



### Control Automático del pH en la Defecación y Clarificación del Guarapo en el Ingenio Presidente Juárez H. Cárdenas (Tabasco)

230

#### **Tesis Profesional**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO QUIMICO**

**p r e s e n t a :**

**LUIS JORGE HERNANDEZ PEREZ**



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.

CLAS. 12511  
ABO. 1976  
FECHA. 1976  
PAG. 1

• 231



QUINOA

**JURADO ASIGNADO:**

<b>PRESIDENTE:</b>	<b>ING. HECTOR M. LOPEZ HERRERA.</b>
<b>VOCAL:</b>	<b>ING. OCTAVIO FIGUEROA ARRECHAVALETA.</b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b>ING. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO.</b>
<b>1er. SUPLENTE:</b>	<b>ING. FRANCISCO ROCHA TREVIÑO.</b>
<b>2o. SUPLENTE:</b>	<b>ING. GILBERTO VILLELA TELLEZ.</b>

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**INGENIO PRESIDENTE BENITO JUAREZ**

**H. CARDENAS, TAB.**

<b>SUSTENTANTE:</b>	<b>LUIS JORGE HERNANDEZ PEREZ.</b>
---------------------	------------------------------------

<b>ASESOR DEL TEMA:</b>	<b>ING. HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA.</b>
-------------------------	--



CUANDO LA SABIDURIA ENTRARE EN TU CORAZON,  
Y LA CIENCIA FUERE GRATA A TU ALMA, LA DIS--  
CRECION TE GUARDARA, TE PRESERVARA LA INTE  
LIGENCIA, PARA LIBRARTE DEL MAL CAMINO, DE-  
LOS HOMBRES QUE HABLAN PERVERSIDADES.

( PROVERBIOS 2 : 10 - 12 )

A MIS QUERIDOS Y ADMIRABLES PADRES.

QUE HAN SIDO LA GUIA DE MI VIDA Y CONTRIBUYE-  
RON A FORMAR EN MI EL CONSTANTE DESEO POR -  
EL ESTUDIO, EL SABER Y LA SUPERACION.  
POR LA CONFIANZA DEPOSITADA EN SUS HIJOS Y EL  
EMPEÑO Y SACRIFICIOS INMENSOS POR DARNOS LA-  
MAS GRANDE HERENCIA.

A LA MEMORIA DE MI INOLVIDABLE Y QUERIDO:  
ALONSO FACUNDO, BRILLANTE MARTIR DEL CO  
NOCIMIENTO; QUIEN FUE MI PUNTO DE PARTIDA-  
HACIA EL ESTUDIO Y EL SABER.

BIENAVENTURADO EL HOMBRE QUE HALLA LA SA  
BIDURIA, Y QUE OBTIENE LA INTELIGENCIA; POR-  
QUE SU GANANCIA ES MEJOR QUE LA GANANCIA DE  
LA PLATA.

Y SUS FRUTOS MAS QUE EL ORO FINO.

( PROBERVIOS 3: 13 - 14)

A MIS QUERIDOS HERMANOS  
GLORIA MARGARITA HERNANDEZ PEREZ  
Y  
JOSE MANUEL HERNANDEZ PEREZ

A MI QUERIDA ABUELITA  
GLORIA GUTIERREZ DE PEREZ  
MI AGRADECIMIENTO Y CARÍO

A MI QUERIDO ABUELITO  
ALONSO HERNANDEZ PALMA

A LA MEMORIA DE MIS ABUELITOS

RITA FLEITES DE HERNANDEZ

Y

CLEMENTE PEREZ RAMIREZ

A LA MEMORIA DE MI ADMIRABLE

M A E S T R O

DR. JOSE CASTILLO PRIEGO

A MIS TIOS

A MIS PRIMOS

A MIS AMIGOS

A MI MAESTRO: ING. HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA.  
POR SU VALIOSA ORIENTACION Y QUIEN HIZO POSIBLE-  
LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

## I N D I C E

	Pág.
CAP. I.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACION DE AZUCAR.....	1 - 4
CAP. II.- ALGUNOS ASPECTOS SOBRE EL pH Y SU VARIA CION.....	5 - 15
CAP. III.- DESCRIPCION DEL PROCESO EN EL DEPARTA-- MENTO DE ALCALIZACION Y FUNCIONAMIENTO- DEL CONTROLADOR AUTOMATICO DE pH, EN EL INGENIO BENITO JUAREZ.....	16 - 36
CAP. IV.- DIAGRAMAS.....	41 - 48
CAP. V.- ALGUNAS EXPERIENCIAS EN EL INGENIO.....	37 - 39
CAP. VI.- CONCLUSIONES.....	40
CAP. VII.- BIBLIOGRAFIA.....	49

# CAPITULO I

## DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACION DE AZUCAR

### INTRODUCCION:

Aprovechando los avances de la tecnología de instrumentos automáticos y con motivo de la gran expansión de la Industria Azucarera en la República Mexicana, se ha presentado, la necesidad de instalar nuevos - Ingenios.

Uno de ellos, es el Ingenio Presidente Benito Juárez, que - se localiza en la Chontalpa, H. Cárdenas, Tabasco.

Este Ingenio que inició su zafra de prueba el 18 de Marzo de 1975 y finalizó la misma el 13 de Junio del mismo año, es el más moderno - del país tanto por la tecnología utilizada en su diseño y construcción, como - por el equipo de que está dotado.

La capacidad de molienda es de 6000 ton. de caña por día, y ha sido diseñado para que en forma fácil y económica pueda incrementar su - capacidad a 8,000 ton. de caña por día, habiéndose previsto en el diseño de - cimentaciones y estructuras los sitios para las futuras instalaciones y equipo necesario.

A plena capacidad podrá moler un millón de toneladas de ca- ña por zafra, produciéndose 90,000 ton. de azúcar refinado; 35,000 ton. de - mieles y 320,000 ton. de bagazo.

En la zafra de prueba se utilizaron cañas del siguiente tipo y variedad POJ-2175 (estación experimental de Java) refractaria, habiéndose registrado un promedio en la molienda de 1106 ton. de caña por día, y obteniéndose 5 308 ton. de azúcar de caña crudo, lo cual arroja un rendimiento de 5.45% en el proceso.

Se hará una breve descripción del proceso de elaboración de azúcar crudo.

"La caña cortada y transportada al Ingenio es pesada y colocada en el BATEY para llevarla al primer paso del proceso en la fábrica que es la extracción del jugo de la caña ( GUARAPO ), mediante la compresión de la caña de los MOLINOS,

La caña se prepara antes de llegar a los molinos lavándola y pasando por cuchillas giratorias (GALLEGOS), que la cortan en tramos pequeños, después a una DESFIBRADORA que rasga y desfibra la caña, pasando de aquí a una DESMENUZADORA donde se presenta la primera EXTRACCION y así pasa a los molinos, estos son unidades de tres mazas (flotante; cañera y bagacera) por los cuales pasa el BAGAZO, o sea la caña exprimida. Al paso de cada molino el contenido de sacarosa en el bagazo es menor, por lo que para ayuda de la extracción se agrega agua o jugos diluidos sobre el bagazo que sale de la unidad moledora y por lixiviación se hace la extracción de sacarosa. A este proceso se le llama IMBIBICION O MACERACION.

El jugo extraído debe llevar aproximadamente 95% del azúcar que contiene la caña. El azúcar no extraída queda en el bagazo, que --



además lleva de 40 a 50% de agua.

El bagazo puede ser usado en calderas o bien la fabricación de papel; Celotex, etc.

El guarapo mezclado, ácido, turbio y de color verde oscuro, es bombeado hacia dos tolvas pesadoras de guarapo que descargan al tanque receptor de jugo mezclado y pesado (JMP) donde se verifica la primera adición de LECHADA DE CAL ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 15.2 \text{ Kcal.}$ ) en este mismo tanque se recibe el jugo filtrado.

Por bombeo se manda al primer tanque de ALCALIZADO y por derrame al segundo tanque.

La mezcla homogeneizada se bombea a calentadores de guarapo y sale a DECANTACION Y CLARIFICADO. En el Clarificador, por sedimentación se separa el precipitado del jugo claro. Los lodos se Filtran en Filtros rotativos al vacío y el jugo filtrado se retorna al tanque receptor de jugo mezclado y pesado ( JMP ). La torta del filtro o CACHAZA se tira o se usa como fertilizante en el campo. En algunos países se extrae cera de caña. La cachaza lleva un pequeño porcentaje de azúcar 2-2.5%.

El jugo claro que contiene aproximadamente 85% de agua es llevado a EVAPORACION donde pierde dos terceras partes de esta agua. El proceso de evaporación es en multiple efecto y al vacío.

Del último cuerpo de evaporación sale un jarabe llamado MELADURA con aproximadamente 65% de sólidos y 35% de agua. Enseguida la meladura pasa a tanques de Meladura que alimentan los TACHOS para obtención de cristales. Los tachos operan al vacío y concentran la meladura, -

después de hacer la siembra de cristales para la producción de azúcar. La MASACOCIDA que es la mezcla de CRISTALES Y MIELES, y la TEMPLA que es el contenido del tacho se descarga hacia un Mezclador y se procede a efectuar la PURGA en las CENTRIFUGAS, donde se separan los cristales de azúcar de las aguas madres o melaza, de la templa de "C".

Generalmente hay tres templas o masacocidas de A, B y C, los cristales de A y B son el azúcar comercial y C ( MAGMA ) se usa para siembra de las templas de A y B. La miel de "A" se usa para la templa de "B" y la de "B" para "C". La miel de "C" o melaza, tiene multiples usos -- como: elaboración de alcohol de alta calidad; producción de levaduras; azúcar industrial; piensos para ganado; etc. En algunas fábricas el azúcar "A" y "B" se disuelve en agua dulce caliente que es el primer paso de refinación".

Se ha hecho la explicación del proceso y con esto se verá la verdadera importancia del control del pH en la Alcalización y Clarificación, que representará una buena parte del rendimiento en fábrica.

En el plano número 1 podemos apreciar los puntos importantes del proceso de elaboración de azúcar.

## CAPITULO 2

ALGUNOS ASPECTOS SOBRE EL pH Y  
SU VARIACION

## GENERALIDADES:

En éste segundo capítulo se tratará de explicar la importancia del control del pH en el proceso de Alcalización, así como los beneficios de una buena Clarificación y a la vez los problemas que se presentan cuando ésta Clarificación no se efectúa en forma adecuada.

En primer lugar diremos que el pH es una escala de números, los cuáles expresan el grado de acidez o alcalinidad de una solución y se puede definir según Sorensen como:

$$\text{pH} = \log - \frac{1}{\text{H}^+}$$
 (pH es igual al logaritmo del inverso de la concentración de iones  $\text{H}^+$  en la solución, en gramos átomo por litro).

En una disolución ácida la concentración de ion  $\text{H}^+$  es mayor que la ion  $\text{OH}^-$ , el pH es menor de 7.0 y el pOH es mayor de 7.0

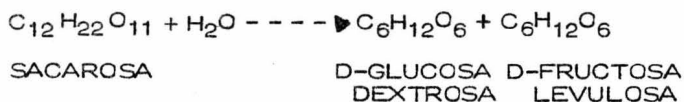
En una disolución alcalina la concentración de ion  $\text{OH}^-$  es mayor que la de ion  $\text{H}^+$ , el pOH es menor de 7.0 y el pH mayor de 7.0

De aquí podemos deducir que para magnitudes menores de 7.0 mayor será el poder de inversión del ácido, y también debemos considerar que la escala de pH es logarítmica por lo que cuanto más bajo sea el pH, mayor será el poder de inversión.

La inversión de sacarosa se lleva a cabo con facilidad en soluciones ácidas ( $\text{pH} < 7$ ) y su velocidad aumenta al incremento de la temperatura.

King y Jison nos dan curvas de porcentaje de sacarosa invertida por hora a diferentes pH y temperaturas:

La reacción de inversión es la siguiente:



Esta reacción es de gran importancia en la fabricación de -- azúcar ya que produciéndose representa pérdidas de sacarosa, por tal motivo se trata de mantener el pH de 7.0 ó superior y más aún cuando hay necesidad de calentar el guarapo.

La sacarosa es Dextrógira  $D = +66.5^\circ$ .

De los monosacáridos que se forman en su desdoblamiento, la Glucosa es Dextrógira y la Fructosa más fuertemente Levógira que aquella -- Dextrógira. Por lo tanto, la mezcla desvía la luz polarizada hacia la izquierda, como que en la hidrólisis de la sacarosa el poder rotatorio se ha desplazado de la derecha hacia la izquierda, este proceso es llamado INVERSION.

El jugo a ebullición pierde aproximadamente de 0.2 a 0.3 en -- pH.

El jugo de la caña es llevado en varios momentos a temperaturas elevadas lo que provocará un descenso en el pH.

La inversión se acelera cerca de los  $115^\circ$  centígrados y aumenta su poder y "peligrosidad" cuando va más allá de  $125-130^\circ\text{C}$ .

Cuando el pH es inferior sucede lo mismo o sea que al ir disminuyendo va aumentando la rapidez de la inversión.

Stadler da una tabla de % de sacarosa invertida/hora.

pH TEMPERATURA		6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
°C	°F						
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
105	221	0.35	0.22	0.14	0.088	0.056	0.035
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

Hay facilidad para encontrar otros valores no tabulados.

a pH 5.0 (2.12%), a pH 6.0 (0.21%), a pH 7.0 (0.021%), a 111°C.

por cada entero de pH menor se multiplicará por 10 y en el caso de ser mayor se dividirá entre 10.

### PURIFICACION DEL JUGO.

El guarapo que sale de los molinos se pasa por tamizado, donde queda el bagacillo, y es éste el primer tipo de impurezas que se separan del guarapo. Esto trae como consecuencia que en el departamento de Clarificación habrá una mayor capacidad y a la vez proporcionará guarapos más claros.

Por el contrario si no se elimina el bagacillo la capacidad será menor y habrá aumento de cachaza en los filtros.

En la DEFECACION lo que se busca es eliminar el mayor número de sólidos (impurezas) contenidos en el guarapo.

El proceso de defecación simple o sea la defecación con -- cal y calor es el más antiguo, y a la vez el más eficaz para purificar el guarapo, así como el más económico.

Este proceso ha sufrido muchas variantes al paso del tiempo debido a los diferentes guarapos de cada fábrica. Estas variantes son: la -- forma de añadir la cal; la cantidad de ésta; el sistema de adición; el momen-- to; la temperatura; la medición del pH; el método de decantación y clarifica-- ción así como la filtración.

Los procedimientos de defecación son:

- a) encalado en frío.
- b) encalado fraccionado y doble calentamiento.
- c) procedimiento de Java.
- d) clarificación compuesta.

En general la defecación simple es la adición de cal en cantidad suficiente para neutralizar los ácidos orgánicos del guarapo, y el aumento de temperatura para mejorar la precipitación.

La adición de la cantidad de cal correcta proporcionará una buena clarificación, en éste punto está la base para obtener posteriormente un producto de alta calidad.

Si la cantidad adicionada de cal es por debajo de lo indicado se producirá una decantación defectuosa y jugo turbio. Es muy probable que se presenten pérdidas por inversión.

Si la cantidad es por arriba de lo indicado, habrá jugos oscuros; más gomas y producto final de baja calidad que es malo para la refinación; aumento de sales de calcio y por lo tanto aumento de cenizas. También provoca una mayor producción de melazas y esto representa pérdidas. El jugo sobrealcalizado retarda la cristalización, haciéndose más difícil.

Como se ha visto la regulación de la cantidad de cal es muy importante, así como también el control del pH.

Los métodos que se registran para conocer el pH son desde el colorimétrico; electrométrico y adición de lechada de cal en forma manual, hasta el registrador electrométrico y adición automática de la lechada.

Los aparatos automáticos para alcalización continua que responden a la señal producida por el pH del guarapo alcalizado, constituyen la forma más satisfactoria de control del proceso, ya que el ajuste manual de lechada depende de la destreza del operador.

Se habló mucho acerca del pH óptimo y del pH fijo de los

guarapos, pero ha quedado demostrado que no los hay ya que los factores que determinan el pH del guarapo de molinos y el pH para defecación es exclusivo de cada fábrica ó ingenio.

El guarapo varía según la madurez de la caña; su tipo; variedad, y en la fábrica se ve afectado por la posible adición de fosfatos u otro aditivo; agua de imbibición; aumento de temperatura; método de decantación; retornos de refinera y filtros a las corrientes de jugo alcalizado, por lo cual tampoco se puede hablar del pH fijo en la alcalización, ni de una cantidad fija de cal.

La calidad de cal es muy importante. Las cales con contenido alto de óxidos de magnesio; fierro; aluminio (más del 2%), no son recomendables, ya que provocan incrustaciones en los evaporadores y dificultan el proceso de defecación.

Las cales deben por recomendación tener de 90 a 95% de  $\text{CaO}$  y menos de 1% óxidos.

El precipitado que se forma también debe ser tratado en forma adecuada y especial.

En general el precipitado que se obtiene está compuesto por fosfato tricálcico combinado con otros no azúcares, por lo tanto el precipitado debe llevar sales insolubles de calcio; albúmina; ceras; gomas y grasa.

Este precipitado debe ser tratado con suavidad una vez formado para ayudar a los flóculos a adherirse entre ellos. Una agitación vigorosa es perjudicial para el precipitado, lo que provocará partículas muy pequeñas y difíciles de separar.



El calentamiento de este precipitado debe ser controlado para evitar que la agitación, por la ebullición, rompa los floculos grandes ya formados. La agitación vigorosa se recomienda al momento de la adición de cal para mejorar la reacción entre ésta y el guarapo.

#### CLARIFICACION CON AC. FOSFORICO.

Se ha comentado mucho acerca de los fosfatos; se dice que la cantidad de los fosfatos que posee el guarapo determina una buena clarificación.

Para que ésta clarificación se lleve a cabo con éxito el contenido de fosfatos en el guarapo debe ser aproximadamente 0.03 a 0.04%. Cuando en el análisis del guarapo no se registra éste dato se añaden fosfatos hasta alcanzar ésta cifra.

Esto como todo tiene sus ventajas y desventajas. Las ventajas que podemos citar son; jugo más claro (de cañas refractarias); eliminación de coloides (éstos hacen la precipitación más difícil; aumenta la hidratación de la partícula; aumenta la viscosidad de la meladura; filtración más lenta; producen color y dificultad en la producción de cristales). Menor cantidad de sales de calcio, decantación y filtración rápida y un producto de mejor calidad. Desventajas: mayor volumen de cachaza; más gasto de cal ya que el pH disminuye de 5.5 a 4.5 o 4.6 puesto que se agrega antes de llegar al departamento de alcalización, (éste gasto es cubierto por el mejor rendimiento que se obtiene con éste aditivo).

Se ha trabajado con otros aditivos para ayudar la clarifica--

ción, pero ninguno ha tenido los resultados obtenidos por los fosfatos.

## DECANTACION.

La separación del precipitado y el líquido claro generalmente se hace por sedimentación y decantación. Hay tres tipos de decantadores:

- a) defecadores.
- b) decantadores continuos o clarificadores.
- c) decantadores discontinuos.

El equipo más usado para este efecto debe proporcionar una separación completa y a la vez rápida. El más común es la decantación continua o clarificador. Un decantador continuo es un tanque al que se hace llegar de manera continua y regular el jugo a decantar. El jugo claro obtenido sale por la parte superior, continua y regularmente, tal como lo hace la cachaza por la parte inferior.

La cachaza se envía a los filtros para recuperar el jugo claro. Este jugo en cada fábrica se envía a departamentos diferentes, en algunos va directo a evaporación, pero debe ser regulado el pH o sea que debe ser igual al del jugo claro, para evitar una nueva precipitación. También se retorna a tanques de alcalizado pero esto aumenta el volumen en este departamento.

Durante la clarificación hay descenso de pH y puede haber pérdidas por inversión.

Se conocen tres tipos de filtros:

Filtros prensa

Filtros mecánicos

Y filtros rotatorios continuos al vacio.

COMPOSICION BASICA DE LA CAÑA DE AZUCAR

AGUA.....	74.5	
CENZAS.....	0.5	(aquí se incluye el 0.07% de fosfatos)
FIBRA.....	10.0	
AZUCARES.....	14.0	12.5 Sacarosa
CUERPOS NITROGENADOS.....	0.4	
CERA Y GRASAS.....	0.2	
GUMAS.....	0.2	
ACIDOS LIBRES.....	0.08	
OTROS.....	<u>0.12</u>	
	100.00%	

Las pérdidas que se presentan en los filtros rotativos al vacío son menores que en los otros.

Como final de éste capítulo se mencionarán los puntos que definen una defecación y clarificación: madurez de la caña; variedad y tipo; forma de recolección; si la caña fué quemada en los campos (esto dificulta la clarificación "cañas cortadas y abandonadas en el campo, quemadas o heladas, o anormales por otras causas, acusan pH más bajo", inferior a 5). Es de mayor importancia recibir la caña fresca, lo más pronto posible después de cortarse, para evitar las pérdidas resultantes por deterioro, que serán mayores cuanto más tiempo permanece la caña en el campo expuesta a el sol o la lluvia; aditivos; cantidad de cal; control del pH; aumentos de temperatura; método de decantación y filtración; así como el lugar donde es enviado el jugo filtrado.

### CAPITULO 3

#### DESCRIPCION DEL PROCESO EN EL DEPARTAMENTO DE ALCALIZACION Y FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR AUTOMATICO DE pH, - EN EL INGENIO BENITO JUAREZ.

##### OPERACION DEL EQUIPO:

En este capítulo haremos una descripción del equipo (controlador de pH), y la forma en que debe operarse para obtener un buen control de la variable en cuestión.

Empezaremos por mencionar que este instrumento es de la Leeds y Northrup Company, es el tipo de controlador que imprime en una carta las indicaciones de un potenciómetro. Necesita una conservación y ajuste cuidadoso; su valores son precisos. Es mucho más útil cuando se trabaja junto con reguladores automáticos de cal de la misma manufactura. La combinación funciona muy bien. Estos tipos de arreglo nos permite obtener mejoras sustanciales en la clarificación.

La buena operación de un proceso depende del control de las variables del mismo. Estas variables se definen como condiciones que están sujetas a cambio, ya sea en los materiales de proceso o en los aparatos, debido a que puede haber varios factores de operación y materiales que pueden cambiar en el proceso más simple. El mantenimiento del control en un proceso completo, es parte muy importante del diseño. Muchos de los avances de la tecnología de proceso de los años recientes se han debido en parte a la popularización de los mecanismos automáticos de control, de allí la im-

portancia del control automático del pH en la defecación y clarificación del -- guarapo.

### CONTROL AUTOMATICO DE pH.

En el tablero de control (fig. 2), tenemos los siguientes -- elementos; dos registradores de las básculas pesadoras de guarapo; un con-- trol de nivel del tanque receptor de jugo pesado (fabricados por A.H. Emery Co. y Foxboro respectivamente); un potenciómetro que imprime en una carta el pH y regula la dosificación de cal (leeds Northrup); un elemento de preenca-- lado, que fija el tiempo en segundos de dosificación de cal (Bristol); cuatro -- elementos que controlan el llenado y la descarga de las básculas pesadoras de guarapo, y por último un elemento que imprime en una carta el número de des-- cargas así como un contador de descargas totales.

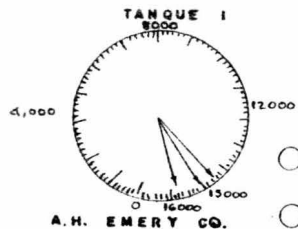
#### 1.- BOTON MANUAL Y AUTOMATICO.

Se encuentra localizado en la parte central del tablero y en la parte derecha del controlador. El botón central blanco, marcado "auto", se-- utiliza para control automático; el del lado izquierdo amarillo, marcado  $\Delta$  se-- utiliza para abrir manualmente la válvula, por ejemplo, aumentar la intensidad del proceso y el botón del lado derecho rojo, marcado  $\nabla$  se utiliza para cerrar manualmente la válvula, por ejemplo, disminuir la intensidad del proceso.

Cuando es presionado el botón "auto", el controlador funcio-- na en forma automática y el botón se ilumina, lo mismo que los botones amari-- llo y rojo. Al abrirse totalmente la válvula, el botón amarillo, que marca baja-- temperatura, se ilumina, al cerrarse totalmente la válvula. El botón rojo que -- marca alta temperatura, se ilumina, y cuando esto sucede, ambas luces se ilu

# TABLERO DE CONTROL

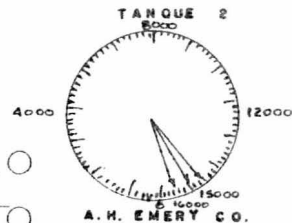
## PESADORAS DE GUARAPO



LLENADO



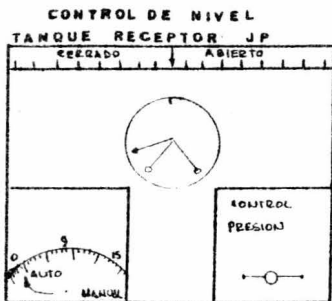
VACIADO



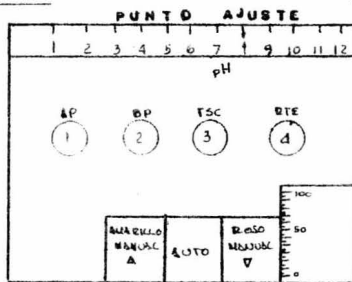
LLENADO



VACIADO

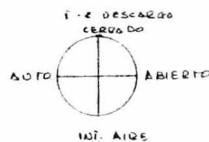
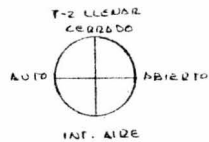
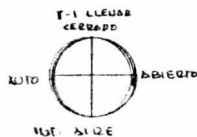
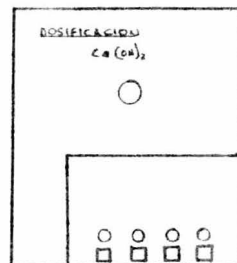


FOXBORO

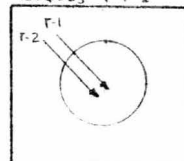


LEEDS Y NORTHRUP

AP: APROXIMACION  
BP: BANDA PROPORCIONAL  
TSC: TIEMPO DE SOBRECORRECCION  
DTE: REGISTRE



**REGISTRADOR DESCARGAS**  
**TANQUES 1 Y 2**



TOTAL TANQUES  
DESCARGADOS

5995

BRISTOL



minan en forma alternada, indicando que el ajuste del incremento del amplificador tiene que disminuirse. Ningún botón se ilumina cuando se opera en control manual.

Ahora bien, la operación de la señal de las luces, como se mencionó anteriormente, son características que presentan procesos que requieren que la válvula se abra cuando la variable controlada disminuye.

## 2.- CONTADOR DE POSICION.

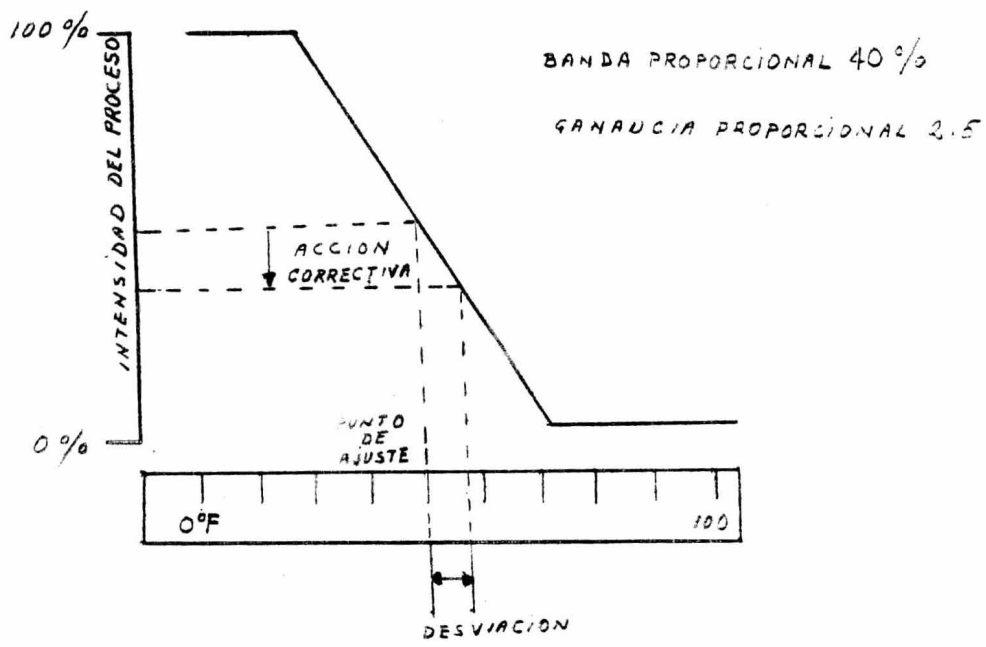
Teniendo los botones colocados, ya sea en operación manual o automática, este contador nos indica la unidad impulsada y las diferentes posiciones de la válvula, por lo tanto la posición del marcador (el % de la escala completa) da una señal aproximada de la intensidad del proceso (% de intensidad máxima).

## 3.- BANDA PROPORCIONAL.

La acción proporcional es llamada también acción correctiva, ya que cualquier variación en la corriente del proceso es proporcional a la desviación de la variable controlada, o al movimiento de la pluma del registrador, desde el punto de ajuste.

La proporción del movimiento de la pluma, para efectuar un cambio en la corriente o intensidad del proceso, se expresa como la banda proporcional y se ajusta por medio del elemento de la banda proporcional. Un ajuste del 10% por ejemplo, significa que la pluma del registrador tiene que moverse un 10% de la amplitud de la escala del registrador para variar la intensidad del proceso de mínimo a máximo. La siguiente fig. ilustra esta rela-

VARIACION DE LA INTENSIDAD DEL PROCESO CON  
DESVIACION DE LA VARIABLE PARA 20% DE CON-  
TROL DE ALAMBRE CORREDIZO



ción, donde una amplitud de un 40% de distancia se usa para operar una válvula u otro aparato regulador desde un máximo a un mínimo en una banda proporcional de un 40%.

Debe notarse que, mientras más angosta es la banda, más sensible será la respuesta de control.

El elemento de la banda proporcional se calibra de 300 a 1% de la escala del registrador. Esta calibración se aplica específicamente a un 20% de control de alambre corredizo y puede también aplicarse a un 100% de control de alambre corredizo, si el % de acción se desconecta. Para un 40% de control de alambre corredizo, la banda proporcional es dos veces la lectura del elemento, para un 100% de control de alambre corredizo con acción proporcional, la banda proporcional es cinco veces la lectura del elemento.

$$\text{Ganacia proporcional} = \frac{100}{\text{Banda Proporcional}}$$

#### 4.- REAJUSTE.

El reajuste automático, también llamado acción integrado ra, nos permite corregir la intensidad del proceso a una velocidad proporcional a la desviación de la pluma registradora hasta alcanzar el punto de ajuste. La proporción de velocidad se corrige utilizando el elemento de reajuste. Esta acción de control nos ocasiona cambios graduales en la intensidad del proceso a medida que la pluma registradora se aleja del punto de ajuste. En el punto de ajuste se detiene.

La acción proporcional por si sola no mantendrá la pluma

registradora en el punto de ajuste al existir variaciones de acuerdo a las exigencias del proceso. El control proporcional solamente nos preveé la respuesta rápida y estable a los cambios de exigencia del proceso que se requieren para control cerrado. Ahora bien, cuando se sobreimpone la acción de reajuste sobre control proporcional inmediatamente la pluma registradora reconoce el punto de ajuste, el cual no se lograría con el control proporcional simple.

La velocidad de reajuste se calibra en "repeticiones por minuto", este término puede explicarse de la siguiente manera; supongamos que la pluma del registrador se encuentra fuera del punto de ajuste, de tal manera que la acción proporcional cambia la intensidad del proceso, por 10% de intensidad máxima y la pluma del registrador permanece en esta posición. La acción de reajuste producirá ahora un cambio adicional de intensidad del proceso a una velocidad que es proporcional a la distancia que la pluma del registrador se movió del punto de ajuste. Si el elemento de reajuste está en 1.0, en un minuto la acción de reajuste añadirá otro 10% a la intensidad del proceso, es decir, la acción de reajuste repetirá la acción proporcional una vez por minuto.

##### 5.- TIEMPO DE SOBRECORRECCION.

La acción proporcional nos corrige la intensidad del proceso que es proporcional al porcentaje de cambio de la posición de la pluma del registrador. Esta acción correctora, cuando se usa conjuntamente con acción de reajuste y proporcional, nos ayuda a vencer los efectos de la capacidad del proceso y a medir los retrasos que dan al proceso los ciclos, sobre el punto -

de control. La cantidad de acción del tiempo de sobrecorrección, depende del ajuste del elemento de tiempo de sobrecorrección.

El elemento de tiempo de sobrecorrección se calibra en --- minutos. El significado del ajuste del elemento se explica de la siguiente manera:

Supongamos que la pluma del registrador se mueve fuera del punto de ajuste, en una proporción constante, de tal manera que a causa de la acción proporcional, la intensidad del proceso cambiará también en proporción constante. Así para un ajuste de condiciones dada, la intensidad del --- proceso pueda incrementarse a la proporción de 3% de intensidad máxima por minuto debido solamente a la acción proporcional.

Si el elemento de tiempo proporcional se ajustara en dos --- minutos, la intensidad del proceso aumentaría en una cantidad adicional equivalente a dos minutos de acción proporcional, por ejemplo 6% de intensidad máxima en el ejemplo mencionado.

## 6.- APROXIMACION.

La acción de aproximación se utiliza bajo condiciones de --- arranque o si existe algún cambio prolongado en el proceso o cuando el circuito está saturado. Cuando el proceso en su desarrollo permanezca en un máximo, no se efectuarán acciones proporcionales de reajuste, hasta que la pluma --- registradora regrese y localice el punto de ajuste.

El elemento de aproximación se calibra de 0 a 100, la escala es arbitraria; cuando se ajusta a 0 no hay voltaje predispuesto en la retroali

mentación, y la acción correctiva se iniciará en el punto de ajuste, después de la saturación del reajuste. En el ajuste a 100 la acción correctiva comenzará cuando la pluma registradora, alcance un punto determinado sobre el alambre de control corregido. Este punto es 10% inferior al punto de ajuste, para un control de alambre corregido de 20% o 20% inferior para un control de alambre corregido de 40%, o 10% inferior al punto de ajuste para un control de alambre corregido de 100%, cuando el circuito esté desconectado. Si el circuito se conecta para un control de alambre corregido de 100%, la acción correctiva puede iniciarse a un 50% más bajo del punto de ajuste, esto es colocado el elemento de aproximación en 100.

#### 7.- OPERACION MANUAL.

Es sumamente importante y se aconseja operar un nuevo sistema de control, primero por control manual antes de hacerlo por control automático. Porque de esta manera, si el proceso no es estable bajo operación manual ya sea que se deba al tamaño inadecuado de las válvulas, tampoco debe esperarse que sea estable bajo operación automática. De ahí que la operación manual nos permita observar el desarrollo del proceso, para que en un momento dado se puedan señalar las correcciones pertinentes y así evitar al gún error en el ciclaje y en los ajustes del controlador.

#### 8.- ARRANQUE INICIAL.

Para efectuar el arranque inicial del sistema de control de operación manual, procede de la siguiente manera:

- a).- Fijar el valor de pH deseado en el punto de ajuste del registrador.
- b).- Colocar los elementos del controlador en los ajustes iniciales siguientes:

1.- Banda Proporcional-----	50
2.- Ganancia Proporcional-----	2
3.- Ganancia del Amplificador (índice rojo en el elemento proporcional)-----	límite C.W.
4.- Reajuste-----	0.02
5.- Tiempo de sobrecorrección -----	0
6.- Aproximación-----	0

c.- Oprima el botón rojo o el amarillo para dejar fuera el botón automático -  
y de esa manera trabaje en forma manual.

d.- Conecte el interruptor del registrador y del controlador, si lo hay.

e.- Oprima el botón amarillo para aumentar o el botón rojo para disminuir,  
el rendimiento manual al valor deseado.

f.- Opere en forma manual el proceso, el tiempo que se necesario, para ob-  
servar y estudiar la naturaleza del registro de control.

g.- Si el ciclaje aparece durante la operación manual corregir antes de cam-  
biar a control automático.

## 9.- TRANSFERENCIA DE CONTROL MANUAL A AUTOMATICO.

Para cambiar de control manual a automático es necesario-  
oprimir firmemente el botón blanco señalado con "auto", esperando al menos -  
un momento, después del último cambio en la operación manual.

No debe haber cambio instantáneo, en la posición del ele-  
mento final de control, hay que tomar en cuenta si la variable controlada está -  
fuera o dentro del punto de ajuste. El botón "AUTO", debe estar encendido y --  
los botones rojo y amarillo deben estar encendiendose en forma alternada indi-

cando la localización de la estabilidad del sistema, ahora bien para encontrar la estabilidad del sistema es necesario buscar en forma experimental, con la ganancia del amplificador el ajuste y esto se logra cuando las luces de los botones rojo y amarillo dejen de intermitir.

#### 10.- DESCRIPCION DEL PROCESO.

El jugo mezclado; formado de la extracción y compresión de la caña en los molinos en este ingenio, dió un jugo pobre en ácido fosfórico, bastante difícil de tratar. Estas son las llamadas cañas refractarias, cuyo tipo es la POJ-2878, aquí se utilizó la POJ-2175. Por lo cual optamos incorporar artificialmente, antes de la defecación la cantidad de ácido fosfórico necesaria. Esta cantidad varía de acuerdo con la variedad de la caña y las circunstancias. Se calcula en general que son necesarios por lo menos 300mg. de ácido fosfórico por litro de jugo. Sin embargo esta variedad solo tiene 200 mg. de ac. fosfórico y descienden en ocasiones hasta 50 mg. Debe entonces agregarse la diferencia. Estas cantidades están en  $P_2O_5$  (fosfatos).

El jugo mezclado con pH original de 5.5 disminuía a 4.5 y 4.6 con la adición de ác. fosfórico; en esa forma se bombea al departamento de alcalización, donde es pesado, en dos tolvas pesadoras de guarapo automáticas cuya capacidad es de 15 ton. cada una, las cuales descargan a un tanque receptor de jugo pesado, con capacidad de 31,133 ton. ahí se verifica el primer contacto del guarapo con la lechada de cal, preparada en forma de hidróxido de calcio, en dos tanques de lechada de cal, con una capacidad para 10,196 ton. cada uno, de donde se bombea a un tanque distribuidor, (por separado se mencionará la forma en que se prepara la lechada de cal).



El jugo ya con las primeras adiciones de cal se bombea a un primer tanque de jugo alcalizado de capacidad para 47,091 ton. donde se homogeneiza la mezcla, mediante agitación y ahí ocurre la segunda adición de lechada de cal, luego por derrame pasa a un segundo tanque mezclador de jugo alcalizado de la misma capacidad, de este tanque se toma la muestra para el control automático de pH. El proceso se verifica de la siguiente manera: el aparato toma una muestra de jugo alcalizado, del lado de descarga de la bomba del segundo tanque mezclador de jugo alcalizado, esta muestra atraviesa una cámara de flujo que contiene un electrodo medidor de vidrio y un electrodo de referencia los cuales miden un voltaje proporcional al pH del jugo alcalizado, -

(El electrodo de vidrio.- si una membrana de vidrio separa dos soluciones de diferente pH, entonces se establece a través de la membrana una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de pH.

El electrodo de vidrio generalmente está formado por un bulbo de vidrio que actúa como membrana soldado a un tubo también de vidrio; el bulbo y el tubo contienen una solución estabilizadora y un electrodo, que está soldado al otro extremo del tubo y sumergido en la solución.

El electrodo de referencia.- es la media celda de Hg ---- Calomel. La conexión externa está en contacto con el Hg, el que, a su vez, está en contacto con una pasta compuesta de Hg y cloruro mercurioso (calomel), - y todo esto está sumergido en una solución de cloruro potásico).

Esta señal de milivoltaje que se desarrolla a través de la membrana de cristal de alta resistencia, es llevado a un amplificador-indica--

don apropiado, y de ahí a un registrador potenciométrico tipo servo, que contiene un alambre corredizo de control que está conectado también al alambre corredizo del mecanismo del movimiento de la válvula, a medida que el alambre corredizo del mecanismo actuante de la válvula cambia su posición por la acción de un motor reversible que es actuado por la unidad del relevo de control. De esta forma se añade la lechada de cal suficiente para mantener el pH, final deseado en el jugo alcalizado que sale del tanque. Este sistema funciona en relación con un controlador automático de acción, que nos permite un buen ajuste del pH si se trabaja como hemos señalado en páginas anteriores. Los diferentes pasos de este sistema de control en circuito cerrado, pueden considerarse que son los siguientes:

- 1.- Comparación de la señal de medida (suministrada por los captores), con la fijada en el punto de ajuste.
- 2.- La señal de diferencia entre la medida y la del punto de ajuste, es decir, la desviación de la magnitud a regular del valor prefijado, se conduce al controlador.
- 3.- El controlador elabora la señal de desviación y da salida a una señal de corrección.
- 4.- Esta señal de corrección llega al elemento final de control, o accionador, que responde a ella, modificando las condiciones del proceso.
- 5.- La reacción del proceso y la consecuente variación de la magnitud controlada.
- 6.- Detección del cambio de la magnitud bajo control por los captores de medida.

7.- Transmisión de la variación de la magnitud de control al módulo de comparación del punto de ajuste.

8.- La señal de entrada al controlador queda modificada en consecuencia.

Si la señal de desviación resulta del paso (8), corresponde a la señal transmitida, cuando la variable controlada, coincide con la del punto de ajuste, el ciclo de corrección termina. Sin embargo el ciclo se repite si la desviación hacia el punto de ajuste persiste. El paso (8), constituye la realimentación que modula la corrección del proceso, constituye el éxito o fallo de la acción correctora.

Después que hemos controlado el pH del jugo alcalizado que en este ingenio fué de 8.0, el siguiente paso es el calentamiento.

El jugo alcalizado se calienta, a través de tres calentadores, por medio del vapor de escape o del vapor que se obtiene de los evaporadores. En estos aparatos, la superficie de calefacción debe ser suficiente, para hacer que el jugo mezclado alcalizado llegue a la temperatura de ebullición, durante su paso, es decir a  $101^{\circ}\text{C}$  o  $105^{\circ}\text{C}$ . Para utilizar correctamente estos aparatos, es conveniente que la velocidad del jugo no descienda de un metro por segundo, cuando desciende, el coeficiente de transmisión del calor, es menor el lunes por la mañana, el calentador se ensucia más rápidamente y la temperatura del jugo caliente baja con rapidez en el curso de la semana.

Inversamente, si la velocidad es alta, el paso del jugo por el calentador provoca una pérdida de carga muy importante que se hace rápidamente insostenible, por esta razón la velocidad no debe pasar de 2mt. por se--

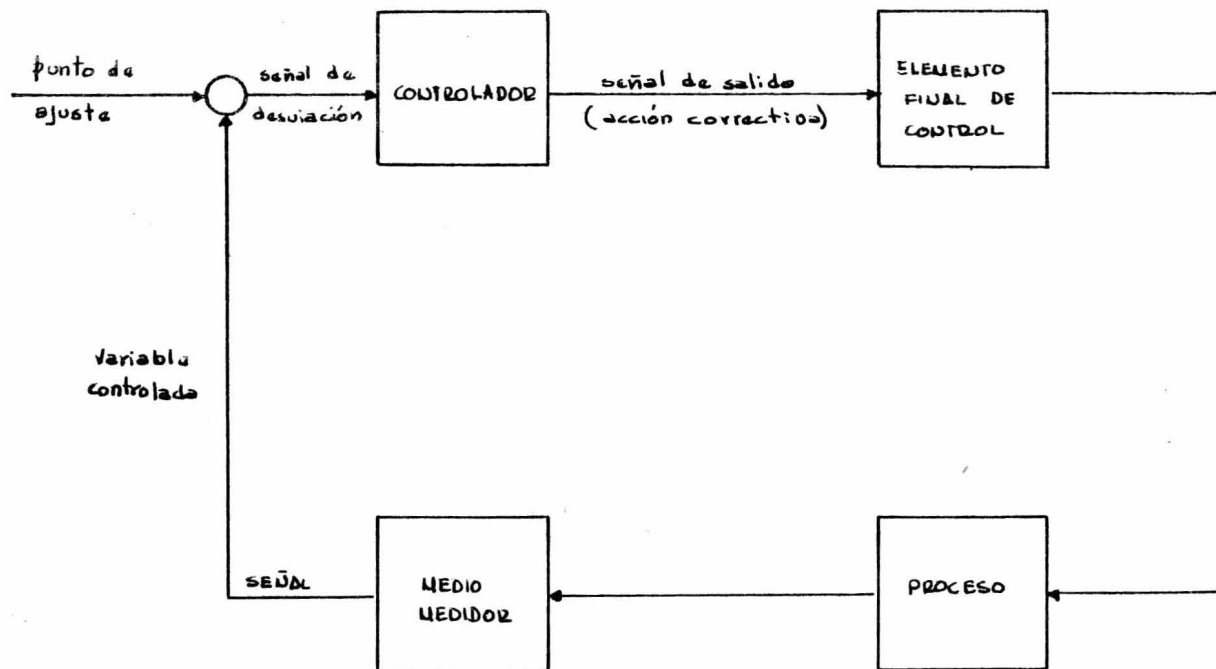


DIAGRAMA DE UN CIRCUITO DE CONTROL

gundo, que ya es excesiva; las mejores velocidades económicas se encuentran entre 1.5 y 1.8 metro por segundo.

En la práctica se calcula un margen entre la temperatura  $T$  del vapor y la temperatura  $t$ , del jugo caliente que sale del calentador, para evitar superficies excesivas de calentamiento.

Económicamente es necesario limitar la temperatura de  $t$  de tal manera que se tenga:

#### MARGEN DE TEMPERATURA QUE DEBE DARSE EN LOS CALENTADORES

VAPOR DE CALENTAMIENTO	MARGEN DE TEMPERATURA
Vapor de escape	$T-t = 6$ a $8^{\circ}\text{C}$
Vapor del primer cuerpo	$T-t = 10$ a $12^{\circ}\text{C}$
Vapor de los otros cuerpos	$T-t = 15$ a $20^{\circ}\text{C}$

De otra manera el excedente de superficie necesario para obtener un jugo más caliente estaría fuera de proporción comparado con el incremento de temperatura obtenido de esta manera. El calentamiento se obtiene generalmente en etapas, por lo menos, en la batería principal, por medio de vapor de los diversos cuerpos del multiple efecto y se termina con vapor de escape; de esta manera puede obtenerse una batería con un número razonable de calentadores de superficie adecuada.

En estas baterías de calentadores es necesario de contar siempre con conexiones que permitan pasar el calentador número 1 al primer cuerpo y el 2 al escape, de manera que pueda hacerse frente a las condiciones

desfavorables que pudieran presentarse: incrustaciones, baja contrapresión, etc., sin tener que bajar la temperatura de calentamiento lo que es peligroso para la decantación. No debe excederse una temperatura de 105° ya que cuanto mayor sea la temperatura tanto mayor será el riesgo de que las ceras, que a esa temperatura se funden, se emulsifiquen cuando se sometan a la ebullición que toma lugar en el tanque de evaporación que precede al clarificador, cuando esto ocurre las ceras son difíciles de separar.

Es igualmente prudente tener un calentador de refacción, con vapor de escape para poder llevar a cabo la limpieza sin interrumpir la marcha de la fábrica.

Después que el jugo ha sido calentado, pasa por un separador de vapor, que consiste en un simple vaso, en el cual vuelve a tomar la temperatura de ebullición, correspondiente a la presión atmosférica, liberando vapor; inmediatamente el jugo pasa al clarificador, se recomienda que entre a una velocidad de 6 a 12 metros por hora, ya que a una velocidad mayor se produce flujo turbulento que impide la decantación. El clarificador es un decantador continuo en el que se hace llegar de manera continua el jugo que es lo suficientemente grande para que la velocidad de escurrimiento y de circulación sea de un valor tan bajo, que no impida que la decantación se realice.

El clarificador está dividido generalmente en varios compartimientos que multiplican la superficie de decantación. Tiene un eje central que gira muy lentamente (12 revoluciones por hora) y que lleva láminas raspadoras que barren lentamente el fondo de los compartimientos.

El jugo por decantarse llega tangencialmente a la parte superior de un compartimento llamado "Floculación". En este lugar sobrenada un poco de espuma, la que se elimina por medio de un raspador especial que la empuja hacia un pequeño canal lateral de evacuación. Los compartimentos se comunican entre sí, en cada uno la cachaza que se deposita, se empuja lentamente hacia el centro en donde cae, por un orificio anular, al fondo del aparato descendiendo a lo largo y al exterior del tubo central, el tubo central comunica a las partes superiores de los diversos compartimentos. El jugo por decantar pasa del tubo central a los compartimentos por medio de ductos que atraviesan el espacio anular por el que descenden las cachazas.

El jugo claro decantado sale de cada zona más tranquila y más clara de él, es decir, con la circunferencia situada en la parte superior de cada compartimento, cerca de la parte exterior del clarificador. Estos tubos descargan en una caja de jugo en la que su gasto se ajusta con la ayuda de un tubo que corre sobre la extremidad de la tubería, fijando el nivel del derrame, que es evidentemente, con diferencia de pocos milímetros, el nivel del jugo dentro del tanque.

Las cachazas se toman de la parte inferior, podrían como el jugo, salir por gravedad, generalmente se prefieren, por ser muy espesas, sacarlas por una bomba de diafragma, de válvulas y membranas a una caja de cachazas cercana a la caja del jugo de donde pasan a la filtración.

La decantación separa los jugos tratados en dos partes:

El jugo claro que sube a la superficie.

La cachaza que se reúne en el fondo.

El jugo claro va al departamento de evaporación, y la cachaza debe filtrarse a fin de separar el jugo del precipitado que contiene junto con las sales insolubles que se han formado el bagazo fino que arrastró. La filtración es a veces una operación delicada y difícil de manejar, para poder hacerla, con las mejores probabilidades de éxito, es necesario observar ciertas reglas:

1.- Temperatura, la viscosidad del jugo y sobre todo, la de las gomas y las ceras que debe tener la superficie filtrante, decrece a medida que la temperatura aumenta, por esta razón es conveniente filtrarlo a altas temperaturas, en lo posible debe operarse arriba de  $80^{\circ}\text{C}$  de preferencia a  $90^{\circ}\text{C}$ , ya que si se conserva esta temperatura el tambor permanecerá limpio después de la separación de la torta.

2.- Reacción, los jugos alcalinos filtran mejor que los jugos ácidos o neutros, por esta razón generalmente se agrega cal a las cachazas antes de enviarlas a la filtración.

El pH se lleva hasta 8 u 8.5, es mejor no pasar de 8.5 para no emplear inutilmente un exceso de cal que también aumenta la incrustación en los evaporadores.

En particular en este ingenio se empleó una clarificación sencilla con dos clarificadores y para la filtración cuatro filtros "Eimco" rotativo al vacío. Estos filtros se componen de un tambor que gira alrededor de un eje horizontal, el cual se sumerge, en parte en el líquido por filtrar. La periferia -



sírve como superficie filtrante; está dividida en 24 secciones independientes, - cada una de las cuales ocupa  $15^\circ$  de la circunferencia y se extiende a todo lo -- largo del tambor. Cada una de las secciones se une individualmente a una tube-- ría de vacío por medio de un pequeño tubo metálico que conecta con un distri-- buidor situado en una de las extremidades del eje y que lleva 3 sectores dife-- rentes:

Uno sin comunicación con el vacío y en comunicación con la atmósfera.

El segundo comunicado con un espacio en el que se ejerce un pequeño vacío.

El tercero en comunicación con un espacio en el que se aplica un vacío mayor.

La pared exterior está formada por una tela metálica perforada muy finamente.

Al girar el filtro la sección que comienza a entrar al líquido -- se pone inmediatamente en comunicación con el bajo vacío. Se produce la aspi-- ración del líquido, que entra por las pequeñas perforaciones. Sin embargo, és-- tas se llenan rápidamente de pedazos de bagazo y de materias en suspensión. El-- primer jugo que pasa está evidentemente mal filtrado y es turbio: Se le llama -- "filtrado turbio" y se lleva a un recipiente especial. La sección así guarnecida -- de un pequeño colchón que forma el precipitado de la torta, pasa enseguida al -- sector de alto vacío. En efecto, es necesario aumentar la aspiración porque la -- resistencia ofrecida por la torta crece con su espesor. Sin embargo, el jugo que pasa está ahora filtrado de una manera más eficaz por sus propias impurezas y-- por el bagazo que ambos forman por sí mismos la superficie filtrante necesaria -- al acumularse sobre el tambor. Este jugo constituye el "filtrado claro" y va a -- otro recipiente. La torta continúa engruesando hasta que la sección sale del lí-- quido. El jugo que arrastra su superficie escurre a la cubeta.

La sección pasa entonces por varios aspersores pulverizadores que asperjan agua caliente sobre la torta. En este momento empieza el lavado. El vacío aspira lentamente el agua y los fabricantes aseguran que este lavado está provisto de manera que el agua tenga el tiempo justo, en la fabricación de vuelta que queda por recorrer, para atravesar la torta y desplazar al jugo. En efecto el desazucarado es muy eficiente y, sin embargo, el brix del jugo claro sólo es ligeramente inferior al del jugo turbio. Después de la aspersión se mantiene el lavado por los aspersores que deja gotear agua sobre la torta a medida que la superficie va secándose por la aspiración del agua. El secado se inicia después del último aspersor: el agua se aspira al interior sin renovarse en el exterior. Poco antes de que la sección entre de nuevo al líquido, pasa por un pequeño rodillo que la descarga sin necesidad de rasparla, en esta forma cae a un transportador de gusano que la saca del departamento.

#### PREPARACION DE LA LECHADA DE CAL Y DISTRIBUCION DEL FLUJO A TRAVES DE TUBERIAS.

La lechada de cal se preparó a 7°Bé. en dos tanques cuya capacidad es de 10,196 lts. cada uno.

El procedimiento es el siguiente:

En el primer tanque que se encuentra en un nivel superior se llena hasta la mitad con agua y poco a poco se le añade cal hasta alcanzar la densidad deseada de la lechada, después mediante una tubería de derrame cae al segundo tanque por gravedad, controlando la cantidad necesaria mediante una válvula manual.

Posteriormente se bombea a un tanque de cabeza constante y por efecto de la gravedad se distribuye el flujo por tres líneas, una de 3" y las otras de 2". Por la de 3" se retorna al tanque de lechada de cal, una de las líneas de 2" va al tanque receptor de jugo pesado, de esta tubería sale un retorno que va al tanque de lechada de cal. El flujo se controla mediante dos válvulas de diafragma automáticas, una para el retorno y otra para el pre-encalado que se verifica en el tanque receptor de jugo pesado. La otra línea de 2" va al elemento dosificador de lechada de cal de donde salen dos líneas una de retorno al tanque de lechada de cal y otra que va al primer tanque de jugo alcalizado, el flujo se controla en forma automática o manual desde el tablero de control.

°Bé	DENSIDAD	g CaO/lit.	% de CaO por peso
1.....	1.007 .....	7.5 .....	0.75
2.....	1.014.....	16.5 .....	1.65
3 .....	1.022.....	26.0 .....	2.55
4.....	1.029.....	36.0 .....	3.50
5.....	1.037.....	46.0 .....	4.43
6.....	1.045.....	56.0 .....	5.36
7.....	1.052.....	65.0 .....	6.18
8.....	1.060.....	75.0 .....	7.08
9.....	1.067.....	84.0 .....	7.78
10.....	1.075.....	94.0 .....	8.24

Por cada tanqué de lechada de cal preparado se consumían 662.86 Kg. de Cal.

## CAPITULO 5

### ALGUNAS EXPERIENCIAS EN EL INGENIO

#### PRINCIPALES MODIFICACIONES AL SISTEMA DE ALCALIZACION.

1.- El cambio más importante y notable en este departamento fué sin duda la eliminación del tanque de cabeza constante que distribuía la lechada de cal a todos los sitios donde era necesaria.

El motivo fué que al aumentar la densidad de la lechada de cal de 2 o 3°Bé a 7°Bé había obstrucciones en las tuberías y fallas en el bombeo (aunque se cuenta con dos bombas para estos casos), así como en las válvulas de control.

Al detenerse el proceso por algún motivo, como es lógico la cal en suspensión se depositaba y esto provocaba las fallas.

La solución que se dió, fué un flujo constante de la lechada de cal, o sea que si el proceso se detenía la cal circulaba por las tuberías y al no ser requerida retornaba al tanque de lechada de cal.

Al producirse el cambio fué necesario preparar un sifón para mantener la cabeza de la bomba y no tener que cambiar esta.

2.- Otro cambio muy importante fué el de la toma de muestra de jugo alcalizado para conocer su pH.

La toma original se encontraba cerca de los calentadores de jugo alcalizado pero se pensó y comprobó que el sitio indicado era justo en la parte más baja del 2º tanque de alcalización.

3.- Al tomador de muestra de jugo alcalizado se le adaptó — una entrada que venía del tanque receptor de jugo pesado donde se verifica el — pre encalado, para conocer al principio de la operación el pH de este jugo y — ajustar el pH indicado en el controlador.

4.- La densidad de la lechada de cal como ya se mencionó se modificó a 7°Bé. que es muy superior a lo indicado y recomendado por el fabricante del equipo y por muchos autores.

El aspecto económico es básico en este caso aunque a simple vista no es apreciable. Como se indicó en el cambio número 1 esto provocó — fallas, (que ya fueron superadas), pero si hacemos un análisis notaremos lo siguiente:

Para una densidad de 2 a 3°Bé el gasto de cal por tanque será de 215 kg. aproximadamente y para 7°Bé. 662 kg. aproximadamente pero la diferencia es grande.

Ahora si consideramos la cantidad de agua necesaria para preparar una lechada de cal de 2 o 3°B es mucho mayor que para 7°Bé.

Aún así la diferencia en costo es mayor con lechada de 7°Bé. pero el agua que se usa aquí es filtrada (esto aumenta el valor del agua) el — agua se bombea hasta el tanque y esto ocasiona mayor costo.

El tiempo de reacción es mayor con lechada de 2 o 3°Bé. que — con lechada de 7°B. por lo cual el bombeo es mayor para la primera que para la otra esto provoca mayor consumo de energía y mayor costo.

Si se usa la primera densidad disminuye la capacidad de calentiar

tadores, clarificadores, evaporadores, aquí se necesitará más vapor para eliminar el exceso de agua con una densidad más baja.

Otro motivo que se dió para usar esta densidad es que todo procedimiento automático se debe probar primero en forma manual, y es más fácil-trabajar con densidades altas.

También quedó demostrado por las experiencias de la fábrica - que el uso de ácido fosfórico es FUNDAMENTAL en el proceso, se vió claramente que el gasto de cal aumentaba pero en forma por demás mínima, y el rendimiento es considerablemente mayor así como el producto que se obtiene del jugo claro es de mejor calidad para su refinación.

El producto que se obtuvo para la refinación dió tan buen resultado que sin necesidad de pasar por los filtros de carbón activado para decolorar dió un azúcar blanco de gran calidad.

Además el ácido fosfórico tiene otra ventaja: es un agente microbiológico de gran capacidad.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES

- 1°.- La selección de usar para el proceso de elaboración de azúcar de caña, un equipo totalmente automático para el control de pH, en la Alcalización de -- Guarapos, en combinación con el ácido fosfórico, dió resultados óptimos, -- ya que esto, lejos de afectar el proceso, le dá seguridad y eficiencia.
- 2°.- Una vez controlado el equipo automático y ajustado a las necesidades del -- proceso, se tiene la seguridad de obtener un producto de alta calidad y fá-- cil de refinar, en caso dado.
- 3°.- La diferencia de costos de un equipo semi-automático y uno totalmente au-- tomático es muy considerable, y más aún si se considera que los ajustes y modificaciones han hecho de este proceso una realidad óptima de trabajo y eficiencia.
- 4°.- El ahorro por personal; agua de proceso; energía eléctrica; etc., así como el aumento en el rendimiento, no deja lugar a dudas sobre el éxito del equi-- po automático, lo que se comprobó en el Ingenio Benito Juárez, ubicado en H. Cárdenas, Tabasco, México.

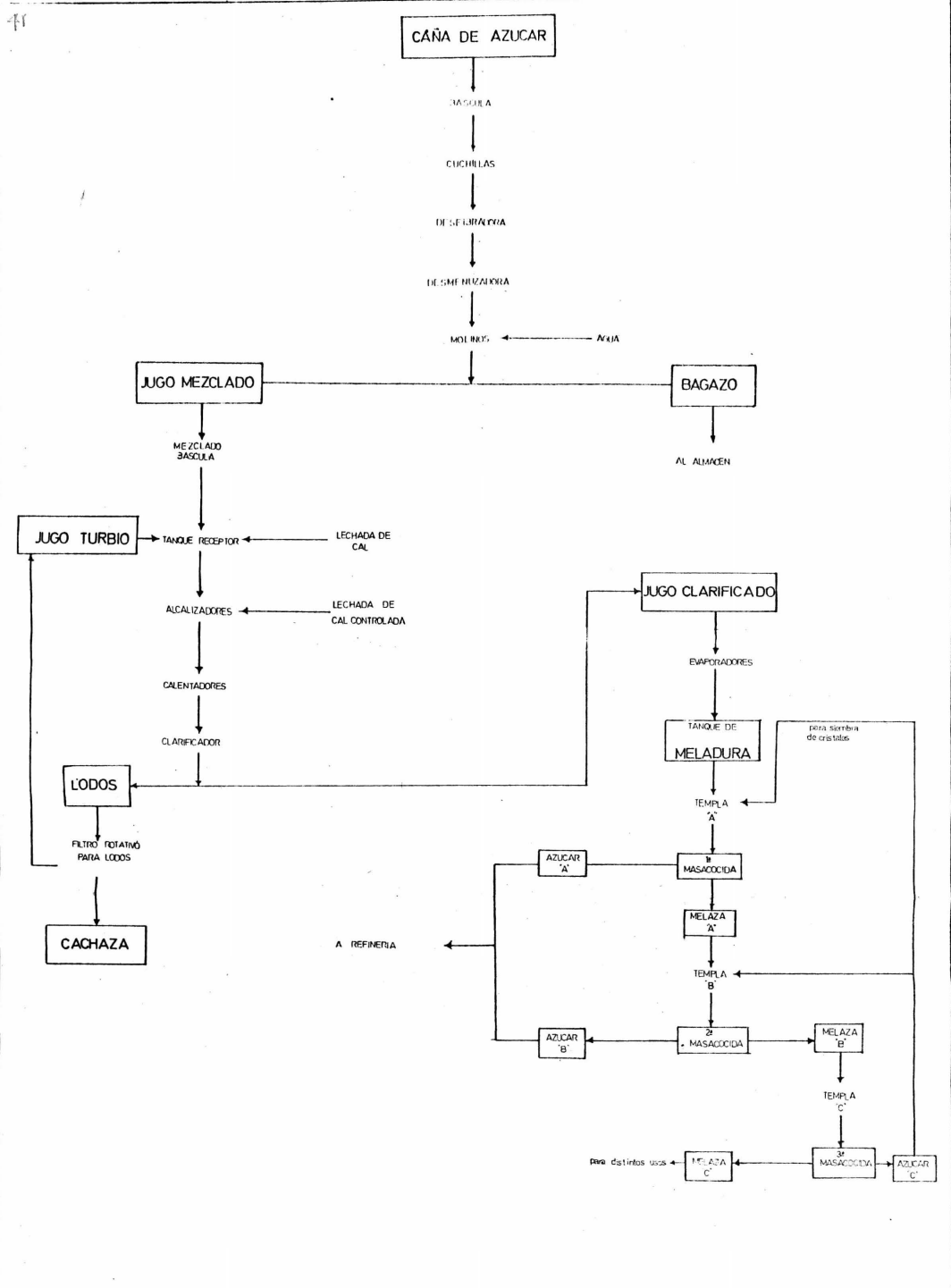
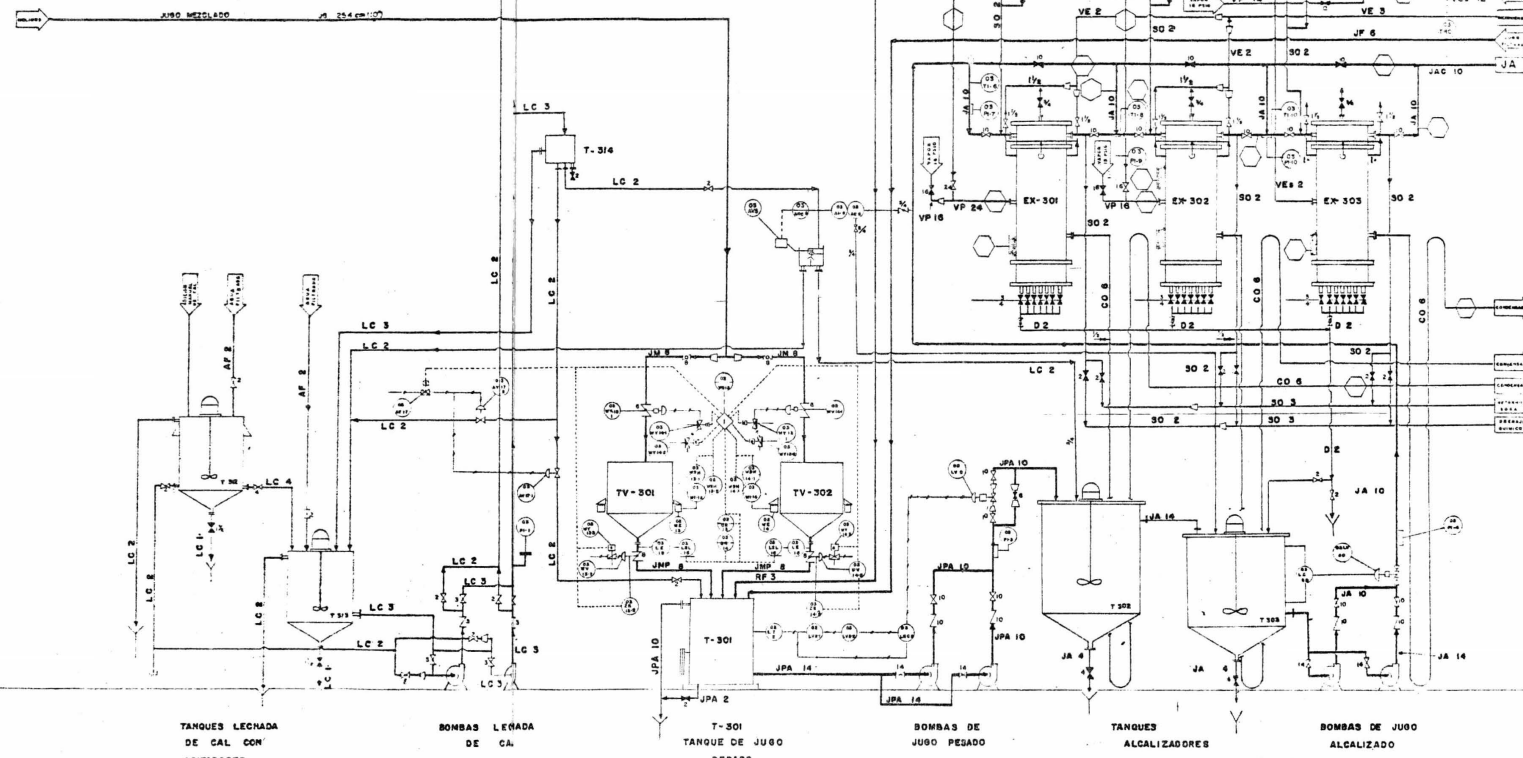


Diagrama de Instalación	
Escala: 1:100	Fecha: 10/10/77
Elaborado por: J. G. M.	Revisado por: J. G. M.
Código: 100	
Código de identificación del proyecto: 100	
Plant: 100	
Firma: J. G. M.	



42



TANQUES LECHADA  
DE CAL CON  
AGITADORES

BOMBAS LECHADA  
DE CAL

T-304  
TANQUE DE CABEZA  
CONSTANTE

T-301 TV-301 TV-302  
TANQUE DE JUGO  
PESADO TOLVAS PESADORAS  
DE GUARAPU

BOMBAS DE  
JUGO PESADO

TANQUES  
ALKALIZADORES

BOMBAS DE JUGO  
ALKALIZADO

EX-301 CALENTADOR PRIMARIO  
EX-302 CALENTADOR SECUNDARIO  
EX-303 CALENTADOR TERCARIO  
DE JUGO ALKALIZADO

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION  
DE PROCESO ALKALIZACION Y CALENTAMIENTO  
INGENIO BENITO JUAREZ FACULTAD DE QUIMICA  
CARDENAS, TABASCO U N A M  
CONTROL AUTOMATICO DEL pH EN LA  
CLARIFICACION DEL GUARAPU  
GENARO PEREZ MARTINEZ LUIS J. HERNANDEZ PEREZ

PLANO - 2

# DIAGRAMA DE FLUJO DE LA DEFECACION Y CLARIFICACION

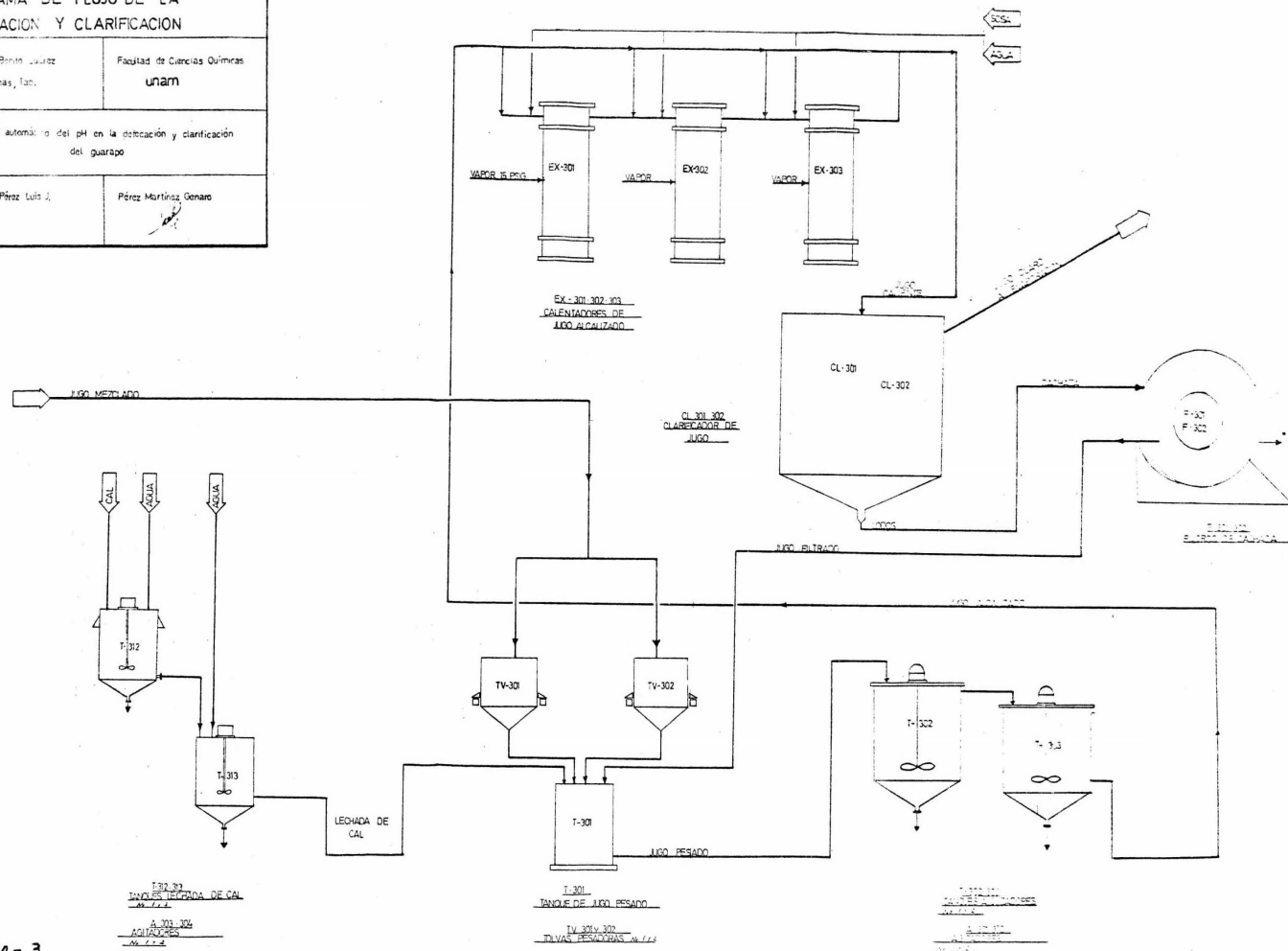
Ing. Benito Juárez  
Cárdenas, Tab.

Facultad de Ciencias Químicas  
unam

Control automático del pH en la defecación y clarificación  
del guarapo



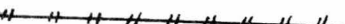


Hernández Pérez Luis J.

Pérez Martínez Genaro



## INSTRUMENTACION (LEYENDA)

### LINEA A INSTRUMENTOS

	Línea eléctrica
	Línea hidráulica
	Línea neumática
	Línea capilar
	Línea electromagnética

### VALVULAS SOLENOIDES

- 03AY-17.- Válvula solenoide dosificación cal a jugo.
- 03WY-13.1.- Válvula solenoide control entrada guarapo a tolva pesadora TV-301.
- 03WY-13.2.- Válvula solenoide control entrada guarapo a tolva pesadora TV-301.
- 03WY-14.1.- Válvula solenoide control entrada guarapo a tolva pesadora TV-302.
- 03WY-14.2.- Válvula solenoide control entrada guarapo a tolva pesadora TV-302.
- 03WY-13.3.- Válvula solenoide control descarga guarapo tolva pesadora TV-301.
- 03WY-14.3.- Válvula solenoide control descarga guarapo tolva pesadora TV-302.

### VALVULAS NEUMATICAS DE CONTROL

- 03AV-17.2.- Válvula retorno cal a tanque lechada T-313.
- 03AV-17.1.- Válvula dosificación cal a tanques jugo pesado T-301.
- 03WV-13.1.- Válvula control entrada guarapo a tolva pesadora TV-301.

03WV-14.1.- Válvula control entrada guarapo a tolva pesadora TV-302.

03WV-13.2.- Válvula control descarga guarapo tolva pesadora TV-301.

03WV-14.2.- Válvula control descarga guarapo tolva pesadora TV-302.

03LV-2.- Válvula control nivel tanque jugo pesado T-301.

03LV-60.- Válvula control nivel tanque jugo alcalizado T-303.

### OTROS INSTRUMENTOS

03WQ-13.- Contador de impulsos llenado tolvas pesadoras TV-301 y TV-302.

03WSH-13.1.- Interruptor indicador peso tolva pesadora guarapo TV-301.

03WSH-13.2.- Interruptor indicador peso tolva pesadora guarapo TV-301.

03WI-13.- Indicador peso tolva pesadora guarapo TV-301.

03WSH-14.1.- Interruptor indicador peso tolva pesadora guarapo TV-302.

03WSH-14.2.- Interruptor indicador peso tolva pesadora guarapo TV-302.

03WI-14.- Indicador peso tolva pesadora guarapo TV-302.

03WE-13.- Celda de carga hidráulica tolva pesadora guarapo TV-301.

03WE-14.- Celda de carga hidráulica tolva pesadora guarapo TV-302.

03LE-15.- Electrodo de nivel tolva pesadora TV-301.

03LE-16.- Electrodo de nivel tolva pesadora TV-302.

03LSL-15.- Interruptor de nivel tolva pesadora TV-301.

03LSL-16.- Interruptor de nivel tolva pesadora TV-302.

03QR-13.- Registrador eventos tolva pesadora guarapo TV-301.

03QR-14.- Registrador eventos tolva pesadora guarapo TV-302.

03ZS-13.2.- Interruptor límite válvula control descarga guarapo tolva pesadora TV-301.

03ZS-14.2.- Interruptor límite válvula control descarga guarapo tolva pesadora TV-302.

na TV-302.

03LT-2.- Transmisor nivel tanque jugo pesado T-301.

03LV-2.1.- Relevador límite bajo control nivel tanque jugo pesado T-301.

03LV-2.2.- Relevador límite alto control nivel tanque jugo pesado T-301.

03LRC-2.- Controlador registrador nivel tanque jugo pesado T-301.

03LC-60.- Control nivel en tanque jugo alcalizado T-303.

03AV-5.- Actuador dosificador cal a tanque alcalizador T-302.

03ARC-5.- Controlador registrador pH jugo alcalizado.

03AI-5.- Indicador analizador de pH jugo alcalizado.

03AE-5.- Electrodo de pH jugo alcalizado.

03PI-11.-

03PI-11.- Indicadores de presión en calentadores.

03PI-11.-

03TI-6.-

03TI-8.- Indicadores de temperatura en calentadores

03TI-10.-

03PI-4.- Indicadores de presión de jugo alcalizado.

03PI-3.- Indicadores de presión de jugo prealcalizado.

03PI-1.- Indicadores de presión de lechada de cal.

**NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA DE TUBERIAS E  
INSTRUMENTACION DE PROCESO.  
ALCALIZACION Y CALENTAMIENTO**

JM	JUGO MEZCLADO
JMP	JUGO MEZCLADO PESADO
JPA	JUGO PREALCALIZADO
JF	JUGO FILTRADO
CO	CONDENSADO
JA	JUGO ALCALIZADO
JCA	JUGO ALCALIZADO CALIENTE
AF	AGUA FILTRADA
LC	LECHADA DE CAL
RF	RETORNO REFINERIA
SO	SOSA
VE	VAPOR DEL 2- EFECTO
VP	VAPOR 15 PSIG
VE:	VAPOR DE ESCAPE
D	DRENAJE QUIMICO



**AISLAMIENTO EN TUBERIAS**



**REDUCCION EN TUBERIAS**

# **DIMENSIONES**

**PULSADAS**

**CENTIMETROS**

**1.5**

**3.81**

**2**

**5.08**

**3**

**7.62**

**4**

**10.16**

**6**

**15.24**

**8**

**20.32**

**10**

**25.4**

**12**

**30.48**

**14**

**35.56**

**16**

**40.64**

**24**

**60.96**

**30**

**76.2**



INGENIO PRESIDENTE BENITO JUAREZ, S. A.

APARTADO POSTAL 148

CARDENAS. TAB.

SUPERINTENDENCIA GENERAL.

M/REF.:IBJ-SGF-617/75.

JULIO 2, 1975.

A QUIEN CORRESPONDA:

El Sr. Luis Jorge Hernández Pérez Pasante de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, colaboró con nosotros durante la Zafra de prueba de éste Ingenio en el periodo comprendido del 11 de Marzo al 14 de Junio de 1975, realizando un estudio en el área de Clarificación sobre CONTROL AUTOMATICO DEL P.H. EN LA DEFECACION Y CLARIFICACION DEL GUARAPO.

Dada la importancia que tiene este control para el proceso de la elaboración del azúcar, la colaboración del Sr. Hernández Pérez fué valiosa para la operación del área que mencionamos.

Durante su estancia con nosotros manifestó siempre gran interés, estudio y dedicación, por lo cual nos es grato extender la presente para los fines a que haya lugar.

AUTENTAMENTE

INGENIO PRESIDENTE "BENITO JUAREZ" S.A.

ING. MANUEL DEL VALLE PADILLA  
SUPTCIA. GENERAL DE FABRICA

C.c.p.- Archivo.

MVP:lt\*

LA CHONTALPA, H. CARDENAS, TABASCO



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- G.L. Spencer & G. P. Meade  
Cane Sugar Handbook  
John Wiley and Sons Inc.  
New York. 1969
- 2.- Emile Hugot  
Manual para Ingenieros Azucareros  
CECSA  
México 1964
- 3.- Pieter Honig  
Principios de Tecnología Azucarera  
CECSA  
1969
- 4.- Antonio Porta Arqued  
Fabricación de Azúcar  
Salvat Editores S.A.  
1955
- 5.- Noel Deern  
Cane Sugar  
Norman Rodger  
Inglaterra.
- 6.- L.A. Tromp  
Machinery and Equipement of the Cane Sugar Factory  
Norman Rodger  
Inglaterra
- 7.- Apuntes del Curso Industrial de Azúcar  
Alcohol I-II
- 8.- Folletos de ONISA
- 9.- Folletos y Catálogos de  
Leeds y Northrup Com.  
Naucalpan, Edo de México.
- 10.- Dr. Pablo Karrer.  
Tratado de Química Orgánica  
Ed. Nacional S. A.  
México 1946