

29  
7



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**"Estudio sobre los Diversos Procesos de  
Clarificación en Mieles Incristalizables  
de Caña "**

**TESIS  
RICARDO ARREDONDO LOPEZ**

**INGENIERO QUIMICO**

**1986.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE GENERAL

	Página.
Objetivo	1
Introducción	2
Capítulo 1. Generalidades	
1.1. Melazas	8
1.1.1. Definición	
1.1.2. Clasificación	
1.1.3. Teoría de formación	
1.1.4. Composición	
1.1.5. Características generales	
1.1.6. Utilización directa de las melazas	
1.1.7. Producción de alcohol	
1.2. Clarificación	22
1.2.1. Defecación	
1.2.2. Precipitación de coloides	
1.2.3. Procesos de defecación	
1.2.4. Sistemas de clarificación	
1.2.5. Importancia del pH en el control de la clarificación	
1.2.6. Naturaleza del precipitado	
1.2.7. Aditivos para ayudar a la clarificación	
1.2.8. Proceso de sulfitación	
1.2.9. Clarificación por distintos métodos	
1.3. Determinación de cenizas	30
1.3.1. Determinación de cenizas por medida de la conductividad eléctrica	
1.3.2. Aparatos usados en la determinación de cenizas	
1.3.3. Concentración de soluciones prueba	
Capítulo 2. Métodos analíticos	
2.1. Determinación de las características físicas y químicas de la melaza	35

2.1.1. Densidad	
2.1.2. Grados Brix	
2.1.3. Humedad	
2.1.4. Proteínas	
2.1.5. Cenizas	
2.1.6. Azúcares	
2.1.7. Viscosidad	
2.2. Determinación de cenizas (método conductimétrico)	43
2.3. Determinación de azúcares totales (método - del fenol-sulfúrico)	46
2.4. Métodos de clarificación utilizados	50
2.4.1. Adición de ácido sulfúrico	
2.4.2. Tratamiento con carbón activado	
2.4.3. Coprecipitación con sulfato de aluminio y amoníaco	
2.4.4. Defecación en tanques abiertos	
2.4.5. Sulfitación simple y alcalización	
2.4.6. Sulfitación después de la alcalización	
2.4.7. Carbonatación	
2.4.8. Super defecación Horne	
2.4.9. Procedimiento Honig	
Capítulo 3. Parte experimental y resultados	
3.1. Materiales y equipo	56
3.1.1. Materiales	
3.1.2. Equipo utilizado	
3.2. Determinación de las características físicas y químicas de la melaza	61
3.2.1. Densidad	
3.2.2. Grados Brix (% de sólidos totales)	
3.2.3. Humedad	
3.2.4. Proteína	
3.2.5. Cenizas	
3.2.6. Azúcares reductores y totales	
3.2.7. Viscosidad	

3.3. Aplicación de los métodos de clarificación	67
3.3.1. Secuencia de experimentos	
3.3.2. Comparación de los métodos de análisis (cenizas y azúcares)	
Capítulo 4. Micro-perfil técnico-económico del - proceso de adición de ácido sulfúrico	
4.1. Capacidad de la planta a instalar	80
4.2. Localización de la planta	82
4.3. Balance de materia y energía	82
4.3.1. Diagrama de flujo	
4.3.2. Balance de materia	
4.3.3. Balance de energía	
4.3.4. Balance general de materia y energía	
4.4. Estimación de la inversión total	107
4.4.1. Costo del equipo	
4.5. Estimación de los costos de operación	110
4.5.1. Costos directos	
4.5.2. Costos indirectos	
Conclusiones	113
Índice de tablas y gráficas	115
Índice de referencias	117
Bibliografía	126

**OBJETIVO**

1. El objetivo primordial en el cual queda enmarcado este trabajo es el de someter a un tratamiento previo a las melazas, con el fin de que puedan utilizarse en la fabricación de productos tales como los obtenidos en las industrias de fermentación. A fin de hacerlos más rentables.
2. Se propone comparar experimentalmente los métodos de clarificación que han sido empleados para seleccionar aquel que por sus atributos de sencillez y economía sea el más factible de escalar a nivel industrial en México.
3. Se presentará un micro-perfil técnico-económico; basado en el proceso de clarificación seleccionado que satisfaga los objetivos anteriores, a fin de ofrecer un panorama general sobre la rentabilidad del proceso.

## INTRODUCCION

La industria azucarera en México tiene una gran importancia, tanto por el volumen de producción como por la cantidad de mano de obra que emplea. Todo el azúcar se produce de la caña, actualmente se cultivan 465 mil hectáreas (tabla No. 1) en 16 diferentes distritos para producir materia prima para 68 ingenios. Hay 231 mil personas empleadas o que trabajan por su cuenta en el campo y 34 mil trabajan en los ingenios y en las oficinas para hacer un total de 285 mil (1).

Desde 1980 el consumo de azúcar ha aumentado más rápidamente que la producción, por lo que ya no se ha podido exportar más y México se ha convertido en importador. Se está tratando de bajar la tendencia del consumo doméstico y de aumentar la producción para poder abastecer la demanda interna y volver a exportar, para esto se han empezado a tomar las siguientes medidas: (2)

- Fortalecer el desarrollo del sector agrícola por medio de la mejor utilización de sus recursos.
- Utilizar en forma más completa la capacidad industrial de los ingenios teniendo un suministro adecuado de caña, en otros casos, la ampliación de la capacidad industrial.
- Aumentar la eficiencia de los ingenios reduciendo el tiempo muerto e incrementando la producción de las fábricas.
- Reducir el consumo de azúcar y usar otras fuentes de calorías.
- Aumentar la reserva de azúcar y sus productos derivados.

En la actualidad se exporta un promedio de 445 mil toneladas de melaza anuales (tabla No. 2) y se importan derivados de ésta como son: artículos de confitería, azúcares, jarabes melazas aromáticas, melazas decoloradas, levadura, así como otros muchos productos obtenidos por fermentaciones simples donde la melaza es la principal fuente de carbohidratos (3).

La caña de azúcar constituye una de las principales fuentes posibles para la producción de la proteína unicelular derivada de la fermentación del azúcar y demás subproductos.

En países con alta producción de caña de azúcar como Cuba y Taiwán se utiliza en la producción de Candida utilis para obtención de proteína unicelular y alimentación animal a partir de melazas sin tratar, debido a que éstas son de mejor calidad. El alcohol es producido por la fermentación de mieles cuando se emplea Sacharomyces cerevisiae en condiciones anaerobias, y aun cuando es factible producir proteína microbiana a partir de etanol, de ninguna manera se recomienda que se haga así, puesto que las mieles pueden utilizarse directamente para este propósito.

El jugo de caña es otro producto que puede ser fermentado antes de ser procesado, con lo que se evita el problema de clarificación, aunque no se tiene conocimiento de que se realice en alguna parte puesto que es más rentable producir azúcar (4).

Con las melazas tratadas se obtienen mayores rendimientos en los productos de fermentación (5, 6 y 7). Dentro de las industrias de fermentación que utilizan melazas se encuentran: antibióticos, alcohol, vinagre y ácido acético, butanol, acetona, ácido cítrico, glicerol y levadura. Y entre otros productos de menor consumo se tienen: dextrana, ácido aconítico, ácido itacónico y glutamato monosódico.

Hay muchos trabajos acerca de este tipo de purificación de melazas; pero sin embargo no hay comparación entre ellos - además de que no especifican la cantidad de sales eliminadas ni la de azúcares que permanecen. La clarificación es necesaria porque elimina sustancias interferentes como sales, gomas, lodos, etc., con lo que se aumentaría el rendimiento de los productos de fermentación. Siendo esta clarificación muy importante, puesto que muchos microorganismos inhiben su crecimiento en exceso de sales, gomas y lodos.

Este trabajo pretende utilizar los métodos de clarificación más accesibles y compararlos experimentalmente, calificando los resultados obtenidos bajo los parámetros de cantidad de cenizas y azúcares totales, antes y después del tratamiento. Se escogerán métodos rápidos y sencillos para estas dos -- cuantificaciones, ya que se espera un gran número de muestras y los métodos convencionales requieren mucho tiempo. Para asegurar su confiabilidad se confrontarán estos métodos.

Para complementar este estudio se realizarán los métodos - analíticos más utilizados para el control de la calidad de la miel final, que servirán para el mejor conocimiento de las características de la miel a tratar ( 8, 9 ).

TABLA No. 1

## Producción de caña de azúcar en México.

Año	Superficie (Ha)	Producción (Ton)	Valor (millones de pesos)
1973	501 963	32 712 714	2'606
1974	491 479	33 499 145	3'307
1975	497 691	35 040 570	4'158
1976	494 398	31 392 250	5'298
1977	463 547	37 899 078	6'322
1978	537 172	35 474 851	8'217
1979	534 464	35 729 606	9'704
1984	465 000	32 000 000	- - -
Promedio	498 214	34 218 527	- - -

Fuente: Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos.  
1973-1980 Secretaría de Programación y Presupuesto.  
Sugar y Azúcar, vol.79, No.3, pág.46.

TABLA No. 2

Exportación de mieles incristalizables de caña.

Año	Cantidad (Ton)	Valor (millones de pesos)
1973	416 198	100'6
1974	712 553	441'7
1975	498 685	380'6
1976	435 643	309'0
1977	555 163	401'0
1978	547 453	1,246'0
1979	590 230	55'0*
1980	384 848	39'0*
1981	89 177	6'8*
1982	223 706	10'2*
Promedio	445 365	--- -

\* Valor dado en millones de dólares.

Fuente: Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. 1973-1982 Secretaría de Programación y Presupuesto. Índice Arancelario - 17.03.A.01

**CAPITULO 1**

**GENERALIDADES**

## 1.1.- MELAZAS.

1.1.1. Definición de melaza. (10) (alternativa del término melazas finales o melazas negras) puede ser de finida como el efluente final en la preparación de azúcar por repetidas cristalizaciones; esto es el jarabe residual del cual la sacarosa no cristaliza puede ser obtenida por medios sencillos. La palabra es derivada del latín "miel" y tras la posible evolución del idioma español se denominó "MELAZA". En este trabajo la palabra melaza estará refiriendo a la miel final de la caña de azúcar, formada durante la producción de azúcar natural de caña. Dentro de otras definiciones basadas en su formación y composición tenemos: (11)

- a) Una combinación hidratada de sacarosa y ciertas sales, la que no puede ser descompuesta por disociación en un estado muy concentrado, y por lo tanto no puede ceder más sacarosa en forma de cristales.
- b) Una combinación hidratada de consistencia líquido-siruposa de sacarosa y sales.
- c) Un compuesto siruposo de sacarosa, glucosa y fructosa en diferentes proporciones, en combinación con sales orgánicas e inorgánicas, tales compuestos están parcialmente desprovistos de hidratación. Teniendo en suspensión materias gomosas y nitrogenadas, sílice, fierro y fosfato de calcio y otros compuestos similares.

1.1.2. Clasificación. Existen diversas clasificaciones - que se basan en los azúcares totales y la humedad así se tienen:

- a) Melazas superiores. Las que contengan menos de 23.4% de humedad y 53.4% o más de azúcares totales.
- b) Melazas. Las que contengan de 23.5 a 26.4% de agua y de 48.5 a 53.4% de azúcares totales.
- c) Melazas utilizables. (aceptables para uso general) las que contengan 26.5% o más de agua y - de 42.5 a 48.4% de azúcares totales.

Otra clasificación sugiere que el grado Brix sea el único criterio y recomienda que se determinen tres categorías de melazas de caña:

- a) Melaza. Ha de ser el producto de la refinación o fabricación del azúcar de caña, y ha de tener 42.5 °Brix después de su disolución con una parte igual de agua (es decir 85 °Brix es igual 44.9 °Baumé).
- b) Melaza de caña para alimentación de ganado. Diluida con agua hasta que indique no menos de - 39.75 °Brix por el método de doble dilución - (norma de la AAFCO, excepto que no se especifican azúcares totales).
- c) Melaza de alta calidad. (jarabe invertido). El producto que se obtiene por la concentración - de guarapo clarificado a un Brix aproximado de 85°, seguida de su inversión con ácido o invertasa. Brix por doble dilución, no menos de 40 °Brix o 42.5 °Baumé.

Aunque esta clasificación tiene el mérito de la sencillez, parece aconsejable la especificación de algún contenido de azúcares fácil de cumplir (por ejemplo 48% como en la definición de la AAFCO). Así el comprador podrá especificar un Brix superior al mínimo de 79.5° si lo desea, pero es deseable que haya alguna especificación uniforme mínima y garantizada tanto del Brix como del contenido total de azúcares.

- 1.1.3. Teoría de formación de la melaza. Teoría Química (12). Esta se basa en la solubilidad de la sacarosa y del aumento de ésta en presencia de ciertas sales, las que reciben el nombre de cuerpos melafgenos, cuerpos que poseen la propiedad de aumentar la solubilidad de la sacarosa. "Todas las sales tanto orgánicas como inorgánicas, se combinan con la sacarosa para formar cuerpos hidratados, teniendo cada uno de estos cuerpos su propia solubilidad".

Se hicieron varias pruebas para demostrar lo dicho anteriormente. Gunning, formó melazas artificiales por medio de mezclas de azúcar puro y soluciones de sales orgánicas alcalinas. Él encontró que las sales de potasio formaban con los jarabes azucarados, combinaciones las cuales no cristalizaban y dedujo de aquí la formación de sacarato de potasio. Geerligts determinó el efecto que causaba la presencia del acetato de potasio y sugiere que la glucosa forma con las sales orgánicas -

de potasio cuerpos siruposos muy solubles que absorben gran cantidad de agua. Como una regla general también encontró que la solubilidad del azúcar en la melaza es mayor en solución alcalina.

Para probar el estudio hecho con melazas naturales Geerligts elaboró una serie de melazas artificiales haciendo mezclas de azúcar, miel pura y diversas sales; como acetatos de potasio, carbonato de sodio y calcio, sales inorgánicas como cloruros, sulfatos y mezclas de sales inorgánicas y orgánicas. De estas experiencias el dedujo que la formación de las melazas se debe al hecho de que tanto el azúcar como la glucosa y aquellos productos de descomposición de la última, tienden a combinarse con las bases de las sales y por tal motivo, hasta cierto punto actúan como ácidos.

**Causas que favorecen la formación de las melazas:**  
(13)

- a) La presencia de no azúcares; los cuales para eliminarlos requieren de adición de agua para ser removidos por arrastre, llevando consigo residuos de azúcar.
- b) La formación de compuestos moleculares entre el azúcar y las sales orgánicas.
- c) Inversión causada por la influencia de ácidos como el fosfórico.
- d) Un exceso de cal actuando sobre la glucosa presente.

- e) Alta viscosidad de los jarabes resultantes.
- f) Una cristalización defectuosa.

1.1.4. Composición. (14,15) La melaza contiene la mayor parte de los no azúcares contenidos en el jugo, - del cual se obtiene además una parte de sacarosa y azúcares reductores; consecuentemente, su composición tiene que variar como lo hace la composición del guarapo, según la variedad y la madurez de la caña, la eficiencia de la molienda, la naturaleza del proceso utilizado para su clarificación y otros factores. En el proceso ocurren -- ciertos cambios, así que cualitativa y cuantitativamente los no azúcares de la melaza no son iguales a los del guarapo correspondiente. Los cambios ocasionados por la acción de la cal u otros álcalis calientes sobre los azúcares reductores, especialmente sobre la levulosa, son la fuente principal de los nuevos compuestos que forman la melaza. Así puede ocurrir que distintas muestras de mieles producidas en el mismo ingenio y durante la misma época tengan composiciones químicas diferentes. La tabla No. 3 nos muestra la composición promedio de la melaza; se observa que los azúcares totales -- constituyen el 70% del peso, aunque son los demás componentes y sus porcentajes los que hacen que de terminadas melazas resulten mejores materias primas que otras utilizadas para el crecimiento de le vaduras.

Tabla No. 3

## Análisis de Melaza de Caña de Azúcar

Componentes	% Mínimo	% Máximo	% Promedio
Humedad	16	23	19
Materia Seca	77	84	81
Azúcar Invertida			
Total como Glucosa	52	65	56
Nitrógeno Total	0.4	1.5	0.7
Cenizas	7	11	9
Fósforo	0.6	2.0	0.9
Calcio	0.1	1.1	0.5
Magnesio	0.03	0.1	0.07
Potasio	2.6	5.0	3.6

Fuente: Quintero Ramirez R. Ingeniería Bioquímica. Teoría y Aplicaciones. Ed. Alhambra Mexicana, 1a. Ed. 1981 pag. 177.

Como se dijo anteriormente la composición de las melazas puede variar también con límites amplios y esto dificulta poder hablar acerca del promedio de los valores. Datos más generales se encuentran en las tablas números 4 y 5 y podrán ser consideradas sólo como indicativo de valores ya que son fundados en campos productores de caña en los Estados Unidos, derivados de material publicado y comunicaciones personales.

TABLA No. 4

Composición de las melazas.

Componentes	Rango Usual	Promedio indicativo expresado en % de melazas.
Agua	17-25	20
Sacarosa	30-40	35
Dextrosa (glucosa)	4-9	7
Levulosa (fructosa)	5-12	9
Otras sustancias reductoras	1-5	3
Otros carbohidratos	2-5	4
Cenizas (carbonatadas)	7-15	12
Compuestos nitrogenados	2-6	4.5
Acidos no nitrogenados	2-8	5
Ceras, esteroides y fosfolípidos	0.1	0.4
Pigmentos	-	-
Vitaminas	-	-

Fuente: Paturau J. Maurice. By Products of the Cane Sugar Industry. pág. 142 Elsevier Publishing Company 1969.

TABLA No. 5

## Composición de las melazas

Componentes	Contenido	
<b>OTROS CARBOHIDRATOS</b>	Promedio indicativo ex presado en % de melazas.	
Gomas solubles		
Xilosa, arabinosa, etc.	0.72	
Almidón		
i-inositol.	0.20	
Fitina	0.18	
D-manitol	0.50	
Acido urónico	1.80	
Metoxil	0.60	
<b>CENIZAS (carbonatadas)</b>	Promedio indicativo ex presado en % de melazas.	Rango en % de cenizas.
Bases: K <sub>2</sub> O	4.80	30-50
CaO	1.20	7-15
MgO	0.98	2-14
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.3-9.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.4-2.5
Acidos: SO <sub>3</sub>	1.80	7-27
Cl <sub>3</sub>	1.80	12-20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.6	1-10
SiO <sub>2</sub>	0.6	1-7
<b>ACIDOS NITROGENADOS</b>	Rango en % de melazas.	
Proteína cruda	2.5-4.5	
Aminoácidos	0.3-0.5	
24 ácidos presentes de los cuales:	Ug por g de melazas.	
Alanina	0.20-0.22	
γ-Aminobutírico	0.60-0.80	
Acido aspártico	0.90-1.65	
Acido glutámico	1.02-1.04	
Glicina	0.06-0.07	
Leucina	0.03-0.05	
Licina	0.05-0.07	
Serina	0.39-0.80	
Treonina	0.30-0.90	
Valina	0.11-0.20	

TABLA No. 5  
(Continuación).

Composición de las melazas.

Componentes	Contenido
<b>Acidos nucléicos básicos:</b>	
Guanina	
Hipoxantina	
5-Metilcitosina	
Xantina	
<b>ACIDOS NO NITROGENADOS</b>	<b>Rango en % de melazas.</b>
Aconfrico	1-6
Cítrico	
Málico	
Mesacónico	1-2.5
Succínico	
etc.	
<b>CERAS, ESTEROLES, etc.</b>	
1-Tricontanol	
Fitosterol	
Stigmasterol	
<b>PIGMENTOS</b>	
Clorofila	
Taninos	
Antocianinas	
<b>VITAMINAS</b>	<b>Ug por g de melazas.</b>
Biotina (H)	1-3
Colina (B <sub>5</sub> )	880
Acido fólico (complejo B)	0.3-0.4
Niacina (complejo B)	17-30
Acido pantoténico (complejo B)	20-60
Riboflavina (B <sub>2</sub> )	2-3
Piridoxina (B <sub>6</sub> )	1-7
Tiamina (B <sub>1</sub> )	0.6-1.0

Fuente: Paturau J. Maurice. By Products of the Cane Sugar Ind. Elsevier Publishing Company. 1969.

**Análisis Típico.** No se puede formular un análisis típico, pero ciertas cifras generales resultarán interesantes.

- a) Las melazas que salen de las centrifugas serán de 85 a 92 °Brix o sea aproximadamente de 77 a 84% de sólidos por desecación.
- b) La sacarosa variará entre 25 y 40% y los azúcares reductores entre 35 y 12%, y la suma de los dos (azúcares totales) será de 50% o más. Las cañas inmaduras tales como las que se encuentran en países subtropicales, como el nuestro suelen rendir melazas con menos sacarosa y más azúcares reductores que las cañas plenamente desarrolladas en los trópicos.
- c) No azúcares orgánicos. El nitrógeno total que contienen las melazas llega desde 0.4 hasta 1.5% y de esta cifra frecuentemente se calcula la proteína cruda como  $N \times 6.3$ , es decir del 2.5 al 9% aproximadamente. La proteína digerible puede ser la mitad o menos de la cruda y este punto es importante en la melaza que se usa para la alimentación.

**1.1.5. Características generales.** La melaza, jarabe de purga o jarabe incristalizable es el subproducto o producto final de la fabricación o refinación del azúcar crudo. El líquido denso y viscoso que se separa de la masa cocida final de baja calidad y del cual no se puede cristalizar más azúcar por los métodos usuales. Se suele decir que es incombustible porque no se usa para consumo humano, pero la melaza se puede comer sin resultados perjudiciales; siempre y cuando no contenga demasiada concentración de sales. Para fines comerciales, -

la melaza no obedece a la definición que citamos anteriormente, ya que tal como sale de la centrifuga es demasiado densa y viscosa para ser manejada por bombeo, especialmente en tiempo de frío. - El procedimiento comercial utilizado consiste en la dilución de la melaza densa de los ingenios - hasta que alcance un Brix estándar (o Baumé, ya que esa escala es la que se sigue usando en el comercio de la melaza). La densidad relativa de las melazas varía entre 1.39 y 1.49 con 1.43 como un promedio indicativo; la viscosidad es también muy variable y podrá marcar cambios con diferentes temperaturas y concentraciones (Brix). La influencia de temperatura se indica por la ecuación de Frenkel:

$$\log N = \log A + \frac{B}{T}$$

Donde N es igual a viscosidad dinámica, T igual a temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{C} + 273$ ), A y B son constantes. La influencia de concentración puede ser aproximadamente indicada por la ecuación de Kaganoff's:

$$\log N = \log C + D \frac{b}{100-b}$$

Donde b es igual a Brix de la solución, C y D son constantes. La viscosidad es generalmente dada en centipoises a  $20^{\circ}\text{C}$  a dilución de 50 °Brix. La densidad relativa es alrededor de 1.43 y el valor de pH alrededor de 6.0 (16).

### 1.1.6. Utilización directa de las melazas. (17)

- a) Melazas como fertilizante. La práctica de -- aplicar melazas en los suelos cañeros como -- fertilizante data del año 1850, al final del siglo XIX; muchos países tropicales productores de caña de azúcar reemplazaron lentamente a los animales de trabajo por el transporte mecánico, lo que ocasionó un déficit de estiércol para las cosechas y como el fertilizante inorgánico no era obtenible a un precio y cantidad razonable, se emplearon a las melazas como fertilizante orgánico, las cuales -- eran un incómodo sobrante en los ingenios, -- donde la producción de ron era limitada.

Como convenía más y más el conocimiento acerca de la utilización racional de fertilizantes inorgánicos, el uso de las melazas en los campos cañeros decreció y estuvo en la probabilidad de desaparecer por no tener firmemente -- arraigada la creencia de que la materia orgánica por sí sola tendría un valor definitivo en el mejoramiento y mayor rendimiento de las cosechas.

b) Melazas para consumo animal. La Asociación Norteamericana de Funcionarios de Control de la Alimentación (AAFCO) define la melaza de caña para alimentación de ganado, como "Subproducto" de la fabricación de azúcar de caña, y deberá contener el 48% o más de su total de azúcares en forma de azúcar invertido. Su solución en un peso igual de agua deberá indicar no menos de 39.75 °Brix (igual a 42 °Baumé y a 80 °F). Esta cifra del contenido total de azúcares se suele expresar frecuentemente y erróneamente como la sacarosa más los azúcares reductores, la expresión correcta es: sacarosa dividida entre 0.95 más azúcares reductores; o sea que se pueden determinar directamente los azúcares totales como total de azúcar invertido después de la inversión.

1.1.7. Producción de alcohol. (18) A causa de su alto contenido de azúcar, las melazas de alta prueba son muy usadas en los Estados Unidos, en Japón y en Rusia para la producción de alcohol. Para facilitar el manejo de la melaza se diluye a bajo de 79.5 °Brix; así también sabemos que las melazas de caña o mieles incristalizables poseen alrededor del 56% de azúcares fermentables.

La composición de la melaza de alta prueba, según parece, contiene como sus principales constituyentes: (tabla No. 6)

Tabla No. 6

## Melaza de Alta Prueba

Componentes	Porcentaje
Agua	14%
Sustancias secas	86%
Total de azúcar como azúcar invertido	77%
Total de Nitrógeno	0.15%
Cenizas totales	2.5%

Fuente: Paturau J. Maurice. By Products of the Cane Sugar  
Ind. Elsevier Publishing Company 1969 pág. 134.

## 1.2.- CLARIFICACION.

1.2.1. Defecación. (19) Es el proceso costeable, por medio del cual se obtiene un jugo claro brillante, debido a la acción combinada del calor y determinadas sustancias; del asentamiento de impurezas y decantación de ellas. Por la anterior definición podemos deducir que se trata de precipitar y asentar con facilidad, cenizas, gomas y demás coloides usando una sustancia que provoque una precipitación rápida. Las condiciones para una buena defecación son las siguientes:

- a) Eliminación máxima de los no azúcares
- b) Pérdida máxima por inversiones
- c) Sedimentación rápida de las impurezas
- d) Gran claridad del jugo filtrado
- e) La precipitación de coloides lo más completa posible.

1.2.2. Precipitación de coloides. (20) La floculación y coagulación de los coloides se lleva a cabo por diversos métodos.

Físicos: electricidad, calor y adsorción.

Químicos: ácidos, bases, sales, por la acción de otro coloide y por envejecimiento.

En una solución coloidal todas las partículas que la forman tienden a adquirir iones positivos o negativos obteniendo una carga eléctrica, por lo que todas las partículas se repelerán unas a otras evitando la precipitación de la materia coloidal.

Las cargas de los coloides presentes en el jugo de caña se neutralizan cambiando el pH, ya sea agregando cal o ácido. La forma de defecar debe ser tal, que el pH vaya tocando todos los puntos isoeléctricos y dando tiempo para que floculen los coloides. Según Noel Deer, la sedimentación que se origina se semeja a la ley de Stokes, o sea la caída de las partículas a través de un medio resistente; lo cual se rige por la siguiente fórmula:

$$v = \frac{2 (d-d') r^2 g}{9 u}$$

Siendo: v velocidad de la partícula, d densidad de la partícula, d' densidad del medio a través del cual cae la partícula, r radio de la partícula, g aceleración debida a la fuerza de la gravedad, u viscosidad del medio.

- 1.2.3. Proceso de defecación. (21) La clarificación por calentamiento y encalado, conocido como el simple proceso de defecación, es el más viejo y en muchos casos el más efectivo medio de purificar el jugo. El método de procedimientos varía ampliamente en diferentes localidades y con distintas condiciones. En general suficiente cal (óxido de calcio) es añadida para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el jugo, después del cual la temperatura es elevada aproximadamente a 93 °C. Este tratamiento de óxido de cal y calentamiento forma un precipitado pesado de composición compleja, el cual contiene óxido de calcio in-

soluble, albúmina coagulada y proporciones variadas de grasa, cera y gomas. El floculo precipitado es separado por decantación y/o mecánicamente. Payne, cuestionó el efecto sobre la clarificación de subsecuentes operaciones de fábrica, opinando lo siguiente:

"No han sido definitivamente establecidos en los ingenios los efectos ocasionados por la temperatura y tiempo de calentamiento en la clarificación".

Observando también que un exceso de cal en los jugos causan una mala clarificación.

- 1.2.4. Sistemas de clarificación. (22) El proceso de clarificación, usando calor y óxido de calcio fue más o menos uniforme a través del mundo, pero han existido muchas modificaciones, no solamente a causa de la necesidad de tratar en especial jugos de cierta variedad de caña. La dificultad de clarificar ciertos jugos ha sido el tema de muchas publicaciones. Este intenso estudio de clarificación dio como resultado un mayor conocimiento de los fundamentos teóricos involucrados, así como las dificultades prácticas. Los pasos y variaciones de proceso en cada uno de ellos son:
- a) Método de adición de óxido de calcio: como lechadas en lotes o continuamente como sacarato.
  - b) Regulando cantidad de óxido de calcio: pruebas periódicas, mediciones continuas de pH, adición automática a través del control de pH.
  - c) Tiempo de adición de óxido de calcio: antes y después del calentamiento, en forma fraccionada.

- d) Temperatura: ebullición, sobrecalentamiento, calentamiento en dos estados.
- e) Tratamiento de jugos de diferentes molinos: clarificación simple, compuesta y separada.
- f) Método de asentamiento: abierto, cerrado, continuo.
- g) Tratamiento de natas: filtración simple, doble filtración (reingreso a molinos), redefecación separada o con jugos delgados, como en las clarificaciones compuestas.

La adición de la cantidad correcta de cal es la base de la buena clarificación. Pequeñas cantidades de cal darán poco asentamiento y jugo oscuro con posibles pérdidas por inversión. También mucha cantidad de cal causa obscurecimiento e incrementa las sustancias gomosas, cenizas (sales de cal disueltas).

- 1.2.5. Importancia del pH en el control de la clarificación. (23) La introducción del control del pH es uno de los avances mayores en la exacta clarificación práctica. Honig, fue recopilando trabajos relacionados a esto y deduce que no es posible dar una regla general que represente el óptimo de las cantidades de los no azúcares. Marches, dice que el criterio usado por tecnólogos de azúcar para conocer los resultados de clarificación son: - rápido asentamiento del precipitado, jugo claro y colorido, libre de turbidez y en máxima concentración del asentamiento de lodos. Siguiendo este criterio, los mejores resultados se obtuvieron a un pH alrededor de 7, pudiendo variar con la localización de la fábrica, variedad y madurez de la

caña, capacidad del equipo y otras condiciones locales. Antes de aparecer los métodos conductimétricos para regular el control de la clarificación, se usaban métodos colorimétricos. Los desarrollos del control de pH en la clarificación fueron transformándose, inicialmente se determinaba periódicamente el pH del jugo clarificado, después se hacían corridas continuas graficándose en instrumentos y finalmente se cuenta con equipo automático que adiciona la cantidad de cal necesaria. Davies, da las consideraciones prácticas para el control electrométrico de pH, Payne discute la teoría y práctica de mediciones electrométricas de pH y Later el control automático de pH para clarificación de jugo de caña.

- 1.2.6. Naturaleza del precipitado. (24) El precipitado que se forma en jugo de caña con la acción combinada de cal y calor es principalmente fosfato tricalcico el cual absorbe otros no azúcares precipitándolos por la acción del calentamiento y de la cal. La cantidad del precipitado depende de la madurez y del tiempo de utilización de la caña desde el corte, de la clarificación producida y el pH. El contenido de fosfatos en el jugo es un factor muy importante en la eficiente clarificación. Payne recopiló publicaciones concernientes e indican que de 80 a 90% de fosfatos solubles son removidos por precipitación con cal a pH cercano a 8.

1.2.7. Aditivos para ayudar a la clarificación. (25) El ciclo del fosfato. En Cuba durante largo tiempo - de fabricación se ha utilizado superfosfato triple (48%  $P_2O_5$ ). En solución es adicionado a cada tanque de jugo, 30 partes de  $P_2O_5$  por 100 mil partes de jugo no tratado. Schmidt, establece que el fosfato es el aditivo más importante y más ampliamente usado en el mundo. Bentonita y ocasionalmente otras arcillas han sido utilizadas en muy poca escala para la clarificación.

Polielectrolitos. Un número de polímeros sintéticos solubles en agua con nombres como: Lytron, - Krilium, Separán, Separán AP-30, Lytron X-886, - han venido utilizándose también, pero no ha sido general. Muchos de estos aditivos han sido patentados, como lo es un especial óxido de magnesio - bajo el nombre de Elguanite.

Schmidt recomienda el uso de formaldehído (0.5 a - 1.0 ml por litro de jugo frío), como efectivo en el incremento del tamaño de los flóculos.

Bennet, muestra que en una simple defecación, donde el fosfato de calcio precipita primero, seguido por la coagulación de proteína por calor, el formaldehído incrementa la floculación en la presencia de proteínas, en el exterior de las capas de partículas del flóculo, esto se debe a la reacción con proteínas del grupo amino.

**1.2.8. Proceso de sulfitación. (26)** Los procesos de sulfitación están sujetos a modificaciones como la simple defecación. Las variaciones pueden ser las siguientes:

- a) Modificaciones en la secuencia de adición de encalado y sulfitación. Encalado primero, sulfitando primero, adición simultánea de cal y gas, procedimientos fraccionales.
- b) Modificaciones de temperatura. Sulfitando en frío o en caliente, etapas de calentamiento.
- c) Adición de reactivos intermitentes, continuos, manual o control automático.

**1.2.9. Clarificación por distintos métodos.** Todos los estudios y variables vistos anteriormente permiten hacer una serie de combinaciones, los más comunes son los siguientes:

- a) Defecación y clarificación en tanques abiertos
- b) Sulfitación simple y alcalización
- c) Sulfitación después de la alcalización
- d) Proceso de sulfitación intermitente
- e) Doble encalado y doble sulfitado
- f) Procedimiento Petree
- g) Super defecación Horne
- h) Procesos de carbonatación
- i) Intercambio iónico

Todos estos métodos son los utilizados en los diferentes ingenios en mayor o menor proporción para la clarificación de jugos de caña en la producción de azúcar. También se utilizan aunque con menor importancia para las melazas. Existe un gran

número de nuevos estudios para este propósito, pero su uso no ha sido extensivo y sólo se utilizan para pequeñas cantidades de melaza cuyo fin es específico, dentro de éstos se tienen:

- a) Desmineralización de melazas por electrodiálisis (27)
- b) Método de desmineralización, descalcificación y clarificación de líquidos y flujos (melazas) basado en la energía de radio frecuencia (28)
- c) Tratamiento de melazas en un cambiador de calor (29)
- d) Agentes floculantes para melazas (ácido tánico y quitosano) (30)
- e) Adición de ácido sulfúrico (31)
- f) Efecto de las variables de los procesos de defecación sobre el volumen de lodos formados - (32)

### 1.3.- DETERMINACION DE CENIZAS.

Puesto que la eliminación de cenizas es uno de los objetivos principales de este estudio, se hablará más - acerca de la cuantificación de éstas.

Existen varios conceptos para definir la ceniza en - los productos de azúcar, uno de ellos es el dado por la Sociedad Internacional de Tecnólogos de azúcar -- de caña (ISSCT) y dice: "La ceniza es el residuo que permanece después de la calcinación". La palabra refinado se refiere a la ausencia de determinado porcentaje de materia orgánica e inorgánica en el compuesto - sacarosa que se conoce comercialmente con el nombre - genérico de azúcar. La cantidad de ceniza, tiene gran importancia en los ingenios pues nos dá un índice de la refinación pudiendo indicar si los procedimientos empleados para la refinación están dando buenos resultados.

En algunas fábricas se usan métodos para determinar - si el azúcar u otras materias se destruyen o se des- componen y separan, basados en cálculos sobre la relación sacarosa-ceniza. (33) Dentro de los métodos más importantes para la determinación de cenizas en México se encuentran:

- a) Método de ceniza sulfatada (método I, método II de la Association of Official Agricultural Chemist - A.O.A.C.)
- b) Método modificado de ceniza sulfatada (Laboratorio de Control de la Unión Nacional de Productores de Azúcar, S.A. - UNPASA)
- c) Método de ceniza carbonatada
- d) Método conductimétrico

En la industria remolachera de Europa están ya en uso los métodos de determinación de cenizas basados en este principio, y aceptados en Checoslovaquia y Alemania como los métodos oficiales para la determinación de cenizas en azúcares crudos en remolacha. El uso de determinaciones conductimétricas en productos de caña - ha sido objeto de investigaciones principalmente en los Estados Unidos (Zerban y Sattler) y en Java. Más recientemente la Comisión Internacional para Uniformar Métodos de Análisis de Azúcar (ICUMSA), muestra gran interés y reporta sobre el tema (1949-1958).

- 1.3.1. Determinación de cenizas por medida de la conductividad eléctrica. Las determinaciones químicas - de las cenizas requieren un gran cuidado y consideran tiempo y combustible, de tal manera que un gran número de pruebas de rutina quedan fuera del alcance del laboratorio ordinario.

Como un método ordinario Reichert propuso en 1829, usar la conductividad eléctrica como una medida indirecta del contenido de cenizas, pero hasta 1925 Toedt diseñó un aparato simple y este método adquirió gran importancia. En la práctica la resistividad, la cual es recíproca de la conductividad, se mide generalmente por el método de Kohlrausch en el cual están basados los aparatos que sirven para determinaciones conductimétricas.

La dificultad principal para medir la resistencia de una solución, era que si la medida se hacía en la misma forma que para un conductor metálico - usando corriente continua, se producía electrólisis por liberación de gases que provocan el establecimiento en la solución de una fuerza electromotriz que enmascara completamente la resistencia.

debida a la solución sola. Esta dificultad fue subsanada por Kohlraush el cual usó una corriente alterna de un carrete de inducción conjuntamente con el puente de Wheastone para medir la resistencia. (34,35)

- 1.3.2. Aparatos usados en la determinación de cenizas. (36) Los pasos para el ensamblamiento de celdas y puentes se encuentran en los trabajos de Zerbán y Sattler y una amplia recopilación en Bull-C440(1942) pag. 265-268.

Se han desarrollado recopilaciones de diseños sobre trabajos de azúcar, pero los puentes de cenizas para azúcar de Leeds y Northrup, generalmente citados solo en libros, no han tenido gran utilidad. However, Leeds y Northrup relacionaron los puentes de conductividad con la celda de conductividad obteniendo buenos resultados. En la actualidad los fabricantes satisfacen completamente las necesidades de estos equipos proporcionando las orientaciones e indicaciones para medir la conductividad de azúcares.

En la determinación de la constante de la celda, la resistencia del selector, se iguala a la resistencia teórica calculada de la solución estándar del cloruro de potasio (0.02 N ó 0.01 N), el selector de temperatura compensadora se gira hasta la temperatura correspondiente que marca el termómetro, moviendo el interruptor, se hace pasar la corriente (es esencial corriente alterna) y el -

selector de la constante de la celda se ajusta - hasta que el sistema está en equilibrio como se - mostrará en el galvanómetro. Los valores así encontrados corresponderán a la constante de la cel da y con el selector en la misma posición. El ins trumento indica la conductividad expresada en -- mhos. (37,38)

- 1.3.3. Concentración de soluciones para prueba. (39) No existe concordancia para el óptimo de concentración en el cual la prueba deberá correr. Powers indica 28 °Brix para toda clase de materiales y - estados de la refinería de Thames, Londres. Esta concentración se ha usado en toda clase de produc tos de caña durante algunos años, con ecuaciones que dan gráficas logarítmicas cuya ecuación es:  $y = mx^n$ ; donde y = al por ciento de cenizas sulfa tadas; x = a resistencia en ohms absolutos; m y n son constantes que varían con los azúcares no ionizables presentes.

Australia estipula 0.05 g/ml de azúcar y 0.005 - g/ml de melaza con productos intermedios en prepa ración. Hawai usa 0.05 g/ml de azúcar o melazas - de 28°Brix, corrigiendo los valores de unidad de - resistencia por 73% de la conductividad del agua destilada usada. Existen tablas que suministran - datos relacionados con la conductancia, cenizas - sulfatadas y cenizas carbonatadas.

CAPITULO 2

METODOS ANALITICOS

## 2.1.- DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LAS MELAZAS.

### 2.1.1. Densidad ( densidad relativa ). (40)

Pesar un matraz volumétrico de 100 ml, con cuello de aproximadamente 8 mm de diámetro interno, llenarlo con melaza hasta el inicio del cuello del matraz y volver a pesar. Para impedir que la melaza ensucie el cuello del matraz después de la marca de graduación, se puede utilizar un embudo de tallo largo, y el flujo de melaza puede ser parado por insercción de una varilla de vidrio de tamaño adecuado dentro del embudo.

Adicionar agua casi hasta la marca de graduación inclinando el matraz para evitar el mezclado con melazas. Dejarlo en reposo completo durante el mínimo de una hora o durante toda la noche para que las burbujas escapen; dejar el matraz a temperatura constante (baño de agua) preferiblemente a 20°C durante el escape de burbujas. Manteniendo esta temperatura, aforar, pesar y sustraer el peso del matraz a los pesos obtenidos de melaza, melaza más agua y agua. Para obtener la densidad se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{y}{x - (z-y)} \quad \text{densidad relativa de la melaza} \quad \frac{20^\circ}{20^\circ}$$

Donde:

x = peso del agua contenida en el matraz a 20°C

y = peso de la melaza contenida en el matraz a 20°C

z = peso de la melaza más agua en el matraz a 20°C

$z-y$  = peso del agua que ocupa los espacios libres en la melaza

$x-(z-y)$  = peso del agua si estuviera ocupando el espacio que ocupa la melaza.

También se puede deducir la densidad a partir de tablas donde la relacionan con los grados Brix o Baumé. Los datos obtenidos de este modo son muy similares a los experimentales.

### 2.1.2. Grados Brix (% de sólidos totales) (41)

- a) Lectura directa. Seleccionar el hidrómetro (sacárimetro, brixómetro) cuya escala sea la adecuada. Colocar la melaza en estudio dentro de una probeta o cilindro, cuyo diámetro interior sea mayor de 12 mm al diámetro del hidrómetro y tan profunda que éste no toque el fondo. Colocar la probeta en baño de agua hasta que la temperatura se estabilice a 20°C aproximadamente, después de esto se hace la medición.
- b) Doble dilución. Diluir la melaza al doble de su peso, seleccionar un hidrómetro a la mitad de la escala anterior y proseguir como en el inciso de arriba. Multiplicar el resultado por dos.

### 2.1.3. Humedad. (42, 43)

Poner a peso constante las cajitas de aluminio, - colocar de 1 a 5 g de muestra problema. Secar en

estufa de vacfo de 70 a 75 °C durante 4 a 6 horas. Enfriar en desecador y pesar, reportar la pérdida de peso como humedad.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

#### 2.1.4. Protefna. (44)

Colocar de 0.5 a 2.0 g de muestra en el matraz - Kjeldahl. Agregar de 1 a 2 g de mezcla reactiva de selenio (1 cucharadita), agregar perlas de ebullición; después añadir 25 ml de ácido sulfúrico concentrado. Poner a digerir en el aparato mínimo 2 horas a partir de que la solución esté verde - clara. Enfriar y agregar de 300 a 350 ml de agua destilada, adicionar de 100 a 120 ml de hidróxido de sodio al 4% (se pondrá de color azul) e inmediatamente después agregar de 3 a 4 granallas de zinc y unas gotas de antiespumante. Colocar el matraz en el aparato de destilación cuya boca se encuentra comunicada a un matraz erlenmeyer que contiene 50 ml de ácido bórico al 4% con unas gotitas de indicador Shiro-Tashiro. Destilar con precaución hasta obtener un volumen de 300 ml. Titular con ácido clorhídrico 0.1 N hasta que viere el indicador.

$$\% \text{ de Protefna} = \frac{\text{ml gastados} \times \text{Factor protefco}}{\text{peso muestra}}$$

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{\text{ml gastados} \times N \times 100}{\text{peso muestra}}$$

$Fp = N \times 6.25 \times 100 \times meq.$

$N =$  Normalidad del ácido clorhídrico

meq. = mili equivalente de nitrógeno

6.25 = Factor de conversión para mieles (45)

#### 2.1.5. Cenizas (método cenizas sulfatadas) (46)

Pesar en crisoles o cápsulas de porcelana de 1 a 2 g de muestra, adicionar ácido sulfúrico al 10% calentar suavemente sobre plancha hasta que la muestra esté medianamente carbonizada y terminar de carbonizar con flama de mechero hasta que no haya desprendimiento de humo (hacer esto utilizando una campana de extracción) y entonces meter las cenizas en horno cerca de 550 °C durante 6 horas aproximadamente; enfriar y adicionar un mililitro de ácido sulfúrico al 10%; evaporar sobre baño de vapor, secar en plancha y de nuevo ponerlo en el horno a 550 °C a peso constante (30 minutos). Expresar el resultado como por ciento de cenizas sulfatadas.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas}}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

#### 2.1.6. Azúcares (reductores y totales) (47 - 49)

Fundamento: el método es una modificación del procedimiento de Lane y Eynon y consiste en reducir la solución de Fehling, valorándola en su punto de ebullición con una solución de azúcares reductores de la miel, utilizando azul de metileno como indicador.

**Procedimiento:** azúcares directos. Pesar aproximadamente 10 g de muestra, transferirla a un matraz de 100 ml y aforar. Tomar una pequeña alícuota y filtrar; adicionar de 5 a 10 ml de una solución saturada de subacetato de plomo y observar si hay precipitación; si la hay, seguir agregándola hasta que ya no haya precipitado. Filtrar esta solución y lavar el precipitado sobre el matraz volumétrico para que no haya pérdida de muestra. Llenar hasta la marca, filtrar y adicionar cristales de oxalato de amonio hasta que no precipite, filtrar nuevamente.

**Titulación:** en un matraz erlenmeyer de 250 ml - colocar 5 ml de solución A de Fehling y 5 ml de solución B de Fehling, 50 ml de agua, perlas de vidrio y un volumen de solución problema próximo a los mililitros que se requieren para la titulación. Calentar dos minutos y adicionar 1 ml de azul de metileno, titular con la solución -- problema.

**Nota:** la titulación final no debe exceder de un minuto (total 3 minutos). (50,51)

El porcentaje de azúcares reductores está dado - por la ecuación:

$$\% \text{ Azúcares reductores} = \frac{\text{Aforo inicial} \times \text{factor} \times 100}{\text{peso muestra} \times \text{gasto}}$$

El factor se obtiene titulando con la solución patrón de azúcar invertido sobre las soluciones de Fehling y será igual al volumen gastado por la concentración de azúcar.

**Azúcares totales:** del filtrado final para azúcares reductores, tomar una alícuota de 25 ml en un matraz de 50 ml y adicionar 10 ml de ácido clorhídrico 6 N, colocarlo en un baño de agua a 75°C durante 30 a 60 minutos y enfriar, adicionar unas gotas de fenolftaleína, neutralizar con hidróxido de sodio (40%) y aforar con agua destilada.

**Titulación:** en un matraz erlenmeyer de 250 ml colocar solución A y B de Fehling (5 ml de cada una), más 50 ml de agua, perlas de vidrio y titular de la misma manera, aplicar la siguiente ecuación para encontrar el porcentaje de azúcares totales.

$$\% \text{ Azúcares totales} = \frac{A_i \times \text{factor} \times 2^\circ \text{ aforo} \times 100}{p_m \times \text{gasto} \times \text{alícuota}}$$

$A_i$  = Aforo inicial

$p_m$  = peso muestra

### 2.1.7. Viscosidad - (52-54)

**Fundamento:** la viscosidad es una de las propiedades reológicas de importancia que es necesario conocer para poder elaborar un diseño de proceso. - Se determinó la viscosidad de la melaza a diferentes temperaturas, utilizando para esto un viscosímetro de Ostwald.

**Calibración del viscosímetro:** la constante de calibración K, para cada viscosímetro se determina mediante aceites de viscosidad estándar y densidad conocida a 25 °C más - menos 1 °C dependien-

do del tamaño del capilar del viscosímetro. En este caso se tomó como líquido de referencia agua - destilada.

Procedimiento: Colocar el viscosímetro en un baño de agua a temperatura constante de 21 °C con 20 - ml de agua destilada y dejarlo durante 15 minutos para permitir que alcance la misma temperatura, - medir el tiempo que tarda el flujo en pasar entre las líneas de referencia. Hacer medidas por dupli- cado, estas deben chequear por más o menos 0.2 segundos. Si no se obtiene repetitividad es que el viscosímetro está sucio o hay un control inadecuado de temperatura, la constante del viscosímetro se calcula de la siguiente forma:

$$K = U / dt$$

U = viscosidad del agua en g/cm seg

d = densidad del agua en g/cm<sup>3</sup>

t = tiempo del fluido en segundos

Medición de la viscosidad del líquido en estudio: para conocer la viscosidad, tomamos los mismos - puntos considerados arriba; se introduce 20 ml de melaza en el viscosímetro y se toma el tiempo que tarda en pasar las líneas de referencia. La viscosidad del líquido se conoce aplicando la siguiente fórmula:

$$U_a = K \cdot t \cdot d ; U_c = k \cdot t$$

U<sub>a</sub> = viscosidad absoluta del líquido en estudio - en poises (g/cm-seg)

t = tiempo en segundos

d = densidad del líquido en  $\text{g/cm}^3$

K = constante del viscosímetro

$\nu_c$  = viscosidad cinemática del líquido en estudio  
en Stokes ( $\text{cm}^2/\text{seg}$ )

## 2.2.- DETERMINACION DE CENIZAS.

### Método Conductimétrico.

Fundamento: (55) La conductividad indica la concentración de sales ionizadas presentes en una solución impura de azúcar o de melazas. La determinación de cenizas por el método electrométrico se basa en el hecho de que el agua destilada es muy pobre conductor de la electricidad, ocurriendo lo mismo con soluciones de sacarosa altamente purificadas. Las impurezas minerales solubles y las sales orgánicas presentes en los azúcares se separan en las soluciones acuosas en partículas con carga eléctrica llamadas "iones" y puesto que la electricidad pasa por una solución con mayor o menor facilidad según la cantidad relativa de iones presentes, es posible estimar el tanto por ciento de la materia mineral o ceniza en una muestra de azúcar, determinando la conductividad de la solución. La resistencia es la inversa de la conductividad y actualmente es la resistencia la que se mide.

Los resultados obtenidos con aparatos de alta calidad son comparables en exactitud a los logrados por determinaciones de la ceniza sulfatada, efectuadas según las más exigentes condiciones de investigación, pudiendo terminarse en la décima parte del tiempo aproximadamente. (56)

Procedimiento: (57) determinar el porcentaje de sólidos ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) de la miel, pesar la cantidad necesaria de miel para tener aproximadamente un gramo de sólidos; con agua bidestilada transferirla a un matraz volumétrico de 100 ml y aforar con más agua bidestilada. Pasar esta solución a un vaso de precipitados que permita sumergir adecuadamente la celda de medición; introducir la celda y el termómetro, ajustar la temperatura a  $21^{\circ}\text{C}$  y posteriormente tomar las lecturas correspondientes.

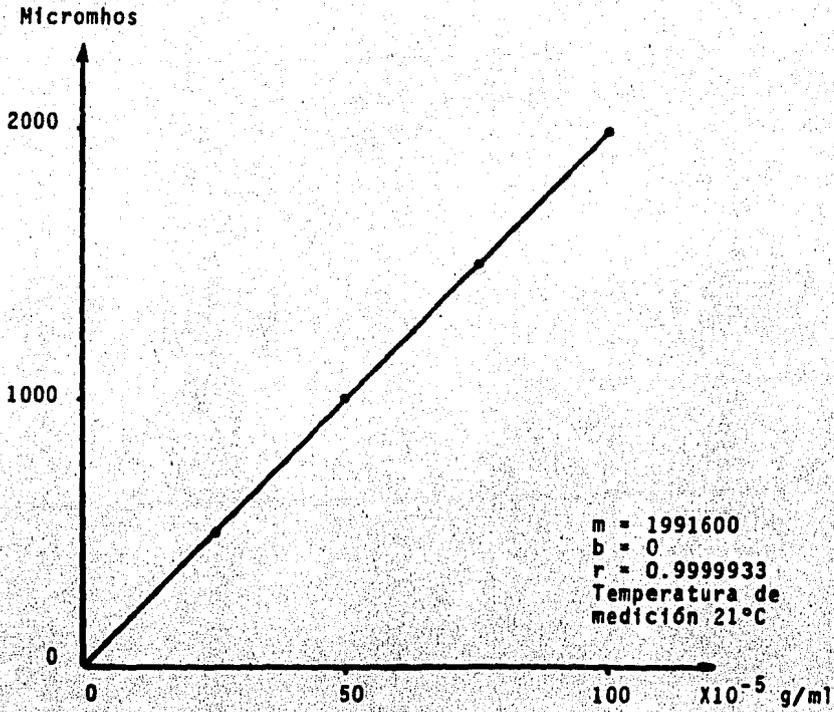
Cálculos: se preparan soluciones de cloruro de potasio a las concentraciones de  $10 \times 10^{-4}$ ;  $7.5 \times 10^{-4}$   $5 \times 10^{-4}$  y  $2.5 \times 10^{-4}$  g/ml. A estas soluciones se les determina la conductividad en micromhos y con estos datos elaboramos una curvatipo (gráfica No. 1) que nos podrá relacionar la conductividad con la concentración de las soluciones muestra. El contenido de cenizas estará dado por la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Cenizas en muestra} = \frac{\text{concentración} \times \text{aforo} \times 100}{\text{peso muestra}}$$

Esta determinación tiene gran importancia en miel final, considerándose la influencia que tienen las sales inorgánicas, las cuales en su gran mayoría tienden a aumentar la solubilidad de la sacarosa, reduciendo el rendimiento de la producción de azúcar en los ingenios.

## GRAFICA No. 1

Conductividad contra concentración de KCl.



### 2.3.- DETERMINACION DE AZUCARES TOTALES.

#### Método de Fenol-Sulfúrico. (58,59)

Fundamento: azúcares simples, oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados incluyendo los metil eter, - con grupos reductores libres o potencialmente libres dan un color amarillo-naranja cuando son tratados con fenol y ácido sulfúrico concentrado. La reacción fenol-ácido sulfúrico ha sido utilizada para desarrollar un método para determinar submicrocantidades de azúcar y sustancias relativas. (En conjunción con papel partición de cromatografía el método es usado totalmente para la determinación de la composición de polisacáridos y sus metil derivados) el método es simple, rápido y sensitivo, dando resultados reproducibles.

La intensidad del color es una función de la cantidad de fenol añadida por lo que es necesario poner especial atención al control de las condiciones. Todos los métodos comunes de carbohidratos totales son colorimétricos y derivan de la bien conocida prueba de Molisch para carbohidratos; ellos involucran calentamiento del material con ácido sulfúrico a concentraciones altas (20 N o más), y con un color desarrollado - el cual es usualmente debido a una amina aromática o fenol. Las reacciones ocurridas son:

- a) Hidrólisis de los polisacáridos a los monosacáridos
- b) Deshidratación y reacomodo posterior de los monosacáridos a la forma furfural de pentosas o hidroximetil-furfural de hexosas.
- c) Reacción del furfural o hidroximetil-furfural con el color desarrollado a formar un compuesto colorido, el cual es medible por absorción, muchos me

todos (revisados por Dische, 1955 a 1962), difieren en detalles como la concentración de ácido sulfúrico; - tiempo de calentamiento y temperatura; y naturaleza - del color desarrollado por el reactivo; ejemplos del - último son: indol, orcinol, carbazol, cistefna, tripto fano, naftol, antrona y fenol.

Cualitativamente, todos estos reactivos son aproximada mente similares; todos ellos dan color de reacción con pentosas, hexosas, heptosas y algunos de sus derivados fosforilados, pero no reaccionan con triosas o tetro- sas, por lo que no pueden formar derivados furfurales, o con amino azúcares. Sin embargo cuantitativamente - ellos difieren considerablemente en el rango del color de reacción dado por diferentes clases de azúcar y dos de estos reactivos han sido establecidos particularmen te para uso completo:

- a) El reactivo de antrona, el cual da una reacción re- lativamente débil con pentosas y heptosas; y una re- acción muy fuerte con hexosas.
- b) El reactivo de fenol, el cual da aproximadamente - las mismas reacciones con todos los azúcares.

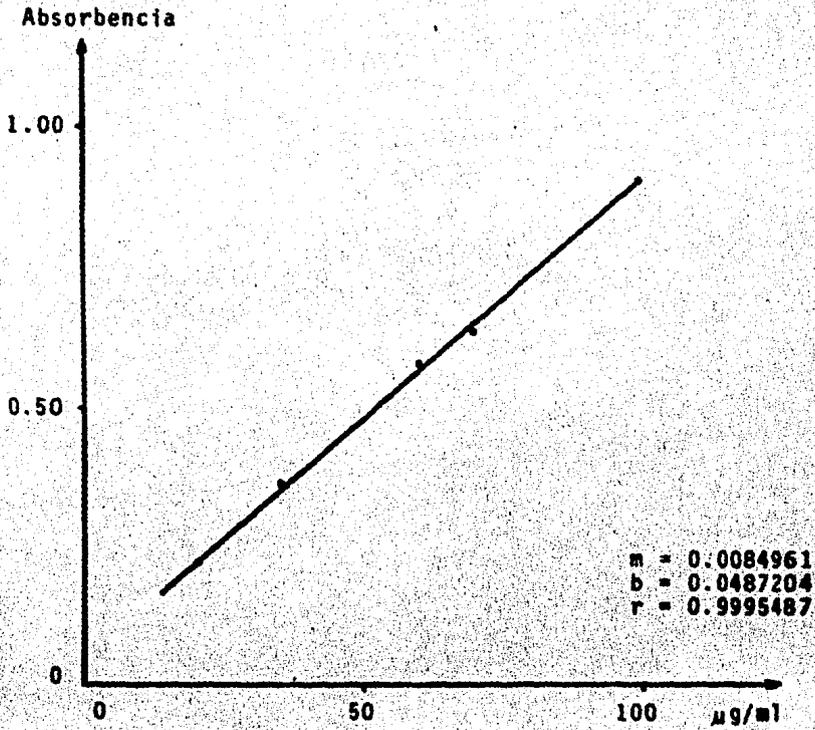
Este procedimiento es comparativamente reciente, y así fué estudiado completamente por sus originarios (Dubois et. al. 1956) poco después han sido propuestas poste- riores modificaciones. No obstante esto fué desarrolla do originalmente para los análisis de azúcares puros - utilizando papel para cromatografía; los presentes es- critos siendo establecidos pueden también ser aplica- dos a el análisis de toda célula microbológica. Ambos reactivos y métodos tienen la ventaja de una gran sim- plicidad.

**Procedimiento:** en tubos de ensayo con pared delgada y de 16 a 20 mm de diámetro, pipetear un ml. de muestra conteniendo el equivalente de 20 a 100  $\mu\text{g}$  de glucosa y se preparan al mismo tiempo, un blanco conteniendo 1 ml de agua y estándar de glucosa (por ejemplo): 25, 50, 75  $\mu\text{g}$  de glucosa en un volumen de 1 ml. A todos los tubos se les añade 1 ml de fenol al 5% (peso/volumen) y mezclar. Añadir 5 ml de ácido sulfúrico concentrado con una pipeta despuntada directamente sobre la superficie del líquido y agitar el tubo simultáneamente. Se deja reposar 10 minutos, agitar y ponerlos en baño de agua de 25 a 30 °C por un lapso de 10 a 20 minutos antes de hacer las lecturas, el color es estable por varias horas. Se lee a 490 nanómetros para hexosas y 480 nanómetros para pentosas (no leer después de 3 horas).

Para calcular la concentración de azúcares en las muestras problema, referirse a la curva tipo elaborada de concentración contra absorbencia (gráfica No.2).

## GRAFICA No. 2

Curva estándar de sacarosa  
Método de Fenol-Sulfúrico.



## 2.4. - METODOS DE CLARIFICACION UTILIZADOS.

### 2.4.1. Adición de ácido sulfúrico. (60-64)

Las melazas diluidas aproximadamente a 40 °Brix - son tratadas con ácido sulfúrico al 50% en peso - hasta dar un pH de 3 y calentadas a 70 °C durante 30 minutos.

### 2.4.2. Tratamiento con carbón activado. (65)

Las melazas convenientemente diluidas son tratadas con 1% de carbón animal activado por peso de melaza, en seguida se calienta durante media hora a - 40 °C teniendo un agitamiento constante; al final de este tiempo se agregan 2 gramos de filtro ayuda, se agita durante otros 5 minutos y se filtra en caliente.

### 2.4.3. Coprecipitación con sulfato de aluminio y amoníaco.

(66) Se diluye la melaza de tal forma que contenga 150 g de azúcares por litro para ser tratada con - una solución de sulfato de aluminio, la cual contiene 0.5 g de la sal por mililitro, en seguida se le va agregando hidróxido de amonio al 50% en volu

men hasta pH de 9, se filtra y se vuelve hacer la precipitación agregando otros 5 ml de la solución de sulfato de aluminio, ajustándose el pH a 7 y se vuelve a filtrar. Este método de purificación da muy buenos resultados cuando se trata de purificar glucosa comercial.

#### 2.4.4. Defecación en tanques abiertos. (67-70)

Este procedimiento es usado desde los primeros tiempos de la industria azucarera. Consiste esencialmente en depositar los jugos que vienen de los molinos en unos tanques de doble fondo llamados de fecadores, posteriormente se agrega lechada de caña calentándose con vapor que es admitido entre los fondos. El calentamiento del jugo se continúa hasta ebullición, que es el momento en que rompe la capa de espuma y la cachaza que cubre la superficie. El jugo así defecado se deja en reposo para su decantación.

#### 2.4.5. Sulfitación simple y alcalización. (71)

La sulfitación se debe llevar en el menor tiempo - y a pH lo más bajo posible para evitar (aunque son mínimas) inversiones de sacarosa debidas al bióxido de azufre, para esto los jugos se alcalizan inmediatamente con una lechada de cal de 10 a 30 - - °Brix, tratándolo de hacer lo más homogéneo posible y evitando la sobre alcalización de algunas partes de los jugos, para eliminar las reacciones de la cal con los azúcares reductores que formarían sacarato de calcio, puesto que éste dificultaría la clarificación. Los jugos generalmente tienen pH alrededor de 6 y deben alcanzar un pH cercano a 3.5. La sulfitación de meladuras se lleva a cabo en tanques abiertos y por borbotep. Este procedimiento es muy similar al proceso Petree.

#### 2.4.6. Sulfitación después de la alcalización. (72-74)

Proceso Bach. Se toman todas las consideraciones del inciso anterior; a la melaza se le agrega primero lechada de cal (solución de hidróxido de calcio) aproximadamente de 17 °Brix hasta llevarla a

un pH cercano a 8 y se calienta hasta ebullición (95 °C) durante 10 minutos para posteriormente sulfitar hasta pH de 7.

#### 2.4.7. Carbonatación. (75-76)

En la industria azucarera de remolacha, la carbonatación es el proceso que se podría llamar tipo, -- puesto que en los Estados Unidos como en Europa -- el azúcar de remolacha se produce a gran escala; -- la clarificación y defecación de estos jugos se -- lleva a cabo por procesos de doble carbonatación. En la industria de azúcar se ha empleado con bastante éxito, pero no ha podido sustituir a los procesos que llevan como base cal.

En este trabajo se harán algunas modificaciones -- puesto que este proceso se aplica a jugos de caña de mayor calidad y las mieles finales a tratar contienen una gran concentración de lodos. Primeramente se agrega hidróxido de calcio en solución hasta pH cercano a 8 y se calienta a 70 °C por 30 minutos, posteriormente por medio de borboteo se adiciona dióxido de carbono hasta pH de 7 y se vuelve a calentar a 70 °C por otros 30 minutos, se deja en reposo 24 horas y se decanta.

#### 2.4.8. Super defecación Horne. (77,78)

Consiste en alcalinizar la melaza con solución de hidróxido de calcio hasta alcanzar pH de 8; primero calentar aproximadamente a 70 °C y decantar, - posteriormente agregar fosfato de sodio o fosfato ácido de calcio para precipitar el exceso de sales cálcicas, reposar 24 horas para su decantación y finalmente centrifugar.

#### 2.4.9. Procedimiento Honig. (79)

Es muy usado en los ingenios para clarificar jugos de caña, consiste en alcalinizar la melaza - hasta pH de 6.5, de aquí un 40% se vuelve a alcalinizar hasta pH de 9.6 y el otro 60% se calienta hasta 100 °C hasta que rompa la espuma, posteriormente se vuelven a juntar para dar una melaza con una temperatura aproximada de 70 °C y un pH de 7.7 después de esto se deja reposar 24 horas para que precipiten bien los sólidos insolubles que contenga, así como las gomas, ceras, lodos, etc.

**CAPITULO 3**

**PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS**

### 3.1.- MATERIALES Y EQUIPO.

#### 3.1.1. Materiales.

Melaza. Procedente del ingenio "La Abeja" en Casa sano, Morelos; correspondiente al mes de julio de la zafra de 1983.

Transporte y preparación. (80) Se tomaron muestras representativas en diferentes tiempos y se mezclaron sin exponerlas al sol o a elevadas temperaturas. Se puso en refrigeración (+4 °C) tan rápido como fue posible. El volumen total de muestra fue de 20 litros (28 Kg) repartida en 5 envases de plástico. Después de una previa y vigorosa agitación se fueron tomando muestras pequeñas según se fueron requiriendo para efectuar el presente estudio.

Acido bórico al 4%

Acido clorhídrico 0.1 N

Acido sulfúrico concentrado color APHA 10

Acido sulfúrico al 50%

Acido sulfúrico concentrado para el método de fenol-sulfúrico. Especificaciones: Baker; ensayo - ( $H_2SO_4$ ) 96.2%, color APHA 5, apropiado para la determinación de mercurio. Merck; No. cat. 714, mín. 96% suprapur, o No. cat. 731, mín. 95-97% para análisis.

Agua bidestilada

Agua destilada

Antiespumante

Azufre

Dióxido de carbono

Carbón vegetal activado

Fosfato de sodio o fosfato ácido de calcio  
 Hidróxido de amonio al 50%  
 Hidróxido de sodio al 40%  
 Oxalato de amonio  
 Selenio mezcla reactiva (0.1 a 0.55 g de sulfato  
 de cobre cristalizado más 2.5 a 10 g de sulfato de  
 potasio - sulfato de sodio anhidros)  
 Zinc (granallas).

#### SOLUCIONES

Azúcar invertido. Solución patrón. (81) Pesar cuidadosamente 10 g de sacarosa pura, añadir 5 ml de ácido clorhídrico con agua hasta obtener unos 100 ml de solución. Conservar esta solución acidificada durante 7 días (12-15 °C) o conservar 3 días - (20-25 °C) y aforar a un litro de agua. El azúcar invertido acidificado al 1% permanece estable varios meses. Ya para utilizarla neutralizar con hidróxido de sodio 1 N y titularla con el reactivo de Fehling A y B.

Azul de metileno acuosa al 0.2%

Cloruro de potasio (10, 7.5, 5, 2.5)  $\times 10^{-4}$  g/ml

Fehling A, disolver 69.28g de sulfato de cobre pentahidratado en un litro de agua.

Fehling B, disolver 346g de tartrato sódico potásico (sal de Rochelle), y 100g de hidróxido de sodio en un litro de agua. (82).

Fenol acuosa al 5%

Glucosa soluciones de 20; 35; 60; 70 y 100  $\mu$ g/ml

Hidróxido de calcio 21 °Brix aproximadamente 17.5g en 100 ml de agua

Indicador Shiro-Thashiro. 1 g de rojo de metilo -

más 0.5 g de azul de metileno en un litro de alcohol etílico. (83)

Subacetato de plomo saturada.

Sulfato de aluminio 0.5 g/ml

Nota: Todos los reactivos utilizados fueron grado analítico marca Baker.

### 3.1.2. Equipo Utilizado.

Balanza analítica, marca Bosch, modelo S-200, - máx. 200 g, mín. 5 dg, d=0.1 mg.

Balanza electrónica, marca Ohaus, modelo 1500 D, - máx. 1500 g, mín. 0.01 g.

Peachmetro, marca Corning, modelo pH meter 125, - con compensador de temperatura.

Baño de agua con control de temperatura automático marca Lab-Line / Dubnoff INCU-SHAKER, modelo No. - 3573.

Baño de agua con control de temperatura automático marca Sybron / Thermolyne, modelo Nuova 7 Stir-Plate.

Agitador de tubos, marca Lab-Line Instrument, modelo Super-Mixer, cat. No. 1290.

Centrifuga, marca Sorvall Super Speed, modelo RC2-B IVAN SORVALL INC., refrigeración automática, velocidad máxima 20.mil rpm.

Digestor y destilador Kjeldahl, marca Labconco.

Estufa de vacío, marca National Appliance Company, modelo 5851.

Hidrómetro 80-90 Brix Tp. 20°C Hecho en Alemania.

Hidrómetro 40-50 Brix Tp. 20°C Hecho en Alemania.

Espectrofotómetro, marca Bausch & Lomb, modelo - Spectronic 20.

Conductímetro, marca Conductronic, S.A., modelo - CL 5, especificaciones:

Rango.

X 0.1 0 a 200 micromhos/cm

X 1.0 0 a 2000 micromhos/cm

X 10 0 a 20000 micromhos/cm

Precisión. más o menos 1%

Resolución. 0.1 micromhos/cm, en el rango más bajo

Indicador de medición. 400 Hz

Rango de operación. Para la exactitud especificada de 18°C a 28°C, puede ser operada de 0 a 45°C a menor precisión.

Celda de medición. Celda de Inmersión.

Constante de la celda. 1 ohm/cm

Electrodos. Níquel platinado; compensador de temperatura automático.

Coefficiente de temperatura. 2%/°C

Viscosímetro de Ostwald, marca Kimax 200-C 42

Termómetro de 0 a 100°C

Cronómetro

Papel filtro, Nos. 40 y 41 (filtrado rápido), marca Whatman. Poro mediano (sin marca).

Material de vidrio de laboratorio.

### 3.2.- DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LA MELAZA A 91.2 °BRIX. RESULTADOS.

#### 3.2.1. Densidad. (Ver inciso 2.1.1.)

X = peso del agua contenida en el matraz a 20 °C	99.8230 g
Y = peso de la melaza contenida en el matraz a 20 °C	130.6212 g
Z = peso de la melaza más agua en el matraz a 20 °C	137.2712 g
Z-Y = peso del agua que ocupa los espacios libres en la melaza hasta la marca de graduación	6.6500 g
X-(Z-Y) = peso del agua si estuviera ocupando el espacio que ocupa la melaza	93.1730 g
$\frac{Y}{X-(Z-Y)}$ = Densidad. densidad relativa $\frac{20}{20}^{\circ}\text{C}$	1.4019 g

#### 3.2.2. Grados Brix o por ciento de sólidos totales. (Ver inciso 2.1.2)

- a) Lectura directa 90 °Brix a 20°C
- b) Doble dilución
- 45.6 °Brix a 20 °C ( $X \cdot 2 = 91.2$  °Brix)
- 45.2 °Brix a 21 °C ( $X \cdot 2 = 90.4$  °Brix)

Se toma como mejor resultado, el de la doble dilución, puesto que la melaza diluida es más --- fácil de manejar, dando por consiguiente más confiable el resultado.

## 3.2.3. Humedad. (Ver inciso 2.1.3.)

Peso de la muestra 3.1318 g

Pérdida de peso 0.6366 g

% humedad =  $(0.6366 / 3.1318) \times 100 = 20.33$ 

% humedad = 20.33

## 3.2.4. Protefna. (Ver inciso 2.1.4.)

Normalidad del ácido clorhídrico utilizado 0.1

Millequivalente del nitrógeno 0.014

Factor de conversión para mieles 6.25

Peso de la muestra (gramos) 1.5728

Volumen gastado (mililitros) 10.6

% Nitrógeno =  $\frac{10.6 \times 0.1 \times 100 \times 0.014}{1.5728} = 0.9435$ % Protefna =  $0.9435 \times 6.25 = 5.897$ 3.2.5. Cenizas (método cenizas sulfatadas, ver inciso -  
2.1.5.)

Peso de la muestra (gramos) 2.5942

Peso de las cenizas (gramos) 0.2260

% Cenizas =  $\frac{0.2260}{2.5942} \times 100$ 

% Cenizas = 8.711

3.2.6. Azúcares reductores y totales. (modificación de La  
ne y Eynon, ver inciso 2.1.6.)Cálculo del factor. 10 g de sacarosa pura se lleva  
ron a 1000 ml, se tomó una alcuota de 25 ml y se  
llevó a 100 ml para obtener una concentración fi-

nal de 2.5 mg/ml. Con esta solución de sacarosa se tituló la solución de Fehling, dando un gasto promedio de 21.75 ml, el factor será igual al gasto - por la concentración.

$$\text{Factor} = 21.75 \text{ ml} \times 0.0025 \text{ g/ml}$$

$$\text{Factor} = 0.054375 \text{ g}$$

**Azúcares directos.**

Peso de la muestra 9.85 g

Volumen gastado 27.2 ml

Aforo inicial 250 ml

Alfcoota 50 ml

Segundo aforo 200 ml

$$\% \text{ Azúcares directos} = \frac{250 \text{ ml} \times 0.054375 \text{ g} \times 200 \text{ ml} \times 100}{9.85 \text{ g} \times 27.2 \text{ ml} \times 50 \text{ ml}}$$

$$\% \text{ Azúcares directos} = 20.29$$

**Azúcares totales.**

Peso de la muestra 9.85 g

Volumen gastado 42.45 ml

Aforo inicial 250 ml

Alfcoota 50 ml

Segundo aforo 200 ml

Segunda alfcoota 50 ml

Tercer aforo 200 ml

$$\% \text{ Azúcares totales} = \frac{0.054375 \text{ g} \times 100 \times 250 \text{ ml} \times 200 \text{ ml} \times 200 \text{ ml}}{9.85 \text{ g} \times 42.45 \text{ ml} \times 50 \text{ ml} \times 50 \text{ ml}}$$

$$\% \text{ Azúcares totales} = 52.01$$

**Azúcares no reductores.**

**% Azúcares no reductores = % azúcares totales - % azúcares reductores**

**% Azúcares no reductores = 52.01 - 20.29 = 31.72**

**3.2.7. Viscosidad. (Ver inciso 2.1.7.)**

**Calibración del viscosímetro**

**Fluido utilizado para la calibración: agua destilada**

**Temperatura de calibración: 21 °C**

**Tiempo que tardó el agua en pasar las marcas de graduación: 13.15 segundos**

**Densidad del agua a la temperatura de calibración 0.99823 g/cm<sup>3</sup>**

**Viscosidad del agua a la temperatura de calibración: 1.005 X 10<sup>-2</sup> g/cm s.**

$$K = \frac{U}{dt}$$

$$K = \frac{1.005 \times 10^{-2} \text{ g/cm s}}{0.99823 \text{ g/cm}^3 \times 13.15 \text{ s}}$$

$$K = 0.0765177 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}^2$$

**Los resultados utilizando melaza a 40 °Brix se encuentran en la tabla No. 7**

**Nota: Estas determinaciones (3.2.1. - 3.2.7.) fueron hechas por triplicado.**

Tabla No. 7

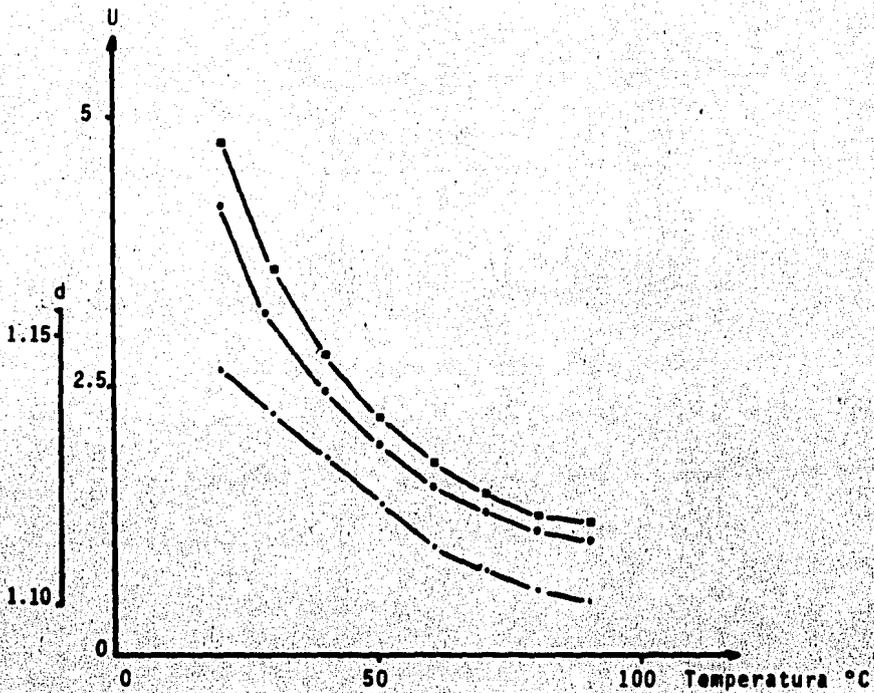
Viscosidad y densidad de la melaza a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Lectura (s)	Densidad (g/ml)	Viscosidad cinemática (cm <sup>2</sup> /s X 10 <sup>-2</sup> )	Viscosidad absoluta (g/cm s X 10 <sup>-2</sup> )
20	54.4	1.1438	4.1625	4.7611
30	41.0	1.1350	3.1372	3.5608
40	32.0	1.1270	2.4486	2.7595
50	25.5	1.1180	1.9512	2.1814
60	21.0	1.1102	1.6069	1.7838
70	17.6	1.1060	1.3467	1.4895
80	15.5	1.1025	1.1860	1.3076
90	14.5	1.0994	1.1095	1.2198

Melaza de 40°Brix

## GRAFICA No. 3

Relación de la viscosidad y densidad contra la temperatura (Melaza de 40 °Brix)



- $U_a$  viscosidad absoluta ( $\text{g/cm} \cdot \text{s} \times 10^{-2}$ )
- $U_c$  viscosidad cinemática ( $\text{cm}^2/\text{s} \times 10^{-2}$ )
- $d$  densidad ( $\text{g/cm}^3$ )

### 3.3.- APLICACION DE LOS METODOS DE CLARIFICACION.

#### 3.3.1. Secuencia de experimentos.

##### Experimento No. 1

Adición de ácido sulfúrico siguiendo el método - 2.4.1. Se hicieron varias pruebas modificando el pH, temperatura y tiempo de calentamiento. Como paso inicial se diluyó la melaza a 40 °Brix, esta concentración fué la utilizada para todos los experimentos con el fin de uniformizar. El porcentaje de cenizas se determinó por el método conductimétrico y el de azúcares por el método de fenol-sulfúrico, indicado en los subíndices 2.2 y 2.3 - respectivamente. A las muestras cuyo pH es de 6 - ( que es el pH de la melaza original ) no se les añadió ácido sulfúrico y fueron las que presentaron mayor contenido de cenizas solubles, además - de no presentar precipitado de gomas y lodos suficiente, por lo que esta prueba se hizo solamente en los primeros ensayos. Los resultados se encuentran en las tablas Nos. 8,9,10,11.

**Nota:** Todas las muestras de este experimento fueron decantadas antes de ser analizadas. El valor de los resultados es el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

Como se ve en los resultados, en este método el pH más recomendable es el de 4, y con lo que respecta a la temperatura, entre más elevada es ésta y mayor el tiempo de calentamiento, las muestras presentan un aumento apenas apreciable en la concentración de cenizas y azúcares, debido a la evaporación del agua.

TABLA No. 8

Temperatura de calentamiento 70 °C.

pH	Tiempo de calentamiento (minutos)	% Cenizas	% Azúcares
6	30	4.32	24.32
6	60	4.17	24.60
5	30	4.24	24.08
5	60	4.10	23.66
4	30	3.82	23.14
4	60	3.83	23.63
3	30	4.13	23.63
3	60	4.21	24.60

TABLA No. 9

Temperatura de calentamiento 50 °C.

pH	Tiempo de calentamiento (minutos)	% Cenizas	% Azúcares
5	30	4.17	21.93
5	60	4.19	24.11
4	30	3.81	23.63
4	60	3.85	21.82
3	30	4.18	21.93
3	60	4.18	23.63

TABLA No. 10

Temperatura de calentamiento 90 °C.

pH	Tiempo de calentamiento (minutos)	% Cenizas	% Azúcares
5	30	4.38	26.02
5	60	4.42	25.53
4	30	3.78	27.95
4	60	3.81	28.92
3	30	4.65	27.89
3	60	4.76	25.56

TABLA No. 11

Temperatura ambiente 22 °C.

pH	% Cenizas	% Azúcares
6	4.63	24.27
5	4.07	24.08
4	3.76	24.08
3	4.00	24.08

**Experimento No. 2**

Tratamiento con carbón activado. Se siguió el método 2.4.2., y debido a que el proceso de filtración es muy difícil y requiere de mucho tiempo, - se hizo una prueba únicamente decantando para posteriormente filtrar, obteniéndose los resultados de la tabla No. 12

**Experimento No.3**

Coprecipitación con sulfato de aluminio. Se hicieron algunas modificaciones al método original (2.4.3), como variar la cantidad de sulfato de aluminio en la primera y segunda adición; como el proceso de filtración presentó mucha dificultad se hicieron algunas pruebas donde se eliminó éste, y solamente se procedió a decantar.

Este método aunque no alcanzó valores bajos en el porcentaje de cenizas solubles como en el método - con ácido sulfúrico, fué en el que se obtuvo mejores resultados, debido a que en éste precipitó el mayor contenido de lodos y gomas, obteniéndose una melaza bien clarificada. Los resultados se encuentran en la tabla No. 14

**Experimento No. 4**

Alcalización simple. Siguiendo el procedimiento - 2.4.4. se tomaron 100 ml de melaza diluida a 40 ° Brix, se agregó una solución de hidróxido de calcio hasta pH de 8 y se calentó en parrilla - hasta ebullición (5-10 min.) se dejó reposar durante 24 horas en refrigerador (10 °C). Y después una parte se decantó y la otra se centrifugó para hacer una comparación posterior. Los resultados - se encuentran en la tabla No. 14

TABLA No. 12

Resultados del experimento No. 2

Proceso	% Cenizas	% Azúcares
Muestra solamente decantada	4.31	26.05
Muestra filtrada después de la decantación.	4.43	25.56

TABLA No. 13

Resultados del experimento No. 3

ml agregados de $Al_2(SO_4)_3$	proceso	ml agregados de $Al_2(SO_4)_3$	proceso	% Cenizas	% Azúcares
2.5	f	2.5	f	4.69	23.14
2.5	d	10	f	4.57	23.63
5	f	5	f	4.90	24.11
5	d	5	f	4.60	21.69
5	d	5	d	4.82	21.69
5	d	20	f	4.46	24.56
5	d	20	d	4.68	22.66
10	f	10	f	4.64	23.14
10	d	10	f	4.66	22.17
10	d	10	d	4.78	22.17
10	d	40	f	4.03	21.72
10	d	40	d	4.16	21.69

f = filtración.

d = decantación.

**Experimento No. 5**

**Sulfitación simple y alcalización. (Método 2.4.5)**  
Se tomaron 100 ml de melaza (40 °Brix), se calentó a 60 °C y a esta temperatura se sulfitó hasta pH de 3.5; para realizarlo en el laboratorio se hizo una combustión de azufre y el humo desprendido ( $\text{SO}_2$ ) se burbujeó en la melaza de la manera como se ilustra en la figura No. 1, inmediatamente después de alcanzar el pH requerido, se agregó la solución de hidróxido de calcio de 17 °Brix hasta pH de 7.5 para finalmente elevar la temperatura hasta 94 °C. Se dejó reposar 24 horas, para posteriormente una parte centrifugarla y otra decantarla. Los resultados se encuentran en la tabla No. 14.

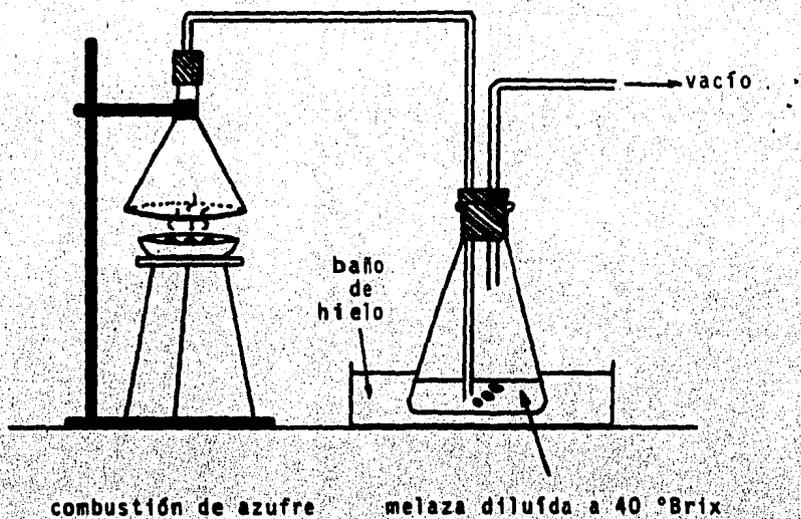
**Experimento No. 6**

**Sulfitación después de la alcalización.** Se procedió de igual manera como se indica en el método 2.4.6., los resultados obtenidos se encuentran en la tabla No. 14.

**Experimento No. 7**

**Alcalización y carbonatación. (Método 2.4.7.)** primeramente se agregó solución de hidróxido de calcio hasta pH de 8.2 y se calentó a 70 °C durante 30 minutos, después por medio de borboteo se adicionó dióxido de carbono hasta pH de 7.0 y se volvió a calentar a 70 °C por otros 30 minutos. Finalmente se dejó reposar 24 horas y se procedió como en las anteriores. Ver los resultados en la tabla No. 14.

FIGURA No. 1



Equipo empleado para la sulfitación.

**Experimento No. 8**

**Defecación Horne.** Se siguió tal y como se explica en el método 2.4.8. Los resultados se pueden ver en la tabla No. 14.

**Experimento No. 9**

**Proceso Honig.** Este procedimiento se realizó en el laboratorio de la misma manera como se indica en el inciso 2.4.9. ocupando 100 ml de melaza. Ya terminado el tratamiento una parte se centrifugó y a la otra se le dejó reposar 24 horas para su decantación posterior. Ver los resultados en la tabla No. 14.

Los métodos de alcalización en general, no disminuyeron el contenido de cenizas solubles pero si favorecieron la precipitación de gomas y lodos, aunque se presentó un enturbiamiento de la melaza debido a la presencia del calcio.

TABLA No. 14

Resultados de los experimentos Nos. 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Muestra	% Cenizas	% Azúcares
Melaza original	4.62	24.11
Melaza decantada	4.34	24.11
Melaza centrifugada	4.18	23.63
Experimento No. 4		
Con decantación	5.02	27.44
Con centrifugación	5.00	25.50
Experimento No. 5		
Con decantación	4.10	22.69
Con centrifugación	3.94	23.17
Experimento No. 6		
Con decantación	4.90	23.66
Con centrifugación	4.42	24.11
Experimento No. 7		
Con decantación	4.59	25.08
Con centrifugación	4.48	25.08
Experimento No. 8		
Con decantación	4.61	25.56
Con centrifugación	4.63	25.08
Experimento No. 9		
Con decantación	4.94	27.47
Con centrifugación	4.78	27.50

Notas: Se centrifugó a 4500 rpm, durante 15 minutos  
Se decantó durante 24 horas.

### 3.3.2. Comparación de los métodos de análisis.

#### A. Cenizas.

Previamente y de una manera paralela a la clarificación se compararon los resultados obtenidos por el método de cenizas por medida de la conductividad con los obtenidos por el de cenizas sulfatadas, para asegurar de que el método conductimétrico es confiable y poder aplicarlo en este tipo de muestras, los resultados se pueden ver en la tabla No. 15

TABLA No. 15

Comparación de resultados entre el método conductimétrico y el método de cenizas sulfatadas

Muestra	% Cenizas Método Conductimétrico	% Cenizas Método Cenizas Sulfatadas
Melaza sin tratar de 91.2 °Brix	9.35	8.71
Melaza sin tratar de 40 °Brix	4.40	4.35
Melaza pasada por centrifuga (40 °Brix)	4.12	4.23
Del experimento No. 1		
Melaza tratada con ácido sulfúrico.		
Temperatura de calentamiento 70°C		
pH 6 tiempo calent. 30 minutos	4.32	4.18
pH 6 tiempo calent. 60 minutos	4.17	4.17
pH 5 tiempo calent. 30 minutos	4.24	--
pH 5 tiempo calent. 60 minutos	4.10	--
pH 4 tiempo calent. 30 minutos	3.82	3.06
pH 4 tiempo calent. 60 minutos	3.83	3.10
pH 3 tiempo calent. 30 minutos	4.13	3.95
pH 3 tiempo calent. 60 minutos	4.21	3.68
Temperatura ambiente 22°C		
pH 6	4.63	4.50
pH 5	4.07	3.84
pH 4	3.76	3.87
pH 3	4.00	3.96
Del experimento No. 5		
Melaza tratada por el método de sulfitación simple y alcalización.		
Decantada	4.10	4.39
Centrifugada	3.94	4.33
Del experimento No. 4		
Melaza tratada por el método de alcalización simple.		
Decantada	5.02	5.71
Centrifugada	5.00	5.62

Nota: En todos los experimentos se ocupó melaza de 40°Brix.

**B. Azúcares.**

Al igual que para el método para conocer el contenido de cenizas, también se hizo una relación entre los resultados obtenidos por los dos métodos - elegidos para la determinación de azúcares totales, esta comparación se encuentra en la tabla No. 16.

**TABLA No. 16**

Comparación del % de azúcares totales obtenidos por el método de fenol-sulfúrico y el método de Lane & Eynon.

Muestra	% de azúcares totales método fenol-sulfúrico.	% azúcares totales método de Lane & Eynon
Melaza 91 °Brix	53.77	52.01
Melaza 40 °Brix	24.11	23.60

C A P I T U L O 4

MICROPERFIL TECNICO ECONOMICO DEL PROCESO DE ADICION DE  
ACIDO SULFURICO

#### 4.1. CAPACIDAD DE LA PLANTA A INSTALAR

En los últimos 12 años México ha tenido una producción promedio de 34'218,527 toneladas anuales de caña de -- azúcar, (tabla No. 1) que producen 923,900 toneladas -- de melaza. Este último dato se basa en que por cada -- 100 toneladas de caña de azúcar se producen en promedio 11.2 toneladas de azúcar, 5 toneladas de bagazo, - 2.7 toneladas de melaza de 89°Bx (p.e. = 1.47), 3 toneladas de filtro, 0.3 toneladas de cenizas y 1300 Kw-hr de electricidad. (84)

De las 923,900 toneladas de melaza se exportan 445,365 toneladas anuales equivalentes al 48% de la producción como puede apreciarse en la tabla No. 2

Con estos datos y tomando en cuenta la producción por entidades federativas (tabla No. 17) se decidió tomar como base de diseño el de una planta que pueda tratar 10 toneladas de melaza por hora, considerando que un año tiene 7128 horas efectivas laborando tres turnos.

Una planta con esta capacidad podrá tratar 71,280 toneladas de melaza por año, que corresponden al 7.7% de la producción nacional o al 16% de las exportaciones.

T A B L A No. 17

Relación de la capacidad propuesta\* con el porcentaje de melazas que podrán ser tratadas en base a la producción anual por entidad federativa.

Estado	producción anual de caña de azúcar** (ton)	producción anual de melazas (ton)	porcentaje de melazas que podrá ser tratado	operación de la planta (% de capacidad)
Veracruz	12'249,992	330,749	21.55	100
Jalisco	3'655,735	98,705	72.22	100
Sinaloa	3'360,367	90,730	78.56	100
Guerrero	2'511,944	67,822	100	95
Tamaulipas	2'042,821	55,156	100	77
Morelos	1'694,444	45,750	100	64
San Luis Potosí	1'577,337	42,588	100	60
Tabasco	1'240,392	33,490	100	47
Michoacán	1'237,128	33,402	100	47
Nayarit	1'194,024	32,239	100	45
Puebla	1'122,196	30,299	100	43

\* La capacidad propuesta es de 71,280 toneladas por año.

\*\* Esta producción es el promedio de la producción anual de -- 1975 a 1979 (85)

Nota: Como este estudio se inició en el Estado de Morelos, cabe señalar que su producción total la hace solamente en el período de corte que es aproximadamente de seis meses, por lo que la -- planta de clarificación de melazas estaría trabajando al 100% -- de su capacidad durante este tiempo y sólo podrá tratar el 78% de la producción de melazas, distribuyéndose la diferencia para otros fines.

En caso contrario se tendrá que disponer de grandes depósitos para dar tratamiento a toda ésta.

#### 4.2. LOCALIZACION DE LA PLANTA.

Considerando la ubicación geográfica de las entidades federativas de mayor producción de caña de azúcar y las vías de comunicación, el lugar más conveniente sería el Estado de Puebla o cualquier Estado en el cual la planta pueda operar al 100% de su capacidad.

#### 4.3. BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

##### 4.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO

Posterior a los resultados obtenidos y teniendo elegido el método de adición con ácido sulfúrico como el más conveniente para la clarificación de melazas a un nivel industrial, se propone el diagrama de flujo que se ilustra en la figura No. 2

El proceso se basa primeramente en diluir las melazas de 40 a 45°Brix en un tanque mezclador en donde son calentadas aproximadamente a una temperatura de 90 a 95°C.

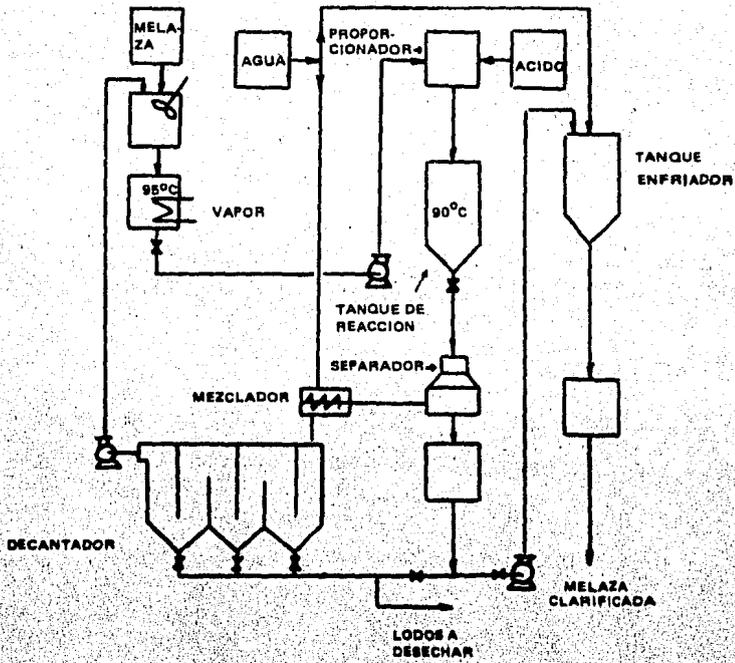
Después son llevadas a un proporcionador en donde es añadido ácido sulfúrico al 50% a razón de 493 Kg por cada 10,000 Kg de melaza a tratar (melaza de 91°Brix). Posteriormente se trasladan a un tanque de reacción donde permanecen a 90°C durante una hora para permitir que la reacción sea completa, y se procede a centrifugar. El líquido claro que sale de la centrifuga es enfriado a 25°C en un tanque refrigerante, el cual puede ser diluido según las necesidades y transportado al fermentador para posible proceso futuro.

Mientras tanto los lodos son descargados en un pequeño transportador-mezclador donde son lavados con agua con el fin de recuperar más azúcares. Esta mezcla es pasada a un separador tipo Setter con baffles que separa el líquido claro de los lodos.

El líquido claro que es donde se encuentran disueltos -- los azúcares recuperados es retornado al proceso para diluir las melazas de 85 - 95°Brix que son introducidas al inicio del proceso.

Los lodos son descargados por la parte inferior del separador para finalmente ser desechados.

FIGURA No. 2  
PROCESO DE PURIFICACION DE MELAZAS



#### 4.3.2 BALANCE DE MATERIA

Para poder realizar el balance de materia en el proceso es necesario conocer algunas características de la melaza en algunos puntos del proceso como: el contenido de lodos después del tratamiento, densidad, viscosidad, °Brix y % de azúcares.

Para esto se hizo una simulación experimental del proceso donde se determinaron estas características:

% de lodos centrifugados.

Melazas de 40°Brix, que originalmente tienen un pH de 6, - son llevadas a un pH de 4 con ácido sulfúrico y calentadas durante una hora a diferentes temperaturas, después son - centrifugadas a 4500 RPM. durante 15 minutos en una centrifuga con cabezal angular con capacidad de 8 tubos de 50. ml cada uno, modelo HT, marca International. Los resultados - se encuentran en la tabla No.18

T A B L A No. 18

% de lodos obtenidos

TEMPERATURA USADA EN EL TRATAMIENTO °C	% DE LODOS	°BRIX (20°C)
90	5.93	38.3
70	5.43	39.2
50	6.11	38.8
22	5.84	40

La densidad y viscosidad se determinaron de igual manera como lo indican los incisos 2.1.1 y 2.1.7. Algunos de estos resultados fueron corroborados con datos bibliográficos. (Ver la tabla No. 19)

Los grados Brix y el % de azúcares se determinaron según los incisos 2.1.2 y 2.1.6.

Con los datos obtenidos se representa el balance de materia en el siguiente diagrama de flujo. (Fig. No. 3)

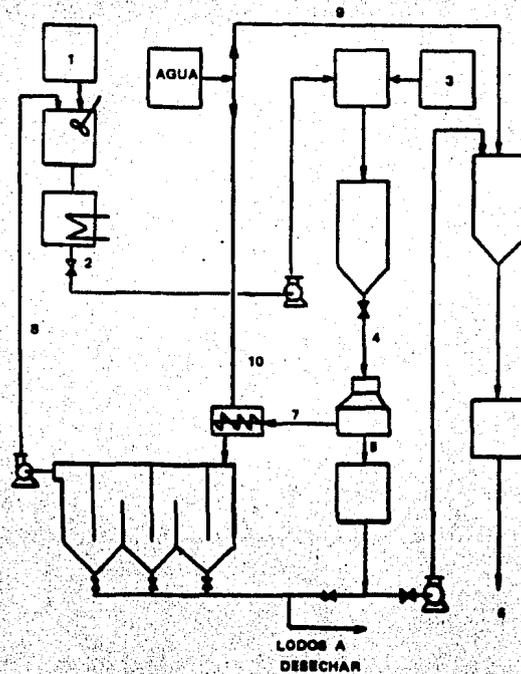
T A B L A No. 19

Densidad y viscosidad de la melaza a distintos °Brix y diferentes temperaturas

°BRIX DE LA MELAZA (20°C)	TEMPERATURA °C	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	VISCOSIDAD CPS.(g/cm s x10 <sup>-2</sup> )
91.2	20	1.4019	-----
40	20	1.1438	4.761
40	80	1.1025	1.307
40	90	1.0994	1.219
38.5*	20	1.1380	4.336
38.5	30	1.1350	3.345
38.5	40	1.1270	2.670
38.5	50	1.1180	2.078
38.5	60	1.1102	1.656
38.5	70	1.1060	1.464
38.5	75	1.1044	1.320
38.5	80	1.1024	1.257
38.5	85	1.1009	1.164
38.5	87	1.1001	1.130
38.5	90	1.0993	1.094
20	20	1.0700	-----

\*Nota: La melaza de 38.5°Brix fue melaza de 40°Brix (20°C) tratada a un pH de 4 y calentada a 90°C durante una hora, después del tratamiento descendió a 38.5°Brix (20°C).

FIGURA No. 3  
 DIAGRAMA DE FLUJO PRESENTANDO EL BALANCE DE MATERIA  
 (BASE: 10 TONELADAS DE MELAZA DE 91.2°BRIX  
 PARA SER TRATADA EN 1 HORA)



- 1.- MELAZA DE 91.2°BRIX CON 82.7% DE AZUCARES TOTALES, d A 20°C = 1.4019 (10,000 Kg/hr)
- 2.- MELAZA DE 40°BRIX CON 33.7% DE AZUCARES TOTALES, d A 90°C = 1.01 (22,880 Kg/hr)
- 3.- ACIDO SULFURICO AL 90% d A 20°C = 1.41693 Kg/hr)
- 4.- MELAZA TRATADA DE 40°BRIX, d A 90°C = 1.01 (22,293 Kg/hr)
- 5.- MELAZA CENTRIFUGADA 36.9°BRIX, d A 80°C = 1.01 (21,527 Kg/hr)
- 6.- MELAZA CLARIFICADA 30°BRIX CON 12.4% DE AZUCARES TOTALES, d A 20°C = 1.07 (41,830 Kg/hr)
- 7.- LODOS CON 6.96% DE AZUCARES (1367 Kg/hr)
- 8.- AGUA DE LAVADO CON 7.00 g/l DE AZUCARES TOTALES (12,800 l/hr)
- 9.- AGUA PARA DILUCION (16,903 l/hr)
- 10.- AGUA PARA LAVADO Y DILUCION (12,800 l/hr)

### 4.3.3 BALANCE DE ENERGIA.

Las operaciones que requieren un gasto de energía en el proceso son: transportación, calentamiento, centrifugación y mezclado. Los equipos que se requieren para estas operaciones son: tres bombas centrífugas, un cambiador de calor, un separador (centrífuga), un transportador -- mezclador y un tanque de mezclado.

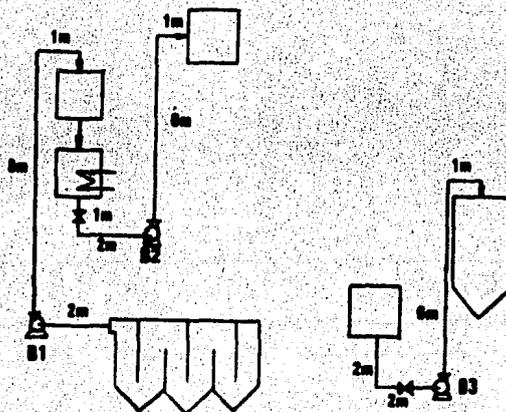
#### A. CALCULO DE LA ENERGIA ELECTRICA UTILIZADA.

##### A.1. BOMBAS.

Para calcular el consumo de energía eléctrica de las bombas, es necesario conocer la potencia requerida y el flujo a manejar; para esto se siguen los pasos que a continuación se enlistan:

- 1° Elaboración de un diagrama de flujo para conocer las condiciones de bombeo.

FIGURA No. 4



## 2° Cálculo del diámetro mínimo de tubería. (86)

Se efectúa el cálculo por tanteo suponiendo un diámetro de tubería y determinando la pérdida de carga total hasta que se obtenga una potencia requerida apropiada. Los pasos a seguir son los señalados a continuación:

- a) Suponer un diámetro
- b) Se determina la velocidad a partir del diámetro y del caudal (ec. 1)
- c) Se calcula el número de Reynolds (ec. 2)
- d) Con el diámetro se determina la rugosidad relativa E/D por medio de tablas
- e) Conociendo Re y E/D se puede determinar el coeficiente de fricción también por medio de tablas
- f) Se determina la longitud total de la tubería
- g) Con estos datos se calcula la carga causada por la fricción (ec. 3)
- h) Sumando la carga por diferencia de presiones más la carga por fricción se obtiene la carga total (ec. 4)
- i) Finalmente se calcula la potencia requerida mediante la ecuación No. 5 (87)

## 3° Cálculo de la energía eléctrica utilizada.

Conocido el diámetro mínimo de tubería y utilizando la ecuación núm. 6 (88) se determina el consumo de energía eléctrica.

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

$$1. V = \frac{Q}{A}$$

$$2. Re = \frac{vDd}{\nu}$$

$$3. hf = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$4. H = hf + ha$$

$$5. PT = H Qd$$

$$6. CE = \frac{H \times d}{n}$$

## SIMBOLOGIA

- A = área de la sección interna del tubo ( $\text{cm}^2$ ,  $\text{m}^2$ )  
 D = diámetro interno del tubo (cm, m)  
 d = densidad del fluido ( $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{Kg/m}^3$ )  
 E/D = rugosidad relativa  
 f = coeficiente de fricción  
 C.E. = consumo de energía eléctrica (Kw - hr)  
 g = aceleración debida a la fuerza de gravedad ( $\text{m/hr}^2$ )  
 H = carga total (m)  
 ha = carga por diferencia de presiones (diferencia de altura si se consideran tanques abiertos) (m)  
 hf = carga por fricción (m)  
 L = longitud total (m)  
 n = eficiencia motor-bomba (%)  
 PT = potencia teórica (HP)  
 PR = potencia real (HP)  
 Q = flujo o caudal (L/hr,  $\text{m}^3/\text{hr}$ )  
 Re = número de Reynolds  
 u = viscosidad del fluido ( $\text{g/cm s}$ ,  $\text{Kg/m hr}$ )  
 v = velocidad del fluido (m/hr)

## CALCULOS.

Para la bomba No. 1

a) Se supone un diámetro nominal de 2.54 cm (1 plg)

Características de la tubería (89)

Material: acero comercial

$$A = 5.5815 \text{ cm}^2$$

$$D = 2.66 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud} = 11 \text{ m}$$

Accesorios: 2 codos de 90° y una embocadura ordinaria

Altura que tendrá que vencer la bomba:  $h_a = 5 \text{ m}$

Características del fluido a manejar\*

Agua con 7% de azúcares a 24°C

$$d \text{ aprox.} = 1.00 \text{ g/cm}^3$$

$$u \text{ aprox.} = 1 \times 10^{-2} \text{ g/cm s}$$

$$Q = 12,800 \text{ l/hr}$$

$$v = \frac{12.8 \text{ m}^3/\text{hr}}{5.5815 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.293 \times 10^4 \text{ m/hr}$$

$$\text{Re} = \frac{2.293 \times 10^4 \text{ m/hr} \times 2.66 \times 10^{-2} \text{ m} \times 1 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3}{3.6 \text{ Kg/m hr}} = 1.69 \times 10^5$$

$$E/D = 0.0018 \quad (90)$$

$$f = 0.024 \quad (91)$$

\*Datos experimentales respaldados con bibliografía

La longitud equivalente de un codo de 90° con un diámetro nominal de 2.54 cm (1plg) es de 0.72 m y la de una embocadura ordinaria del mismo diámetro es de 0.58 m (92) por lo tanto la longitud total equivalente será igual a:

$$L = 2 (0.76\text{m}) + 0.58\text{m} + 11\text{m} = 13.1\text{m}$$

$$h_f = \frac{0.024 \times 13.1\text{m} \times (2.293 \times 10^4 \text{ m/hr})^2}{2.66 \times 10^{-2} \text{ m} \times 2.54 \times 10^8 \text{ m/hr}^2} = 24.41\text{m}$$

$$H = 8\text{m} + 24.41\text{m} = 32.4\text{m}$$

$$PT = 12.8\text{m}^3/\text{hr} \times 32.4\text{m} \times 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 4.147 \times 10^5 \text{ Kg/m}^3$$

$$PT = \frac{4.147 \times 10^5 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ HP}}{2.743 \times 10^5 \text{ kgm/hr}} = 1.51 \text{ HP}$$

$$PR = 1.51 \text{ HP} / 0.6 = 2.52 \text{ HP}$$

(Suponiendo que el conjunto motor bomba tiene una eficiencia del 60%).

b) Se supone un diámetro nominal de 3.175 cm (1¼ plg)

$$A = 9.6746 \text{ cm}^2$$

$$D = 3.5052 \text{ cm}$$

$$V = \frac{12.8\text{m}^3/\text{hr}}{9.6746 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1.323 \times 10^4 \text{ m/hr}$$

$$Re = \frac{1.323 \times 10^4 \text{ m/hr} \times 3.5052 \times 10^{-2} \text{ m} \times 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3}{3.6 \text{ Kg/mhr}} = 1.28 \times 10^5$$

$$E/D = 0.0014$$

$$f = 0.0235$$

$$L_e \text{ de un codo de } 90^\circ \text{ con diámetro nominal de } 3.175\text{cm}(1\frac{1}{4}\text{plg}) = 1.067\text{m}$$

$L_e$  = longitud equivalente

Le. de una embocadura ordinaria con diámetro nominal

de 3.175cm (1½ plg) = 0.793m

$L = 2(1.067m) + 0.793m + 11m = 13.93m$

$$h_f = \frac{0.0235 \times 13.93m \times (1.323 \times 10^4 m/hr)^2}{3.505 \times 10^{-2} m \times 2.54 \times 10^8 m/hr^2} = 6.43m$$

$H = 8m + 6.43m = 14.43m$

$PT = 12.8m^3/hr \times 14.43m \times 1 \times 10^3 Kg/m^3 = 1.847 \times 10^5 Kg/hr$

$$PT = \frac{1.847 \times 10^5 Kg/hr \times 1HP}{2.743 \times 10^5 Kg/hr} = 0.67 HP$$

$PR = 0.67 HP / 0.6 = 1.12 HP$

c) Suponiendo un diámetro nominal de 3.81 cm (1½ plg)

$A = 13.15 cm^2$

$D = 4.0894 cm$

$$V = \frac{12.8m^3/hr}{1.315 \times 10^{-3} m^2} = 9.73 \times 10^3 m/hr$$

$$Re = \frac{9.73 \times 10^3 m/hr \times 4.0894 \times 10^{-2} m \times 1 \times 10^3 Kg/m^3}{3.6 Kg/m hr} = 1.1 \times 10^5$$

$E/D = 0.0012$

$f = 0.023$

Le. de un codo de 90° con diámetro nominal de 3.81cm (1½ plg) = 1.22m

Le. de una embocadura ordinaria con diámetro nominal

de 3.81cm (1½ plg) = 0.915m

$L = 2(1.22m) + 0.915m + 11m = 14.35m$

$$h_f = \frac{0.023 \times 14.35m \times (9.73 \times 10^3 m/hr)^2}{4.089 \times 10^{-2} m \times 2.54 \times 10^8 m/hr^2} = 3.00m$$

$$H = 8\text{m} + 3\text{m} = 11\text{m}$$

$$PT = 12.8\text{m}^3/\text{hr} \times 11\text{m} \times 1 \times 10^3 \text{Kg}/\text{m}^3 = 1.41 \times 10^5 \text{Kg}/\text{hr}$$

$$PT = \frac{1.41 \times 10^5 \text{Kg}/\text{hr} \times 1\text{HP}}{2.743 \times 10^5 \text{Kg}/\text{hr}} = 0.514 \text{HP}$$

$$PR = 0.514\text{HP}/0.6 = 0.857\text{HP}$$

Con estos resultados elaboramos la siguiente tabla:

T A B L A 20

Diámetro supuesto de la tubería cm	Potencia Teórica HP	Potencia Real HP
2.54 (1plg)	1.51	2.52
3.17 (1¼plg)	0.67	1.12
3.81 (1½plg)	0.52	0.86

Energía eléctrica utilizada.

Seleccionando un diámetro de tubería de 3.81cm (1½ plg) y --  
utilizando la ec. núm. 6 se tiene que el consumo de energía  
eléctrica por metro cúbico de flujo es:

$$CE/\text{m}^3 = \frac{11\text{m} \times 1 \times 10^3 \text{Kg}/\text{m}^3 \times 1\text{Kw-hr}}{0.6 \times 3.6787 \times 10^5 \text{Kg}} = 0.0498 \text{Kw-hr}/\text{m}^3$$

y el consumo de energía eléctrica por hora de proceso es:

$$CE \text{ por hora de proceso} = 4.98 \times 10^{-2} \text{Kw-hr}/\text{m}^3 \times 12.8\text{m}^3 = 0.637 \text{Kw-hr}$$

## Bomba No. 2

Características de la tubería

Material: acero comercial

Diámetro nominal: 3.81cm (1½ plg)

$$A = 13.15\text{cm}^2$$

$$D = 4.0894\text{cm}$$

Longitud = 10m

ha = 5m

Accesorios: 2 codos de 90°, una válvula de compuerta --  
(Le 0.52m) y una embocadura ordinaria.

Características del flujo a manejar

Melaza 40°Brix (leídos a 20°C)

Temperatura de operación: 90°C

$$d \text{ aprox. a } 90^\circ\text{C} = 1.01\text{g/cm}^3$$

$$u \text{ aprox. a } 90^\circ\text{C} = 1.2198 \times 10^{-2} \text{ g/cm s}$$

$$Q = 22,570 \text{ l/hr}$$

$$V = \frac{22.57\text{m}^3/\text{hr}}{1.315 \times 10^{-3}\text{m}^2} = 1.716 \times 10^4 \text{ m/hr}$$

$$\text{Re} = \frac{1.716 \times 10^4 \text{ m/hr} \times 4.0894 \times 10^{-2} \text{ m} \times 1 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3}{4.39 \text{ Kg/mhr}} = 1.60 \times 10^5$$

$$E/D = 0.0012$$

$$f = 0.022$$

$$L = 2(1.22\text{m}) + 0.915\text{m} + 0.52\text{m} + 10\text{m} = 13.875\text{m}$$

$$h_f = \frac{0.022 \times 13.875\text{m} \times (1.716 \times 10^4 \text{ m/hr})^2}{4.0894 \times 10^{-2} \text{ m} \times 2.54 \times 10^8 \text{ m/hr}^2} = 8.65\text{m}$$

$$H = 5\text{m} + 8.65\text{m} = 13.65\text{m}$$

$$\text{PT} = 22.57\text{m}^3/\text{hr} \times 13.65\text{m} \times 1 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3 = 3.08 \times 10^5 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{PT} = \frac{3.08 \times 10^5 \text{ Kg/hr} \times 1\text{HP}}{2.743 \times 10^5 \text{ Kg/hr}} = 1.12\text{HP}$$

$$PR = 1.12HP/0.6 = 1.87HP$$

Consumo de energía eléctrica:

$$CE/m^3 = \frac{13.65m \times 1 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ Kw-hr}}{0.6 \times 3.6787 \times 10^5 \text{ kgm}} = 6.18 \times 10^{-2} \text{ Kw-hr/m}^3$$

$$CE \text{ por hora de proceso} = 6.18 \times 10^{-2} \text{ Kw-hr/m}^3 \times 22.57 \text{ m}^3 = 1.40 \text{ Kw-hr}$$

### Bomba No. 3

Características de la tubería.

Material: acero comercial

Diámetro nominal: 3.81cm (1½ plg)

$$A = 13.15 \text{ cm}^2$$

$$D = 4.0894 \text{ cm}$$

Longitud = 11m

ha = 4m

Accesorios: 2 codos de 90°, una válvula de compuerta, una embocadura ordinaria.

Características del fluido.

Melaza tratada de 38.5°Brix (lefdos a 20°C)

Temperatura de operación 80°C

$$d \text{ aprox. a } 80^\circ\text{C} = 1.01 \text{ g/cm}^3$$

$$u \text{ aprox. a } 80^\circ\text{C} = 1.257 \times 10^{-2} \text{ g/cm s}$$

$$Q = 21.712 \text{ l/hr}$$

$$V = \frac{21.712 \text{ m}^3/\text{hr}}{1.315 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1.651 \times 10^4 \text{ m/hr}$$

$$Re = \frac{1.651 \times 10^4 \text{ m/hr} \times 4.0894 \times 10^{-2} \text{ m} \times 1 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3}{4.5252 \text{ Kg/mhr}} = 1.49 \times 10^5$$

$$E/D = 0.0012$$

$$f = 0.0225$$

$$L = 2(1.22\text{m}) + 0.915\text{m} + 0.52\text{m} + 11\text{m} = 14.875\text{m}$$

$$hf = \frac{0.0225 \times 14.875\text{m} \times (1.651 \times 10^4 \text{ m/hr})^2}{4.0894 \times 10^{-2} \text{ m} \times 2.54 \times 10^8 \text{ m/hr}^2} = 8.78\text{m}$$

$$H = 7.96\text{m} + 4\text{m} = 11.96\text{m}$$

$$PT = 21.712\text{m}^3/\text{hr} \times 11.96\text{m} \times 1 \times 10^3 \text{Kg}/\text{m}^3 = 2.59 \times 10^5 \text{Kg}/\text{hr}$$

$$PT = \frac{2.59 \times 10^5 \text{Kg}/\text{hr} \times 1\text{HP}}{2.743 \times 10^5 \text{Kg}/\text{hr}} = 0.95 \text{HP}$$

$$PR = 0.95\text{HP}/0.6 = 1.58 \text{HP}$$

Consumo de energía eléctrica:

$$CE/\text{m}^3 = \frac{11.96\text{m} \times 1 \times 10^3 \text{Kg}/\text{m}^3 \times 1\text{Kw-hr}}{0.6 \times 3.6787 \times 10^5 \text{Kg}} = 5.42 \times 10^{-2} \text{Kw-hr}/\text{m}^3$$

$$CE \text{ por hora de proceso} = 5.42 \times 10^{-2} \text{Kw-hr}/\text{m}^3 \times 21.712 \text{m}^3 = 1.18 \text{Kw-hr}$$

Nota: para manejar melazas de alta viscosidad se emplean bombas rotativas. El material debe ser según el código - A.S.M.E.; accesorios normalizados A.N. o totalmente de bronce T.B. (93).

## A.2 CENTRIFUGA. (94)

Para seleccionar la centrifuga adecuada y conocer el consumo de energía eléctrica, se hicieron pruebas en una centrifuga de laboratorio. La velocidad se relaciona con un factor  $\Sigma$  que puede utilizarse como medio de comparación entre centrifugas. La ecuación núm. ( 7 ) relaciona dos centrifugas que desarrollan la misma función.

$$\frac{Q_1}{\Sigma_1} = \frac{Q_2}{\Sigma_2} \quad (\text{ec. 7})$$

Dónde Q es el gasto volumétrico de alimentación que maneja la centrifuga y  $\Sigma$  es una característica de la centrifuga. La cantidad  $\Sigma$  puede ser determinada para centrifugas comerciales a pesar de que en ciertos casos la determinación requiere métodos de aproximación. Para las centrifugas de rotor se tiene:

$$\Sigma = \frac{\pi w^2 L (r_2^2 - r_1^2)}{g \ln \frac{r_2^2}{r_1^2}} \quad (\text{ec. 8})$$

Dónde:

L = longitud

$r_2 - r_1$  = espesor de la capa líquida

$r_1$  = radio del rotor tubular

$r_2$  = radio del rotor tubular más espesor de la capa líquida

w = velocidad angular

g = aceleración debida a la gravedad

$\pi = 3.1416$

Para las centrifugas de rotor de discos Ambler se obtiene:

$$\Sigma = \frac{2n \pi (r_2^3 - r_1^3) w^2}{3g \tan \Omega} \quad (\text{ec. } 9)$$

Donde:

$n$  = número de espacios entre los discos en la hilera

$r_2, r_1$  = radio exterior e interior de la hilera de los discos

$\Omega$  = el medio ángulo cónico

También existen tablas con valores obtenidos para varios tipos de centrifugas basados en cálculos geométricos como en datos de laboratorio y de planta.

Especificaciones de la centrifuga de laboratorio utilizada:

Super centrifuga de laboratorio Sharples, marca Penwalt -- con rotor tubular de 4.45cm de interior X 18.42cm de largo. 1A tipo abierto. Impulsado con turbina (aire). vel. -- máx. 50,000 rpm. Fuerza centrifuga máxima 62,000 g. Mando: Turbina de aire o vapor. Los modelos de turbinas requieren 35Kg/hr de vapor a 2.86Kg/cm<sup>2</sup> a presión manométrica o -- 0.85m<sup>3</sup>/min de aire a 2.86Kg/cm<sup>2</sup>.

T A B L A No. 21  
PRUEBAS REALIZADAS

PRUEBA	PRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	VELOCIDAD OBTENIDA (RPM)	GASTO (l/min)
EN VACIO	1.2	38,487	---
	1.0	37,932	---
	0.8	36,150	---
	0.6	34,091	---
CON AGUA	1.2	35,500	1.000
	1.0	33,602	0.960
	0.6	26,956	0.870
CON MELAZA	1.2	37,297	0.811
	1.0	37,143	0.714

Nota: la presión máxima obtenida en la línea fue de 1.2Kg/cm<sup>2</sup>

Como se ve en las pruebas para una velocidad de 37,297 rpm. (1.2Kg/cm<sup>2</sup>) se tiene un gasto de 0.811 l/min y extrapolando para sistemas comerciales (Foust pág. 582 tabla 22.1 en la columna de pruebas de centrifuga) para esta velocidad nos da un valor de  $\Sigma$  igual a 2230.

Especificaciones de la centrifuga que se desea correlacionar para conocer el consumo de electricidad:

Centrifuga de rotor de disco marca Westfalia. Para separar líquidos o sólidos no más de 1.5 peso específico. Vel. máx. 7500 rpm. Potencia del motor 1.5Kw. Centrifuga de discos No. 2, 4.76cm  $r_1$  X 14.6cm  $r_2$  en los discos, 52 discos, 35° medio ángulo.

Para este tipo de centrifugas a 6000 rpm. nos da un valor promedio de  $\Sigma$  igual a 134,000 (Foust tabla 22.1). Con el gasto volumétrico de la centrifuga de laboratorio, los valores de  $\Sigma$  de ambas centrifugas para comparar y aplicando la ecuación No. 7 se determina el gasto volumétrico de la

centrifuga de discos No. 2.

$$Q_2 = \frac{Q_1 \Sigma_2}{\Sigma_1}$$

$$Q_2 = \frac{0.811 \text{ l/min} \times 134,000}{2230} = 48.73 \text{ l/min}$$

Como el volumen de melaza que se necesita centrifugar en el proceso es de 22,952 l/h, se requiere de ocho centrifugas de este tipo (o una cantidad menor si son de mayor capacidad) que suman una potencia total de 12 Kw.

### A.3. TRANSPORTADOR MEZCLADOR. (95)

Transportador de arrastre con espiral, clasificador --

Akins ó clasificador Dorr

Potencia aproximada del motor 2.2Kw (3 HP)

Consumo de energía eléctrica por hora de trabajo 2.2Kw-hr

### A.4. MEZCLADOR DE TURBINA O DE IMPULSOR CENTRIFUGO. (96)

Estos equipos se utilizan para mezclar fluidos de alta viscosidad en poco tiempo y a gran capacidad, requiriendo solamente de un motor con una potencia promedio aproximada de 1.5Kw (2 HP).

Consumo de energía eléctrica por hora de trabajo = 1.5Kw-hr

Nota: se supondrá un factor de potencia de 0.8 y estará considerado en el costo del consumo de energía eléctrica.

### B. CALCULO DE LA ENERGIA CALORIFICA UTILIZADA.

Se necesita calentar 22,800Kg/hr de melazas de 40°Brix de 25 a 95°C. El calor específico  $C_p$  en Kcal/Kg °C de la melaza está dado por la ecuación No. 10. (97)

$$C_p = 1 - (0.006 \times \text{°Brix}) \quad \text{---(ec. 10)}$$

y la cantidad de calor  $q$  requerido por la ecuación No. 11

$$q = C_p \Delta t Q \quad \text{---(ec. 11)}$$

Donde:  $\Delta t$  = diferencia de temperaturas ( $t_2 - t_1$ )

Aplicando las ecuaciones Nos. 10 y 11 tenemos:

$$q = [1 - 0.006 (40)] \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} (71^\circ\text{C}) (22,800\text{Kg/hr})$$

$$q = 1,230,288\text{Kcal/hr}$$

Determinación de la cantidad de vapor requerido.

Suponiendo que se utiliza vapor saturado con una presión de 3Kg/cm<sup>2</sup> que posee una temperatura de saturación de -- 132.88°C, una entalpía  $H$  de 650.3Kcal/Kg y un calor latente de condensación de 522Kcal/Kg; se necesitarán entonces:  $1,230,288\text{Kcal/hr}/522\text{Kcal/Kg} = 2,356.87\text{Kg}$  de vapor/hr.

Determinación de la longitud y No. de tubos en el cambiador de calor.

Sustituyendo A en la ecuación No. 12 (98) se puede conocer el área de contacto que se requiere para la transferencia de calor.

$$\Phi = \frac{m C_p}{UA} \ln \frac{t' - t_1}{t' - t_2} \quad (\text{ec. 12})$$

$$A = \frac{m C_p}{U\Phi} \ln \frac{t' - t_1}{t' - t_2} \quad (\text{ec. 13})$$

Donde:

$\Phi$  = tiempo (hr)

m = masa (Kg)

$C_p$  = calor específico en Kcal/Kg°C

U = coeficiente global para la transformación de calor en Kcal/m<sup>2</sup> hr°C

A = área de transferencia de calor en m<sup>2</sup>

t' = temperatura de saturación del vapor

t<sub>1</sub> = temperatura inicial del fluido que se desea calentar

t<sub>2</sub> = temperatura a la que se desea calentar el fluido

Suponiendo:

P = 3Kg/cm<sup>2</sup> con t' = 133°C

t<sub>1</sub> = 24°C

t<sub>2</sub> = 95°C

U = 1000 Kcal/m<sup>2</sup> hr°C

$\Phi$  = 1 hr

$C_p$  = 0.76Kcal/kg°C

m = 22,800Kg

Se tiene:

$$A = \frac{22,800 \text{ Kg} \times 0.76 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}}{1000 \text{ Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C} \times 1 \text{ hr}} \ln \frac{133-24}{133-95}$$

$$A = 18.26 \text{ m}^2$$

y aplicando la ecuación No. 14 se determina la longitud total de los tubos.

$$L = \frac{A}{S} \quad (\text{ec. 14})$$

Donde:

L = longitud total

S = superficie del tubo por m lineal

A = área de transferencia requerida

Suponiendo un diámetro de tubería de 3.81cm (1½ plg) -- que tiene una superficie exterior de 0.1196 m<sup>2</sup>/m.

$$\text{Se tiene: } L = \frac{18.26 \text{ m}^2}{0.1196 \text{ m}^2/\text{m}} = 153 \text{ m}$$

Aplicando estas ecuaciones para diferentes presiones se elabora la tabla No. 22

T A B L A 22

Longitud total de tubería requerida para el cambiador de calor suponiendo diferentes presiones y diámetros.

Presión Kg/cm <sup>2</sup>	Cantidad de vapor requerido. Kg vapor/hr	Área de contacto m <sup>2</sup>	Longitud total de tubería(m) Diámetro de la tubería(cm)			
			1.9	2.54	3.81	5.08
1.0	2,283	50.79	849	637	425	318
2.0	2,339	23.84	399	299	199	150
3.0	2,357	18.26	305	229	153	115
4.0	2,412	15.73	263	197	132	99

Si se elige para este proceso una presión de  $3\text{Kg/cm}^2$  y un diámetro de tubería de 3.81cm (1½ plg) que son caracterís-  
ticas promedio y aplicando la ecuación No. 15 se necesita  
un cambiador de 30 tubos con longitud de 5 metros.

$$\text{No. tubos} = \frac{\text{longitud total}}{\text{longitud por tubo}} \quad (\text{ec. 15})$$

## 4.4. BALANCE GENERAL DE MATERIA Y ENERGIA.

(Base: tratamiento de 10 toneladas de melaza por hora).

## Balance de materia.

## Entrada.

Melaza de 91.2°Brix	10,000 Kg
Agua	32,703 Kg
Acido	<u>494 Kg</u>
Total	43,197 Kg

## Salida.

Melaza tratada diluida a 20°Brix con 12.4% de azúcares	41,830 Kg
Lodos desechados	<u>1,367 Kg</u>
Total	43,197 Kg

## Balance de energia.

Operación	Gasto de energia eléctrica en Kw-hr
Bombeo	3.24
Centrifugación	12.00
Mezclado y agitación	<u>3.70</u>
Total	18.94

Gasto de vapor  
Calentamiento 2.357Kg (1.23X10<sup>6</sup>Kcal)

## 4.4 ESTIMACION DE LA INVERSION TOTAL. ( 99 )

Concepto	Millones de pesos M.N.
Costo estimado del equipo	86.567
Instalación	12.985
Tubería de proceso	29.866
Instrumentación	7.964
Edificios y Estructura	29.866
Equipo auxiliar	4.977
Líneas exteriores	9.955
Ingeniería y supervisión	36.440
Imprevistos	36.440
Factor de tamaño	9.110
	<hr/>
Inversión total	<u>264.170</u>

## 4.4.1 COSTO DEL EQUIPO. (100)

EQUIPO	COSTO	
	Millones de pesos moneda nacional	Dolares
Tanque mezclador Capacidad: 26 m <sup>3</sup> (6870 Gal.) Material: acero inoxidable 304	2.774	9,558
Mezclador de Turbina Potencia: 2.24 Kw (3 HP) Material: acero inoxidable 304	0.616	2,124
Cambiador de calor Area de contacto: 24.34 m <sup>2</sup> (262 pies <sup>2</sup> ) Longitud por tubo: 5.00 m (aprox. 16 pies) Material: tubos de acero inoxidable, coraza de acero al carbón	1.294	4,460
Tanque de reacción con chaqueta y agitación Capacidad: 30 m <sup>3</sup> (7,926 Gal.) Material: acero inoxidable 304	11.557	39,825
Centrifuga para productos químicos orgánicos Capacidad: 2.5X10 <sup>3</sup> Kg/hr de sólidos Material: acero inoxidable 304	33.901	116,820
Tanque enfriador Capacidad: 5 m <sup>3</sup> (1321 Gal.) Material: acero inoxidable	2.034	7,010
Transportador mezclador Capacidad: 2.5X10 <sup>3</sup> Kg/hr de sólidos Material: hierro y acero, con reci- piente de acero	2.049	7,060

Decantador Capacidad: 17 m <sup>3</sup> (4491 Gal.) Material: acero al carbón	7.489	25,806
Bomba centrífuga (no. 1) Capacidad: 12.8 m <sup>3</sup> /hr (56.4 GPM) Carga total: 10.85 m (15.47 psi)	0.328	1,130
Bomba centrífuga (no. 2) Capacidad: 22.6 m <sup>3</sup> /hr (99.4 GPM) Carga total: 13.65 m (19.41 psi)	0.358	1,233
Bomba centrífuga (no. 3) Capacidad: 21.7 m <sup>3</sup> /hr (95.6 GPM) Carga total: 11.96 m (17.03 psi)	0.343	1,181
Tanque horizontal para almacenamiento de ácido sulfúrico oleum (98%) Capacidad: 15 m <sup>3</sup> (3,963 Gal.) Material: acero inoxidable 304	3.082	10,620
Tanque vertical para almacenamiento de melaza de 91.2 °Bx Capacidad: 50 m <sup>3</sup> (13,210 Gal.) Material: acero al carbón	3.257	11,225
Tanque vertical para almacenamiento de melaza tratada de 20 °Bx Capacidad: 280 m <sup>3</sup> (73,976 Gal.) Material: acero inoxidable	14.485	49,914
Cisterna para almacenamiento de agua Capacidad: 200 m <sup>3</sup> (52,840 Gal.) Material: piedra y concreto	<u>3.000</u>	<u>10,338</u>
<b>TOTAL</b>	<b><u>86.567</u></b>	<b><u>298,304</u></b>

Nota: estos valores fueron actualizados de enero de 1982 a abril de 1985, por medio de los índices económicos publicados en la revista Chemical Engineering. El costo incluye flete.  
(101)

El valor del peso frente al dólar controlado es de 290.20 a la fecha del 23 de agosto de 1985.

## 4.5 ESTIMACION DE LOS COSTOS DE OPERACION. (102)

## 4.5.1 Costos directos

a) Material requerido para clarificar 10 toneladas de melaza en una hora.

Concepto	Cantidad	precio unit. (pesos m.n.)	Costo (pesos m.n.)
Acido sulfúrico (98%)	247 Kg	21.50	5,310
Agua	32.7 m <sup>3</sup>	3.30	108
Energía eléctrica	18.94 Kw-hr	6.76	128
Vapor	2,357 Kg	3.45	8,133
Material de mantenimiento	----	----	<u>690</u>
<b>TOTAL</b>			<b><u>14,369</u></b>

b) Mano de obra directa por turno

Operación	No. de operarios	sueldo diario por operario (pesos m.n.)	sueldo mensual total (pesos m.n.)
Dilución y calentamiento	2	1,050	63,000
Adición de ácido y reacción	2	1,050	63,000
Separador centrifugo	2	1,050	63,000
Mezclador y decantador	1	1,050	31,500
Mantenimiento	3	2,000	180,000
Almacenista y proveedor de materiales	2	1,500	<u>90,000</u>
<b>Subtotal</b>			<b>490,500</b>
<b>30% prestaciones</b>			<b><u>147,150</u></b>
<b>Total</b>			<b>637,650</b>

Costo de mano de obra directa por hora. 3,321  
(considerando 192 horas por mes).

#### 4.5.2. Costos indirectos

##### a) Administración y mano de obra indirecta

Concepto	Cantidad requerida	Sueldo mensual (pesos mn.)
Jefe de turno	1	110,000
Secretaria	1	60,000
Laboratorista	1	90,000
Contador	1	<u>110,000</u>
	Subtotal	370,000
	30% Prestaciones	<u>111,000</u>
	Total	481,000

Costo de administración y mano de obra  
indirecta por hora 2,505

##### b) Depreciación

Depreciación anual 4'328,000  
Depreciación por hora 1,727

##### c) Contingencias

En un mes 168,000  
En una hora 875

##### d) Costos de distribución

Debido a que no se conoce cual va a ser el fin inmediato de la melaza tratada y su utilización podrá estar aunada a la misma planta de tratamiento no se puede determinar el costo por este concepto.

Total del costo de operación para tratar 10 toneladas de melaza. (Una hora de operación).

Concepto	Pesos m.n.
<b>Costos directos</b>	
- Material	14,369
- Mano de obra	3,321
<b>Costos indirectos</b>	
- Administración y mano de obra indirecta	2,505
- Depreciación	1,727
- Contingencias	875
- Costos de distribución	---
<b>T O T A L</b>	<b>\$ 22,797</b>

**CONCLUSIONES.**

Analizando los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El método conductimétrico para la determinación de cenizas insolubles ofrece la ventaja de ser una técnica muy confiable y rápida con respecto a los métodos convencionales.
2. El método de fenol-sulfúrico el cual se emplea para la cuantificación de azúcares totales permite la alternativa de poder determinar un gran número de muestras debido a la rapidez del método y brinda resultados equiparables con los que se obtienen con el método de Lane & Eynon.
3. Los métodos de clarificación en los que se obtuvo menor contenido de cenizas son:
  - a) Coprecipitación con sulfato de aluminio
  - b) Adición de ácido sulfúrico
  - c) Sulfitación simple y alcalización
  - d) Alcalización y carbonatación

De estos cuatro métodos de clarificación el de coprecipitación con sulfato de aluminio fue en el que se obtuvieron mejores resultados, pero no debe perderse de vista que su empleo únicamente podrá ser usado para experimentos a nivel laboratorio por la restricción económica del sulfato de aluminio.

En una escala a nivel industrial de clarificación de mieles para su utilización en procesos fermentativos, la técnica de clarificación que ofrece mayores perspectivas de uso debido a la rapidez, minimización de etapas, equipo adicional y costo es el método de adición de ácido sulfúrico.

4. En promedio, no hubo una disminución notable en el contenido de azúcares en la melaza después de los tratamientos.
5. Se propone una planta de tratamiento con una capacidad de 71,280 toneladas por año y su ubicación podrá estar en cualquier Estado de la República que tenga alta producción de melazas (zona centro).

El estimado de la inversión total será de 264 millones de pesos m.n. y el costo de operación de 2,280 pesos m.n. por tonelada de melaza a tratar.

## INDICE DE TABLAS Y GRAFICAS

	pág.
Tabla No. 1 Producción de caña de azúcar en México	5
Tabla No. 2 Exportación de mieles incristalizables de caña	6
Tabla No. 3 Análisis de melaza de caña de azúcar	13
Tabla No. 4 Composición de las melazas	14
Tabla No. 5 Composición de las melazas	15
Tabla No. 6 Melaza de alta prueba	21
Tabla No. 7 Viscosidad y densidad de la melaza - utilizada (40°Bx) a diferentes temperaturas	65
Tablas Nos. 8-11 Resultados del experimento No. 1	68
Tabla No. 12 Resultados del experimento No. 2	71
Tabla No. 13 Resultados del experimento No. 3	71
Tabla No. 14 Resultados de los experimentos Nos. 4, 5, 6, 7, 8 y 9	75
Tabla No. 15 Comparación de resultados entre el método conductimétrico y el método de cenizas sulfatadas	77
Tabla No. 16 Comparación del % de azúcares totales obtenidos por el método de fenol-sulfúrico y el método de Lane & Eynon	78
Tabla No. 17 Relación de la capacidad propuesta con el porcentaje de melazas que podrán ser tratadas en base a la producción anual por entidad federativa	81
Tabla No. 18 Porcentaje de lodos obtenidos después -- del tratamiento con ácido sulfúrico	85
Tabla No. 19 Densidad y viscosidad de la melaza a -- distintas concentraciones y temperaturas (condiciones del proceso)	86
Tabla No. 20 Potencia contra diámetro de tubería	94
Tabla No. 21 Pruebas realizadas en la centrifuga -- experimental	100
Tabla No. 22 Longitud total de tubería requerida para el cambiador de calor suponiendo diferentes presiones y diámetros	104

Gráfica No. 1	Conductividad contra concentración de cloruro de potasio	45
Gráfica No. 2	Curva estándar de sacarosa	49
Gráfica No. 3	Relación de la viscosidad y densidad contra la temperatura	66

## INDICE DE REFERENCIAS

1. Sugar y Azúcar. Marzo 1984, vol.79 No.3, pág.46.
2. Ibid. pág. 48.
3. Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 1973-1982. Secretaría de Programación y Presupuesto.
4. Quintero Ramírez R. Ingeniería Bioquímica. Teoría y aplicaciones. Ed. Alhambra Mexicana. 1ª. Ed. 1981, pág. 175
5. Ibid. pág. 177
6. Galli José Antonio, Viera de Ingle (1977). Pretreatment of molasses to prevent incrustations during distillation. Chemical Abstracts, vol.89, 7950f.
7. Saigal D., Viswanathan L. (1980). Effect of clarification of molasses on alcoholic fermentation. Chemical Abstracts vol.94, 154953r.
8. Acosta Coeto J., Algunas consideraciones sobre agotamiento de mieles finales. II Convención Nacional INIQ, Octubre de 1962.
9. Rodríguez Acosta A., Perdomo Morales A., Manual de los principales métodos analíticos utilizados en la industria azucarera. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba. 1982, pág. 9.

10. Paturau J. Maurice, *By Products of the Cane Sugar Ind.* Elsevier Publishing Company. 1969, pág. 133
11. Calles y López Negrete Héctor, *Desaparición del azúcar invertido de las melazas por medio del metabolismo microbiano para lograr una cristalización posterior de la sacarosa restante.* 1943, Fac. Quim. UNAM, Tesis, pág. 32.
12. *Ibid.* pág. 24-26
13. *Ibid.* pág. 27-28
14. *Op. cit.* Quintero R... pág. 176
15. *Op. cit.* Paturau J... pág. 133
16. *Op. cit.* Paturau J... pág. 134
17. *Op. cit.* Paturau J... pág. 137
18. *Op. cit.* Paturau J... pág. 134
19. Gutierrez Murilló Luis, *Utilización del Tennex para obtención de azúcar blanco directo.* ENCQ UNAM, 1951, Tesis, pág. 17-18
20. *Ibid.* pág. 18-22
21. Spencer-Heade, *Cane Sugar Handbook, ninth edition,* John Wiley & Sons. Inc. New York, London 1963, pág. 83
22. *Idem.*
23. *Ibid.* pág. 86-89

24. Ibid. pág. 95
25. Ibid. pág. 99-101
26. Ibid. pág. 110
27. Hiramoto Toshitaka (1978). Demineralization of molasses by electrodialysis. Chemical Abstracts, vol. 90, 123447s
28. Costa Gómez José Vicente (1977), Method and apparatus - for the demineralization, decalcification and clarification of liquids and flowing slurries. Chemical Abstracts vol.88, 123255m.
29. Raffinerie Tirlemontoise (1976). Treatment of molasses in the sugar industry. Chemical Abstracts, vol.87, - 54843s.
30. Jto. Yushi, Izuho Yoshiaki, Ozawa Osayu, Jan. Kokoi, - (1979). Flocculating agents for molasses. Chemical - Abstracts, vol.92, 43563c.
31. Galli José Antonio, Viera de Ingle Alba (1979). Treatment of cane molasses. Chemical Abstracts, vol.95, 99643h.
32. Navia Zarraluevi Ofelia (1978). Study on the effect of the defecation process variables on the percentage by - volume of muds. Chemical Abstracts, vol.92, 217020r.
33. Heredia Ferraez Gilda, Estudio sobre la determinación - de cenizas por método conductimétrico en azúcares mexicanos. Tesis. ENCQ UNAM, pág. 11-14. 1951
34. Ibid. pág. 19-26

35. Berl-Lunge-Dan's. Métodos de análisis químico Industrial Tomo V, Editorial Labor, S.A. 1948
36. Op. cit. Spencer M... pág. 491
37. Op. cit. Heredia F... pág. 27-28
38. Instructivo del conductímetro. Marca Conductronic, S.A. Modelo CL5
39. Op. cit. Spencer M... pág. 493
40. A.O.A.C., Methods of Analysis, 13 Ed. 1980 pág. 507
41. Idem.
42. Pearson David. The Chemical Analysis of foods. Sixth Edition. J. & A. Churchill London 1970. Pág. 137
43. Op. cit. Rodríguez A...pág. 49
44. Op. cit. AOAC pág. 15
45. Op. cit. AOAC pág. 858
46. Op. cit. AOAC pág: 508
47. Op. cit. Spencer M... pág. 460
48. Op. cit. AOAC pág. 517-518
49. Op. cit. Rodríguez A... pág. 50
50. Op. cit. Spencer M... pág. 461

51. Dunsmore A., Mellet P., Wolff N. (1980) Some factor affecting the Lane and Eynon titration method for determining reducing sugar in sugar products. Chemical Abstracts, vol.93, 222181u
52. Op. cit. Rodrfiguez A... pág. 50,51
53. Van Wazer, Lyons, Kim, Colwell. Viscosity and Flow Measurement. A Laboratory Handbook of Rheology 1963. Interscience Publishers (John Wiley & Sons) pág. 215-218
54. SCAN-Test methods. SCAN-C15:62 Scandinavian pulp, paper and board. Testing Committee. Denmark, Finland, Norway, Sweden. October 1962
55. Op. cit. Spencer M... pág. 490
56. Devillers P. (1979). Precision of various methods for the determination of ashes. Chemical Abstracts, vol. 90, 188869a
57. Op. cit. Rodrfiguez A... pág. 50,65
58. Dubois Michel, Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. and Smith Fred. Colorimetric methods for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry vol. 28, No. 3, March 1956, pág. 350-356
59. Herbert D., Phipps P.J. and Strange R.E. Carbohydrate analysis methods in microbiology. vol 5 B 1971 pág. 265-273

60. Op. cit. Saigal D... vol. 94, 154953r
61. Webb F.C. Biochemical Engineering, D. Van Nostrand Londres 1964, pág. 623, 624
62. Op. cit. Galli J... vol. 95, 99643h
63. Op. cit. Navia Z... vol.92, 217020r
64. Tatarca T. Dominik, Rangel S. José. Situación actual y perspectivas en procesamiento de subproductos de caña de azúcar (VII Convención de Técnicos Azucareros de México, agosto de 1977). Financiera Nacional Azucarera, S.A. pág. 19
65. Lamb A.R. Utilization of Cane Molasses. Pic. Hawaiian sugar planter's. Assn 56th meeting 1936
66. Sha P.Y., Johnson M.J. The interdependence of the constituents of the medium in the citric acid production in culture sumerged. J.Bact 54(161) 1943
67. Gómez Casas Miguel. Adaptación de un equipo de clarificación compuesta al ingenio "Del Mante". Tesis ENCQ UNAM 1946 pág. 44
68. Op. cit. Gutiérrez M... pág. 23
69. Guzmán Méndez Adol. La alcalización fraccionada y varios calentamientos en los jugos de difícil clarificación. Tesis ENCQ UNAM 1947, pág. 3-5
70. Op. cit. Spencer M... pág. 84

71. Op. cit. Gutiérrez M... pág. 23
72. Op. cit. Spencer M... pág. 110
73. Op. cit. Gómez C... pág. 42
74. Op. cit. Gutiérrez M... pág. 24
75. Op. cit. Gutiérrez M... pág. 27
76. Op. cit. Gómez C... pág. 42
77. Op. cit. Gómez C... pág. 41
78. Op. cit. Gutiérrez M... pág. -26
79. Op. cit. Guzmán M... pág. 10-11
80. Op. cit. AOAC pág. 516
81. Op. cit. AOAC pág. 513, 517
82. Op. cit. AOAC pág. 513
83. Dirección General de Normas. Protefnas determinación. Clave F068, 1980, pág. 157
84. Op. cit. Paturau J... pág. 6
85. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. 1973 - 1980 Secretaría de Programación y Presupuesto.
86. Ocon Tojo. Problemas de Ingeniería Química. Tomo I Ed. Aguilar 2a. Ed. pág. 20

87. John H. Perry. Manual del Ingeniero Químico vol. II.  
Pág. 2193 Ed. UTEHA. Traducción en español de la 3a.  
Ed. Inglesa.
88. Idem.
89. A.S. Foust. Principios de operaciones unitarias pág. 684  
5a impresión en español Ed. Continental.
90. Ibid. pág. 677
91. Ibid. pág. 681
92. Ibid. pág. 679
93. Op. cit. J.H. Perry... pág. 2212
94. Op. cit. A.S. Foust... pág. 581
95. Op. cit. J.H. Perry... pág. 1433
96. Ibid. pág. 1890, 1898
97. Meade - Chen. Cane Sugar Hand Book. Ed. Wiley - Interscience  
1977, pág. 368
98. Op. cit. Ocon Tojo... pág. 140
99. Mercamétrica Ediciones S.A.  
Manual para estudios económicos en México 1983-1984 pág. 59
100. Current cost of process equipment (January 1982)  
Chemical Engineering April 5, 1982. Vol. 89 No. 7  
pág. 86 - 116

101. Chemical Engineering. April 19, 1982. Vol. 89 No. 8  
pág. 7; June 10, 1985 Vol. 92 No. 12 pág. 7
102. F.C. Jelen. Cost and Optimization Engineering.  
Sponsored by the American Association of Cost Engineers  
Mc. Graw Hill Book Company 1970. Pág. 301 - 334

## BIBLIOGRAFIA

Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. 1973-1982. Secretaría de Programación y Presupuesto.

Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. 1973-1980. Secretaría de Programación y Presupuesto.

ACOSTA COETO J. Algunas consideraciones sobre agotamiento de mieles finales. II Convención Nacional IMIQ, Oct. 1962.

Association of Official Agricultural Chemist (AOAC). Methods of Analysis, 13a. Ed. 1980.

BERL-LUNGE-DAN'S. Métodos de análisis químico industrial. - Tomo V, Editorial Labor, S.A., 1948.

CALLES Y LOPEZ NEGRETE HECTOR. Desaparición del azúcar invertido de las melazas por medio del metabolismo microbiano para lograr una cristalización posterior de la sacarosa restante. Tesis, Fac. Quím. UNAM, 1943.

COSTA GOMEZ JOSE VICENTE. (1977) Method and apparatus for -- the demineralization, decalcification and clarification of liquids and flowing slurries. Chemical Abstracts, vol. 88, - 123255m.

CHEMICAL ENGINEERING. Mc. Graw Hill Building. Vol. 89 Nos.7,8; Vol. 92 No. 12.

DEVILLERS, P. (1979) Precision of various methods for the determination of ashes. Chemical Abstracts, vol. 90, 188869a.

Dirección General de Normas. Proteínas determinación. Clave F 068, 1980.

DUBOIS MICHEL, GILLES K. A., HAMILTON J.K., REBERS, P.A. and SMITH FRED. Colorimetric method for determination of sugar - and related substances. Analytical Chemistry, vol. 28, No. 3, March 1956.

DUNSMORE A., MELLET P., WOLFF M. (1980) Some factor affecting the Lane and Eynon titration method for determining reducing sugar in sugar products. Chemical Abstracts, vol. 93, 222181u.

FOUST A.S. Principios de operaciones unitarias. Ed. Continental. 5a. Ed. en español.

GALLI JOSE ANTONIO, VIERA DE INGLE ALBA. (1979) Treatment of cane molasses. Chemical Abstracts, vol. 95, 99643h.

GALLI JOSE ANTONIO, VIERA DE INGLE ALBA. (1977) Pretreatment of molasses to prevent incrustations during distillation. -- Chemical Abstracts, vol. 89, 7950f.

GOMEZ CASAS MIGUEL. Adaptación de un equipo de clarificación compuesta al ingenio "Del Mante". Tesis. ENCQ UNAM, 1946.

GUTIERREZ MURILLO LUIS. Utilización del Tennex para obtención de azúcar blanco directo. Tesis. ENCQ UNAM, 1951.

GUZMAN MENDEZ ADOL. La alcalización fraccionada y varios calentamientos en los jugos de difícil clarificación. Tesis. -- ENCQ UNAM, 1947.

HERBERT D., PHIPPS P.J., and STRANGE R.E. Carbohydrate analysis. Methods in microbiology, vol. 5 B 1971.

HEREDIA FERRAEZ GILDA. Estudio sobre la determinación de cenizas por método conductimétrico en azúcares mexicanos. Tesis, - ENCQ UNAM, 1951.

HIMMELBLAU DAVID M. Principios y cálculos básicos de la Ingeniería Química 10a. impresión 1976.

HIRAMOTO TOSHITAKA. (1978) Demineralization of molasses by -- electro dialysis. Chemical Abstracts, vol. 90, 123447s.

JELLEN. F.C. Cost and optimization engineering. Mc. Graw Hill - Book Company 1970.

JTO. YUSHI, IZUHO YOSHIKI, OZAWA OSAYU, JAN. KOKOI. (1979). - Flocculating agents for molasses. Chemical Abstracts, vol. 92 43563c.

KERN DONALD Q. Procesos de Transferencia de calor. CECSA, 13a. Ed. 1979.

KIRK & OTHMER. Enciclopedia, vol. 22, 3a. Ed. John Wiley & -- Sons, 1983.

LAMB A.R. Utilization of cane molasses. Pic. Hawaiian sugar - planter's. Assn 56th meting 1936.

MEADE - CHEN. Cane Sugar Hand Book Ed. Wiley - Interscience -- 1977.

MERCAMETRICA EDICIONES S.A. Manual para estudios económicos en México. 1983 - 1984.

NAVIA ZARRALUEVI OFELIA. (1978) Study on the effect of the defecation process variables on the porcentage by volume of muds. Chemical Abstracts, vol. 92, 217020r.

OCÓN TOJO. Problemas de Ingeniería Química. Tomo I Ed. Aguilar 2a. Ed.

PANCOAST JUNK. Handbook of sugar. Second Edition.

PATURAU J. MAURICE. By products of the cane sugar industry. -- Elsevier Publishing Company 1969.

PAYNE J.H. Sugar cane factory analytical control. (The official methods of the hawaiian sugar technologist). Elsevier Publishing Company, Amsterdam. London. New York. 1968.

PERRY J.H. Manual del Ingeniero Químico. Ed. UTEHA. Traducción al español de la 3a. Ed. Inglesa.

QUINTERO RAMIREZ R. Ingeniería Bioquímica. Teoría y aplicaciones Ed. Alhambra Mexicana. 1a. Ed. 1981.

RAFFINERIE TIRLEMONTAISE. (1976) Treatment of molasses in the sugar industry. Chemical Abstracts, vol. 87, 54843s.

RODRIGUEZ ACOSTA A., PERDOMO MORALES A. Manual de los principales métodos analíticos utilizados en la industria azucarera. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba. 1982.

SAIGAL D., VISWANATHAN L. (1980) Effect of clarification of molasses on alcoholic fermentation. Chemical Abstracts, vol. 94, - 154953r.

SCAN-Test methods. SCAN-C15:62 Scandinavian pulp, paper, and -- board. Testing committee. Denmark, Finland, Norway, Sweden. October 1962.

SHA. P.Y., JOHNSON M.J. The interdependence of the constituents of the medium in the acid production in culture submerged, J. Bact. 54 (161) 1943.

SPENCER-MEADE. Cane sugar handbook. Ninth Edition. John Wiley & Sons. Inc. New York. London. 1963.

Sugar y Azúcar. Marzo 1984, vol. 79, No. 3.

TATARKA T. DOMINIK, RANGEL S. JOSE. Situación actual y perspectivas en procesamiento de subproductos de caña de azúcar. (VII Convención de Técnicos Azucareros de México. Agosto de 1977). Financiera Nacional Azucarera, S.A.

VAN WAZER, LYONS, KIM, COLWELL. Viscosity and flow measurement. A laboratory handbook of rheology 1963. Interscience Publishers (John Wiley & Sons).

WEBB F.C. Biochemical Engineering D. Van Nostrand Londres - 1964.