

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS



**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CLARIFICADOR DE MELAZA PARA
MEJORAR LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA"**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

JOSÉ FRANCISCO MORO PISCO

Tingo María - Perú

- 2012 -



Q02

M79

Moro Pisco, José Francisco

Diseño y construcción de un clarificador de melaza para mejorar los procesos de fermentación alcohólica. Tingo María, 2012

104 páginas.; 44 cuadros; 15 fgrs.; 19 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias..

1. CLARIFICADOR

2. FERMENTACIÓN

3. DISEÑO

4. MELAZA

5. CONSTRUCCIÓN

6. AZÚCAR.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156

Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 30 de marzo de 2012, a horas 05:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por el Bach. **MORO PISCO JOSÉ FRANCISCO**, titulada:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CLARIFICADOR DE MELAZA PARA MEJORAR LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA”

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**; en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 30 de marzo de 2012

Ing. Washington Paredes Pereda
Presidente



Ing. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Miembro

Ing. Sergio Rodríguez Rubio
Miembro

Ing. Williams Roldan Carbajal
Asesor

DEDICATORIA

A mi Madre: Lolita Pisco.

A todas aquellas personas que

tienen sueños y quieren

dejar su huella en el tiempo.

Para la reina de mi reino, que
diariamente en el silencio es el frenesí
de mis anhelos y encantos.

AGRADECIMIENTO

- Al Ex Rector de la UNAS, excelentísimo Dr. Cesar Augusto Mazabel Torres y esposa Sra. Berthita Castre de Mazabel, porque ambos me dieron el apoyo integral y el seno de su hogar para hacer realidad mi anhelo esperado y por haberme dado los verdaderos lineamientos para mi formación personal y profesional, a través de sus apreciados consejos.
- Al Presidente del Directorio del Consorcio TELESUP y actual Congresista de la Republica (2011-2016) Dr. José Luna Gálvez, por darme el apoyo moral y material en la realización del presente estudio.
- Al Ing. William Roldan Carbajal, docente de la FIIA-UNAS y asesor del presente trabajo de investigación.
- A la Ing. Yolanda Ramírez Trujillo, docente de la FIIA-UNAS, por su ayuda en el desarrollo y culminación de la Tesis.
- Al Ing. Feliciano Bernui Paredes, docente de la Facultad de Ingeniería Química de la UNT y co-asesor del presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Juan Rodríguez Saavedra, Ingeniero de turno de la fábrica azucarera Casa Grande y co-asesor del presente estudio de investigación.
- Al 1er. Maestro Jefe de Mecánica: Sr. Pablo Flores; QEPD y QDDG.
- Al personal técnico y obrero de la Empresa Agroindustrial Casa Grande SAA, Gerente de Fabrica, Jefe de Producción, Jefe de calderos, Ingenieros de turno, Jefe de destilería, Jefe de Análisis de caña de azúcar, Jefe del taller de mecánica y al Jefe de laboratorio de Producción Azucarera.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
I. INTRODUCCION	01
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	03
2.1. Generalidades.....	03
2.2. Importancia de Azúcar	04
2.3. Proceso de elaboración de azúcar.....	07
2.4. Proceso de elaboración de alcohol etílico	11
2.5. Definición de los términos básicos en la producción alcohólica	13
2.6. Métodos de clarificación para la melaza	16
2.7. Equipos utilizados en la clarificación del jugo crudo de caña de azúcar	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Lugar de Ejecución	19
3.2. Materia Prima.....	19
3.3. Materiales, equipo y reactivos.....	19
3.3.1. Materiales de vidrio	19
3.3.2. Equipos de laboratorio	20
3.3.3. Material de Construcción.....	20

3.3.4. Equipos de construcción	20
3.3.5. Reactivos y soluciones.....	20
3.4. Metodología Experimental.....	21
3.4.1. Clarificación de melaza en el laboratorio o primera etapa	21
3.4.2. Diseño del clarificador o segunda etapa	22
3.4.3. Construcción de clarificador o tercera etapa	23
3.4.4. Prueba del clarificador construido o cuarta etapa	23
3.5. Métodos de análisis.....	24
3.5.1. Determinación de la humedad de lodos.....	24
3.5.2. Determinación del pH de melaza diluida (MD), melaza clarificada (MC) y lodos (L)	25
3.5.3. Determinación del Brix de melaza diluida (MD), melaza Clarificada (MC) y lodos (L).....	25
3.5.4. Determinación de azúcares reductores (AR)	25
3.5.5. Determinación de la absorbencia para la melaza	26
3.5.6. Determinación del porcentaje del Calcio (Ca) en melaza	27
3.5.7. Determinación del porcentaje del Magnesio (Mg) en melaza	28
3.5.8. Velocidad de deposición de partículas en Sedimentación (V)	29
3.5.9 Densidad de la partícula (ρ_p)	31
3.5.10 Cantidad o caudal de agua caliente necesaria (QM_{AC}) para diluir otra cantidad o caudal de melaza bruta (QM_{MB}).....	32
3.5.11 Área necesaria de sedimentación de lodos (A)	32

3.5.12	Tiempo de retención o detención de la melaza diluida en el clarificador (t_R).....	34
3.5.13	Tiempo de llenado del Clarificador (T).....	34
3.5.14	Volumen ocupado por los lodos en el clarificador (V_L).....	34
3.5.15	Volumen de melaza clarificada (V_{MC}) en el clarificador utilizando melaza diluida a pH natural en el tiempo (θ).....	35
3.5.16	Rebose del caudal másico de melaza clarificada (Q_{MC}^M) a un Brix y temperatura determinada en el tiempo (θ)	37
3.5.17	Altura teórica del clarificador ($h_{Teorica}$)	38
3.5.18	Altura total del clarificador (A_{Total})	39
3.5.19	Peso de lodos (Kg) por peso de melaza diluida (TM).....	39
3.6	Diseño experimental	40
3.7	Modelo matemático	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1	De la clarificación de melaza en el laboratorio ó primera etapa	42
4.1.1	Evaluación de Lodos	42
4.1.2	pH y Brix.....	42
4.1.3	Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores Totales (ART).....	45
4.1.4	Color y turbidez	47
4.1.5	Contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)	48
4.1.6	Volumen de Lodos	49

4.2	Análisis de varianza – ANVA.....	53
4.2.1	Prueba de Tuckey.....	54
4.2.2	Niveles de factores.....	55
4.3	Del diseño del clarificador o segunda etapa.....	56
4.3.1	Diagrama de flujo del diseño del clarificador.....	56
4.3.2	Velocidad de deposición de las partículas en la Sedimentación (V).....	57
4.3.3	Caudal de agua caliente necesaria (QM_{AC}), para diluir otra cantidad o caudal de melaza bruta(QM_{MB}).....	59
4.3.4	Área necesaria de sedimentación de lodos del Clarificador (A)	64
4.3.5	Tiempo de retención o detención de la melaza diluida en el clarificador(t_R)	65
4.3.6	Tiempo de llenado del clarificador (T).....	65
4.3.7	Volumen ocupado por los lodos en el clarificador (V_L).....	65
4.3.8	Volumen obtenido de melaza clarificada (V_{MC}) en el clarificador utilizando melaza diluida a pH Natural en el tiempo (θ)	67
4.3.9	Rebose del caudal másico de melaza clarificada ($QM_{MC}^{°Bx-T}$) a un brix y temperatura determinada en el tiempo (θ)	69
4.3.10	Altura teórica determinada del clarificador ($h_{Teorica}$).	69

4.3.11	Altura total del clarificador (A_{Total}).....	69
4.3.12	Peso de lodos (kg) por peso de melaza diluida (TM)	70
4.4	De la construcción del clarificador ó tercera etapa.....	71
4.5	De la prueba del clarificador construido	75
4.5.1	Prueba del clarificador con melaza diluida a 40°Bx ó	
	1ª prueba.....	75
4.5.1.1	Cálculo del caudal másico de alimentación	
	Con melaza diluida (QM_{MD})	76
4.5.2	Prueba del clarificador con melaza diluida a 50°Bx ó	
	2ª Prueba	81
4.5.2.1	Cálculo del caudal másico de alimentación con	
	melaza diluida (QM_{MD}).....	81
4.5.3	Prueba del clarificador con melaza diluida a 60°Bx ó	
	3ª prueba.....	85
4.5.3.1	Calculo del caudal másico de alimentación con	
	melaza diluida (QM_{MD}) al clarificador construido ...	85
4.5.4	Resultados totales de: 1ª Prueba, 2ª Prueba y de la	
	3ª Prueba	89
V.	CONCLUSIONES	96
5.1	Respecto a la clarificación de melaza en el laboratorio ó primera	
	Etapas	96
5.2	Respecto al diseño del clarificador ó segunda etapa	97
5.3	Respecto a la construcción del clarificador ó tercera etapa	97

5.4 Respecto a la prueba del clarificador ó cuarta etapa	97
VI. RECOMENDACIONES	98
VII. BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXO	101

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Producción mundial de azúcar y melaza	05
2. Producción mundial de azúcar	05
3. Producción de azúcar de Casa Grande SAA	06
4. Volumen ocupado por los Lodos	35
5. Tiempo (días) para que los lodos obtengan un volumen (m ³) equivalente a los 1/3 de Altura para diferentes diluciones (°Bx) de dos caudales de alimentación de melaza diluida(TM/día)	36
6. Factor de Rebose (K) a pH Natural	38
7. Resultados de Lodos: Peso (g/100mLMD°Bx-20°/20°C), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida (MS/°BxMD) y Kg por Tonelada Métrica de Melaza diluida (Kg/TM. MD°Bx-20°/20°C), proveniente de Melaza Clarificada MC)	43
8. pH y °Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L) ...	44
9. Azúcares Reductores y Azúcares Reductores Totales en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)	46
10. Color y Turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC)	47
11. Contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (g/100mL) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L) y porcentaje de Reducción o Merma obtenida para el Calcio	48

12. Volumen de lodo a 40° Bx, pH = 5,8 (Natural)	50
13. Volumen de lodo a 40° Bx, pH = 5,0	50
14. Volumen de lodo a 40° Bx, pH = 4,5	50
15. Volumen de lodo a 50° Bx, pH = 5,8 (Natural)	51
16. Volumen de lodo a 50° Bx, pH = 5,0)	51
17. Volumen de lodo a 50° Bx, pH = 4,5	51
18. Volumen de lodo a 60° Bx, pH = 5,8 (Natural)	52
19. Volumen de lodo a 60° Bx, pH = 5,0	52
20. Volumen de lodo a 60° Bx, pH = 4,5	52
21. Pruebas realizadas del Peso de Lodos provenientes de Melaza	
Clarificada (MC)	53
22. Análisis de Variancia: Diseño Factorial	54
23. Resultado de la prueba de Tuckey.....	55
24. Resultados de Lodos: Peso (g/100mL MD°Bx-20°/20°C), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida (MS/°BxMD) y Kg por Tonelada Métrica de Melaza diluida(Kg/TM. MD°Bx-20°/20°C), proveniente de Melaza Clarificada (MC)	79
25. Resultados de pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)	79
26. Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)	80
27. Color y turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).....	80
28. Calcio y Magnesio (g/100mL) en Melaza diluida (MD), Melaza	

Clarificada (MC) y Lodo (L), porcentaje de reducción en calcio	80
29. Lodos: Peso (g/100mL MD°Bx-20°/20°C), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida(MS/°BxMD)y Kgpor Tonelada Métrica de Melaza diluida(Kg/TM MD°Bx-20°/20°C).....	83
30. pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).....	83
31. Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)	84
32. Color y turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).....	84
33. Resultados de Calcio y Magnesio (g/100mL), en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), así como el porcentaje de reducción o merma obtenida para el Calcio.....	84
34. Peso (g/100mL MD°Bx-20°/20°C), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida (MS/°BxMD) y Kg/ Tonelada métrica de Melaza diluida (Kg/TM. MD°Bx-20°/20°C), proveniente de Melaza Clarificada	88
35. pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos	88
36. Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)	88
37. Color y turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).....	89
38. Calcio y Magnesio (g/100mL), en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), así como el porcentaje de reducción o merma obtenida para el Calcio	89
39. Resultados de Lodos: Peso (g/100mL MD°Bx-20°/20°C), Humedad (%),	

Materia Seca/Brix de Melaza diluida (MS/°BxMD) y Kg por Tonelada	
Métrica de Melaza diluida (Kg/TM. MD°Bx-20°/20°C), proveniente de Melaza Clarificada	90
40. Resultados de pH, Brix en Melaza diluida (MD), melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)	91
41. Resultados de Azúcares Reductores (AR) y Azúcares Reductores Totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).....	92
42. Resultados de Color y Turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC)	93
43. Resultados de Calcio y Magnesio (gr/100mL), en melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), así como el porcentaje de reducción o merma obtenida para el Calcio.....	94
44. Balance total de materia y energía en el Clarificado diseñado y construido, para las tres Pruebas	95

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Diagrama de Flujo del proceso de elaboración azúcar rubia y refinada en la Empresa Agroindustrial Casa Grande SAA	10
2 Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de alcohol etílico en la Empresa Agroindustrial Casa Grande SAA	12
3 Diagrama de flujo del diseño del clarificador	23
4 Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida (MD) a: 50°Bx – 85°C – pH= 5,8 (Natural)	60
5 Alimentación de Melaza diluida (MD), descarga de Melaza Clarificada (MC) y descarga de Lodos (L), a un Brix y temperatura determinada	61
6 Medidas del Clarificador de Melaza	62
7 Medidas proporcionales del clarificador	66
8 Diagrama de flujo de la construcción del clarificador	72
9 Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida (MD) a: 40°Bx – 95°C – pH= 5,0.....	76
10 Mediciones del Clarificador de Melaza	77
11. Alimentación de MD con descarga de MC y L.....	78
12. Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida(MD) a: 50 °Bx – 85 °C – pH= 5,8 (Natural).....	81
13. Alimentación de MD con descarga de MC y L.....	82
14. Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida.....	85
15. Alimentación de MD con descarga de MC y L.....	86

RESUMEN

El objetivo del presente estudio consistió en diseñar y construir un clarificador de melaza para mejorar el proceso de fermentación alcohólica en la destilería Casa Grande, planteándose los siguientes objetivos específicos: Evaluar la clarificación de la melaza en el laboratorio, diseñar y construir un clarificador de melaza, evaluar la descarga de melaza clarificada y de lodos en el clarificador de melaza construido.

El trabajo se realizó en cuatro etapas fundamentales, en la primera etapa, se observó que el volumen del lodo formado y el decantado tuvo éxito a los 60 minutos a concentración de 50°Bx o sea a la mitad del tiempo necesario para la decantación a concentraciones de 60°Bx y 40°Bx. En la segunda etapa se determinó la velocidad de deposición de partículas en la sedimentación, el caudal de agua caliente para diluir otro caudal de melaza bruta, el volumen obtenido de melaza clarificada en el clarificador y la obtención del peso de lodos por peso de melaza diluida. La tercera etapa consistió en la construcción del clarificador según los datos obtenidos en la segunda etapa. Finalmente, la cuarta etapa consistió en someter a prueba el funcionamiento del clarificador, donde se obtuvo resultados de clarificación de melaza muy semejantes a lo obtenido en el laboratorio ó primera etapa.

Por tanto, después de realizar el presente estudio se recomienda lo siguiente: La clarificación de melaza debe realizarse a 50°Bx, 85°C y pH=5,8

(Natural), la poza de recepción de melaza debe ser techada para evitar la contaminación de cenizas y bagacillo provenientes de los calderos de fábrica, se debe efectuar el lavado de lodos al ser evacuados de los clarificadores, es decir hacer una segunda clarificación de lodos, por tener aún la presencia de azúcares y finalmente construir los clarificadores necesarios para la destilería Casa Grande SAA de acuerdo al diseño establecido para poder consumir la melaza recepcionada en la poza, la que es enviada diariamente por la fábrica azucarera.

I. INTRODUCCIÓN

La fábrica azucarera Casa Grande proporciona melaza bruta a la destilería Casa Grande en un promedio de 500 TM/día, equivalente al 4% de caña molida, la que es recepcionada en una poza con capacidad de 8999,467 m³/día. La destilería Casa Grande, no tiene un clarificador de melaza apropiado desde su fundación hace 21 años, el proceso de clarificación se realiza en forma desordenada en depósitos cilíndricos y sin criterio técnico alguno, donde la presencia de impurezas en la melaza no permite la fermentación total de azúcares.

En el mercado solamente existen clarificadores de jugo crudo de caña de azúcar, mas no de melaza y se ha observado que debido a la ausencia de un apropiado clarificador de melaza en la destilería Casa Grande, se tiene la pérdida de azúcares fermentecibles y no se logra un rendimiento óptimo en la producción de Alcohol Etílico Rectificado Extra Fino (AREF) y Alcohol Rectificado Fino (ARF).

La melaza se caracteriza por tener sales de calcio y magnesio y su contenido de agua es bajo, contiene tierra, arena, bagacillo, gomas, ceras, proteínas y otros elementos que en conjunto son elevadamente nocivos a la fermentación alcohólica. Las sales de calcio y magnesio ocasionan incrustación en las columnas de destilación; en ese sentido una de las formas

de mejorar los procesos de fermentación alcohólica sería diseñar y construir un clarificador de melaza.

Las destilerías alcohólicas existentes en el sector no cuentan con clarificador de melaza; la fermentación alcohólica se realiza sin tener en cuenta las condiciones necesarias para el desarrollo de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), agente microbiano que desdobra los azúcares de la melaza, en alcohol etílico. Contando con un clarificador de melaza, se lograría un óptimo proceso de clarificación, disminuyendo el contenido de impurezas, tanto de cenizas, calcio y magnesio, como también se recuperarían los azúcares contenidos en la melaza para facilitar una óptima fermentación alcohólica.

Por lo expuesto, se trazó como objetivo del presente estudio: diseñar y construir un clarificador de melaza para mejorar el proceso de fermentación alcohólica en la destilería Casa Grande, planteándose los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la clarificación de la melaza en el laboratorio.
- Diseñar y construir un clarificador de melaza.
- Evaluar la descarga de melaza clarificada y de lodos en el clarificador de melaza construido.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades

EMPRESA AGROINDUSTRIAL CASA GRANDE S.S.A. (2009) menciona que la melaza es un líquido de color marrón oscuro, sub producto de la fabricación de azúcar, que contiene alta sacarosa y todos los productos originales de jugo de caña de azúcar purificado y también aquellos formados durante el procesamiento. Su composición está en función de muchos factores, tales como: la naturaleza de materia prima (caña de azúcar), la calidad de materia prima, específicamente la variedad, maduración, cosecha, tratos culturales, etc.; proceso de fabricación de azúcar (molienda, clarificación, evaporación, etc.); tipo de azúcar producido; tiempo de conservación y otros.

Asimismo, menciona que la melaza tiene una composición bastante variable y se constituye actualmente en materia prima de larga aplicación industrial por el número de productos del que pueden ser obtenidos. Entre tanto una de las mejores aplicaciones de la melaza es en la fermentación alcohólica y es bastante conocida la notable influencia de los diversos componentes de la melaza, tanto también la calidad del producto final.

Según GRANCELLI (2003), las impurezas presentes en la melaza no permiten la fermentación total de azúcares y la clarificación se puede utilizar en el proceso de fermentación alcohólica, teniendo por finalidad en obtener

mejorías en el proceso productivo y reducir las incrustaciones en las columnas de destilación, además afirma, que es incuestionable que a través de distintos métodos de clarificación, es posible remover algunos componentes indeseables; teniendo en cuenta a que pueda ocurrir: el aumento de la cantidad de ácidos volátiles, perjudiciales a los microorganismos; la destrucción de azúcares por las elevadas temperaturas; la remoción de sustancias necesarias al crecimiento de los microorganismos; etc.

Según EMPRESA AGROINDUSTRIAL CASA GRANDE S.A.A. (2009), con respecto a la destilería Casa Grande, indica que existen muchas causas contrarias en su mejora productiva, ya que la toma de decisiones depende de la administración de la fábrica azucarera y en el seno del personal técnico existe una total incertidumbre en la toma de acciones y decisiones, debido a la polarización de ideas por haberse politizado el buen manejo administrativo y productivo.

2.2. Importancia del azúcar

Según HONIG (1991), el azúcar es un producto básico, obtenido en gran número de países y consumido por casi todos los habitantes de nuestro planeta, además en 1880 la producción azucarera mundial se elevaba a 3 millones de toneladas aproximadamente, tiempo en el que era un producto reservado a las personas con nivel de vida elevado. Además afirma que desde principios del siglo XX, la producción azucarera ha aumentado en un 460% y la producción mundial de azúcar se ha desarrollado en proporciones muy importantes, tal como se observa en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Producción mundial de azúcar y melaza

MUNDO	Producción		Consumo		Melaza
	2008/09	2007/08	2008	2009	2009
	(millones de toneladas, valores en bruto)				
	141,1	144	143,3	144,8	22,576
Países en desarrollo	99,5	101,3	95,4	96, 2	15,92
América Latina y el Caribe	47	47,8	25,7	26,1	7,52
África	5,1	5,3	8	8,1	0,816
Cercano- Oriente	5,3	5,7	10,8	11	0,848
Lejano Oriente	41,7	42,1	50,8	50,9	6,672
Oceanía	0,4	0,4	0,1	0,1	0,064
Países desarrollados	41,7	42,7	47,9	48,6	6,672
Europa	20,9	21,8	20,5	20,3	3,344
Oceanía	5,1	5,2	1,4	1,4	0,816
Otros países	3,3	3,5	4,4	4,3	0,528
de la cual:					
Sudáfrica	2,4	2,6	1,6	1,6	0,384

Fuente: FAO <http://www.fao.org/docrep/007/i3877s/i3877s12.htm>

Cuadro 2. Producción mundial de azúcar.

AÑO	PRODUCCIÓN MUNDIAL (TM)
1900 - 1901	12 175 700
1925 - 1926	23 758 502
1950 - 1951	33 576 389
1968 -1969	68 800 859
1990 - 1991	146 720 812

Fuente: Honig (1991).

Según EMPRESA AGROINDUSTRIAL CASA GRANDE S.A.A. (2009), la industria azucarera ocupa un lugar muy importante dentro de la economía nacional, teniendo como sub productos: bagazo, cachaza y melaza.

En el Cuadro 3 se indica la producción anual de azúcar en Casa Grande.

Cuadro 3. Producción de azúcar de Casa Grande S.A.A.

AÑO	AZÚCAR	MELAZA (TM)
1983	100 956	82 145
1984	151 743	80 326
1985	187 060	79 935
1986	158 480	78 629
1987	113 225	54 933
1988	127 892	60 243
1989	135 849	62 167
1990	134 474	53 841
1991	119 201	48 291
1992	94 335	42 872
1993	86 556	40 380
1994	144 500	57 615
1995	169 205	70 354
1996	146 786	65 348
1997	147 845	76 060
1998	96 988	65 011
1999	115 562	55 228
2000	117 107	49 988
2001	95 457	37 439
2002	164 340	59 895
2003	166 742	63 345
2004	95 213	38 570
2005	114 476	42 735
2006	134 763	49 426
2007	165 967	60 620
2008	215 831	75 784
2009	233 446	87 456

Fuente: Empresa Agroindustrial Casa Grande SAA, (2009).

2.3. Proceso de elaboración de azúcar

Según CAP-Casa Grande (2000), el azúcar se obtiene a través de la caña de azúcar con la adición de ciertas sustancias químicas como agentes clarificantes y métodos físicos para el tratado de los parámetros controlables dentro del proceso.

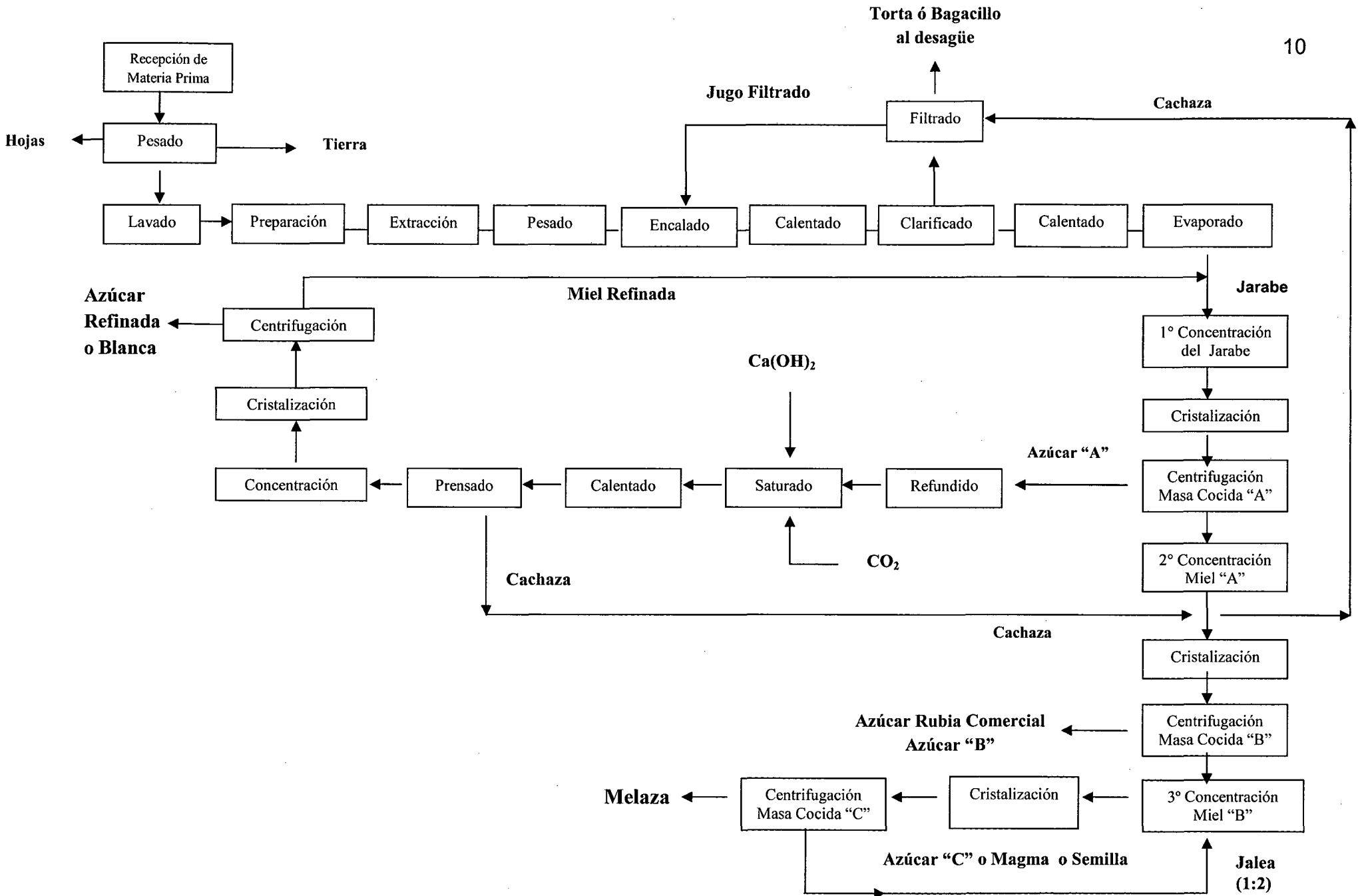
El flujo del proceso de elaboración de azúcar se indica en la Figura 1 y se describe a continuación:

- **Recepción de la materia prima:** se recibe en dos mesas accionadas por fajas metálicas, trasladando la caña a su preparación para el proceso.
- **Preparación de la caña:** se realiza mediante dos sistemas de preparación adecuados para la extracción de jugo: Preparación de caña para los Trapiches y preparación de caña para el Difusor.
- **Extracción de jugo:** se hace en los trapiches y es realizado por molienda a través de cinco molinos, además se hace por el difusor, utilizando agua caliente a 80°C; el mismo que es utilizado como agente de imbibición, hasta conseguir una extracción del 96% de sacarosa.
- **Pesado del jugo:** realizado con el objeto de hacer el balance de materia respectiva.
- **Encalado y calentado del jugo crudo:** realizado con lechada de cal Ca(OH)_2 para neutralizar el pH e impedir la inversión de los jugos alcalinos, luego es calentado con la finalidad de acelerar la reacción de los jugos alcalinos. Donde los azúcares reductores, en especial las hexosas sufren una reacción de conversión en sustancia, tales como la d-manosa.

- **Clarificado del jugo crudo:** la adición de floculantes a temperatura de 104°C y movimiento rotatorio, facilita la precipitación de las impurezas.
- **Calentamiento del jugo clarificado:** el jugo es llevado a una temperatura de 120°C a 2 atm., de presión de vapor, calentándose para facilitar la evaporación.
- **Evaporación del jugo clarificado**
- **Pre evaporación:** efectuado a 120 °C y 2 atm de presión de vapor, el jugo ingresa a 13 °Bx y es concentrado hasta 26 °Bx.
- **Evaporación por simple efecto:** efectuado a 120 °C y 1 atm de presión de vapor, el jugo entra a 26 °Bx y es concentrado hasta 38 °Bx
- **Evaporación por triple efecto:** efectuado a 80°C y 0,3 atm., depresión de vapor y un vacío de 0,8 atm, el jugo entra a 38°Bx y es concentrado a 55°Bx.
- **Concentración del jarabe:** se realiza en los Tachos o Vacumpanes, obteniéndose una masa cocida "A". El jugo convertido en jarabe ingresa a 55 °Bx y sale a 94 °Bx, utilizando una temperatura de 130 °C, 1 atm de presión de vapor y 0,8 atm. de vacío.
- **Cristalización del jarabe:** fenómeno que se produce por la sobre saturación del jarabe al momento de cristalizarse la sacarosa.
- **Centrifugación de la Masa Cocida "A":** 1470 RPM por 1'30", obteniéndose un azúcar "A" que luego es refundida para la obtención del azúcar refinada y una miel "A", la que es utilizada como alimentación para la masa cocida "B".
- **Concentración de la Miel "A":** se efectúa en los tachos o vacumpanes. La Miel "A" entra a 65 °Bx y sale a 95 °Bx, realizándose a 60 °C, 1 atm de

presión de vapor y 0,7 atm de presión de vacío, obteniéndose una Masa Cocida "B".

- **Cristalización de la Miel "A":** se cumple el mismo fenómeno que en la cristalización del jarabe, con la diferencia que se obtiene una masa cocida "B" en los tachos o vacumpanes.
- **Centrifugación de la Masa Cocida "B":** se realiza a 1470 RPM por 1'30", obteniéndose un azúcar rubia comercial y una Miel "B" que sirve como alimentación para la Masa Cocida "C".
- **Concentración de la Miel "B":** se efectúa en los tachos o vacumpanes. La Miel "B" entra a 68 °Bx y sale a 100 °Bx, realizándose a 60 °C y 1 atm de presión de vapor, obteniéndose una Masa Cocida "C". En esta tercera concentración la adición de Jalea (azúcar impalpable y alcohol de 95 °GL; 1:2) es de mucha importancia para la ayuda de la formación del grano.
- **Cristalización de la Miel "B":** se cumple el mismo fenómeno que en la cristalización del jarabe, con la diferencia que se obtiene una Masa Cocida "C" en los tachos o vacumpanes.
- **Centrifugación de la Masa Cocida "C":** es de trabajo continuo e independiente. Se realiza a 1470 RPM donde se separa el grano (Azúcar "C") y la Melaza. El azúcar "C" o Magma, sirve como semilla y la melaza (Miel "C" o Miel Final o Miel Tercera), va hacia el Alambique o Destilería con 83 °Bx ó 84 °Bx.



2.3. Proceso de elaboración del alcohol etílico

Según RODRÍGUEZ (2003), el alcohol etílico es obtenido en tres etapas mediante vía fermentativa, utilizando melaza. En la Figura 2 se describe el flujo del proceso de elaboración de alcohol etílico y describe a continuación:

- **Clarificación de la Melaza:** se realiza a través de clarificadores primarios y secundarios, donde en los primeros se obtiene por rebose la Melaza Clarificada, mientras en los segundos se obtiene Agua Dulce que retorna al proceso. Es notable la influencia de la calidad de la melaza clarificada, tanto en el rendimiento del proceso, como también en la calidad del producto final.
- **Fermentación Alcohólica:** se realiza previa pre fermentación en cubas de tratamiento, donde la levadura o fermento es tratado con agua ácida, pH corregido, inyección de aire (oxígeno), agitación constante y adición de nutrientes necesarios para una buena estabilización y reproducción de levadura.
- **Destilación Alcohólica:** realizada a través de cinco (05) columnas:
 - 1ra columna, llamada depuradora de vino y agotadora de vino.
 - 2da columna, llamada Hidroselectora de contaminantes volátiles y concentradora de cabeza o alcohol de segunda.
 - 3ra columna, llamada Agotadora de Flegma.
 - 4ta columna, llamada Rectificadora Alcohólica.
 - 5ta columna, llamada Desmetanizadora alcohólica rectificada final.

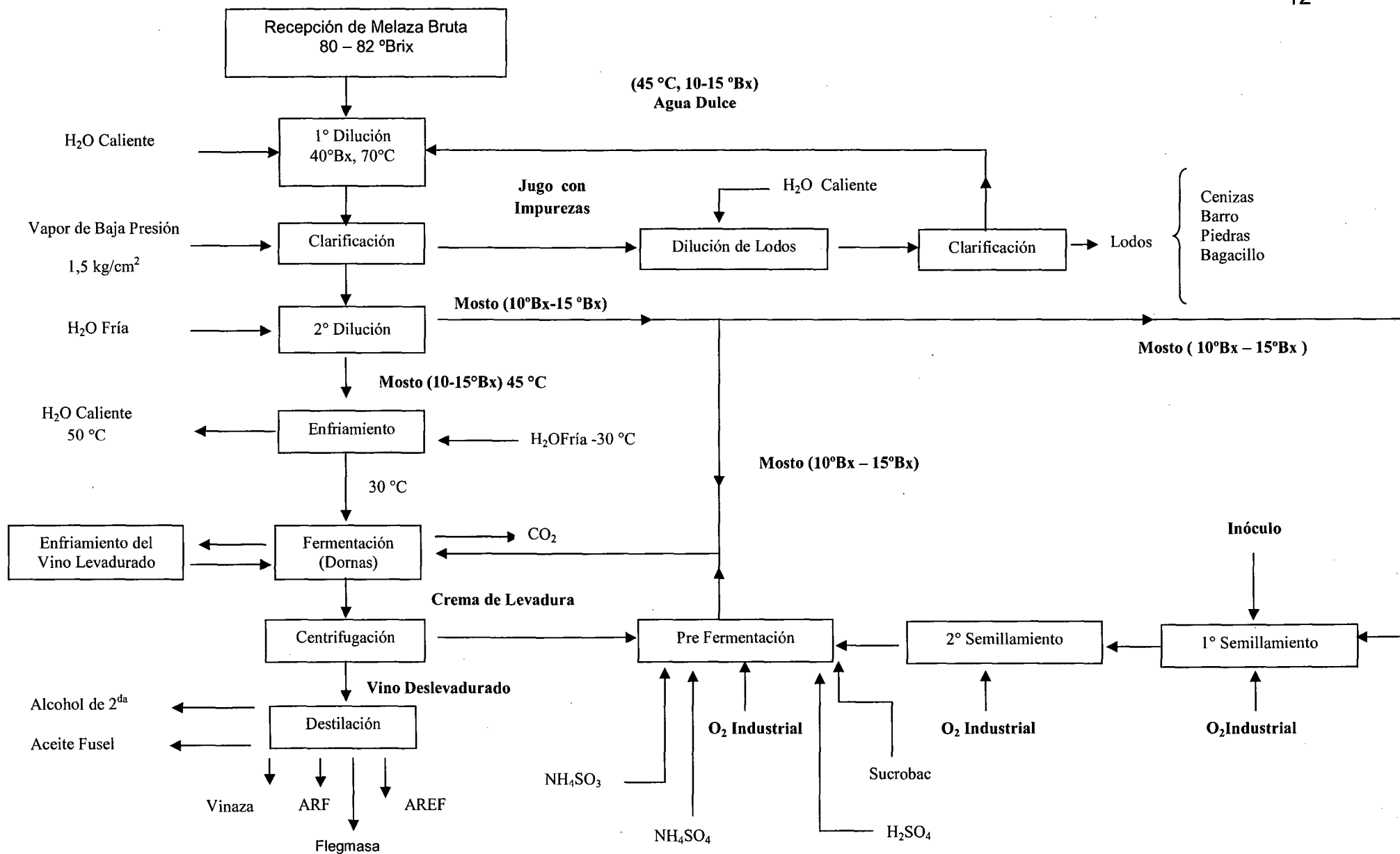


Figura 2. Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de alcohol etílico en la Empresa Agroindustrial Casa Grande S. A. A.

2.4 Definición de los términos básicos en la producción alcohólica

Según ZANINI (1990), se tiene:

- **Agua caliente:** agua fría después de recibir una inyección de vapor de baja presión o de contrapresión.
- **Agua dulce:** agua obtenida del proceso de clarificación de lodo de melaza teniendo una pequeña cantidad de azúcar.
- **Agua fría:** agua sin recibir tratamiento a ser utilizada en el proceso para limpieza o refrigeración de los equipos.
- **Aire comprimido u oxígeno industrial:** aire captado de la atmósfera y comprimido para la oxigenación en los pre-fermentadores y semilleros.
- **Ácido sulfúrico:** producto químico utilizado para la corrección del pH, en la clarificación de la melaza y en la pre-fermentación.
- **Aceite Fusel:** es la mezcla hidroalcohólica con un contenido alto en alcohol amílico. Se concentra en las primeras bandejas de la columna.
- **Rectificado Extrafino (AREF):** es el producto de la concentración de las flemas de rectificación y en tope de la columna Hidroselectora.
- **Alcohol de Segunda o Ron de Quemar:** también es llamado alcohol de cabeza o alcohol de mal gusto. Es la mezcla líquida extraída del proceso con alto contenido de contaminantes como; aldehídos, ésteres, acetatos, etc. tiene la concentración de 90- 92°GL y su color es amarillo.
- **Alcohol Rectificado Fino (ARF):** es el producto de la concentración de flegmas purificadas, su punto de extracción del proceso es en la zona superior de la columna rectificadora.

- **Alcohol:** gomas purificadas, con bajo contenido de contaminantes y metanol. Su punto de extracción del proceso es en la base de la columna de desmetanización.
- **Azúcares Reductores (AR):** cuando la caña se empieza a fermentar produce estos azúcares, perdiendo sacarosa (INVERSION). Estos azúcares (fructosa y glucosa) tienen una peculiaridad de ser los Azúcares Reductores.
- **Azúcares Reductores Totales (ART):** se denomina a la glucosa, fructosa, lactosa y maltosa. Invierten a la Sacarosa en varias etapas: Las iniciales son reversibles y se completan en tiempos relativamente cortos, mientras que las posteriores transcurren más lentamente y son irreversibles.
- **Centrifugación:** separación de la levadura del vino levadurado, obteniéndose vino de levadurado y la crema o leche de levadura.
- **Dorna Volante:** utilizado como tanque pulmón para el vino centrifugado, que será enviado para el área de destilación.
- **Dornas o tanques de fermentación:** donde se recibe el mosto y la leche o crema de levadura para permitir la fermentación de los azúcares convirtiendo éstos en alcohol.
- **Flegma:** son mezclas hidroalcohólicas en el estado líquido o de vapor, con un contenido de alcohol hasta 50°GL, proveniente del proceso de destilación de la primera columna.
- **Flegmasa:** es el producto que sale en la base de la columna de agotamiento de flegma que es arrojado a la canaleta de desagüe.
- **Fermentación:** es resultado de la conversión de los azúcares en alcohol, presentes en el mosto y en la crema o leche de levadura.

- **Gas Carbónico:** es uno de los productos finales de la fermentación y la de la multiplicación microorganismos. En la fermentación alcohólica tenemos como producto final, básicamente alcohol y gas carbónico; en la multiplicación tenemos como producto final, agua, gas carbónico y microorganismos.
- **Lodo:** fluido residual obtenido en el fondo del clarificador de melaza durante el proceso de clarificación.
- **Melaza:** denominada también miel final, miel C o miel tercera. Solución residual del proceso de fabricación de azúcar con una alta concentración de sólidos disueltos.
- **Mosto:** solución con una determinada concentración de azúcar obtenida por la dilución de la melaza con agua.
- **Melaza clarificada:** es una melaza después de haber sufrido el proceso de clarificación para la eliminación de las suciedades.
- **Pre fermentación:** tratamiento de la leche o crema de levadura para ser utilizada en las domas o tanques de fermentación.
- **Vino delevadurado:** es el producto de la fermentación con un contenido de 7% a 10% en alcohol.
- **Vino levadurado:** llamado crema o leche levadurado, con un contenido alto de levaduras para ser usados en la reproducción o fermentación.
- **Vapor de baja presión** Vapor proveniente del escape de las turbinas (2 atm.) o reducido y saturado a través de un conjunto de válvulas automáticas o manuales.

2.5 Métodos de clarificación para la melaza

El ácido y el calentamiento, disminuyen el contenido de cenizas y calcio y aumenta la eficiencia de fermentación. La reducción del pH de la melaza con la adición de ácido sulfúrico seguida de calentamiento es la forma más simple y eficaz de clarificación. En estas condiciones, la eficiencia de fermentación aumenta con el proceso de decantación. Los mejores resultados de la clarificación de melaza diluida, se obtiene a 50 °Bx. (SAIGAL-VISWANATHAN, 2004).

La centrifugación-ácido y calentamiento, disminuye el contenido de coloides y sólidos totales del orden del 27 y 7% respectivamente, en relación a la melaza original. Los resultados representan el 70% del que se podría alcanzar con la utilización de un método más completo (KLIBANSKI, 2006).

La desalinización por electrodiálisis ejerce una elevación en la pureza de la melaza tratada y la melaza obtenida a partir de la melaza desalinizada proporciona un aumento en la eficiencia de la fermentación, resultando una mayor cantidad de alcohol en comparación con la melaza no tratada (PARAZZI, 2006).

2.6 Equipos utilizados en la clarificación del jugo crudo de caña de azúcar

Según HUGOT (2003), se dividen en varios compartimientos que multiplican la superficie de decantación y son análogos en su operación y no varían más que en detalles.

Los equipos son:

- **Clarificador DORR:** es un clarificador de bandejas, ha sido muy mejorado y modificado. Este modelo consta en realidad de dos clarificadores de dos bandejas cada uno, superpuestos dentro de la misma envolvente. Tiene dos bombas, una de las cuales extrae la cachaza del segundo y la otra del cuarto y último compartimiento. La mitad del jugo crudo se introduce a los dos compartimientos de arriba, y el resto a los dos de abajo. El jugo entra por el centro y fluye hacia fuera y el jugo clarificado se extrae por la periferia, mientras que la cachaza decantada se mueve desde todas las puntas de la bandeja hacia dentro, en dirección a los pozos centrales.
- **Clarificador GRAVER:** es idéntico al anterior, con la diferencia que los raspadores llevan los lodos a la zona periférica. La bandeja superior, llamada separador de cachazas primarias, es cóncava hacia arriba, y tiene un pozo de cachaza separado, conectado con el pozo principal situado al fondo del clarificador. Las bandejas siguientes tienen el vértice de su conicidad hacia arriba, y el diámetro de cada bandeja es menor que el de la bandeja situada inmediatamente arriba.
- **Clarificador FORTIER:** es rectangular, diseñado especialmente para disminuir el espacio ocupado por el aparato. No tienen eje central y los lodos son conducidos al centro por efecto de la gravedad. En este aparato el jugo circula a lo largo del clarificador, desde la entrada hasta la salida del jugo. Las bandejas longitudinales, están colocadas en un ángulo de 45°. En su parte inferior existe una faja móvil que ayuda a desplazar los lodos a la periferia del aparato, para luego ser evacuado por bombas de diafragma. El

jugo clarificado es evacuado por reboce y es recibido en charolas y así mismo en sus compartimiento existe una tubería conectada a éstas que sirve de desfogue de las burbujas de aire contenida en el jugo crudo que ingresa al aparato para ser sometido a su respectiva clarificación.

- **Clarificador BACH:** puede ser rectangular o cilíndrico, en la que los lodos son conducidos al centro por efecto de la gravedad, y su alimentación es periférica. Sus bandejas tienen conicidad más aguda que el Clarificador Dorr y el Clarificador Graver. Los vértices de los conos son hacia arriba.

Según CELINSKI (2006), los diversos fabricantes, después de tantos años de experiencia, nos indican que el " clarificador perfecto " no se ha logrado todavía, debido a que es muy difícil establecer comparaciones entre diferentes modelos, ya que las variaciones que ocurren en los jugos, de una zafra a la siguiente y de una zona cañera a otra; son totalmente diferentes, sólo la comparación de clarificadores en paralelo en pruebas de gran escala efectuadas durante periodos largos por observadores objetivos, servirían para establecer la superioridad de algún diseño sobre otro, y aun así, la comparación sólo tendría valor respecto a la zona y las condiciones particulares en las cuales se efectuara la comparación.

Según CELINSKI (2006), los clarificadores modernos han logrado amplia aceptación en la industria azucarera, son muy superiores a los anteriores, por su eficiencia en la extracción de cachaza y en la disminuir las pérdidas de azúcar por inversión debidas a la acumulación de cachaza.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El diseño y construcción del clarificador de melaza para mejorar los procesos de fermentación alcohólica se realizó en la destilería Casa Grande S.A.A, distrito de Casa Grande, provincia de Ascope, región de La Libertad.

3.2. Materia prima

Melaza Bruta (Miel de tercera o Miel "C" o Miel Final).

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales de vidrio

- 02 Picnómetros de 10 mL, 20 mL.
- 01 Potenciómetro.
- 10 Brixómetros (20 °Bx a 90 °Bx)
- 05 Vasos precipitados de 500 mL
- 05 Pipetas de 10 mL.
- 10 Probetas de 1000 mL, 500mL, 100mL, 50 mL.
- 15 Tubos de ensayos.

3.3.2. Equipos de Laboratorio

- 01 Bomba de Sifoneo
- 01 Espectrofotómetro UV
- 01 Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- 01 Centrífuga
- 01 Estufa
- 01 Balanza Analítica

3.3.3. Material de Construcción

- 03 Planchas de Fierro dulce (Acero Corten B) 5/16" con 1,5 x 8 m².
- 10 Kg Fibra de vidrio.
- 03 Planchas de Aluminio de 1,5 x 8 m².
- 90 Varillas de soldadura Cellocord 5/32"
- 02 tubos de hierro galvanizado de 3" y 1 1/2 de 1,5 m de largo.
- 01 válvula esférica de 3".
- 03 válvulas compuerta de 2".

3.3.4. Equipos de Construcción

- 01 botella de Acetileno de 45 m³.
- 01 Tirfor de Capacidad una tonelada.
- 01 Tecle de capacidad una tonelada.
- 01 Botella de oxígeno de 10 m³.

3.3.5. Reactivos y soluciones

- H₂SO₄ concentrado, agua destilada

3.4. Metodología experimental

El trabajo se realizó en cuatro (4) etapas:

- Clarificación de melaza en el laboratorio ó Primera Etapa.
- Diseño del Clarificador o Segunda Etapa.
- Construcción del Clarificador o Tercera Etapa y
- Prueba del Clarificador construido o Cuarta Etapa.

3.4.1. Clarificación de melaza en el Laboratorio ó Primera Etapa

Se realizó en los laboratorios de Análisis de Fabricación y de Control de Calidad, utilizando melaza Bruta (MB) a 84 °Bx con pH de 5,8 (pH natural). La melaza bruta fue diluida a 40°Bx, 50°Bx y 60°Bx, cada dilución fue llevada a temperaturas de 75°C, 85°C y 95°C y tratada con H₂SO₄ químicamente puro, para bajar el pH a rangos de 5,0 y 4,5; obteniéndose 27 tratamientos: t₁, t₂, t₃, t₄,t₂₇:

t ₁ . 40°Bx, 75°C, pH = 5,8	t ₁₀ . 50°Bx, 75°C, pH = 5,8	t ₁₉ . 60°Bx, 75°C, pH = 5,8
t ₂ . 40°Bx, 75°C, pH = 5,0	t ₁₁ . 50°Bx, 75°C, pH = 5,0	t ₂₀ . 60°Bx, 75°C, pH = 5,0
t ₃ . 40°Bx, 75°C, pH = 4,5	t ₁₂ . 50°Bx, 75°C, pH = 4,5	t ₂₁ . 60°Bx, 75°C, pH = 4,5
t ₄ . 40°Bx, 85°C, pH = 5,8	t ₁₃ . 50°Bx, 85°C, pH = 5,8	t ₂₂ . 60°Bx, 85°C, pH = 5,8
t ₅ . 40°Bx, 85°C, pH = 5,0	t ₁₄ . 50°Bx, 85°C, pH = 5,0	t ₂₃ . 60°Bx, 85°C, pH = 5,0
t ₆ . 40°Bx, 85°C, pH = 4,5	t ₁₅ . 50°Bx, 85°C, pH = 4,5	t ₂₄ . 60°Bx, 85°C, pH = 4,5
t ₇ . 40°Bx, 95°C, pH = 5,8	t ₁₆ . 50°Bx, 95°C, pH = 5,8	t ₂₅ . 60°Bx, 95°C, pH = 5,8
t ₈ . 40°Bx, 95°C, pH = 5,0	t ₁₇ . 50°Bx, 95°C, pH = 5,0	t ₂₆ . 60°Bx, 95°C, pH = 5,0
t ₉ . 40°Bx, 95°C, pH = 4,5	t ₁₈ . 50°Bx, 95°C, pH = 4,5	t ₂₇ . 60°Bx, 95°C, pH = 4,5

- Las pruebas de clarificación de los tratamientos establecidos fueron transferidos a probetas de decantación; durante la decantación se procedió el registro del volumen de los lodos, cada 20 minutos.
- Los productos de decantación: melaza clarificada y sus respectivos lodos fueron separados a través de sifoneo (succión).
- Del lodo proveniente de la melaza decantada, después del pesado, se retiró cierta cantidad para la determinación de materia seca efectuada a través de secado a vacío a 60°C a peso constante; lo restante del lodo se transfirió cuantitativamente a fioles de 100 mL y luego fueron conservados a 10°C.
- En las muestras de melaza clarificada, melaza diluida y lodo, se realizaron los siguientes análisis: Brix, pH, azúcares reductores, azúcares reductores totales, color, turbidez, %Ca y %Mg; cuyos resultados fueron comparados con los obtenidos en el Clarificador.

3.4.2 Diseño del Clarificador o Segunda Etapa

Se efectuaron los cálculos necesarios, en función a la alimentación con melaza diluida (MD) y los lodos (L) obtenidos; por diferencia de densidades se logró obtener melaza clarificada (MC) por reboce y los Lodos (L) por sedimentación.

Para el diseño y las respectivas mediciones del clarificador, se procedió en función a la velocidad de deposición de partículas en la sedimentación, cantidad de agua necesaria para diluir la melaza bruta, área necesaria de sedimentación, volumen ocupado por los lodos, volumen ocupado por la melaza clarificada, tiempo de retención, altura teórica y altura total.

La figura 3 muestra la forma en que se desarrolló el diseño del clarificador.



Figura 3. Diagrama de flujo del diseño del clarificador

3.4.3. Construcción del clarificador o tercera etapa

Se procedió con la disposición de los materiales, maquinaria necesaria y el personal calificado. La construcción se hizo con la participación del primer maestro jefe y su personal seleccionado, seguidamente se realizó el trazado de las medidas, luego se efectuó el corte, después el soldado respectivo y finalmente el armado con la respectiva inspección de acuerdo al plano confeccionado.

3.4.4. Prueba del clarificador construido o Cuarta Etapa

Se procedió sometiendo a prueba el funcionamiento del clarificador construido, comparando con los resultados obtenidos, con las pruebas de clarificación en el laboratorio.

3.5. Métodos de Análisis

Para la primera etapa, según CAP-CASA GRANDE (2000):

3.5.1. Determinación de la humedad de lodos

Equipos

- Estufa eléctrica al vacío, 40°C - 105°C; 0,6 KW.
- Cubo de lámina de estaño de 0,3 mm con tapa y 100 mL de volumen.
- Balanza analítica, con capacidad de 200 g y seguridad ± 0.0001 g
- Desecador con gel de sílice.

Procedimiento

- Se realizó el secado del cubo, destapado, colocándolo en la estufa a 105 °C.
- Se enfrió en el desecador destapado, por un mínimo de 1 hora.
- Se procedió el cálculo de la tara del cubo, con aproximación de 0,0001 g.
- Seguidamente se procedió el pesado en el cubo la cantidad de melaza, pero al ras, con aproximación de 0,0001 g.
- Luego se colocó el cubo con la muestra de melaza en la estufa a 80 °C. Seguidamente se abrió muy poco la compuerta y se procedió la conexión al vacío, cuidando a que la presión no exceda de 10 cm de mercurio.
- Se procedió el secado de la muestra en estas condiciones por 30 minutos.
- Se retiró el cubo de la estufa y se enfrió, destapado, en el desecador; durante 2 horas y seguidamente se procedió el tapado del cubo y se realizó el pesado con aproximación de 0,0001 g

Cálculos

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso original de la muestra}} \times 100$$

3.5.2. Determinación del pH de melaza diluida (MD), melaza clarificada (MC) y lodos (L).

- Se tomó muestras de 50 mL de melaza diluida (MD), melaza clarificada (MC) y lodos (L), colocándose en vasos de 100 mL, introduciéndose el electrodo en cada una de las muestras y seguidamente se efectuó la lectura directa del pH.

3.5.3. Determinación del Brix de melaza diluida (MD), melaza clarificada (MC) y lodos (L)

- Las muestras de melaza se filtraron en un cono de tela metálica fina, para eliminar partículas y otras materias en suspensión.
- Seguidamente se colocó la muestra filtrada de melaza diluida en una probeta de 500 mL, luego se introdujo el Brixómetro de bulbo o Aerómetro en la probeta para la lectura correspondiente.
- Después de obtener la lectura de Brix se procedió a la corrección de temperatura, según la tabla de correcciones mostrada en el anexo.
- De igual modo se procedió con los lodos y la melaza clarificada.

3.5.4. Determinación de azúcares reductores (AR)

- Se pesó 4 g de melaza diluida (40 °Bx, 50 °Bx ó 60 °Bx) en un matraz de 200 mL luego se aforó con agua destilada y finalmente se obtuvo el filtrado.
- Para la titulación se llenó la bureta con melaza diluida y filtrada.
- Seguidamente se colocó 10 mL de Solución de Fehling en un matraz erlenmeyer y se llevó a calentamiento, colocando la bureta con la muestra

cargada, pero posicionada encima de dicho matraz; de tal manera que su descarga se haga dentro del matraz.

- Luego se procedió hervir la Solución de Fehling y cuando empezó a hervir se procedió al agregado de 3 gotas de azul de metileno.
- Después se dejó caer gota a gota la muestra contenida en la bureta, hasta que la Solución de Fehling cambie de color azulino a color rojo.
- Luego se procedió la anotación del gasto en la bureta y se observó en la Tabla de Azúcar Invertido para 10 mL de Solución de Fehling, para determinar la cantidad de azúcar invertido.

Cálculos

$$\% \text{ Azúcares Reductores} = \frac{\text{Valor de Tabla (anexo)}}{10}$$

3.5.5. Determinación de la absorbancia para la melaza

- La melaza diluida a 40°Bx, 50°Bx y 60°Bx, fue llevada al espectrofotómetro UV de 400 nm a 700 nm, con un intervalo de 20 nm, para determinar la longitud de onda de máxima absorvancia.
- Seguidamente se efectuaron diluciones de: 10 mL, 11 mL, 12 mL, 13 mL y así sucesivamente hasta tener la última dilución de 20 mL, a partir de la solución madre; y luego se enrasó cada uno de éstos a 50 mL.
- Luego se procedió el llenado a la cubeta de cuarzo con melaza diluida y limpiándose la superficie con papel tissue, se realizó la lectura en el EUV.

- Seguidamente se procedió la medición de la absorbancia de las diluciones a la longitud de onda de máxima absorbancia.

$$\text{Unidades de Absorbancia} = \text{Lectura del EUV} \times 0,032$$

3.5.6. Determinación del porcentaje de calcio (Ca) en melaza

- Se tomó 10 mL de muestra problema (melaza diluida).
- Seguidamente se procedió el agregado de 15 mL de solución de ataque o Solución Nitroperclórica: Ácido Nítrico (HNO_3) + Acido Perclórico (HClO_4).
- Luego a dicha muestra se le sometió a un proceso de ataque, colocándolo en un crisol y después se introdujo en la estufa entre $200\text{ }^\circ\text{C}$ – $250\text{ }^\circ\text{C}$ x 2 h, hasta que la muestra se vuelva blanquecina o transparente o arroje un humo blanco; demostrando así que la muestra está en un proceso de ataque.
- Seguidamente se retiró la muestra de la mufla y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Luego la muestra fría fue lavada cuidadosamente en el crisol, con agua destilada y recibiendo en una fiola de 50 mL y se procedió el aforado.
- Luego se lo llevó al Espectrofotómetro de Absorción Atómica para su lectura correspondiente.
- Se procedió el encendido del Espectrofotómetro de Absorción Atómica, 15 minutos antes de realizar las mediciones y se colocó en el equipo la lámpara de detección de Calcio (Ca).

- Seguidamente se procedió el calibrado del Espectrofotómetro de Absorción Atómica – EAA, con 3 estándares de concentración de Calcio (Ca): 5 mg/L, 10 mg/L y 20 mg/L.
- Después de la calibración se determinó la concentración de Calcio (Ca) en la muestra problema (melaza diluida) a un Brix determinado.
- Las muestras de melaza diluida se ingresaron al EAA, diluidos con Cloruro de Lantano al 0,1%.
- Luego se obtuvo los resultados en mg/L de Calcio (Ca) contenidos en la melaza, con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Calcio} = \frac{\text{Lectura del Equipo para Calcio (} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{)}}{1000}$$

3.5.7. Determinación del porcentaje de Magnesio en melaza

- Se tomó 10 mL de la muestra problema (melaza diluida).
- Seguidamente se procedió el agregado de 15 mL de Solución de Ataque o Solución Nitroperclórica (Ácido Nítrico + Ácido Perclórico).
- Se sometió a un proceso de ataque, colocándolo en un crisol e introduciendo en estufa a 200 °C – 250 °C x 2 h, hasta que la muestra se vuelva blanquecina o transparente o arroje un humo blanco; demostrando así que la muestra está en un proceso de ataque.
- Seguidamente se retira la muestra de la mufla y se deja enfriar a temperatura ambiente.

- La muestra fría se lavó cuidadosamente en el crisol, con agua destilada y se recibió en una fiola de 50 mL y se procedió al aforado.
- Se llevó al Espectrofotómetro de Absorción Atómica para su lectura correspondiente, colocándose la Lámpara de detección de Magnesio (Mg).
- Seguidamente se procedió el calibrado del Espectrofotómetro de Absorción Atómica-EAA, con 03 estándares de concentración de Magnesio (Mg): 5 mg/L, 10 mg/L y 20 mg/L.
- Después de la calibración se determinó la concentración de Magnesio (Mg) en la muestra problema (melaza diluida) a un Brix determinado.
- Las muestras de Melaza diluida se procedió ingresar al EAA, diluidos con Cloruro de Lantano al 0,1%.
- Los resultados se expresaron en mg/L de Magnesio (Mg) contenidos en la Melaza.

$$\% \text{ Magnesio} = \frac{\text{Lectura del Equipo para Magnesio (mg/L)}}{1000}$$

- Para el análisis estadístico, se utilizó el Software Minitab Versión 15,0, modelo estadístico factorial (3A 3B 3C) con Diseño Completamente al Azar (DCA).

En la segunda etapa de realizaron los siguientes análisis:

3.5.8. Velocidad de deposición de partículas en la sedimentación (V).

Se procedió según KLIBANSKI (2006), quien afirma que la velocidad de caída de las partículas, se calcula mediante:

$$V = \sqrt{\frac{4 (\rho_P - \rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}) g D_P}{3 C_D \rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

ρ_P = Densidad de la partícula en melaza (kg/m³).

$\rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Densidad de la melaza diluida a un Brix y temperatura determinada (Kg/m³).

g = Constante gravitacional (9,8 m/s²)

D_P = Diámetro de la partícula (m)

C_D = Coeficiente de arrastre o de fricción (ADIMENSIONAL).

KLIBANSKI (2006), recomienda determinar el Número de Reynolds

(Re) para poder encontrar el Coeficiente de Arrastre (C_D), según:

$$Re = \frac{D_P V \rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}{\mu_{\circ Bx-\circ T}} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

$\rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Densidad de la melaza diluida a un Brix y temperatura determinada (Kg/m³).

V = Velocidad de deposición de las partículas en la sedimentación (m/s)

D_P = Diámetro de la partícula (m)

$\mu_{\circ Bx-\circ T}$ = Viscosidad Dinámica o Viscosidad Absoluta de la Melaza diluida a un Brix y Temperatura, determinada (cp).

3.5.9. Densidad de la partícula (ρ_p)

Según KLIBANSKI (2006) para determinar la densidad de la partícula (ρ_p), se utilizó el "Principio del Tubo Capilar", es decir:

- Se utilizó un Tubo Capilar, de dimensiones conocidas, a peso constante, se procedió pesando el tubo, secándolo en una estufa por 15 minutos, seguidamente se procedió enfriar por 15 minutos en un secador y se procedió nuevamente al pesado; éste procedimiento se repitió hasta que la diferencia entre la primera pesada y la segunda fuese menor a 0,0002 gramos.
- Una vez que el Tubo Capilar se encontró a peso constante, se procedió el llenado con la muestra de Lodo en polvo, de tal forma que quede perfectamente compactado dentro del tubo. Se evitó que no queden espacios vacíos, ya que esto provocaría un error significativo en la estimación.
- Cuando el Tubo Capilar se encontró completamente lleno, se llevó a la balanza para determinar su peso, luego a ésta cantidad se le restó el peso del tubo capilar vacío y se obtuvo la masa del polvo del Lodo compactado.
- El volumen del Tubo Capilar que se asemeja al volumen de un cilindro, se obtuvo utilizando sus propias dimensiones, es decir con las medidas de diámetro interno (D) y longitud (h).
- Finalmente se procedió al cálculo de la densidad de partícula (ρ_p), de la siguiente forma:

$$\rho_p = \frac{\text{Peso del Tubo lleno} - \text{Peso del Tubo vacío}}{\frac{\pi D^2 h}{4}} \dots\dots\dots(3)$$

Dónde:

$D =$ Diámetro interno del Tubo Capilar.

$h =$ Longitud del Tubo Capilar.

3.5.10. Cantidad o Caudal de Agua caliente necesaria (QM_{AC}) para diluir otra cantidad o Caudal de Melaza Bruta (QM_{MB})

Se procedió según RODRIGUEZ (2006), mediante una ecuación nos permite determinar la cantidad o caudal másico de agua caliente necesaria (QM_{AC}) para diluir otra cantidad o caudal másico de melaza bruta (QM_{MB}), desde un determinado brix inicial ($^{\circ}Bx_i$), hasta un brix final ($^{\circ}Bx_f$).

$$QM_{AC} = QM_{MB} \left(\frac{^{\circ}Bx_i - ^{\circ}Bx_f}{^{\circ}Bx_f} \right) \dots\dots\dots (4)$$

3.5.11. Área necesaria de sedimentación de lodos (A)

Se procedió según RODRIGUEZ (2006) quién afirma que es el área requerida para la sedimentación de Lodos en la obtención de melaza clarificada, con una densidad a un Brix y temperatura determinada ($\rho_{MC}^{\circ Bx - ^{\circ}T}$), dicha densidad está comprendida entre las densidades de la melaza diluida y los lodos, con un Brix y temperatura, respectivamente; es decir:

$$\rho_{MD}^{\circ Bx - ^{\circ}T} < \rho_{MC}^{\circ Bx - ^{\circ}T} < \rho_L^{\circ Bx - ^{\circ}T}$$

Tal que:

$$A = \frac{QV_{MD}^{\circ Bx-\circ T} \cdot \rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}{V} \left[\frac{1}{\rho_{MC}^{\circ Bx-\circ T}} - \frac{1}{\rho_L^{\circ Bx-\circ T}} \right] = \frac{QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}{V} \left[\frac{1}{\rho_{MC}^{\circ Bx-\circ T}} - \frac{1}{\rho_L^{\circ Bx-\circ T}} \right] \dots\dots(5)$$

Dónde:

- A = Área necesaria de sedimentación de lodos del clarificador (m^2)
- $QV_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Caudal Volumétrico de melaza diluida en la alimentación al clarificador a un Brix y temperatura, determinada (m^3/s).
- $QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Caudal másico de melaza diluida en la alimentación al clarificador a un Brix y temperatura, determinada (kg/s).
- V = Velocidad de deposición de partículas en la sedimentación (m/s)
- $\rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Densidad de la melaza diluida en la alimentación del clarificador a un Brix y temperatura, determinada (Kg/m^3).
- $\rho_{MC}^{\circ Bx-\circ T}$ = Densidad de la melaza clarificada a un Brix y temperatura, determinada (Kg/m^3).
- $\rho_L^{\circ Bx-\circ T}$ = Densidad de los lodos al evacuar el clarificador a un Brix y temperatura, determinada (kg/m^3).

Así mismo RODRIGUEZ (2006) afirma que el Área de sedimentación de Lodos (A) es menor que el área transversal de la Base Superior ($A_{Superior}$) y mayor que el área transversal de la Base Inferior ($A_{Inferior}$), del cono de Lodos que se ha formado para ser evacuado; es decir:

$$A_{Superior} > A > A_{Inferior} \dots\dots\dots(6)$$

3.5.12. Tiempo de retención o detención de la melaza diluida en el clarificador (t_R)

Según RODRIGUEZ (2006), es el tiempo de residencia de la melaza diluida (MD) cuando se encuentra al ras en el Clarificador para su respectiva clarificación y se considera igual al tiempo de sedimentación (θ) de las partículas; es decir:

$$t_R = \theta \dots\dots\dots(7)$$

Pasado este tiempo (t_R), el clarificador podrá recibir una alimentación continua, donde la melaza clarificada se obtiene por rebose.

3.5.13. Tiempo de llenado del Clarificador (T)

Según RODRIGUEZ (2006), el tiempo de llenado del Clarificador es el mismo tiempo de sedimentación de las partículas (θ); tal que:

$$T = \theta = t_R \dots\dots\dots(8)$$

3.5.14. Volumen ocupado por los lodos en el clarificador (V_L)

Según RODRIGUEZ (2006), el volumen ocupado por los lodos en el clarificador para poder ser evacuados, debe tener una altura necesaria de acuerdo al Cuadro 4.

Cuadro 4. Volumen ocupado por los lodos

Altura Mínima de Lodos	$\frac{2}{7}$ de la Altura del Clarificador
Altura Optima de Lodos	$\frac{1}{3}$ de la Altura del Clarificador
Altura Máxima de Lodos	$\frac{2}{5}$ de la Altura del Clarificador

Fuente: Rodríguez (2006).

ZANINI (1990) afirma que en un clarificador tipo cono truncado, la relación del diámetro mayor y el diámetro menor, deben oscilar entre 7,00 a 7,30 y la relación del diámetro mayor y la altura, deben oscilar de 1,06 a 1,13; es decir:

$$7,30 \geq \frac{\text{Diámetro mayor}}{\text{Diámetro menor}} \geq 7,00 \quad \dots\dots\dots (9) \quad \text{o también}$$

$$1,13 \geq \frac{\text{Diámetro mayor}}{\text{Altura}} \geq 1,06 \quad \dots\dots\dots (10)$$

3.5.15. Volumen de melaza clarificada (V_{MC}) en el clarificador

utilizando melaza diluida a pH natural en el tiempo (θ)

El volumen de melaza clarificada en un clarificador con alimentación continua de melaza diluida (MD) a pH Natural, a un Brix y temperatura determinada, desde θ_1 horas a θ_2 horas; será:

$$V_{MC}^{\circ Bx-\circ T} = \frac{QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}{\rho_{MC}^{\circ Bx-\circ T}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \quad \dots\dots\dots (11)$$

Dónde:

$QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Caudal másico de alimentación al clarificador con melaza diluida a pH natural, con un brix y temperatura, determinada (kg/h).

$\rho_{MC}^{\circ Bx-\circ T}$ = Densidad de melaza clarificada obtenido en el clarificador a un Brix y temperatura, determinada (kg/m³).

$\theta_1, \theta_2, \theta$ = Tiempo de operación, inicial, final y total (horas).

Los días de actividad del clarificador para detener su operación al haber alcanzado los lodos su altura óptima, se calcula según la relación indicada en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Tiempo (días) para que los lodos obtengan un volumen (m³) equivalente a los 1/3 de Altura para diferentes diluciones (°Bx) de dos caudales de alimentación de melaza diluida(TM/día).

Volumen	400 TM/día					700 TM/día				
	30°Bx	40°Bx	50°Bx	60°Bx	70°Bx	30°Bx	40°Bx	50°Bx	60°Bx	70°Bx
38 m ³	12	9	7	6	5	7	5	4	3	2
70 m ³	22	16	13	11	9	12	9	7	6	5
150 m ³	47	35	28	23	20	27	20	16	13	11
350 m ³	107	80	64	53	46	62	46	37	31	26
500 m ³	153	115	92	77	83	88	66	53	44	38

Fuente: Rodríguez (2006).

RODRIGUEZ (2006) indica que, cuando se utiliza agentes químicos para disminuir el pH de la melaza diluida para efectuar su clarificación, entonces el Caudal Másico de melaza Clarificada a un Brix y temperatura, determinada ($QM_{MC}^{\circ Bx-\circ T}$); se obtiene aritméticamente:

$$QM_{MC}^{\circ Bx-\circ T} = QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T} + QM_{AQ} - QM_L^{\circ Bx-\circ T} \dots\dots\dots (12)$$

Dónde:

$QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T}$ = Caudal Másico de alimentación al clarificador con melaza diluida a un brix y temperatura, determinada (TM/día).

QM_{AQ} = Caudal másico de ingreso al clarificador del agente químico para disminuir el pH de la melaza diluida (TM/día).

$QM_L^{\circ Bx-\circ T}$ = Caudal másico de lodos evacuados del clarificador a un brix y temperatura, determinada (TM/día).

$QM_{MC}^{\circ Bx-\circ T}$ = Caudal másico del rebose de melaza clarificada a un brix y temperatura, determinada (TM/día).

3.5.16. Rebose del caudal másico de melaza clarificada ($QM_{MC}^{\circ Bx-\circ T}$) a un Brix y temperatura determinada, en el tiempo (θ).

Se procedió, según RODRIGUEZ (2006), quién afirma que el rebose del caudal másico, es el derramamiento o desbordamiento en el clarificador de melaza clarificada, durante el proceso de clarificación de melaza diluida a pH Natural en el tiempo (θ) y se obtiene según la ecuación:

$$QM_{MC} = K V_{MC}^{\circ Bx-\circ T} \dots\dots\dots (13)$$

Dónde:

K = Factor de Rebose ($\frac{TM \cdot m^{-3}}{dia}$)

$V_{MC}^{\circ Bx-\circ T}$ = Volumen obtenido de melaza clarificada en el clarificador en un

tiempo determinado (θ).

Según RODRIGUEZ (2006), para procesos de clarificación de melaza diluida (MD) a pH Natural, es decir sin usar agentes químicos o precipitadores, el Factor de Rebose "K" se determina según los grados Brix ($^{\circ}Bx$) y temperatura ($^{\circ}C$) de dilución, de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro 6. Factor de Rebose (K) a pH Natural

BRIX	TEMPERATURA	$K = \frac{TM \cdot m^{-3}}{dia}$
40 $^{\circ}Bx$	75 $^{\circ}C$	214,915 x 10 ⁻³
	85 $^{\circ}C$	213,707 x 10 ⁻³
	95 $^{\circ}C$	212,425 x 10 ⁻³
50 $^{\circ}Bx$	75 $^{\circ}C$	472,973 x 10 ⁻³
	85 $^{\circ}C$	468,208 x 10 ⁻³
	95 $^{\circ}C$	465,475 x 10 ⁻³
60 $^{\circ}Bx$	75 $^{\circ}C$	261,803 x 10 ⁻³
	85 $^{\circ}C$	257,994 x 10 ⁻³
	95 $^{\circ}C$	256,553 x 10 ⁻³
70 $^{\circ}Bx$	75 $^{\circ}C$	50,633 x 10 ⁻³
	85 $^{\circ}C$	47,764 x 10 ⁻³
	95 $^{\circ}C$	47,631 x 10 ⁻³

Fuente: Rodríguez (2006).

3.5.17. Altura teórica del clarificador ($h_{Teórica}$)

La altura teórica del Clarificador se determinó, mediante:

$$h_{Teórica} = 57,175 \times 10^{-3} \frac{V_E}{A} \dots\dots\dots(14)$$

Dónde:

A = Área necesaria de sedimentación de lodos en el clarificador (m^2)

V_E = Volumen del clarificador (m^3).

3.5.18. Altura total del clarificador (A_{total})

Según RODRIGUEZ (2006), la altura total del clarificador es igual a la suma de la altura teórica ($h_{Teorica}$) y la altura corregida ($h_{Corregida}$) a:

$$h_{Total} = h_{Teorica} + h_{Corregida} \dots\dots\dots (15)$$

La altura corregida ($h_{Corregida}$), es una altura adicional y es considerada como medida de corrección teórica y está comprendida entre 0,06 m y 0,08 m.

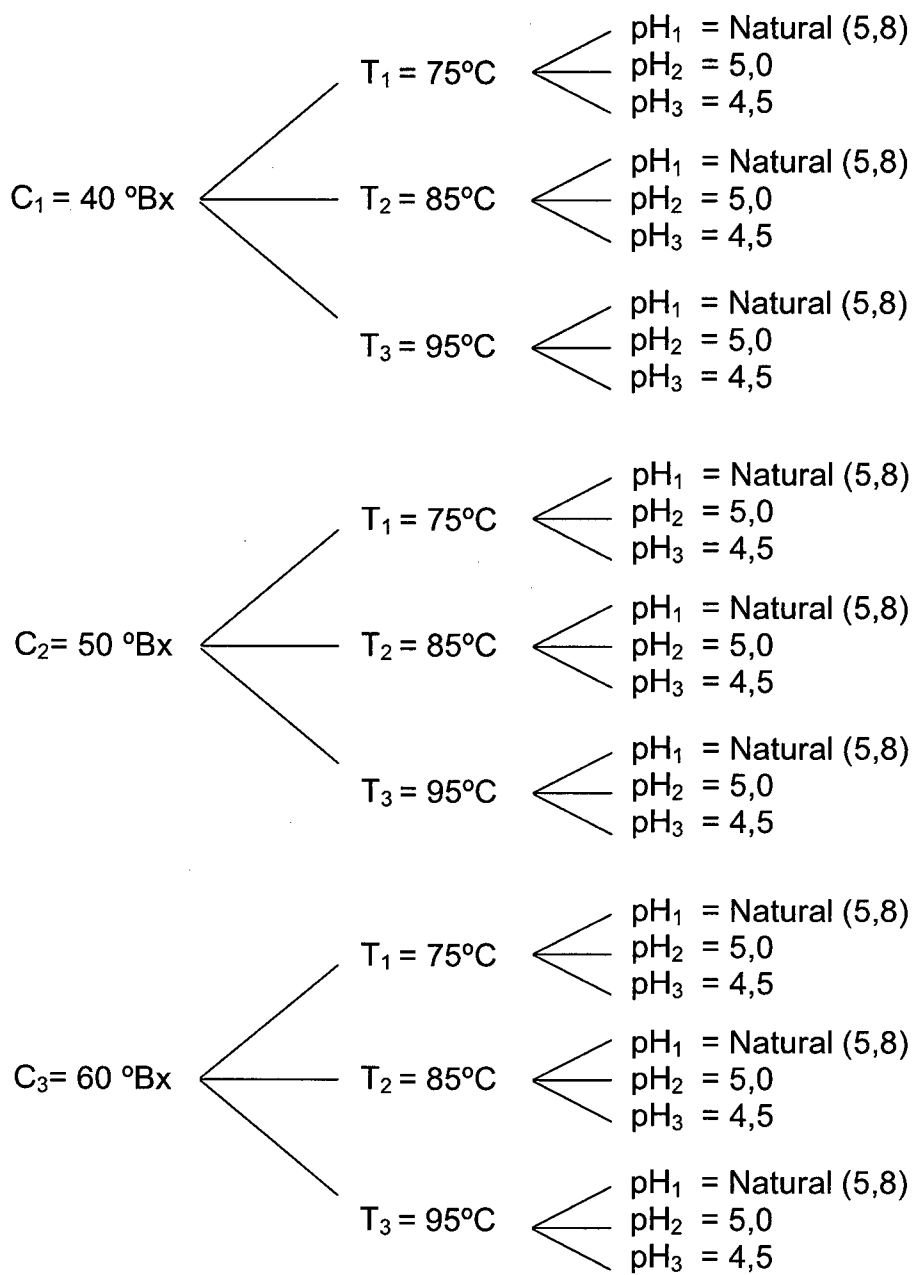
3.5.19. Peso de lodos (Kg) por peso de melaza diluida (TM)

Según KLIBANSKI (2006), se cumple lo siguiente:

$$\frac{\text{Peso de Lodos (g)}}{\text{Peso de Melaza Diluida (Kg)}} = \frac{\text{Peso de Lodos (g)}}{100 \text{ ml de MD}_{\circ_{Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}}} \dots\dots\dots (16)$$

$$\frac{\text{Peso de Lodos (Kg)}}{\text{Peso de Melaza Diluida (TM)}} = \frac{\text{Peso de Lodos (g)}}{100 \text{ mL de MD}_{\circ_{Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}}} \dots\dots\dots (17)$$

3.6. Diseño Experimental



3.7. Modelo matemático

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, 3$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Peso de Lodos (g) en 100 mL de melaza diluida, obtenido con el i – *ésimo* nivel del Factor Brix, j – *ésimo* nivel del Factor Temperatura, k – *ésimo* nivel del Factor pH, en la l – *ésimo* repetición.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto del i – *ésimo* nivel del Factor Brix.

β_j = Efecto del j – *ésimo* nivel del Factor Temperatura.

γ_k = Efecto del k – *ésimo* nivel del Factor pH.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción en el i – *ésimo* nivel del Factor Brix, j – *ésimo* nivel del Factor Temperatura.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de la interacción en el i – *ésimo* nivel del Factor Brix, k – *ésimo* nivel del Factor pH.

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de la interacción en el j – *ésimo* nivel del Factor Temperatura, k – *ésimo* nivel del Factor pH.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de la interacción en el i – *ésimo* nivel del Factor Brix, j – *ésimo* nivel del Factor Temperatura, k – *ésimo* nivel del Factor pH.

Tal que:

- Factor A = Brix

Niveles del Factor A: A₁ (40 °Bx), A₂ (50 °Bx), A₃ (60 °Bx).

- Factor B = Temperatura

Niveles del Factor B: B₁ (75 °C), B₂ (85 °C), B₃ (95 °C).

- Factor C = pH

Niveles del Factor C: C₁ (pH Natural), C₂ (pH = 5,0), C₃ (pH = 4,5).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. De la clarificación de melaza en el laboratorio ó primera etapa

4.1.1. Evaluación de lodos

El Cuadro 7 muestra los resultados, cuando se procedió la evaluación de los lodos provenientes de la clarificación de melaza, donde se observó que la melaza diluida (MD) a 40°Bx proporciona lodos (L) con grados de humedad mayores que los clarificados a 50°Bx y 60°Bx. Además, para las concentraciones de 40°Bx, 50°Bx, y 60°Bx sus relaciones de materia seca por Brix de Melaza diluida ($MS/^\circ Bx_{MD}$), se comportaron de manera semejante a las diferentes temperaturas utilizadas (75°C, 85°C, 95°C) y pH (Natural; 5,0; 4,5).

4.1.2. pH y °Bx

El Cuadro 8 muestra los resultados de pH y °Bx de melaza diluida (MD), melaza clarificada (MC) y lodo (L).

Los resultados de la evaluación del pH de la melaza diluida, oscilaron entre 4,5 y 5,8. Es decir, después de efectuar el proceso de clarificación el pH de la melaza diluida prácticamente no se alteró, ya que era casi idéntico al pH de la melaza clarificada; mientras que el Lodo obtenido en la decantación presentó un pH más elevado que la melaza diluida.

Cuadro 7. Resultados de Lodos: Peso (g/100mLMD^{°Bx-20°/20°C}), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida(MS/^{°BxMD}) y Kg por Tonelada Métrica de Melaza diluida(Kg/TM. MD^{°Bx-20°/20°C}), proveniente de Melaza Clarificada (MC)

CLARIFICACIÓN DE MELAZA EN LABORATORIO							
L O D O S							
Brix	T(°C)	pH		PESO	HUMEDAD (%)	MS	Kg
				<u>g</u> 100mLMD ^{°Bx-20°/20°C}		<u>°BxMD</u>	<u>TM. MD^{°Bx-20°/20°C}</u>
40	75	5,8	Natural	1,22	41,02	1,40	10,262
		5,0		1,40	41,20	1,40	11,776
		4,5		1,52	41,99	1,41	12,841
	85	5,8	Natural	1,83	44,08	1,33	15,325
		5,0		2,07	44,20	1,33	17,411
		4,5		2,19	44,86	1,34	18,502
	95	5,8	Natural	2,31	47,02	1,26	19,430
		5,0		2,52	47,74	1,27	21,289
		4,5		2,87	47,93	1,27	24,246
50	75	5,8	Natural	3,01	31,88	1,31	24,219
		5,0		3,11	31,70	1,31	25,023
		4,5		3,28	31,51	1,32	26,391
	85	5,8	Natural	3,81	35,10	1,27	30,794
		5,0		4,01	35,03	1,27	32,410
		4,5		4,12	34,87	1,28	33,299
	95	5,8	Natural	4,32	37,25	1,23	34,916
		5,0		4,51	37,46	1,23	36,451
		4,5		4,62	37,75	1,22	37,340
60	75	5,8	Natural	4,33	25,48	1,20	33,293
		5,0		4,55	25,60	1,20	34,209
		4,5		4,87	25,89	1,21	37,617
	85	5,8	Natural	5,13	26,67	1,18	39,444
		5,0		5,56	26,70	1,18	42,750
		4,5		5,77	27,11	1,19	44,568
	95	5,8	Natural	6,18	27,65	1,17	46,949
		5,0		6,59	27,73	1,18	50,902
		4,5		6,71	27,86	1,18	51,829

Cuadro 8. pH y °Brix; en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L)

CLARIFICACIÓN DE MELAZA EN LABORATORIO								
Brix	T(°C)	pH	pH			Brix		
			MD	MC	L	MD	MC	L
40	75	5,8 Natural	5,4	5,5	6,1	42	43	44
		5,0	5,2	5,2	5,5	42	41	43
		4,5	4,7	4,8	5,2	41	41	41
	85	5,8 Natural	5,1	5,2	5,8	42	42	43
		5,0	5,0	5,1	5,7	42	42	43
		4,5	4,8	4,9	5,4	41	42	42
	95	5,8 Natural	5,1	5,2	5,6	42	41	43
		5,0	5,0	4,9	5,4	41	41	42
		4,5	4,8	4,7	5,3	41	41	42
50	75	5,8 Natural	5,7	5,6	6,3	52	53	53
		5,0	5,0	5,2	5,7	52	52	52
		4,5	4,6	4,9	5,4	52	52	52
	85	5,8 Natural	5,5	5,5	6,0	51	52	53
		5,0	5,0	5,2	5,6	51	51	52
		4,5	4,7	4,8	5,3	51	51	52
	95	5,8 Natural	5,5	5,4	5,8	51	51	55
		5,0	5,0	5,2	5,6	51	51	54
		4,5	4,7	4,8	5,2	51	51	54
60	75	5,8 Natural	5,8	5,6	6,4	62	61	66
		5,0	5,4	5,0	6,1	62	62	64
		4,5	4,5	4,6	5,5	61	62	60
	85	5,8 Natural	5,8	5,6	6,1	62	62	60
		5,0	5,4	5,3	5,8	62	62	61
		4,5	4,6	4,7	5,1	61	61	61
	95	5,8 Natural	5,8	5,7	5,9	62	61	65
		5,0	5,3	5,4	5,6	61	62	63
		4,5	4,6	4,8	5,1	61	61	60

Los resultados obtenidos demostraron que prácticamente no hubo alteración del Brix de la melaza debido a la clarificación, pero en el caso del Lodo los valores del Brix fueron variables.

4.1.3. Azúcares Reductores (AR) y Azúcares Reductores Totales (ART).

El Cuadro 9 muestra el crecimiento en la cantidad de azúcares reductores (AR), cuando se procedió el proceso de decantación. Se observó que a 40°Bx, 50°Bx y 60°Bx, las diferencias observadas entre la MD y MC, varía de:

0,3% a 0,9% de AR a pH Natural.

0,7% a 2,1% de AR a pH de 5,0

1,3% a 3,5% de AR a pH de 4,5

Se observa que a medida que baja el pH, aumenta la posibilidad de ocurrir la inversión de sacarosa. Además la inversión de la sacarosa se torna más acentuada cuando más elevada es la temperatura, o sea a 95°C. De la misma forma, se observó que los azúcares reductores totales (ART) sufrieron un crecimiento en los valores la MC en relación a la MD independientemente de la temperatura.

Se observó que a 40 °Bx, 50 °Bx y 60 °Bx las diferencias observadas entre MD y la MC varía de:

1,7% a 3,8% de ART a pH= 5,8 (Natural).

1,4% a 2,8% de ART a pH= 5,0

1,0% a 2,1% de ART a pH= 4,5

Cuadro 9. Azúcares Reductores (AR) y Azúcares Reductores Totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

CLARIFICACIÓN DE MELAZA EN LABORATORIO								
Brix	T(°C)	pH	% AR			% ART		
			MD	MC	L	MD	MC	L
40	75	5,8 Natural	4,4	4,9	3,2	27,1	28,8	14,2
		5,0	4,4	5,2	4,2	26,2	27,9	15,3
		4,5	4,5	5,8	5,6	26,2	27,5	16,1
	85	5,8 Natural	4,5	5,0	4,0	26,1	27,8	16,5
		5,0	4,5	5,6	5,1	25,8	27,5	17,8
		4,5	4,6	6,2	6,1	25,6	26,9	19,1
	95	5,8 Natural	4,7	5,2	4,8	24,6	26,8	18,3
		5,0	4,8	6,5	5,7	24,5	26,4	19,5
		4,5	4,9	7,3	6,7	23,4	24,9	21,2
50	75	5,8 Natural	6,6	6,9	4,5	34,8	37,1	20,4
		5,0	6,6	7,3	5,1	34,7	36,1	20,9
		4,5	6,7	8,0	5,7	34,4	35,4	21,5
	85	5,8 Natural	6,7	7,0	5,1	33,0	35,8	22,1
		5,0	6,8	7,8	5,4	33,2	34,7	22,9
		4,5	6,8	8,3	6,1	33,5	34,5	23,8
	95	5,8 Natural	6,8	7,6	5,9	32,7	35,7	23,2
		5,0	6,8	8,7	6,1	33,0	34,5	23,9
		4,5	6,9	10,0	6,8	33,1	34,1	24,7
60	75	5,8 Natural	8,4	8,8	5,1	40,9	44,1	24,3
		5,0	8,4	9,1	5,3	41,5	43,5	24,8
		4,5	8,5	9,8	5,6	41,9	43,2	25,4
	85	5,8 Natural	8,5	9,1	5,8	41,6	45,1	26,2
		5,0	8,5	9,7	6,1	41,4	44,0	26,9
		4,5	8,6	10,0	6,7	41,2	43,3	27,2
	95	5,8 Natural	8,6	9,5	6,2	41,4	45,2	29,2
		5,0	8,6	10,7	6,6	41,3	44,1	29,8
		4,5	8,7	12,2	6,9	41,3	43,2	30,3

Se observó que los lodos a 40°Bx, 50°Bx y 60°Bx; varían de:

3,2% a 6,9% de AR y 14,2% a 30,3% de ART.

4.1.4. Color y Turbidez

El Cuadro 10 muestra los resultados de Color y Turbidez, se verificó que los constituyentes responsables del color se encontraron en diferentes proporciones en las melazas a 40°Bx, 50°Bx y 60°Bx. Así mismo, se observó que la turbidez del medio disminuyó con la clarificación, llegando a valores inferiores a la mitad de los obtenidos para la melaza original.

Cuadro 10. Color y Turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC)

CLARIFICACIÓN DE MELAZA EN LABORATORIO							
Brix	T(°C)	pH	COLOR		TURBIDEZ		
			MD	MC	MD	MC	
40	75	5,8 Natural	1157	1228	135	57	
		5,0	1136	1212	128	64	
		4,5	1127	1198	123	68	
	85	5,8 Natural	1139	1213	126	57	
		5,0	1126	1194	122	59	
		4,5	1115	1189	117	60	
	95	5,8 Natural	1119	1192	118	50	
		5,0	1082	1156	109	52	
		4,5	1051	1124	103	54	
	75	5,8 Natural	1185	1253	142	60	
		5,0	1161	1231	135	69	
		4,5	1152	1222	130	72	
50	85	5,8 Natural	1167	1237	131	57	
		5,0	1152	1219	129	62	
		4,5	1143	1211	124	65	
	95	5,8 Natural	1145	1216	124	36	
		5,0	1112	1180	120	45	
		4,5	1081	1151	117	52	
	75	5,8 Natural	1215	1286	146	67	
		5,0	1188	1259	142	71	
		4,5	1177	1242	140	74	
	85	5,8 Natural	1194	1265	138	35	
		5,0	1182	1251	136	48	
		4,5	1171	1240	132	60	
60	95	5,8 Natural	1174	1245	136	20	
		5,0	1139	1208	133	36	
		4,5	1107	1178	128	49	

4.1.5. Contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)

El Cuadro 11, muestra la caracterización química inorgánica de la MD, MC y Lodo;

Cuadro 11. Contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (g/100mL) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L) y Porcentaje de Reducción o Merma obtenida para el Calcio.

CLARIFICACIÓN DE MELAZA EN LABORATORIO									
Brix	T(°C)	pH	% Ca				% Mg		
			MD	MC	L	% MERMA	MD	MC	L
40	75	5,8 Natural	0,19	0,15	16,72	21,05	0,09	0,08	0,62
		5,0	0,20	0,15	16,51	25,00	0,09	0,08	0,56
		4,5	0,21	0,14	16,09	33,33	0,09	0,08	0,51
	85	5,8 Natural	0,20	0,14	19,53	30,00	0,09	0,08	0,77
		5,0	0,21	0,14	19,31	33,33	0,09	0,08	0,68
		4,5	0,21	0,13	19,12	38,10	0,09	0,08	0,59
	95	5,8 Natural	0,22	0,13	23,61	40,91	0,09	0,08	0,83
		5,0	0,23	0,13	23,46	43,48	0,09	0,08	0,79
		4,5	0,23	0,12	23,22	47,83	0,09	0,08	0,77
50	75	5,8 Natural	0,23	0,13	18,91	43,48	0,11	0,12	0,71
		5,0	0,24	0,12	18,66	50,00	0,11	0,12	0,66
		4,5	0,25	0,12	18,32	52,00	0,11	0,12	0,59
	85	5,8 Natural	0,24	0,11	21,83	54,17	0,11	0,12	0,86
		5,0	0,25	0,11	21,66	56,00	0,11	0,12	0,77
		4,5	0,26	0,10	21,18	61,54	0,11	0,12	0,68
	95	5,8 Natural	0,25	0,10	24,66	60,00	0,11	0,12	0,90
		5,0	0,26	0,10	24,49	61,54	0,11	0,12	0,82
		4,5	0,26	0,09	24,28	65,38	0,11	0,12	0,73
60	75	5,8 Natural	0,32	0,11	23,73	65,63	0,13	0,14	0,85
		5,0	0,31	0,10	23,11	67,74	0,13	0,14	0,77
		4,5	0,30	0,09	23,02	70,00	0,13	0,14	0,72
	85	5,8 Natural	0,33	0,09	25,61	72,73	0,13	0,14	0,93
		5,0	0,33	0,08	25,46	75,76	0,13	0,14	0,82
		4,5	0,34	0,08	25,14	76,47	0,13	0,14	0,79
	95	5,8 Natural	0,35	0,08	27,87	77,14	0,13	0,14	0,99
		5,0	0,36	0,07	27,49	80,56	0,13	0,14	0,88
		4,5	0,37	0,07	27,08	81,08	0,13	0,14	0,72

Cuando se procedió al análisis químico de la presencia de los elementos: Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), se observó de manera general que la

clarificación disminuyó sensiblemente el contenido de Calcio (Ca) en la MD, provocando una merma o reducción variable entre 21,05% y 81,08%. Tal que a 40°Bx, se observó que la melaza contiene menor concentración de Calcio (Ca), ocurriendo a menor reducción.

Además, se observó que el promedio de la cantidad de Calcio (Ca) en MC fue aproximadamente de 0,11% para ambas concentraciones de 40°Bx, 50°Bx y 60°Bx. Verificándose también que la clarificación efectuada en melaza diluida a 60°Bx presentó mayor eficiencia en la remoción de Calcio (Ca) que la efectuada a 50°Bx y 40°Bx.

Así mismo, se logró observar que los grados de Magnesio (Mg) en Melaza Clarificada (MC) prácticamente son los mismos encontrados en Melaza diluida (MD).

4.1.6. Volúmenes de Lodos

Los Cuadros 12 al 20 muestran los resultados del volumen del Lodo formado y el decantado, tuvo éxito a mitad del tiempo utilizado, así como a los 120 minutos. Se observó que la velocidad de formación de los flóculos en función del tiempo, fue menor en las melazas concentradas y la melaza a 50°Bx presentó menor tiempo de decantación, comparado con la melaza de 60°Bx y 40°Bx. Así mismo, se observó que en las melazas diluidas a 60°Bx y 40°Bx, el aumento de temperatura favoreció la decantación, tornándose más rápida. La decantación de las melazas diluidas a 60°Bx y 40°Bx permaneció aproximadamente en 120 minutos, mientras que la decantación de la melaza diluida 50°Bx fue a los 60 minutos.

Cuadro 12. Volumen de lodo a 40° Bx, pH = 5,8 (Natural)

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	7	10	15
40	20	25	30
60	17	22	26
80	14	19	23
100	12	17	21
120	10	15	19

Cuadro 13. Volumen de lodo a 40 °Bx, pH = 5,0

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	9	12	18
40	20	26	33
60	18	23	29
80	16	20	24
100	14	18	22
120	12	16	21

Cuadro 14. Volumen de lodo a 40 °Bx, pH = 4,5

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	10	13	20
40	23	28	33
60	20	25	30
80	17	22	28
100	15	20	26
120	13	18	24

Cuadro 15. Volumen de lodo a 50 °Bx, pH = 5,8 (Natural)

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	10	11	20
40	30	33	43
60	28	31	40
80	27	31	37
100	26	31	35
120	24	31	34

Cuadro 16. Volumen de lodo a 50 °Bx, pH = 5,0

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	12	14	23
40	30	37	42
60	29	35	40
80	27	34	38
100	26	33	37
120	25	32	36

Cuadro 17. Volumen de lodo a 50 °Bx, pH = 4,5

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	8	11	24
40	30	37	42
60	29	36	40
80	28	35	39
100	27	34	38
120	26	33	37

Cuadro 18. Volumen de lodo a 60 °Bx, pH = 5,8 (Natural)

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	15	17	19
40	137	191	194
60	89	139	157
80	61	86	105
100	45	59	71
120	33	40	47

Cuadro 19. Volumen de lodo a 60 °Bx, pH = 5,0

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	13	16	20
40	107	169	171
60	77	121	139
80	54	82	98
100	42	59	71
120	35	43	50

Cuadro 20. Volumen de lodo a 60 °Bx, pH = 4,5

Tiempo (min)	Volumen de Lodos (mL)		
	75°C	85°C	95°C
0	-	-	-
20	13	14	17
40	107	154	163
60	81	114	135
80	54	77	97
100	39	55	70
120	38	45	52

4.2. Análisis de Varianza

Las pruebas realizadas del peso de Lodos, provenientes de Melaza Clarificada que se indica en el Cuadro 21, el Análisis de Varianza (ANVA) para el diseño factorial se indica en el Cuadro 22.

Cuadro 21. Pruebas realizadas del Peso de Lodos provenientes de Melaza Clarificada (MC)

Brix=A	°C=B	pH=C	LODOS		
			PESO 1	PESO 2	PESO 3
40=1	75=1	5,8(Natural)	1,31	1,32	1,32
		5	1,46	1,45	1,46
		4,5	1,61	1,61	1,62
	85=2	5,8(Natural)	1,86	1,85	1,86
		5	2,19	2,18	2,18
		4,5	2,36	2,36	2,37
	95=3	5,8(Natural)	2,38	2,39	2,39
		5	2,7	2,69	2,68
		4,5	2,89	2,89	2,91
	75=1	5,8(Natural)	3,06	3,06	3,07
		5	3,39	3,38	3,38
		4,5	3,64	3,65	6,66
50=2	85=2	5,8(Natural)	3,83	3,82	3,82
		5	4,09	4,09	4,08
		4,5	4,24	4,25	4,2
	95=3	5,8(Natural)	4,36	4,36	4,35
		5	4,57	4,58	4,58
		4,5	4,74	4,75	4,75
	75=1	5,8(Natural)	4,14	4,15	4,15
		5	4,38	4,39	4,38
		4,5	4,66	4,66	4,66
60=3	85=2	5,8(Natural)	5,19	5,18	5,18
		5	5,62	5,63	5,62
		4,5	5,84	5,83	5,83
	95=3	5,8(Natural)	6,42	6,41	6,41
		5	6,6	6,59	5,59
		4,5	6,83	6,81	6,82

Cuadro 22. Análisis de Variancia: Diseño Factorial

Modelo Lineal general: Y Vs A; B; C;						
Factor	Tipo	Niveles	Valores			
A	Fijo	3	1; 2; 3			
B	Fijo	3	1; 2; 3			
C	Fijo	3	1; 2; 3			
Análisis de Variancia para Y, utilizando SC ajustada para pruebas						
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
A	2	159,7467	159,7467	79,8733	1078290,05	0
B	2	31,8674	31,8674	15,9337	215104,65	0
C	2	3,0595	3,0595	1,5297	2065,55	0
A*B	4	3,1162	3,1162	0,7790	10517,08	0
A*C	4	0,0177	0,0177	0,0044	59,68	0
B*C	4	0,0399	0,0399	0,0100	134,70	0
A*B*C	8	0,1194	0,1194	0,0149	201,50	0
Error	54	0,0040	0,0040	0,0001		
Total	90	197,9707				
S=0.00860663		R cuad. =100%		R cuad. (ajustado) = 100%		

- La interacción de los tres factores (A B C): Brix, Temperatura y pH; resultó significativa, dado que: $p = 0,000$, por lo que se tuvo que realizar la prueba Tuckey para comprobar los niveles de los Factores antes mencionados.
- Cabe resaltar que el análisis realizado a cada uno de los factores de una manera independiente, resultó significativa dado que se obtuvo un $p = 0,000$ para los tres Factores utilizados.

4.2.1. Prueba de Tuckey

Dado que la interacción de los tres Factores fue significativa se procedió a realizar la Prueba de Tuckey ($\alpha < 0,05$). Con la Prueba de Tuckey se logró obtener un análisis más detallado acerca de los niveles de cada Factor, ya que al utilizar esta Prueba nos permitió poder comparar los niveles de los tres Factores utilizados en el modelo.

4.2.1.1. Niveles de los Factores

Las comparaciones de los niveles de los tres Factores arrojaron un total de 27 tratamientos, en donde el tratamiento: 2 2 1 (50°Bx - 85°C - pH) será el objeto del análisis. Al analizar esta combinación con respecto al resto de combinaciones obtenidos, tal como se indica en el Cuadro 23 se obtuvo un valor de $p = 0,0001$, el cual es menor al nivel de significación $\alpha = 0,05$; con lo que se puede afirmar que esta combinación difiere significativamente con el resto de combinaciones al cual fue comparada.

Cuadro 23. Resultado de la prueba de Tukey

Pruebas simultaneas de Tukey						
A=2						
B=2						
C=1 restado a:						
A	B	C	Diferencia de Medias	SE de Diferencia	Valor T	Valor P Ajustado
2	2	2	0,2633	0,007027	37,47	0,0001
2	2	3	0,4067	0,007027	57,87	0,0001
2	3	1	0,5300	0,007027	75,42	0,0001
2	3	2	0,7533	0,007027	107,2	0,0001
2	3	3	0,9233	0,007027	131,39	0,0001
3	1	1	0,3233	0,007027	46,01	0,0001
3	1	2	0,5600	0,007027	79,69	0,0001
3	1	3	0,8333	0,007027	118,59	0,0001
3	2	1	1,3600	0,007027	193,53	0,0001
3	2	2	1,8000	0,007027	256,15	0,0001
3	2	3	2,0120	0,007027	286,03	0,0001
3	3	1	2,5900	0,007027	368,56	0,0001
3	3	2	2,7700	0,007027	394,18	0,0001
3	3	3	2,9900	0,007027	426,43	0,0001

4.3. Del diseño del clarificador o segunda etapa

Se procedió tomando en cuenta las pautas necesarias, tales como: Diagrama de Flujo del Diseño del Clarificador, Velocidad de deposición de partículas en la Sedimentación (V), Cantidad o caudal de agua caliente necesaria (QM_{AC}) para diluir otra cantidad o caudal de Melaza Bruta (QM_{MB}), Área necesaria de sedimentación de Lodos del Clarificador (A), Tiempo de retención o detención de la melaza diluida en el Clarificador (t_R), Volumen ocupado por los Lodos en el Clarificador (V_L), Volumen obtenido de Melaza Clarificada en el Clarificador (V_{MC}) en un tiempo determinado (θ), Altura teórica del Clarificador ($h_{Teórica}$), Altura total del Clarificador (A_{Total}) y el Peso de Lodos por peso de Melaza Diluida ($\frac{Kg \text{ Lodos}}{TM_{MD-20^\circ/20^\circ C}}$) a una densidad verdadera.

4.3.1. Diagrama de Flujo del Diseño del Clarificador

Se procedió paso a paso, tal como se describe en el diagrama de Flujo de la Figura 3, donde la creación del Clarificador estuvo en función a la idea de como dar solución al problema de la clarificación de melaza, para lo cual se tuvo que hacer la revisión de bibliografía y en una de ellas se logró encontrar lo que manifestaba SAIGAL-VISWANATHAN (2000), que la combinación del ácido y calentamiento aumentaba la eficiencia de la clarificación y afirmaba que los mejores resultados de la clarificación de melaza diluida se obtenía a 50° Bx; lo cual esto hizo a que se desarrolle más los conceptos y así lograr diseñar el Clarificador.

Luego se confirmó la creación del Clarificador para después hacer las pruebas de las funcionalidades. Finalmente, se tuvo que hacer realidad la construcción del Clarificador, mediante la confección de los planos, la revisión de sus medidas para luego aprobarlo.

4.3.2. Velocidad de deposición de partículas en la sedimentación

Se determinó según la ecuación (1)

$$V = \sqrt{\frac{4 (\rho_P - \rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}) g D_P}{3 C_D \rho_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}}$$

La densidad de la partícula (ρ_P) se determinó por el “Principio del Tubo Capilar”, mediante la ecuación (3), es decir:

$$\text{Densidad de Particula } (\rho_P) = \frac{213,544 \text{ g} - 203,835 \text{ g}}{\frac{3,14 \times 1^2 \text{ cm}^2 \times 10 \text{ cm}}{4}}$$

$$\rho_P = 1,236815 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1236,815 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad de la Melaza diluida ($\rho_{MD}^{51^\circ Bx-85^\circ C}$), se determino según SPENCER

(1967) es decir a $51^\circ Bx - 85^\circ C$ y se tuvo Para $51^\circ Bx$, fue: 77,042 Lb

Por lo tanto, la densidad de melaza diluida a $51^\circ Bx, 85^\circ C$ ($\rho_{MD}^{51^\circ Bx-85^\circ C}$), es de:

$$\rho_{MD}^{51^\circ Bx-85^\circ C} = 1197,035 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Además se tomó en cuenta, según KLIBANSKI (2006), que el diámetro de las partículas (D_P) presentes en Melaza, oscilan entre

70 micras (u) y 90 micras(u) y para ello se tomó en cuenta el valor intermedio, tal como: 80 micras (u)

$$D_p = 80 \text{ u} = 80 \text{ u} \times \frac{1 \text{ m}}{10^6 \text{ u}} = 8 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Seguidamente, se reemplazó en la fórmula y se tuvo:

$$V = \sqrt{\frac{4(1236,815 - 1197,035) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 8 \times 10^{-5} \text{ m}}{3 \cdot C_D \cdot 1197,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$V^2 = \frac{3,47 \times 10^{-5}}{C_D} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \dots\dots\dots (1)$$

Luego, se determinó el Número de Reynolds (Re), según la ecuación (2).

$$\text{Re} = \frac{D_p V \rho_{MD}^{\text{°Bx-°T}}}{\mu_{\text{°Bx-°T}}}$$

Según las Tablas de SPENCER (1967) la viscosidad dinámica o viscosidad absoluta a 51°Bx con 85°C ($\mu_{51^{\circ}\text{Bx}-85^{\circ}\text{C}}$) de la Melaza Diluida, es igual a 2,19 centipoises (cp), obteniéndose:

$$\text{Re} = \frac{(8 \times 10^{-5} \text{ m}) \left(1197,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) V}{2,19 \text{ cp}} \quad \text{Re} = \frac{(8 \times 10^{-5} \text{ m}) \left(1197,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) V}{2,19 \text{ cp} \cdot \frac{3,6 \frac{\text{kg}}{\text{m-h}}}{1 \text{ cp}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}$$

$$\text{Re} = 43,73 V \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

$$\text{Asimismo: } \text{Re}^2 = (43,73)^2 V^2 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2}$$

$$Re^2 = (43,73)^2 \times \frac{3,47 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s^2}}{C_D \frac{s^2}{m^2}}$$

$$Re^2 = \frac{0,066}{C_D}$$

Es decir:
$$C_D = \frac{0,066}{Re^2}$$

Luego, para hallar el Coeficiente de Arrastre (C_D) y el Número de Reynolds (Re), se utilizó la Figura Re Vs C_D (anexo), para ello se construyó una recta con los puntos: (Re , C_D) y que a la vez corte la curva en el Gráfico descrito:

$$Re_1 = 0,1 \quad C_{D1} = 6,6 \quad y \quad Re_2 = 0,01 \quad C_{D2} = 660$$

Donde se logró obtener de la ecuación (2):

$$C_D = 8000 \quad y \quad Re = 2,872 \times 10^{-3} = 0,003$$

Luego se procedió el reemplazo de C_D en la ecuación (1), para determinar la velocidad de deposición de partículas en la sedimentación de la Melaza diluida (MD) a 51 °Bx y 85 °C, teniendo: $V = 65,86 \times 10^{-3} \text{ mm/s}$.

4.3.3 Caudal de Agua Caliente necesaria (QM_{AC}), para diluir otra cantidad o caudal de Melaza Bruta (QM_{MB})

$$\text{De la ecuación 4, se tiene: } QM_{AC} = QM_{MB} \left(\frac{{}^\circ Bx_i - {}^\circ Bx_f}{{}^\circ Bx_f} \right)$$

El diagrama de la Figura 4, representa el proceso de clarificación que se realizó, utilizando el Clarificador diseñado y construido.

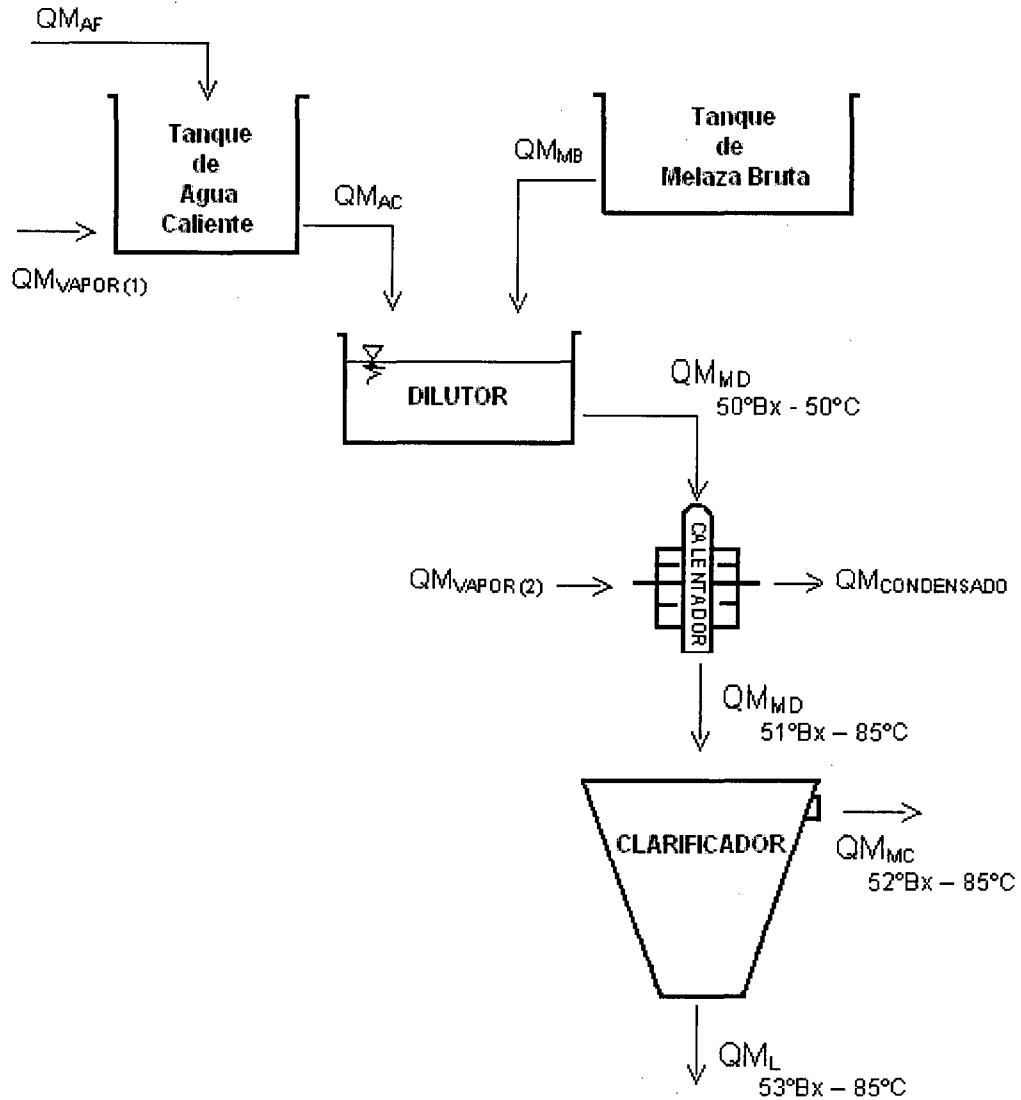


Figura 4. Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida (MD) a: 50 °Bx – 85 °C – pH= 5,8 (Natural)

Para determinar el Caudal Másico de Agua caliente necesaria (Q_{MAC}) para diluir el Caudal Másico de Melaza Bruta (Q_{MB}) en el Dilutor, primeramente se tuvo que determinar para el Clarificador su Caudal Másico de alimentación con Melaza Diluida a los 51°Bx y 85°C ($Q_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}$). Pues para ello, primeramente se procedió a la determinación del Caudal Volumétrico

($QV_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}}$), luego la densidad de la melaza diluida a un Brix y temperatura,

determinada; tomando en cuenta la Figura 4; donde:

$$Caudal\ Masico = Caudal\ Volumetrico \times Densidad$$

$$QM_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = QV_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} \cdot \rho_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}}$$

Según las pruebas de clarificación en laboratorio, se determinó que el tiempo necesario de deposición de partículas de la Melaza diluida (MD) a $51^{\circ}Bx - 85^{\circ}C - pH=5,8$ (Natural); fue de 60 minutos y este tiempo se utilizó para el Clarificador diseñado y construido.

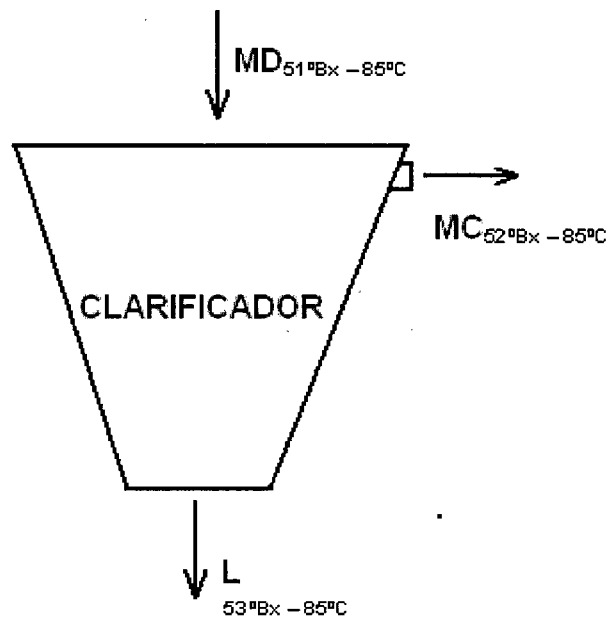


Figura 5. Alimentación de Melaza diluida (MD), descarga de Melaza Clarificada (MC) y descarga de Lodos (L), a un Brix y temperatura determinada.

Luego, se determinó el Volumen del Clarificador construido (V_E), teniendo en cuenta las medidas y forma de cono truncado o tronco de cono.

Según CHAVEZ (1998):

Volumen del Clarificador (V_E) = Volumen del Cono Truncado

$$Volumen\ del\ Clarificador\ (V_E) = \frac{\pi h}{3} (R^2 + r^2 + R r)$$

Reemplazando datos:

$$V_E = \frac{3,14 \times 850\ mm}{3} (465^2 + 65^2 + 465 \times 65) mm^2$$

$$V_E = 223,017 \times 10^6 mm^3 \times \frac{1\ m^3}{10^9 mm^3}$$

$$V_E = 0,223 m^3$$

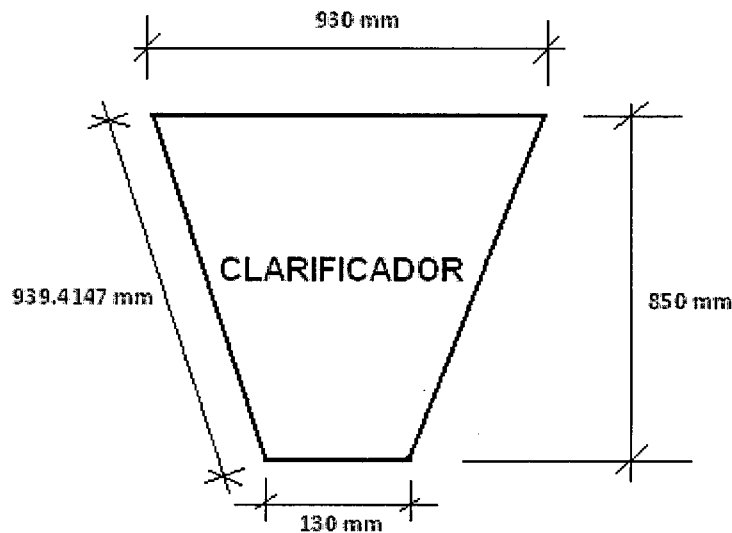


Figura 6. Medidas del Clarificador de Melaza

Se procedió según PARAZZI (2006), quién afirma que el Caudal Volumétrico de Alimentación ($QV_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}$) para el Clarificador con Melaza

diluida, es igual a:

$$QV_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = \frac{Volumen\ del\ Clarificador\ (V_E)}{Tiempo\ de\ llenado\ del\ Clarificador\ (\theta)}$$

Es decir:

$$QV_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = \frac{V_E}{\theta}$$

Reemplazando datos, se tiene:

$$QV_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = \frac{0,223 \text{ m}^3}{60 \text{ min}}$$

$$QV_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = 3,717 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

- Si se sabe que la densidad de la Melaza diluida a 51°Bx y 85°C es:

$$\rho_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = 1197,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- La determinación del Caudal Másico de alimentación ($QM_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}}$) al

Clarificador con melaza diluida resultó de:

$$\text{Caudal Másico} = \text{Caudal Volumetrico} \times \text{Densidad}$$

$$QM_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = QV_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} \times \rho_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}}$$

$$QM_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = 3,717 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 1197,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$QM_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = 6,407 \frac{\text{TM}}{\text{dia}} \quad \text{ó también} \quad QM_{MD_{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} = 0,07 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Reemplazando en la ecuación (4), para determinar el caudal de agua caliente (QM_{AC}) sabiendo que Brix de la Melaza Bruta ó Brix inicial (Bx_i)

$$= 84^{\circ}Bx$$

$$\text{Brix de la Melaza diluida ó Brix final } (Bx_f) = 50^{\circ}Bx$$

Caudal Másico de alimentación ($QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}$) = 6,407 TM/día, se tiene:

$$QM_{AC} = QM_{MB} \left(\frac{0,84 - 0,50}{0,50} \right)$$

$$QM_{AC} = 0,68 QM_{MB}$$

Según la Figura 6 se tiene que: $QM_{AC} + QM_{MB} = QM_{MD}$

$$QM_{AC} + QM_{MB} = 6,407$$

$$QM_{AC} = 2,593 \frac{TM}{dia} \quad QM_{MB} = 3,814 \frac{TM}{dia}$$

4.3.4. Área necesaria de sedimentación de Lodos del Clarificador (A)

Se determinó mediante la ecuación (5).

- Densidad de la melaza clarificada a 52°Bx y 85°C ($\rho_{MC}^{52^{\circ}Bx-85^{\circ}C}$) según la

tabla de Spencer: $\rho_{MC}^{52^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = 1202,439 \frac{Kg}{m^3}$

- Densidad de los Lodos a 53°Bx y 62°C ($\rho_L^{53^{\circ}Bx-62^{\circ}C}$) según la Tabla de

Spencer: $QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = 6,407 \frac{TM}{dia} = 0,07 \frac{kg}{s}$

Reemplazando datos en la fórmula se tiene:

$$A = \frac{QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}}{V} \left[\frac{1}{\rho_{MC}^{52^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} - \frac{1}{\rho_L^{53^{\circ}Bx-62^{\circ}C}} \right]$$

$$A = \frac{0,07 \frac{kg}{s}}{6,586 \times 10^{-5} \frac{m}{s}} \left[\frac{1}{1202,497} - \frac{1}{1222,938} \right] \frac{m^3}{kg}$$

$$A = 0,015 m^2 \quad \text{ó}$$

$$A = 150 cm^2$$

Donde el Área de Sedimentación de Lodos (A), se encuentra dentro del área superior y área inferior del Cono de Lodos para ser evacuados, según la ecuación (6); es decir: $A_{superior} > A > A_{inferior}$

$$6789,465 cm^2 > 150 cm^2 > 132,665 cm^2$$

4.3.5. Tiempo de Retención o Detención de la Melaza diluida en el Clarificador (t_R)

Se determinó, según RODRIGUEZ (2006), mediante la ecuación (7), es decir: $t_R = \theta = 60 \text{ min} = 3600 s = 1 h$, pasado el tiempo de retención (t_R), el Clarificador podrá recibir una alimentación continua, donde la melaza clarificada se obtiene por reboce. Por lo tanto:

$$t_R = \theta = 60 \text{ min} = 3600 s = 1 h$$

4.3.6. Tiempo de llenado del Clarificador (T)

Se determinó, mediante la ecuación (8) y se tuvo que: $T = 60 \text{ min}$

4.3.7. Volumen ocupado por los Lodos en el Clarificador (V_L)

Se procedió según RODRIGUEZ (2006) quién afirma que el volumen ocupado por los lodos en el clarificador y para ser evacuados debe tener una altura necesaria y asignada (1/3 del clarificador).

La determinación del Volumen de los Lodos (V_L) en el Clarificador, se realizó tomando en cuenta su altura óptima, según la Figura 7.

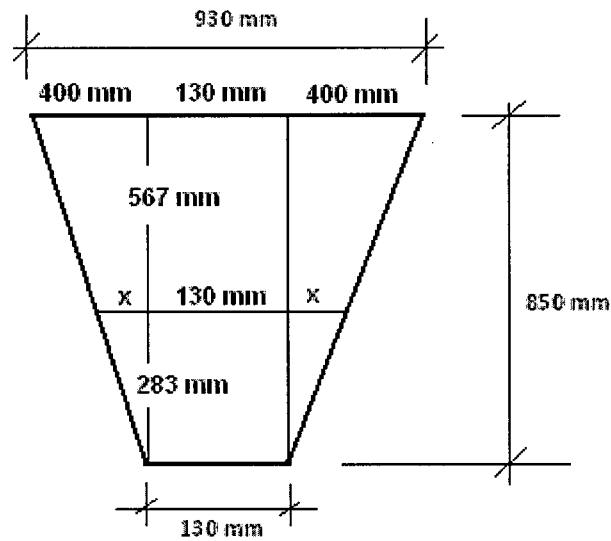


Figura 7. Medidas proporcionales del clarificador

$$\text{Altura de Lodos} = \frac{1}{3} \text{ Altura del Clarificador}$$

$$\text{Altura de Lodos} = \frac{1}{3} \cdot 850 \text{ mm}$$

$$\text{Altura de Lodos} = 283 \text{ mm}$$

$$\frac{x}{400 \text{ mm}} = \frac{283 \text{ mm}}{850 \text{ mm}}$$

$$x = 133,176 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen de Lodos} = \frac{\pi h}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$$

$$\text{Volumen de Lodos} = 0,017 \text{ m}^3 \text{ Lodos} \quad \text{ó también}$$

$$\text{Volumen de Lodos} = 17000 \text{ mL}$$

Según la ecuación (9):

$$7,30 \geq \frac{\text{Diámetro mayor}}{\text{Diámetro menor}} \geq 7,00$$

Es por ello que se procedió la comprobación de la relación de los diámetros del Clarificador y se tuvo:

$$\frac{\text{Diámetro mayor}}{\text{Diámetro menor}} = \frac{930 \text{ mm}}{130 \text{ mm}} = 7,15$$

Demostrando así, que dicha relación de diámetros se encuentra dentro del rango establecido de: 7,00 a 7,30.

Según la ecuación (10):

$$1,13 \geq \frac{\text{Diámetro mayor}}{\text{Altura}} \geq 1,06$$

Se procedió la comprobación de la relación del Diámetro mayor y la Altura del Clarificador:

$$\frac{\text{Diámetro mayor}}{\text{Altura}} = \frac{930 \text{ mm}}{850 \text{ mm}} = 1,10$$

Demostrando así, que dicha relación del Diámetro mayor y la Altura se encuentra dentro del rango establecido de: 1,06 a 1,13.

4.3.8. Volumen obtenido de Melaza Clarificada (V_{MC}) en el Clarificador utilizando melaza diluida a pH Natural en el tiempo (θ)

Se determinó, según RODRIGUEZ (2006), mediante la ecuación (11).

$$V_{MC} = \frac{QM_{MD}^{\circ Bx-\circ T}}{\rho_{MC}^{\circ Bx-\circ T}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta$$

Para determinar el tiempo necesario (θ) para que los lodos ocupen hasta la 1/3 parte de la altura del Clarificador, es decir para ocupar los 17000 mL de Lodos, se procedió la determinación con la utilización del Cuadro (7).

Por lo tanto:

$$\begin{array}{ccc} 38 \text{ m}^3 & \text{-----} & 7 \text{ dias} \text{-----} & 400 \frac{\text{TM}}{\text{dia}} \\ 0,223 \text{ m}^3 & \text{-----} & x \text{-----} & 6,407 \frac{\text{TM}}{\text{dia}} \end{array}$$

$$x = 7 \text{ dias} \cdot \frac{0,223 \text{ m}^3}{38 \text{ m}^3} \cdot \frac{400 \frac{\text{TM}}{\text{dia}}}{6,407 \frac{\text{TM}}{\text{dia}}}$$

$$x = 2,565 \text{ dias} = 61,56 \text{ horas}$$

Además, se sabe que: $\rho_{MC}^{52Bx-85C} = 1202,439 \text{ kg/m}^3$

$$QM_{MD}^{51Bx-85C} = 6,407 \text{ TM/día}$$

Reemplazando en la fórmula para encontrar el Volumen obtenido de Melaza Clarificada a un Brix y temperatura determinada ($V_{MC}^{Bx-^{\circ}C}$) en el Clarificador

durante las 61,56 horas:

$$V_{MC} = \frac{QM_{MD}^{Bx-^{\circ}T}}{\rho_{MC}^{Bx-^{\circ}T}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta = \frac{QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C}}{\rho_{MC}^{52^{\circ}Bx-85^{\circ}C}} \int_{0 \text{ dias}}^{2,565 \text{ dias}} d\theta$$

$$V_{MC} = \frac{6407 \times 10^{-3} \frac{\text{TM}}{\text{dia}}}{1,202439 \frac{\text{TM}}{\text{m}^3}} \int_{0 \text{ dias}}^{2,565 \text{ dias}} d\theta$$

$$V_{MC} = 13,667 \text{ m}^3$$

4.3.9. Rebose del caudal másico de melaza clarificada ($QM_{\text{MC}}^{\text{°Bx-°T}}$) a

un Brix y temperatura determinada en el tiempo (θ).

Se determinó según RODRIGUEZ (2006), mediante la ecuación (13). Además para procesos de Clarificación de melaza diluida (MD) a pH Natural, es decir sin usar agentes químicos o precipitadores, el factor de caudales de masa "K" se determina según los grados Brix (°Bx) y temperatura (°C) de dilución, de acuerdo al Cuadro 6. Por lo tanto, para 50°Bx – 85°C – pH Natural; será:

$$K = 468,208 \times 10^{-3},$$

$$QM_{\text{MC}}^{\text{°Bx-°T}} = K V_{\text{MC}}$$

$$QM_{\text{MC}}^{\text{°Bx-°T}} = 468,208 \times 10^{-3} \frac{TM \cdot m^{-3}}{dia} \times 13,667 m^3$$

$$QM_{\text{MC}}^{\text{°Bx-°T}} = 6398,999 \times 10^{-3} \frac{TM}{dia}$$

4.3.10. Altura teórica del Clarificador ($h_{\text{Teórica}}$)

Según la ecuación (14). $h_{\text{Teórica}} = 57,175 \times 10^{-3} \frac{V_E}{A}$

$$h_{\text{Teórica}} = 57,175 \times 10^{-3} \frac{0,223 m^3}{0,015 m^2} = 0,85 m$$

4.3.11. Altura Total del Clarificador (A_{Total})

Según la ecuación (15) $h_{\text{Total}} = h_{\text{Teórica}} + h_{\text{Corregida}}$

Según RODRIGUEZ (2006) se procedió la adición de 0,07 m de altura corregida, como medida de corrección teórica a la altura teórica y se obtuvo:

$$h_{Total} = 0,85 m + 0,07 m$$

$$h_{Total} = 0,92 m$$

4.3.12. Peso de Lodos (kg) por peso de Melaza diluida (TM).

Se procedió, según KLIBANSKI (2006) y se determinó mediante las ecuaciones (16) y (17) y se tuvo lo siguiente:

$$\frac{\text{Peso de Lodos (g)}}{\text{Peso de Melaza Diluida (Kg)}} = \frac{\text{Peso de Lodos (g)}}{100 \text{ ml de MD } ^{\circ Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}}$$

$$\frac{\text{Peso de Lodos (kg)}}{\text{Peso de Melaza Diluida (TM)}} = \frac{\text{Peso de Lodos (g)}}{100 \text{ ml de MD } ^{\circ Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}}$$

Para reemplazar datos en la fórmula, se utilizó los datos de la Clarificación de melaza que se realizó en el Laboratorio. Es decir, se utilizó los datos a las condiciones de: 50°Bx – 85°C – pH=5,8 (Natural); donde:

$$\frac{3,81 \text{ g Lodos}}{100 \text{ mL Melaza Diluida } ^{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}}$$

Donde nos indica que: 100 mL de Melaza diluida 51°Bx con una densidad relativa o peso específico verdadero, a 20°/20°C, contiene 3,81 g de Lodos (L).

Entonces, el Volumen de 100 mL de Melaza Diluida, tiene un Peso (W) de:

$$W_{MD}^{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C} = \rho_{MD}^{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C} \cdot 100 \text{ mL}_{MD}^{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}$$

Por lo tanto:

$$\frac{3,81 \text{ g Lodos}}{100 \text{ mL Melaza Diluida } ^{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}} = \frac{3,81 \text{ g Lodos}}{(\rho_{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}) (100 \text{ mL de MD } ^{51^{\circ}Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C})}$$

Transformando, reemplazando y desarrollando el cociente, se tendrá:

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,00381 \text{ kg Lodos}}{1,23727 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} \cdot 100 \text{ mL MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}} = \frac{0,00381 \text{ kg Lodos}}{123,727 \text{ gr MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}} \\
&= \frac{0,00381 \text{ kg Lodos}}{0,123727 \text{ kg MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}} = \frac{0,00381 \text{ kg Lodos}}{0,000123727 \text{ TM MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}} \\
&= \frac{381 \times 10^{-5} \text{ kg Lodos}}{123727 \times 10^{-9} \text{ TM MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}} = \frac{381 \times 10^4 \text{ kg Lodos}}{123727 \text{ TM MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}} \\
&= 30,794 \frac{\text{kg Lodos}}{\text{TM MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}}
\end{aligned}$$

Por lo tanto, para 50°Bx - 85°C – pH =5,8(Natural) se tiene:

$$\frac{\text{Peso de Lodos (kg)}}{\text{Peso de Melaza Diluida (TM)}} = 30,794 \frac{\text{kg Lodos}}{\text{TM MD}_{51^\circ \text{Bx} - 20^\circ / 20^\circ \text{C}}}$$

4.4. De la construcción del clarificador o tercera etapa

La construcción del Clarificador se realizó en el taller de mecánica de la Empresa Agroindustrial Casa Grande SAA y se realizó de acuerdo al Diagrama de Flujo, descrito en la Figura 8, donde:

Se dispusieron los materiales con las pautas necesarias y seguidamente se procedió el ordenamiento de las acciones respectivas.

Se procedió al trazado de medidas, luego el armado del Prototipo o Clarificador y seguidamente la Inspección del armado.

Las pruebas se realizaron con la creación de un plan de calidad, priorización y reparación de errores, y finalmente la ejecución de las pruebas finales.

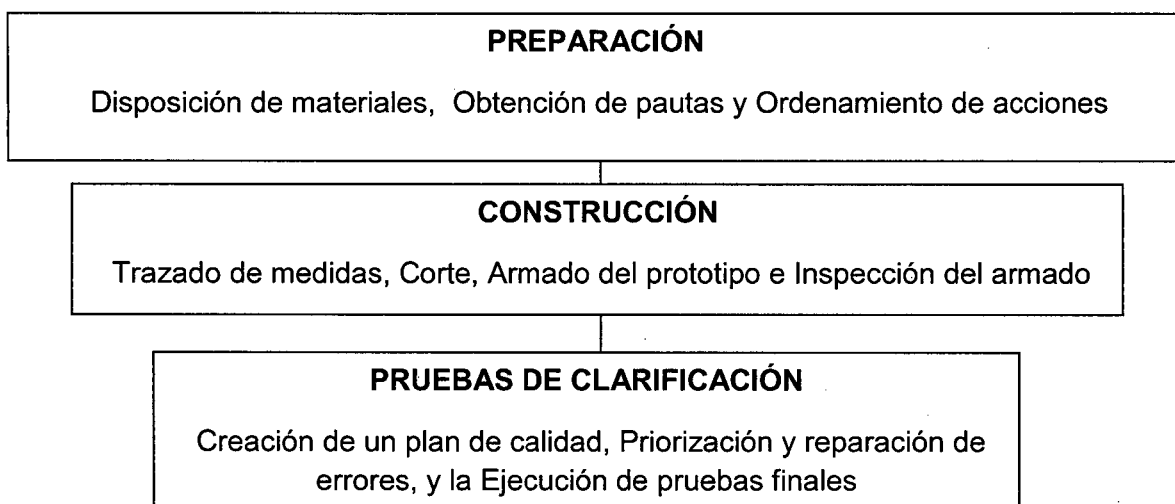
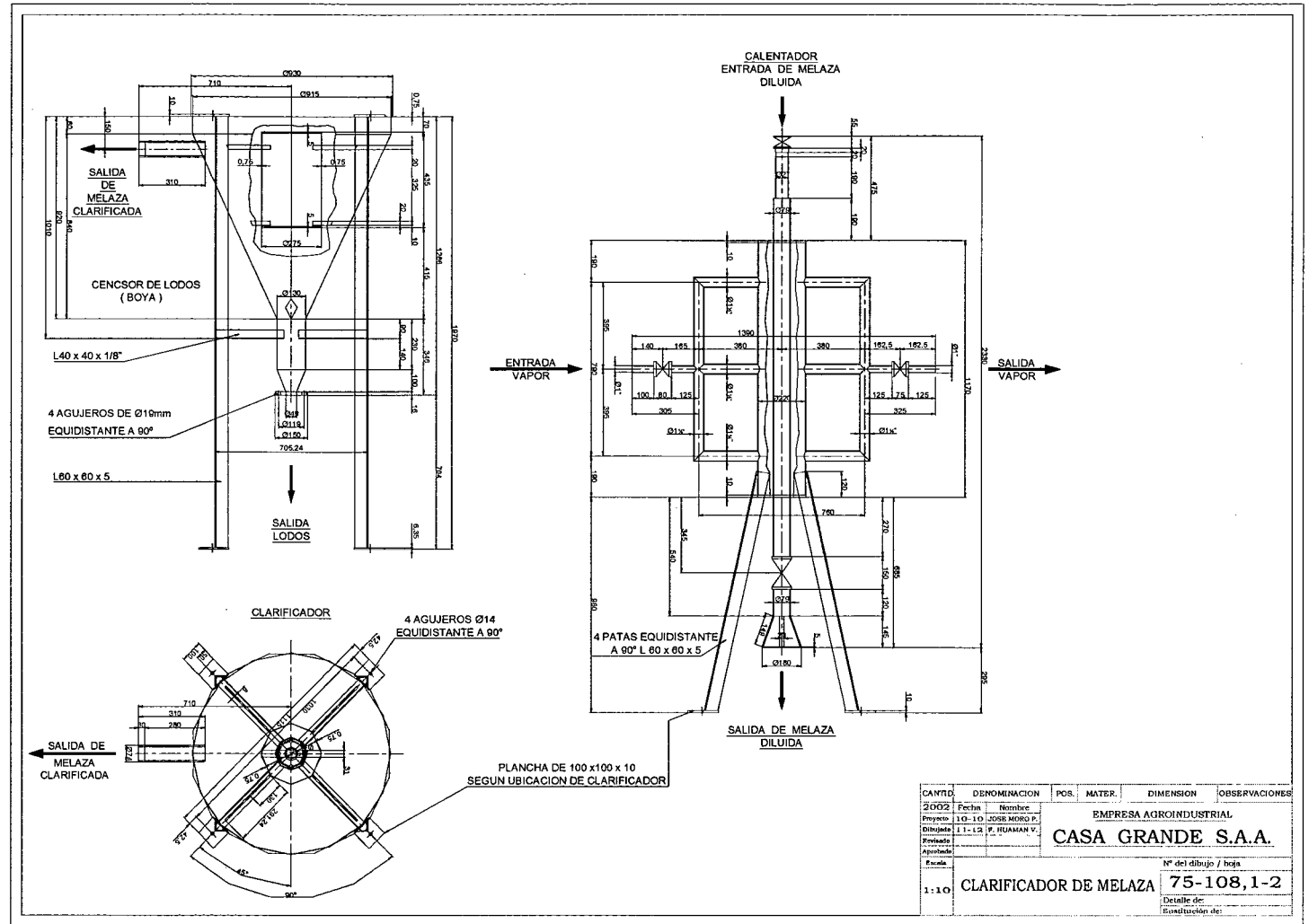
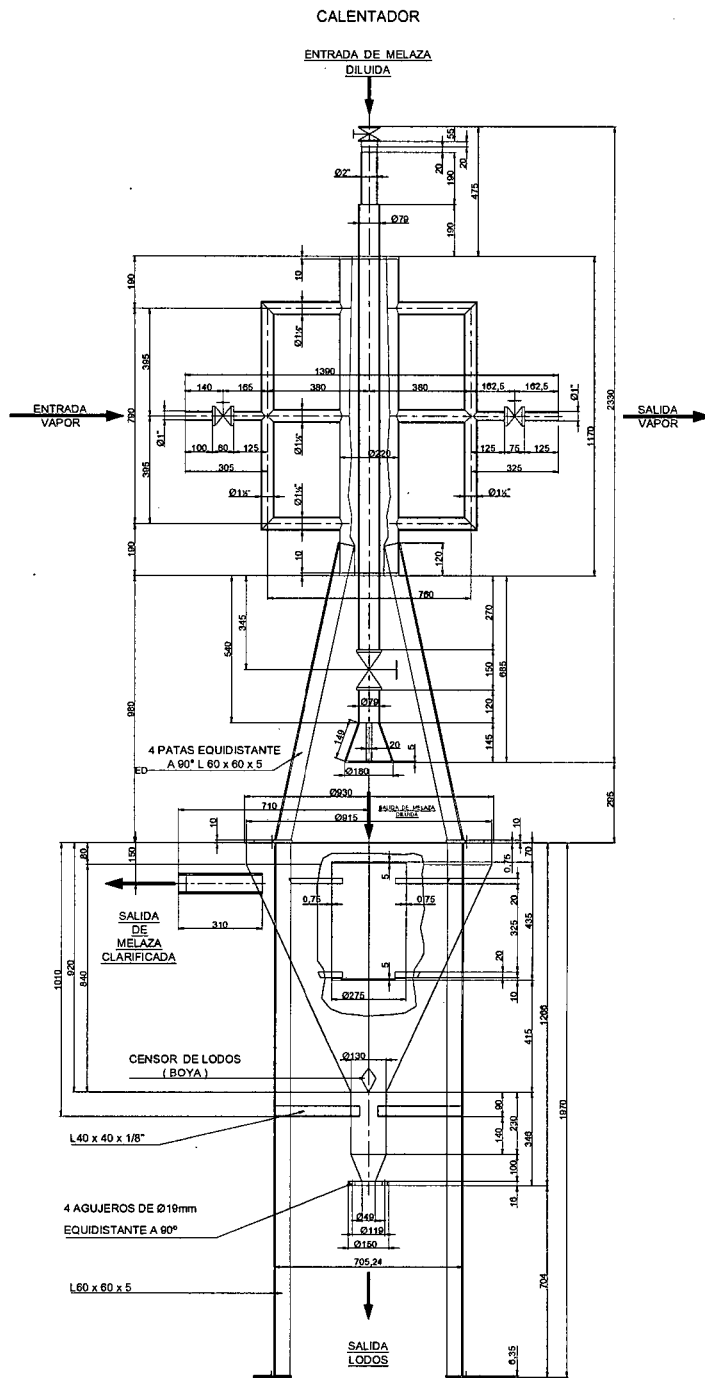


Figura 8. Diagrama de flujo de la construcción del clarificador

A continuación se presentan los planos del clarificador contruido





CANTID.	DENOMINACION		POS.	MATER.	DIMENSION	OBSERVACIONES
2002	Fecha	Nombre	EMPRESA AGROINDUSTRIAL			
Proyecto	1.0-1.0	JOSE MORO P.	CASA GRANDE S.A.A.			
Dibujado	1.1-1.2	F. HUAMAN V.				
Revisado						
Aprobado						
Escala	MONTAJE CLARIFICADOR DE MELAZA DESTILERIA				N° del dibujo / hoja	
1:10					75-108-2	
					Detalle de:	
					Sustitución de:	

4.5. De las pruebas del clarificador construido o cuarta etapa

Al culminar la construcción del Clarificador, se procedió a realizar tres pruebas de funcionamiento, para 40 °Bx (1ra Prueba), 50 °Bx (2da Prueba) y 60 °Bx (3ra Prueba), tomando en cuenta los resultados obtenidos de la Clarificación en el Laboratorio.

Es decir:

- 1ra. Prueba, cuando la melaza bruta (MB) fue diluida a 40 °Bx, en esta prueba se observó que el volumen del Lodo formado y decantado tuvo éxito a: 42 °Bx – 95 °C – pH = 5,0.
- 2da Prueba, cuando la melaza bruta (MB) fue diluida a 50 °Bx, en esta prueba se observó que el volumen del Lodo formado y decantado tuvo éxito a: 51 °Bx – 85 °C – pH = 5,8 (Natural).
- 3ra Prueba, cuando la melaza bruta (MB) fue diluida a 60 °Bx, en esta prueba se observó que el volumen del Lodo formado y decantado tuvo éxito a: 62 °Bx – 75 °C – pH = 4,5.

- Prueba del Clarificador con melaza a 40 °Bx o 1ra. Prueba

Esta prueba, se realizó de acuerdo al diagrama de la Figura 9. Para la clarificación, se procedió con el Brix, temperatura y pH requerido, que fueron obtenidos anteriormente en el laboratorio, o sea: 41 °Bx, 95 °C y pH=5,0.

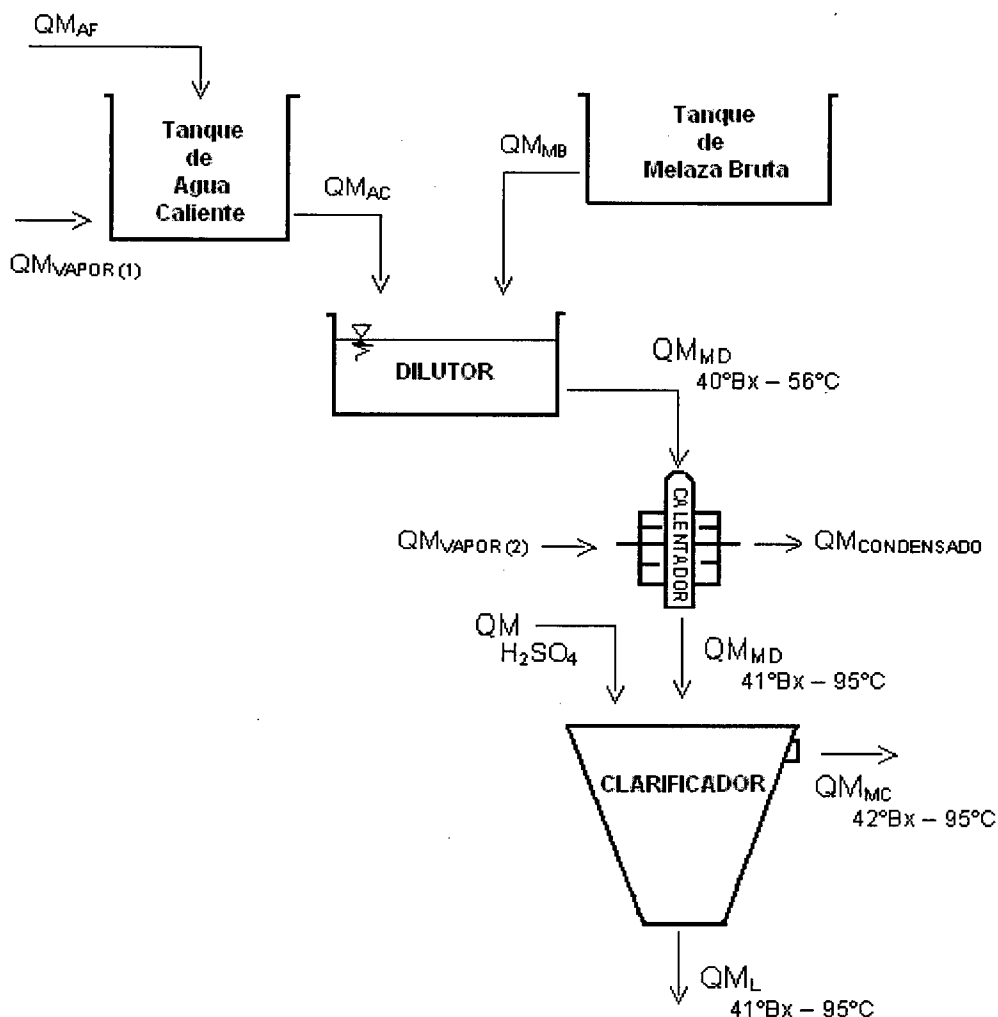


Figura 9. Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida (MD) a: 40°Bx – 95°C – pH= 5,0

Cálculo del Caudal másico de Alimentación con melaza diluida (QM_{MD}) .

Para este cálculo se tomó en cuenta lo siguiente:

- Las medidas del Clarificador construido fueron las que se indican en la Figura 10.

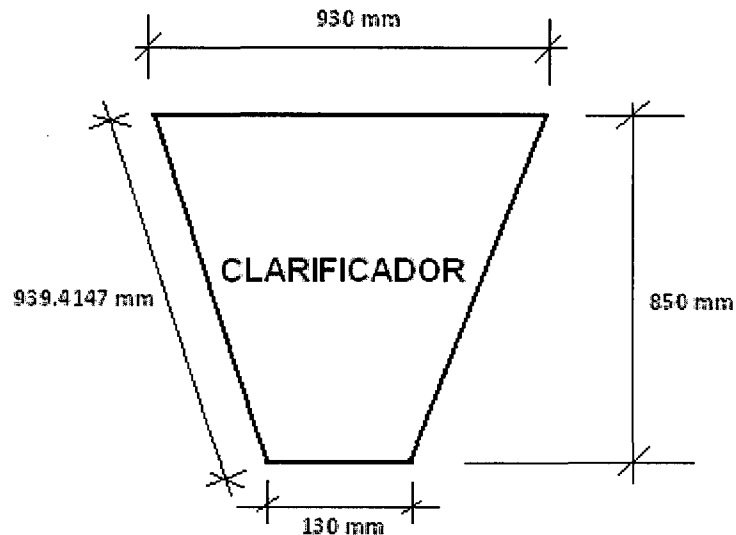


Figura 10. Mediciones del Clarificador de Melaza

- La alimentación fue con melaza diluida (MD) a: 41 °Bx – 95 °C – pH=5,0 para luego obtener una Melaza Clarificada (MC) a 42 °Bx con 95 °C.
- Según las pruebas de clarificación que se realizó en el laboratorio, se encontró que aproximadamente 120 minutos, fue el tiempo de sedimentación de partículas de melaza diluida (MD) a: 41 °Bx – 95 °C - pH =5,0; este mismo tiempo de 120 minutos, se utilizó en la sedimentación de partículas de melaza diluida, cuando se procedió al llenado al ras del clarificador construido.
- Por rebose se obtuvo la melaza clarificada y después de 5,398 días, equivalente a 129,552 horas, se procedió la paralización del Clarificador para realizar el descargue de Lodos; debido a que habían alcanzado la altura óptima debida.

38 m³ ----- 7 días ----- 400 TM/día

0,223 m³ ----- xdías ----- 3,044 TM/día

$$x = 5,398 \text{ días} = 129,552 \text{ horas}$$

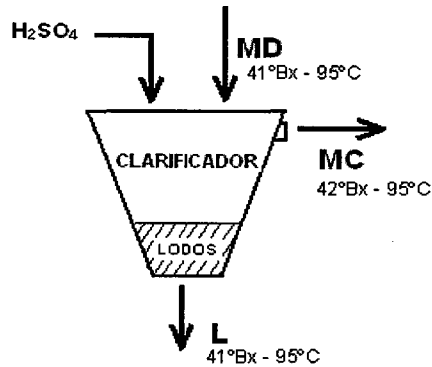


Figura 11. Alimentación de MD con descarga de MC y L

- El Volumen del Clarificador construido (V_E), fue $0,223 \text{ m}^3$
- El Caudal Volumétrico ($QV_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}}$) de alimentación al Clarificador con

melaza diluida es:

$$QV_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = \frac{0,223 \text{ m}^3}{120 \text{ min}}$$

$$QV_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = 1,858 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

- La densidad de la alimentación con melaza diluida (MD) a: $41^\circ Bx-95^\circ C$,

según Tabla de Spencer fue de: $\rho_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = 1137,893 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- El caudal Másico de melaza diluida a $41^\circ Bx-95^\circ C$ ($QM_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}}$) es:

$$Caudal\ Masico_{MD} = Caudal\ Volumetrico_{MD} \times Densidad_{MD}$$

Reemplazando datos: $QM_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = QV_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} \cdot \rho_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}}$

Donde: $QM_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = 1,858 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 1137,893 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$QM_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = 3,044 \frac{\text{TM}}{\text{dia}} = 3044 \times 10^{-3} \frac{\text{TM}}{\text{dia}} \text{ o también } QM_{MD_{41^\circ Bx-95^\circ C}} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Los resultados obtenidos en la 1ª. Etapa se muestran en los cuadros 24, 25, 26, 27, y 28

Cuadro 24. Resultados de Lodos: Peso (g/100mL $MD^{\circ Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}$), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida ($MS/^{\circ}Bx_{MD}$) y Kg por Tonelada Métrica de Melaza diluida($Kg/TM. MD^{\circ Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}$), proveniente de Melaza Clarificada (MC).

Brix	T(°C)	pH	L O D O S			
			PESO	HUMEDAD	MS	kg
			$\frac{g}{100 mL MD^{\circ Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}}$		$^{\circ}Bx_{MD}$	$TM. MD^{\circ Bx-20^{\circ}/20^{\circ}C}$
40	75	5,8(Natural)	1,32	41,62	1,39	11,103
		5,0	1,46	41,71	1,39	12,281
		4,5	1,61	42,47	1,40	13,602
	85	5,8(Natural)	1,85	44,42	1,32	15,561
		5,0	2,18	44,71	1,32	18,337
		4,5	2,36	45,32	1,33	19,938
	95	5,8(Natural)	2,39	47,30	1,25	20,103
		5,0	2,69	48,14	1,26	22,726
		4,5	2,90	48,41	1,26	24,499

Cuadro 25. Resultados de pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

Brix	T(°C)	pH	pH			Brix		
			MD	MC	L	MD	MC	L
40	75	5,8(Natural)	5,5	5,6	6,3	42	43	44
		5,0	5,2	5,3	5,7	42	42	42
		4,5	4,8	4,9	5,4	41	41	41
	85	5,8(Natural)	5,2	5,3	5,9	42	43	44
		5,0	5,0	5,1	5,7	42	43	43
		4,5	4,9	5,0	5,5	41	42	42
	95	5,8(Natural)	5,2	5,3	5,7	42	43	43
		5,0	4,9	5,0	5,4	41	42	41
		4,5	4,7	4,8	5,2	41	42	41

Cuadro 26. Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

Brix	T(°C)	pH	% AR (g/100mL)			% ART (g/100mL)		
			MD	MC	L	MD	MC	L
40	75	5,8(Natural)	4,6	4,8	3,0	26,4	28,6	15,3
		5,0	4,5	5,2	4,3	27,5	29,1	16,4
		4,5	4,5	5,9	5,6	28,7	30,4	17,2
	85	5,8(Natural)	4,6	5,1	4,1	27,1	29,1	17,6
		5,0	4,6	5,7	5,3	28,6	29,5	18,9
		4,5	4,5	6,3	6,2	29,6	30,7	20,2
	95	5,8(Natural)	4,6	5,2	4,9	27,7	30,6	19,6
		5,0	4,6	6,6	5,8	29,8	30,2	20,8
		4,5	4,6	7,5	6,8	30,4	31,3	22,5

Cuadro 27. Color y turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).

Brix	T(°C)	pH	COLOR		TURBIDEZ	
			MD	MC	MD	MC
40	75	5,8(Natural)	1166	1221	120	94
		5,0	1148	1212	112	83
		4,5	1139	1183	103	72
	85	5,8(Natural)	1148	1202	116	87
		5,0	1134	1181	114	75
		4,5	1123	1172	109	63
	95	5,8(Natural)	1124	1185	121	75
		5,0	1088	1141	117	64
		4,5	1058	1114	113	51

Cuadro 28. Calcio y Magnesio (g/100mL) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), porcentaje de reducción en calcio.

Brix	T(°C)	pH	% Ca (g/100mL)				% Mg (g/100mL)		
			MD	MC	L	% MERMA	MD	MC	L
40	75	5,8(natural)	0,20	0,16	15,41	20,00	0,09	0,08	0,57
		5,0	0,20	0,15	15,22	25,00	0,09	0,08	0,50
		4,5	0,21	0,15	14,97	28,57	0,09	0,08	0,46
	85	5,8(natural)	0,20	0,14	18,45	30,00	0,09	0,08	0,70
		5,0	0,20	0,13	18,22	35,00	0,09	0,08	0,65
		4,5	0,21	0,13	18,05	38,09	0,09	0,08	0,59
	95	5,8(natural)	0,23	0,14	22,44	39,13	0,09	0,08	0,92
		5,0	0,23	0,13	22,35	43,48	0,09	0,08	0,84
		4,5	0,22	0,12	22,04	45,45	0,09	0,08	0,79

4.5.2. Prueba del Clarificador con melaza diluida a 50°Bx o 2da. Prueba

Esta prueba, se realizó de acuerdo al diagrama del proceso de Clarificación con 51°Bx, 85°C y pH=5,8 (Natural).

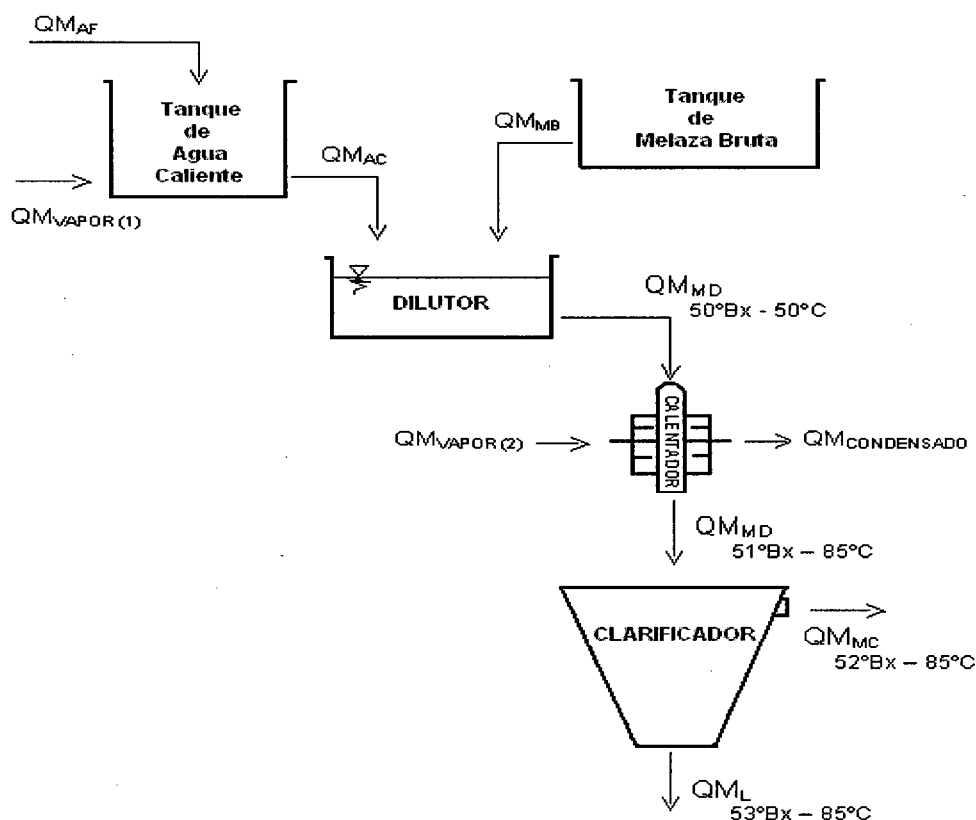


Figura 12. Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida (MD) a: 50 °Bx – 85 °C – pH= 5,8 (Natural).

Cálculo del Caudal másico de Alimentación con melaza diluida (QM_{MD}) al Clarificador construido.

Según las Pruebas de Clarificación en el laboratorio, 60 minutos fue el tiempo de sedimentación de partículas de melaza diluida (MD) a: 51°Bx - 85°C – pH=5,8 (Natural). Este tiempo se utilizó en la sedimentación de partículas de melaza diluida, cuando se procedió el llenado al ras del

clarificador construido. Por rebose se obtuvo la Melaza Clarificada y después de 2,565 días equivalente a 61,56 horas, se procedió la paralización del Clarificador para realizar el descargue de Lodos; debido a que habían alcanzado la altura óptima según la relación.

$$\begin{array}{lcl} 38 \text{ m}^3 & \text{----- 7 días -----} & 400 \text{ TM/día} \\ 0,223 \text{ m}^3 & \text{----- x días -----} & 6,407 \text{ TM/día} \quad x = 2,565 \text{ días} = 61,56 \text{ horas} \end{array}$$

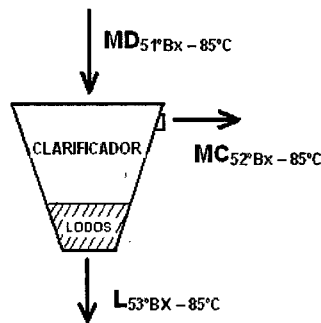


Figura 13. Alimentación de MD con descarga de MC y L

$$\text{Volumen del Clarificador } (V_E) = 0,223 \text{ m}^3$$

$$QV_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}} = \frac{0,223 \text{ m}^3}{60 \text{ min}} \quad QV_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}} = 3,717 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

- La densidad de la alimentación con melaza diluida (MD) de: 51°Bx–85°C,

según la Tabla de Spencer: $\rho_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}} = 1197,035 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- La alimentación para el Clarificador con un Caudal Másico de melaza diluida

($QM_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}}$) es: $\text{Caudal Masico}_{MD} = \text{Caudal Volumetrico}_{MD} \times \text{Densidad}_{MD}$

$$QM_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}} = QV_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}} \cdot \rho_{MD_{51^\circ Bx-85^\circ C}}$$

$$QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = 3,717 \times 10^{-3} \frac{m^3}{min} \times 1197,035 \frac{kg}{m^3}$$

$$QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = 3,717 \times 10^{-3} \frac{m^3}{min} \times 1197,035 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1TM}{10^3 kg} \times \frac{60min}{1h} \times \frac{24h}{1dia}$$

$$QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = 6,407 \frac{TM}{dia} = 6407 \times 10^{-3} \frac{TM}{dia} \quad QM_{MD}^{51^{\circ}Bx-85^{\circ}C} = 0,07 \frac{kg}{s}$$

Los resultados se indican en los Cuadros 29, 30, 31 y 32.

Cuadro 29. Lodos: Peso (g/100mL MD^{°Bx-20°/20°C}), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida(MS/^{°BxMD}) y Kg por Tonelada Métrica de Melaza diluida(Kg/TM. MD^{°Bx-20°/20°C})

L O D O S						
Brix	T(°C)	pH	PESO	HUMEDAD (%)	MS ^{°BxMD}	kg TM. MD ^{°Bx-20°/20°C}
			<u>g</u> 100 ml MD ^{°Bx-20°/20°C}			
50	75	5,8(Natural)	3,06	32,23	1,30	24,621
		5,0	3,38	32,12	1,31	27,196
		4,5	3,65	31,95	1,31	29,368
	85	5,8(Natural)	3,82	35,18	1,27	30,874
		5,0	4,09	34,87	1,28	33,057
		4,5	4,25	34,56	1,28	34,350
	95	5,8(Natural)	4,35	37,13	1,23	35,158
		5,0	4,58	37,76	1,22	37,017
		4,5	4,75	38,01	1,22	38,391

Cuadro 30. pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

Brix	T(°C)	pH	pH			Brix		
			MD	MC	L	MD	MC	L
50	75	5,8(Natural)	5,8	5,7	6,4	52	53	53
		5,0	5,1	5,2	5,8	52	51	51
		4,5	4,7	4,8	5,4	52	51	51
	85	5,8(Natural)	5,5	5,5	6,0	51	52	53
		5,0	5,1	5,3	5,5	51	52	52
		4,5	4,7	4,9	5,2	51	51	52
	95	5,8(Natural)	5,6	5,5	5,7	51	52	54
		5,0	5,1	5,2	5,5	51	52	53
		4,5	4,7	4,8	5,3	51	52	53

Cuadro 31. Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

Brix	T(°C)	pH	% AR (g/100mL)			% ART (g/100mL)		
			MD	MC	L	MD	MC	L
50	75	5,8(Natural)	6,6	6,7	4,6	32,8	33,5	21,6
		5,0	6,5	7,2	5,2	33,3	34,6	22,2
		4,5	6,5	7,6	5,8	33,9	36,2	22,7
	85	5,8(Natural)	6,6	7,0	5,1	33,1	34,8	22,3
		5,0	6,6	7,6	5,3	33,8	36,1	22,8
		4,5	6,7	8,4	6,2	34,3	36,5	23,7
	95	5,8(Natural)	6,8	7,5	6,0	33,7	36,5	24,4
		5,0	6,7	8,9	6,3	34,5	36,7	25,2
		4,5	6,7	10,2	6,7	35,3	36,9	25,8

Cuadro 32. Color y turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).

Brix	T(°C)	pH	COLOR		TURBIDEZ	
			MD	MC	MD	MC
50	75	5,8(Natural)	1191	1261	135	81
		5,0	1168	1245	126	75
		4,5	1157	1237	122	63
	85	5,8(Natural)	1164	1234	124	71
		5,0	1155	1228	122	66
		4,5	1148	1226	120	64
	95	5,8(Natural)	1150	1225	121	58
		5,0	1120	1207	118	51
		4,5	1092	1188	114	47

Cuadro 33. Resultados de Calcio y Magnesio (g/100mL), en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), así como el porcentaje de reducción o merma obtenida para el Calcio.

Brix	T(°C)	pH	% Ca (g/100mL)				% Mg (g/100mL)		
			MD	MC	L	% MERMA	MD	MC	L
50	75	5,8(Natural)	0,24	0,14	18,77	41,67	0,11	0,12	0,66
		5,0	0,25	0,13	18,42	48,00	0,11	0,12	0,55
		4,5	0,25	0,12	18,11	52,00	0,11	0,12	0,49
	85	5,8(Natural)	0,24	0,11	21,71	54,17	0,11	0,12	0,75
		5,0	0,24	0,10	21,54	58,33	0,11	0,12	0,61
		4,5	0,25	0,10	21,06	60,00	0,11	0,12	0,57
	95	5,8(Natural)	0,26	0,10	24,55	61,54	0,11	0,12	0,85
		5,0	0,27	0,10	24,37	62,96	0,11	0,12	0,76
		4,5	0,28	0,10	24,20	64,29	0,11	0,12	0,68

4.5.3. Prueba del Clarificador con melaza diluida 60 °Bx o 3ra Prueba.

Esta prueba, se realizó de acuerdo al diagrama de la Figura 14. Se procedió con el Brix, Temperatura y pH requeridos para su clarificación, obtenidos anteriormente en el Laboratorio o sea: 61°Bx, 75°C y pH=4,5.

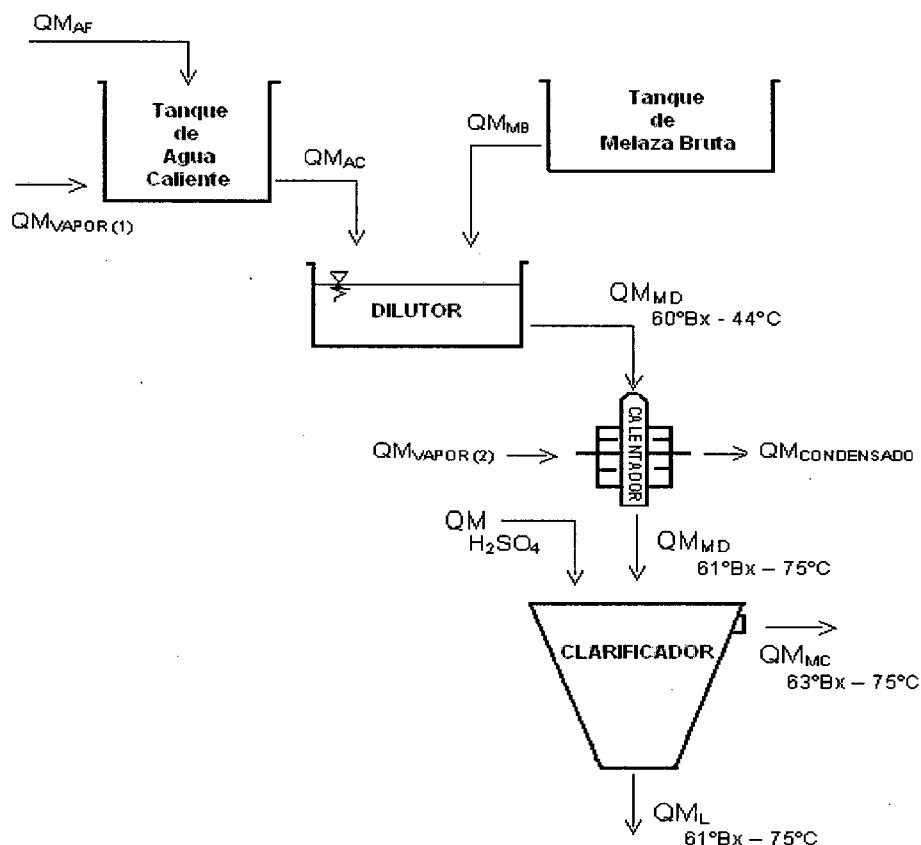


Figura 14. Diagrama del Proceso de Clarificación de Melaza diluida (MD) a 60°Bx–75°C – pH= 4,5.

Cálculo del Caudal másico de Alimentación con melaza diluida (Q_{MD}) al Clarificador construido.

La alimentación fue Melaza diluida (MD) a: 61 °Bx – 75 °C – pH=4,5 para luego obtener una Melaza Clarificada (MC) a 63 °Bx con 75 °C.

Según las Pruebas de Clarificación en el Laboratorio, el tiempo de sedimentación fue 120 minutos, de melaza diluida (MD) a: $61^{\circ}\text{Bx} - 75^{\circ}\text{C} - \text{pH}=4,5$, este tiempo se utilizó en la sedimentación de partículas de melaza diluida, cuando se procedió el llenado al ras del Clarificador construido. Por reboce se obtuvo la Melaza Clarificada y después de aproximadamente 4,874 días equivalente a 116,985 horas, se procedió la paralización del clarificador para realizar el descargue de Lodos; debido a que habían alcanzado la altura óptima, según se indica en la relación:

$$38 \text{ m}^3 \quad \text{-----} 7 \text{ días} \quad \text{-----} 400 \text{ TM/día}$$

$$0,223 \text{ m}^3 \quad \text{-----} x \text{ días} \quad \text{-----} 3,371 \text{ TM/día}$$

$$x = 4,874 \text{ días} = 116,985 \text{ horas}$$

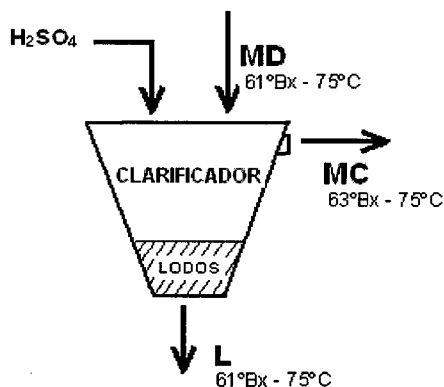


Figura 15. Alimentación de MD con descarga de MC y L

$$\text{Volumen del Clarificador } (V_E) = 0,223 \text{ m}^3$$

- Además, el Caudal Volumétrico ($QV_{MD}^{61^{\circ}\text{Bx}-75^{\circ}\text{C}}$) de alimentación al Clarificador

con Melaza Diluida; se encontró que fue de:

$$QV_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = \frac{0,223 m^3}{120 \text{ min}} \quad QV_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = 1,858 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\text{min}}$$

La densidad de la alimentación con melaza diluida (MD) de: 61°Bx-

75°C, según Tabla que fue de: $\rho_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = 1259,979 \frac{kg}{m^3}$

La alimentación para el Clarificador con un Caudal Másico de melaza diluida ($QM_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}}$); es igual a:

$$Caudal Masico_{MD} = Caudal Volumetrico_{MD} \times Densidad_{MD}$$

$$QM_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = QV_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} \cdot \rho_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}}$$

$$QM_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = 1,858 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\text{min}} \times 1259,979 \frac{kg}{m^3}$$

$$QM_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = 1,858 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\text{min}} \times 1259,979 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1 TM}{10^3 kg} \times \frac{60 \text{ min}}{1 h} \times \frac{24 h}{1 día}$$

$$QM_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = 3,371 \frac{TM}{día} = 3371 \times 10^{-3} \frac{TM}{día} \text{ Ó también}$$

$$QM_{MD_{61^{\circ}Bx-75^{\circ}C}} = 0,04 \frac{kg}{s} \text{ L}$$

Los resultados obtenidos al ser sometido a Prueba el Clarificador a las condiciones establecidas se indican en los Cuadros 34, 35, 36, 37 y 38.

Cuadro 34. Peso (g/100mL MD^{°Bx-20°/20°C}), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida (MS/^{°Bx}MD) y Kg/ Tonelada Métrica de Melaza diluida (Kg/TM. MD^{°Bx-20°/20°C}), proveniente de Melaza Clarificada.

Brix	T(°C)	pH	L O D O S			
			PESO g 100 mL MD ^{°Bx-20°/20°C}	HUMEDAD (%)	MS °Bx _{MD}	Kg TM. MD ^{°Bx-20°/20°C}
60	75	5,8(Natural)	4,15	25,96	1,19	31,909
		5,0	4,38	26,33	1,19	33,677
		4,5	4,66	26,71	1,20	35,995
	85	5,8(Natural)	5,18	26,58	1,18	39,828
		5,0	5,62	26,93	1,18	43,211
		4,5	5,83	27,72	1,18	45,032
	95	5,8(Natural)	6,41	27,16	1,17	49,285
		5,0	6,59	28,42	1,17	50,902
		4,5	6,82	28,63	1,17	52,679

Cuadro 35. pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos

Brix	T(°C)	pH	pH			Brix		
			MD	MC	L	MD	MC	L
60	75	5,8(Natural)	6,0	5,7	6,5	62	64	65
		5,0	5,2	5,1	6,1	62	63	63
		4,5	4,5	4,6	5,6	61	63	61
	85	5,8(Natural)	5,7	5,6	6,1	62	62	62
		5,0	5,2	5,3	5,7	62	62	61
		4,5	4,7	4,7	5,0	61	61	61
	95	5,8(Natural)	5,8	5,8	5,9	62	62	64
		5,0	5,3	5,4	5,6	61	62	63
		4,5	4,7	4,9	5,2	61	61	60

Cuadro 36. Azúcares reductores (AR) y azúcares reductores totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

Brix	T(°C)	pH	% AR (g/100mL)			% ART (g/100mL)		
			MD	MC	L	MD	MC	L
60	75	5,8(Natural)	8,4	8,7	5,1	42,3	43,1	23,2
		5,0	8,3	8,9	5,3	42,6	44,5	23,5
		4,5	8,3	9,2	5,7	43,1	45,3	25,6
	85	5,8(Natural)	8,4	9,3	6,0	42,6	43,7	25,4
		5,0	8,3	9,8	6,1	42,9	44,9	25,8
		4,5	8,3	10,2	6,7	43,5	45,6	26,4
	95	5,8(Natural)	8,6	9,6	6,2	42,9	44,2	28,1
		5,0	8,6	10,6	6,6	43,2	45,3	28,7
		4,5	8,6	12,7	6,8	43,8	45,9	29,7

Cuadro 37. Color y turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).

Brix	T(°C)	pH	COLOR		TURBIDEZ	
			MD	MC	MD	MC
60	75	5,8(Natural)	1228	1275	166	94
		5,0	1201	1246	161	83
		4,5	1182	1231	157	75
	85	5,8(Natural)	1203	1253	157	71
		5,0	1191	1235	149	65
		4,5	1170	1227	142	54
	95	5,8(Natural)	1182	1231	145	66
		5,0	1151	1194	137	51
		4,5	1137	1186	131	34

Cuadro 38. Calcio y Magnesio (g/100mL), en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), así como el porcentaje de reducción o merma obtenida para el Calcio.

Brix	T(°C)	pH	% Ca (g/100mL)				% Mg (g/100mL)		
			MD	MC	L	% MERMA	MD	MC	L
60	75	5,8(Natural)	0,31	0,10	22,61	67,74	0,13	0,14	0,79
		5,0	0,30	0,09	22,54	70,00	0,13	0,14	0,71
		4,5	0,29	0,08	22,14	72,41	0,13	0,14	0,64
	85	5,8(Natural)	0,33	0,09	24,37	72,73	0,13	0,14	0,84
		5,0	0,32	0,08	24,22	75,00	0,13	0,14	0,77
		4,5	0,32	0,07	24,06	78,13	0,13	0,14	0,70
	95	5,8(Natural)	0,35	0,08	26,42	77,14	0,13	0,14	0,91
		5,0	0,35	0,07	26,31	80,00	0,13	0,14	0,82
		4,5	0,36	0,07	26,13	80,56	0,13	0,14	0,79

4.5.4 Resultados Totales de: 1ra Prueba, 2da Prueba y 3ra Prueba.

Los resultados obtenidos en la primera, segunda y tercera prueba se indican en los Cuadros 39, 40 y 41.

Cuadro 39. Resultados de Lodos: Peso (g/100mL MD^{°Bx-20°/20°C}), Humedad (%), Materia Seca/Brix de Melaza diluida (MS/^{°Bx}MD) y Kg por Tonelada Métrica de Melaza diluida (Kg/TM. MD^{°Bx-20°/20°C}), proveniente de Melaza Clarificada

CLARIFICACIÓN DE MELAZA CON EL CLARIFICADOR						
L O D O S						
Brix	T(°C)	pH	PESO	HUMEDAD(MS	Kg
			<u>g</u> 100 mL MD ^{°Bx-20°/20°C}		<u>°Bx_{MD}</u>	<u>TM. MD^{°Bx-20°/2}</u>
40	75	5,8(Natural)	1,32	41,62	1,39	11,103
		5,0	1,46	41,71	1,39	12,281
		4,5	1,61	42,47	1,40	13,602
	85	5,8(Natural)	1,85	44,42	1,32	15,561
		5,0	2,18	44,71	1,32	18,337
		4,5	2,36	45,32	1,33	19,938
	95	5,8(Natural)	2,39	47,30	1,25	20,103
		5,0	2,69	48,14	1,26	22,726
		4,5	2,90	48,41	1,26	24,499
	75	5,8(Natural)	3,06	32,23	1,30	24,621
		5,0	3,38	32,12	1,31	27,196
		4,5	3,65	31,95	1,31	29,368
	85	5,8(Natural)	3,82	35,18	1,27	30,874
		5,0	4,09	34,87	1,28	33,057
		4,5	4,25	34,56	1,28	34,350
	95	5,8(Natural)	4,35	37,13	1,23	35,158
		5,0	4,58	37,76	1,22	37,017
		4,5	4,75	38,01	1,22	38,391
	75	5,8(Natural)	4,15	25,96	1,19	31,909
		5,0	4,38	26,33	1,19	33,677
		4,5	4,66	26,71	1,20	35,995
60	85	5,8(Natural)	5,18	26,58	1,18	39,828
		5,0	5,62	26,93	1,18	43,211
		4,5	5,83	27,72	1,18	45,032
	95	5,8(Natural)	6,41	27,16	1,17	49,285
		5,0	6,59	28,42	1,17	50,902
		4,5	6,82	28,63	1,17	52,679

Cuadro 40. Resultados de pH, Brix en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

CLARIFICACIÓN DE MELAZA CON EL CLARIFICADOR								
Brix	T(°C)	pH	pH			Brix		
			MD	MC	L	MD	MC	L
40	75	5,8(Natural)	5,5	5,6	6,3	42	43	44
		5,0	5,2	5,3	5,7	42	42	42
		4,5	4,8	4,9	5,4	41	41	41
	85	5,8(Natural)	5,2	5,3	5,9	42	43	44
		5,0	5,0	5,1	5,7	42	43	43
		4,5	4,9	5,0	5,5	41	42	42
	95	5,8(Natural)	5,2	5,3	5,7	42	43	43
		5,0	4,9	5,0	5,4	41	42	41
		4,5	4,7	4,8	5,2	41	42	41
50	75	5,8(Natural)	5,8	5,7	6,4	52	53	53
		5,0	5,1	5,2	5,8	52	51	51
		4,5	4,7	4,8	5,4	52	51	51
	85	5,8(Natural)	5,5	5,5	6,0	51	52	53
		5,0	5,1	5,3	5,5	51	52	52
		4,5	4,7	4,9	5,2	51	51	52
	95	5,8(Natural)	5,6	5,5	5,7	51	52	54
		5,0	5,1	5,2	5,5	51	52	53
		4,5	4,7	4,8	5,3	51	52	53
60	75	5,8(Natural)	6,0	5,7	6,5	62	64	65
		5,0	5,2	5,1	6,1	62	63	63
		4,5	4,5	4,6	5,6	61	63	61
	85	5,8(Natural)	5,7	5,6	6,1	62	62	62
		5,0	5,2	5,3	5,7	62	62	61
		4,5	4,7	4,7	5,0	61	61	61
	95	5,8(Natural)	5,8	5,8	5,9	62	62	64
		5,0	5,3	5,4	5,6	61	62	63
		4,5	4,7	4,9	5,2	61	61	60

Cuadro 41. Resultados de Azúcares Reductores (AR) y Azúcares Reductores Totales (ART) en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodos (L).

CLARIFICACIÓN DE MELAZA CON EL CLARIFICADOR								
Brix	T(°C)	pH	% AR (g/100mL)			% ART (g/100mL)		
			MD	MC	L	MD	MC	L
40	75	5,8(Natural)	4,6	4,8	3,0	26,4	28,6	15,3
		5,0	4,5	5,2	4,3	27,5	29,1	16,4
		4,5	4,5	5,9	5,6	28,7	30,4	17,2
	85	5,8(Natural)	4,6	5,1	4,1	27,1	29,1	17,6
		5,0	4,6	5,7	5,3	28,6	29,5	18,9
		4,5	4,5	6,3	6,2	29,6	30,7	20,2
	95	5,8(Natural)	4,6	5,2	4,9	27,7	30,6	19,6
		5,0	4,6	6,6	5,8	29,8	30,2	20,8
		4,5	4,6	7,5	6,8	30,4	31,3	22,5
50	75	5,8(Natural)	6,6	6,7	4,6	32,8	33,5	21,6
		5,0	6,5	7,2	5,2	33,3	34,6	22,2
		4,5	6,5	7,6	5,8	33,9	36,2	22,7
	85	5,8(Natural)	6,6	7,0	5,1	33,1	34,8	22,3
		5,0	6,6	7,6	5,3	33,8	36,1	22,8
		4,5	6,7	8,4	6,2	34,3	36,5	23,7
	95	5,8(Natural)	6,8	7,5	6,0	33,7	36,5	24,4
		5,0	6,7	8,9	6,3	34,5	36,7	25,2
		4,5	6,7	10,2	6,7	35,3	36,9	25,8
60	75	5,8(Natural)	8,4	8,7	5,1	42,3	43,1	23,2
		5,0	8,3	8,9	5,3	42,6	44,5	23,5
		4,5	8,3	9,2	5,7	43,1	45,3	25,6
	85	5,8(Natural)	8,4	9,3	6,0	42,6	43,7	25,4
		5,0	8,3	9,8	6,1	42,9	44,9	25,8
		4,5	8,3	10,2	6,7	43,5	45,6	26,4
	95	5,8(Natural)	8,6	9,6	6,2	42,9	44,2	28,1
		5,0	8,6	10,6	6,6	43,2	45,3	28,7
		4,5	8,6	12,7	6,8	43,8	45,9	29,7

Cuadro 42. Resultados de Color y Turbidez expresados en unidades de absorbancia en Melaza diluida (MD) y Melaza Clarificada (MC).

CLARIFICACIÓN DE MELAZA CON EL CLARIFICADOR						
Brix	T(°C)	pH	COLOR		TURBIDEZ	
			MD	MC	MD	MC
40	75	5,8(Natural)	1166	1221	120	94
		5,0	1148	1212	112	83
		4,5	1139	1183	103	72
	85	5,8(Natural)	1148	1202	116	87
		5,0	1134	1181	114	75
		4,5	1123	1172	109	63
	95	5,8(Natural)	1124	1185	121	75
		5,0	1088	1141	117	64
		4,5	1058	1114	113	51
50	75	5,8(Natural)	1191	1261	135	81
		5,0	1168	1245	126	75
		4,5	1157	1237	122	63
	85	5,8(Natural)	1164	1234	124	71
		5,0	1155	1228	122	66
		4,5	1148	1226	120	64
	95	5,8(Natural)	1150	1225	121	58
		5,0	1120	1207	118	51
		4,5	1092	1188	114	47
60	75	5,8(Natural)	1228	1275	166	94
		5,0	1201	1246	161	83
		4,5	1182	1231	157	75
	85	5,8(Natural)	1203	1253	157	71
		5,0	1191	1235	149	65
		4,5	1170	1227	142	54
	95	5,8(Natural)	1182	1231	145	66
		5,0	1151	1194	137	51
		4,5	1137	1186	131	34

Cuadro 43. Resultados de Calcio y Magnesio (gr/100mL), en Melaza diluida (MD), Melaza Clarificada (MC) y Lodo (L), así como el porcentaje de reducción o merma obtenida para el Calcio.

CLARIFICACIÓN DE MELAZA CON EL CLARIFICADOR									
Brix	T(°C)	pH	% Ca (g/100mL)				% Mg (g/100mL)		
			MD	MC	L	% MERMA	MD	MC	L
40	75	5,8(Natural)	0,20	0,16	15,41	20,00	0,09	0,08	0,57
		5,0	0,20	0,15	15,22	25,00	0,09	0,08	0,50
		4,5	0,21	0,15	14,97	28,57	0,09	0,08	0,46
	85	5,8(Natural)	0,20	0,14	18,45	30,00	0,09	0,08	0,70
		5,0	0,20	0,13	18,22	35,00	0,09	0,08	0,65
		4,5	0,21	0,13	18,05	38,09	0,09	0,08	0,59
	95	5,8(Natural)	0,23	0,14	22,44	39,13	0,09	0,08	0,92
		5,0	0,23	0,13	22,35	43,48	0,09	0,08	0,84
		4,5	0,22	0,12	22,04	45,45	0,09	0,08	0,79
50	75	5,8(Natural)	0,24	0,14	18,77	41,67	0,11	0,12	0,66
		5,0	0,25	0,13	18,42	48,00	0,11	0,12	0,55
		4,5	0,25	0,12	18,11	52,00	0,11	0,12	0,49
	85	5,8(Natural)	0,24	0,11	21,71	54,17	0,11	0,12	0,75
		5,0	0,24	0,10	21,54	58,33	0,11	0,12	0,61
		4,5	0,25	0,10	21,06	60,00	0,11	0,12	0,57
	95	5,8(Natural)	0,26	0,10	24,55	61,54	0,11	0,12	0,85
		5,0	0,27	0,10	24,37	62,96	0,11	0,12	0,76
		4,5	0,28	0,10	24,20	64,29	0,11	0,12	0,68
60	75	5,8(Natural)	0,31	0,10	22,61	67,74	0,13	0,14	0,79
		5,0	0,30	0,09	22,54	70,00	0,13	0,14	0,71
		4,5	0,29	0,08	22,14	72,41	0,13	0,14	0,64
	85	5,8(Natural)	0,33	0,09	24,37	72,73	0,13	0,14	0,84
		5,0	0,32	0,08	24,22	75,00	0,13	0,14	0,77
		4,5	0,32	0,07	24,06	78,13	0,13	0,14	0,70
	95	5,8(Natural)	0,35	0,08	26,42	77,14	0,13	0,14	0,91
		5,0	0,35	0,07	26,31	80,00	0,13	0,14	0,82
		4,5	0,36	0,07	26,13	80,56	0,13	0,14	0,79

En el Cuadro 44 se muestra el balance total de materia y de energía en el clarificador diseñado, donde: MD (Melaza Diluida), MC (Melaza Clarificada), L (Lodos), H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico o Agente Químico), Vapor de calentamiento para el agua fría (Vapor (1)), Vapor para elevar la temperatura de la MD (Vapor (2)), Condensado (C).

Cuadro 44. Balance total de materia y energía en el Clarificador diseñado y construido, para las tres Pruebas

Brix	°C	pH	ENTRADA				SALIDA		
			MD TM/día	H ₂ SO ₄ TM/día	VAPOR (1) TM/día	VAPOR (2) TM/día	MC TM/día	L TM/día	C TM/día
40°Bx	75°C	5,8 Natural	3044 x10 ⁻³	0	-		3040,326 x10 ⁻³	3,674 x10 ⁻³	
		5,0	3044 x10 ⁻³	7,697 x10 ⁻³	-	110 x10 ⁻³	3048,055 x10 ⁻³	3,642 x10 ⁻³	110 x10 ⁻³
		4,5	3044 x10 ⁻³	12,315 x10 ⁻³	-		3052,689 x10 ⁻³	3,626 x10 ⁻³	
	85°C	5,8 Natural	3044 x10 ⁻³	0	-		3040,346 x10 ⁻³	3,654 x10 ⁻³	
		5,0	3044 x10 ⁻³	7,697 x10 ⁻³	-	168 x10 ⁻³	3048,060 x10 ⁻³	3,637 x10 ⁻³	168 x10 ⁻³
		4,5	3044 x10 ⁻³	12,315 x10 ⁻³	-		3052,694 x10 ⁻³	3,621 x10 ⁻³	
	95°C	5,8 Natural	3044 x10 ⁻³	0	-		3040,384 x10 ⁻³	3,616 x10 ⁻³	
		5,0	3044 x10 ⁻³	7,697 x10 ⁻³	149 x10 ⁻³	227 x10 ⁻³	3048,113 x10 ⁻³	3,584 x10 ⁻³	227 x10 ⁻³
		4,5	3044 x10 ⁻³	12,315 x10 ⁻³	-		3052,731 x10 ⁻³	3,584 x10 ⁻³	
50°Bx	75°C	5,8 Natural	6407 x10 ⁻³	0	-		6398,987 x10 ⁻³	8,013 x10 ⁻³	
		5,0	6407 x10 ⁻³	12,960 x10 ⁻³	-	306 x10 ⁻³	6411,982 x10 ⁻³	7,978 x10 ⁻³	306 x10 ⁻³
		4,5	6407 x10 ⁻³	20,736 x10 ⁻³	-		6419,758 x10 ⁻³	7,978 x10 ⁻³	
	85°C	5,8 Natural	6407 x10 ⁻³	0	242 x10 ⁻³		6398,994 x10 ⁻³	8,006 x10 ⁻³	
		5,0	6407 x10 ⁻³	12,960 x10 ⁻³	-	428 x10 ⁻³	6411,991 x10 ⁻³	7,969 x10 ⁻³	428 x10 ⁻³
		4,5	6407 x10 ⁻³	20,736 x10 ⁻³	-		6419,767 x10 ⁻³	7,969 x10 ⁻³	
	95°C	5,8 Natural	6407 x10 ⁻³	0	-		6399,004 x10 ⁻³	7,996 x10 ⁻³	
		5,0	6407 x10 ⁻³	12,960 x10 ⁻³	-	550 x10 ⁻³	6412,001 x10 ⁻³	7,959 x10 ⁻³	550 x10 ⁻³
		4,5	6407 x10 ⁻³	20,736 x10 ⁻³	-		6419,777 x10 ⁻³	7,959 x10 ⁻³	
60°Bx	75°C	5,8 Natural	3371 x10 ⁻³	0	-		3366,522 x10 ⁻³	4,478 x10 ⁻³	
		5,0	3371 x10 ⁻³	9,752 x10 ⁻³	-	199 x10 ⁻³	3374,516 x10 ⁻³	4,436 x10 ⁻³	199 x10 ⁻³
		4,5	3371 x10 ⁻³	15,604 x10 ⁻³	90 x10 ⁻³		3382,209 x10 ⁻³	4,395 x10 ⁻³	
	85°C	5,8 Natural	3371 x10 ⁻³	0	-		3366,608 x10 ⁻³	4,392 x10 ⁻³	
		5,0	3371 x10 ⁻³	9,752 x10 ⁻³	-	264 x10 ⁻³	3376,381 x10 ⁻³	4,371 x10 ⁻³	264 x10 ⁻³
		4,5	3371 x10 ⁻³	15,604 x10 ⁻³	-		3382,233 x10 ⁻³	4,371 x10 ⁻³	
	95°C	5,8 Natural	3371 x10 ⁻³	0	-		3366,592 x10 ⁻³	4,408 x10 ⁻³	
		5,0	3371 x10 ⁻³	9,752 x10 ⁻³	-	328 x10 ⁻³	3376,364 x10 ⁻³	4,388 x10 ⁻³	328 x10 ⁻³
		4,5	3371 x10 ⁻³	15,604 x10 ⁻³	-		3382,278 x10 ⁻³	4,326 x10 ⁻³	

V. CONCLUSIONES

Considerando los resultados presentados, se concluye:

5.1 Respecto a la clarificación de melaza en el laboratorio o primera etapa

- La melaza diluida a 50 °Bx decantó a 60 minutos, o sea en un tiempo de dos veces menor que la Melaza diluida a 60 °Bx y la Melaza diluida a 40 °Bx.

- La intensidad de destrucción de azúcares aumenta con la disminución del pH y la elevación de la temperatura, principalmente en concentraciones más bajas. La Melaza diluida a 50 °Bx acidificado a pH de 4,5 y decantado a 95°C presentó pérdidas más elevadas en ART.

- La clarificación de melaza proporciona una reducción de Calcio del medio. El máximo de reducción fue de 79%. Los grados de Magnesio en Melaza Clarificada (MC) prácticamente son los mismos.

- La combinación: 50°Bx - 85°C – pH= 5,8 (Natural); ofrece los mejores resultados con respecto al Peso de Lodos (g) en 100 mL de melaza diluida a un determinado Brix con una densidad verdadera (20°/20°C).

- De modo general, los mejores resultados fueron obtenidos con la clarificación de Melaza diluida a: 50 °Bx, pH=5,8 (Natural) y decantado a 85 °C, ya que en 60 minutos se tuvo la sedimentación de partículas a las condiciones mencionadas.

5.2 Respecto al diseño del clarificador o segunda etapa

La utilización de las pautas necesarias fueron muy fundamentales para que se pueda diseñar el Clarificador de Melaza, tales como: Diagrama de Flujo del Diseño del Clarificador, Velocidad de deposición de partículas en la Sedimentación (V), Cantidad o caudal de agua caliente necesaria (QM_{AC}) para diluir otra cantidad o caudal de Melaza Bruta (QM_{MB}), Área necesaria de sedimentación de Lodos del Clarificador (A), Tiempo de retención o detención de la melaza diluida en el Clarificador (t_R), Volumen ocupado por los Lodos en el Clarificador (V_L), Volumen obtenido de Melaza Clarificada en el Clarificador (V_{MC}) en un tiempo determinado (θ), Altura teórica del Clarificador ($h_{Teórica}$), Altura total del Clarificador (A_{Total}) y el Peso de Lodos por peso de Melaza Diluida ($\frac{Kg \text{ Lodos}}{TM_{MD-20^\circ/20^\circ C}}$) a una densidad verdadera.

5.3. Respecto a la construcción del clarificador o tercera etapa

La ejecución efectiva de los tres pasos importantes: Preparación, Construcción y Pruebas de Clarificación, fueron tareas claves para cumplir con la construcción del Clarificador.

5.4 Respecto a la prueba del clarificador o cuarta etapa

La Clarificación de melaza a 50 °Bx – 85 °C – pH= 5,8 (Natural) realizada en el Clarificador construido, resultó ser igual al que se obtuvo en el laboratorio a las mismas condiciones.

VI. RECOMENDACIONES

- A la Destileria Casa Grande efectuar la clarificación de melaza a: 50°Bx, decantado a 85°C y pH= 5,8 (Natural).
- Cubrir o techar la poza de recepción para evitar contaminación de cenizas y bagacillo provenientes de los calderos de fábrica.
- Adquirir un propio caldero, para efectuar un normal proceso de clarificación y destilación.
- Evitar los cortes continuos de corriente eléctrica por lo que paraliza las bombas de circulación y el abastecimiento permanente de agua para el enfriamiento del mosto, y así controlar el proceso de fermentación.
- Efectuar el lavado respectivo de los Lodos, ya que se ha demostrado la existencia de azúcares, por lo cual se podría hacer recircular dichos azúcares para aumentar en parte la producción alcohólica.
- Construir Clarificadores de acuerdo al diseño establecido para consumir la melaza recepcionada en la poza y la entregada diariamente por Fábrica.
- Realizar la automatización de las máquinas y equipos en las áreas de: clarificación, fermentación y destilación.
- Realizar otros estudios en la clarificación de melaza para obtener otras líneas de producción en la obtención de: colorantes, fertilizantes y bebidas gasificadas; ya que cada una de ellas se pierde al ser desechadas al desagüe y al medio ambiente.

ABSTRACT

The aim of this research was to design and build a molasses clarifier in order to improve the alcoholic fermentation process in Destileria Casa Grande SAA, setting up the following specific objectives: a) to assess the molasses clarification in the lab; b) to design and build a molasses clarifier; c) to assess the clarified molasses discharge and sludge in the built molasses clarifier.

To this, four main stages were done. In the first one, it was seen that the volume of the sludge produced and decanting got a successful result at 60 minutes and 50°Bx, half the time needed for decanting concentrations of 60°Bx and 40°Bx.

In the second stage, the deposition speed of particles during sedimentation, the hot water flow rate to dilute another raw molasses flow, the volume obtained from the clarified molasses in the clarifier and the sludge weight per diluted molasses weight were determined. The third stage consisted in building a clarifier according to the information obtained in the second stage.

Finally, the fourth stage was about testing the clarifier performance, and the obtained results about molasses clarification were very alike to the ones obtained in the lab or as it was seen in the first stage.

Therefore, after doing this research, the following is recommended: molasses clarification must be done at 50°Bx, at a temperature of 85°C and with a pH of 5,8 (Natural), the molasses reception well must be roofed to avoid the pollution

caused by ash and sugar cane bagasse from factory's power boilers. It also must be done the washing of sludge after being released from clarifiers; in other words, a second sludge clarification should be done because there is still sugar content. Finally, it is necessary to build the clarifiers for Destileria Casa Grande SAA according to the established design in order to consume the molasses received in the well, which is delivered by the sugar company every day.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAP-CASA GRANDE. 2000. Superintendencia de Ingenio.
- CELINSKI, R. 2006. Producción Alcohólica. Editorial Copersucar. Brasil.
- COOPERATIVA CENTRAL DE LOS PRODUCTORES DE AZUCAR Y ALCOHOL DEL ESTADO DE SAO PAULO - CCPAA. 2006.
- EMPRESA AGROINDUSTRIAL CASA GRANDE S.S.A. (2009). Plan de Desarrollo Anual
- FOUST, S. 1998. Principios de Operaciones Unitarias. Editorial Continental S.A. México. 7ma Edición.
- FAO. <http://www.fao.org/docrep/007/j3877s/j3877s12.htm>
- GEANKOPLIS, J. 1993. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Editorial Continental S.A. México. 7ma Edición.
- GRANCELLI, A. 2003. La fermentación alcohólica de las melazas provenientes de cañas deterioradas. Editorial Industria Azucarera. 1ra Edición. Buenos Aires – Argentina.
- HONIG, P. 1991. Principios de Tecnología Azucarera. Editorial continental S.A. México. 4ta.Edición. Tomo II.
- HUGOT, E. 2003. Manual para Ingenieros Azucareros. Editorial Continental S.A. México. 5ta.Edición.

- KLIBANSKI, S. 2006. Estudios de la clarificación de las mieles para la producción de Biomasa. Editorial ICIDCA. La Habana - Cuba. MARTINO ERICSON (2006). Refinado Alcohólico. Editorial Paulista. Brasil.
- PARAZZI, C. 2006. Clarificación de Melaza y la fermentación alcohólica. Alcohol y Azúcar. Editorial San Carlos. Universidad Federal de San Carlos – Brasil.
- RODRIGUEZ, J. 2003. Destilación Alcohólica. EACG – La Libertad.
- RODRIGUEZ, J. 2006. Clarificación de Melaza. EACG – La Libertad.
- SAIGAL – VISWANATHAN. (2004). Efecto de la clarificación de melazas en fermentación alcohólica. Revista Tecnología Azucarera-INDIA N°44. Pag. 35-45
- SPENCER MEADE. 1967. Manual del Azúcar de Caña. Editorial Artes Gráficas S.A., Barcelona. España. 1ra Edición.
- STUPIELLO, P. 2006. Departamento de Tecnología Azucarera. Editorial ESALQ. Brasil
- TERMODINAMICA. Tablas y Diagramas. 1999. Ediciones J.A. Ragas Miranda. 5ta. Edición. Lima, Perú.
- ZANINI, A. 1990. Equipamientos Pesados de Ingeniería. Piracicaba – Sao Paulo (Brasil).

ANEXO

Anexo 1: Tabla de correcciones de temperatura.

GRADOS BRIX														
°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
RESTESE DEL BRIX OBSERVADO														
0	0,30	0,49	0,65	0,77	0,89	0,99	1,08	1,16	1,24	1,31	1,37	1,41	1,44	1,49
5	0,36	0,47	0,56	0,65	0,73	0,8	0,86	0,91	0,97	1,01	1,05	1,08	1,10	1,14
10	0,32	0,38	0,43	0,48	0,62	0,57	0,6	0,64	0,67	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77
11	0,31	0,35	0,40	0,44	0,48	0,51	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70
12	0,29	0,32	0,36	0,4	0,43	0,46	0,5	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,60	0,62
13	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,55
14	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47
15	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,32	0,33	0,34	0,36	0,36	0,37	0,38	0,39
16	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
17	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,2	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24
18	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16
19	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
SUMESE AL BRIX OBSERVADO														
21	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
22	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
23	0,16	0,16	0,17	0,17	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,21	0,24	0,24	0,24
24	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32
25	0,27	0,28	0,36	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,39
26	0,33	0,34	0,36	0,37	0,40	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48
27	0,40	0,41	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,54	0,55	0,56	0,56	0,56
28	0,46	0,47	0,49	0,51	0,54	0,56	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,64
29	0,54	0,55	0,56	0,59	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,70	0,71	0,72	0,72	0,72
30	0,61	0,62	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73	0,76	0,78	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81
35	0,99	1,01	1,02	1,96	1,10	1,13	1,16	1,18	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	1,22
40	1,42	1,15	1,47	1,51	1,54	1,57	1,62	1,62	1,64	1,65	1,65	1,65	1,60	1,65
45	1,91	1,94	1,96	2,00	2,03	2,05	2,07	2,09	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,08
50	2,46	2,48	2,50	2,53	2,56	2,57	2,58	2,59	2,59	2,58	2,58	2,57	2,56	2,52
55	3,05	3,07	3,09	3,12	3,12	3,12	3,12	3,11	3,10	3,08	3,07	3,05	3,03	2,57
60	3,69	3,72	3,73	3,73	3,72	3,70	3,67	3,65	3,02	3,00	3,57	3,54	3,50	3,43
65	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,30	4,20	4,20	4,10	4,10	4,00	4,00	3,90
70	5,10	5,10	5,10	5,00	5,00	5,00	4,90	4,80	4,80	4,70	4,70	4,60	4,60	4,40
75	6,10	6,00	6,00	5,90	5,80	5,80	5,70	5,60	5,50	5,40	5,40	5,30	5,20	5,00
80	7,10	7,00	7,00	6,90	6,80	6,70	6,60	6,40	6,30	6,20	6,10	6,00	5,90	5,60

Fuente: Empresa Agroindustrial Casa Grande S.A.A. (2009).

Anexo 2: Tabla de azúcar invertido para 10 mL de solución de Fehling (Método de Lane – Eynon).

mL de solución de azúcar requerido	Sin sacarosa		1 g de sacarosa por 100 mL		5 g de sacarosa por 100 mL		10 g de sacarosa por 100 mL		25 g de sacarosa por 100 mL	
	Factor de azúcar invertido	mg de azúcar invertido por 100 mL	Factor de azúcar invertido	mg de azúcar invertido por 100 mL	Factor de azúcar invertido	mg de azúcar invertido por 100 mL	Factor de azúcar invertido	mg de azúcar invertido por 100 mL	Factor de azúcar invertido	mg de azúcar invertido por 100 mL
15	50,5	336	49,9	333	47,6	317	46,1	307	43,4	289
16	50,6	316	50	312	47,6	297	46,1	288	43,4	271
17	50,7	298	50,1	295	47,6	280	46,1	271	43,4	255
18	50,8	282	50,1	278	47,6	264	46,1	256	43,3	240
19	50,8	267	50,2	264	47,6	250	46,1	243	43,3	227
20	50	254,5	50,2	251	47,6	238	46,1	230,5	43,2	216
21	51	242,9	50,2	239	47,6	226,7	46,1	219,5	43,2	206
22	51	231,8	50,3	228,2	47,6	216,4	46,1	209,5	43,1	196
23	51,1	222,2	50,3	218,7	47,6	207	46,1	200,4	43	187
24	51,2	213,3	50,3	209,8	47,6	198,3	46,1	192,1	42,9	179
25	51,2	204,8	50,4	201,6	47,6	190,4	46	184	42,8	171
26	51,3	197,4	50,4	193,8	47,6	183,1	46	176,9	42,8	164
27	51,4	190,4	50,4	186,7	47,6	176,4	46	170,4	42,7	158
28	51,4	183,7	50,5	180,2	47,7	170,3	46	164,3	42,7	152
29	51,5	177,6	50,5	174,1	47,7	164,5	46	158,6	42,6	147
30	51,5	171,7	50,5	168,3	47,7	159	46	153,3	42,5	142
31	51,6	166,3	50,6	163,1	47,7	153,9	45,9	148,1	42,5	137
32	51,6	161,2	50,6	158,1	47,7	140,1	45,9	143,4	42,4	132
33	51,7	156,6	50,6	153,3	47,7	144,5	45,9	139,1	42,3	128
34	51,7	152,2	50,6	148,9	47,7	140,3	45,8	134,9	42,2	124
35	50,8	147,9	50,7	144,7	47,7	136,3	45,8	130,9	42,2	121
36	51,8	143,9	50,7	140,7	47,7	132,5	45,8	127,1	42,1	117
37	51,9	140,2	50,7	137	47,7	128,9	45,7	123,5	42	114
38	51,9	136,6	50,7	135,5	47,7	125,5	45,7	120,3	42	111
39	52	133,3	50,8	130,2	47,7	122,3	45,7	117,1	41,9	107
40	52	130,1	50,8	127	47,7	119,2	45,6	114,1	41,8	104
41	52,1	127,1	50,8	123,9	47,7	116,3	45,6	111,2	41,8	102
42	52,1	124,2	50,8	121	47,7	113,5	45,6	108,5	41,7	99
43	52,2	121,4	50,8	118,2	47,7	110,9	45,5	105,8	41,6	97
44	52,2	118,7	50,9	115,6	47,7	108,4	45,5	103,4	41,5	94

Fuente: Empresa Agroindustrial Casa Grande S.A.A., (2009).

Anexo 3:**I. ANALISIS DE VARIANZA: DISEÑO FACTORIAL****1.1. Pruebas de clarificación, realizadas del Peso de Lodos provenientes de Melaza Clarificada.**

Brix=A	°C=B	pH=C	LODOS		
			PESO1	PESO2	PESO3
40=1	75=1	5,8(Natural)	1,31	1,32	1,32
		5	1,46	1,45	1,46
		4,5	1,61	1,61	1,62
	85=2	5,8(Natural)	1,86	1,85	1,86
		5	2,19	2,18	2,18
		4,5	2,36	2,36	2,37
	95=3	5,8(Natural)	2,38	2,39	2,39
		5	2,7	2,69	2,68
		4,5	2,89	2,89	2,91
50=2	75=1	5,8(Natural)	3,06	3,06	3,07
		5	3,39	3,38	3,38
		4,5	3,64	3,65	6,66
	85=2	5,8(Natural)	3,83	3,82	3,82
		5	4,09	4,09	4,08
		4,5	4,24	4,25	4,2
	95=3	5,8(Natural)	4,36	4,36	4,35
		5	4,57	4,58	4,58
		4,5	4,74	4,75	4,75
60=3	75=1	5,8(Natural)	4,14	4,15	4,15
		5	4,38	4,39	4,38
		4,5	4,66	4,66	4,66
	85=2	5,8(Natural)	5,19	5,18	5,18
		5	5,62	5,63	5,62
		4,5	5,84	5,83	5,83
	95=3	5,8(Natural)	6,42	6,41	6,41
		5	6,6	6,59	5,59
		4,5	6,83	6,81	6,82

Anexo 4

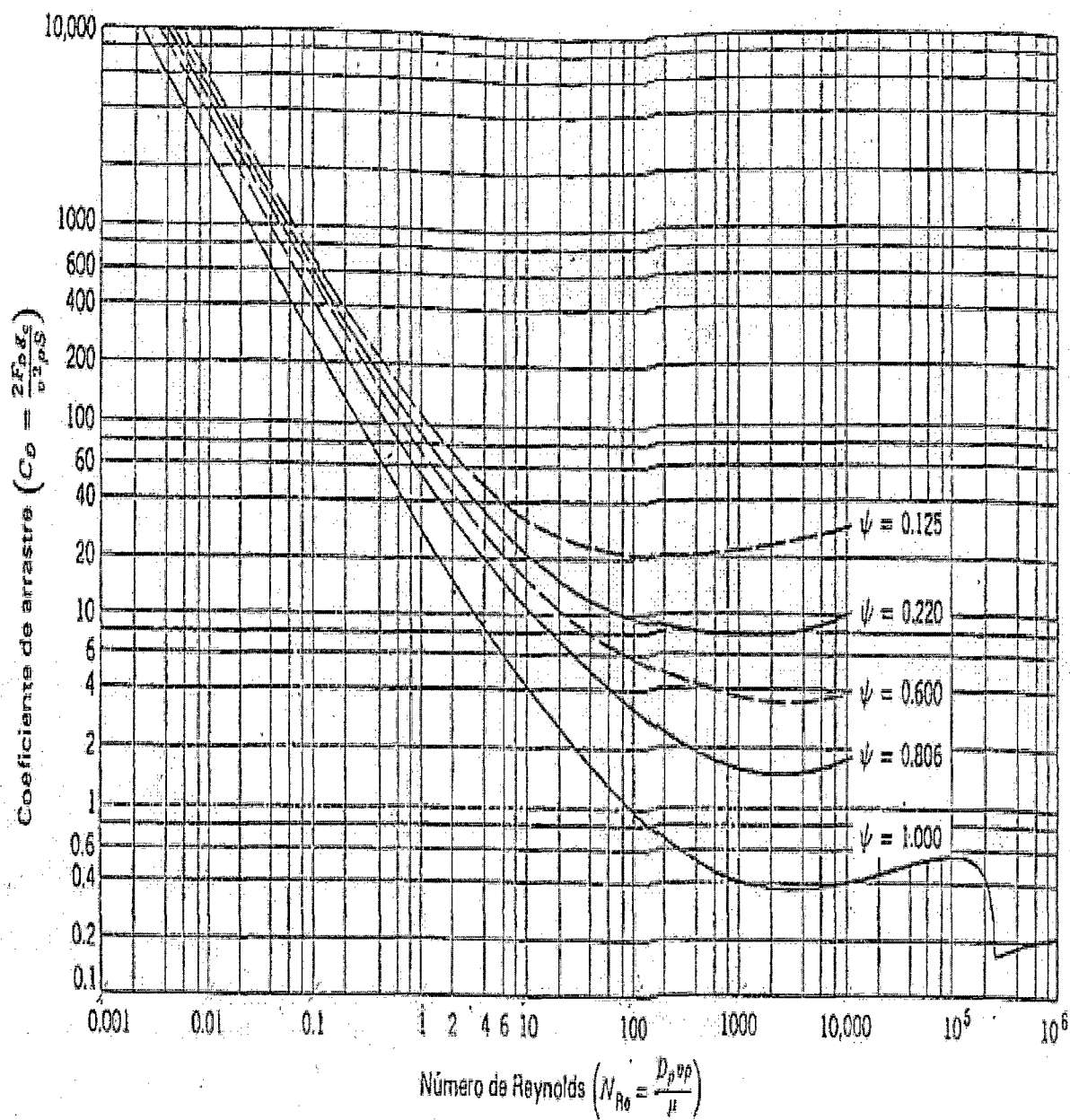


Figura 17 : Coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds. Con permiso de J. Franklin Inst.

Anexo 5:**CONSTRUCCIÓN DEL CLARIFICADOR**