

**APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE CAMPOS
MAGNÉTICOS EN EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE
CRUDO DE PALMA**

**LUISA FERNANDA NÚÑEZ ROJAS
OLGA PATRICIA RAMÍREZ HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2004

**APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE CAMPOS
MAGNÉTICOS EN EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE
CRUDO DE PALMA**

**LUISA FERNANDA NÚÑEZ ROJAS
OLGA PATRICIA RAMÍREZ HERNANDEZ**

**Trabajo de Grado
Presentado para optar al título de Ingeniero Químico**

**Director - UIS
Crisóstomo Barajas Ferreira
Ingeniero Químico, M.Sc.**

**Codirector - ICP
ANIBAL ORDÓÑEZ
Ingeniero de Petróleos, M.Sc. ciencias**

**Codirector - CENIPALMA
EDGAR YAÑEZ
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2004

A Dios por ser la luz que ilumina mi camino
a mis padres por su esfuerzo y dedicación
a Marianita por la alegría que trajo a nuestro hogar
a mi familia por el amor y la confianza brindada.

Luisa Fernanda Núñez Rojas

A Dios,

A mis padres, por su amor y dedicación

A mis hermanas Mónica y Juliana

A mi familia por su cariño y apoyo incondicional.

Olga Patricia Ramírez Hernández

AGRADECIMIENTOS

A **Crisóstomo Barajas**, Ingeniero Químico, Director del Proyecto, por su respaldo, confianza y contribución a nuestra formación ética y profesional.

Al **Dr. Álvaro Ramírez**, Director de Escuela de Ingeniería Química, por su amistad y colaboración.

A los ingenieros **Edgar Yánez** y **Guido Sierra** de **CENIPALMA** por su orientación.

A **Anibal Ordóñez Rodríguez**, por su respaldo y confianza.

Al personal del **ICP** por su gran colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Al personal de la Planta Extractora de Aceite de Palma **AGROINCE LTDA**, por su apoyo incondicional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. ACEITE CRUDO DE PALMA	4
1.1 PROPIEDADES QUÍMICAS	4
PROPIEDADES FÍSICAS	8
1.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA	10
1.2.1 Recepción	10
1.2.2 Esterilización	10
1.2.3 Desfrutamiento	13
1.2.4 Digestión	14
1.2.5 Prensado	14
1.2.6 Clarificación	14
2. FUNDAMENTOS DE LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN	18
3. MECÁNICA DE LAS PARTÍCULAS	22
3.1 LEY DE STOKES	22
3.2 LEY DE NEWTON	22
4. CAMPOS MAGNÉTICOS	24
4.1 DEFINICIONES BÁSICAS SOBRE EL MAGNETISMO	25

4.1.1	Campo Magnético	25
4.1.2	Intensidad de Campo Magnético	25
4.1.3	Permeabilidad	25
4.1.4	Reluctancia	26
4.1.5	Retentividad	26
4.2	CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES	26
4.2.1	Materiales Diamagnéticos	27
4.2.2	Materiales Paramagnéticos	27
4.2.3	Materiales Ferromagnéticos	27
4.3	MATERIALES MAGNÉTICOS	28
4.3.1	Materiales Blandos	28
4.3.2	Materiales Duros	28
4.4	FUNDAMENTO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICOS	32
5.	METODOLOGÍA	34
5.1	VARIABLES ANALIZADAS	35
5.1.1	Parámetros de Muestreo en Planta	35
5.1.2	Variables Respuesta del Experimento	36
5.2	METODOLOGÍA ESPECÍFICA DE MUESTREO	37
5.2.1	Circuito de pruebas con Electroimanes	38
5.2.2	Pruebas con Imanes Permanentes	40
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
6.1	PRUEBAS PRELIMINARES CON ELECTROIMANES	42
6.1.1	Pruebas en el Laboratorio de CMF	42

6.1.2 Pruebas en Planta de Beneficio	43
6.2 PRUEBAS EN PLANTA CON IMANES PERMANENTES	46
6.2.1 Herramienta de 3 Pulgadas	47
6.2.2 Herramienta de 2 Pulgadas	50
6.2.3 Herramienta de 1.5 Pulgadas	53
6.2.4 Herramienta de 2 Pulgadas con Imanes Permanentes de Cobalto y Neodimio	56
6.2.5 Resultados de Pruebas en Planta con Imanes Permanentes	59
6.3 PRUEBAS DE REOLOGÍA	68
6.4 CÁLCULO DE LA CURVA DE SEDIMENTACIÓN Y EL AREA DEL CLARIFICADOR	71
6.4.1 Cálculo de la velocidad de sedimentación	71
6.4.2 Cálculo del área Mínima del clarificador	75
6.5 DIÁMETRO DE PARTÍCULA	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	84

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición del Aceite de Palma	5
Tabla 2. Porcentaje de Tocoferoles y Tocotrienoles en el Aceite Crudo de Palma	6
Tabla 3. Niveles del Colesterol en Aceites Crudos y Grasas	7
Tabla 4. Composición de Esteroles de Aceite Crudo y Refinado de Palma y sus productos (ppm)	8
Tabla 5. Propiedades Físicas del Aceite de Palma	9
Tabla 6. Pérdidas Anuales de Aceite de Palma en el proceso De Extracción en Colombia	16
Tabla 7. Algunas Propiedades de Materiales usados como Imanes Permanentes	31
Tabla 8. Prueba de Homogeneidad de Varianzas	62
Tabla 9. Prueba Anova	63
Tabla 10. Prueba “t” Apareada para la Velocidad de Sedimentación	66
Tabla 11. Prueba “t” Apareada para la Eficiencia de Recuperación.	66
Tabla 12. Área del Clarificador para las Herramientas 2 y 3 Con Imanes Cerámicos	76

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de Extracción del Aceite Crudo de Palma	12
Figura 2. Arreglo Molecular de un Material no Magnetizado	23
Figura 3. Arreglo molecular de un material magnetizado	23
Figura 4. Esquema de las prueba de laboratorio	38
Figura 5. Circuito de Pruebas del Laboratorio CMF	39
Figura 6. Esquema del Circuito de pruebas del laboratorio CMF	40
Figura 7. Herramienta Magnética Instalada en Planta	41
Figura 8. Velocidad de Sedimentación en Muestras de Licor de Prensa a 1 y 2 amperios (CMF)	43
Figura 9. Velocidad de Sedimentación a 1 amperio (CMF)	43
Figura 10. Velocidad de Sedimentación a 2 amperios (CMF)	44
Figura 11. Velocidad de Sedimentación e Muestras de Licor de Prensa 1 y 2 amperios (Agroince Ltda)	45

Figura 12. Velocidad de Sedimentación a 1 amperio (Agroince Ltda)	45
Figura 13. Velocidad de Sedimentación a 2 amperios (Agroince Ltda.)	46
Figura 14. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	47
Figura 15. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	48
Figura 16. Relación Aceite/agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	48
Figura 17. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	49
Figura 18. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	49
Figura 19. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	50
Figura 20. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	51

Figura 21. Relación Aceite/agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	51
Figura 22. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	52
Figura 23. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	52
Figura 24. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	53
Figura 25. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	54
Figura 26. Relación Aceite/agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	54
Figura 27. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	55
Figura 28. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)	55
Figura 29. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)	56

Figura 30. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)	57
Figura 31. Relación Aceite/Agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)	57
Figura 32. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)	58
Figura 33. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)	58
Figura 34. Distribución de Frecuencias para la Velocidad de Sedimentación	60
Figura 35. Distribución de Frecuencias para la Eficiencia de Recuperación de Aceite.	61
Figura 36. Diagrama de Cajas para la Eficiencia de Recuperación de Aceite.	64
Figura 37. Diagrama de Cajas para la Velocidad de Sedimentación	65
Figura 38. Diagrama de Cajas para la Velocidad de Sedimentación de la Herramienta 2.	67
Figura 39. Diagrama de Cajas para la Eficiencia de Recuperación de la Herramienta 2.	68
Figura 40. Curva Reológica a dos Temperatura y 0,6 amperios	69

Figura 41. Curva Reológica a dos Temperatura y 4 amperios	70
Figura 42. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes Cerámicos	72
Figura 43. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes Cerámico	73
Figura 44. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes Cerámicos	74
Figura 45. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio, Boro y Hierro	75
Figura 46. Diámetro de Partícula para muestras STM y CTM con la Herramienta 2	77

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Check List - Condiciones Estables De Proceso Para Realizar Pruebas De Aplicación De Campos Magnéticos en Clarificación	84
Anexo B. Tabla De Resultados De Pruebas Preliminares Con electroimanes (CMF)	85
Anexo C. Tabla De Resultados De Pruebas Preliminares Con Electroimanes (Agroince Ltda)	86
Anexo D. Tabla De Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes Permanentes para Herramienta de 3 Pulgadas	87
Anexo E. Tabla de Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes Permanentes para Herramienta de 2 pulgadas	88
Anexo F. Tabla De Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes Permanentes para Herramienta De 1.5 pulgadas	89
Anexo G. Tabla de Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes Permanentes de Cobalto y Neodimio para Herramienta de 2 pulgadas	90
Anexo H. Tabla Consolidada De Resultados de las Cuatro Herramientas de Imanes Permanentes Probadas en Planta	91

Anexo I. Resultados Estadísticos de las Herramientas con Imanes Permanentes Instaladas en Planta (Agroince Ltda.)	95
Anexo J. Curva Reológica para el Licor de Prensa a 25 y 35 °C	97
Anexo K. Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 3 Pulgadas	99
Anexo L. Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 2 Pulgadas	101
Anexo M. Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 1,5 Pulgadas	103
Anexo N. Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 2 Pulgadas con Imanes de Neodimio	105
Anexo O. Informe para el Diámetro de Partícula en Muestras STM y CTM con Fotosedimentador LUMOSSED	107
Anexo P. Fotografía de Lodos y Aceite de las Muestras STM y CTM	111

RESUMEN

TÍTULO* :

APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA

AUTORES :

Luisa Fernanda Núñez Rojas

Olga Patricia Ramírez**

PALABRAS CLAVES :

Aceite de Palma, Campos magnéticos, Clarificación (sedimentación),

DESCRIPCIÓN :

El propósito de aplicar campos magnéticos en el proceso de extracción de aceite crudo de palma fue disminuir las pérdidas de aceite en el proceso. Para lo cual se evaluaron distintos puntos encontrando que éstas son mayores en la etapa de clarificación debido a la alta retención de aceite en los lodos. Por tal razón solo se trató magnéticamente el licor de prensa que va a la clarificación; con intensidades de campo magnético generadas con herramientas de imanes permanentes probadas anteriormente en el sector petrolero. Cabe anotar que se hicieron pruebas preliminares en el laboratorio de CMF del ICP. Se instalaron cuatro herramientas de distintos diámetros entre el tamiz vibratorio y el tanque clarificador, las cuales se construyeron con dos clases de imanes que se colocaban en determinada disposición alrededor de una tubería de acero y se recubrían con una carcaza del mismo material.

En todas las pruebas se tomaban dos muestras, una sin tratamiento magnético (STM) y otra con tratamiento magnético (CTM), con el fin de comparar su comportamiento frente a las variables respuesta. Dichas variables fueron: eficiencia de recuperación de aceite y velocidad de sedimentación.

Previo al desarrollo de cada pruebas se tenían en cuenta los siguientes parámetros de muestreo: temperatura del licor de prensa, agua de dilución y columna de precalentamiento; relación aceite/ agua, criterio de maduración, continuidad del proceso y bombeo continuo del licor de prensa al tanque clarificador.

Todos los datos en planta se consolidaron en una tabla con el fin de realizar un análisis estadístico que permitiera observar el desempeño de las herramientas frente a las variables respuesta. Éste análisis indicó que la herramienta de dos pulgadas aumentó la velocidad de sedimentación y la eficiencia de recuperación de aceite, debido a que el campo magnético actúa sobre los lodos del licor de prensa.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Crisóstomo Barajas Ferreira

SUMMARY

TITLE*:

APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA

AUTHORS :

Luisa Fernanda Núñez Rojas

Olga Patricia Ramírez**

KEY WORDS :

Magnetic fields, Palm oil extraction, Oil clarification.

DESCRIPTION:

The purpose to apply magnetic field on the clarification process in palm oil mill, was to reduce oil losses during oil extraction. In this way, the fluid evaluated was the express liquor with several intensities of magnetic field in trials using different magnetic tools used in petroleum industry. This trial was developed in laboratory and plant, set your operation between screen and settling tank. Each test was completed with two samples, one of them without magnetic treatment (STM) and the other with magnetic treatment (CTM), measuring efficiency and separation rate of oil like the objective of this experiment.

Some statistical analysis were applied to determine which treatment shows a good answer with magnetic field. The analysis indicated that two inches diameter tool presented the better results in efficiency and separation rate of palm oil. It was explained based in the agglomeration of sludge at the bottom of settling probe.

* Degree Project

** Physical-Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering's School, Eng. Crisóstomo Barajas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el proceso de Extracción de Aceite Crudo de Palma presenta grandes pérdidas principalmente en la etapa de Clarificación, debido a la retención de aceite en los lodos. Dichas pérdidas en el país ascienden a 12.000 ton/año equivalentes a 16.325 millones de pesos por año. Debido a éste problema que a diario enfrentan las plantas extractoras de Aceite de Palma se planteó la posibilidad de evaluar tecnologías desarrolladas en el sector petrolero para su aplicación en el proceso de Extracción de Aceite Crudo de Palma.

La inhibición magnética es la técnica más reciente aplicada en diferentes sistemas de producción para el control continuo de precipitación de parafinas y deshidratación de crudos. Se ha probado con gran éxito en diversas partes del mundo haciendo de éste un método económico y de efectos permanentes en el fluido tratado.

En el informe, Aplicación De La Física en el Tratamiento del Petróleo y sus Derivados, realizado por MECHETTI, Magdalena* y PELAEZ, Carlos** presentan que las parafinas son sustancias orgánicas diamagnéticas y por tanto son susceptibles a éstos tratamientos, cuando éstas sustancias son sometidas a campos magnéticos, se polarizan y las moléculas diamagnéticas se repelen entre sí, manteniéndose dispersas en el sistema

* Laboratorio de Física de Líquidos y Electrorreología, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

** Laboratorio de Control Magnético de Fluidos (CMF) del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP), Ecopetrol, Colombia.

fluido, suprimiendo la formación de depósitos en las paredes internas de la tubería, incrementando la solubilidad del crudo, disminuyendo su punto de nube, punto de fluidez, temperatura de depositación de parafina y mejorando entonces la movilidad y reduciendo la viscosidad del crudo.

En el presente estudio se evalúa el efecto de los campos magnéticos en la Extracción de Aceite Crudo de Palma debido a que el problema de fondo, al igual que en la deshidratación del petróleo es la separación de dos fases inmiscibles, que para este estudio son aceite-lodos.

Aunque la aplicación de ésta tecnología al crudo de palma es relativamente nueva, en el 2002, AYUSO, E.; LUQUE, J.; N. ZUMAETA, presentan en el artículo de la revista Palmas “Parámetros de Rendimiento de la Electroclarificación”, reportaron la aplicación de campos magnéticos a la separación de mezclas en donde la fase continua es aceite. El objetivo de tal investigación fue simular mezclas agua-aceite (W/O) para conocer parámetros de separación en rendimientos de electro clarificación, y algunos resultados, llegando incluso a determinar los parámetros de diseño de los electro-clarificadores y electro-desmulsificadores.

PELÁEZ, Carlos; CAMARGO, Rubén y MARTÍNEZ, Jose Manuel presentaron en el informe “Estudio Preliminar del Efecto Magnético sobre el Aceite de Palma a Temperatura Ambiente” del 2001[♦], presentaron pruebas de laboratorio, en las que se aplicaban campos electromagnéticos sobre el aceite crudo de palma a temperatura ambiente, evaluando su efecto en las propiedades físicas, especialmente las realizadas habitualmente al crudo de petróleo como el punto de fluidez y viscosidad entre otras.

[♦] Laboratorio de Control Magnético de Fluidos (CMF) del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP), Piedecuesta, Santander.

GARCIA, Jesús A; YÁÑEZ, Edgar y PELAEZ, Carlos en el informe “Evaluación de Nuevas Tecnologías en el Proceso de Clarificación de Aceite Crudo de Palma”, evaluaron la aplicación de ultrasonido y campos magnéticos al licor de prensa, obteniéndose mejores eficiencias en la separación de aceite en la última alternativa, el trabajo se desarrollo en el laboratorio CMF del ICP.

Con base en lo anterior se puede afirmar que la importancia de este proyecto es que partiendo de las pruebas realizadas en el laboratorio de Control Magnético de Fluidos (CMF) del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP), se definieron los parámetros para instalar por primera vez la herramienta magnética a nivel industrial en el sector palmero. El principal objetivo para hacer esta aplicación en la industria comprende dos aspectos fundamentales de la ingeniería: rapidez y costos; este último bien sea expresado como energía o como recurso financiero.

Hasta el momento éste problema se ha tratado a nivel de laboratorio, realizando pruebas preliminares con mezcladores y electroimanes. Con este estudio se busca aplicar y evaluar el efecto de los campos magnéticos en la extracción de aceite crudo de palma, para lo cual se analizaron varios puntos del proceso, seleccionándose como fluido de trabajo el Licor de prensa. Se desarrollaron pruebas a nivel de laboratorio y pruebas piloto en la industria, usando electroimanes e imanes permanentes. Estos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio CMF del ICP y en la planta extractora de aceite de palma “AGROINCE Ltda.”

1. ACEITE CRUDO DE PALMA

El aceite crudo de palma sin procesar presenta una coloración café rojiza y tiene una consistencia semisólida a la temperatura ambiente. Al igual que los aceites y las grasas está constituido principalmente de materiales glicéridos con algunos materiales no glicéridos en pequeñas cantidades. Esta composición química es la que define sus características, las cuales llevarán a determinar el uso del aceite en varios procesos y aplicaciones. La Palma de Aceite tiene un buen crecimiento en climas tropicales dentro de los 5° de latitud norte y sur del ecuador. Las condiciones de crecimiento ideales incluyen adecuadas precipitaciones, cercanas a los 2000mm/año (extendidas uniformemente durante todo el año), adecuada luz del sol (aproximadamente por encima de 2000h/año), y temperaturas moderadamente altas entre 25 y 33° C.

1.1 PROPIEDADES QUÍMICAS

El crudo de palma extraído del mesocarpio de los frutos de la palma, se encuentra químicamente constituido por una molécula de glicerol combinada con tres moléculas de ácidos grasos formando un triglicérido (ésteres orgánicos). La naturaleza de un aceite depende principalmente de la composición del ácido graso, estos son ácidos carboxílicos que presentan características polares.

En el aceite de palma se encuentran los siguientes ácidos grasos: ácido palmítico 43%, ácido oléico 43%, en menor proporción ácido esteárico y

ácido laúrico. Los ácidos palmíticos y laúrico son ácidos grasos saturados mientras que el oléico y el esteárico son de tipo insaturado. El color y olor del crudo de palma es causado principalmente por carotenos y pigmentos similares. En pequeñas cantidades también se puede encontrar fosfolípidos, ácidos grasos libres, sustancias orgánicas volátiles, aldehídos, cetonas y elementos como cobre, hierro, calcio, magnesio y Níquel. Los Mono y di glicéridos están presentes a veces en pequeños porcentajes en el aceite natural, pero como producto son importantes como emulsificantes. En la Tabla 1, se presenta la composición general del Aceite de Palma.

Tabla 1. Composición del Aceite de Palma

ACIDOS GRASOS	PORCENTAJE (%)
Saturados:	50,00
Laúrico	0,1
Mirístico	1,0
Palmítico	43,8
Esteárico	4,8
Araquídico	0,3
Monoinsaturados:	39,00
Palmitoleico	0,1
Oleico	38,90
Poliinsaturados:	10,90
Linoleico	10,60
Linolénico	0,30

Fuente: Ceniavance Abril de 1999

El aceite crudo de palma contiene tocoferoles, y tocotrienoles en una cantidad alrededor de 1000 ppm. El Aceite de Palma Refinado retiene cerca del 50 % de estos productos. Los tocoferoles y tocotrienoles son antioxidantes y proveen alguna protección oxidante natural al aceite. La

Tabla II muestra los tipos de tocoferoles y tocotrienoles presentes en el aceite de palma.

Tabla 2. % de Tocoferoles y Tocotrienoles en el Aceite Crudo de Palma

Tipo	Porcentaje
α -Tocoferoles	21,50
β -Tocoferoles	3,7
γ -Tocoferoles	3,2
δ -Tocoferoles	1,6
α -Tocotrienoles	7,3
β - Tocotrienoles	7,3
γ - Tocotrienoles	43,70
δ - Tocotrienoles	11,70

Fuente: Bailey's Industrial Oil & Fat Products. Volume 2, Edible Oil & Fat Products: Oil and Oil Seeds. 1996

En la Tabla 2 se puede ver que las cantidades de α -tocoferoles y los γ -tocotrienoles presentan los mayores porcentajes del total de tocoferoles y tocotrienoles presentes en el Aceite de Palma. La presencia de tocoferoles y tocotrienoles listados en la Tabla II, indica la presencia probable de formas esterificadas.

Los efectos combinados de las propiedades de los carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles, y el 50 % de ácidos insaturados confieren al Aceite de Palma, una estabilidad de oxidación mas alta comparada con muchos de los otros aceites vegetales. En términos de esteroides, el Aceite de Palma, contiene un nivel mas bajo de colesterol que muchos otros aceites vegetales como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles del Colesterol en Aceites Crudos y Grasas

Tipo de Aceite	Cantidad (ppm)	Rango (ppm)
Aceite de Coco	14	5-24
Manteca de coco	59	-
Aceite de Palmiste	17	9-40
Aceite de Palma	18	13-19
Aceite de Girasol	17	8-44
Aceite de Soya	28	20-35
Aceite de Colza	49	25-80
Aceite de Maíz	50	18-95

Fuente: Bailey's Industrial Oil & Fat Products. Volume 2, Edible Oil & Fat Products: Oil and Oil Seeds. 1996

La Tabla 4. presenta la composición de esteroides en el Aceite Crudo y Refinado de Palma y sus productos. En la Tabla IV puede verse los bajos niveles de colesterol en el aceite crudo de palma y en la oleína cruda de palma, incluso mucho más bajos en productos refinados. Este nivel bajo de colesterol, junto con las propiedades antitrombóticas¹ y anticarcinogénicas² de algunos de los carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles presentes, añaden más valor nutritivo al Aceite de Palma y sus fracciones.

¹ Antitrombótica: evita el bloqueo de un vaso sanguíneo o una actividad cardíaca por un trombo o coágulo.

² Anticarcinogénica: evita el crecimiento tumoral producido por la proliferación continua de células anormales con capacidad de invasión y destrucción de otros tejidos.

Tabla 4. Composición de Esteroles de Aceite Crudo y Refinado de Palma y sus productos (ppm).

Muestra	Colesterol	Campesterol	Stigmasterol	Sitosterol	Desconocido
Aceite Crudo de Palma	7-13	90-151	44-66	118-220	-
Aceite Degomado y Blanqueado	5-10	49-116	22-51	113-286	-
Aceite Refinado	1-5	15-16	8-30	45-167	-
Oleina Crudo de Palma	6-8	57-104	30-51	149-253	24-28
Oleina Degomada y Blanqueada	3-4	36-43	21-25	99-123	-
Oleina Refinada	2	26-30	12-23	68-114	-

Fuente: Bailey's Industrial Oil & Fat Products. Volume 2, Edible Oil & Fat Products: Oil and Oil Seeds. 1996

1.2 PROPIEDADES FÍSICAS

La densidad aparente es un parámetro importante desde el punto de comercial para hacer conversiones de volumen a peso. Este puede ser usado como un indicador de pureza. Las grasas sólidas que contienen un aceite son las mismas a cualquier temperatura. Esta es medida por medio de la amplitud de las líneas en la Espectroscopia de Resonancia

Magnética Nuclear (NMR), después de un proceso a temperatura estándar para las muestras.

Los sólidos presentes en el aceite a cualquier temperatura se deben al proceso de cristalización que ocurre en él como consecuencia de sus propiedades químicas. Las diferentes estructuras moleculares de los triglicéridos con sus diferentes características químicas manifiestan sus estados físicos a distintas temperaturas, otorgando cierto comportamiento en la cristalización y el punto de fusión. Estos procesos asociados térmicamente pueden ser monitoreados por Barridos Calorimétricos Diferenciales.

Tabla 5. Propiedades Físicas del Aceite de Palma

Propiedad	Valor (de 215 muestras)	Rango
Densidad Aparente a 50°C (g/ml)	0,889	0,888-0,889
Índice de Refracción a 50°C	1,455	1,455-1,456
Contenido de Grasas Sólidas (%) a:		
5 °C	60,5	50,7-68,0
10 °C	49,6	40,0-55,2
15 °C	34,7	27,2-39,7
20 °C	22,5	14,7-27,9
25 °C	13,5	6,5-18,5
30 °C	9,2	4,5-14,1
35 °C	6,6	1,8-11,2
40°C	4,0	0,0-7,5
Punto de Fusión (°C)	34,2	34,4-37,6

Fuente: Bailey's Industrial Oil & Fat Products. Volume 2, Edible Oil & Fat Products: Oil and Oil Seeds. 1996

1.3 PROCESO DE EXTRACCION DE ACEITE DE PALMA

1.3.1 Recepción. El fruto es cortado en el campo bajo unos criterios específicos de maduración y posteriormente transportado a la planta de beneficio. En la primera etapa se lleva a cabo el pesaje del fruto en una báscula electrónica, este se hace incluyendo el vehículo transportador del fruto. Luego sigue el descargue del fruto sobre las tolvas de distribución, las cuales son accionadas por un sistema de compuertas hidráulicas que van distribuyendo el fruto sobre las vagonetas de esterilización.

1.3.2 Esterilización. Mediante el uso de autoclaves horizontales presurizados con vapor de agua, el fruto alojado en las vagonetas es sometido a un proceso de esterilización que se realiza en tres picos de presión 0,138, 0,207, 0,276 MPa. Se realiza una previa desaireación del autoclave y descarga de vapor condensado entre pico y pico, para un tiempo total de esterilización entre 73 y 90 minutos, dependiendo de la madurez del fruto. Este vapor es evacuado del autoclave en parte como vapor a la atmósfera y en parte como condensado aceitoso a los canales que conducen al trampas de recuperación de aceite de esterilización. Este primer efluente puede ser hasta el 10% del peso de la fruta procesada.

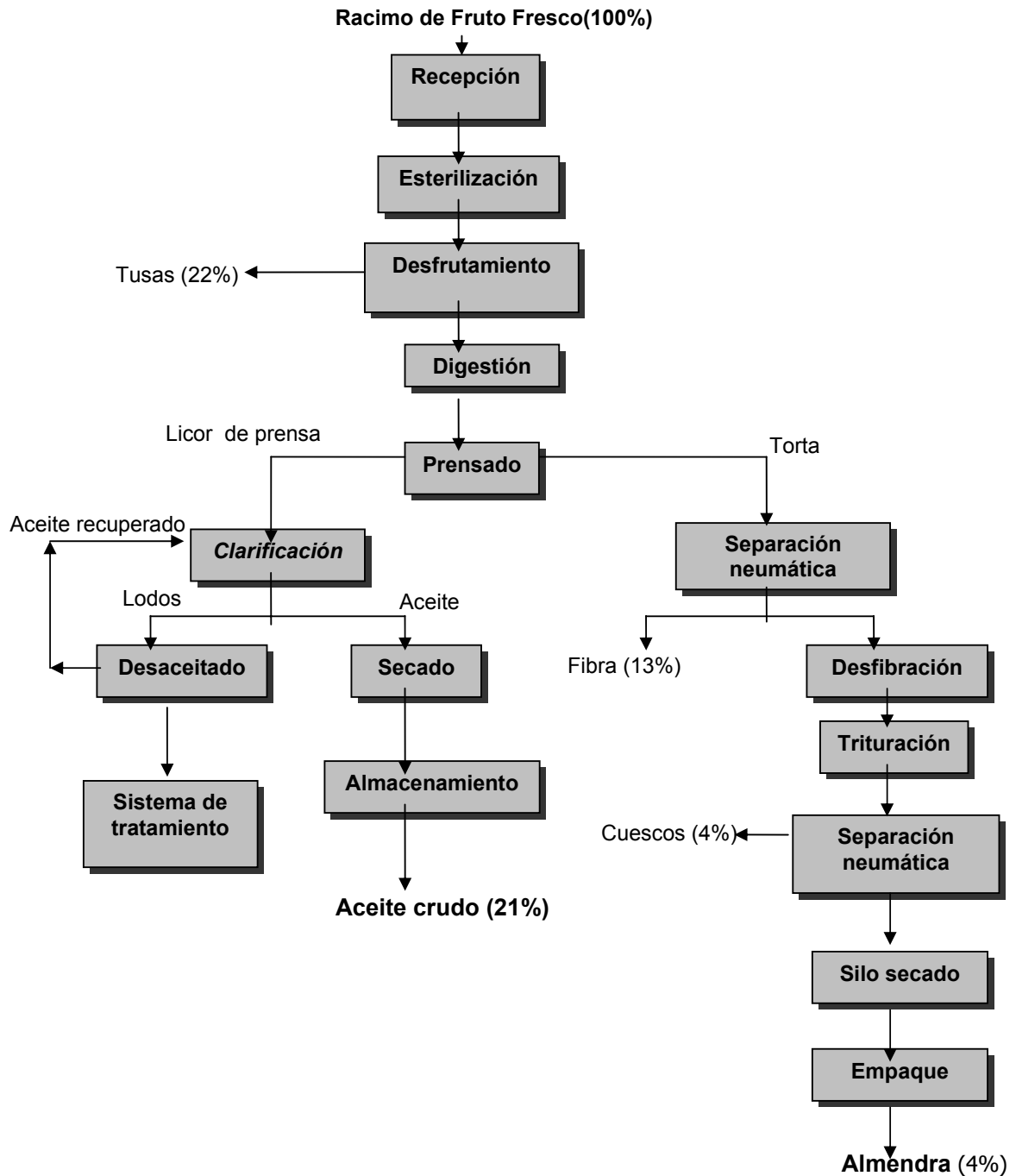
Los objetivos de la esterilización son:

- ✓ Inactivar el proceso enzimático (lipasa) de acidificación del aceite, que se da cuando la lipasa desdobla el aceite en ácidos grasos libres. Esta inactivación se logra con temperaturas por encima de 55° C.

- ✓ Facilitar la separación mecánica de los frutos adheridos al racimo, mediante hidrólisis del tejido que une unos con otros; esta acción es más efectiva cuanto mayor sean temperatura y el tiempo de contacto con el vapor.

- ✓ Ablandamiento del pericarpio por hidrólisis a temperaturas de 110 a 120 °C por corto tiempo, y de esta manera facilitar el rompimiento de las celdas de aceite en proceso de prensado.

Figura 1. Proceso de Extracción del Aceite Crudo de Palma



<http://www.wsu.edu/~gmhyde/433> we pages /433Oil-web-pages/tropical2/tropical-

- ✓ Deshidratación de la almendra, por difusión a través de la cáscara que la rodea (nuez). Esta difusión se hace básicamente por evaporación “flash” de la humedad.
- ✓ Coagular las proteínas e hidrolizar la materia mucilaginosa contenida sobre todo en la pulpa del fruto en las pequeñas celdas que guardan el aceite y que posteriormente actuarían como emulsificantes del aceite en el agua, causando molestias en el proceso de clarificación y pérdidas adicionales en las aguas de desecho.

La Esterilización se efectúa en autoclaves horizontales de gran diámetro, dentro de vagonetas que se mueven sobre una vía férrea, en la parte superior se dispone de un distribuidor de vapor, así como de las conexiones necesarias para la admisión y descarga del mismo y para los instrumentos de medición y control. En la parte inferior se encuentran las conexiones de descarga de condensados y para desaireación inicial.

1.3.3 Desfrutamiento. Los racimos esterilizados, se descargan en un desfrutador tipo tambor, produciéndose la separación del fruto o pepa de la tusa a través de golpes del racimo dentro del tambor. El fruto desprendido es transportado a los digestores y la tusa vacía se lleva al campo donde se dispone como acondicionador de suelos.

El tambor es una jaula compuesta por barrotes longitudinales y cinturones perimetrales, a través de los cuales pasan los frutos que se sueltan debido a los golpes sucesivos que sufren los racimos por la rotación de dicha jaula cuya velocidad de giro se encuentra entre 21-23 rpm, interiormente el tambor dispone de unas paletas fijas desplazadas cierto

ángulo en relación con los barrotes y que sirven como barreras de retención de los racimos para lanzarlos hacia el centro y abajo procurando la mayor eficiencia en los golpes.

1.3.4 Digestión. Mediante el uso de un digestor o tanque cilíndrico vertical, provisto de paletas rotativas e inyección directa de vapor, el fruto es macerado para extraer su aceite posteriormente. El fenómeno que ocurre dentro del digestor consiste en afectar en alto grado la estructura del mesocarpio, hasta el punto de romper los vasos lipogénicos y liberar cierta cantidad de aceite. Esto se consigue a temperatura de 95 °C durante 25 minutos.

1.3.5 Prensado. El fruto digerido se alimenta por gravedad a un conjunto de prensas que trabajan entre 3 y 6 MPa en contrapresión a unos conos ubicados a la salida, ejercen la acción de prensado extrayendo el aceite del mesocarpio. Para facilitar el prensado se usa agua caliente (aproximadamente a 95° C). La mezcla extraída es llamada Licor de Prensa³, contiene agua, impurezas orgánicas e inorgánicas, dicha mezcla es enviada al proceso de clarificación. La masa del mesocarpio, pulpa y nueces, conocida como "torta" abandona la prensa hacia la sección de beneficio de almendras o palmistería.

1.3.6 Clarificación. El objetivo de la clarificación es separar el aceite crudo de palma, de los otros componentes del Licor de Prensa. Esta etapa se compone básicamente de:

³ Licor de Prensa. También llamado aceite crudo diluido, es una mezcla constituida por aceite, agua del fruto, agua de dilución puesta en la prensa, sólidos naturales del fruto, arena y arcilla del suelo.

- ❖ **Desarenamiento Estático.** En un desarenador con conos de drenaje donde se decantan y evacuan parte de la arena y las impurezas pesadas.

- ❖ **Tamizado del aceite crudo.** Se realiza con el propósito de eliminar la mayor parte de la materia celular y otro material extraño de mayor tamaño, para facilitar la posterior separación de los demás componentes de la mezcla.

- ❖ **Bombeo de la mezcla.** Esta operación se hace ya sea con bombas centrífugas de bajas revoluciones o con bombas de diafragma. Las primeras emulsifican y dificultan la decantación; las segundas realizan un bombeo por sistema semicontinuo que permite que la mezcla no se emulsifique y por consiguiente se facilite la decantación y recuperación del aceite.

- ❖ **Calentamiento Previo de la Mezcla.** Es necesario elevar la temperatura entre 90 a 95°C del licor de prensa, para que pueda separarse por decantación estática, este calentamiento se realiza bien sea con calentadores de vapor directo, con serpentín o con intercambiadores de tubos.

- ❖ **Separación por Decantación Estática de las Fases Principales del Licor de Prensa.** Esta etapa se desarrolla en el separador primario o clarificador horizontal continuo. En esta etapa se logra la separación del licor de prensa en una fase de aceite crudo y otra de lodos pesados⁴, dicha separación se da gracias a la diferencia de densidades, a la temperatura (90-100 °C), que disminuye la viscosidad del aceite crudo y la dilución del aceite crudo con agua muy caliente (agregada previamente durante el prensado).

⁴ Lodos Pesados. Arena, arcilla, partículas pequeñas de cuesco y fibras.

- ❖ **Sedimentación Estática del Aceite Clarificado y Secado.** Es necesario eliminar del aceite recuperado algo de humedad y lodos livianos presentes⁵, lo cual se requiere para obtener una buena calidad en el aceite. El aceite decantado se filtra y luego se centrifuga para completar la separación y finalmente se seca en una secadora (puede ser al vacío), de donde sale con una humedad aproximada del 1%. Esta reducción en la humedad evita daños posteriores del aceite por hidrólisis autocatalítica.

- ❖ **Bombeo del Aceite Crudo a los Tanques de Almacenamiento.**

- ❖ **Tratamiento de Lodos Pesados en la Centrifuga.** El subfondo o lodos provenientes del clarificador pesados está constituido por agua, impurezas y una cierta cantidad de aceite del 8 al 15% en volumen, este último es recuperado mediante centrifugación en las desludadoras o decanter, con el fin minimizar las pérdidas del producto.

Las pérdidas anuales de Aceite de palma en el proceso de Extracción de Aceite de Palma en Colombia se muestran en la siguiente tabla.

⁵ Lodos Livianos. Sustancias orgánicas como almidones, peptinas y gomas hidrolizadas.

Tabla 6. Pérdidas Anuales de Aceite de Palma en el proceso De Extracción en Colombia.

Zonas	N° de Plantas	Racimos de Fruto Fresco Procesado (Ton)	Pérdidas en Efluentes Líquidos	Ton de Aceite	Millones de Pesos
ORIENTAL	22	951.991	0,54	5140	7.196
NORTE	14	763.461	0,64	4886	6.840
CENTRAL	8	610.205	0,51	3112	4.356
OCCIDENTAL	7	324.698	0,45	1461	2.040
TOTAL	51	2.650.355	0,55	14.576	20.432

Fuente: Ceniavance 2001

A continuación se describe detalladamente los fundamentos de la Clarificación, por ser esta etapa en la que se presentan mayores pérdidas de Aceite Crudo de Palma.

2. FUNDAMENTOS DE LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN.

Convencionalmente, la mezcla proveniente de la sección de prensado es diluida, tamizada y recalentada para su posterior decantación en el tanque clarificador o tanque separador primario.

En la práctica, el líquido que fluye hacia el clarificador es de composición variable, lo que hace que el contenido de aceite retenido en los lodos sea igualmente variable.

Principalmente existen dos métodos de clarificación, el más común e importante es el sistema basado en la clarificación estática, la cual incluye, generalmente, el uso de centrífugas para la purificación del aceite clarificado y el uso de centrífugas de lodos para la extracción final del aceite retenido en los mismos. El método alternativo consiste en llevar a cabo la operación total de clarificación en una serie de centrífugas. En vista de los grandes volúmenes de líquido involucrados, se requeriría un gran número de centrífugas y de este modo se generaría un capital mas alto de inversión, de costos de mantenimiento, y consumos más grandes de energía, por estas razones éste sistema alternativo se usa rara vez.

Los procesos, tanto de clarificación estática, como de centrifugación se basan en el hecho de que el aceite y el agua son inmiscibles y tienden a separarse en dos capas, de tal manera que el líquido de menor densidad, es decir el aceite asciende. El objetivo de la centrifugación es acelerar tal separación.

Una gota de aceite de volumen V dentro de la suspensión Agua/Lodos/Aceite asciende con una fuerza igual a $V * D_w$, siendo D_w la gravedad específica de la suspensión, pero dicha fuerza se contrarresta

con el peso de la gota de aceite que es igual a $V * D_o$, siendo D_o la densidad del aceite, y además por la fricción f ejercida por el medio acuoso y cuya magnitud depende a su vez de la viscosidad de tal medio. Entonces la fuerza diferencial de ascenso será:

$$F_a = V * D_w - V * D_o = V * (D_w - D_o) - f \quad (1)$$

La diferencia en la gravedad específica entre la suspensión y el aceite es prácticamente constante dentro del rango de temperatura desde 40 hasta 100° C. Es decir que podemos tomar la diferencia $D_w - D_o$ como igual a 0.1, con la seguridad de que el error dentro del rango mencionado es prácticamente despreciable y entonces el valor de la fuerza de ascensión estará definido por:

$$F_a = 0,1 * V - f \quad (2)$$

Observando la Ecuación 2 se puede concluir varios puntos importantes sobre la operación de Clarificación del Aceite Crudo de Palma:

- A mayor tamaño de las gotas de aceite, mayor es su oportunidad de separarse rápidamente en el medio. Sin embargo, el Aceite Crudo proveniente de la extracción contiene una pequeña cantidad de aceite suspendido, en forma de pequeñísimas gotas de un tamaño del orden de 15 micrones o menos, que en la práctica no pueden ser separados y constituyen una pérdida permanente.

El incremento en la cantidad de estas pequeñas gotas ocurre bajo ciertas circunstancias: cuando se presenta ebullición del aceite o altas temperaturas del Licor de Prensa en el tanque que lo contiene (Agua/Aceite/Lodos), ocasionando cavitación en las bombas centrífugas

(si han sido instalados equipos de este tipo) al bombear hacia la clarificación.

- A mayor viscosidad de la suspensión (Licor de Prensa), mayor será el coeficiente o grado de fricción que se opone a la separación del aceite. La viscosidad a su vez se afecta por varios factores, entre los cuales se mencionan principalmente:

a. **La Temperatura de la suspensión.** Durante la separación no debe haber calentamiento de la suspensión, pues ello causa turbulencia sobretodo cerca de la tubería de los serpentines de vapor, obstaculizando el ascenso del aceite. El calentamiento debe efectuarse antes de la separación, en el calentador previsto para tal objeto. El separador estático (Clarificador) se encuentra previsto de serpentines de calentamiento para ser usados únicamente al inicio de la operación de la planta, cuando la suspensión se encuentra fría. Por lo tanto es importante que el separador estático y los demás tanques de proceso de la clarificación se encuentren aislados térmicamente.

b. **La Concentración de Sólidos en Suspensión.** La concentración de SNA⁶, es otro factor importante que influye sobre la viscosidad. En efecto, entre mayor sea esta concentración, mayor será la viscosidad de la suspensión. Entonces, para reducirla es necesario diluir, la mezcla (Fibra/Nueces/Aceite) proveniente de las prensas, lo cual se lleva a cabo a la descarga de las mismas, esta operación también favorece el transporte de la suspensión hasta los tamices vibratorios filtrantes. La experiencia demuestra que la dilución de la mezcla debe efectuarse hasta el punto en que la concentración de SNA se encuentre en el orden de 5-6% en peso sobre la fase acuosa, a la cual corresponde aproximadamente una concentración volumétrica de 35 % de aceite sobre el total del Aceite Crudo. Sin embargo, tal dilución no debe exagerarse,

hasta el grado de llegar a una concentración en peso de SNA del orden del 3-4% porque en tal caso, la viscosidad del medio se hace tan baja, que también ascienden en el medio con facilidad, ciertas materias mucilaginosas (gomas) que se encuentran en la suspensión y que forman una capa intermedia entre el aceite y el agua, llamada la tercera capa (Lodos livianos) y evita la separación posterior de las dos fases principales (Lodos pesados-Aceite).

c. **La Temperatura del Agua de Dilución.** Es importante para obtener una buena separación de las fases. La influencia negativa de peptinas y almidones es mayor en frutos de Tenera⁷ joven; con el fin de controlar su efecto, la mezcla proveniente del prensado se debe diluir antes del tamizado a una temperatura mayor de 95° C, en cantidad tal que las aguas lodosas descargadas (aguas residuales de la clarificación) sean del 50% al 55 % de los racimos.

⁶ SNA. Designa los Sólidos no aceitosos, conformado por los constituyentes presentes en los lodos livianos y pesados

⁷ Tenera. Fruto de Palma sembrado en países como Costa de Marfil, Camerún, Malasia, Nueva Guinea, Costa Rica y Colombia. Aunque producen racimos con mayor contenido de frutos y a su vez con mayor contenido de aceite, sintetizan mayores cantidades de almidones y peptinas.

3. MECÁNICA DE LAS PARTÍCULAS

El aceite crudo es considerado como un fluido con partículas aceitosas en el medio fluido. El comportamiento de las partículas en un fluido puede ser cuantitativamente descrito por la mecánica de fluidos de la partícula. Principalmente dos ecuaciones básicas pueden ser usadas para describir el comportamiento de las partículas aceitosas en el fluido de aceite crudo. Las ecuaciones son:

3.1 LEY DE STOKES

$$V = \frac{(\rho_p - \rho) \cdot g \cdot D_p^2}{18\mu} \quad (3)$$

3.2 LEY DE NEWTON

$$V^2 = \frac{4(\rho_p - \rho) \cdot g \cdot D_p^2}{3C_D} \quad (4)$$

Donde:

ρ_p = Densidad de partículas de aceite

ρ = Densidad del fluido de aceite crudo

g = Fuerza de gravedad

D_p = Diametro de la particula de aceite

μ = Vis cos idad del fluido

C_D = Coeficiente de arrastre

V = Velocidad de levantamiento de particulas de aceite D_p

La Ecuación 3, dice que la velocidad de aumento o de incremento de las partículas de aceite en el aceite crudo es cuantitativamente función de:

- ✓ la diferencia en densidad ($\rho_p - \rho$)
- ✓ gravedad (g)
- ✓ el cuadrado del diámetro de la partícula D_p
- ✓ la viscosidad del aceite crudo μ

Ésta ecuación permitirá la estimación de la velocidad del aceite recuperado y la eficiencia en el tanque clarificador, proporcionando los valores de las propiedades físicas que son conocidas.

Por otro lado la Ecuación 4 es solamente aplicable para ciertos rangos de velocidades de las partículas aceitosas, es decir dentro del régimen del flujo laminar, definido por el número de Reynolds.

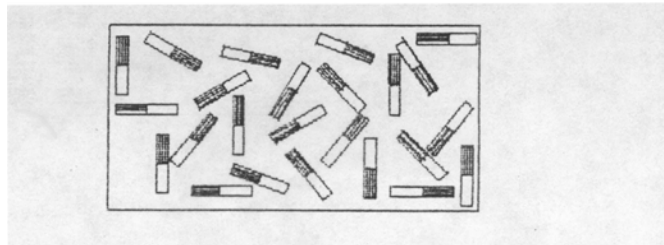
En general la ley de Stokes es aplicable a la predicción de las eficiencias recuperadas de aceite en el tanque clarificador. La ley de Newton es en general una ecuación aplicable bajo todos los rangos de velocidades y es la más conveniente para la predicción de las eficiencias de recuperación de aceite en los procesos de centrifugación. La ecuación de Newton puede ser resuelta gráficamente con el diagrama de coeficiente de Arrastre vs. N° de Reynolds.

Para predecir cuantitativamente la rata de recuperación de aceite de la suspensión en el tanque clarificador o las centrífugas, deben ser conocidas los valores actuales de la densidad de las partículas de aceite, densidad de la suspensión, medida del diámetro de las partícula de aceite y viscosidad del aceite crudo.

4. CAMPOS MAGNÉTICOS

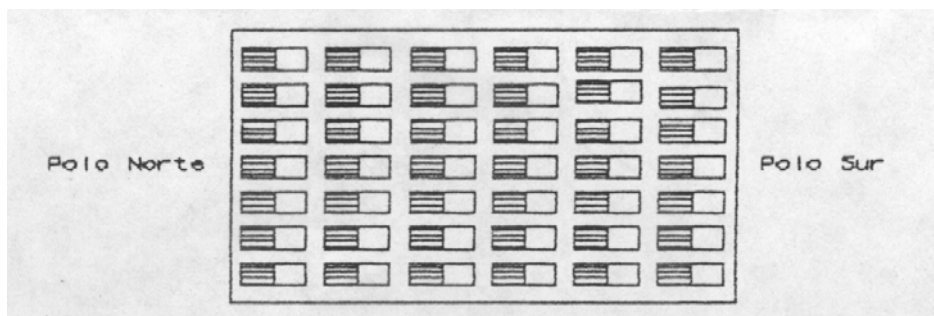
La mayoría de los materiales en su estado natural no son magnéticos, esto significa que las moléculas polarizadas (magnetizadas) están dispuestas en arreglos arbitrarios.

Figura 2. Arreglo Molecular de un Material no Magnetizado



Cuando las moléculas de un material se alinean con los polos norte en una dirección y los polos sur en la dirección opuesta, se dice que se ha magnetizado, tal como se indica en la siguiente figura:

Figura 3. Arreglo molecular de un material magnetizado



4.1 DEFINICIONES BÁSICAS SOBRE MAGNETISMO

4.1.1 Campo Magnético. La región en el interior y en los alrededores de un imán en la cual actúan las fuerzas magnéticas se conoce como campo magnético. El campo magnético está compuesto por líneas imaginarias de fuerza con dirección constante que forman, cada una, un circuito completo. Estas líneas magnéticas se conocen como flujo. Una línea de fuerza va del polo norte y viaja alrededor del imán hacia el polo sur y luego de entrar al polo sur, viaja internamente hacia el polo norte.

4.1.2 Intensidad de Campo Magnético. La intensidad de un campo magnético está determinada por la densidad de flujo (número de líneas por unidad de área) en un punto dado de este campo. Las líneas se concentran cerca de los dos polos y se dispersan en todas las direcciones. Las partes más intensas de un campo magnético son las zonas cercanas al polo norte y al polo sur.

El símbolo para la intensidad de campo es H y la unidad de medición es el Oersted, el cual es la intensidad de campo que ejerce una fuerza de una Dina sobre la unidad polar en ese punto.

Una línea de fuerza es un Maxwell. Cuando se tiene un Maxwell por centímetro cuadrado la densidad de flujo es de un Gauss, es decir el Gauss es la unidad de la densidad de flujo.

El símbolo para la intensidad de flujo es β , el cual representa la densidad de flujo, que equivale a Maxwells por centímetro cuadrado.

4.1.3 Permeabilidad. Las líneas de fuerza pueden pasar a través de todos los materiales conocidos. La facilidad con la cual un material deja

pasar las líneas de fuerza se conoce como permeabilidad y su símbolo es la letra griega μ . La permeabilidad de un material se mide con respecto al aire. El aire tiene una permeabilidad de 1. Por lo tanto un material con μ igual a 1000 conduciría líneas de fuerza mil veces más fácilmente que el aire.

4.1.4 Reluctancia. Es la propiedad de un material que se opone a que líneas magnéticas pasen a través de él. Puede resistir y obstaculiza la corriente. Se estableció anteriormente que la permeabilidad es la facilidad con la cual las líneas magnéticas pueden viajar a través de un material. La permeabilidad se relaciona con el flujo magnético como la conductancia se relaciona con la corriente eléctrica. Por lo tanto la permeabilidad y la reluctancia son recíprocas una de la otra. Un material con alta permeabilidad tendrá una baja reluctancia.

4.1.5 Retentividad. La capacidad de un material para conservar magnetismo se denomina retentividad. En términos generales, los materiales ferromagnéticos suaves tienen baja retentividad y los ferromagnéticos duros tienen retentividad alta. Los imanes permanentes están contruidos generalmente de materiales con una retentividad muy alta debido a que mientras más alta sea la retentividad mayor es el tiempo que perduran sus propiedades magnéticas.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Cuando la intensidad de campo magnético tiene magnitud suficiente, todos los materiales reaccionan al campo. Los materiales se clasifican de acuerdo con su reacción al campo en diamagnéticos, ferromagnéticos y paramagnéticos.

4.2.1 Materiales Diamagnéticos. Los materiales diamagnéticos se alinean por sí mismos en forma perpendicular al campo magnético, tienen una permeabilidad es ligeramente menor a la unidad y son en realidad repelidos, por el campo magnético. Ejemplo bismuto, cobre y agua que tienen permeabilidades de 0,999. Estos son buenos materiales diamagnéticos.

4.2.2 Materiales paramagnéticos. Son materiales que son atraídos por campos magnéticos y tienden a alinearse en forma paralela a las líneas de fuerza. Su permeabilidad es ligeramente mayor a la unidad. Como ejemplo aluminio y el erbio.

4.2.3 Materiales ferromagnéticos. Estos materiales poseen muy altas permeabilidades y son fuertemente atraídos a los campos magnéticos. El níquel, acero, hierro y cobalto tienen permeabilidades de 1000. En las sustancias ferromagnéticas hay interacciones tan intensas entre los momentos magnéticos de átomos vecinos que los momentos atómicos pueden alinearse con poca o ninguna ayuda de campos aplicados exteriormente. Es natural que si hubiera campos externos presentes, los momentos atómicos se alinearían en la dirección de estos; en realidad, casi se alinean por completo, incluso cuando se tienen campos externos que no sean demasiado intensos.

En consecuencia, los materiales ferromagnéticos presentan permeabilidades magnéticas muy grandes, y en general se pueden imantar o magnetizar permanentemente. Puesto que los momentos atómicos casi se alinean del todo, incluso con campos externos relativamente poco intensos el valor saturante de la magnetización se obtiene fácilmente con valores pequeños de la intensidad magnética, y la magnetización no es una función lineal del campo aplicado. Un metal ferromagnético suave, como el hierro, es relativamente fácil de

magnetizar, pero cuando la fuerza magnetizante se suprime pierde su propiedad magnética muy rápidamente.

4.3 MATERIALES MAGNÉTICOS

Aunque todos los materiales presentan algún tipo de propiedad magnética (diamagnetismo, paramagnetismo o ferromagnetismo), se reserva casi exclusivamente a las sustancias ferromagnéticas. Los materiales magnéticos tienden a ser clasificados como duros o blandos. En esta designación sin embargo los términos se refieren a el valor de la Fuerza Coercitiva H_c y al área de la curva de histéresis más que a la condición mecánica del material.

4.3.1 Materiales Blandos. Son fáciles de imanar, adecuados para aparatos tales como transformadores, motores y generadores eléctricos, relays, receptores telefónicos, equipos de sonido, radar y otros mecanismos. Las propiedades más importantes de los materiales magnéticos blandos, con fines de aplicación industrial, son normalmente bajo campo coercitivo y alta permeabilidad.

El hierro puro y el hierro al silicio constituyen principales materiales blandos empleados en las instalaciones de producción y distribución de energía eléctrica. En la industria de las comunicaciones, la mayoría de las aleaciones magnéticas utilizadas son del tipo Permalloy y contienen grandes proporciones de níquel y hierro, y a menudo cantidades moderadas de otros elementos.

4.3.2 Materiales Duros. Conservan su imantación con gran fuerza y resultan apropiados para la fabricación de imanes permanentes. Estos

materiales requieren de gran campo coercitivo ($H_c = 50-3.000$ Oersted) y alta imantación remanente ($B_r = 5.000-12.500$ Gauss).

Dichas condiciones, aunque en principio pueden deducirse de la característica más importante de estos materiales, que es su gran energía externa $BH_{m\acute{a}x}$, su correcta determinación precisa la estimación de otros distintos factores que permiten seleccionar sin dificultad el acero que puede ser más apropiado para cada caso particular, debido a que en la práctica, para elegir un material de esta clase, siempre hay que tener en cuenta, además de la fuerza magnetomotriz, otros aspectos, como son: economía, peso, forma, estabilidad y, en algunos casos, las posibilidades de efectuar en el mismo imán algunas pequeñas mecanizaciones.

Las aleaciones normales que en la actualidad se usan para estos fines, suelen ser soluciones sólidas con dos o más componentes mecánicos, en las que se han conseguido intensas anisotropías⁷ cristalinas o tensiones internas, mediante tratamientos posteriores a su composición, siguiendo en ellos sucesivos procesos tales como templado a altas temperaturas, prensado en campo magnético, recocido, enfriamiento en presencia de campo magnético, estirado, etc.

La mayoría de los materiales magnéticamente duros utilizados como imanes permanentes son aleaciones de tipo Alnico. Propiedades comparables a la de los Alnicos pueden obtenerse por prensado de polvos muy finos: de hierro, aleación hierro cobalto, o ciertos compuestos no metálicos.

Cuando se requiere ductilidad se utilizan otros tipos como Cunife, Cunico, Simanal y Vicalloy. La Tabla 7 se refiere a los materiales más usados en la construcción de imanes permanentes. (En un material ferrromagnético, el valor máximo del producto BH, representado por $BH_{\text{máx}}$ en la Tabla 7, es un factor muy importante desde el punto de vista de su aplicación como imán permanente).

⁷ Anisotropía. Fenómeno debido a la ordenación espacial de los átomos en la red cristalina y afecta las propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas de los materiales.

Tabla 7. Algunas Propiedades de los Materiales Utilizados como Imanes Permanentes

MATERIAL	COMPOSICIÓN % EN PESO	Hc (OERSTED)	Br (GAUSS)	BH _{máx} *10 ⁶ (GAUSS- OERSTED)	PREPARACIÓN	TRATAMIENTO TÉRMICO	PROPIEDADES MECÁNICAS
ACERO AL CARBONO	0,9 C, 1Mn	50	10.000	0,2	Laminado en caliente, mecanizado, troquelado	Q 800	Duro, resistente
ACERO AL TUNGSTENO	0,7 C, 36 Co	70	10.300	0,3	Laminado en caliente, mecanizado, troquelado	Q 850	Duro, resistente
ACERO AL COBALTO 36	0,7 C, 36 Co, 4 Cr, 5 W	240	10.000	1,0	Laminado en caliente, mecanizado, troquelado	Q 930	Duro, resistente
ALNICO 5	24 Co, 14 Ni, 8 Al, 3 Cu	600	12.500	5,0	Moldeado, desbastado	AF 1300 B 600	Duro, resistente
REMALLOY	12 Co, 17 Mo	250	10.500	1,1	Laminado en caliente, mecanizado, troquelado	Q 1200 B 700	Duro, maleable
VICALLOY	52 Co, 14 V	510	10.000	3,5	Laminado en frío, estirado	B 600	Dúctil
CUNIFE	20 Ni, 60 Cu	500	5.400	1,3	Estirado, mecanizado, troquelado	Q 1070 B 700, D	Dúctil
CUNICO	41 Co, 24 Ni, 35 Cu.	660	3.400	0,8	Laminado en caliente, mecanizado, troquelado	Q 1080 B 650	Dúctil

4.4 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO

Los campos magnéticos influyen sobre los materiales magnéticos y sobre las partículas cargadas en movimiento. En términos generales, cuando una partícula cargada se desplaza a través de un campo magnético, experimenta una fuerza que forma ángulos rectos con la velocidad de la partícula y con la dirección del campo. Como la fuerza siempre es perpendicular a la velocidad, las partículas se mueven en trayectorias curvas. Los campos magnéticos se emplean para controlar las trayectorias de partículas cargadas en dispositivos como los aceleradores de partículas o los espectrógrafos de masas.

El tratamiento magnético de un flujo es el resultado de combinar la termodinámica con las ecuaciones de hidrodinámica y electromagnetismo; también se define como el estudio termodinámico de un fluido conductor o muy poco conductor como el petróleo que pasa a través de un campo magnético.

Toda sustancia está compuesta de protones, neutrones, electrones que cuando se colocan en presencia de un campo magnético presentan un comportamiento que depende de la distribución electrónica y estructura molecular de la sustancia.

El fenómeno predominante en el petróleo es el diamagnetismo expresado por una constante de susceptibilidad magnética tabulada o medida en el laboratorio. Esta constante es característica para cada sustancia, varía con la temperatura y presión, por lo tanto esta ligada con el comportamiento de fases, indicando que el diseño de una herramienta magnética es específica para cada aplicación.

La formulación de estos fenómenos diamagnéticos se inició en el año de 1854 cuando el físico alemán Weber demostró que toda materia exhibirá diamagnetismo, bajo la suposición que las corrientes amperianas circularían dentro de las moléculas. La formulación matemática fue desarrollada por el físico francés Langevin en el año 1905.

Aplicando los efectos diamagnéticos y paramagnéticos a un fluido como el petróleo, que se mueven en presencia de campos magnéticos y eléctricos, se pueden variar parámetros del sistema, tales como: caudal, viscosidad del flujo, temperatura, punto de nube, punto de fluidez, etc. El fluido absorbe energía eléctrica y magnética, las cuales producen:

1. Aumento de temperatura, por aceleración de la velocidad de los electrones en la molécula alrededor del vector campo magnético.
2. Variación de la viscosidad dinámica con o sin incremento de temperatura por orientación molecular opuesta al campo aplicado.
3. Rompimiento de cadenas de dipolos moleculares (asfáltenos - resinas) por vibración molecular causada por la energía que absorbe el sistema.
5. Aumento de la velocidad de flujo por el vector fuerza magnética que aparece con consecuencia del campo magnético aplicado.

5. METODOLOGÍA

De acuerdo con los estudios preliminares realizados a nivel de laboratorio, se decidió aplicar campos magnéticos a nivel industrial en el proceso de extracción de aceite crudo de palma. Como primera medida se visitaron las distintas plantas de beneficio de la Zona Palmera Central Colombiana, con el fin de:

- ✓ Establecer los criterios para la selección del campo de pruebas.
- ✓ Definir los puntos del proceso para realizar el muestreo y análisis.
- ✓ Analizar las variaciones del proceso en cada planta para elegir aquella que sea de mayor conveniencia.

Para la Selección de la planta de beneficio se tuvo en cuenta los siguientes criterios: seguridad, instalaciones, tecnología implementada . Con base en lo anterior se realizó un “screening” a todas las plantas visitadas, resultando seleccionada planta de beneficio AGROINCE LTDA, ubicada en el municipio de San Martín (Cesar).

Se eligieron cuatro puntos de muestreo:

- Licor de prensa
- Lodos de clarificación (entrada a la centrífuga)
- Aceite recuperado de la centrífuga
- Lodos provenientes de centrífuga

Finalmente se seleccionó el punto de Licor de Prensa que va a la clarificación, por ser esta la etapa donde se presentan las mayores pérdidas de aceite. Se excluyeron los demás puntos debido a que el diseño experimental se hacía muy extenso y en ellos la recuperación de aceite es baja.

5.1 VARIABLES ANALIZADAS

Antes de describir como se realizaron las pruebas es necesario especificar que la muestra empleada para el desarrollo de las mismas fue licor de prensa tomado debajo del tamiz vibratorio, el cual se llevó a unas condiciones de temperatura similares a las que se manejan en Planta (95-100° C). Los parámetros y las variables que se tuvieron en cuenta en el desarrollo del experimento se presentan a continuación:

5.1.1 Parámetros de Muestreo en Planta. Para llevar a cabo las pruebas en planta fue necesario cumplir con ciertos parámetros que aseguraban la operación normal del proceso. Dichos parámetros son:

- ✓ **Relación Aceite/ Agua o Dilución.** Se refiere a la relación Aceite/ Agua en el Licor de Prensa y se define como:

$$Dilución \approx \frac{\% \text{ de aceite}}{\% \text{ de agua}} \quad (5)$$

Los porcentajes de aceite y de agua se estiman por centrifugación de la muestra.

- ✓ **Temperatura del Licor de Prensa.** se simuló la temperatura a la que trabaja el licor de prensa en planta, la cual se encuentra en un rango entre 85 y 90 °C.
- ✓ **Temperatura de la Columna de Pre calentamiento**
- ✓ **Temperatura del agua de Dilución.** Debe esta en un rango entre 95-100 ° C.
- ✓ **Continuidad del proceso.** Normalidad en el amperaje de las prensas y operación a máxima capacidad de las prensas.
- ✓ **Criterio de Maduración.**
- ✓ **Bombeo Continuo de Licor de Prensa, desde el Tamiz.**

Los parámetros mencionados se tenían en cuenta como requerimientos para la realización de las pruebas, por lo cual previo al ensayo debía llenarse el “Check List” presentado en el Anexo A.

5.1.2 Variables Respuesta del Experimento

a. % de Eficiencia Volumétrica. El porcentaje de aceite separado por gravedad se mide directamente durante la realización de la prueba, mientras que el porcentaje de aceite en muestra (total) se estima posteriormente por centrifugación de una fracción de la muestra inicial.

$$Eficiencia\ volumétrica = \frac{\% \text{ de aceite separado por gravedad}}{\% \text{ de aceite en muestra}} \quad (6)$$

b. Velocidad de Sedimentación. Esta variable corresponde a la resta entre el volumen de aceite formado en el minuto n+1 menos el formado en el minuto n, dividida entre el delta de tiempo transcurrido entre las mediciones.

Velocidad
de
Sedimentación

$$= \frac{\text{Volumen inicial de muestra} - \text{Volumen final de capa de aceite}}{\text{tiempo final}} \quad (7)$$

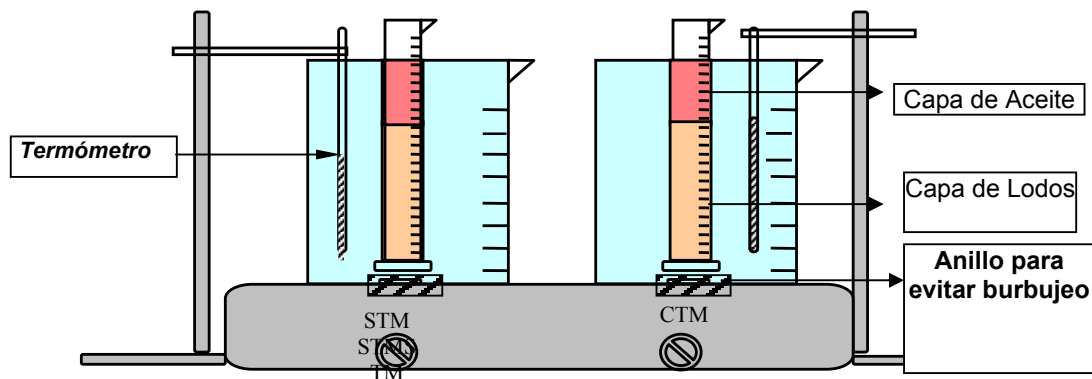
5.2 METODOLOGÍA ESPECIFICA DE MUESTREO

Cabe anotar que para tener un patrón de comparación se tomaban dos muestras simultáneamente, una sin aplicación de campos magnéticos (STM) y otra tratada magnéticamente (CTM). El tratamiento magnético se aplicó a las muestras por medio de electroimanes o imanes permanentes, en ambos casos el propósito era el mismo, someter la muestra a campos magnéticos y analizar el comportamiento del fluido. Para medir las variables respuesta de las muestras STM y CTM, se elaboró un montaje que simula el procedimiento de separación estática realizado en los clarificadores convencionales. El montaje consistía de dos probetas, cada una sumergida al baño maría en un recipiente de vidrio. La temperatura del agua, se monitoreaba continuamente por medio de unos termómetros de carátula sumergidos en cada recipiente. La temperatura del licor de prensa se registraba usando un termómetro de infrarrojo, para no alterar la sedimentación.

Las probetas usadas en el desarrollo de las pruebas eran de 0,250 L con marcaciones de 0,002 L y una diferencia de diámetros no mayor a 0,0001 m. El recipiente de calentamiento, fue especialmente diseñado

para ésta prueba (0,1 x 0,27 m) con el fin de que la probeta quedara totalmente sumergida y se obtuviera un calentamiento más rápido y uniforme. Adicionalmente se analizó la acidez y la humedad del aceite separado, para comprobar la calidad del aceite.

Figura 4. Esquema del Montaje de Prueba.



5.2.1 Circuito de pruebas con Electroimanes. El circuito mostrado en las Figuras 5 y 6, es cerrado (succiona y descarga en el mismo punto); consta de un tanque de almacenamiento de acero inoxidable, con una capacidad de 4 L, desde el cual se bombea el fluido a través de la instalación. Está elaborado en tubería de acero de ½ pulgada la cual pasa por la bobina [1] para permitir la aplicación del campo. Además cuenta con un by pass [2] para hacer arreglos con imanes permanentes. El tanque y la sección de tubería que va desde éste hasta la bobina esta provisto de cintas de calentamiento para mantener la temperatura . El tramo final de ésta tubería se encuentra aislado hasta la descarga y en su trayectoria está la válvula que permite tomar la muestra [3]. La Bobina (B20C01) puede operar a una corriente máxima de 15 amperios y es alimentada por una fuente (CMF-F100V02) que

maneja un voltaje de alimentación de 120 voltios AC y una corriente máxima de salida 0-15 amperios.

Figura 5. Circuito de Pruebas del Laboratorio CMF

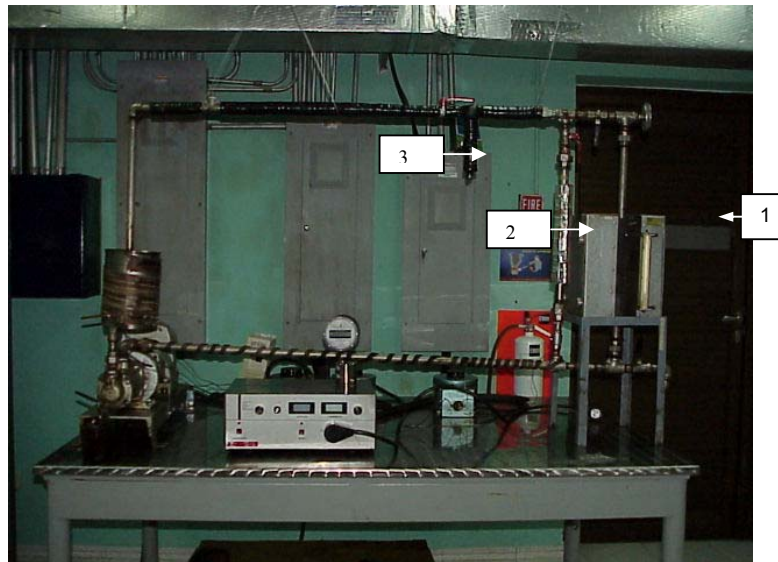
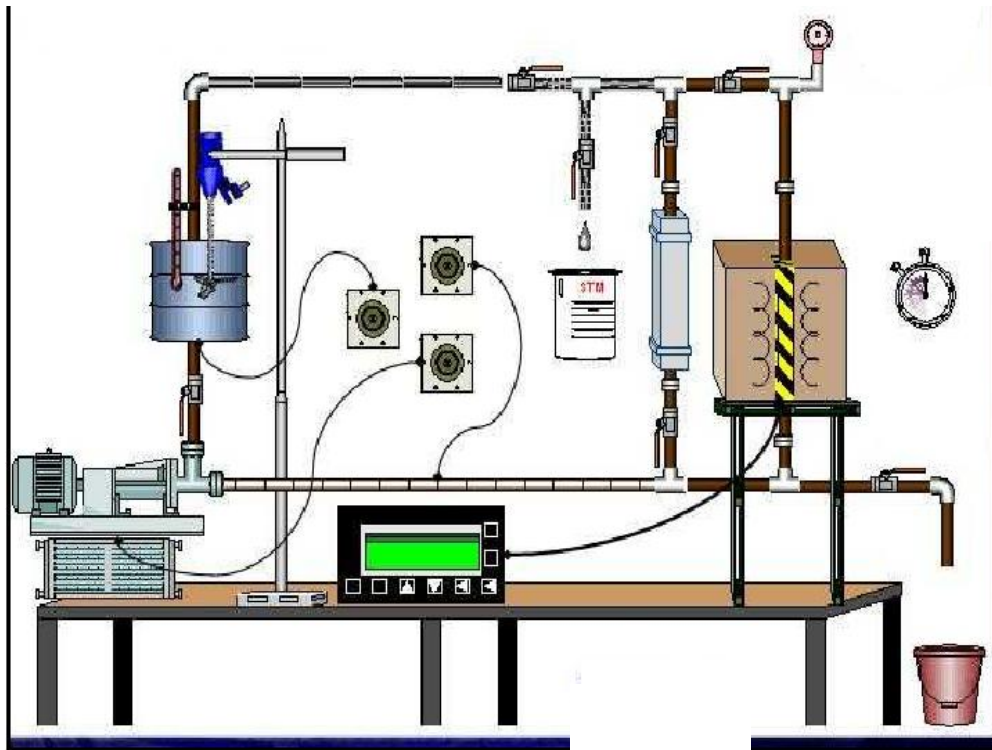


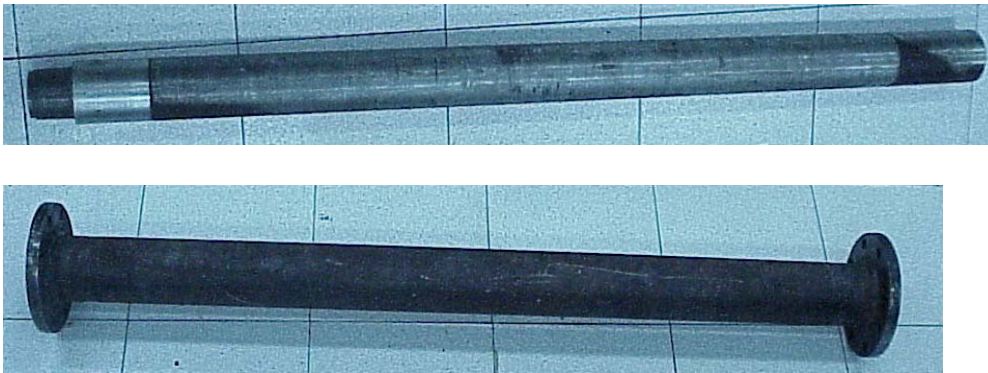
Figura 6. Esquema del Circuito de pruebas del laboratorio CMF



5.2.2 Pruebas con Imanes Permanentes. Para el desarrollo de éstas pruebas en planta se trató de controlar los parámetros enunciados en el Anexo A. Las pruebas con imanes permanentes tipo cerámico (ferrita), se realizaron instalando en la línea de producción tres herramientas magnéticas probadas previamente para crudo de petróleo. Estas herramientas, de 1.5 m de longitud, con tres diámetros distintos (3, 2 y 1,5 pulgadas), generan intensidades de campo magnético y velocidades de flujo diferentes.

Se ha elegido por facilidad de acoplamiento a la tubería y costo, el imán tipo barra rectangular con orientación de magnetización paralela al espesor de la misma.

Figura 7. Herramienta magnética instalada en planta



Finalmente se construyó una herramienta magnética con imanes de Neodimio, Boro y Hierro, los cuales generaban una intensidad de campo magnético más alta.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de exponer los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto, se debe agregar que los parámetros de diseño de las herramientas magnéticas no se pueden mencionar, debido a un acuerdo de confidencialidad realizado con el Instituto Colombiano de Petróleo (ICP).

6.1 PRUEBAS PRELIMINARES CON ELECTROIMANES

Se realizaron pruebas exploratorias con campos magnéticos generados por electroimanes y además se homogeneizó la muestra a tratar con mezcladores estáticos. Estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio CMF y en planta. Las pruebas mostraron que los campos magnéticos lograban un efecto positivo en el fluido, el cual se reflejaba en un aumento de la velocidad de sedimentación de las muestras tratadas, como se observa a continuación.

6.1.1 Pruebas en el Laboratorio de CMF. En el desarrollo de estas pruebas preliminares se quería explorar el efecto de los campos magnéticos sobre el licor de prensa. Por lo cual se aplicaron intensidades de 1 y 2 Amperios que corresponden al rango máximo que se podía generar con los imanes permanentes disponibles en el ICP. Además se realizaron las simulaciones a las condiciones de flujo y temperatura de la planta. Las pruebas se realizaron en el circuito mostrado en las Figuras 5 y 6 instalando un mezclador estático en el tramo comprendido entre la bomba y la bobina. A continuación se muestran las gráficas obtenidas a partir de los resultados presentados en el **Anexo B**.

Figura 8. Velocidad de Sedimentación en Muestras de Licor de Prensa a 1 y 2 amperios (CMF)

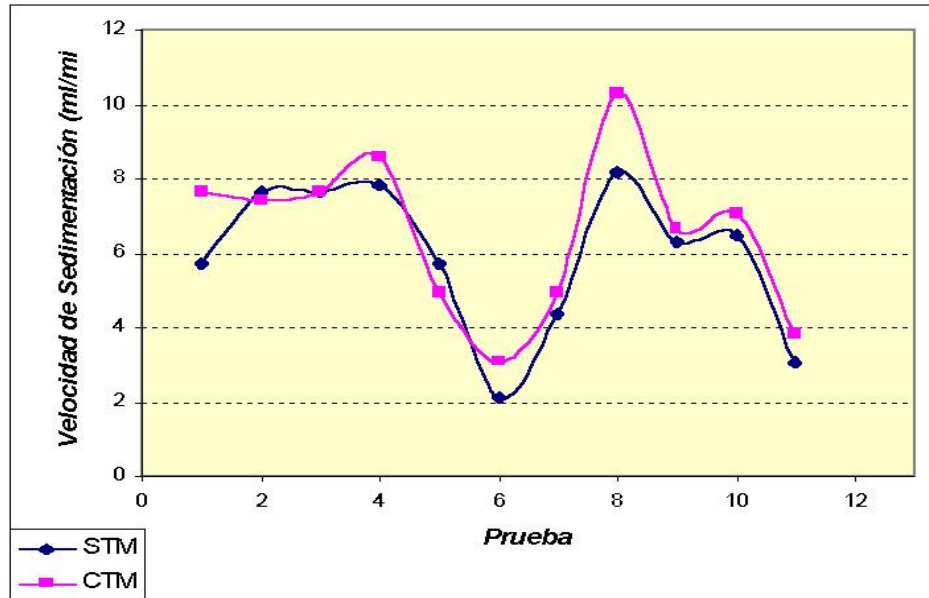


Figura 9. Velocidad de Sedimentación a 1 amperio (CMF)

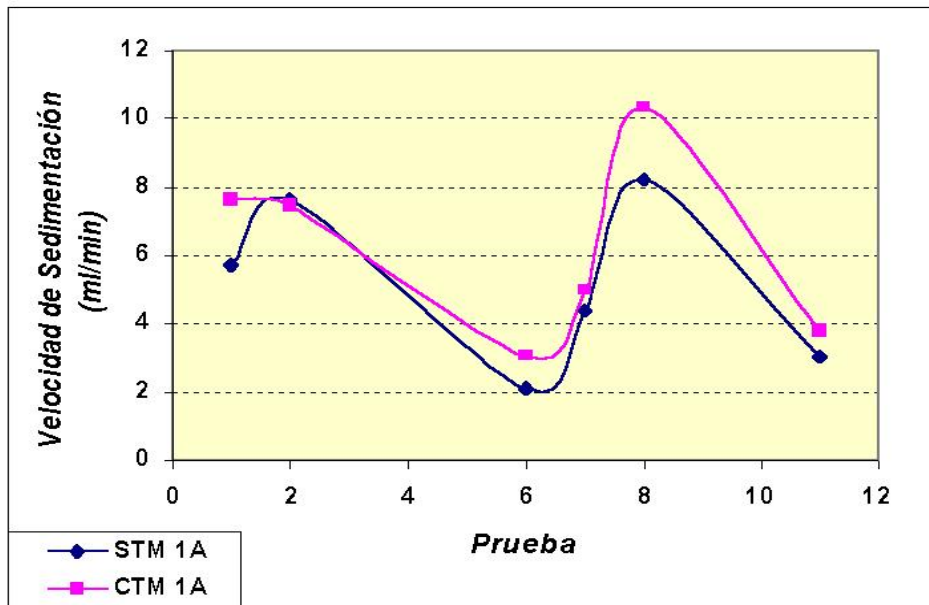
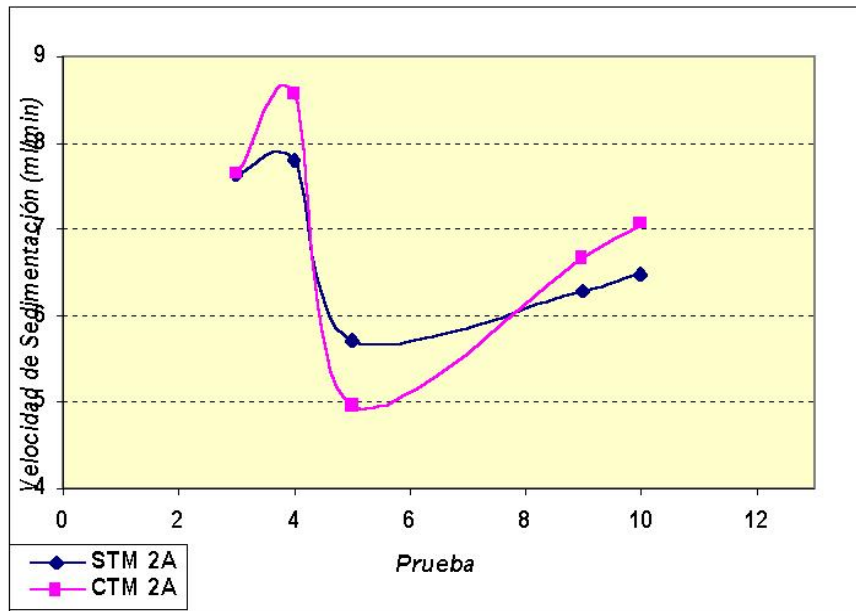


Figura 10. Velocidad de Sedimentación a 2 amperios (CMF)



6.1.2 Pruebas en Planta de Beneficio. Como los resultados anteriores, reflejan en general un ligero aumento en la velocidad de sedimentación, se trasladó el circuito de pruebas a la planta de beneficio con el fin de tener en cuenta factores como:

- a. **Tipo de Fruto Procesado.** Este varía de acuerdo a la plantación de donde provenga.
- b. **Dilución.** Se ve afectado por la variable anterior, ya que dependiendo del tipo de fruto a procesar, varía la cantidad de aceite presente en él y a su vez la cantidad de agua que se debe agregar durante el prensado.

- c. **Tiempo de Degradación de la Muestra.** Con el paso de los días aumenta la cantidad de radicales libres en la muestra lo que genera una oxidación de la misma.

Figura 11. Velocidad de Sedimentación de Muestras de Licor de Prensa a 1 y 2 amperios (Agroince Ltda)

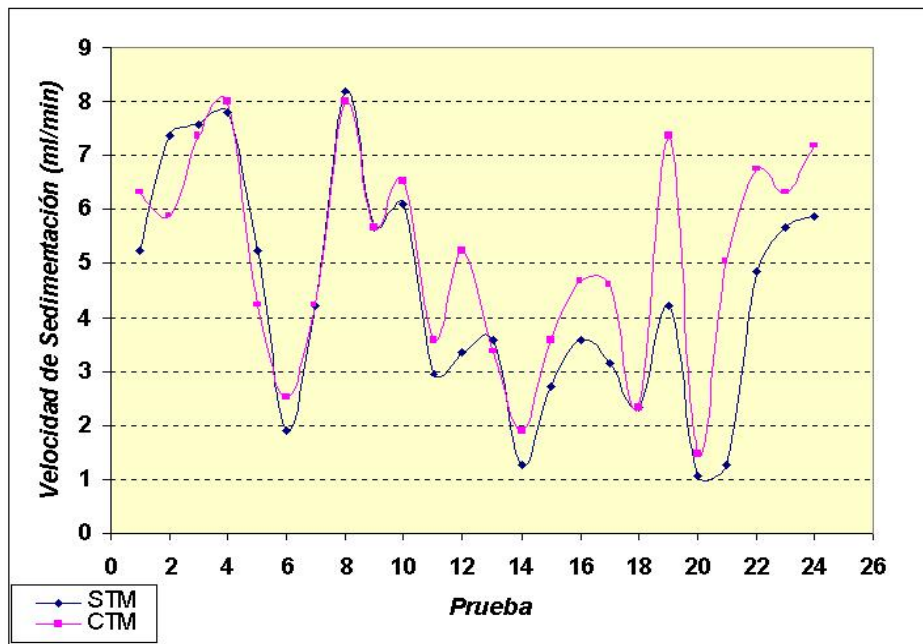


Figura 12. Velocidad de Sedimentación a 1 amperio (Agroince Ltda)

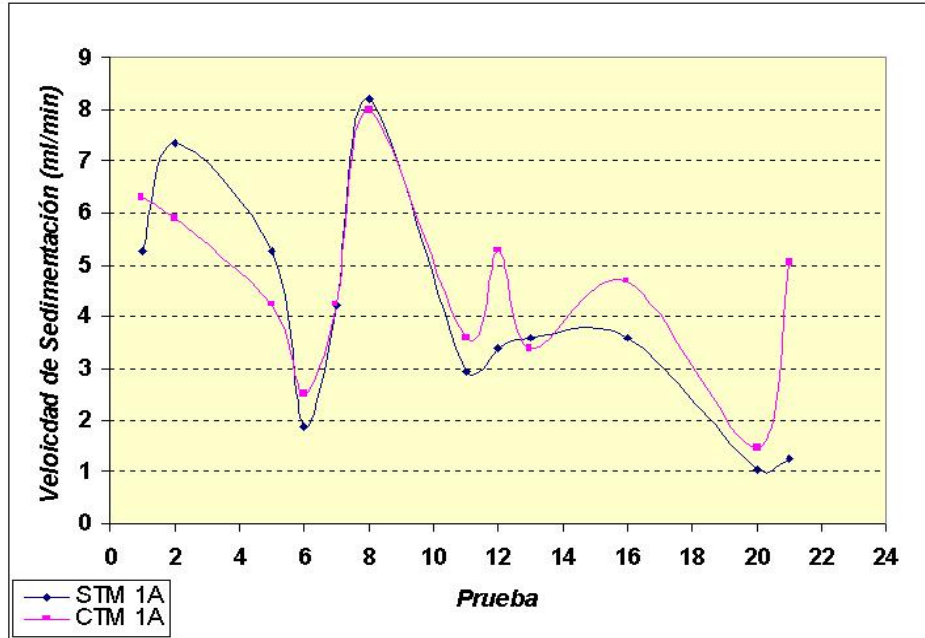
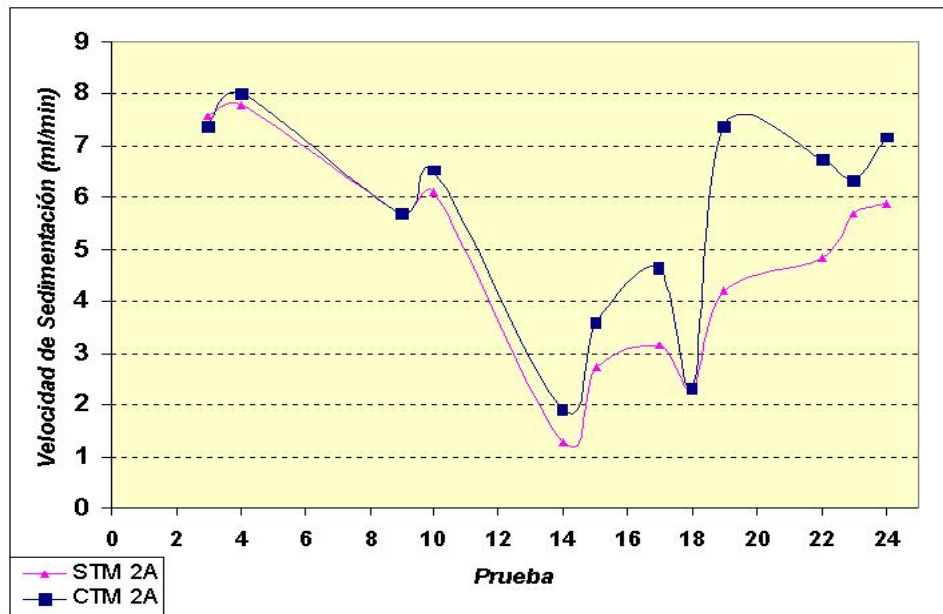


Figura 13. Velocidad de Sedimentación a 2 amperios (Agroince Ltda.)



Estas pruebas se realizaron con las mismas intensidades de las pruebas anteriores (1 y 2 Amperios), además las simulaciones se hicieron con caudales que correspondieran a los manejados en planta. Estos caudales se regulaban por medio de una bomba centrífuga de tornillo. También se realizaron pruebas sin el uso de Bomba, con el propósito de evitar observar si se presentaba emulsificación de la suspensión a tratar. Los resultados de esta pruebas se presentan en el **Anexo C**

6.2 PRUEBAS EN PLANTA CON IMANES PERMANENTES

Las Herramientas Magnéticas usadas en esta fase fueron creadas por el ICP y probadas en Crudo Petróleo. Se instalaron dichas Herramientas en la línea de producción de la Planta Extractora de Aceite de Palma AGROINCE LTDA; específicamente entre la salida del tamiz vibratorio y la columna precalentadora que va al Clarificador. Las Herramientas generan campos magnéticos por medio de imanes permanentes que se encuentran en una disposición determinada alrededor de una tubería de acero y que a su vez están recubiertos por una carcasa de este mismo material. Se probaron 3 tipos de Herramientas, cada una con un diámetro distinto (3, 2, 1,5 pulgadas), lo que representa Intensidades de Campo Magnéticos y Velocidades de Flujo diferentes. Adicionalmente se construyó una Herramienta Magnética con otro tipo de imanes permanentes que generan Intensidades Campos Magnéticos más altos y se instaló en el mismo punto donde se probaron las demás Herramientas.

6.2.1 Herramienta de 3 Pulgadas. Los resultados con ésta herramienta se encuentran en el Anexo D y la intensidad de campo generada equivale a 0.4 amperios.

Figura 14. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

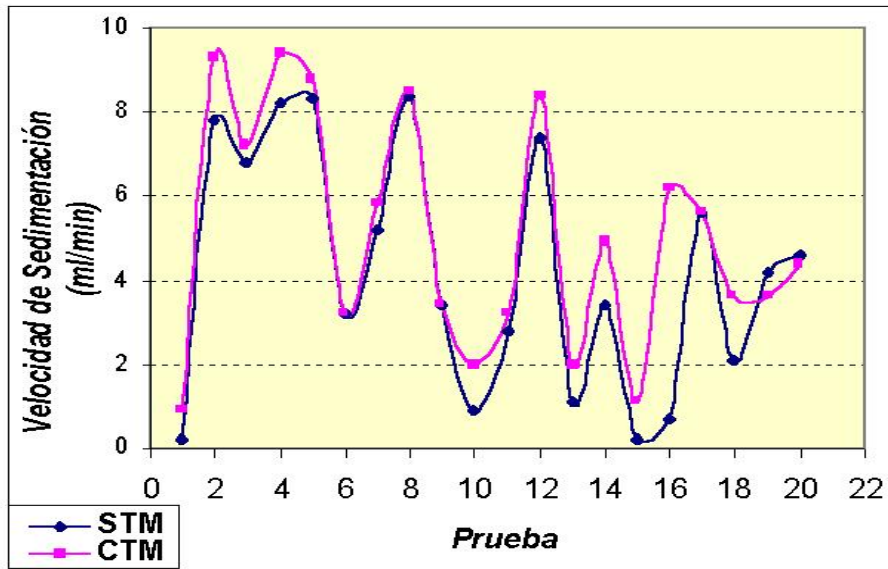


Figura 15. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

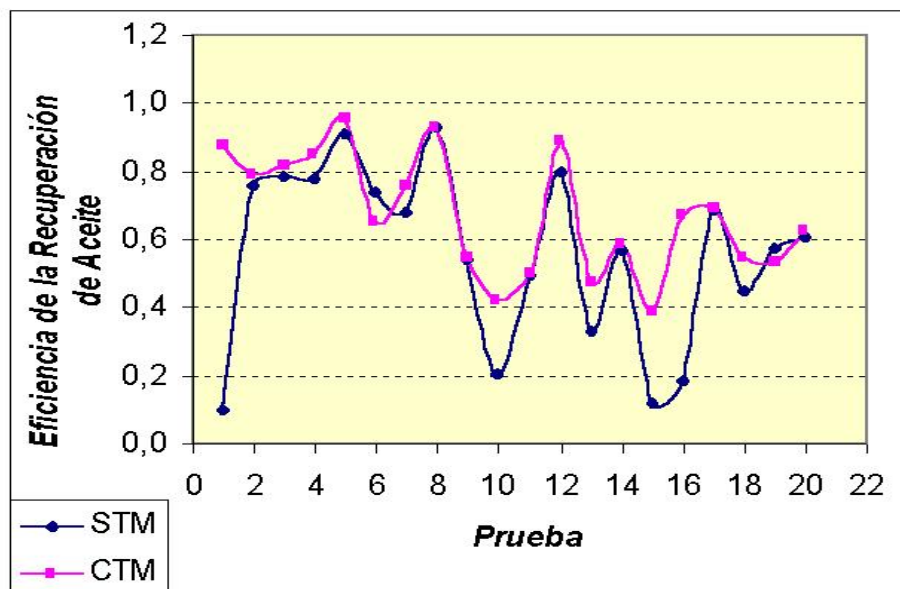


Figura 16. Relación Aceite/agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

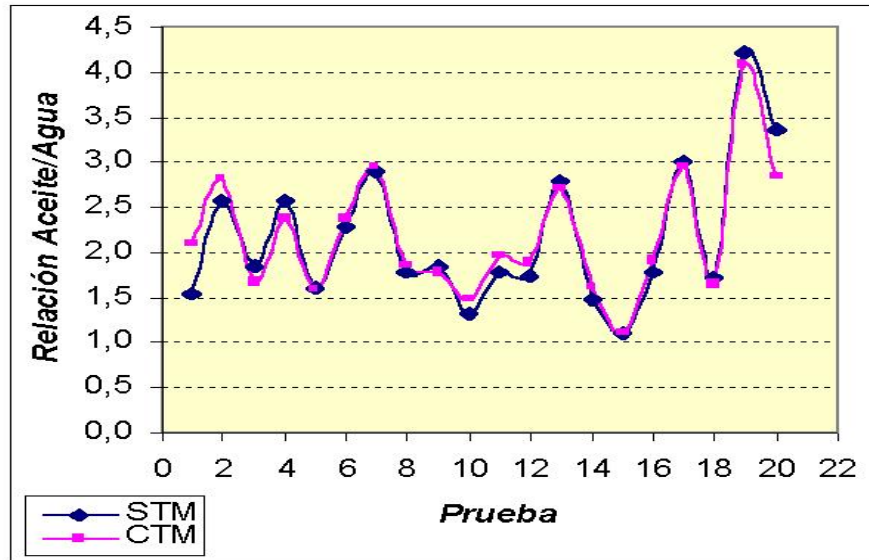


Figura 17. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

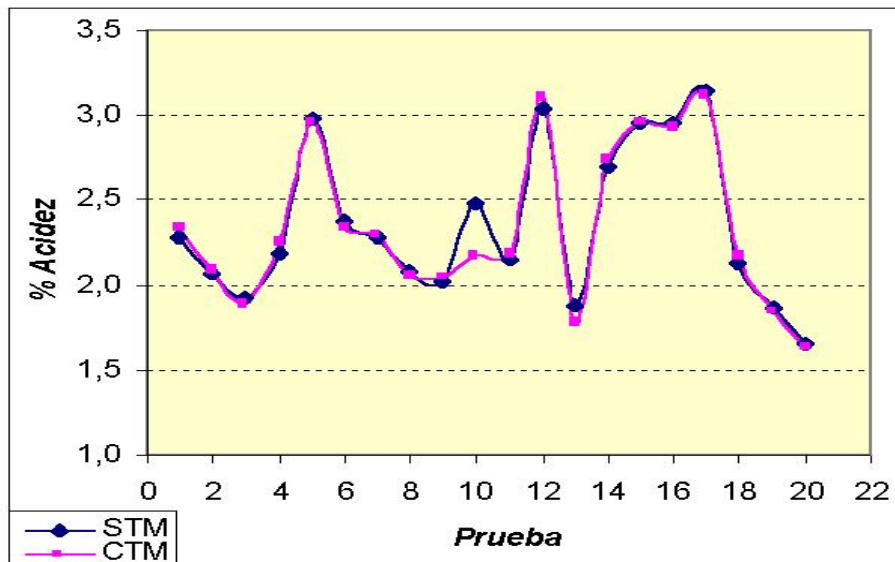
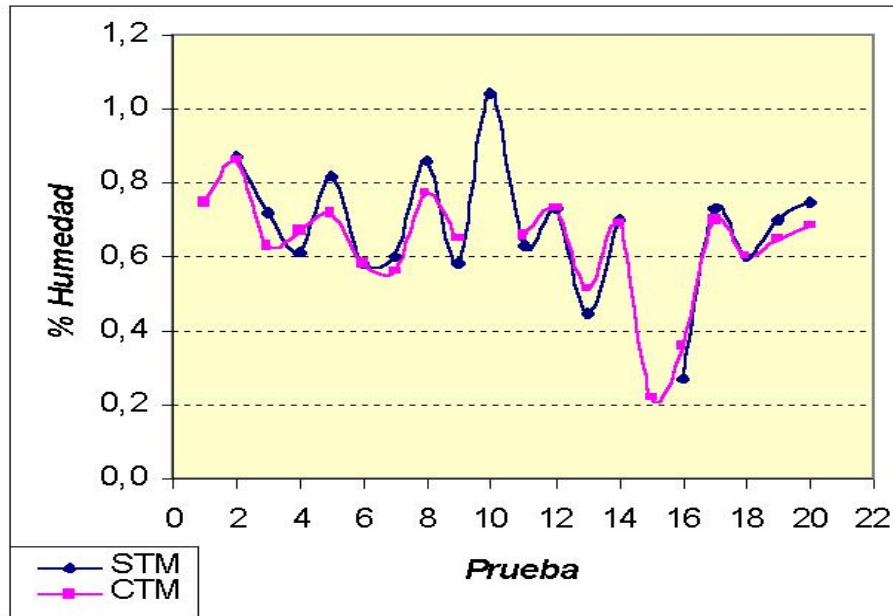


Figura 18. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 3 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)



6.2.2 Herramienta de 2 Pulgadas. Los resultados con ésta herramienta se encuentran en el Anexo E y la intensidad de campo generada equivale a 0.6 amperios.

Figura 19. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

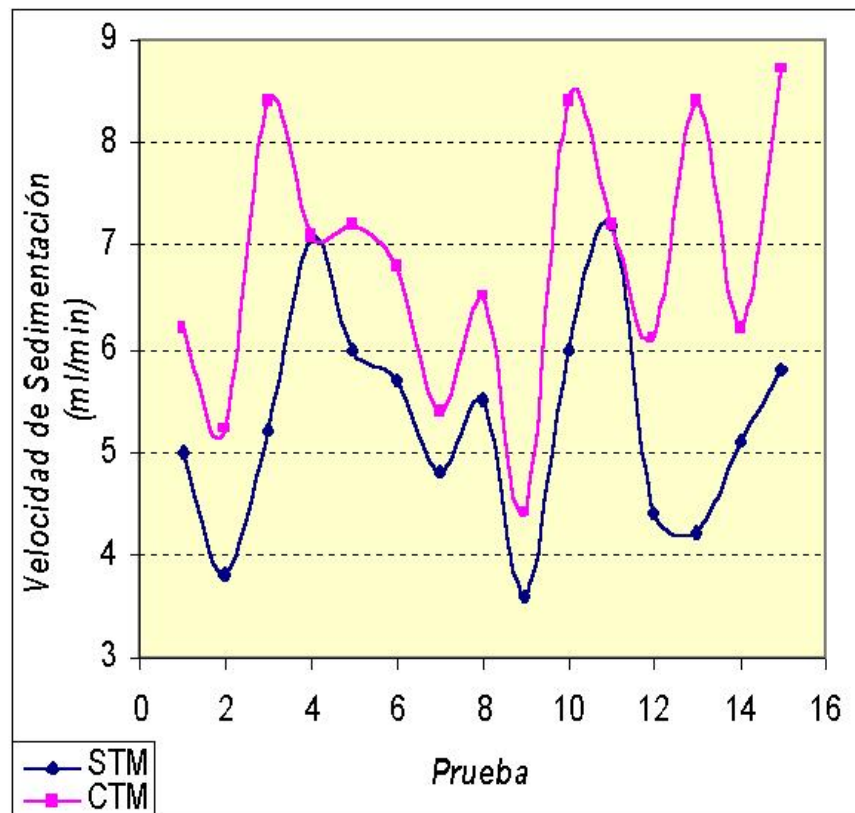


Figura 20. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

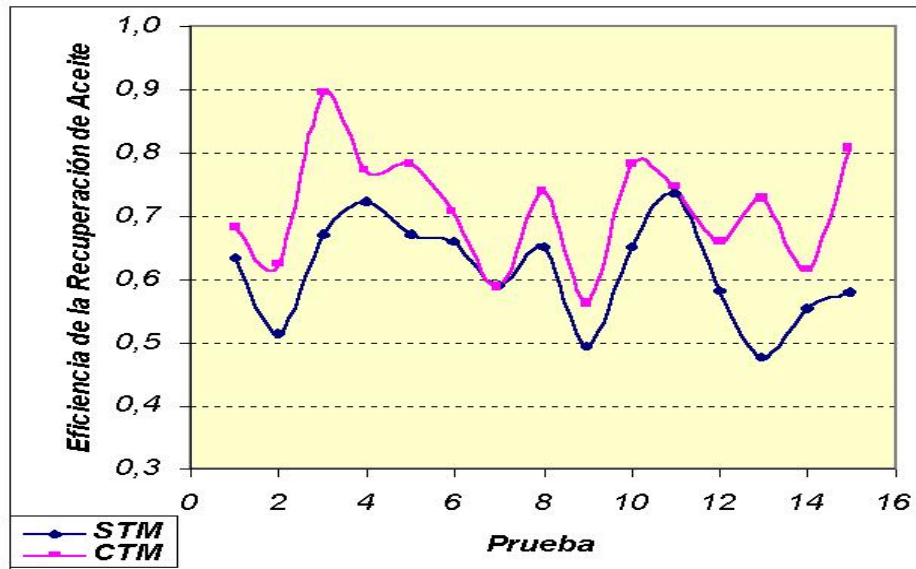


Figura 21. Relación Aceite/agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

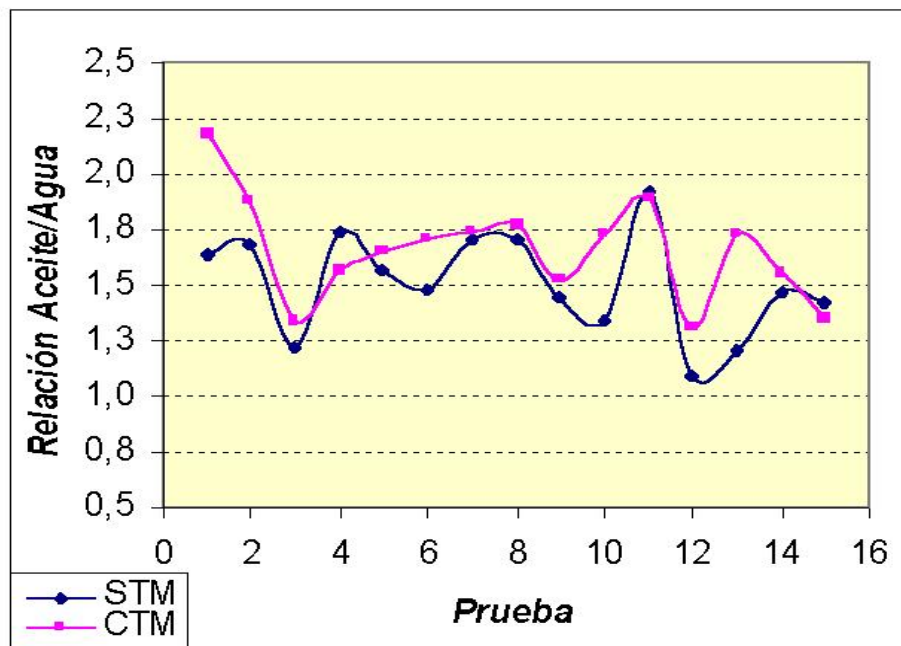


Figura 22. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

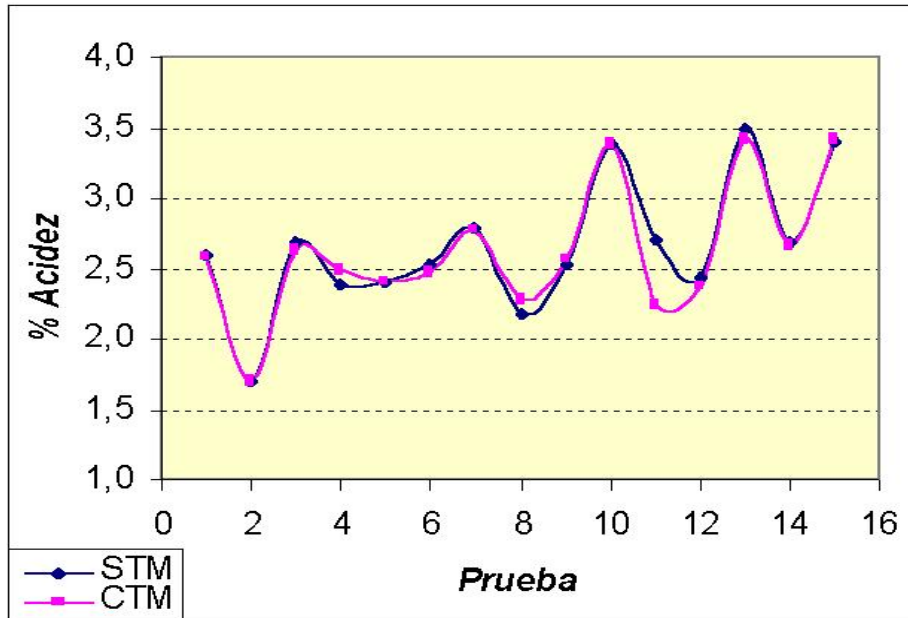
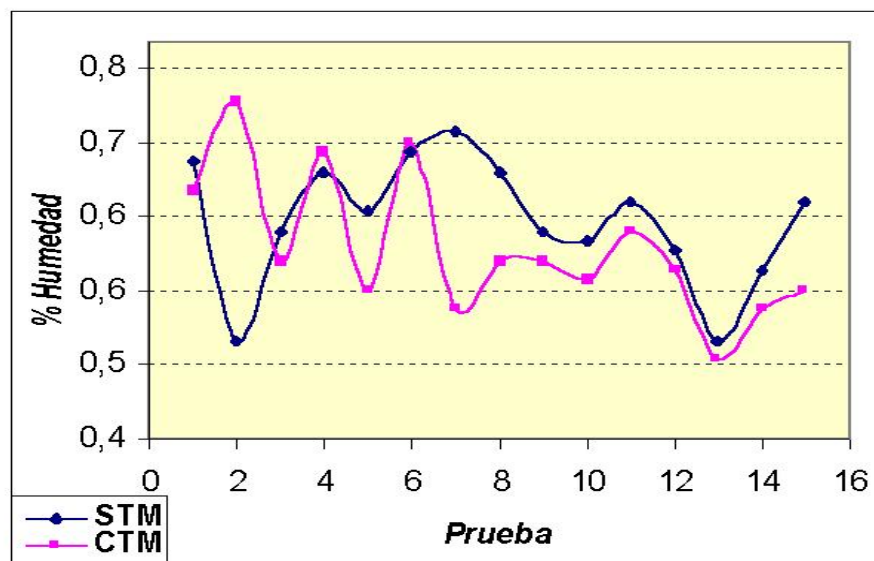


Figura 23. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)



6.2.3 Herramienta de 1,5 Pulgadas. Los resultados con ésta herramienta se encuentran en el Anexo F y la intensidad de campo generada equivale a 0.8 amperios.

Figura 24. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

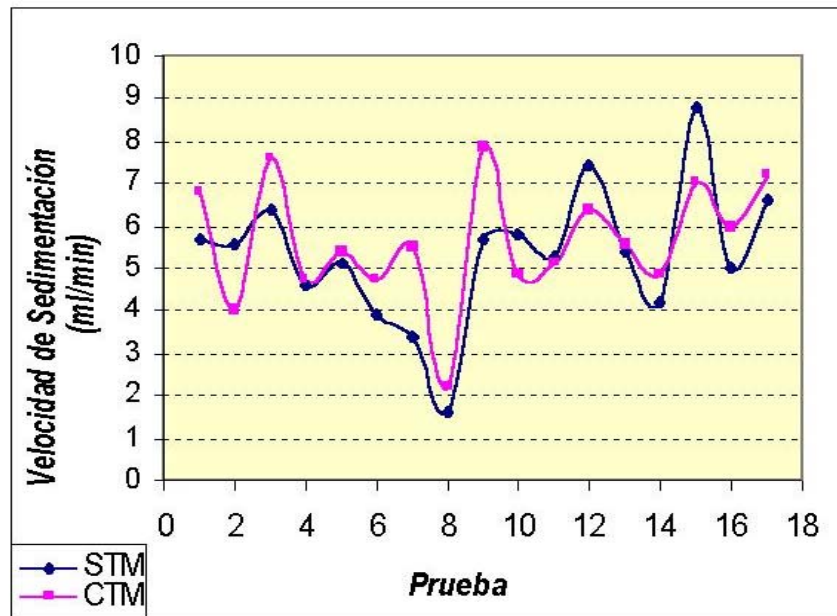


Figura 25. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

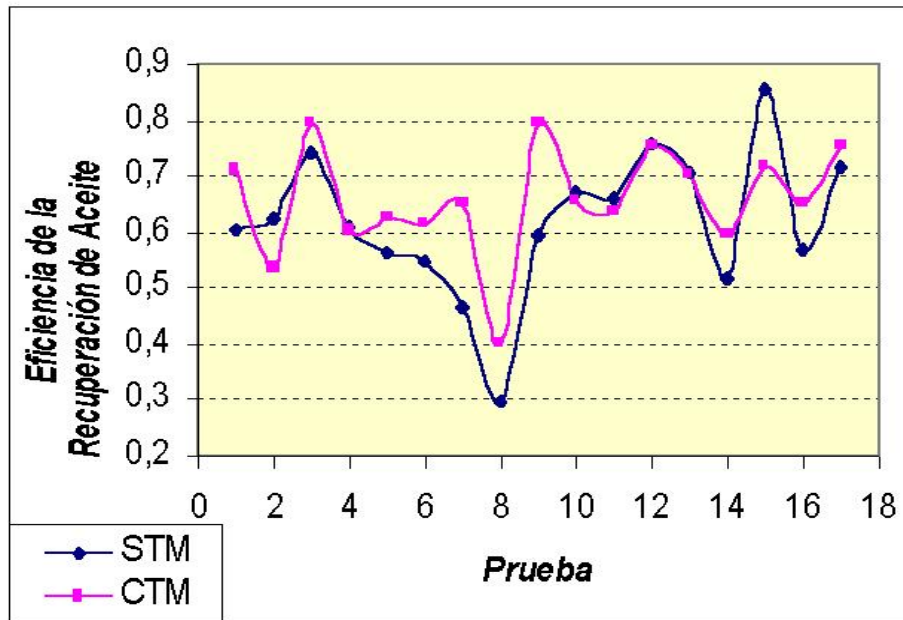


Figura 26. Relación Aceite/agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

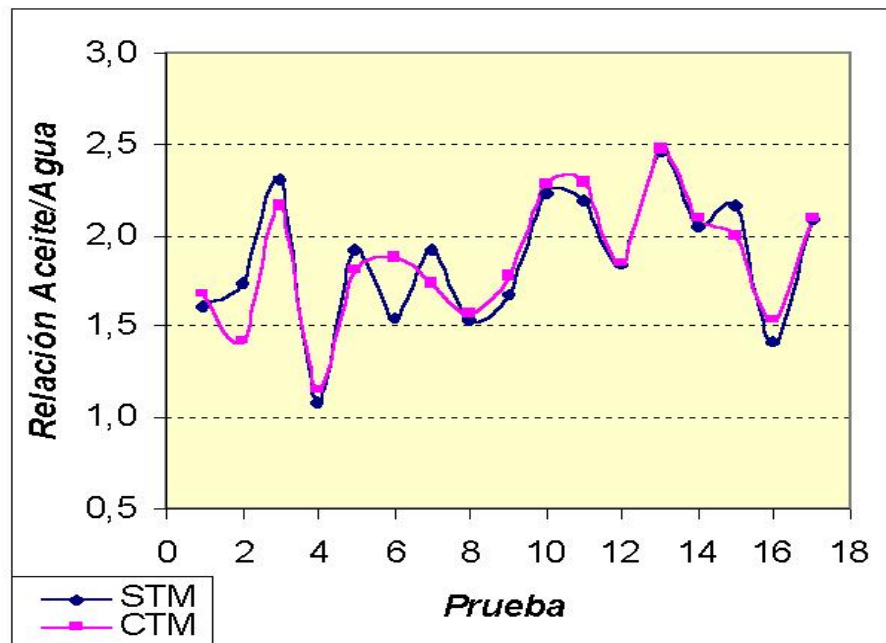


Figura 27. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)

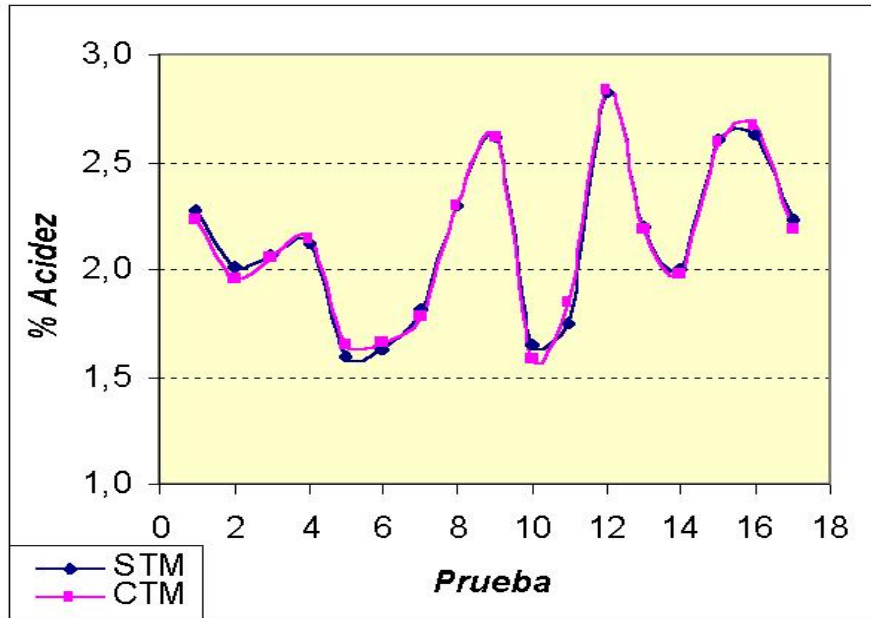
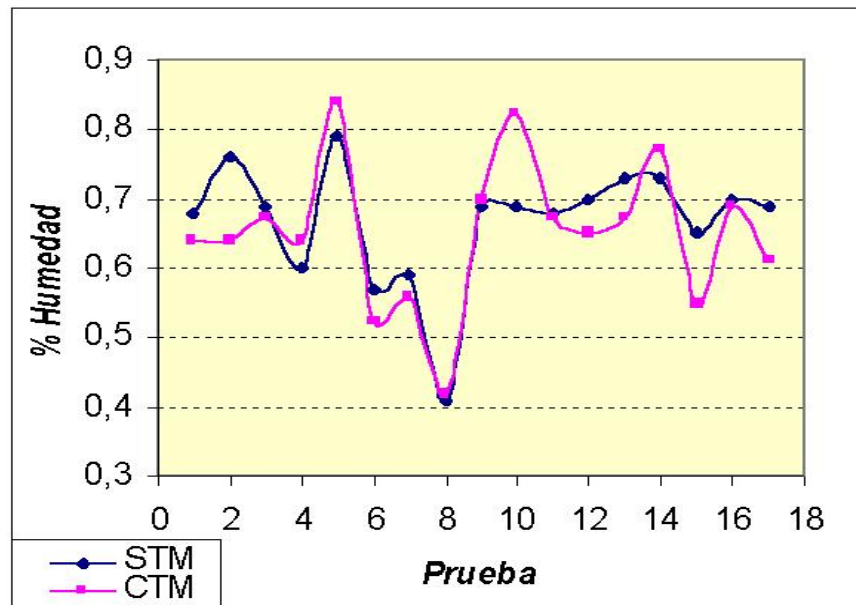


Figura 28. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Ferrita (Agroince Ltda.)



6.2.4 Herramienta de 2 Pulgadas con Imanes Permanentes de Cobalto y Neodimio. Los resultados con ésta herramienta se encuentran en el Anexo G y la intensidad de campo generada equivale a 2 amperios.

Figura 29. Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio(Agroince Ltda.)

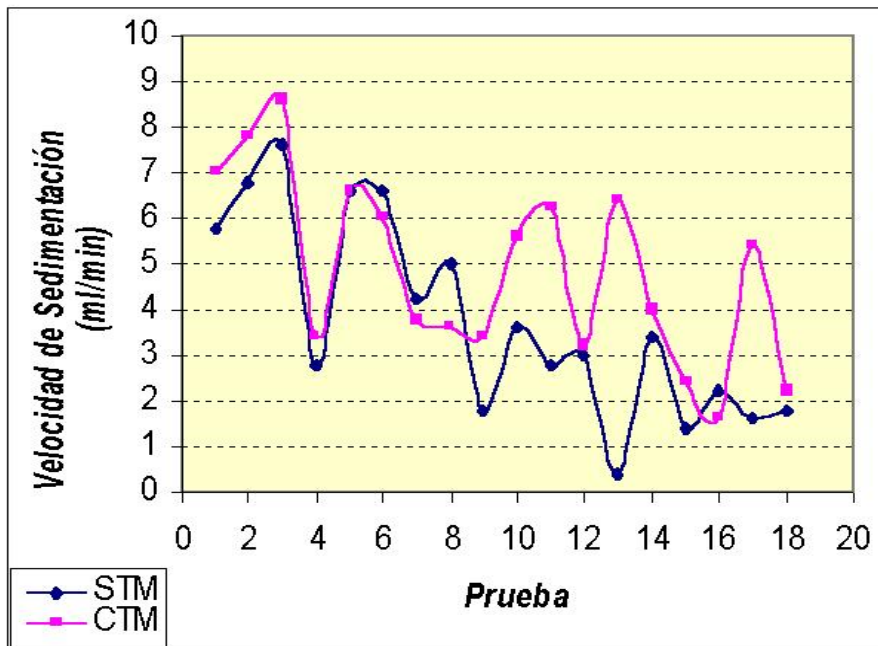


Figura 30. Eficiencia de la Recuperación de Aceite para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)

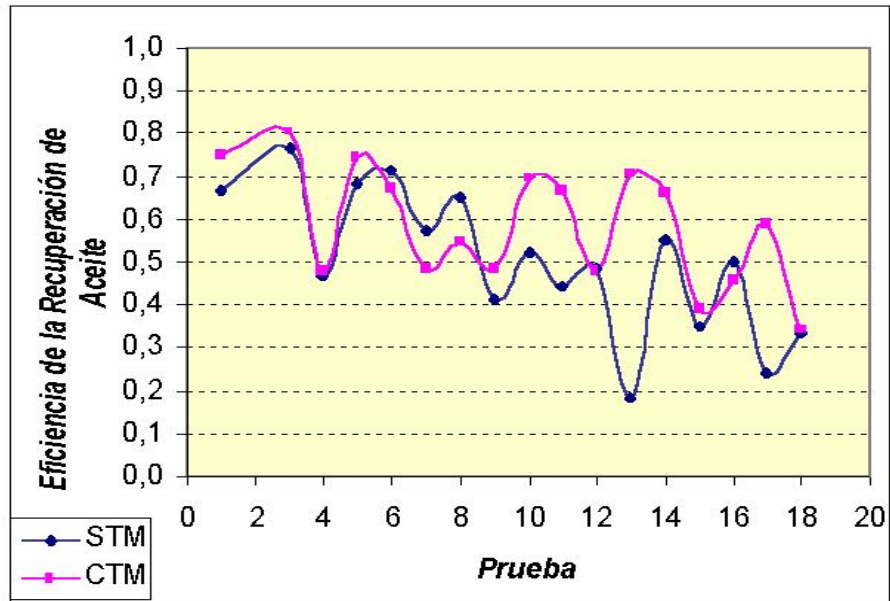


Figura 31. Relación Aceite/Agua de la Muestra de Licor de Prensa para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)

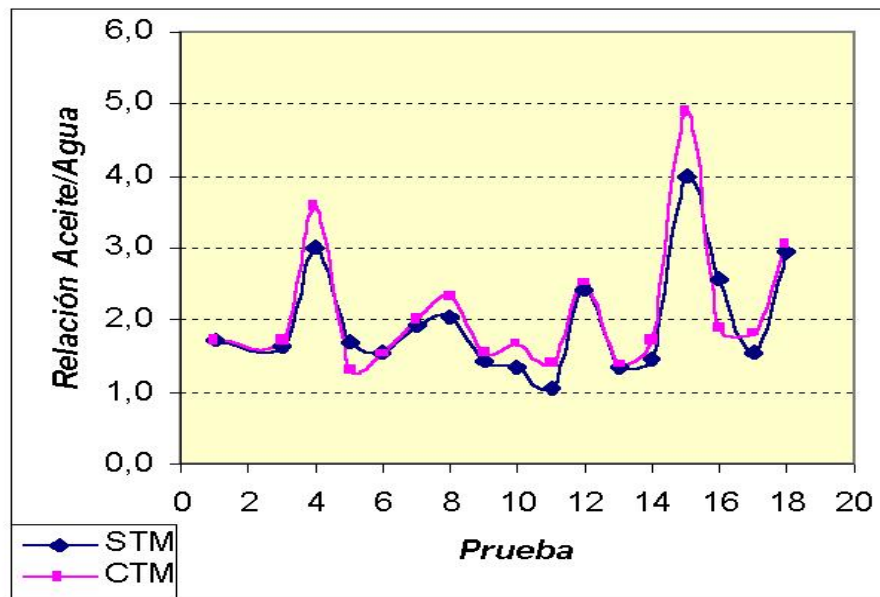


Figura 32. Acidez del Aceite separado para la Herramienta de 2 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)

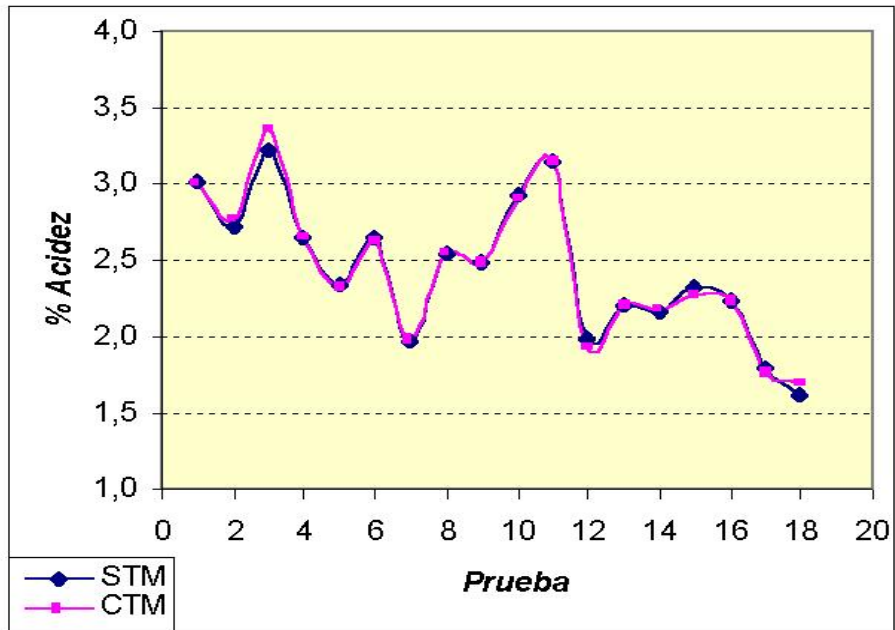
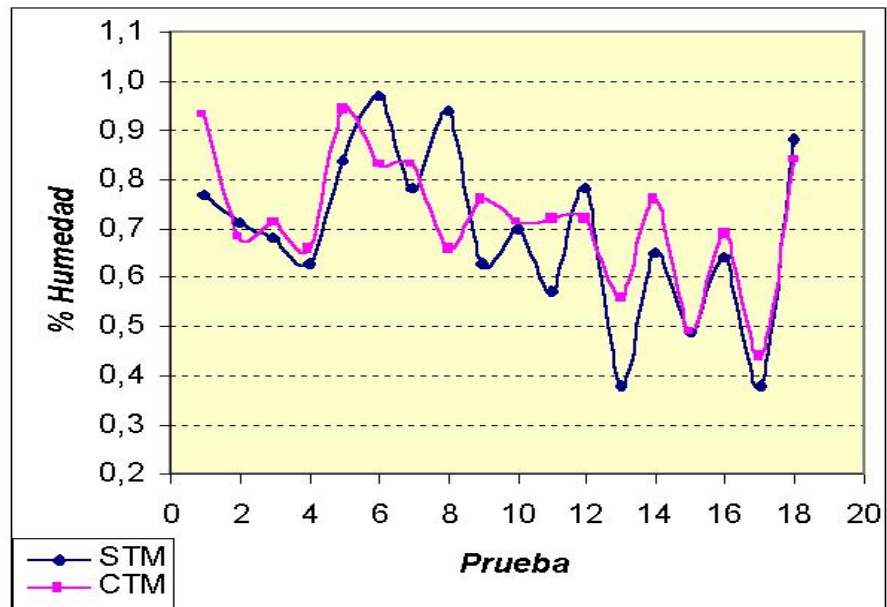


Figura 33. Humedad del Aceite separado para la Herramienta de 1,5 pulgadas con Imanes de Neodimio (Agroince Ltda.)



A partir de las gráficas mostradas anteriormente, se puede observar que aparentemente la herramienta de 2 pulgadas con imanes de ferrita, tuvo un efecto favorable frente a las variables respuesta. En cuanto a los otros parámetros (relación Aceite/Agua, Acidez y Humedad), se concluye que los campos magnéticos no afectan las muestras tratadas.

6.2.5 Resultados de Pruebas en Planta con Imanes Permanentes.

El Anexo H presenta el consolidado incluye los datos obtenidos con cada herramienta de imanes permanentes probadas en planta, en él se incluyen las variables respuesta (Velocidad de Sedimentación y la Eficiencia en la Recuperación de Aceite) y algunos parámetros de calidad (Acidez, Humedad del aceite separado).

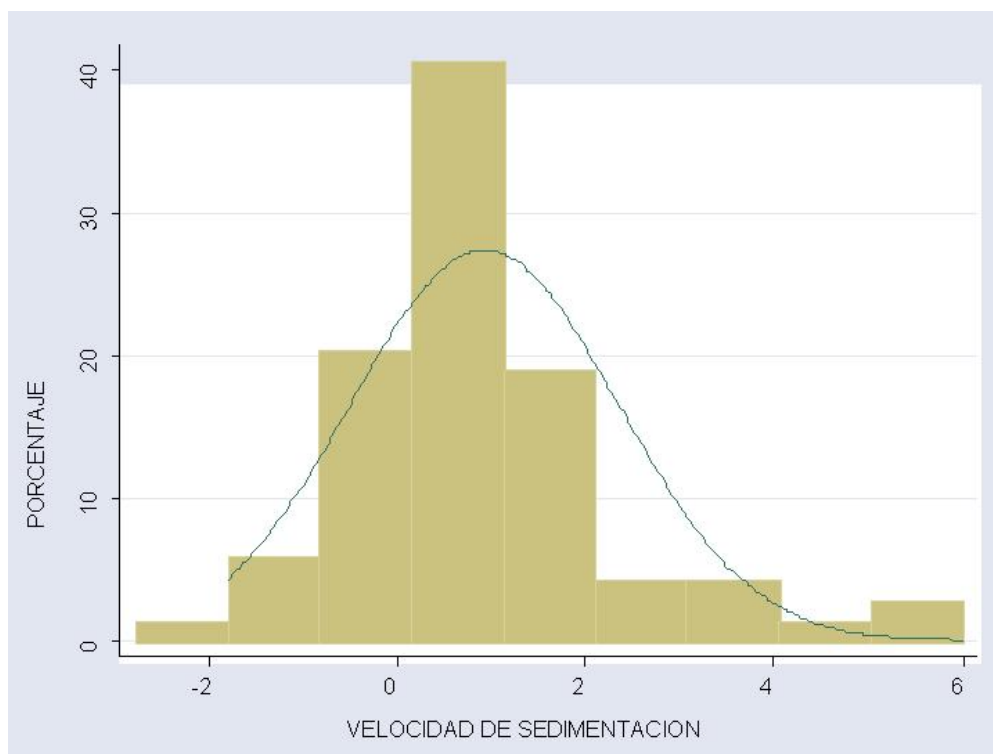
6.2.5.1 Análisis Estadístico de Resultados Campos Magnéticos aplicados al Licor de Prensa. El consolidado del Anexo H permitió elaborar otro consolidado que permitirá realizar un análisis estadístico, con el fin de observar el desempeño de todas las Herramienta Magnéticas* frente a las variables respuesta. Este nuevo consolidado se encuentra en el Anexo I y difiere del Anexo H en que ahora las variables respuesta (EF;VEL)⁹ se presentan como la resta entre los valores de las muestras STM y CTM, debido a que el objetivo era comparar la variación de una respecto a la otra.

* Para análisis estadísticos las herramientas de 1,5; 2 y 3; pulgadas construidas con imanes cerámicos se enumeran como 1,2,3 respectivamente. Y a la herramienta de 2 pulgadas construida con imanes de Neodimio se le asignó el número 4.

⁹ EF; VEL. Corresponden a la eficiencia de recuperación y a la velocidad de sedimentación, respectivamente.

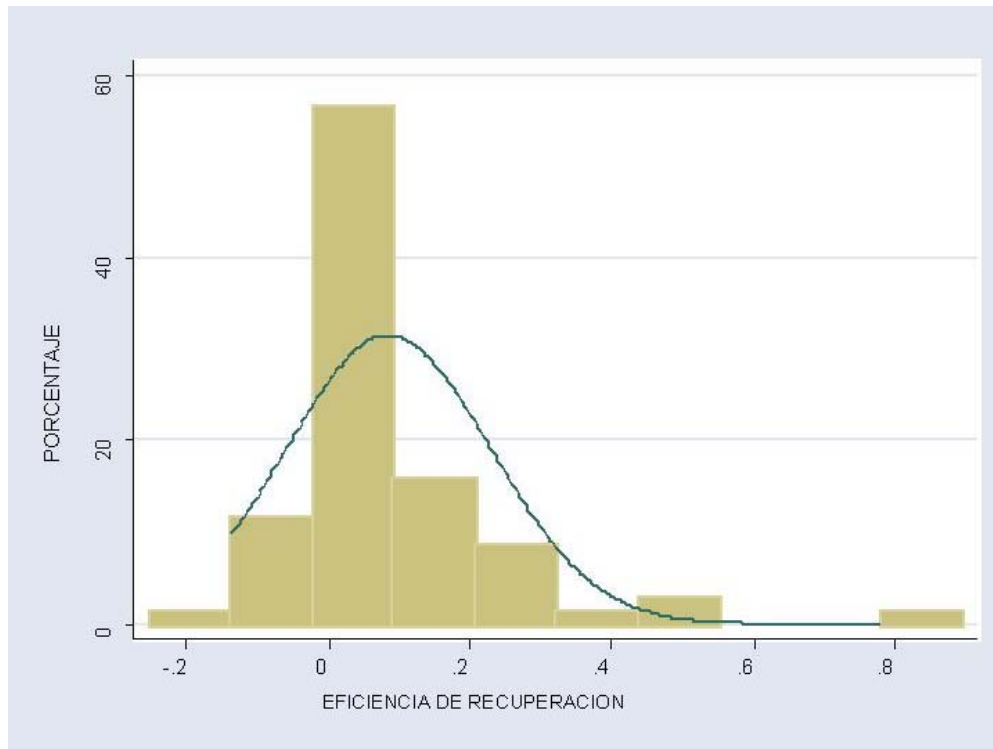
Previo al desarrollo de cualquier análisis estadístico, se elaboró la distribución de frecuencias para cada variable respuesta, con el propósito de observar la distribución de los datos obtenidos con todas las herramientas.

Figura 34. Distribución de Frecuencias para la Velocidad de Sedimentación.



Fuente: Software SPSS para Análisis Estadístico 11.0

Figura 35. Distribución de Frecuencias para la Eficiencia de Recuperación de Aceite.



Fuente: Software SPSS para Análisis Estadístico 11.0

En la distribución de frecuencias de la velocidad de sedimentación se distingue que los datos presentan una distribución normal, ya que tiene la forma de una campana gaussiana, por otro lado la distribución de frecuencias para la eficiencia de recuperación de aceite presenta una distribución que tiende a la normalidad, además se encuentra sesgada a la derecha.

□ **Prueba Anova.** Para realizar el análisis estadístico con la prueba ANOVA de una sola vía con efectos fijos y comprobar con ella si existen diferencias significativas en las variables respuestas entre herramientas, es necesario comprobar sus postulados, especialmente el que tiene que ver con la homogeneidad de varianzas^{**}, y el que se refiere a la normalidad en la distribución de los datos, cabe anotar que la prueba Anova es robusta ante la no normalidad. Este último postulado fue comprobado en las distribuciones de frecuencias mostradas en las figuras 34 y 35, por lo cual se proseguirá a comprobar el primero, que hace referencia a la homogeneidad de varianzas.

Tabla 8. Prueba de Homogeneidad de Varianzas

VARIABLES RESPUESTA	PRUEBA DE LEVENE	P
EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN	2,029	0,119
VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	1,312	0,278

Fuente: Software SPSS para Análisis Estadístico 11.0

La homogeneidad de varianzas se efectuó con la prueba de LEVENE, la probabilidad “P” es la que me indica si acepto o rechazo la hipótesis de homogeneidad y para este caso se estableció un límite de error de 0,1. Los resultados estadísticos de la presente tabla, indican que las probabilidades para las dos variables respuesta son mayores al límite de error, por lo cual se acepta la hipótesis y se dice que las varianzas de los datos de las variables respuesta son homogéneas.

Una vez comprobados los postulados de la prueba Anova, se mostrarán sus resultados en la siguiente tabla:

^{**} Varianza. Es una medida de la dispersión, me indica que ten diseminados están los datos de una dispersión)

Tabla 9. Prueba Anova: Análisis de varianzas para la Velocidad de Sedimentación y la Eficiencia de Recuperación por grupos de intervención.

VARIABLE RESPUESTA	HERRAMIENTA	PROMEDIO ± DE	F	P
EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN DE ACEITE	1	0,0398 ± 0,0857	0,90	0,448
	2	0,0995 ± 0,0788		
	3	0,1159 ± 0,2009		
	4	0,0827 ± 0,1598		
VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LODO	1	0,3058 ± 1,1459	2,16	0,10
	2	1,520 ± 1,1815		
	3	0,849 ± 1,2493		
	4	1,1058 ± 1,8535		

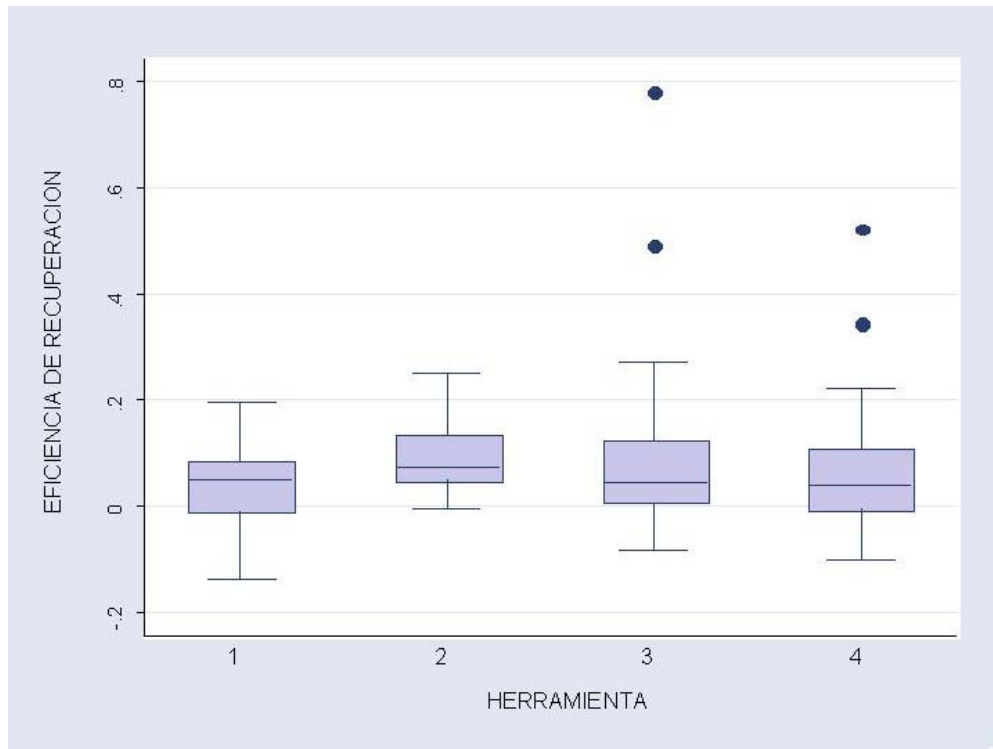
Fuente: Software SPSS para Análisis Estadístico 11.0

La prueba ANOVA permite concluir que una probabilidad de 0,448 para la eficiencia de recuperación nos indica que se acepta la hipótesis, ya que su valor es mayor al límite establecido de 0,1 y por lo tanto se dice que las herramientas se comportan de manera similar u homogénea frente a esta variable.

Por otro lado una probabilidad de 0,1 para la velocidad de sedimentación está en el límite establecido y por ello se rechaza la hipótesis, entonces se dice que cada herramienta tiene un comportamiento diferente frente a esta variable .

A continuación se muestran los diagramas de Cajas para las dos variables de interés y así observar de manera más clara los resultados de la prueba Anova.

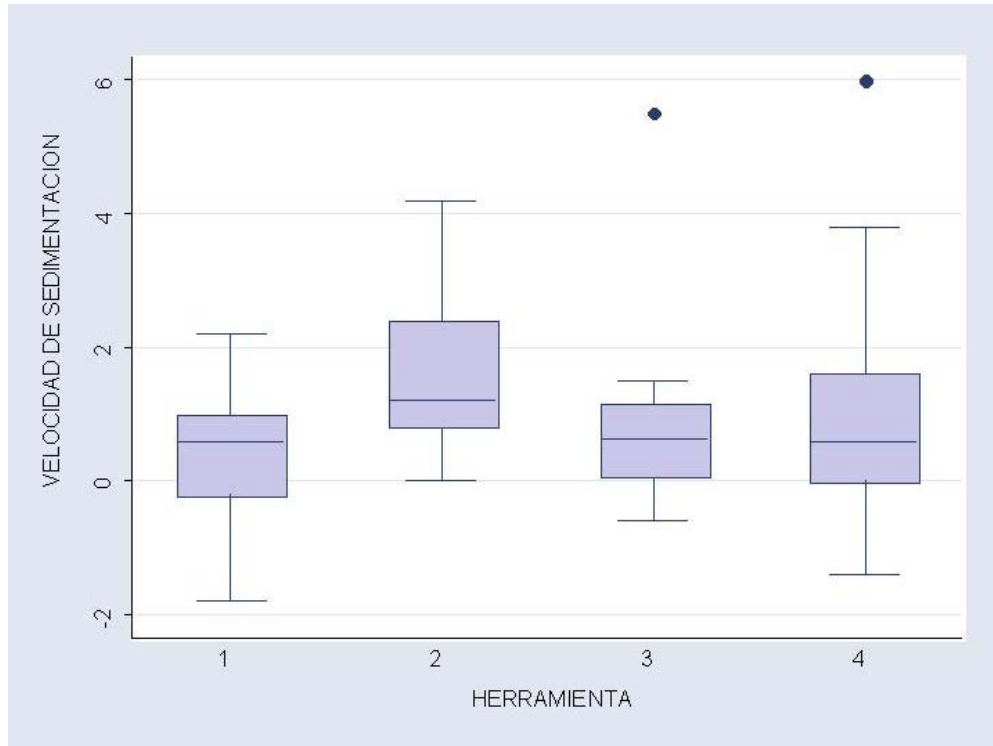
Figura 36. Diagrama de Cajas para la Eficiencia de Recuperación de Aceite.



Fuente: Software SPSS para Análisis Estadístico 11.0

En el diagrama de Cajas para la Eficiencia de recuperación podemos observar que las cajas para cada HTA están prácticamente alineadas, lo que confirma porqué se aceptó la hipótesis de que las herramientas logran un efecto similar en esta variable. La línea gris vertical se refiere al intervalo de confianza de los datos, es decir que al realizar las pruebas en las mismas condiciones, se tiene una confiabilidad del 90% de que los datos caerán dentro de ese rango. La línea horizontal dentro de la caja corresponde a las medias. Estos puntos dispersos se refieren a datos generados por causas fortuitas y atribuibles.

Figura 37. Diagrama de Cajas para la Velocidad de Sedimentación.



Fuente: Software SPSS para Análisis Estadístico 11.0

En el diagrama de cajas para la velocidad de sedimentación, podemos observar las cajas se comportan de manera diferente y que las herramientas de 2 y 4 presentan un mejor desempeño frente a esta variable.

- **Prueba “t” Apareada.** Esta prueba compara las medias o promedios aritméticos de las variables respuestas antes y después del tratamiento magnético dentro de cada herramienta. Una probabilidad menor a 0.1 confirma que la diferencia entre medias es estadísticamente significativa.

Tabla 10. Prueba “t” Apareada para la Velocidad de Sedimentación.

HERRAMIENTA	PROMEDIO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION				
	STM	CTM	Diferencia	%	P
1	5,32	5,63	0,31		0.2874
2	5,29	6,81	1,52	22,3	0.0002
3	4,22	5,07	0,85	16,8	0.0068
4	3,56	4,67	1,11	23,8	0.0257

En esta tabla se puede apreciar que para la velocidad de sedimentación las herramienta 2,3 y 4, presentaron diferencias significativas entre medias, obteniéndose un aumento de esta variable en las muestras CTM del 22,3; 16,8 y 23,8%. Lo contrario ocurre en la herramienta 1, que presenta una probabilidad mayor a 0,1 y se dice que sus medias son homogéneas.

Tabla 11. Prueba “t” Apareada para la Eficiencia de Recuperación.

HERRAMIENTA	PROMEDIO DE LA EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN				
	STM	CTM	Diferencia	%	P
1	0,617	0,657	0,04	4	0.0736
2	0,613	0,712	0,099	9,9	0.0002
3	0,561	0,676	0,115	11,5	0.0184
4	0,502	0,584	0,082	8,2	0.0487

Por otro lado para la eficiencia de recuperación todas las herramientas presentaron diferencias significativas entre medias, ya que sus probabilidades fueron menores a 0,1; este resultado equivale a un aumento en las medias de las muestras CTM del 4%; 9,9%; 11,5% y un 8.2% para la herramienta 1,2,3 y 4.

Debido a que en la prueba “t” Apareada para las dos variables respuesta se observa claramente que la Herramienta 2, fue la que presentó las más

altas diferencias significativas, es decir las probabilidades más bajas, por lo cual se presentarán a continuación los diagramas de cajas para las dos variables de interés de sus muestras STM y CTM.

Figura 38. Diagrama de Cajas para la Velocidad de Sedimentación de la Herramienta 2.

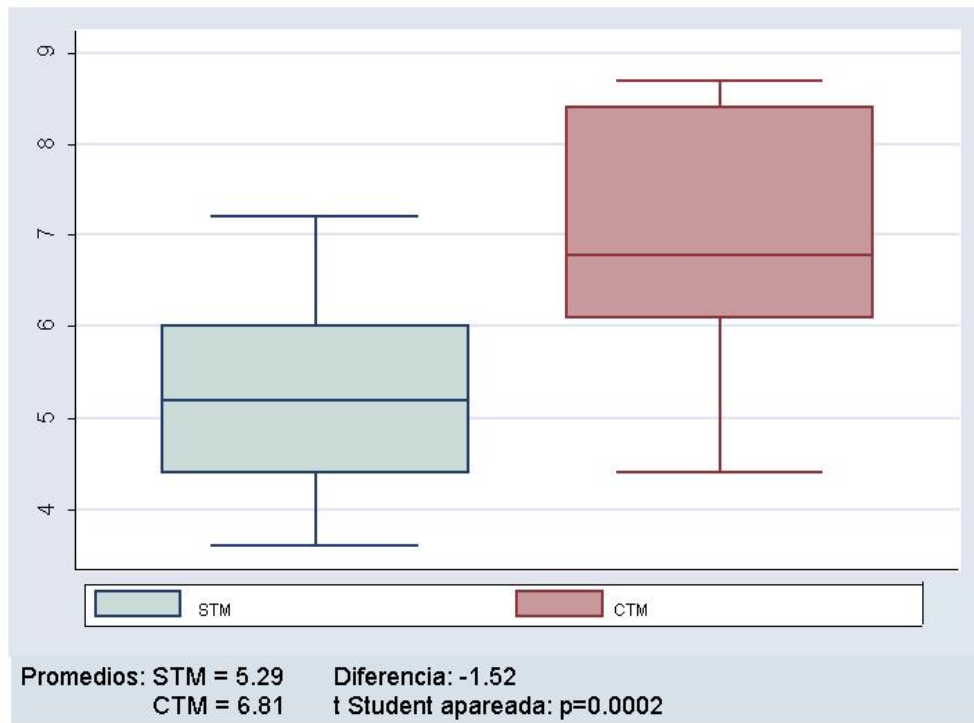
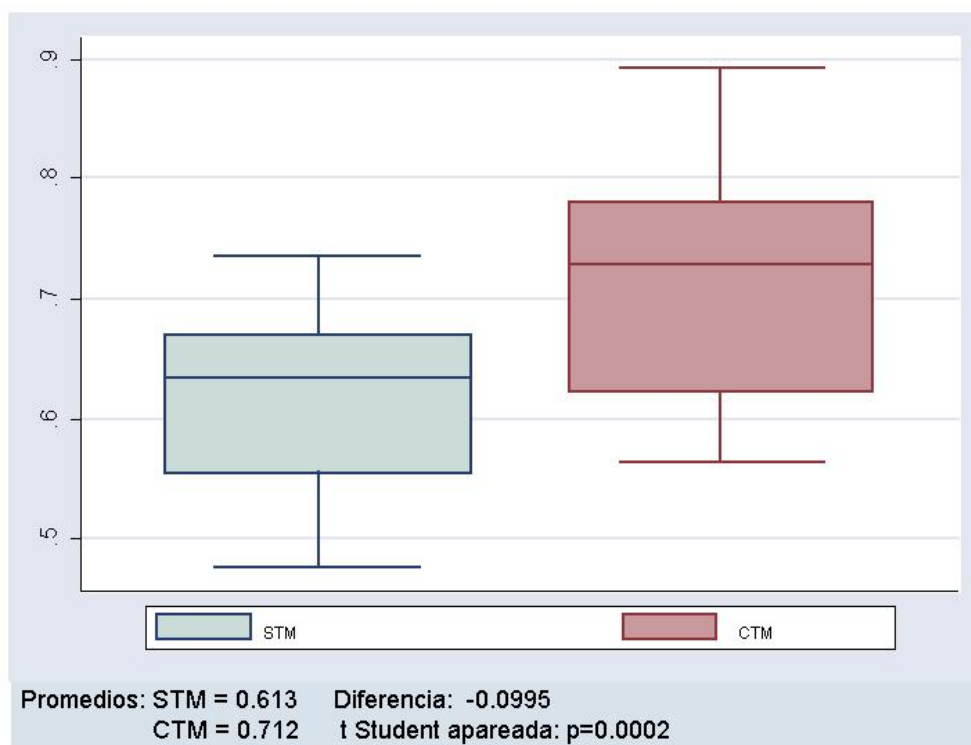


Figura 39. Diagrama de Cajas para la Eficiencia de Recuperación de la Herramienta 2.



6.2 PRUEBAS DE REOLOGIA.

Con base en los resultados obtenidos con las cuatro herramientas, se seleccionó la herramienta que presentó el mejor desempeño frente a las variables respuesta, es decir la herramienta 2. Se simuló sus parámetros de funcionamiento en el circuito de pruebas del laboratorio CMF, con el propósito de obtener algunas muestras (Con y sin tratamiento magnético) para analizar reológicamente, y tener una idea de cuál es el efecto que se logra en las propiedades físicas del licor de prensa al aplicarle Campos Magnéticos. Con la Reología de las muestra se espera observar alguna diferencia entre la viscosidad de las muestras de licor de prensa STM y CTM.

En el Anexo J se muestran los resultados y análisis del comportamiento reológico de las muestras sin y con tratamiento magnético. Las gráficas que se presentan a continuación nos permiten observar la viscosidad a dos temperaturas 25 y 35 ° C, para dos muestras sometidas a una intensidad de corriente de 0,6 y 4 Amperios.

Figura 40. Curva Reológica a dos Temperatura y 0,6 amperios.

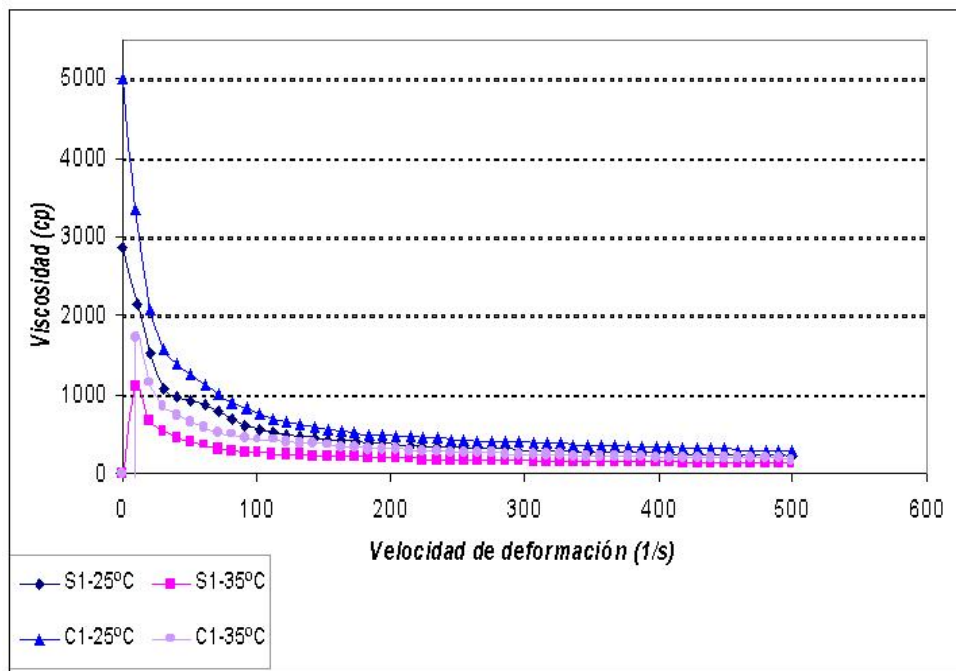
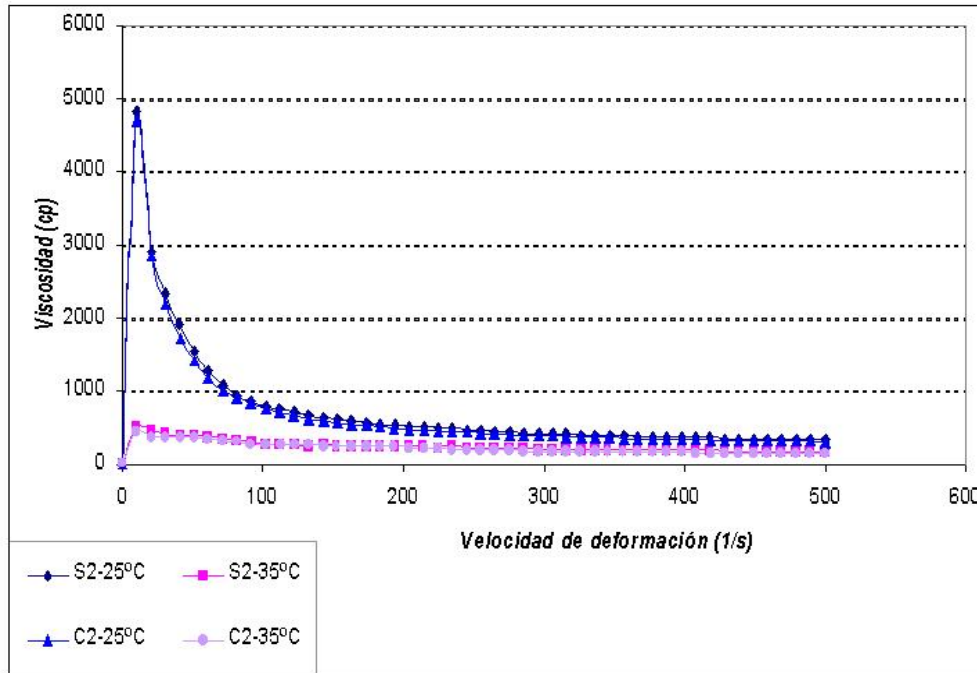


Figura 41. Curva Reológica a dos temperaturas y 4 amperios



Las curvas reológicas de la Figura 33, indican que las muestras C (Con tratamiento magnético) tanto a 25 como 35°C son más altas respecto a la de las muestras S (sin tratamiento magnético). El campo magnético generado por la intensidad de corriente de 0,6 amperios aplicado a las muestras C es equivalente al campo generado por la herramienta de imanes permanentes de 2 pulgadas. Por otra parte las curvas reológicas de la Figura 34 no presentan cambio alguno en la viscosidad de las muestras C y S, por lo cual se concluye que las muestras tratadas con un campo magnético generado con una intensidad de corriente de 4 amperios no produce ningún efecto en la viscosidad de las muestras tratadas.

6.4. CÁLCULO DE LA CURVA DE SEDIMENTACIÓN Y EL AREA DEL CLARIFICADOR

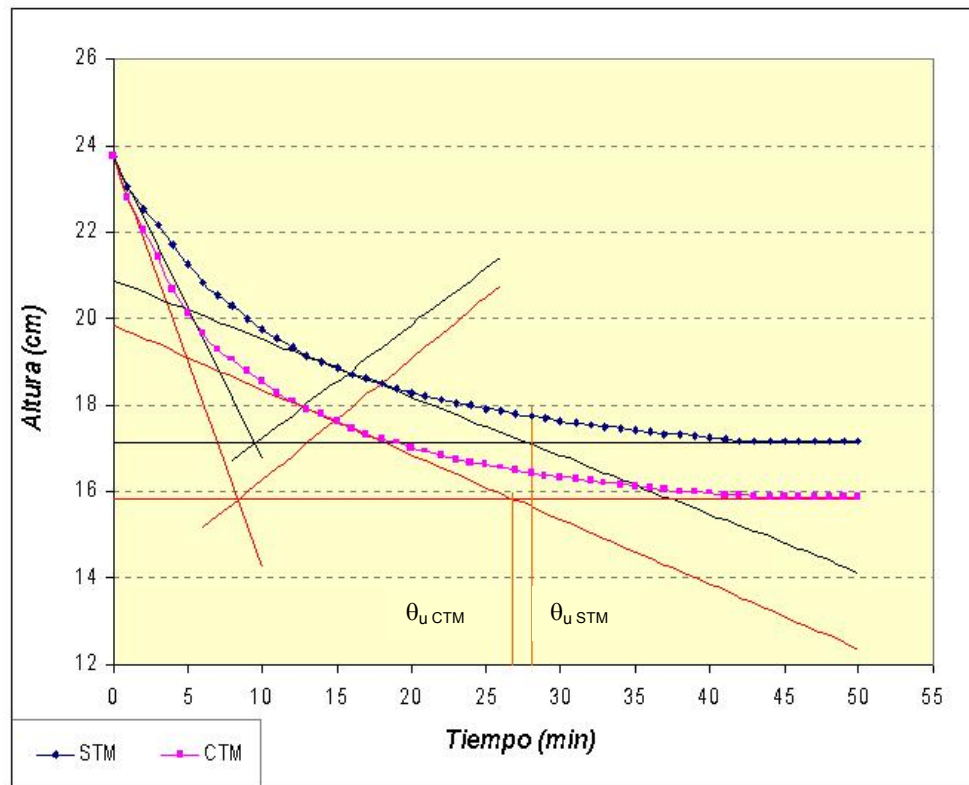
Con el fin de complementar el análisis de los datos obtenidos con las pruebas realizadas en la Planta de Beneficio con las herramientas de Imanes permanentes, se elaboró la curva de sedimentación promedio para cada herramienta. Dicha curva, se construyó promediando para cada herramienta las curvas de sedimentación individuales de cada prueba, obteniéndose cuatro curvas, a las cuales se les cálculo gráficamente, por el método TALMAGED Y FITCH¹¹, las velocidades críticas y terminales necesarias para el cálculo del área mínima del sedimentador continuo.

6.4.1 Cálculo de la velocidad de sedimentación

6.4.1.1 Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 3 pulgadas con imanes cerámicos. En el Anexo K se muestra los datos de la velocidad promedio de todas las pruebas realizadas para esta herramienta.

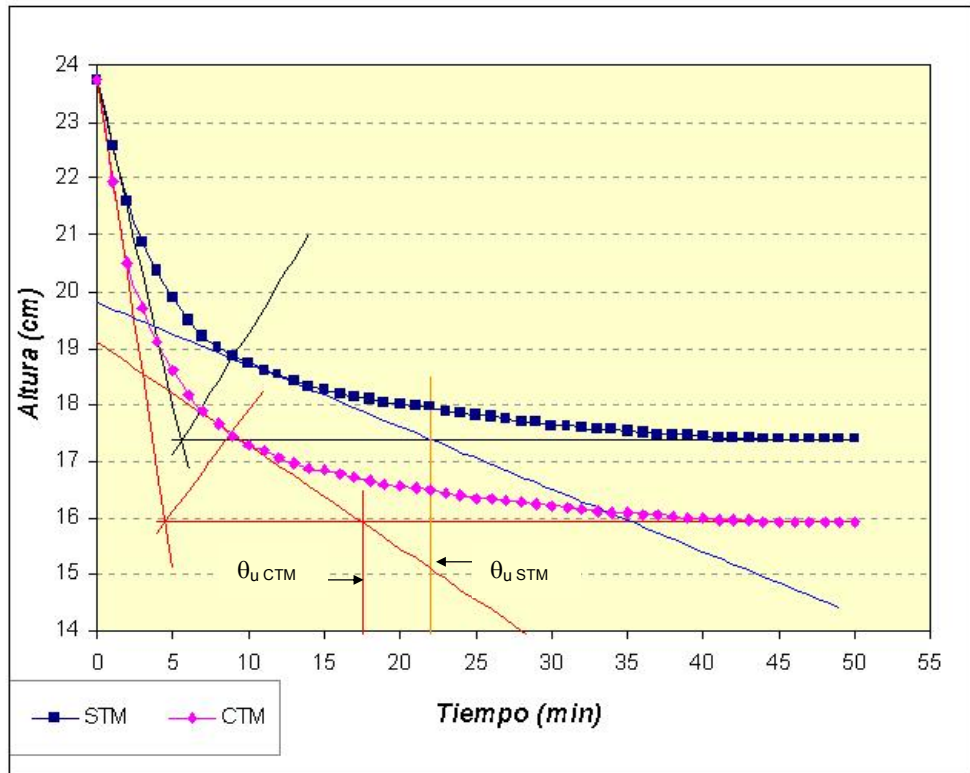
¹¹ FOUST, Alan; WENZEL, Leonard; CLUMP, Curtis; MAUS, Lowis y ANDERSEN, Bryce. Principios de Operaciones Unitarias : Flujo y Separación de Partículas Sólidas por medio de la Mecánica de Fluidos. 7 ed. México, Compañía Editorial Continental 1988. p. 632-635.

Figura 42. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta Magnética de 3 pulgadas con Imanes Cerámicos



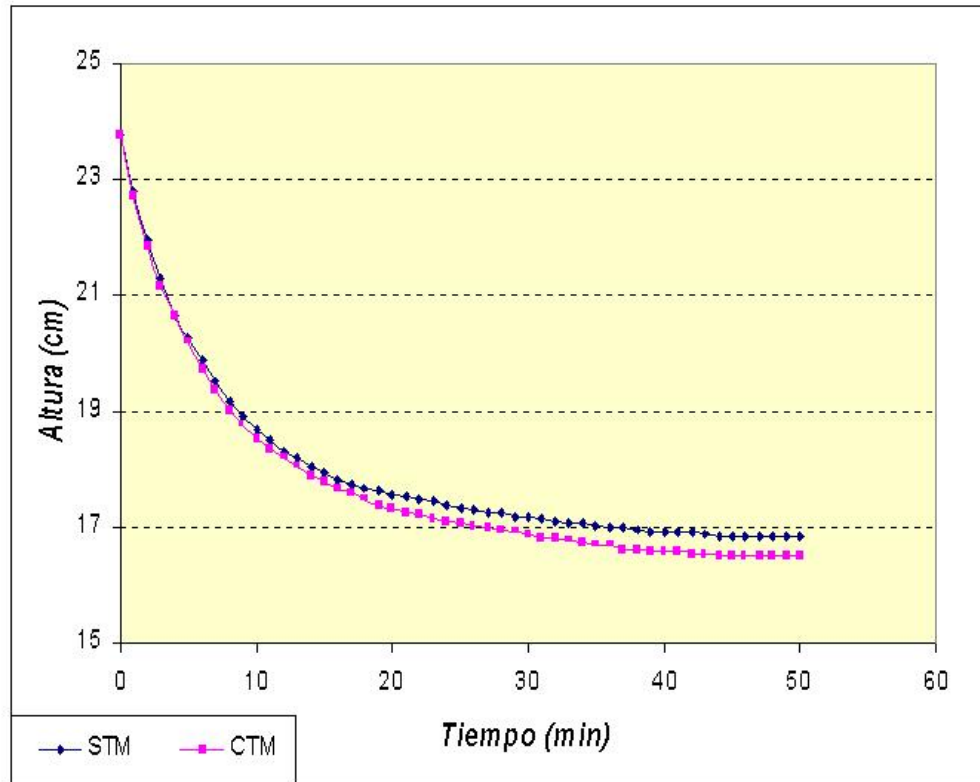
6.4.1.2 Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 2 pulgadas con imanes cerámicos. En el Anexo L se muestra los datos de la velocidad promedio de todas las pruebas realizadas para esta herramienta.

Figura 43. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta Magnética de 2 pulgadas con Imanes Cerámicos



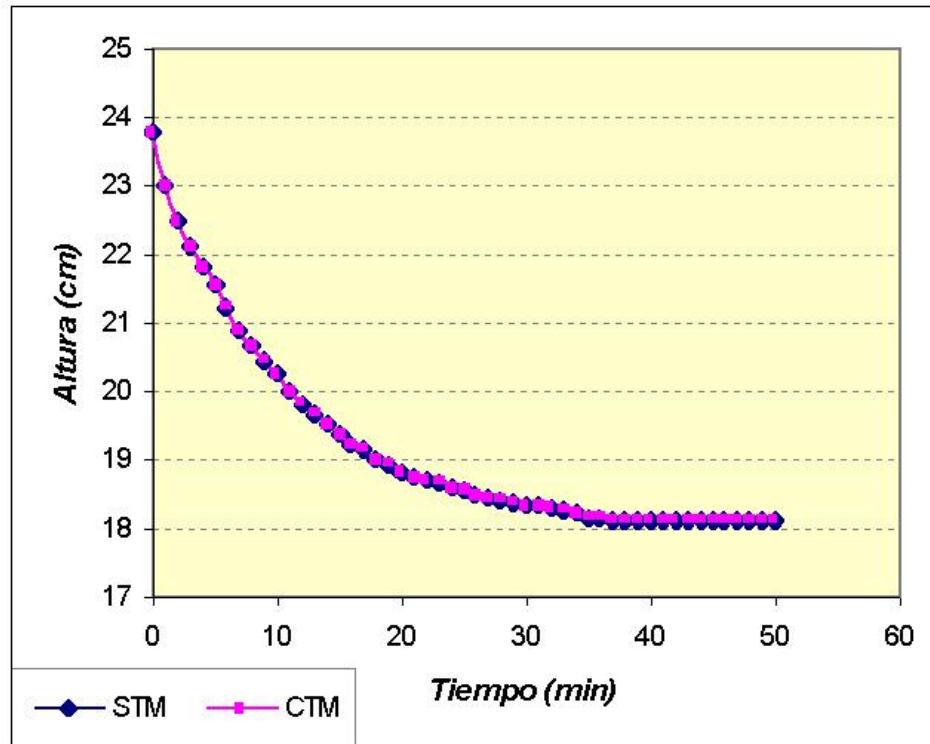
6.4.1.3 Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 1,5 pulgadas con imanes cerámicos. En el Anexo M se muestra los datos de la velocidad promedio de todas las pruebas realizadas para esta herramienta.

Figura 44. Curva de Sedimentación Promedio para la Herramienta Magnética de 1,5 pulgadas con Imanes Cerámicos



6.4.1.4 Velocidad de Sedimentación para la Herramienta de 2 pulgadas con imanes de Neodimio, Boro y Hierro. En el Anexo N se muestra los datos de la velocidad promedio de todas las pruebas realizadas para esta herramienta.

Figura 45. Curva de Sedimentación Promedio para la herramienta Magnética de 2 pulgadas Con Imanes de Neodimio, Boro, Hierro.



6.4.2 Cálculo del Área Mínima del Clarificador. Ésta se calcula, con la siguiente ecuación:

$$A_{\text{clarificador}} = \frac{L_o \cdot \theta_u}{Z_o} \quad (8)$$

L_o = Caudal del licor de prensa alimentado al clarificador

$$[\text{m}^3 / \text{h}] = [5.78 \text{m}^3 / \text{h}]$$

θ_u = tiempo terminal de la sedimentación [h]

Z_o = altura inicial de la suspensión [m]

El área mínima del clarificador se estimó para las herramientas de 2 y 3 pulgadas con imanes cerámicos, debido a que en ellas las muestras STM y CTM presentaron una diferencia notable en la velocidad de sedimentación.

Tabla 12. Área Mínima del Clarificador para las Herramientas de 2 y 3 Con Imanes Cerámicos

Área del clarificador (m ²)	Herramienta 2	Herramienta 3
STM	8,92	11,35
CTM	7,09	10,86
% de Reducción del área para la muestra CTM	20,44	4,3

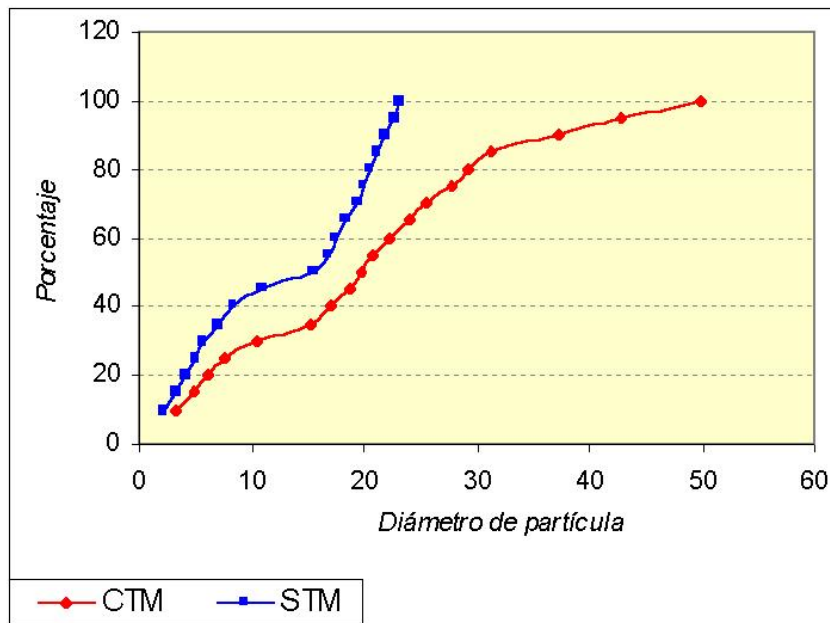
Como se observa en las Figuras 35 y 36 el tiempo terminal (θ_u) disminuye para las muestras tratadas magnéticamente, lo que origina una disminución en el área del clarificador, siendo más significativa para la herramienta de dos pulgadas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos a partir del análisis estadístico.

6.5 DIÁMETRO DE PARTÍCULA

Con base en los resultados anteriores, se puede concluir que los parámetros de diseño (Caudal e intensidad de campo magnético) de la herramienta magnética de 2 pulgadas con imanes cerámicos de Ferrita, son los más efectivos en la velocidad de sedimentación respecto a las demás herramientas (3, 2 y 1,5 pulgadas). Por esta razón se vió la necesidad de medir el tamaño de partícula de los lodos sedimentados en las muestras STM y CTM, para encontrar alguna evidencia que permita explicar este fenómeno.

Las muestras se obtuvieron realizando la sedimentación por gravedad cómo se indica en el numeral 5.2; los lodos provenientes de ésta se secaron y se llevaron a un montaje Soxhler para extraer el aceite residual con hexano. Una vez terminada la extracción se secó la muestra en una estufa a baja temperatura hasta peso constante. En el Anexo O, se presentan los resultados del análisis del diámetro de partícula realizado en el fotosedimentador LUMOSSED en el laboratorio de Operaciones I, en la Figura 46, se muestra la distribución del tamaño de partícula para las muestras STM y CTM, observándose claramente que el tamaño par las partícula CTM es mayor.

Figura 46. Diámetro de Partícula para muestras STM y CTM con la Herramienta 2.



Adicionalmente en el Anexo P, se incluyen registros fotográficos de las muestras STM y CTM de lodos y aceite respectivamente. Éstas se tomaron en el Laboratorio de genética de la Facultad de Salud de la

Universidad Industrial de Santander (UIS) con microscopio Olympus que maneja 4 aumentos (10x10x;10x20;10x40,10x100) con un ocular de 10. En ellas se observa que efectivamente el diámetro de partícula de los lodos de las muestras CTM es mayor que el de las muestras STM lo que corrobora los resultados obtenidos en la velocidad de sedimentación y el análisis de diámetro de partícula.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✎ A pesar de que este proyecto tenía como principal limitante probar un rango de intensidades de campo magnéticos aplicado en la industria petrolera, se encontró que para ciertos intervalos de ese rango, se obtiene un aumento en la velocidad de sedimentación; mientras que la eficiencia de recuperación de aceite no se ve afectada por la aplicación del campo magnético .
- ✎ El análisis estadístico de los resultados obtenidos experimentalmente en planta indican que la herramienta de dos pulgadas elaborada con imanes cerámicos de ferrita presentó el mejor desempeño en la velocidad de sedimentación de las muestras tratadas.
- ✎ La distribución del tamaño de partícula de las muestras STM y CTM, tratadas con una intensidad de campo magnético generado por la herramienta de 2 pulgadas, demostró que las partículas de la muestra CTM son dos veces más grande que las de la muestra STM, lo que explica en cierto modo que las velocidades de sedimentación hayan sido más altas para las muestras tratadas magnéticamente.
- ✎ El aumento en la velocidad de sedimentación obtenida con la herramienta de 2 pulgadas permitió la reducción del área mínima del clarificador estático en un 20,44 %.

- ✎ Finalmente, es oportuno concluir que los campos magnéticos logran un efecto en la suspensión de licor de prensa, lo que permite pensar que actúan específicamente sobre los lodos y no sobre el aceite presente en él. Esta hipótesis podría ser válida si se observa que el aceite crudo de palma está molecularmente constituido por triglicéridos (ésteres de ácidos grasos), compuestos poco susceptibles a la polarización, mientras que los lodos contienen arcillas, aluminosilicatos y óxidos de algunos metales recogidos durante el proceso, cuya estructura molecular presenta una susceptibilidad más alta a la polarización.
- ✎ Se recomienda llevar a cabo un estudio en el que se analice el comportamiento reológico del licor de prensa, junto con una caracterización fisicoquímica de los compuestos del mismo que permitan predecir su comportamiento ante la aplicación de campos magnéticos.
- ✎ Por la naturaleza de este proyecto el rango de intensidades de campo magnético con el que se trató el fluido de interés, era limitado, y por lo observado en el transcurso del mismo se enfatiza en la necesidad de explorar otros rangos de intensidades en los que se pueda obtener mejores resultados en las variables respuesta de interés (Velocidad de sedimentación y eficiencia en la recuperación de aceite).
- ✎ De acuerdo al ítem anterior sería conveniente realizar la exploración de las intensidades de campo magnético en el circuito Electromagnético del CMF, y, una vez encontrado el rango de intensidad adecuado, construir una herramienta magnética con imanes permanentes que genere dicho campo y posteriormente hacer su seguimiento a nivel industrial.

BIBLIOGRAFÍA

AYUSO, E.; LUQUE y J.; N. ZUMAETA. Parámetros de Rendimiento en la Electroclarificación . En : Palmas, Vol. 21, N°. Especial, (2000-2001); p 123-128.

BAILEY, J. k. Bailey's Industrial Oil & Fat Products : Edible Oil & Fat Products : Oil & Oil Seeds. 5 ed. United States, *s.n.* , 1996. v. 2, p. 271-372

BELTRÁN, Carlos. Avances Tecnológicos en La Extracción del Aceite de Palma Aceitera. En : MESA REDONDA UNA ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO (6ª : 1990 : San José de Costa Rica). Memorias de la VI Mesa Redonda Latinoamericana sobre Palma Aceitera. Bogotá : Fedepalma, 1990. p. 195-216

BERNAL, Guillermo. Descripción General del Proceso Eficiente de Clarificación del Aceite de Palma y de sus condiciones de Operación. En : Palmas. Vol. 12, N°. Especial (1991-1992); p. 82-102

_____. Notas Generales sobre Detalles Específicos de la Clarificación. En : Palmas. Vol 21, N°. Especial (2000-2001); p. 323-327

CURSO SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DEL PROCESAMIENTO DE ACEITE DE PALMA. (1993 : Bucaramanga). Memorias Curso Sobre Algunos Aspectos del Procesamiento De Aceite de Palma. Bogotá : Cenipalma, 1994.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA ACEITERA (Colombia). Miniplantas Extractoras de Aceite de Palma : Descripción del proceso y de las secciones. Bogotá : s.n. 1989. p. 11-79

FOUST, Alan; WENZEL, Leonard; CLUMP, Curtis; MAUS, Lowis y ANDERSEN, Bryce. Principios de Operaciones Unitarias : Flujo y Separación de Partículas Sólidas por medio de la Mecánica de Fluidos. 7 ed. México, Compañía Editorial Continental, 1988. p. 632-635.

J.J., Olie y T.D., Tdjent. The Extraction of Palm Oil. Amstelveen: s.n. 1974. p. 892-932

LIM, K. H. y WHITING, D. A. M. The influence of non-Newtonian Behaviour of Crude Pal Oil on the Design of Clarification Station Equipment. En : THE PROCEEDINGS OF THE MALAYSIAN INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PALM OIL PROCESSING AND MARKETING (1977 : Kuala Lumpur). Memories of The proceedings of the Malaysian International Symposium on Palm Oil Processing and Marketing. Kuala Lumpur : International Developments in Palm Oil, Garp & W. Newall, 1990. p. 195-216.

OJEDA, Jaime. Esterilización. En : Palmas. Vol. 12, N°. Especial (1991-1992); p. 109-117

PALM OIL RESEARCH INSTITUTE OF MALAYSIA. Proceedings of Regional Workshop on Palm Oil Mill Technology and Effluent Treatment. Kuala Lumpur, s.n., 1982. p. 57-80.

PELAEZ, Carlos; CAMARGO, Rubén y MARTÍNEZ, Jose Manuel. Estudio Preliminar del Efecto del Campo Magnético sobre el Aceite Crudo de Palma a Temperatura Ambiente. Piedecuesta, 2001. p. 1-20.

_____ y STACHENCO E. Estudio del Efecto del Campo Magnético en Crudos Parafínicos por Cromatografía de Gases de Alta Resolución. Piedecuesta, 1999. p. 15-17.

_____; GARCIA, Jesús A y YÁÑEZ, Edgar E. Informe Evaluación de Nuevas Tecnologías en el Proceso de Clarificación de Aceite Crudo de Palma. Piedecuesta, 2002. p. 1-35.

_____ y MECHETTI, Magdalena. Informe Aplicación de la Física en el Tratamiento del Petróleo y sus Derivados. Piedecuesta, *s.f.*, p 20-35.

Process Handbook : Palm Oil Factory. Kuala Lumpur, *s.n.*, 1985. v. 1, p. 1-109.

URIBE, León Darío. Clarificación Estática y Fuerzas Cortantes. En : Palmas. Vol. 17, Nº 4 (1996-1997); p. 67-70.

ANEXO B

Tabla De Resultados De Pruebas Preliminares Con Electroimanes
(Cmf)

Prueba	Amperaje	Vs (ml/min) STM	Vs (ml/min) CTM
1	1	5,71	7,62
2	1	7,62	7,43
3	2	7,62	7,62
4	2	7,81	8,57
5	2	5,71	4,95
6	1	2,10	3,05
7	1	4,38	4,95
8	1	8,19	10,29
9	2	6,29	6,67
10	2	6,48	7,05
11	1	3,05	3,81

ANEXO C

**Tabla De Resultados De Pruebas Preliminares Con
Electroimanes (Agroince Ltda)**

Prueba	Amperaje	V Bomba (m/h)	Mezclador	Vs (ml/min) STM	Vs (ml/min) CTM
1	1	2800	con	5,26	6,32
2	1	2800	sin	7,37	5,89
3	2	4000	sin	7,58	7,37
4	2	4000	con	7,79	8,00
5	1	2800	con	5,26	4,21
6	1	4000	con	1,89	2,53
7	1	4000	sin	4,21	4,21
8	1	2800	sin	8,21	8,00
9	2	2800	sin	5,68	5,68
10	2	2800	sin	6,11	6,53
11	1	2800	con	2,95	3,58
12	1	2800	sin	3,37	5,26
13	1	sin	con	3,58	3,37
14	2	sin	con	1,26	1,89
15	2	sin	con	2,74	3,58
16	1	sin	con	3,58	4,67
17	2	sin	sin	3,16	4,63
18	2	sin	con	2,32	2,32
19	2	sin	sin	4,21	7,37
20	1	sin	sin	1,05	1,47
21	1	sin	con	1,26	5,05
22	2	sin	sin	4,84	6,74
23	2	sin	con	5,68	6,32
24	2	sin	con	5,89	7,16

ANEXO D

**Tabla De Resultados De Pruebas Realizadas Con Imanes
Permanentes Para Herramienta De 3 Pulgadas**

Prueba	SIN TRATAMIENTO MAGNÉTICO					CON TRATAMIENTO MAGNÉTICO				
	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA
1	1,54	2,28		0,20	0,10	2,08	2,34	0,75	0,88	0,88
2	2,57	2,07	0,87	7,80	0,76	2,80	2,09	0,86	9,30	0,79
3	1,84	1,93	0,72	6,80	0,78	1,67	1,89	0,63	7,20	0,82
4	2,57	2,18	0,61	8,20	0,78	2,36	2,26	0,67	9,40	0,85
5	1,61	2,98	0,82	8,30	0,91	1,59	2,95	0,72	8,80	0,96
6	2,27	2,38	0,58	3,20	0,74	2,38	2,34	0,58	3,20	0,66
7	2,89	2,28	0,60	5,20	0,68	2,95	2,29	0,56	5,80	0,76
8	1,79	2,08	0,86	8,40	0,93	1,85	2,06	0,77	8,5	0,928
9	1,84	2,02	0,58	3,40	0,54	1,77	2,04	0,65	3,40	0,55
10	1,32	2,48	1,04	0,90	0,21	1,46	2,17		2,00	0,42
11	1,77	2,15	0,63	2,80	0,50	1,96	2,18	0,66	3,20	0,50
12	1,74	3,04	0,73	7,40	0,80	1,88	3,11	0,73	8,40	0,89
13	2,79	1,88	0,45	1,10	0,33	2,70	1,78	0,51	2,00	0,47
14	1,46	2,70	0,70	3,40	0,57	1,59	2,74	0,69	4,90	0,59
15	1,10	2,95		0,20	0,12	1,10	2,95	0,22	1,10	0,39
16	1,77	2,96	0,27	0,70	0,18	1,92	2,93	0,36	6,2	0,68
17	3,00	3,14	0,73	5,60	0,69	2,95	3,12	0,70	5,60	0,69
18	1,72	2,13	0,60	2,10	0,45	1,65	2,17	0,60	3,60	0,55
19	4,21	1,86	0,70	4,20	0,58	4,08	1,84	0,65	3,60	0,54
20	3,35	1,65	0,75	4,60	0,60	2,84	1,63	0,68	4,40	0,63
PROMEDIO:	2,16	2,36	0,68	4,23	0,56	2,18	2,34	0,63	5,07	0,68

ANEXO E.

**Tabla de Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes
Permanentes para Herramienta de 2 pulgadas**

Prueba	SIN TRATAMIENTO MAGNÉTICO					CON TRATAMIENTO MAGNÉTICO				
	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRE CA	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA
1	1,64	2,6	0,68	5,00	0,63	2,18	2,58	0,65	6,20	0,68
2	1,68	1,71	0,5	3,80	0,51	1,88	1,7	0,74	5,20	0,62
3	1,21	2,69	0,61	5,20	0,67	1,34	2,64	0,58	8,40	0,89
4	1,74	2,38	0,67	7,10	0,72	1,57	2,49	0,69	7,10	0,77
5	1,57	2,4	0,63	6,00	0,67	1,64	2,4	0,55	7,20	0,78
6	1,48	2,52	0,69	5,70	0,66	1,70	2,47	0,70	6,80	0,70
7	1,70	2,79	0,71	4,80	0,59	1,74	2,78	0,53	5,40	0,59
8	1,70	2,17	0,67	5,50	0,65	1,77	2,28	0,58	6,50	0,74
9	1,448	2,52	0,61	3,6	0,50	1,517	2,56	0,58	4,4	0,56
10	1,34	3,38	0,60	6,00	0,65	1,72	3,38	0,56	8,40	0,78
11	1,92	2,71	0,64	7,20	0,74	1,89	2,25	0,61	7,20	0,75
12	1,09	2,44	0,59	4,40	0,58	1,30	2,36	0,57	6,10	0,66
13	1,20	3,49	0,50	4,20	0,48	1,72	3,42	0,48	8,40	0,73
14	1,47	2,68	0,57	5,10	0,55	1,55	2,67	0,53	6,20	0,61
15	1,42	3,41	0,64	5,80	0,58	1,35	3,42	0,55	8,70	0,81
PROMEDIO:	1,51	2,66	0,62	5,29	0,61	1,66	2,63	0,59	6,81	0,71

ANEXO F

**Tabla De Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes
Permanentes para Herramienta de 1,5 pulgadas**

Prueba	SIN TRATAMIENTO MAGNÉTICO					CON TRATAMIENTO MAGNÉTICO				
	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA
1	1,61	2,28	0,68	5,70	0,60	1,67	2,23	0,64	6,80	0,71
2	1,73	2,01	0,76	5,60	0,62	1,41	1,96	0,64	4,00	0,54
3	2,30	2,07	0,69	6,40	0,74	2,17	2,06	0,67	7,60	0,79
4	1,09	2,12	0,60	4,60	0,61	1,15	2,14	0,64	4,70	0,61
5	1,92	1,59	0,79	5,10	0,57	1,80	1,65	0,84	5,40	0,62
6	1,54	1,63	0,57	3,90	0,55	1,88	1,66	0,52	4,70	0,61
7	1,92	1,81	0,59	3,40	0,47	1,73	1,78	0,56	5,50	0,65
8	1,54	2,30	0,41	1,60	0,30	1,57	2,30	0,42	2,20	0,40
9	1,68	2,62	0,69	5,70	0,60	1,78	2,62	0,70	7,90	0,79
10	2,23	1,65	0,69	5,80	0,67	2,27	1,58	0,82	4,80	0,66
11	2,18	1,75	0,68	5,30	0,66	2,29	1,85	0,67	5,10	0,63
12	1,85	2,82	0,70	7,40	0,76	1,85	2,83	0,65	6,40	0,75
13	2,45	2,20	0,73	5,40	0,70	2,48	2,19	0,67	5,60	0,70
14	2,05	2,00	0,73	4,20	0,52	2,09	1,98	0,77	4,80	0,59
15	2,16	2,60	0,65	8,80	0,85	2,00	2,59	0,55	7,00	0,72
16	1,41	2,63	0,70	5,00	0,57	1,54	2,67	0,69	6,00	0,65
17	2,09	2,23	0,69	6,60	0,72	2,09	2,19	0,61	7,20	0,75
PROMEDIO:	1,87	2,14	0,67	5,32	0,62	1,87	2,13	0,65	5,63	0,66

ANEXO G

**Tabla de Resultados de Pruebas Realizadas con Imanes
Permanentes de Cobalto y Neodimio para Herramienta de 2
pulgadas**

Prueba	SIN TRATAMIENTO MAGNÉTICO					CON TRATAMIENTO MAGNÉTICO				
	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA	RAC/AG	% Acidez	% Humedad	Vs (ml/min)	EFRECA
1	1,714	3,01	0,77	5,80	0,667	1,714	3,00	0,93	7,00	0,750
2	1,643	3,22	0,68	7,60	0,765	1,714	3,35	0,71	8,60	0,800
3	3,000	2,64	0,63	2,80	0,467	3,571	2,64	0,66	3,40	0,480
4	1,679	2,34	0,84	6,60	0,6811	1,313	2,32	0,94	6,60	0,743
5	1,552	2,64	0,97	6,60	0,711	1,517	2,62	0,83	6,00	0,673
6	1,917	1,97	0,78	4,20	0,574	2,000	1,99	0,83	3,80	0,483
7	2,042	2,55	0,94	5,00	0,653	2,318	2,54	0,66	3,60	0,549
8	1,414	2,48	0,63	1,80	0,41	1,536	2,48	0,76	3,40	0,484
9	1,333	2,93	0,70	3,60	0,52	1,667	2,89	0,71	5,60	0,693
10	1,059	3,14	0,57	2,80	0,444	1,400	3,14	0,72	6,20	0,667
11	2,429	1,98	0,78	3,00	0,486	2,500	1,93	0,72	3,20	0,480
12	1,330	2,21	0,38	0,40	0,18	1,367	2,21	0,56	6,40	0,702
13	1,448	2,16	0,65	3,40	0,552	1,704	2,17	0,76	4,00	0,661
14	4,000	2,33	0,49	1,40	0,35	4,900	2,27	0,49	2,40	0,392
15	2,550	2,23	0,64	2,20	0,502	1,880	2,23	0,69	1,60	0,460
16	1,536	1,79	0,38	1,60	0,242	1,800	1,76	0,44	5,40	0,587
17	2,944	1,62	0,88	1,80	0,332	3,059	1,69	0,84	2,20	0,338
PROMEDIO:	2	2,42588	0,689	3,565	0,50212	2,12	2,43	0,72	4,67	0,58

ANEXO H

Tabla Consolidada De Resultados de las Cuatro Herramientas de Imanes Permanentes Probadas en Planta

HTA	PRUEBA	TRATAMIENTO	RAC/AG	% ACIDEZ	% HUMEDAD	VS (ml/min)	EFRECA
3	1	STM	1,538	2,280		0,20	0,100
		CTM	2,083	2,340	0,750	0,88	0,880
3	2	STM	2,571	2,070	0,870	7,80	0,756
		CTM	2,800	2,090	0,860	9,30	0,793
3	3	STM	1,840	1,930	0,720	6,80	0,783
		CTM	1,667	1,890	0,630	7,20	0,818
3	4	STM	2,571	2,180	0,610	8,20	0,778
		CTM	2,364	2,260	0,670	9,40	0,854
3	5	STM	1,607	2,980	0,820	8,30	0,907
		CTM	1,586	2,950	0,720	8,80	0,957
3	6	STM	2,273	2,380	0,580	3,20	0,736
		CTM	2,381	2,340	0,580	3,20	0,656
3	7	STM	2,895	2,280	0,600	5,20	0,676
		CTM	2,947	2,290	0,560	5,80	0,757
3	8	STM	1,786	2,080	0,860	8,40	0,928
		CTM	1,852	2,060	0,770	8,50	0,928
3	9	STM	1,840	20,200	0,580	3,40	0,539
		CTM	1,769	2,040	0,650	3,40	0,548
3	10	STM	1,321	2,480	1,040	0,90	0,205
		CTM	1,462	2,170	2,770	2,00	0,421
3	11	STM	1,769	2,150	0,630	2,80	0,496
		CTM	1,958	2,180	0,660	3,20	0,502
3	12	STM	1,741	3,040	0,730	7,40	0,800
		CTM	1,885	3,110	0,730	8,40	0,890
3	13	STM	2,789	1,880	0,450	1,10	0,332
		CTM	2,700	1,780	0,510	2,00	0,474
3	14	STM	1,464	2,700	0,700	3,40	0,566
		CTM	1,593	2,740	0,690	4,90	0,586
3	15	STM	1,097	2,950		0,20	0,118
		CTM	1,097	2,950	0,220	1,10	0,388
3	16	STM	1,769	2,960	0,270	0,70	0,183
		CTM	1,920	2,930	0,360	6,20	0,675
3	17	STM	3,000	3,140	0,730	5,60	0,688
		CTM	2,947	3,120	0,700	5,60	0,693
3	18	STM	1,720	2,130	0,600	2,10	0,447
		CTM	1,654	2,170	0,600	3,60	0,549
3	19	STM	4,214	1,860	0,700	4,20	0,576
		CTM	4,077	1,840	0,650	3,60	0,536

HTA	PRUEBA	TRATAMIENTO	RAC/AG	% ACIDEZ	% HUMEDAD	VS (ml/min)	EFRECA
3	20	STM	3,353	1,650	0,750	4,60	0,604
		CTM	2,842	1,630	0,680	4,40	0,630
1	1	STM	1,607	2,280	0,680	5,70	0,604
		CTM	1,667	2,230	0,640	6,80	0,711
1	2	STM	1,731	2,010	0,760	5,60	0,622
		CTM	1,414	1,960	0,640	4,00	0,537
1	3	STM	2,304	2,070	0,690	6,40	0,740
		CTM	2,167	2,060	0,670	7,60	0,792
1	4	STM	1,086	2,120	0,600	4,60	0,611
		CTM	1,147	2,140	0,640	4,70	0,605
1	5	STM	1,917	1,590	0,790	5,10	0,565
		CTM	1,800	1,650	0,840	5,40	0,622
1	6	STM	1,538	1,630	0,570	3,90	0,550
		CTM	1,875	1,660	0,520	4,70	0,613
1	7	STM	1,920	1,810	0,590	3,40	0,467
		CTM	1,731	1,780	0,560	5,50	0,649
1	8	STM	1,536	2,300	0,410	1,60	0,298
		CTM	1,571	2,300	0,420	2,20	0,400
1	9	STM	1,679	2,620	0,690	5,70	0,596
		CTM	1,778	2,620	0,700	7,90	0,792
1	10	STM	2,227	1,650	0,690	5,80	0,669
		CTM	2,273	1,580	0,820	4,80	0,656
1	11	STM	2,182	1,750	0,680	5,30	0,658
		CTM	2,286	1,850	0,670	5,10	0,633
1	12	STM	1,846	2,820	0,700	7,40	0,758
		CTM	1,846	2,830	0,650	6,40	0,750
1	13	STM	2,455	2,200	0,730	5,40	0,704
		CTM	2,476	2,190	0,670	5,60	0,700
1	14	STM	2,045	2,000	0,730	4,20	0,516
		CTM	2,091	1,980	0,770	4,80	0,591
1	15	STM	2,160	2,600	0,650	8,80	0,852
		CTM	2,000	2,590	0,550	7,00	0,715
1	16	STM	1,414	2,630	0,700	5,00	0,566
		CTM	1,536	2,670	0,690	6,00	0,651
1	17	STM	2,087	2,230	0,690	6,60	0,717
		CTM	2,087	2,190	0,610	7,20	0,750
2	1	STM	1,640	2,600	0,680	5,00	0,634
		CTM	2,182	2,580	0,650	6,20	0,683
2	2	STM	1,680	1,710	0,500	3,80	0,514
		CTM	1,875	1,700	0,740	5,20	0,622
2	3	STM	1,212	2,690	0,610	5,20	0,670
		CTM	1,344	2,640	0,580	8,40	0,893
2	4	STM	1,741	2,380	0,670	7,10	0,723
		CTM	1,571	2,490	0,690	7,10	0,773
2	5	STM	1,571	2,400	0,630	6,00	0,673
		CTM	1,643	2,400	0,550	7,20	0,783
2	6	STM	1,483	2,520	0,690	5,70	0,660
		CTM	1,704	2,470	0,700	6,80	0,704
2	7	STM	1,704	2,790	0,710	4,80	0,591

HTA	PRUEBA	TRATAMIENTO	RAC/AG	% ACIDEZ	% HUMEDAD	VS (ml/min)	EFRECA
		CTM	1,741	2,780	0,530	5,40	0,587
2	8	STM	1,704	2,170	0,670	5,50	0,652
		CTM	1,769	2,280	0,580	6,50	0,739
2	9	STM	1,448	2,520	0,610	3,60	0,495
		CTM	1,517	2,560	0,580	4,40	0,564
2	10	STM	1,344	3,380	0,600	6,00	0,651
		CTM	1,724	3,380	0,560	8,40	0,784
2	11	STM	1,923	2,710	0,640	7,20	0,736
		CTM	1,889	2,250	0,610	7,20	0,745
2	12	STM	1,088	2,440	0,590	4,40	0,584
		CTM	1,303	2,360	0,570	6,10	0,660
2	13	STM	1,200	3,490	0,500	4,20	0,476
		CTM	1,724	3,420	0,480	8,40	0,728
2	14	STM	1,467	2,680	0,570	5,10	0,555
		CTM	1,552	2,670	0,530	6,20	0,613
2	15	STM	1,424	3,410	0,640	5,80	0,579
		CTM	1,353	3,420	0,550	8,70	0,809
4	1	STM	1,714	3,010	0,770	5,80	0,667
		CTM	1,714	3,000	0,930	7,00	0,750
4	2	STM	1,643	3,220	0,680	7,60	0,765
		CTM	1,714	3,350	0,710	8,60	0,800
4	3	STM	3,000	2,640	0,630	2,80	0,467
		CTM	3,571	2,640	0,660	3,40	0,480
4	4	STM	1,679	2,340	0,840	6,60	0,681
		CTM	1,313	2,320	0,944	6,60	0,743
4	5	STM	1,552	2,640	0,970	6,60	0,711
		CTM	1,517	2,620	0,830	6,00	0,673
4	6	STM	1,917	1,970	0,780	4,20	0,574
		CTM	2,000	1,990	0,830	3,80	0,483
4	7	STM	2,042	2,550	0,940	5,00	0,653
		CTM	2,318	2,540	0,660	3,60	0,549
4	8	STM	1,414	2,480	0,630	1,80	0,410
		CTM	1,536	2,480	0,760	3,40	0,484
4	9	STM	1,333	2,930	0,700	3,60	0,520
		CTM	1,667	2,890	0,710	5,60	0,693
4	10	STM	1,059	3,140	0,570	2,80	0,444
		CTM	1,400	3,140	0,720	6,20	0,667
4	11	STM	2,429	1,980	0,780	3,00	0,486
		CTM	2,500	1,930	0,720	3,20	0,480
4	12	STM	1,330	2,210	0,380	0,40	0,180
		CTM	1,367	2,210	0,560	6,40	0,702
4	13	STM	1,448	2,160	0,650	3,40	0,552
		CTM	1,704	2,170	0,760	4,00	0,661
4	14	STM	4,000	2,330	0,490	1,40	0,350
		CTM	4,900	2,270	0,490	2,40	0,392
4	15	STM	2,550	2,230	0,640	2,20	0,502
		CTM	1,880	2,230	0,690	1,60	0,460
4	16	STM	1,536	1,790	0,380	1,60	0,242
		CTM	1,800	1,760	0,440	5,40	0,587

HTA	PRUEBA	TRATAMIENTO	RAC/AG	% ACIDEZ	% HUMEDAD	VS (ml/min)	EFRECA
4	17	STM	2,944	1,620	0,880	1,80	0,332
		CTM	3,059	1,690	0,840	2,20	0,338

ANEXO I.

Tabla para el Análisis Estadístico de las Variables Respuesta Obtenidas con las Herramientas de Imanes Permanentes (Agroince Ltda)

HERRAMIENTA	EF	VEL
3	0,780	0,680
3	0,037	1,500
3	0,035	0,400
3	0,076	1,200
3	0,050	0,500
3	-0,080	0,000
3	0,081	0,600
3	0,000	0,100
3	0,009	0,000
3	0,216	1,100
3	0,006	0,400
3	0,090	1,000
3	0,142	0,900
3	0,020	1,500
3	0,271	0,900
3	0,492	5,500
3	0,005	0,000
3	0,102	1,500
3	-0,040	-0,600
3	0,026	-0,200
1	0,107	1,100
1	-0,086	-1,600
1	0,053	1,200
1	-0,005	0,100
1	0,057	0,300
1	0,063	0,800
1	0,182	2,100
1	0,102	0,600
1	0,196	2,200
1	-0,013	-1,000
1	-0,025	-0,200
1	-0,008	-1,000
1	-0,004	0,200
1	0,076	0,600
1	-0,136	-1,800
1	0,085	1,000
1	0,033	0,600
2	0,049	1,200

HERRAMIENTA	EF	VEL
2	0,108	1,400
2	0,223	3,200
2	0,049	0,000
2	0,110	1,200
2	0,044	1,100
2	-0,004	0,600
2	0,087	1,000
2	0,068	0,800
2	0,133	2,400
2	0,009	0,000
2	0,077	1,700
2	0,252	4,200
2	0,059	1,100
2	0,230	2,900
4	0,083	1,200
4	0,035	1,000
4	0,013	0,600
4	0,062	0,000
4	-0,038	-0,600
4	-0,091	-0,400
4	-0,104	-1,400
4	0,074	1,600
4	0,173	2,000
4	0,223	3,400
4	-0,006	0,200
4	0,522	6,000
4	0,109	0,600
4	0,042	1,000
4	-0,042	-0,600
4	0,345	3,800
4	0,006	0,400

ANEXO J

Los datos aquí reportados corresponden únicamente a la (las) muestra (s) analizadas y no pueden ser reproducidos en forma parcial ni total. Ecopetrol- Instituto Colombiano del Petróleo -Centro de Investigación y Desarrollo .Km 7 via Piedecuesta telf 6445420-6470037-6470230 FAX 64454

ANEXO K

Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 3 Pulgadas con Imanes Cerámicos

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (cm/min)	Velocidad Promedio (cm/min)
0	23,76	23,76
1	23,05	22,78
2	22,56	22,06
3	22,15	21,40
4	21,71	20,66
5	21,24	20,15
6	20,85	19,66
7	20,53	19,30
8	20,27	19,06
9	19,99	18,80
10	19,75	18,55
11	19,53	18,31
12	19,32	18,09
13	19,14	17,94
14	19,01	17,77
15	18,87	17,62
16	18,72	17,47
17	18,61	17,32
18	18,50	17,22
19	18,38	17,11
20	18,31	17,01
21	18,21	16,92
22	18,13	16,82
23	18,06	16,74
24	17,99	16,68
25	17,92	16,61
26	17,86	16,55
27	17,81	16,50
28	17,75	16,43
29	17,69	16,38
30	17,65	16,34
31	17,59	16,28
32	17,55	16,24
33	17,49	16,20
34	17,47	16,15
35	17,42	16,11
36	17,38	16,08
37	17,33	16,06

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (cm/min)	Velocidad Promedio (cm/min)
38	17,31	16,01
39	17,28	16,00
40	17,24	15,96
41	17,21	15,93
42	17,18	15,91
43	17,17	15,89
44	17,17	15,87
45	17,15	15,87
46	17,15	15,86
47	17,15	15,86
48	17,15	15,86
49	17,15	15,86
50	17,15	15,86

ANEXO L

Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 2 Pulgadas con Imanes Cerámicos

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (cm/min)	Velocidad Promedio (cm/min)
0	23,76	23,76
1	22,58	21,94
2	21,61	20,51
3	20,89	19,69
4	20,38	19,11
5	19,90	18,59
6	19,49	18,18
7	19,19	17,87
8	19,02	17,65
9	18,86	17,44
10	18,73	17,29
11	18,61	17,17
12	18,51	17,06
13	18,40	16,98
14	18,33	16,88
15	18,26	16,83
16	18,19	16,76
17	18,14	16,71
18	18,09	16,67
19	18,04	16,60
20	18,01	16,56
21	17,98	16,51
22	17,93	16,48
23	17,89	16,43
24	17,86	16,41
25	17,81	16,35
26	17,78	16,33
27	17,76	16,30
28	17,70	16,27
29	17,68	16,23
30	17,64	16,21
31	17,62	16,16
32	17,60	16,15
33	17,57	16,13
34	17,55	16,09
35	17,53	16,07
36	17,51	16,06
37	17,48	16,04
38	17,48	16,01
39	17,47	15,99
40	17,44	15,98
41	17,42	15,97

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (cm/min)	Velocidad Promedio (cm/min)
42	17,40	15,96
43	17,39	15,95
44	17,39	15,93
45	17,39	15,92
46	17,39	15,92
47	17,39	15,92
48	17,39	15,92
49	17,39	15,92
50	17,39	15,92

ANEXO M

Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 1,5 Pulgadas con Imanes Cerámicos

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (ml/min)	Velocidad Promedio (ml/min)
0	23,76	23,76
1	22,78	22,70
2	21,95	21,85
3	21,27	21,16
4	20,64	20,64
5	20,25	20,18
6	19,87	19,73
7	19,51	19,35
8	19,17	19,02
9	18,89	18,76
10	18,70	18,53
11	18,48	18,35
12	18,31	18,20
13	18,18	18,03
14	18,05	17,89
15	17,94	17,78
16	17,84	17,67
17	17,76	17,59
18	17,68	17,50
19	17,62	17,38
20	17,54	17,32
21	17,51	17,26
22	17,47	17,21
23	17,43	17,16
24	17,37	17,12
25	17,34	17,08
26	17,30	17,02
27	17,27	16,98
28	17,24	16,94
29	17,20	16,91
30	17,16	16,86
31	17,14	16,82
32	17,12	16,79
33	17,07	16,76
34	17,06	16,72
35	17,03	16,70
36	17,01	16,68
37	16,99	16,63
38	16,96	16,62
39	16,94	16,60
40	16,92	16,57
41	16,91	16,56
42	16,90	16,55
43	16,90	16,53
44	16,86	16,50

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (ml/min)	Velocidad Promedio (ml/min)
45	16,85	16,49
46	16,85	16,49
47	16,85	16,49
48	16,85	16,49
49	16,85	16,49
50	16,85	16,49

Anexo N. Tabla de la Velocidad Promedio de Sedimentación para la Herramienta de 2 Pulgadas con Imanes de Neodimio, Boro, Hierro

TRATAMIENTO	STM	CTM
-------------	-----	-----

Tiempo (min)	Velocidad Promedio (ml/min)	Velocidad Promedio (ml/min)
0	23,76	23,76
1	22,98	22,40
2	22,47	21,76
3	22,10	21,34
4	21,82	20,99
5	21,55	20,64
6	21,21	20,26
7	20,89	19,99
8	20,65	19,76
9	20,44	19,51
10	20,27	19,30
11	20,01	19,06
12	19,82	18,88
13	19,65	18,68
14	19,52	18,52
15	19,36	18,38
16	19,24	18,26
17	19,13	18,15
18	19,01	18,05
19	18,91	17,94
20	18,83	17,88
21	18,75	17,81
22	18,71	17,76
23	18,66	17,70
24	18,59	17,66
25	18,54	17,59
26	18,48	17,54
27	18,43	17,48
28	18,40	17,42
29	18,36	17,37
30	18,33	17,35
31	18,32	17,32
32	18,29	17,31
33	18,26	17,29
34	18,23	17,25
35	18,16	17,22
36	18,16	17,17
37	18,13	17,13
38	18,13	17,13
39	18,11	17,13
40	18,11	17,13
41	18,11	17,13
42	18,11	17,13
43	18,11	17,13
44	18,11	17,13
45	18,11	17,13
46	18,11	17,13

TRATAMIENTO	STM	CTM
Tiempo (min)	Velocidad Promedio (ml/min)	Velocidad Promedio (ml/min)
47	18,11	17,13
48	18,11	17,13
49	18,11	17,13
50	18,11	17,13

**Anexo O. Análisis del Diámetro de Partícula con
Fotosedimentador LUMOSSED**

08.01.94

[R E T S C H - L U M O S E D]

08:56:52

Company : U.I.S.
Operator : JESUS MANUEL MENDOZA

Run : PROYECTO DE GRADO STM

***** SAMPLE DATA ***** LIQUID DATA *****

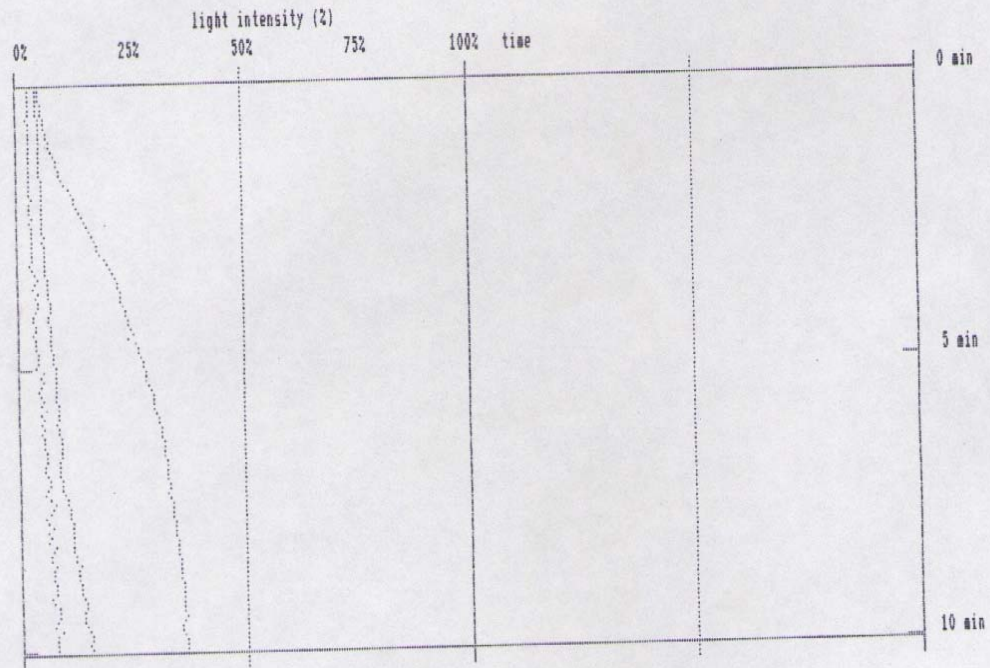
Type : LODOS DE LICOR DE PRENSA
Calibration No.: 0
Density (kg/m3): 2800

Type : agua
Viscosity (Pa.s) : 0.00090
Density (kg/m3) : 996
Agent :

***** MEASUREMENT DATA *****

Time (3...120 min) : 10 Calibration file : 0
Cut-size of sieve (um) : 0 Particle size : 1.56 - 58.63 um
Sieve undersize (%) : 100 Temperature (5...40 xC) : 26

2.50 % 2.46 % 1.56 % ...initial light intensities



Company : U.I.S. Run : PROYECTO DE GRADO STM
 Operator : JESUS MANUEL NENDOZA

***** SAMPLE DATA ***** LIQUID DATA *****

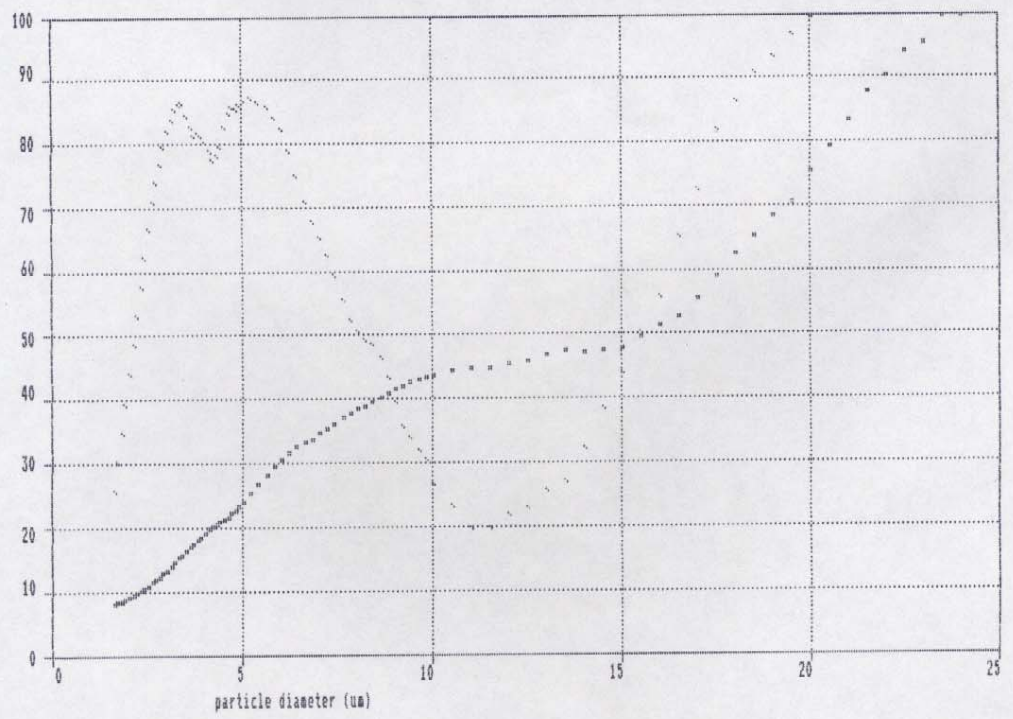
Type : LODOS DE LICOR DE PRENSA Type : agua
 Calibration No.: 0 Viscosity (Pa.s) : 0.00090
 Density (kg/m3): 2800 Density (kg/m3) : 996
 Agent :

***** MEASUREMENT DATA *****

Time (3...120 min) : 10 Calibration file : 0
 Cut-size of sieve (um): 0 Particle size : 1.56 - 58.63 um
 Sieve undersize (%) : 100 Temperature (5...40 xC) : 26

Q(%)	D(um)	Q(%)	D(um)	Q(%)	D(um)	Q(%)	D(um)
5.0 -->	30.0 -->	5.84	55.0 -->	16.81	80.0 -->	20.55
10.0 -->	2.19	35.0 -->	7.00	60.0 -->	17.59	85.0 -->	21.15
15.0 -->	3.22	40.0 -->	8.42	65.0 -->	18.38	90.0 -->	21.90
20.0 -->	4.10	45.0 -->	11.02	70.0 -->	19.29	95.0 -->	22.69
25.0 -->	5.10	50.0 -->	15.51	75.0 -->	19.94	100.0 -->	23.50

Q3 (%) cumulative volume undersize ~- q/qmax qmax(2/um) = 6.4



08.01.94

[RETSCH - LUMOSE D]

08:33:32

Company : U.I.S.
Operator : JESUS MANUEL MENDOZA

Run : PROYECTO DE GRADO CTM

***** SAMPLE DATA ***** LIQUID DATA *****

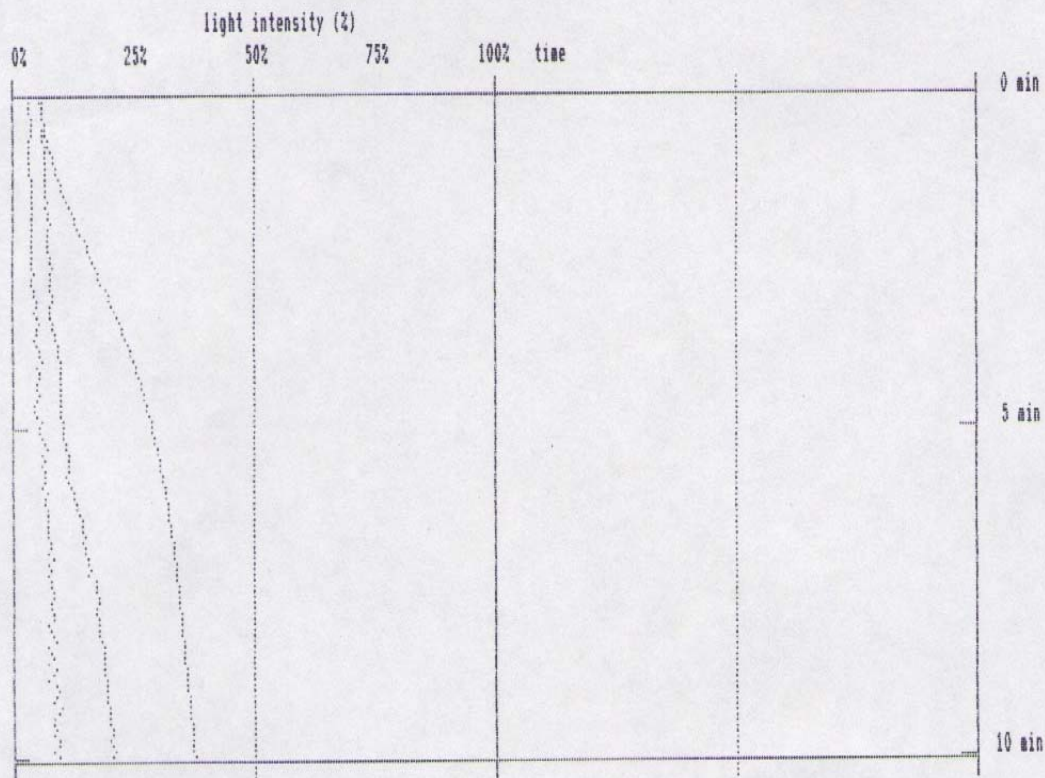
Type : LODOS DE LICOR DE PRENSA
Calibration No.: 0
Density (kg/m3): 2800

Type : aqua
Viscosity (Pa.s) : 0.00090
Density (kg/m3) : 996
Agent :

***** MEASUREMENT DATA *****

Time (3...120 min) : 10 Calibration file : 0
Cut-size of sieve (um): 0 Particle size : 1.56 - 58.63 um
Sieve undersize (%) : 100 Temperature (5...40 xC) : 26

3.07 % 3.22 % 2.01 % ...initial light intensities



08.01.94

[RETSCH - LUMOSE D]

08:43:38

Company : U.I.S.
Operator : JESUS MANUEL HENDOZA

Run : PROYECTO DE GRADO CTM

***** SAMPLE DATA ***** LIQUID DATA *****

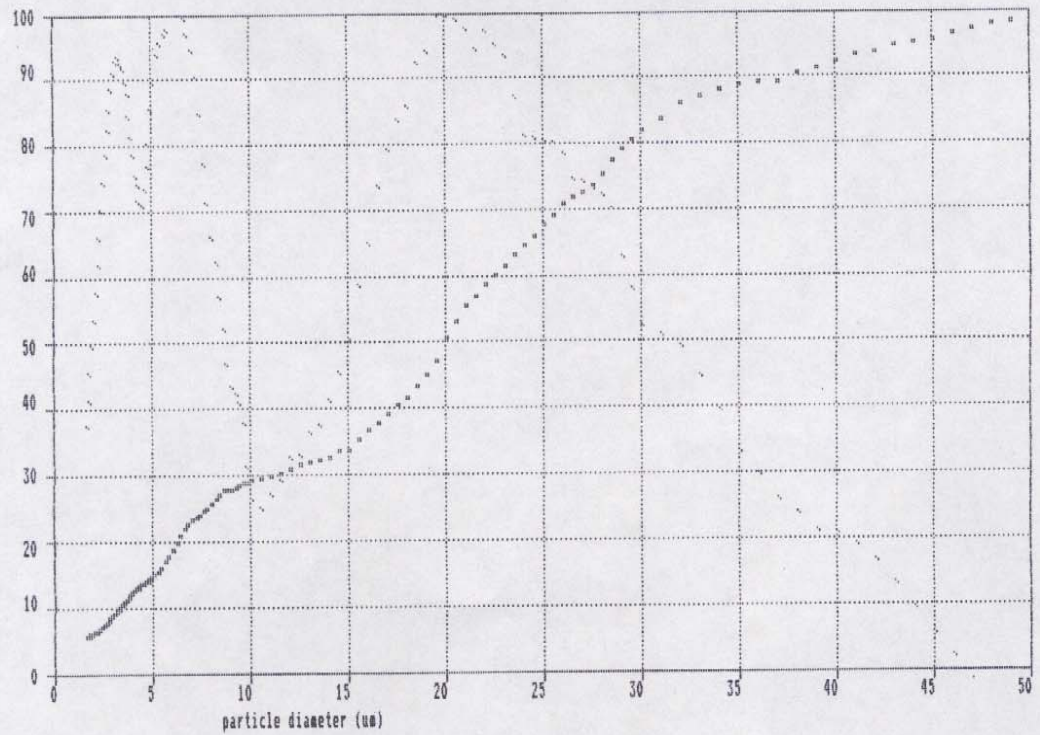
Type : LODOS DE LICOR DE PRENSA Type : agua
Calibration No.: 0 Viscosity (Pa.s) : 0.00090
Density (kg/m3): 2800 Density (kg/m3) : 996
Agent :

***** MEASUREMENT DATA *****

Time (3...120 min) : 10 Calibration file : 0
Cut-size of sieve (um): 0 Particle size : 1.56 - 58.63 um
Sieve undersize (%) : 100 Temperature (5...40 xC) : 26

Q(%)	D(um)	Q(%)	D(um)	Q(%)	D(um)	Q(%)	D(um)
5.0 -->	30.0 -->	10.57	55.0 -->	20.82	80.0 -->	29.20
10.0 -->	3.21	35.0 -->	15.29	60.0 -->	22.35	85.0 -->	31.35
15.0 -->	4.95	40.0 -->	17.14	65.0 -->	24.03	90.0 -->	37.26
20.0 -->	6.15	45.0 -->	18.84	70.0 -->	25.67	95.0 -->	42.91
25.0 -->	7.62	50.0 -->	19.85	75.0 -->	27.78	100.0 -->	50.00

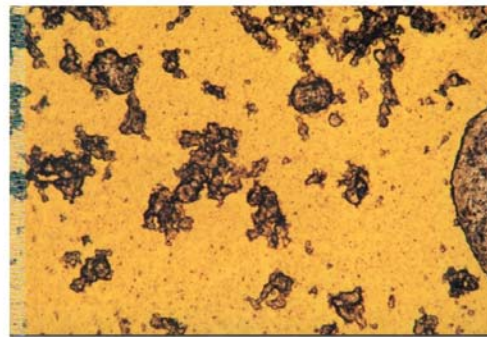
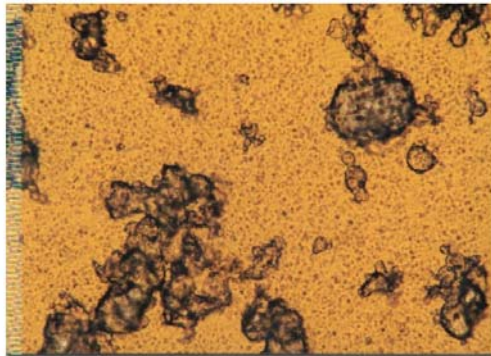
Q3 (%) cumulative volume undersize -- q/qmax qmax(2/um) = 3.7



Anexo P. Fotografías de Lodos en Muestras STM Y CTM.

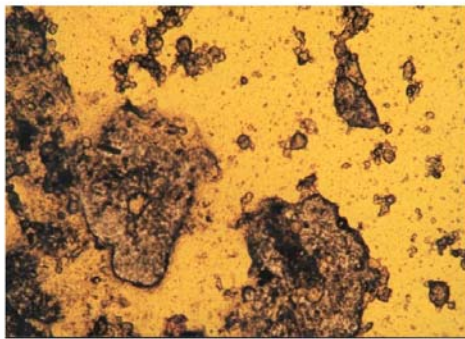
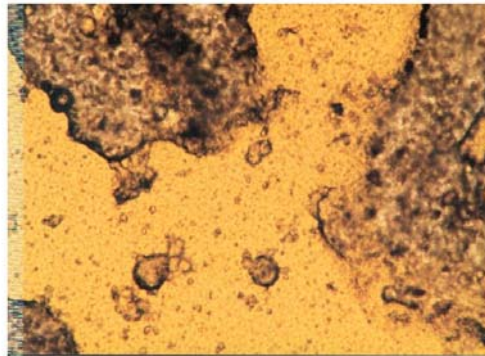
Muestras Sin Tratamiento Magnético (STM)

a. Lodos del Licor de Prensa a dos aumentos (10x20 y 10x10 respectivamente)



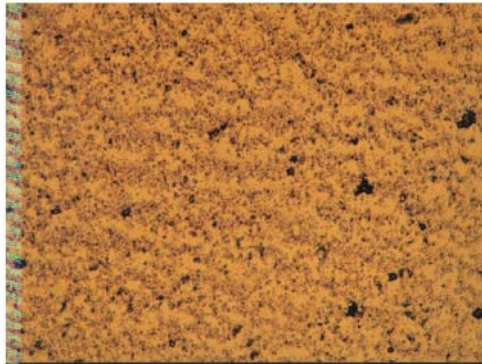
**Muestras Con Tratamiento
(CTM)**

b. Lodos del Licor de Prensa a dos aumentos (10x20 y 10x10 respectivamente)



Muestras Sin Tratamiento Magnético (STM)

c. Aceite separado de los lodos del licor de prensa a dos aumentos
(10x20 y 10x40 respectivamente)



Muestras Con Tratamiento Magnético (CTM)

d. Aceite separado de los lodos del licor de prensa a dos aumentos (10x20 y 10x40 respectivamente)

