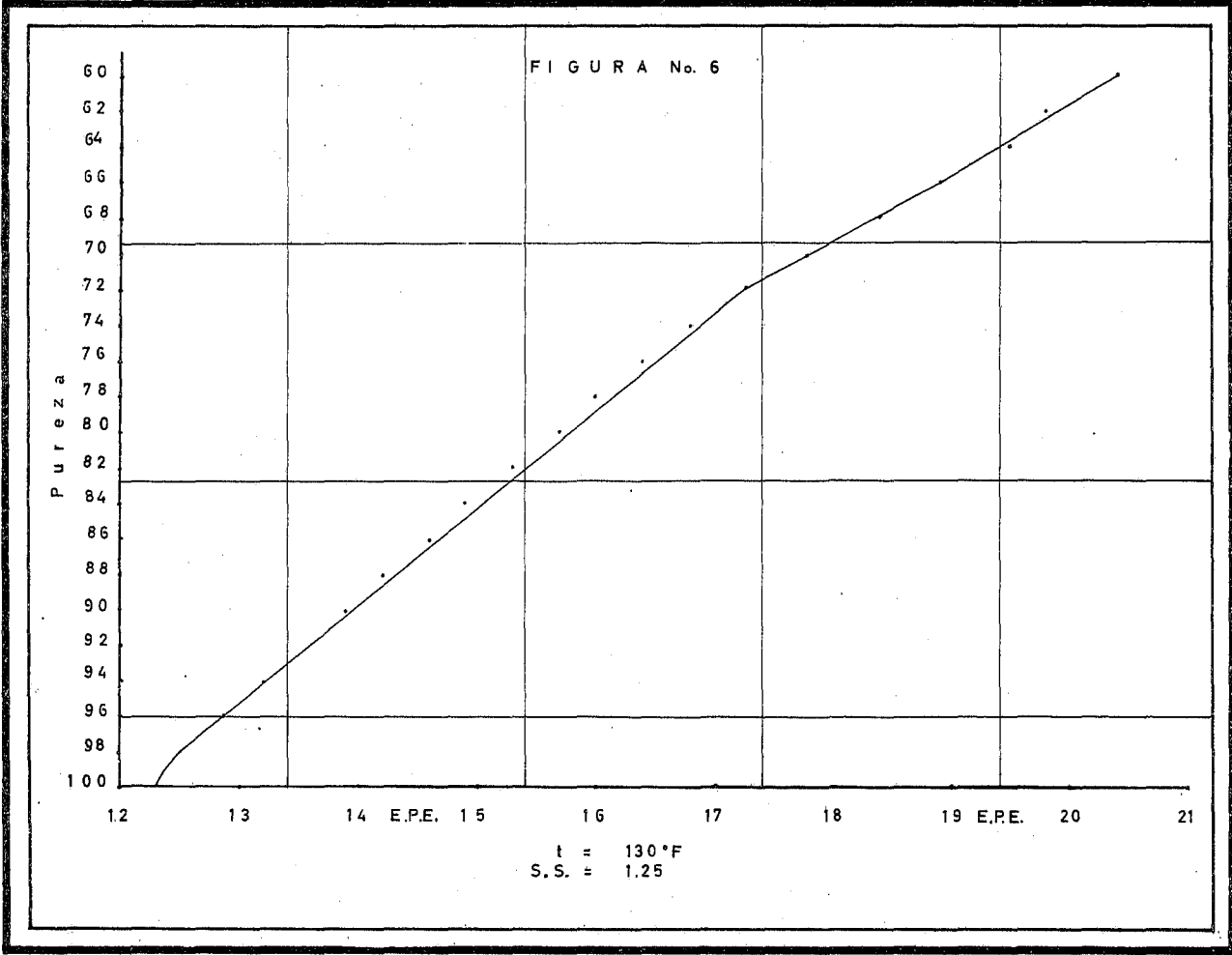
3.- También se manufacturan aparatos que midiendo la conductividad pueden dar idea de la S.S., como vimos en páginas anteriores cualquier conductímetro adecuadamente calibrado nos podrá servir para tal fin, utilizando los electrodos apropiados.

4.- Sea cual fuere el método de medir la sobresaturación, las lecturas se verán afectadas por el grado de pureza de la solución. Si se aplica el método de la elevación del punto de ebullición (E.P.E.), la presencia de los materiales no-sacarosa (impurezas) altera la relación sobresaturación E.P.E., ya que dicha presencia en la solución alteran su densidad tanto como su viscosidad todo lo cual altera la tensión superficial del líquido.

Alfred L. Webre Sr. publico en 1953 unas tablas donde da la E.P.E. a diferentes purezas. En la Fig. No. 6 se puede ver para una misma temperatura de masa cocida y una sobresaturación de 1.25 como afecta la pureza la E.P.E.

Estos valores fueron tomados de dichas tablas.

5.- La sacarosa pura tanto como el agua destilada -- no son conductores de la electricidad. Cuando medimos la conductividad en una solución azucarada, en realidad lo -- que estamos midiendo es la actividad iónica de los materiales no-sacarosa disueltos en el agua. Cuando medimos la so



bresaturación de una solución con un conductímetro, cualquiera que sea el tipo de éste, lo que detectamos es la reducción de la movilidad de los iones a medida que la sacarosa se concentra.

Para una misma concentración de sacarosa y a una misma temperatura, las lecturas de conductividad variarán según la cantidad y tipo de elementos no-sacarosa disueltos en la solución.

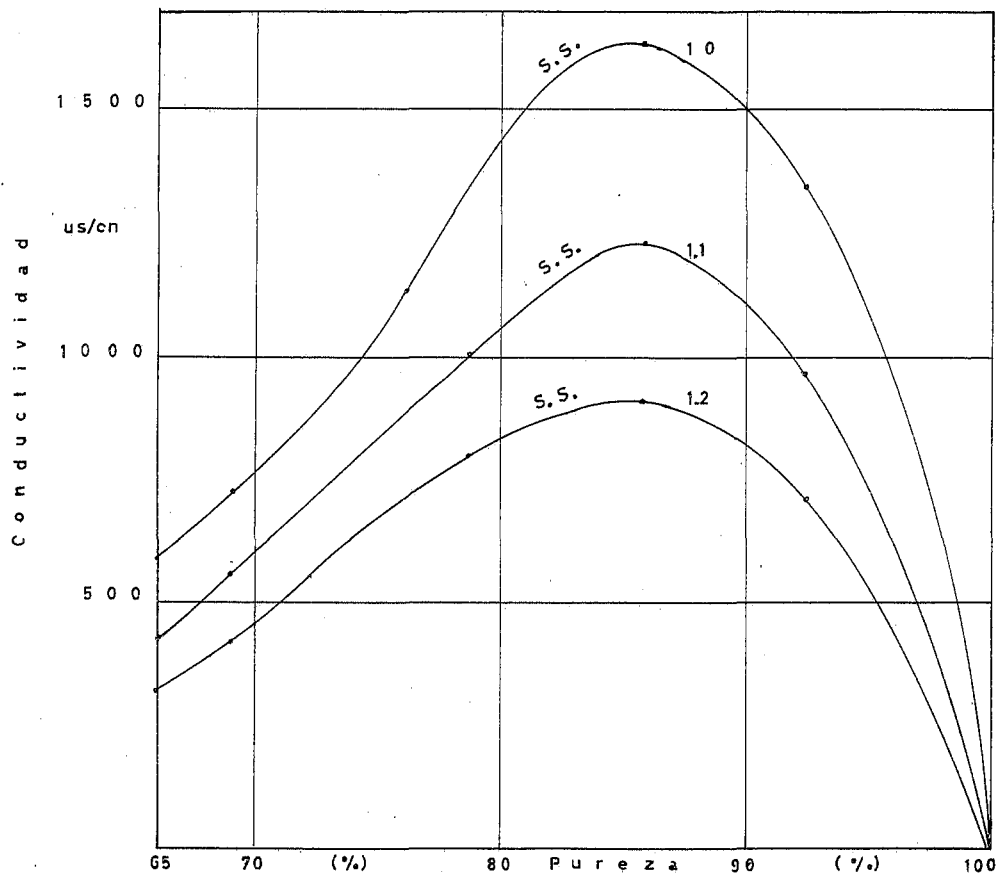
Los valores dados por P. Honig de sobresaturación -- contra conductividad (Fig. No. 5, Tabla 1) no son aplicables al trabajo desarrollado en los ingenios. Estos valores sólo sirven para darnos una idea del comportamiento de las soluciones azucaradas con determinado tipo de impureza, en éste caso el KCl.

6.- Por lo anotado arriba podemos ver que al utilizar cualquiera de los dos métodos para medir la sobresaturación es necesario hacer correcciones según la pureza del material.

Además, tratándose del sistema de conductividad éste no es recomendable utilizarlo en soluciones de alta pureza, ya que como anotamos en páginas anteriores, la cantidad y tipo de impurezas influyen en la conductividad de las soluciones, mientras más puras sean éstas menos conductivas serán. Dado lo anterior lo recomendable es trabajar éste tipo de aparato con materiales que no excedan una pureza del 90% (Fig. No. 7).

F).- REQUISITOS DE UN SISTEMA PARA AUTOMATIZAR EL COCIMIENTO EN UN TACHO.

FIGURA No. 7



1.- Una buena cristalización en tachos exige que para lograr la máxima reducción en forma económica y de alta calidad se opere llenando los siguientes requisitos:

Bajo consumo de energía.
Rápido desarrollo del proceso.
Máximo agotamiento de las mieles.
Mínimo contenido de conglomerados y falsos -
cristales.
Dimensiones uniformes de los cristales.

2.- Las mayores dificultades hasta hoy en el proceso de cocimiento en tachos han sido:

Determinar en forma precisa el momento más adecuado para ensemillar.

Después de ensemillar y durante el período de formación del grano, la operación del tacho debe mantenerse de manera muy cuidadosa en la zona meta-estable con el fin de prevenir la formación de grano falso. Esto requiere gran experiencia, mucha destreza y atención concentrada.

El suministro de material (miel o meladura) durante el levantamiento de la templa debe de hacerse de tal manera que asegure el máximo agotamiento de la templa, debe de hacerse de tal manera que asegure el máximo agotamiento cuando el nivel en el tacho es el máximo.

En la (Fig. No. 8) se muestra como la evaporación, los efectos de la cristalización y la alimentación alteran el grado de S.S., mostrando la necesidad de mantener en balance el proceso.

ZONAS PRACTICAS DE SOBRESATURACION

Grados de saturación

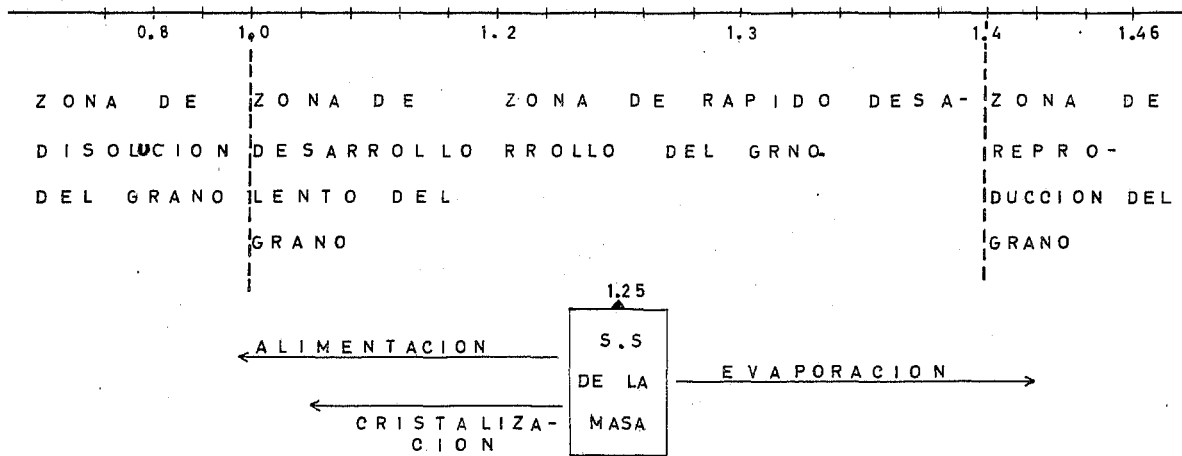


FIG. No. 8

3.- Por lo visto en párrafos anteriores, un sistema automático deberá ser capaz de:

Detectar el grado justo de S.S. para el ensemi-llado.

Controlar de manera confiable el periodo de cre-cimiento del grano

Suministrar en forma adecuada el material para su mejor agotamiento.

G).- SISTEMAS COMERCIALES ACTUALES, VENTAJAS Y DES-VENTAJAS.

1.- Holven desarrolló un instrumento relativamente sencillo para leer directamente valores de sobresaturación. - El aparato consta de dos puentes de Wheatstone conectados en oposición a través de un potenciómetro y un galvanómetro para indicar el balance. De los cuatro brazos que forman un puente, uno de ellos es una resistencia sensible a la temperatura. Al tener dos puentes se tienen dos resistencias sensibles (Fig. - No. 9). Una de las resistencias se instala en un recipiente al que se le denomina "tacho piloto". Este recipiente deberá estar conectado por medio de un tubo de unas 2" al domo del tacho, o bien puede ser un codo de unas 8" soldado al domo directamente. El tacho piloto se alimenta con agua caliente. El bulbo de la - resistencia se instala de manera que quede inmerso en el vapor pero sin tocar el agua. La otra resistencia se instala en el - tubo central de la calandria de manera que la parte sensible - quede unas 3" abajo del espejo. Esta profundidad no debe de - excederse, pues la presión hidrostática influye en la temperatu - ra obteniendo lecturas erróneas. Ala resistencia que va dentro de la masa, se le conecta en paralelo un reóstato con el cual se hace la compensación por los cambios de pureza, una firma - fabricante de instrumentos adquirió los derechos de éste apara - to modificándolo agregando un amplificador electrónico con un - servo-mecanismo el cual mueve el - - -

CIRCUITO BASICO PARA SOBRESATURACION

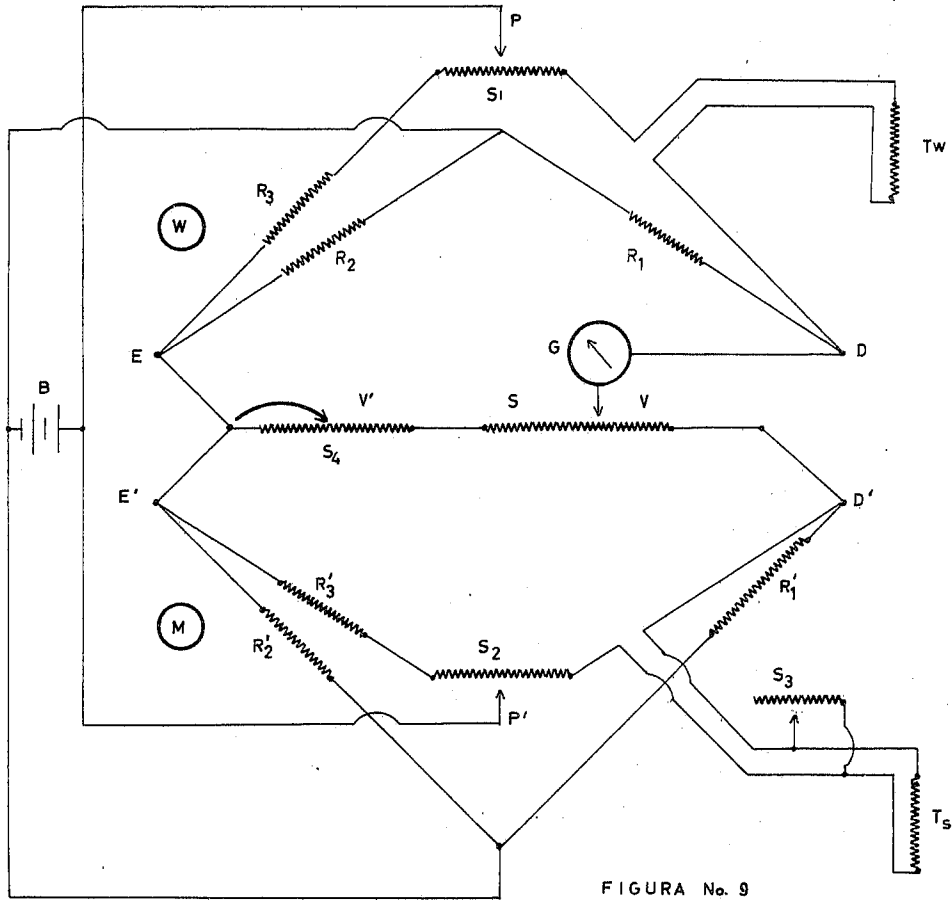


FIGURA No. 9

reóstato de balance al mismo tiempo que una plumilla sobre una gráfica (Fig. No. 10).

Debido a que el aparato es electrónico, su velocidad de respuesta es casi instantánea. El circuito de medición es sumamente preciso, pues las resistencias que lo forman están hechas de aleaciones de metales que sufren una alteración muy pequeña con los cambios de temperatura ambientales. Otra ventaja es que la compensación por pureza es muy fácil, pues basta un pequeño ajuste a la perilla del reóstato correspondiente para lograrlo.

La desventaja de éste tipo de aparato es que como el bulbo de resistencia que está en contacto con la masa queda totalmente sumergido al subir el nivel en el proceso de levantamiento de la templa, las lecturas de temperatura diferencial dejan de ser representativas del grado de sobresaturación de la cocción.

Esto impide utilizar el aparato para acompletar el proceso, por lo que se tiene que echar mano de otros aparatos para lograrlo.

2.- Alfred L. Webre, Sr. en el año de 1953 publicó un artículo en el que describe un sistema nuevo para la cristalización en tachos. El instrumento mide la elevación del punto de ebullición (E.P.E.), valiéndose del hecho de que para una determinada presión absoluta corresponde una temperatura característica del vapor de agua saturado.

Este aparato tiene dos indicadores de temperatura. Uno de ellos es recto y es el que indica la temperatura de la masa. Este es activado por un sistema termal lleno de mercurio el. - - -

CIRCUITO BASICO DE MEDICION DE SOBRESATURACION

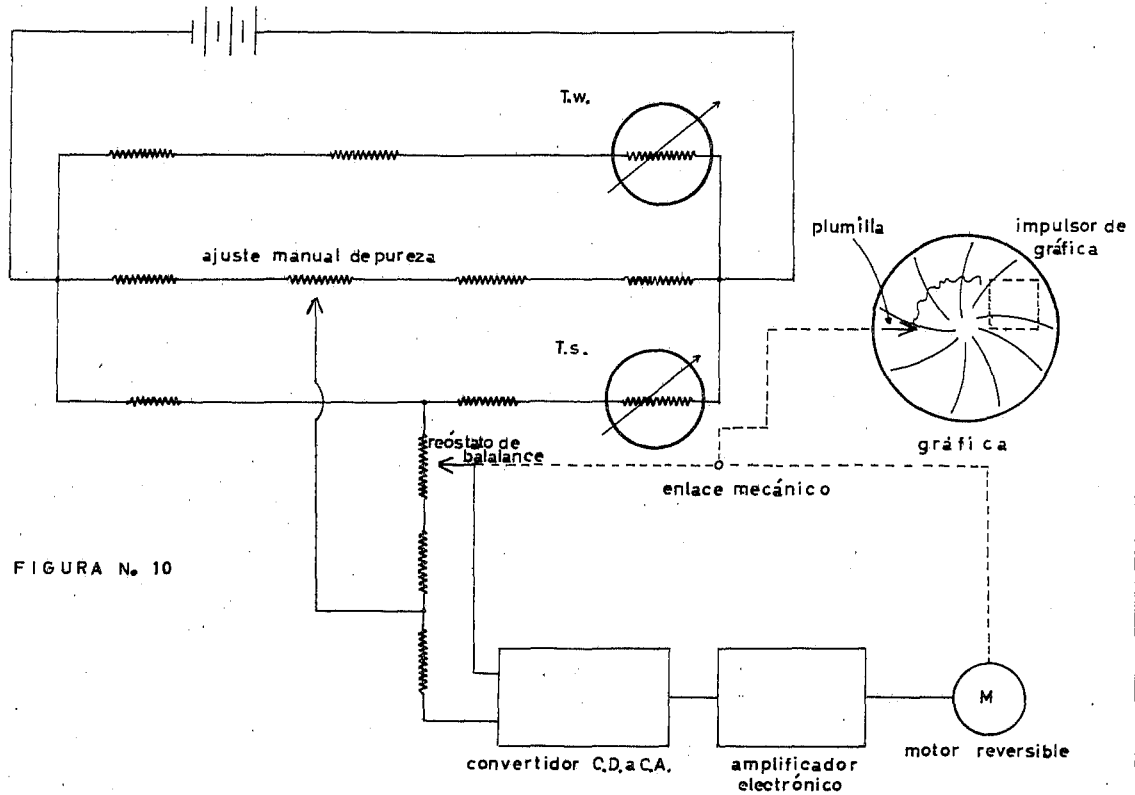


FIGURA N. 10

cual tiene una respuesta lineal a los cambios de temperatura; el sistema consta de un bulbo, tubo capilar y tubo bourdón.

El bourdón se encuentra instalado en la caja donde va el resto del mecanismo. El bulbo se instala en el tubo central de la calandria y ligeramente abajo del espejo o placa superior de ésta.

El otro indicador el cual señalará la temperatura de ebullición del agua, es curvo, y activado por un par de fuelles montados en oposición y unidos por el centro. Uno de ellos se conecta al tacho por medio de una tubería; el otro es un fuelle al cual se le hace el alto vacío y luego se sella. (Esto último se hace en fábrica).

El objeto de éste último fuelle es compensar los cambios de presión atmosférica (Fig. No. 11).

El movimiento resultante en la unión de ambos fuelles es la suma algebraica de sus movimientos individuales. Por medio de eslabones éste movimiento es transmitido al puntero curvo. Los punteros (el recto y el curvo), quedan uno debajo del otro y casi en el mismo centro de giro, pero siendo totalmente independiente en su movimiento el uno del otro.

Debajo de los punteros se instala una gráfica (Fig. No. 12), la cual cuenta con las graduaciones rectas que corren de arriba hacia abajo y con la escala en la parte inferior; éstas indican la temperatura de la masa. Corriendo de arriba hacia abajo pero ligeramente inclinadas hacia la izquierda, se encuentran las graduaciones curvas correspondientes a la presión absoluta, sólo que en éste caso las -

ELEMENTO FISCHER Y PORTER PARA MEDICION DE PRESION ABSOLUTA

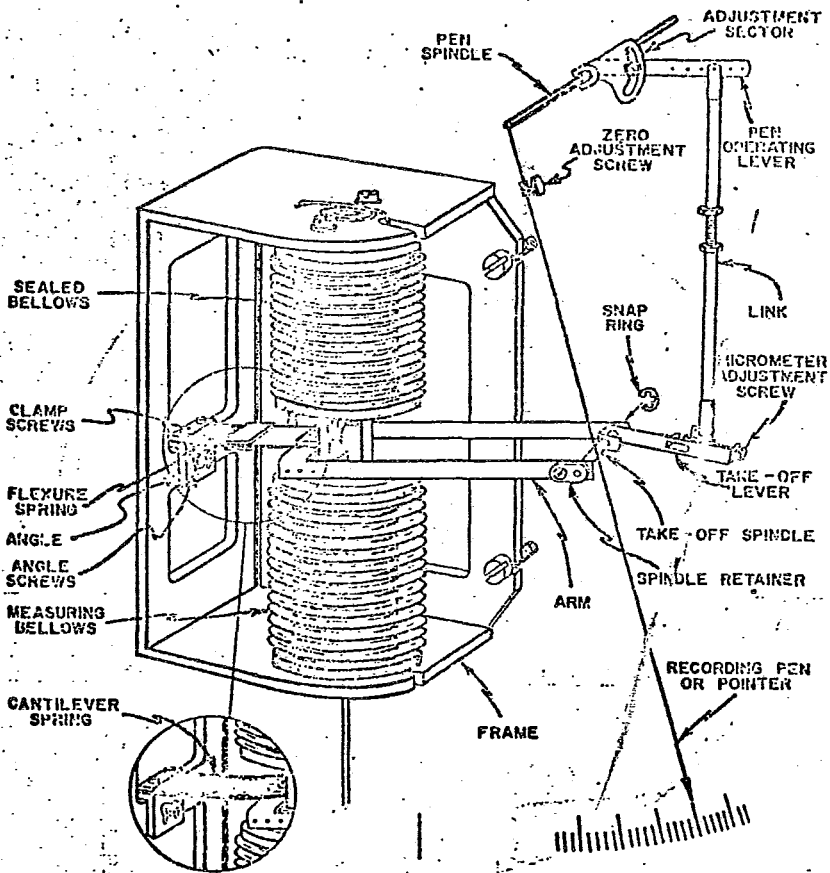
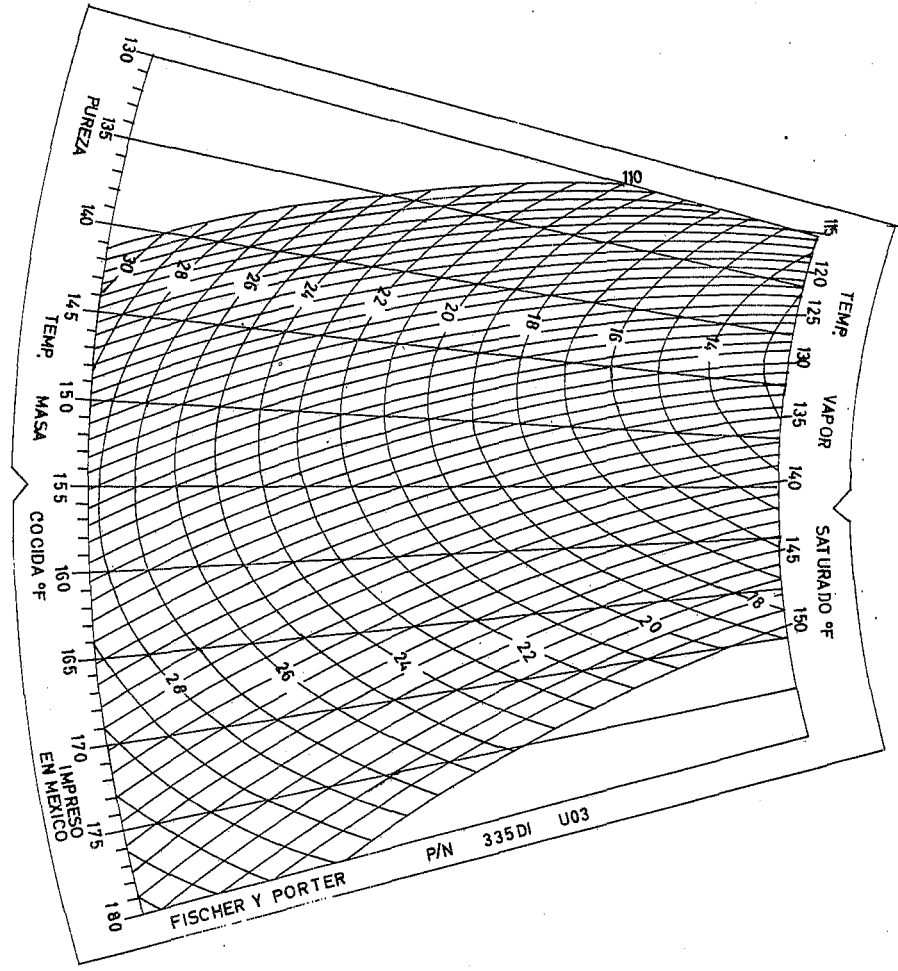


FIG. No 11



graduaciones están dadas en grados de temperatura del vapor saturado. La escala se encuentra en la parte superior de la gráfica. Las temperaturas de elevación del punto de ebullición son los arcos con la concavidad hacia abajo que se dirigen de izquierda a derecha.

Las curvas de sobresaturación se trazan con la ayuda de las tablas que se suministran con el equipo (Tabla II - Figs. No. 13, 14, 15 y 16).

El aparato es sencillo y de calibración no muy complicada. El sistema de gráficas es muy ilustrativa para el personal de operación y de fácil lectura ya que el punto de S. S. se localiza en el cruce de los dos punteros, además, es fácil de instalar.

La casa comercial suministra tablas para trazar gráficas de S.S. a diferentes purezas, que van de 60 a 100 y de dos en dos cifras, con lo que se pueden trazar 21 gráficas si se requiere.

En la práctica el tachero requerirá cambiar de gráficas tantas veces como cambie la pureza del material, lo que puede ser problemático sino se tiene cuidado. Por otro lado el sistema termal lleno es mucho más lento en su respuesta en comparación al bulbo de resistencia.

Además, como en el caso anterior, el empezar a levantar la templa, la presión hidrostática afecta la lectura del bulbo que va en la masa.

Webre señala una altura de 3" sobre la placa de la calandria para tener indicaciones excesivas de temperatura

ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION DE COCIMIENTOS DE MIELES DE AZUCAR DE CAÑA, A DIFERENTES PUREZAS, SATURACIONES Y TEMPERATURAS (TOMADO DE TABLAS PUBLICADAS POR A. L. --WEBRE, SR. 1953).

PZA. APARENTE 60.00 (PZA. REAL 68.60)

GRADOS	S.S.	S.S.	S.S.
°F	1.00	1.25	1.40
130	16.40	20.45	22.90
135	17.00	21.20	23.80
140	17.50	21.90	24.60
145	18.10	22.60	25.40
150	18.75	23.40	26.20
155	19.30	24.10	27.00
160	19.85	24.80	27.80
165	20.50	25.60	28.60
170	21.10	26.30	29.40
175	21.60	27.00	30.20
180	22.25	27.80	31.00

PZA. APARENTE 76.00 (PZA. REAL 81.20)

GRADOS	S.S.	S.S.	S.S.
°F	1.00	1.25	1.40
130	13.10	16.40	18.30
135	13.60	17.00	19.00
140	14.20	17.70	19.80
145	14.70	18.40	20.50
150	15.20	19.00	21.30
155	15.75	19.70	22.00
160	16.30	20.40	22.80
165	16.80	21.00	23.60
170	17.35	21.70	24.30
175	17.90	22.40	25.10
180	18.40	23.00	25.90

PZA. APARENTE 86.00 (PZA. REAL 89.00)

GRADOS	S.S.	S.S.	S.S.
°F	1.00	1.25	1.40
130	11.70	14.60	16.30
135	12.16	15.20	16.90
140	12.65	15.80	17.60
145	13.05	16.30	18.30
150	13.52	16.90	18.90
155	14.00	17.50	19.60
160	14.50	18.10	20.30
165	14.97	18.70	20.90
170	15.45	19.30	21.60
175	15.92	19.90	22.30
180	16.40	20.50	23.00

PZA. APARENTE 96.00 (PZA. REAL 96.90)

GRADOS	S.S.	S.S.	S.S.
°F	1.00	1.25	1.40
130	10.30	12.85	14.40
135	10.72	13.40	15.00
140	11.20	14.00	15.60
145	11.60	14.50	16.30
150	12.10	15.10	16.90
155	12.52	15.65	17.50
160	12.97	16.20	18.20
165	13.45	16.80	18.80
170	13.85	17.30	19.40
175	14.32	17.90	20.00
180	14.72	18.40	20.60

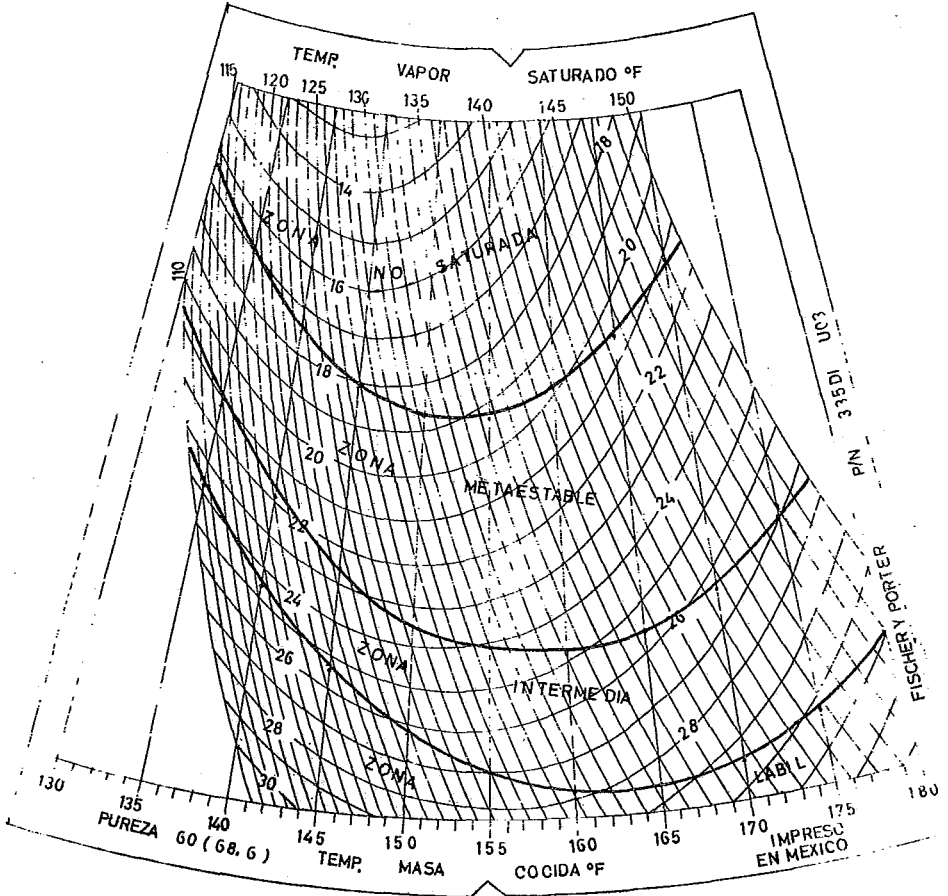


FIGURA N. 13

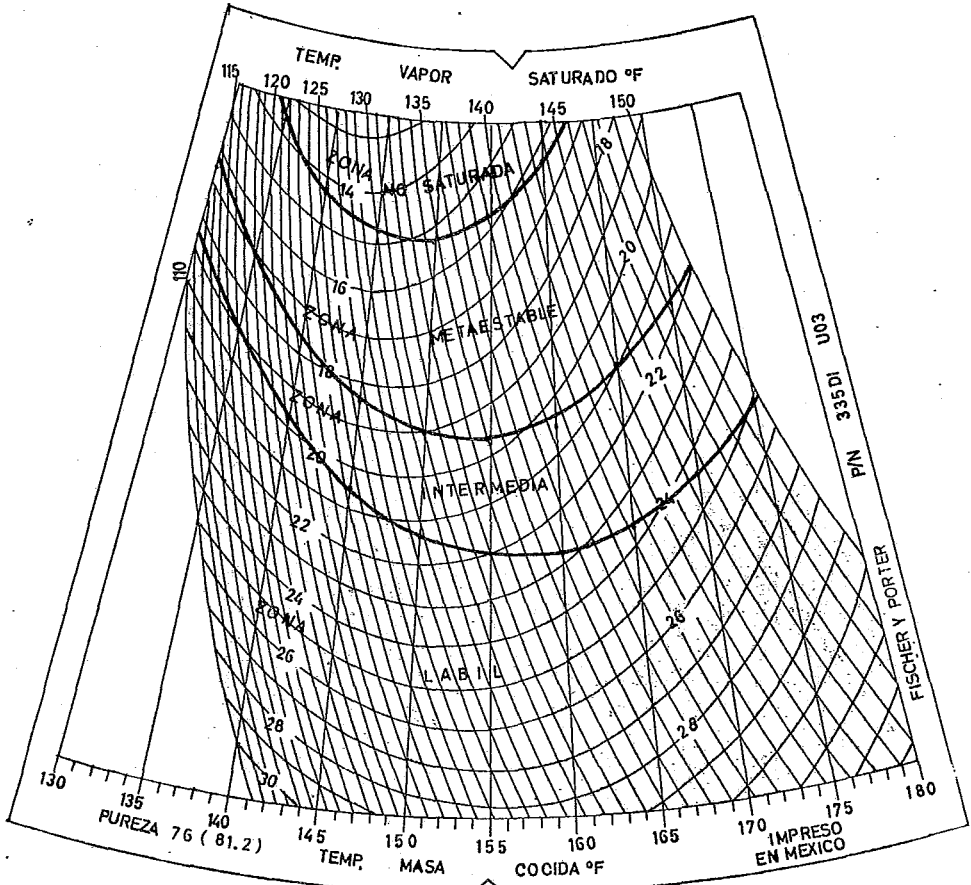


FIGURA No 14

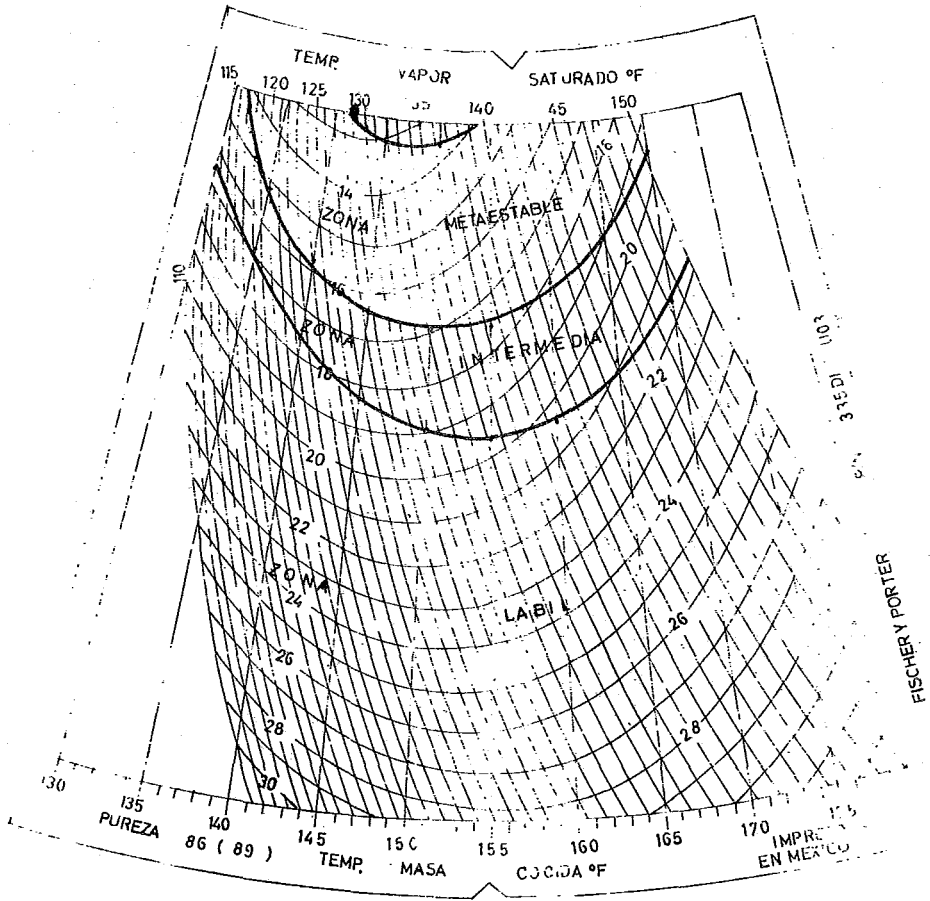


FIGURA No 15

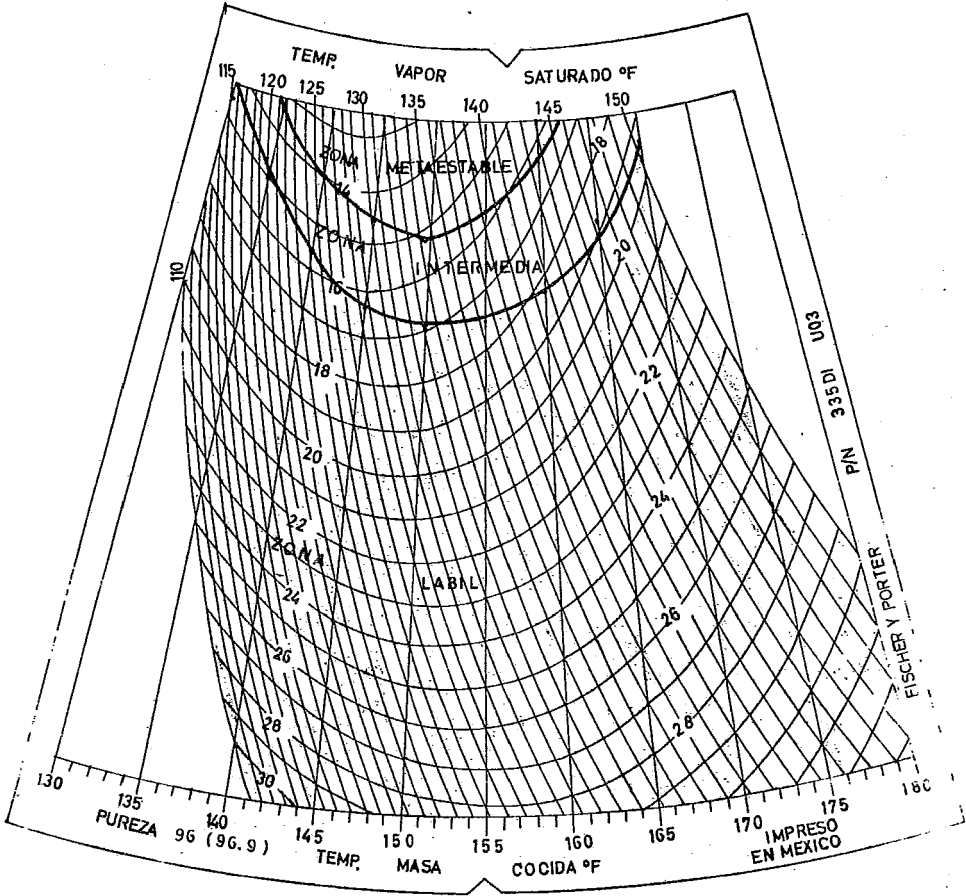


FIGURA No 16

IMPRESO EN MEXICO

de ebullición. Como en el caso anterior, es necesario recurrir a otros aparatos si se quiere llevar adelante el control automático de la operación.

3.- En las figuras Núms. 17 y 18 se aprecian los diagramas con la instrumentación recomendada por diferentes marcas comerciales para llevar adelante el cocimiento en forma automática. Un aspecto importante es que, para detectar la concentración de la masa se recurre a medir la energía eléctrica tomada por el motor del agitador. La corriente eléctrica se hace pasar por una resistencia calibrada, la cual sufre más o menos calentamiento según sea la carga. Estos cambios de temperatura son detectados por un aparato el cual controla la alimentación. En el caso de tachos sin agitador se utiliza un aparato que opera bajo el mismo principio el cual se monta por un costado del tacho. El aparato tiene un eje con tres hélices de aproximadamente 9" de diámetro las cuales quedan sumergidas en la masa. La carga del motor que mueve las hélices se mide como en el caso anterior, y la señal correspondiente se toma para el control. Este aparato se puede fabricar para dar señal neumática si se desea.

Descontando el control de vacío que es obligado en cualquier caso; para aplicar el control automático con los sistemas de medición de la E.P.E. el diseño se complica, habiendo necesidad de hacer uso de una instrumentación compleja tal como se aprecia en las figuras correspondientes.

4.- Uno de los medios más sencillos para medir la sobresaturación es sin duda el conductímetro.

El conjunto consta de un transformador con un selector para ajustar el voltaje de salida, un miliamperímetro

SISTEMA HONEYWEL DE COCIMIENTO AUTOMATICO DE TEMPLAS

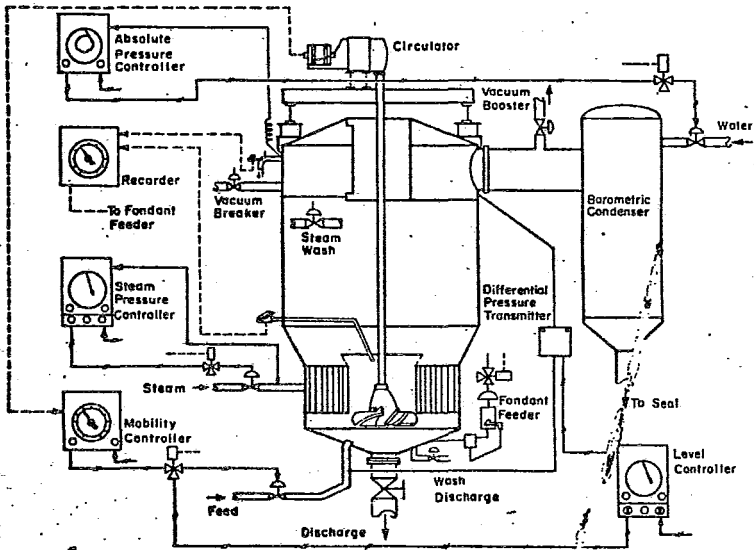


FIG. No. 17

para corriente alterna de 0 - 100 m.a. y un juego de electrodos (Fig. No. 19), el sistema se alimenta con 110 V. 60 Hertz. El juego de electrodos se monta al centro del tubo central de la calandria, alejado de las partes metálicas del tacho.

En el Ingenio se pueden desarrollar gráficas de lecturas del miliamperímetro contra grados de sobresaturación a diferentes purezas.

Manipulando adecuadamente el selector de voltaje se pueden cubrir gamas de conductividad que van de 0 - 300 ms hasta 0 - 3 000 ms, con voltajes que van de 10 a 100 v. Evidentemente que con éste sistema no se puede automatizar ningún tacho, pero sabiéndolo manejar puede ser un valioso auxiliar.

H).- Sistema automático SIEMENS aplicado en el Ingenio San Pedro para el cocimiento de templeas de masa cocida "C".

Experiencias:

Durante la zafra 1978 - 1979 se probó un sistema automático para el control del cocimiento de templeas "C", basándose en el sistema de medición de la conductividad.

El tacho donde fué instalado es el "semillero", el cual trabaja con una mezcla de miel y meladura. La capacidad total del tacho es de 43,636 litros (1,540 ft³). El nivel máximo de trabajo es de 34,784 litros (1,418 ft³); capacidad de evaporación 6.2 t/h., el tacho cuenta con agitador mecánico.

CIRCUITO BASICO DE CONDUCTIMETRO

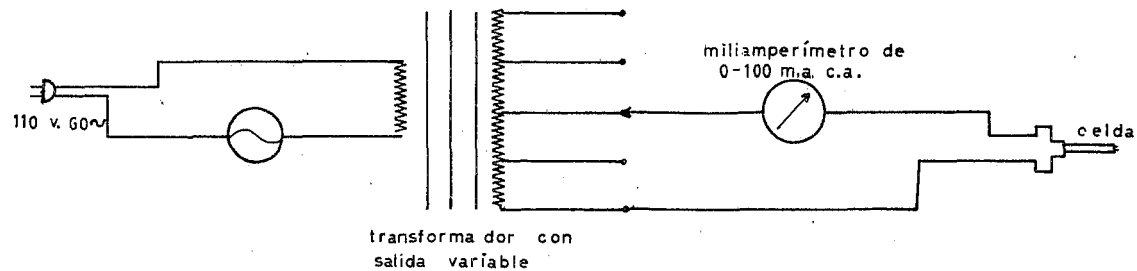


FIG. No 19

EL EQUIPO CONSTA DE LOS SIGUIENTES APARATOS:

Un tablero de control con un registrador de dos plumillas y los mandos necesarios.

Una celda diferencial de presión para la medición del nivel del tacho, con transmisión neumática.

Un juego de electrodos para la medición de la conductividad.

Un convertidor de presión a corriente eléctrica (LY).

Dos posicionadores para válvulas automáticas - de entrada eléctrica y salida neumática - - (SY).

Dos válvulas de control de 6" de sello hermético.

Cabe aquí hacer una aclaración. Los diámetros recomendados para las válvulas son los siguientes: Para la de miel 4", para la de agua 2" (Fig. No. 20), sin embargo como los posicionadores son ajustables con un amplio rango, se redujo la carrera de las válvulas de 6" para hacerles operar dentro de los límites de C.V. requeridos con lo que se logró una operación totalmente satisfactoria. El giro de las "mariposas" quedaron en 30° para la válvula de agua y 60° para la de miel (Fig. No. 20). Posteriormente fué cambiada la válvula de agua por una válvula de aguja de la medida apropiada.

Se cuenta con un controlador de vacío y un cristaloscopio.

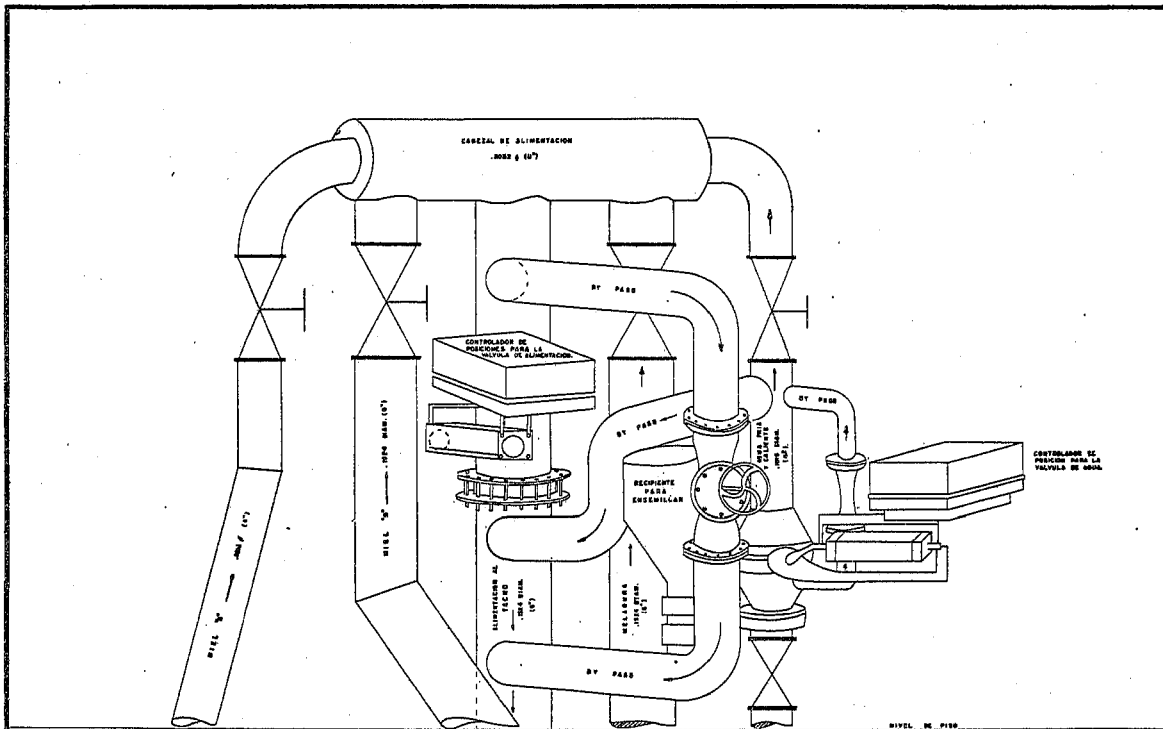
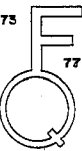


FIG. Nº 20.-

75  77	TESIS PROFESIONAL		U
	FACULTAD DE QUIMICA		N
	JOEL LAUREANO GILES BAHENA		A
	DETALLE LINEAS DE ALIMENTACION	ESC. 1:2	M
			1978

La celda de conductividad tiene una longitud de 28.5" tomada desde el extremo de los electrodos a la brida de montaje. La celda penetra dentro del tacho por debajo de la calandria en una longitud de 25" aproximadamente e inclinada, de manera que los electrodos quedan a 5" aproximadamente de la placa inferior. Esta celda se conectó con dos alambres del número 16 al tablero de control.

La celda diferencial de presión para nivel se montó en el fondo del tacho, conectando la toma de baja presión de dicha celda al tubo de vacío en el domo. Esto permite sujetar al diafragma sensor a la misma presión absoluta - en ambas caras siendo únicamente la presión hidrostática - la que actúe sobre dicho diafragma dándonos la celda las indicaciones de nivel. Hay necesidad de conectar un tanque para condensados en la toma de baja presión y a nivel más bajo que la celda. La señal neumática de la celda, comprendida entre 3 - 15 psig. se conectó al convertidor LY. Este convertidor se montó cerca de la celda. El convertidor fué alimentado con corriente eléctrica de 220 v. 60 ^{Hz}, desde el tablero con cable número 16 y la señal de salida del convertidor fué llevada al tablero con alambre del mismo calibre pero en conduit separado. Esta señal es de 0 - 20 m.a. C.D.

El sistema neumático de la celda fué alimentado con aire comprimido a 20 psig.

Las válvulas fueron montadas en las líneas respectivas de miel y agua que alimentan al tacho. La línea de miel está conectada a un cabezal donde convergen líneas tanto de miel como de meladura. Con éste arreglo se puede alimentar al tacho en un momento dado cualquier material con

sólo abrir la válvula de pié correspondiente.

La señal eléctrica a los posicionadores de las válvulas fué llevada con alambre No. 16 en un mismo cónduit. Dicha señal es de 0 - 20 m.a.

Las válvulas fueron alimentadas con aire comprimido a 40 psig. El tablero fué alimentado con 440 v. 60 $\frac{H^2}{J}$. Utilizando alambre número 14, su ubicación quedó a cuatro metros aproximadamente del tacho. Para introducir la semilla se utilizó un tubo de 1.5" de hierro galvanizado que vá -- desde el tubo central de la calandria hasta la pared del tacho donde fué soldado. El lado que da al tubo central es tá soportado con una solera soldada al espejo de la calandria. Este extremo también tiene un codo y un niple orientados hacia abajo en el sentido del flujo de la masa.

El otro extremo sale por la pared del tacho, y en él se instaló la válvula de admisión de semilla. Esta válvula es de bola y de sello hermético. Un tubo de cobre de 0.5" se conectó a la válvula y el extremo libre se llevó hasta el fondo del depósito de la semilla el cual tiene forma cónica. El depósito tiene una capacidad de 10 litros (Fig. - 20-A).

El tacho, al final de la corrida da pase a dos tachos más los cuales a su vez darán pase a otros dos tachos cada uno, obteniéndose al final cuatro cargas a cristalizadores, cada cristalizador con capacidad de 1,250 ft^3 . La medida del grano será de 0.25 mm. aproximadamente.

En un proceso donde se toma la conductividad como referencia hay que tomar en cuenta que ésta disminuye confor

me al nivel del tacho sube.

Sin que ésto quiera decir que la S.S. aumentó. Esta disminución es de aproximadamente el 10% de la escala desde el momento que se empieza a levantar la templa hasta -- que se hace el pase. Esto en cuanto a templeas "C" que van a servir de pié para templeas "A" o "B".

En templeas directas la caída puede ser de hasta un 30% ó 40% al dar el punto.

El sistema instalado, a grandes rasgos opera así -- (Fig. 21 y 22).

Como primer paso hay que cubrir la calandria. Desde el tablero se dá la orden, abriendo la válvula de miel. La celda diferencial de presión (LT) da continuamente la señal de nivel a través del convertidor (LY). Esta señal también se registra en una gráfica. El sistema cuenta con un ajuste para escoger a voluntad el nivel mínimo sobre la calandria.

2.- El tablero dá una señal luminosa con la que el tachero puede abrir las válvulas de vapor. La conductividad se registra constantemente.

3.- El control de nivel mantiene la calandria cubierta, introduciendo miel cada vez que el nivel baja por la pérdida de agua evaporada.

4.- Al alcanzar el grado de sobresaturación deseado el tablero hace sonar una alarma. Se cuenta con un ajuste para escoger a voluntad en que momento deberá sonar.

DIAGRAMA DE LA INSTRUMENTACION PARA AUTOMATIZAR EL COCIMIENTO DE MASAS DE BAJA PUREZA EN TACHOS

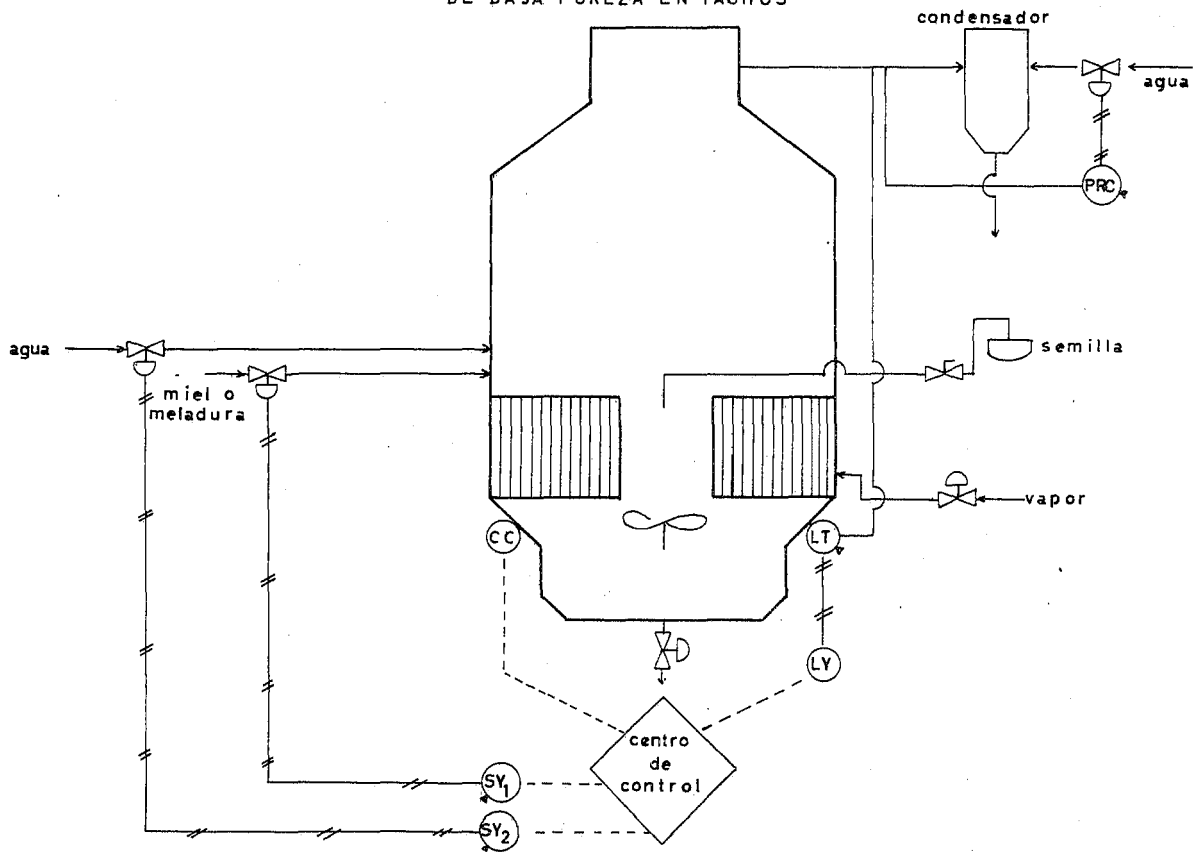


FIG. No. 21

En esta fase se introduce la semilla. El grado de S. S. en nuestro caso fué superior a 1.2 y cerca a 1.3.

Para la formación del grano se cuenta con un control de tiempo ajustable, el cual puede ser de 20 a 30 minutos. En ésta fase de la operación el "Set-point" de conductividad entra en función llevando la S.S. a un valor alrededor de 1.2, al 50% aproximadamente en la lectura de la gráfica. El ajuste está al frente del tablero al alcance del operario.

La válvula de agua es operada automáticamente por el sistema, de manera que mantiene el balance dentro del tacho, inyectando agua para mantener la S.S. ordenada, mientras se desarrolla el grano. Finalizando el tiempo ajustado el sistema pasa automáticamente al siguiente paso.

5.- Para levantar la templa, el programa de nivel genera una señal cuyo gradiente es establecido por un ajuste. La señal de nivel es corregida por el ordenador de gradiente de conductividad. Esta última señal pasa a un circuito donde se compara el valor deseado ordenado con el "Set-Point" de conductividad y la señal enviada por los electrodos (CC) desde el tacho.

El resultado es que mientras el nivel y la concentración de la masa estén dentro de los límites establecidos, estará llegando una señal a la válvula de miel, alimentando al tacho en forma continua.

Si por alguna circunstancia el nivel alcanza un valor más alto que el programado, se corta la alimentación de miel y se introduce agua hasta que el nivel queda den-

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA PARA EL COCIMENTO AUTOMÁTICO DE
 TEMPLAS "C"

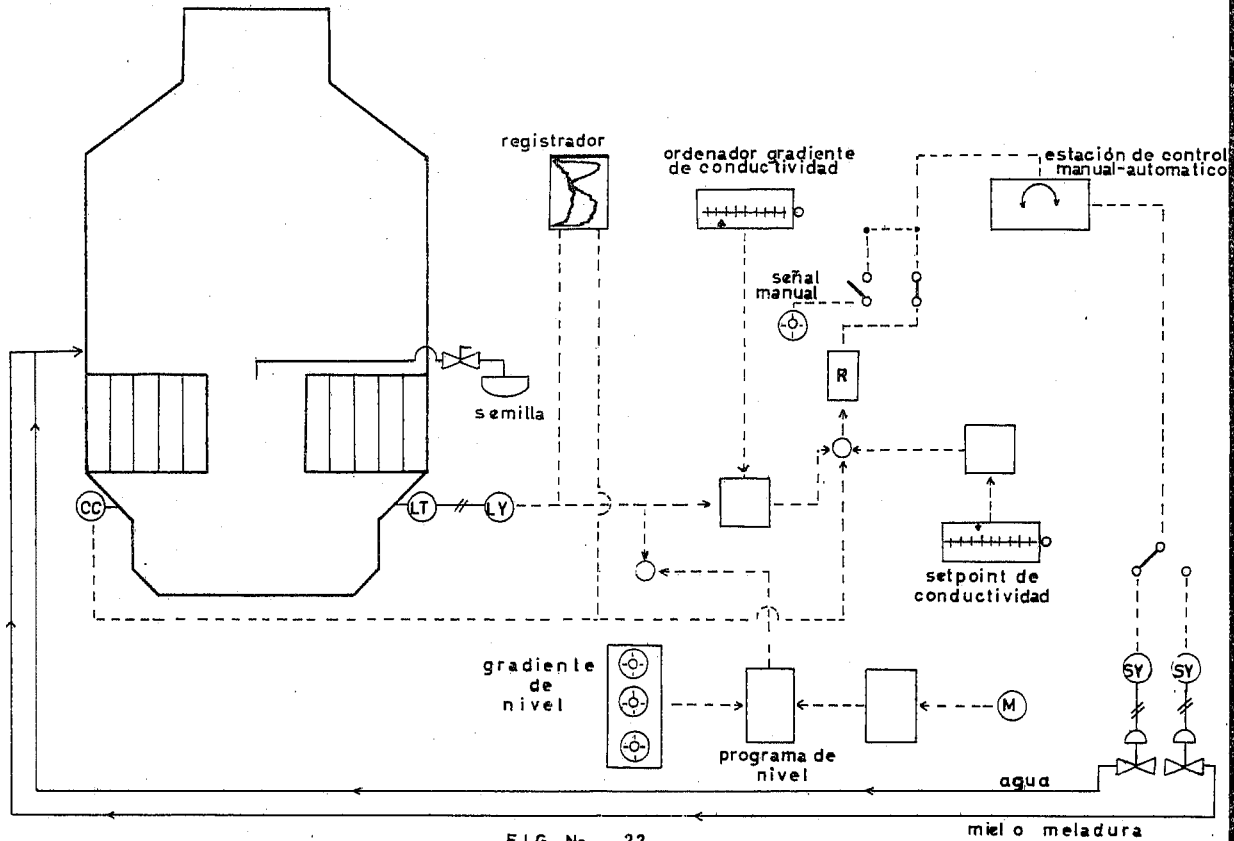


FIG. No. 22

tro del programa.

Esto nos permite un mejor agotamiento en el cocimiento. Una vez normalizando el proceso se sigue alimentando - miel.

Se cuenta con un ajuste para seleccionar el nivel máximo al que deberá llegar el tacho. Cuando alcanza éste punto se enciende una señal luminosa y corta la alimentación. Hay casos en que solamente se hace un pase, y en ocasiones hay necesidad de levantar nuevamente la templa. Esto es posible activando los mandos adecuados.

AL PONER A OPERAR EL EQUIPO NOS ENCONTRAMOS CON LO SIGUIENTE:

La calibración de la celda es preferible hacerla en el tacho y al inicio de la operación de éste, con el vacío hecho. Los grandes cambios de densidad que se operan durante el proceso obligan a ello. La celda se desmontó posteriormente y pudimos establecer el valor de la presión diferencial para la calibración, quedando así:

Elevación de cero	6.1" de Hg. (82.96" de agua)
Rango	13.02" de Hg. (177.1" de agua)

Esto quiere decir que al llenar el tacho hasta el nivel de la calandria se aplica una presión diferencial de - 6.1" de Hg. a la celda. Se hace el ajuste para que la señal de salida sea de 3 psig. (0%). Con el ajuste de rango se calibra para que con una presión diferencial de 13.02" de Hg., entregue una señal de 15 psig. (100%).

Los ajustes para el cocimiento durante los primeros

tres meses de la zafra fueron:

Set-point de conductividad = 55 - 60

Gradiente de conductividad = 10%

Los ajustes fueron cambiando paulatinamente. Al final de la zafra quedaron:

Set-point de conductividad = 45 - 48

Gradiente de conductividad = 15% - 18%

Las lecturas obtenidas en la gráfica para los puntos de inoculación de semilla también variaron. Al comienzo de la zafra era en el 30%, al finalizar se llegó al 20%. En conductividad la variación fué de 250 ms. al iniciarse la zafra y de 125 ms al final de ella (Fig. 23, 24 y 25).

El sistema resultó bastante confiable y sencillo de operar, puesto que con un solo elemento detector de la S.-S. de la masa se lleva todo el control. Esto es una gran ventaja, ya que no hay necesidad de vigilar muchas gráficas.

Tiene la desventaja de que no puede operar con masas de alta pureza. Para éste caso se requiere otro tipo de elemento detector, mucho más caro que la celda de conductividad.

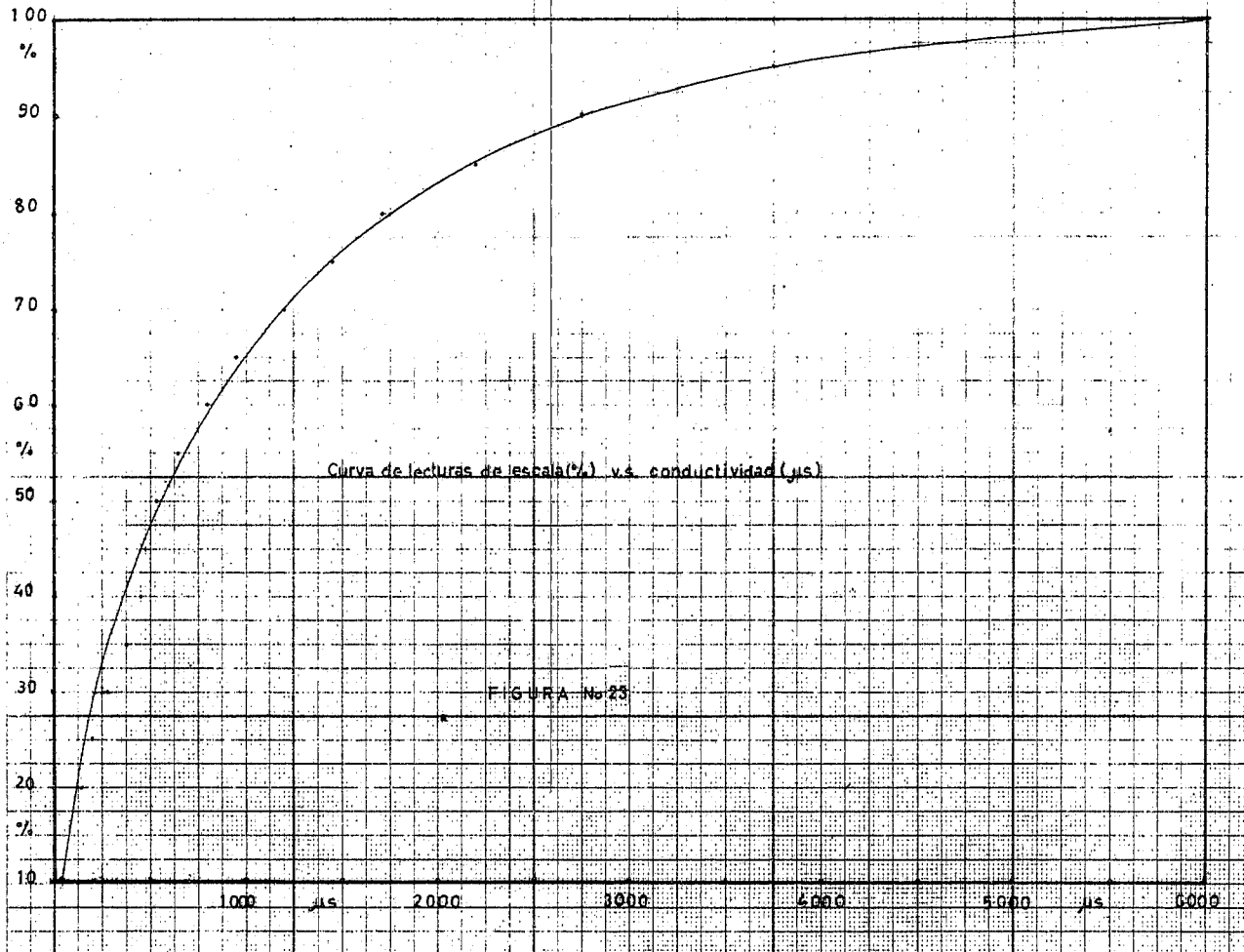


FIGURA No 23

INGENIO SAN PEDRO.

ENSEMILLAMIENTO DE UNA MASA COCIDA "C" PARA 4 PIES DE TEMPLA.
SISTEMA AUTOMATICO "SIEMENS"

ZAFRA: 78/79.

TACHO Nº 7.
CONDICIONES:

PUREZA = 78
VACIO = 26" Hg
TEMP. = 65°C

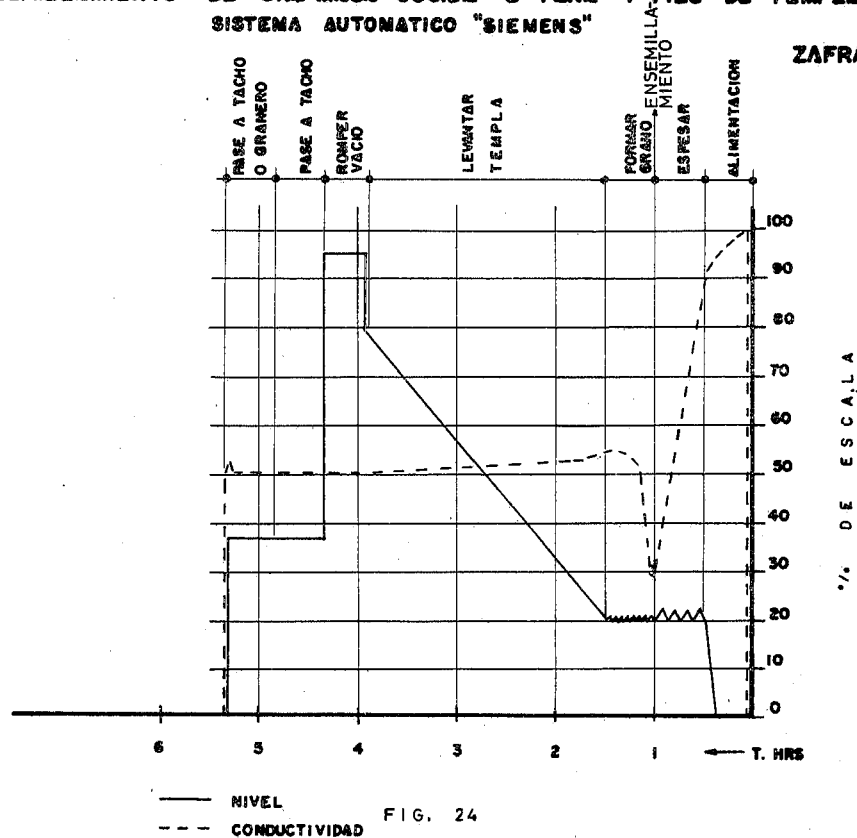


FIG. 24

llgb

INGENIO SAN PEDRO
ENSEMILLAMIENTO DE UNA MASA COCIDA "C" CON DOS PASES
SISTEMA AUTOMATICO "SIEMENS"

ZAFRA: 78/79.

TACHO Nº 7.

CONDICIONES:

ENSEMILLAMIENTO:

PUREZA: 70

VACIO: 26 "Hg

TEMP.: 65°C

PRIMER PASE:

PUREZA = 65

VACIO = 26 "Hg

TEMP. = 65°C

SEGUNDO PASE:

PUREZA = 61

VACIO = 26 "Hg

TEMP. = 65°C

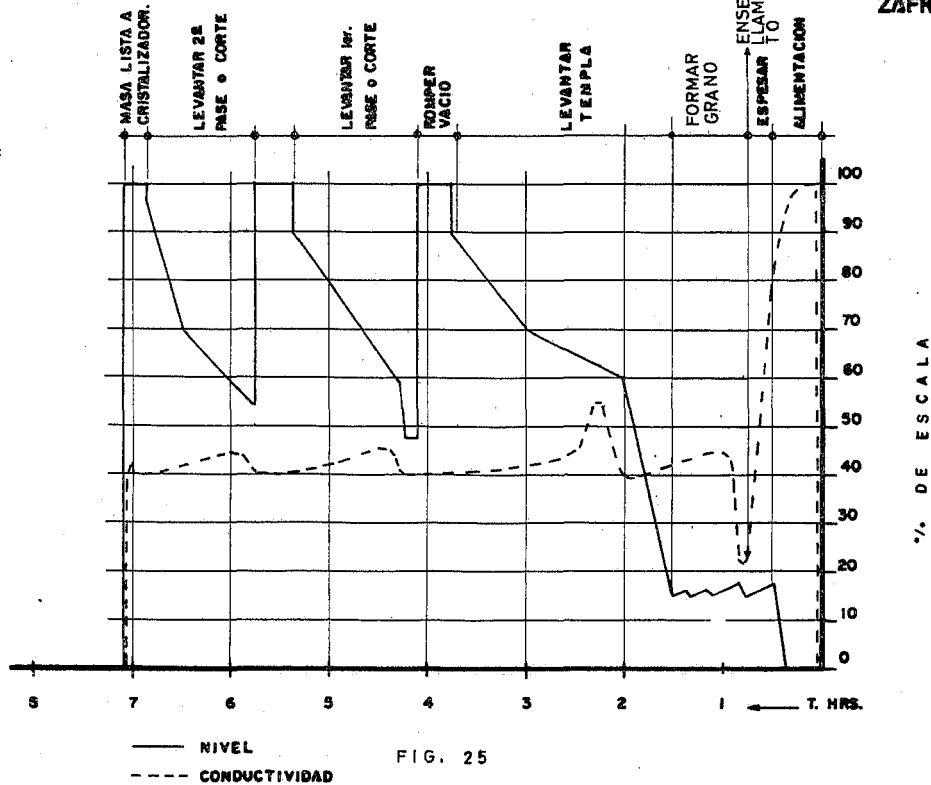


FIG. 25

lqg.

C A P I T U L O I V

CALCULOS.

A continuación se lleva acabo un balance de sólidos_ en el Departamento de tachos, sin considerar los sólidos - que pueden perderse a través del proceso a partir de la me ladura (por ser una cantidad pequeña, para este balance se toma una base de 100 para mayor facilidad), partimos de la siguiente ecuación:

$$\text{Peso de sól. en meladura} = \text{Peso de sól. en azúcar} + \text{Peso de sól. en miel fi--nal.}$$

Además se lleva acabo un cálculo de materiales (Fig. No. 26) de alimentación para la MC "C" de cuatro pies, así como un balance de energía para poder conocer la cantidad_ de agua evaporada y la cantidad de vapor utilizado durante este cocimiento.

A).- BALANCE DE SOLIDOS, PARA EL SISTEMA DE DOS TEM-PLAS Y MEDIA.

1.- El primer paso siempre consiste en calcular la - producción en peso de sólidos en azúcar comercial y miel - final, referidos a 100 partes en peso de sólidos que en-- tran por meladura (usaremos la cruz de Cobenze para rapi-- dez de los cálculos), Fig. No. 26.

97	45	$\frac{45}{62} \cdot 100 = 72.58$ peso de sól. en Az. Com. % del peso de sól. que entran por me ladura.
\	/	
80		
35	$\frac{17}{62}$	
/	\	

INGENIO SAN PEDRO S.A.
 SISTEMA DE DOS TEMPLAS Y MEDIA
 AZUCAR CRUDO

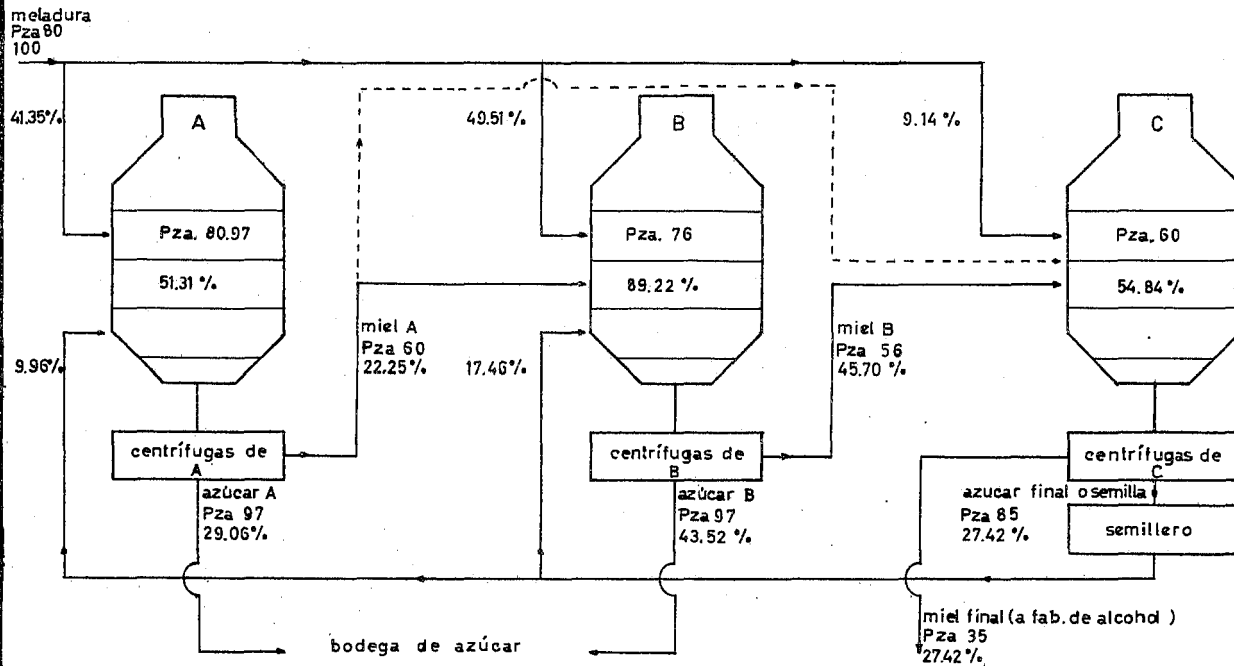


fig. No. 26

-17-

5.- Cálculo de sólidos de alimentación al tacho de -
 templa B.- Para constituir las mencionadas templeas, entran
 tres productos de purzas dintintas pero conocidas. Por ha
 berse calculado sabemos que es 89.22% el total de sól. en-
 dicha MC así como que son 17.46 los sól. que entran en for
 ma de azúcar final.

Entonces, si al total de sól. y al total de sacarosa
 en MC B, restamos, respectivamente, los sól. y la sacarosa
 que entran en forma de azúcar final (pie de templa), obten
 dremos los sól. y la sacarosa y, por consiguiente la pureza
 a que debe ajustarse la mezcla de sól. en meladura y --
 miel A.

	Sólidos	(Sól.)(Pza.)	= Pol.(Sacarosa)
MC B	89.22	(89.22)(0.76)	= 67.80
Azúcar final	<u>-17.46</u>	(17.46)(0.85)	= <u>-14.84</u>
Meladura + Miel A	71.76		52.96

Pureza a que debe ajustarse la mezcla de sól. en me-
 ladura más sól. en miel A.

$$\frac{(52.96)(100)}{71.76} = 73.80$$

Resolviendo las incognitas:

$$80 \quad \begin{array}{l} \diagdown \\ \diagup \end{array} \quad \begin{array}{l} 13.80 \\ 73.80 \end{array} \quad \frac{13.80}{20.00} \quad 71.76 = 49.51 \text{ sól. en me} \\ \text{ladura al tacho B}$$

$$60 \quad \begin{array}{l} \diagdown \\ \diagup \end{array} \quad \begin{array}{l} 6.20 \\ 73.80 \end{array} \quad \frac{6.20}{20.00} \quad 71.76 = 22.25 \text{ sól. en --} \\ \text{miel A al tacho B}$$

22.25 = total de sól. en miel A

100 - 49.51 - 9.14 = 41.35 sól. en meladura al tacho A

41.35 + 9.96 = 51.31 total de sól. en MC A

6.- Cálculo de la pureza de la MC A

	Sólidos	(Sól.) (Pza.) =	Pol.(Sacarosa)
Meladura	41.35	(41.35)(0.80) =	33.080
Azúcar final	<u>9.96</u>	(9.96)(0.85) =	<u>8.466</u>
	51.31		41.546

Comprobación de los cálculos en la MC A.

Sól. en meladura + Sól. en semilla = Sól. en MC A

41.35% + 9.96% = 51.31%

Sól. en MC A = Sól. en miel A + Sól. an azúcar A

51.31% = 22.25% + 29.06%

Chequeo de sacarosa en la MC A.

Sac. en meladura + Sac. en semilla = Sac. en MC A

(41.35)(0.80) + (9.96)(0.85) = (51.31)(0.8097)

Sac. en MC A = Sac. en miel A + Sac. en Az. A

(51.31)(0.8097) = (22.25)(0.60) + (29.06)(0.97)

Chequeo de sól. en el departamento de tachos.

Sól. en meladura = Sól. en Az. comercial + Sól. en miel Final

100 = 29.06 (Sól. en Az. A) + 43.52 (Sól. en ---
Az. B) + 27.42 (Sól. en miel final).

B).- MATERIALES DE ALIMENTACION PARA ENSEMILLAMIENTO

Miel Pza. = 58.6 °Bx. = 82.8

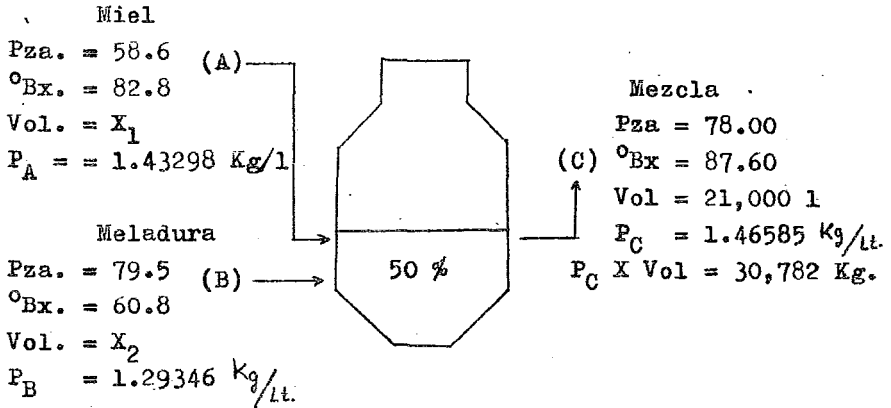
Meladura Pza. = 79.5 °Bx. = 60.8

Estos materiales se alimentan al tacho hasta contener - el 50% del volumen total, en dicho volumen y con la pureza pa ra ensemillar (predeterminada), se introduce la semilla.

Mezcla Pza. = 78.00 °Bx. = 87.60

Se procedía a operar la válvula para poder introducir - la semilla previamente preparada, con estos datos podemos cal cular la cantidad de materiales alimentados, cantidad de agua evaporada y cantidad de vapor necesario para preparar dicha - agua.





Balance de materiales:

$$(A) + (B) = (C)$$

$$(A) + (B) = 30,782 \text{ Kg.}$$

$$(A) = 30,782 \text{ Kg.} - (B) \dots 1$$

$$(0.586)(A) + (0.795)(B) = (0.78)(30,782) \dots\dots\dots 2$$

Sustituyendo el valor de la ec. 1 en la ec. 2

$$(0.586)(30,782) - 0.586 B + 0.795 B = 24,010 \text{ Kg}$$

$$0.209 B = 5,871.873 \text{ Kg.}$$

$$B = 28,573.6 \text{ Kg.}$$

Sabemos:

$$P_B = 1.29346 \text{ Kg/l}$$

$$X_2 = B/P_B = 22,090.8 \text{ litros de meladura}$$

Sustituyendo el valor de B en la ec. 1 tenemos:

$$(A) = 30,782.9 - 28,573.6$$

$$(A) = 2,209.3 \text{ Kg.}$$

Sabemos:

$$P_A = 1.43298$$

$$X_1 = A/P_A = 1,541.752 \text{ litros de miel}$$

Por lo tanto vemos que la cantidad de materiales alimentados al 50% del volumen total del tacho es de:

$$X_1 + X_2 = 23,632.543 \text{ litros}$$

P = densidad

Cálculo del agua contenida en los materiales de alimentación.

$$\text{Miel } 2,209.300 \text{ Kg } \frac{(100 - 82.8)}{100} = 379.999 \text{ Kg. de agua en miel}$$

$$\text{Meladura } 22,090.791 \text{ Kg } \frac{(100 - 60.8)}{100} = 8,659.59 \text{ Kg. de agua en meladura.}$$

Cálculo de agua contenida en la mezcla.

$$\text{Mezcla } 30,782.850 \frac{(100 - 87.60)}{100} = 3,817.073 \text{ Kg. de agua en la mezcla.}$$

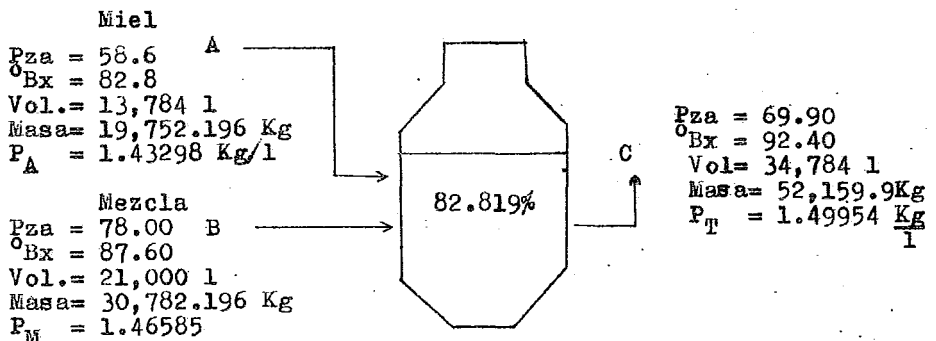
La diferencia entre el agua contenida en los materiales de alimentación y el agua contenida en la mezcla, será el agua evaporada.

$$\begin{array}{r} 9,039.589 \text{ Kg.} \\ - 3,817.073 \text{ Kg.} \\ \hline 5,222.516 \text{ Kg. de agua evaporada} \end{array}$$

Ahora bien, el restante 50% del volumen (capacidad) del tacho (en realidad no es el 50%, ya que el nivel de trabajo es de 34,784 litros, la capacidad que falta es de 32.819%), -- se alimenta con material de baja pureza (miel) hasta llegar al nivel de trabajo, en el cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Templa terminada (4 pies) Pza = 69.90 °Bx = 92.40

Con estos valores calculamos la cantidad de agua evaporada en esta segunda etapa de operación.



Cálculo de agua en la miel alimentada

$$19,752.196 \text{ Kg. } (1 - 0.172) = 3,397.370 \text{ Kg.}$$

Cálculo de agua en la mezcla (ya calculada)

$$30,782.850 \text{ Kg. } (1 - 0.124) = 3,817.073 \text{ Kg.}$$

Total de agua contenida en la miel alimentada y en la mezcla.

$$3,397.370 \text{ Kg. } + 3,817.073 \text{ Kg. } = 7,214.443 \text{ Kg.}$$

Contenido de agua al terminar la templea (4 pies)

$$52,159.999 \text{ Kg. } (1 - 0.076) = 3,964.160 \text{ Kg.}$$

Por lo tanto la diferencia entre el agua contenida en la miel y la mezcla con la contenida al terminar la templea, será el agua evaporada en esta segunda etapa de operación.

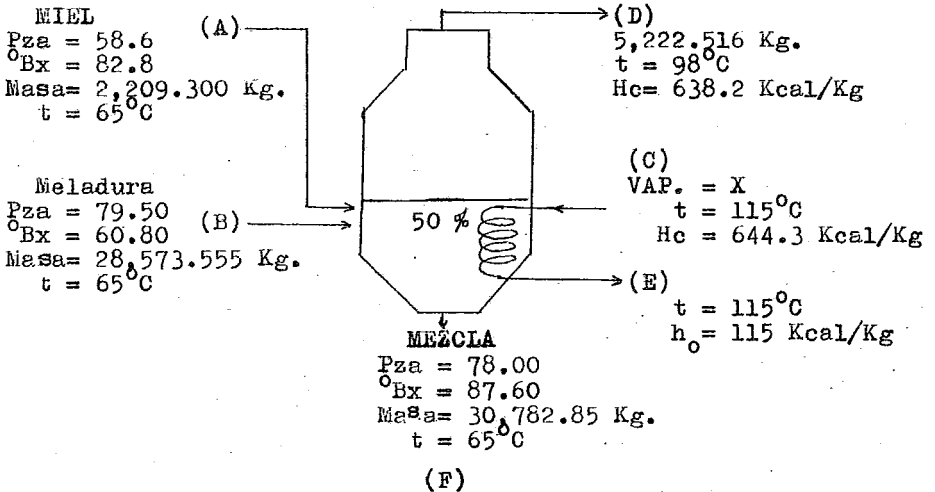
$$7,214.443 \text{ Kg. } - 3,964.160 \text{ Kg. } = 3,250.283 \text{ Kg.}$$

Finalmente tenemos que el agua evaporada total (50% + 32.819 %) será:

$$5,222.516 \text{ Kg. } + 3,250.283 \text{ Kg. } = 8,472.799 \text{ Kg.}$$

C).- BALANCE DE ENERGIA

Llevamos acabo un balance de energía para conocer la cantidad de vapor necesario para evaporar el agua en las dos etapas de operación.



Sabemos que para soluciones azucaradas

$$C_p = 1 - 0.006 \times {}^{\circ}\text{Bx}$$

Además: $Q = m C_p \Delta t$

Tenemos que:

$$(A) + (B) + (C) = (D) + (E) + (F)$$

Sustituyendo valores:

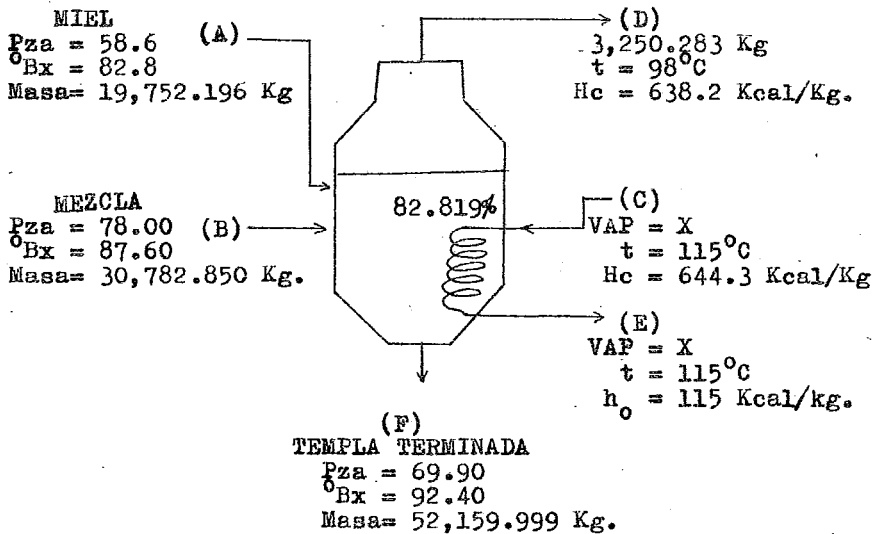
$$(2,209.300 \text{ Kg})(1 - 0.006 \times 82.8) 65^{\circ}\text{C} + 28,573.55 \text{ Kg} (1 - 0.006 \times 60.8) 65^{\circ}\text{C} + \text{VAP} \times 644.3 \text{ Kcal/Kg.} = 5,222.516 \times 638.2 \text{ Kcal/Kg} + \text{VAP} \times 115 \text{ Kcal/Kg} + 30,782.850 \text{ Kg.} (1 - 0.006 \times 87.60) 65^{\circ}\text{C}$$

Llevando acabo las operaciones tenemos:

$$529.3 \text{ VAP Kcal/Kg.} = 3^{\circ}030,220.9 \text{ Kcal.}$$

$$\text{VAP} = 5,724.959 \text{ Kg.}$$

BALANCE DE ENERGIA PARA EL VOLUMEN RESTANTE DEL TACHO



NOTA: Todo el vapor que entra a la calandria del tacho (corriente C) se condensa, causa por la cual la corriente E y la corriente C en valor absoluto son iguales, ya que, lo que hace la corriente C es ceder su calor.

$$(A) + (B) + (C) = (D) + (E) + (F)$$

El tiempo máximo de una corrida de operación manual fué de 11.82 Hrs., el mínimo de 5.66 Hrs., el tiempo promedio fué 8.20 Hrs.

Bajo el control automático el tiempo máximo fué de 8.50 Hrs., y el mínimo de 4.50 Hrs. el tiempo promedio fué de 5.74 Hrs. Esto nos da una reducción de tiempo del 30% con respecto a las corridas de operación manual.

Con el sistema manual, en 24 horas se procesaron 2.93 --templás. Con el sistema automático se procesaron 4.18 templás en el mismo tiempo, 1.25 templás más por periodo.

Se hizo notar en el departamento de centrifugas una mejora en el purgado, al grado que se redujo el tiempo aproximadamente en un minuto. El Ingenio cuenta con 10 centrifugas "Full-Drive" de "Batch". Al reducir un minuto el ciclo normal de 9 minutos, equivale a aumentar en una centrifuga la capacidad.

La pureza de la semilla mejoró dos puntos, es decir, de 80 a 82 y por consecuencia hubo reducción en la pureza de la miel final en esa misma proporción, es decir, de 37 bajó a 35.

Podemos afirmar en base a éstos datos que:

Es posible automatizar el proceso de cocimiento en los tachos, de manera eficiente y confiable, mejorando la productividad.

Se libera al tachero de la necesidad de vigilar estrechamente al tacho, dándole tiempo para otras actividades útiles.

Los nuevos tacheros con poca experiencia pueden trabajar con mayor confianza con un sistema automático conservando la buena calidad del producto.

También obliga a que los departamentos de instrumentación de los Ingenios cuenten con el personal idóneo para mantener en buen estado de operación éste tipo de equipo.

B i b l i o g r a f í a :

- Manual del Azúcar de Caña
Autor: Spencer - Meade

- Principios de Tecnología Azucarera
Autor: P. Honig

- Manual para Ingenieros Azucareros
Autor: E. Hugot

- Conceptos sobre el método de Semillamiento completo en Tachos
Ponencia presentada por el Ing. M. Alonso Mancillas, Primer Seminario Azucarero Mexicano. Mes-Julio - 10 - 1967

- Automation of Sugar Boiling Process
Folleto: Siemens Aktrengeellschaft

- Cristalización en la Industria Azucarera
Por; Ing. Antonio Awad F.
Artículo publicado en la Revista Técnica Azucarera, Año No. 1 Vol. 1 No. 2 , 1976

- Sistema Nuevo de Cristalización en Tachos al Vacío
Autor: Alfred L. Webre, Sr.
Artículo Publicado en 1953