



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO**

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA
MADERA**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**DESTINTADO DE PAPEL DE IMPRESIÓN LÁSER MEDIANTE
ULTRASONIDO A 25 Y 45 KHZ**

TESIS

**QUE PRESENTA:
ROSALÍO GABRIEL PARRA**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA**

**DIRECTOR:
DR. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUIÑONES**

**CODIRECTORES:
DR. ROGELIO RAMÍREZ CASILLAS
M.C. JOSÉ DE JESÚS VARGAS RADILLO
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

MORELIA, MICH., FEBRERO 2010.



INDICE

No.		PAG.
1.-	INTRODUCCIÓN	1
2.-	Antecedentes	2
3.-	Objetivos	4
3.1.-	Objetivo general	4
3.2.-	Objetivo particular	4
4.-	Hipótesis	5
5.-	Justificación	6
6.-	MARCO TEORICO	7
6.1.-	Generalidades	7
6.1.1.-	Destintado tradicional	7
6.1.2.-	Eliminación de tinta de la suspensión	8
6.1.3.-	Agitación	9
6.1.4.-	Consistencia	9
6.1.5.-	Temperatura y tiempo de retención	9
6.1.6.-	Tipo y dosificación de reactivos químicos	9
6.1.7.-	Alcalinidad	10
6.1.8.-	Eliminación de partículas de tinta	11
6.2.-	Desintegración	11
6.2.1.-	Surfactantes	12
6.3.-	Tratamiento ultrasónico	13
6.3.1.-	Frecuencia	13
6.3.2.-	Solvente	13
6.3.3.-	Temperatura	13
6.3.4.-	Aplicación de gases	13
6.3.5.-	Presión externa	14
6.3.6.-	Intensidad	14
6.3.7.-	Cavitación	14
7.-	METODOLOGÍA	15
7.1.-	Diseño experimental	15
7.2.-	Comparación de los procesos de destintado con ultrasonido y tradicional	16
7.3.-	Diagrama metodológico	17
7.4.-	Preparación de material	18
7.5.-	Determinación de la humedad	18
7.6.-	Proceso de desintegración	19
7.6.1.-	Desintegrador	19
7.7.-	Equipo de ultrasonido	20
7.7.1.-	Proceso de ultrasonido	20
7.8.-	Destintado por flotación de la muestra tratada por ultrasonido	21
7.9.-	Destintado por lavado de la muestra tratada por ultrasonido	22
7.10.-	Formador de hojas	23
7.11.-	Ceniza de pulpa tratada	24
7.12.-	Blancura de las hojas formadas	25

7.13.-	Características ópticas	26
7.14.-	Comparación de blancuras	26
8.-	RESULTADOS Y DISCUSIÓN (proceso de ultrasonido)	27
8.1.-	Cenizas	27
8.2.-	Blancura	31
8.3.-	Evaluación óptica (rango 50-100 micras)	34
9.-	Comportamiento de partículas de tinta de rango de 100-150 micras de acuerdo a las condiciones del diseño experimental utilizado	37
9.1.-	Evaluación Óptica	37
10.-	Datos de blancura obtenidos (Desintegración, Ultrasonido-Flotación y Ultrasonido-Lavado)	40
10.1.-	Blancuras de desintegración	40
10.2.-	Anova de blancura para el proceso de Ultrasonido y Flotación	41
10.3.-	Anova de blancura para el proceso de Ultrasonido y Lavado	44
11.-	Comparación con respecto al tamaño de las partículas de tinta	48
11.1.-	Gráficas obtenidas por el equipo Dot Counter (óptica)	51
12.-	CONCLUSIONES	53
13.-	BIBLIOGRAFÍA	55
14.-	APÉNDICE	57

INDICE DE FIGURAS

No.	CONTENIDO	PAG.
Fig. 1.-	Diagrama experimental	17
Fig. 2.-	Papel de impresión laser (material prima)	18
Fig. 3.-	Balanza analítica (determinación de peso de la muestra)	18
Fig. 4.-	Disintegration de la muestra	19
Fig. 5.-	Obtención de suspension fibrosa	19
Fig. 6.-	Equipo de Ultrasonido	20
Fig. 7.-	Suspensión fibrosa en proceso de Ultrasonido	20
Fig. 8.-	Celda de Flotación	21
Fig. 9.-	Suspensión fibrosa en proceso de Flotación	21
Fig. 10.-	Celda de Lavado	22
Fig. 11.-	Suspensión fibrosa en proceso de lavado	22
Fig. 12.-	Formación de hojas	23
Fig. 13.-	Prensado de hojas	23
Fig. 14.-	Mufla Lindberg/Blue	24
Fig. 15.-	Obtención de cenizas	24
Fig. 16.-	Espectrofotómetro Elrepho	25
Fig. 17.-	Equipo Dot Counter	26
Fig. 18.-	Gráfica de Pareto para rango de partículas de tinta de 50-100 micras (cenizas)	28
Fig. 19.-	Gráfica de Efectos Principales (cenizas)	28
Fig. 20.-	Gráfica de Superficie de respuesta (cenizas)	29
Fig. 21.-	Gráfica de Pareto de rango 50-100 micras (blancura)	32
Fig. 22.-	Gráfica de Efectos Principales (blancura)	32
Fig. 23.-	Gráfica de Superficie de respuesta (blancura)	33
Fig. 24.-	Gráfica de Pareto de rango de 50-100 micras (óptica)	35
Fig. 25.-	Gráfica de Efectos Principales (óptica)	35
Fig. 26.-	Gráfica de Superficie de respuesta (óptica)	36
Fig. 27.-	Gráfica de Pareto para rango de partículas de tinta de 100-150 micras (óptica)	38
Fig. 28.-	Gráfica de Efectos Principales (óptica)	38
Fig. 29.-	Gráfica de Superficie de respuesta (óptica)	39
Fig. 30.-	Gráfica de Pareto para blancura a partir de flotación	42
Fig. 31.-	Gráfica de Efectos Principales para blancura a partir de flotación	42
Fig. 32.-	Gráfica de Superficie de respuesta para blancura a partir de flotación	43
Fig. 33.-	Gráfica de Pareto para blancura a partir de lavado	45
Fig. 34.-	Gráfica de Efectos Principales para blancura a partir de lavado	45
Fig. 35.-	Gráfica de Superficie de respuesta para blancura a partir de lavado	46
Fig. 36.-	Hoja obtenida solo con Desintegración	48
Fig. 37.-	Hoja con aplicación de ultrasonido	49
Fig. 38.-	Hoja con aplicación de Ultrasonido y Flotación	49
Fig. 39.-	Hoja con aplicación de Ultrasonido, Flotación y Lavado	50
Fig. 40.-	Gráfica de tamaño de partículas de tinta de la desintegración (Dot Counter)	51
Fig. 41.-	Gráfica de tamaño de partícula de tinta del proceso Ultrasonido (Dot Counter)	51

Fig. 42.-	Gráfica de tamaño de partícula de tinta del proceso de Flotación (Dot Counter)	52
Fig. 43.-	Gráfica de tamaño de partícula de tinta del proceso de Lavado (Dot Counter)	52

INDICE DE TABLAS

No.	CONTENIDO	PAG.
Tabla 1.-	Proceso de destintado por Ultrasonido vs proceso de destintado tradicional	16
Tabla 2.-	ANOVA para la variable de respuesta Cenizas de 50-100 micras	27
Tabla 3.-	Respuesta optimizada de cenizas (maximizar)	29
Tabla 4.-	Respuesta optimizada de cenizas (minimizar)	30
Tabla 5.-	ANOVA para la variable de respuesta Blancura	31
Tabla 6.-	Respuesta optimizada de blancura	33
Tabla 7.-	ANOVA para la variable de respuesta (Óptica)	34
Tabla 8.-	Respuesta optimizada de Evaluación óptica	36
Tabla 9.-	ANOVA para la variable de respuesta (Óptica)	37
Tabla 10.-	Respuesta optimizada de Evaluación óptica	39
Tabla 11.-	Blancuras del procesos de desintegración	40
Tabla 12.-	ANOVA de blancura (Flotación)	41
Tabla 13.-	Respuesta optimizada	43
Tabla 14.-	ANOVA de blancura (Lavado)	44
Tabla 15.-	Respuesta optimizada	46
Tabla 16.-	Reactivos químicos más utilizados en procesos de destintado tradicional	57
Tabla 17.-	Reactivos utilizados en el proceso de destintado tradicional por Flotación	58
Tabla 18.-	Valores del contenido de cenizas en % que se presentan en papel y fibra	59
Tabla 20.-	Resultados de Blancura FR 457 nm	60

RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo con la utilización de papel de impresión LÁSER como materia prima, al cual se le aplicó un proceso de desintegración a 1.5% de consistencia con un tiempo de desintegración de 5 minutos, posteriormente a la pulpa obtenida se le efectuó un proceso de tratamiento por ultrasonido con frecuencias de 25 y 45 KHz, con consistencias de 0.5 y 2%, temperaturas de 25 y 55°C, con tiempos de tratamiento de 1 y 20 minutos y modulaciones -1 y 1.

La pulpa después de ser tratada con el proceso de ultrasonido se le aplicó un proceso de flotación con el uso de un agente de dispersión DIN 685 (ácido graso etoxilado), por último se le realizó un proceso de lavado, con el uso de un agente de dispersión ISTEMUL 780 (ácido graso etoxilado).

A las tintas obtenidas del proceso de flotación se les determinó la prueba correspondiente de cenizas, y las hojas obtenidas de cada proceso se les analizó la cantidad de puntos de tinta de acuerdo a su tamaño en micras por medio del equipo Dot Counter, al igual que también a las hojas correspondientes se les evaluó la blancura en el equipo Erepho.

Se encontró que para el destintado de papel de impresión LASER, los procesos de ultrasonido, flotación y lavado son efectivos para lograr una pulpa final más blanca.

1.- INTRODUCCIÓN.

La industria de la celulosa y papel ha tenido un auge muy importante en la actualidad debido al aumento constante del consumo de papel en sus diferentes tipos por cada individuo a nivel nacional y mundial. La fuente principal de materia prima es la madera y esto ha traído como consecuencia graves efectos en el ecosistema por el mal manejo forestal, debido a esto se debe de optar por el uso de papel desperdicio como materia prima, esto trae consigo una disminución en la devastación de nuestro entorno ambiental y a su vez una disminución en el consumo de materia prima virgen, un impulso para el consumo de papel de segundo uso y menores costos en los procesos de producción.

Según Sanjuán (1997), el proceso de destintado no es más que un proceso de lavado y limpieza, en el que la tinta es una suciedad. También considera la importancia del tipo de impresión en el papel a tratar, mencionando que la eliminación de las partículas de tinta, sólo es posible cuando estas no se encuentran unidas a las fibras.

Para utilizar el papel desperdicio como materia prima recurrente, se debe aplicar un proceso de eliminación de las tintas presentes en el papel, todo esto con el fin de obtener productos que satisfagan los requerimientos de cada planta productora. Los procesos de destintado tradicionales, se basan en mecanismos químicos y mecánicos, como el lavado y flotación. El proceso de destintado tiene como finalidad el separar el pigmento de la tinta de la suspensión fibrosa, esto con la acción de reactivos químicos como surfactantes, quienes modifican las propiedades de superficie de líquidos y sólidos como detergentes, dispersantes y agentes espumantes. Dicha eliminación se realiza a través de los procesos de lavado y por proceso de flotación; esto dependerá de las características y propiedades que requerirá el papel que se pretenda producir.

Al aplicar los procesos de destinado tradicionales al papel impreso con LASER, se tiene una baja eficiencia, debido a la composición química y tamaño de las partículas de tinta. Una alternativa para reducir el tamaño de las partículas de tinta del papel impreso con LASER, es usando ondas de ultrasonido, que son ondas acústicas con una frecuencia por encima de los límites perceptibles, esto para algunas especies de animales es útil, pues lo utilizan como una forma de orientarse, conocido comúnmente como ecolocalización, siendo ondas de sonido con frecuencias muy altas que rebotan con facilidad en los objetos que se encuentren en su alrededor y no son escuchadas por el oído humano.

2.- ANTECEDENTES.

Alliot y Ávila (2000) destintan papel por flotación, manejando parámetros óptimos de temperatura, pH, tiempo de contacto, reactivos y concentración de los mismos, la calidad permite determinar el porcentaje de tinta en la misma. Con un % de cero en tinta reportan una reflectancia media de 59.04 y con un 100 % de tinta un media de reflectancia de 33.30.

Turai y Teng (1979) comparan el destintado por el método de ultrasonido y el tradicional con hidrapulper utilizando frecuencias para el proceso de ultrasonido de 16 y 22 khz. Reportando que las partículas obtenidas por el proceso de ultrasonido eran de tamaño de centésimas de mm mientras que las obtenidas por el método de hidrapulper presentaron tamaño en mm.

Norman *et al.* (1994) reportan que la forma de las partículas que se presentan en el papel con impresiones laser es plana por lo que se dificulta su eliminación mediante el destintado tradicional. Estos investigadores han utilizado el proceso de destintado con ultrasonido usando frecuencias de 22, 34 y 54 khz con tiempos de aplicación de ultrasonido de 1, 3, 5, 10 y 15 minutos y consistencias de la suspensión fibrosa de 0.5, 1, 1.5 y 2 %, mencionando que la mejor eficiencia del proceso se dio con consistencias bajas.

Levandoski *et al.* (1999) experimentaron con mezclas de papel de oficina y papel residencial recuperado que comprenden el papel impreso con Laser y papel Xerográfico, reportando que el destintado con ultrasonido arroja buenos resultados. Posteriormente a la aplicación del ultrasonido a las pulpas se les practicó el lavado y flotación, se les determinó el grado de refinación (Canadian Standard Freeness, formando hojas y aplicando a estas las pruebas de resistencia a la tensión y longitud de ruptura, con respecto a las normas Tappi.

Melo *et al.* (1995) realizan destintado de papeles recuperados fotocopiados e impresos láser, por proceso de flotación. Reportando que una de las variables más importante es el tiempo de flotación y las cargas de silicato de sodio así como surfactante, mencionando que la máxima eficiencia de remoción de tinta se logra para partículas de tinta con un tamaño promedio de 25 micras, alcanzando porcentajes de remoción de 35%.

Naimpally (2000) menciona que el destintado en papeles impresos con tintas ordinarias, presenta obstáculos para la realización del mismo. Reportando que un problema importante que se presenta en los procesos de destintado tradicionales es la presencia de variedad de compuestos en el papel reciclado a destintarse, como lo son los tratamientos, recubrimientos, impregnaciones y los tipos más recientes de tintas.

Ramírez (2002) reporta que el destintado tradicional del papel impreso con Laser presenta una baja eficiencia, debido a la composición química y tamaño de las partículas de tinta y menciona como una alternativa para disminuir el tamaño de las partículas de tinta en ese tipo de papel, el uso de ondas de ultrasonido.

Ramírez (2004) da a conocer que el destintado con ultrasonido presenta ciertas ventajas sobre el procesos de destintado tradicional, por el uso tan reducido de reactivos químicos en la ejecución del proceso de destintado.

Ramírez *et al.* (2004) reportan que el destintado efectuado en papel de impresión Laser con contenido de humedad de 5.4 % y 12 %, en una etapa de tratamiento con ultrasonido arrojó un incremento de 90.7 % en el numero de partículas en el rango de 1-50 micras por metro cuadrado, mencionando una efectividad en la reducción del tamaño de las partículas de tinta en el papel recuperado impreso, utilizando un tratamiento con ultrasonido.

Turrado *et al.* (2005) realizan destintado de impresión offset digital, en función de la temperatura y el surfactante dosificado durante el proceso de destintado. Ellos reportan un incremento en la temperatura del repulpeo desde 45°C y 60°C reduciendo las manchas contaminantes de un tamaño de 650 micras y 592 micras, consecuentemente la eliminación de las manchas por medio del proceso de flotación a una temperatura de 40°C.

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo General

Eliminar la tinta del papel de impresión LASER, por medio de ultrasonido, y determinar la eficiencia que se puede obtener con este proceso con respecto al destinado tradicional.

3.2- Objetivos Particulares

- Seleccionar un equipo de ultrasonido comercial que emita la frecuencia y longitud de onda apropiadas para destintado.
- Preparar el papel Laser que será destintado, elegirlo, convertirlo en pulpa homogeneizarlo y caracterizarlo (humedad, cenizas).
- Determinar el efecto de los factores frecuencia, modulación, tiempo, consistencia y temperatura, para conocer la influencia en las diferentes variables de respuesta (cenizas, blancura y óptica).
- Optimizar el proceso de destintado con ultrasonido tomando con respecto a las variables de mayor influencia en este proceso.
- Analizar el grado de destintado mediante la evaluación óptica que comprende Blancura ISO, Dot Counter, Analizador de imágenes.
- Evaluar la eficiencia del destintado por proceso de ultrasonido y compararlo con el proceso tradicional.

4.- HIPÓTESIS.

Al aplicar un proceso de ultrasonido a una suspensión fibrosa de papel de impresión LASER, se logrará la separación de la unión de fibra-tinta y se generará una fragmentación de las partículas separadas, de tal forma que serán eliminadas más eficientemente mediante lavado y flotación, que con el proceso de destintado tradicional.

5.- JUSTIFICACIÓN.

En la actualidad es cada vez de mayor importancia ecológica el reciclar las materias primas fibrosas. Por ello se deben buscar procesos más eficientes. El estudio del destintado con ultrasonido, permite una mejor eliminación de tintas, no contamina, elimina tintas que no se pueden separar en su totalidad de las fibras con procesos tradicionales, es un proceso más económico, más eficiente que amplía el panorama del uso de nuevas tintas en el proceso de impresión, que genera además papel reciclado de cierta calidad.

6.- MARCO TEORICO.

6.1.- Generalidades.

6.1.1.-Destintado tradicional.

El destintado tradicional consiste en la eliminación de las tintas contenidas en una suspensión (fibra-agua) del papel impreso. El destintado se debe de combinar con un sistema de depuración, para la eliminación de los contaminantes difíciles de separar.

El proceso de destintado consiste en dos etapas:

- La remoción y separación de las partículas de tinta que se encuentran en las fibras (separación de la unión de la fibra y la tinta).
- La eliminación de la tinta separada de la suspensión.

La separación de la tinta y fibra, es una operación químico-mecánica, la cual libera las partículas de tinta de la fibra, y al estar libres las partículas de tinta el siguiente paso es la separación de esta de la suspensión, por medio de procesos de flotación y lavado.

En la separación de la unión tinta-fibra se debe de comprender la operación tanto para un proceso batch como para un continuo, con las respectivas temperaturas, pH, la agitación y las consistencias, según sean las características del equipo.

Los agentes dispersantes son los productos adicionales, los cuales se usan de acuerdo al proceso de destintado utilizado, tomando en cuenta los factores de consistencia, agitación tiempo y temperatura y cantidad de reactivo.

En concreto la instalación de un proceso de destintado debe comprender los medios de desfibración primaria, así como los medios de depuración, de acuerdo a las necesidades y a un paso de blanqueo complementario y un sistema de dispersión caliente con el manejo de consistencias altas (Ramírez 2002).

6.1.2.- Eliminación de tinta de la suspensión.

Después de que la tinta se separa de las fibras, existen dos formas de eliminar las partículas de tinta de la suspensión de fibrosa.

El primer proceso es el de flotación, el cual permite rendimientos elevados y poco consumo de agua, y consiste en provocar en el interior de la suspensión fibrosa la formación de espuma, la cual se retiene con la adición de un surfactante, la inyección de aire en el interior de la celda de flotación, así como una agitación constante, que al generarse las burbujas sirven de vehículo y de retención de las partículas de tinta, las mismas se eliminan al subir a la superficie de la suspensión. Al separar la espuma y la tinta, se recoge la pasta destintada.

Los sistemas de flotación apuntan a mantener un mayor tamaño de la partícula de tinta, facilitando su colección por reactivos utilizados (Melo, 1995).

El segundo proceso es el lavado, y permite una eliminación más completa de la tinta, en el cual hay pérdidas de fibras y el consumo de una gran cantidad de agua, pero una de sus ventajas es que elimina junto con la tinta cargas minerales.

La diferencia entre los dos procesos de destintado es el mecanismo fisicoquímico por el cual se eliminan las partículas de tinta, tomando en cuenta el tamaño de las partículas que son capaces de eliminar cada proceso, ya que el proceso de flotación requiere de partículas grandes para su eliminación, el proceso de lavado por el contrario necesita de partículas pequeñas para poder ser eliminadas con las mallas o filtros utilizados. Considerando nuevamente la operación de repulpeo o desfibración esta alcanza por la acción mecánica, así como por la química entre la materia prima fibra-tintas y la formulación química, la cual consiste de:

- Alkali
- Secuestrantes
- Agentes de blanqueo

Con respecto a la separación de la unión tinta-fibra se debe analizar los siguientes factores:

- La agitación
- La consistencia
- Temperatura para el tratamiento
- Tiempo de retención
- Tipo y dosificación de reactivos químicos
- Alcalinidad

6.1.3.- Agitación.

Esta operación facilita el contacto de los productos químicos y el papel, así como la acción química. En los procesos donde se tienen equipos que utilizan vapor vivo para el efecto de calentamiento, la agitación ocasiona la condensación completa del vapor, ayudando a distribuir uniformemente el calor entre la materia prima. También provee la energía necesaria y las condiciones para una dispersión coloidal, sin este efecto el proceso de destintado no es eficaz así como el proceso de lavado no se lleva al cien por ciento.

6.1.4.- Consistencia.

La presente variable operativa está determinada por las restricciones de la operación de los equipos, por lo general se considera que para un proceso de destintado el incremento de la consistencia beneficia, siendo también una limitante en la agitación.

El uso de consistencias altas ocasiona una mayor eficiencia en el uso de los productos químicos y el calor, dando como consecuencia la reducción en el tiempo de desfibración, siendo más eficaz la remoción de la tinta.

Por otro lado el uso de consistencias bajas en la operación es aceptable el trabajar de 5 a 8% mientras que para consistencias altas es de 15 a 30%, tomando en cuenta la presencia de las cargas y encolantes, los cuales hacen variar la consistencia real.

6.1.5.- Temperatura y tiempo de retención.

La temperatura utilizada generalmente en un proceso de destintado está en un rango de 66 a 77°C para pasta mecánica y de 88 a 93°C para pasta química.

La temperatura se mantiene constante durante todo el periodo de desfibrado. Tanto el tiempo de retención como la temperatura están relacionados y están en función de factores como el tipo de papel desperdicio, consistencia, equipo, agitación, concentración de agentes químicos.

6.1.6.- Tipo y dosificación de reactivos químicos.

La acción química es muy importante para la separación de los contaminantes de las fibras, el objetivo principal es separar las partículas de tinta en su tamaño y forma original, tomando en cuenta que algunos factores físicos y químicos afectan su eficiencia.

Una de las limitantes físicas más importantes es el tipo de papel desperdicio y la tinta con la que está impreso, y en el caso de las limitantes químicas se tiene el tipo y la calidad de los productos químicos usados, la contaminación en el pulper y el pH. Los agentes químicos deben de tener la función de evitar la reposición de la tinta sobre la fibra, para promover una adecuada dispersión de las partículas de tinta para su posterior eliminación con los procesos tradicionales: flotación y lavado (Ramírez 2002).

En el caso del proceso de flotación es habitual, que se agreguen los llamados reactivos de flotación, los cuales son compuestos químicos que se incorporan a la suspensión para mejorar el rendimiento y en ocasiones para hacer posible la flotación diferencial de una mezcla de materiales de distinto origen, limitándose la acción de estos reactivos a la superficie del material y en general se requieren pequeñas cantidades (Alliot, 2000).

6.1.7.- Alcalinidad.

El álcali se adiciona durante el proceso de desfibrado para lograr un hinchamiento en las fibras y con esto lograr la separación de los contaminantes. La alcalinidad se puede proporcionar con el uso del hidróxido de sodio, silicato de sodio y carbonato de sodio.

- Hidróxido de Sodio: es uno de los álcalis más usado en el destintado, por lo general cuando se está trabajando con papeles que no contienen pasta mecánica, siendo también utilizado para papeles prensa y recubiertos para revistas. Uno de sus usos es para lograr pH cercanos a 10, el cual por lo general es más alto para pastas mecánicas, esto debido al amarillamiento.
- Carbonato de Sodio: usado para proveer de alcalinidad necesaria en el proceso. Algunas veces en combinación con el hidróxido de sodio, aunque dicha combinación reduce la severidad de reacción y dando como consecuencia un menor amarillamiento. Así como el hidróxido de sodio, el carbonato actúa rápidamente y de forma eficaz dispersando y convirtiendo materiales no celulósicos en compuestos solubles.
- Silicato de Sodio: frecuentemente es usado en adición con hidróxido de sodio o carbonato de sodio, para la reducción del amarillamiento de la pasta mecánica, promueve una mejor dispersión de los contaminantes. En cuanto a su concentración, esta debe ser mayor al 3% con respecto a la fibra base seca. El silicato estabiliza y disminuye la reducción catalítica del peróxido de hidrógeno, sus propiedades estabilizantes son también útiles en formulaciones de blanqueo de pulpas convencionales.

6.1.8.- Eliminación de partículas de tinta.

La separación de las partículas se puede efectuar por su diferencia de tamaño y por la rigidez de las mismas.

La eliminación por limpieza centrifuga separa las partículas de acuerdo a las diferencias en gravedad específica. Existen dos tipos de depuradores centrífugos, depuradores centrífugos de baja consistencia, remueven partículas con una gravedad específica menor a 1 gr/cc, o partículas más ligeras que el agua.

Depuradores centrífugos de alta consistencia también llamados primarios, trabajan sobre partículas más pesadas que el agua.

En caso del proceso de flotación la separación de partículas se da por diferencia de humectabilidad, las partículas extrañas se hacen hidrofóbicas y tienden a adherirse a la fase del aire, y por otro lado las fibras se mantienen en la fase del agua. Este proceso se ejecuta en condiciones químicas específicas, las causas se crean por adición de productos químicos en el sistema.

Por otro lado el proceso de lavado es una extracción del agua, en el cual las partículas que son demasiado pequeñas podrán tener movimiento con la corriente del agua, manejando por lo general partículas menores a 10 micras.

Según Turrado (1994), hay ciertas limitaciones que se derivan de las dificultades para destintar efectivamente con técnicas convencionales como la flotación y el lavado.

6.2.- Desintegración.

En este proceso el objetivo es dividir y reducir el tamaño de las partículas, hasta minimizar su visibilidad.

6.2.1.- Surfactantes.

Las sustancias surfactantes contienen moléculas en las cuales se encuentra un grupo polar y un grupo apolar. El grupo polar es en general un grupo funcional que contiene heteroátomos como O, S, N o P. Los grupos polares más comunes son los grupos carboxilato, sulfonato, sulfato, amonio y fosfato. Usualmente los surfactantes se clasifican de acuerdo a su ionización en medio acuoso (Rojas, 2007). Contienen un componente molecular que tiende a tener poca atracción por el solvente y recibe el nombre de grupo lipófilo y unidades químicas con una pronunciada atracción por el solvente comúnmente llamado grupo hidrofílico.

Existen cuatro grupos generales de surfactantes, los cuales se definen de la siguiente manera.

- Catiónicos, con un grupo hidrofílico y carga positiva.
- Aniónicos, grupo hidrofílico con carga negativa.
- No iónicos, con un grupo sin carga, soluble en agua por los grupos altamente polares.
- Anfóteros, los cuales pueden tener ambas cargas.

En los procesos de tintado tradicional la terminal hidrofóbica capta la partícula de tinta, mientras que por otro lado la terminal hidrofílica se inclina por el medio acuoso.

El surfactante mantiene dispersas las partículas de tinta evitando que estas se vuelvan a depositar sobre la fibra, pues son aceites e hidrocarburos los principales compuestos de las tintas. Las partículas tendrán un carácter hidrofóbico, provocando que las partículas de tinta se eliminen con la corriente del medio acuoso, siendo la función principal del surfactante el cambiar la afinidad de las partículas hacia el medio acuoso, así como aglomerar o colectar las partículas dispersas, al igual que disminuir la tensión superficial del líquido para su eliminación mediante la remoción de la espuma (Ramírez 2004).

6.3.- Tratamiento ultrasónico.

El ultrasonido es parte del espectro del sonido de frecuencia de 16 khz (16000 ciclos/s), valor que se encuentra fuera del rango de lo que puede percibir el oído humano. Los efectos químicos producidos, son derivados de la expansión y destrucción de burbujas pequeñas que aparecen cuando un líquido se está irradiando por ultrasonido comúnmente llamado fenómeno de cavitación, generando altas temperaturas y presiones en los puntos determinados del líquido. Cabe mencionar que la radiación acústica es la energía mecánica (no cuántica) que se transforma en energía térmica.

El éxito de la aplicación del ultrasonido depende de los siguientes factores:

- Frecuencia
- Solvente
- Temperatura
- Aplicación de gases
- Presión externa
- Intensidad
- Cavitación

6.3.1.- Frecuencia.

Al aumentar la frecuencia se lleva a cabo el descenso de la producción de la cavitación en los líquidos, por consiguiente a frecuencias altas, y tiempos necesarios para que aparezca la burbuja, el efecto de cavitación crece hasta un tamaño suficiente para que afecte la fase líquida es mínima.

6.3.2.- Solvente.

La cavitación tiene menor influencia en los líquidos viscosos o con tensiones superficiales más altas.

6.3.3.- Temperatura.

Al aumentar la temperatura permite que se lleve a cabo la cavitación con una intensidad acústica más baja, a consecuencia del aumento de la presión de vapor del solvente y con un aumento en la temperatura.

6.3.4.- Aplicación de gases.

Al aplicar gases la intensidad de la cavitación disminuye por la formación de núcleos adicionales en el sistema.

6.3.5.- Presión externa.

Con el aumento de la presión externa se llega a un aumento de la intensidad de destrucción de las burbujas formadas, siendo en este caso los efectos del ultrasonido son más rápidos y más agresivos con respecto al uso de una presión normal.

6.3.6.- Intensidad.

El aumento de la intensidad del ultrasonido fortalece los efectos producidos, siendo las ondas sonoras elásticas que tienden a propagarse en distintos medios como lo son gases sólidos y líquidos. El proceso alternativo de compresión y expansión constituyen la onda sonora, la distancia entre las dos compresiones provoca un largo de onda, transportando dicha onda energía.

6.3.7.- Cavitación.

La cavitación es un fenómeno que se produce cuando un líquido se comprime y después se descomprime, al descomprimirse se producen zonas de vacío que implotan para el llenado del hueco producido que se genera con el impacto local.

Cuando se tiene un generador de ultrasonido que comprime y descomprime el líquido 300,000 veces por segundo tendremos cientos de burbujas de cavitación implorando y generando zonas de energía de forma aleatoria (Ramírez 2004).

7.- METODOLOGÍA.

7.1.- Diseño Experimental.

Para el proceso de ultrasonido se aplicó un diseño experimental con un punto central para evaluar estadísticamente los efectos de los factores fijados sobre las variables de respuesta establecidas.

El diseño fue del tipo factorial 2^{5-1} , teniendo los siguientes factores y niveles.

A: Frecuencia (25 y 45 kHz)

B: Tiempo (1 y 20 minutos)

C: Consistencia (0.5 y 2.0 %)

D: Temperatura (25 y 55°C)

E: Modulación (-1 y 1)

Las variables de respuesta serán: contenido de cenizas, blancura y evaluación óptica.

El nivel de confianza establecido con que se evaluarán los datos será de 95 % mediante el programa Statgraphics (Montgomery 1991).

BLOQUE	FRECUENCIA	TIEMPO	CONSISTENCIA	TEMPERATURA	MODULACIÓN
1	45	1	0.5	55	1
1	45	1	0.5	25	-1
1	45	20	0.5	55	-1
1	25	20	0.5	55	1
1	25	1	2	25	-1
1	35	10.5	1.25	40	0
1	45	20	2	25	-1
1	45	1	2	25	1
1	25	20	0.5	25	-1
1	25	1	0.5	55	-1
1	35	10.5	1.25	40	0
1	45	20	0.5	25	1
1	25	1	2	55	1
1	25	20	2	55	-1
1	45	20	2	55	1
1	25	1	0.5	25	1
1	45	1	2	55	-1
1	25	20	2	25	1

7.2.- COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE DESTINTADO CON ULTRASONIDO Y TRADICIONAL.

En la siguiente tabla se presentan los reactivos utilizados en el proceso de destintado con ultrasonido y el proceso de destintado tradicional.

Tabla 1.- Proceso de destintado por Ultrasonido vs proceso de destintado tradicional.

Reactivos Químicos	Proceso De Destintado	Función	Manejo de Material
Hidroxido de sodio	Tradicional	Hinchamiento y dispersión de la fibra	Sin pasta Mecánica
Silicato de sodio	Tradicional	Adherencia, peptizante, alcalinidad y amortiguador, estabilizador de peróxido	Pasta Mecánica, poco entintada
Carbonato de sodio	Tradicional	Alcalinidad, ablandador y amortiguador de agua	Pasta Mecánica poco entintada
Fosfato de sodio o Potasio	Tradicional	Secuestrante de iones metálicos, alcalinidad, amortiguador y detergente	Cualquier tipo de pasta celulósica
Surfactantes no iónicos	Tradicional	Eliminador y dispersor de tinta, emulsificante y solubilizador	Cualquier tipo de pasta celulósica
Solventes	Tradicional	Suavizador de tintas, solvatación	Sin pasta Mecánica
Polímeros hidrofílicos	Tradicional	Antirredepositante, dispersor de tinta	Cualquier tipo de pasta celulósica
Acido graso	Tradicional	Auxiliar en la flotación de tinta	Cualquier tipo de pasta celulósica
Acido clorídrico	Ultrasonido	Disminución del pH en la suspensión fibrosa	Papel de impresión Laser
Agente de dispersión D1600	Ultrasonido	Evita la reposición de la tinta en la fibra en el proceso de flotación	Papel de impresión Laser
Agente de dispersión Istemul 780	Ultrasonido	Evita la reposición de la tinta en el proceso de lavado	Papel de impresión Laser

7.3.- Diagrama metodológico.

La figura 1 se presenta la secuencia experimental del trabajo desarrollado.

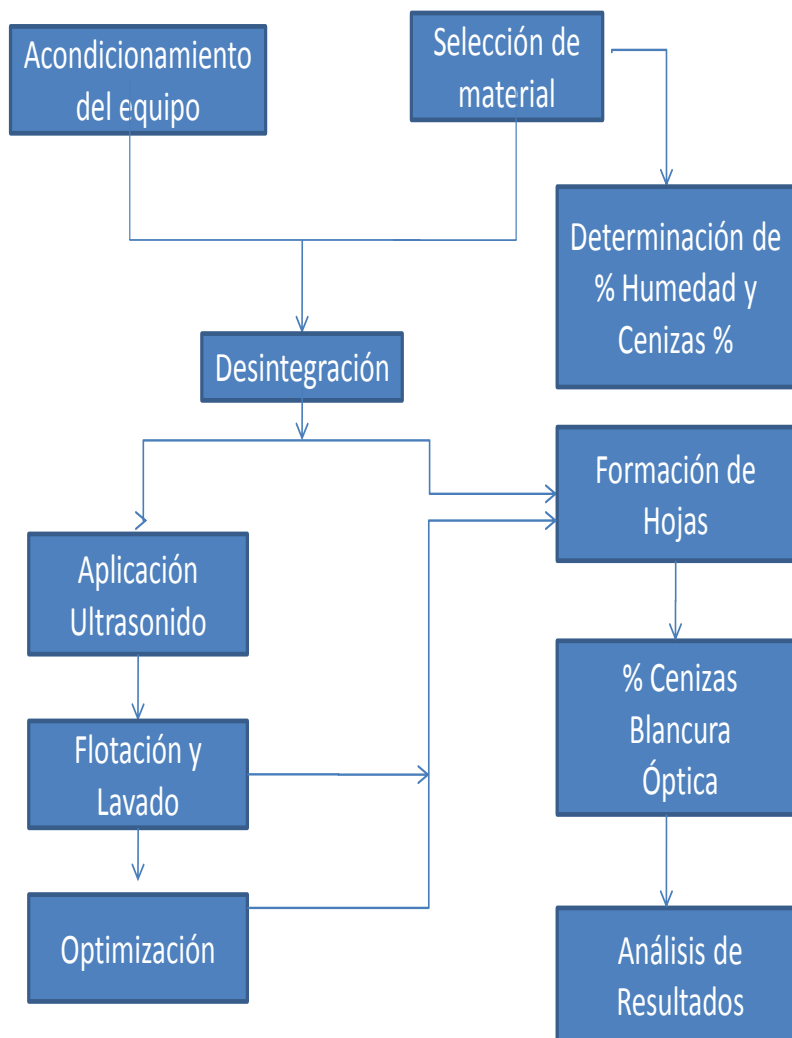


Fig. 1.- Diagrama experimental.

7.4.- Preparación de Material.

El papel de impresión Láser (fig. 2) fue recolectado de las oficinas y cubículos del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, ubicada en Zapopan, Jalisco, México. El papel seleccionado se rasgó manualmente en pedazos de aproximadamente 3 X 2 cm, no utilizando ninguna herramienta de corte.



Fig. 2.- Papel de impresión láser (materia prima).

7.5.- Determinación de la Humedad.

Se tomó una muestra representativa del material ya cortado y se introdujo a una estufa de secado de 105°C +/- 3°C hasta peso constante, y se determinó su contenido de humedad por diferencia de peso (TAPPI T cm-99).



Fig. 3.- Balanza analítica (determinación de peso en la muestra).

7.6.- Proceso de Desintegración.

7.6.1.- Desintegrador.

El equipo de desintegración consta de un cilindro removible, que en su interior contiene cuatro deflectores en forma de espiral y separados uno del otro a una distancia de 51 mm. El agitador se encuentra montado en un motor con 3000 rpm, en la flecha del agitador se encuentran aspas planas en posición horizontal formando un diámetro de 90 mm, como se puede apreciar en la figura 4.



Fig. 4.- Desintegración de la muestra.

Para el proceso de Desintegración se tomó una muestra 25 gramos base seca de papel ya rasgado, los cuales se introdujeron al equipo con 2 litros de agua obteniéndose una consistencia de 1.5%, con un tiempo de desintegración de 5 minutos. Posteriormente se formaron hojas con un peso de 4 gramos base seca, de acuerdo a la norma T 205 SP-95 (TAPPI 2000).



Fig. 5.- Obtención de suspensión fibrosa.

7.7.- Equipo de Ultrasonido.

El equipo utilizado para destintar es un equipo lavador de ultrasonido (marca ELMA), comúnmente usado para lavar material de laboratorio, el cual maneja frecuencias de 25 y 45 khz, tiempo de 1 a 60 minutos, temperaturas de 0 a 100°C y modulaciones de -1 a 1.



Fig. 6.- Equipo de Ultrasonido.

7.7.1- Proceso de Ultrasonido.

En este proceso se aplicó el diseño experimental propuesto utilizando la suspensión fibrosa obtenida del proceso de Desintegración para definir los diferentes tratamientos con los factores: consistencia, pH, temperatura, tiempo, frecuencia y modulación determinados de acuerdo al diseño experimental utilizado en la investigación.

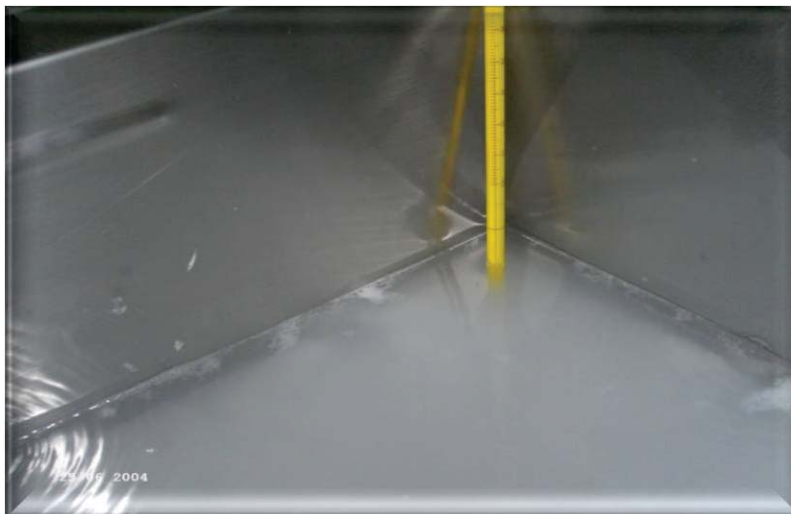


Fig. 7.- Suspensión fibrosa en proceso de Ultrasonido.

7.8.- Destintado por flotación de la muestra tratada por ultrasonido.

A la suspensión obtenida del proceso de Ultrasonido se le aplicó un proceso de destintado tradicional de flotación, en el cual la suspensión fue preparada a una consistencia de 0.8 % de concentración para lograr el perfecto funcionamiento de la respectiva celda de flotación, con la aplicación de 10 mililitros de surfactante (DIN 685) y un tiempo de proceso de 10 minutos, posteriormente se elaboraron las respectivas hojas con un peso de 4 gramos base seca, cuyo método se discutirá a detalle posteriormente.



Fig. 8.- Celda de Flotación.

La celda de flotación (fig. 8) está formado por un recipiente de 1600 mililitros de capacidad, con un alimentador de aire en la parte inferior de la celda, con un flujo de alimentación de aire de 60 +/- 5 litros/minuto, agitación de 1200 +/- 60 rpm.



Fig. 9.- Suspensión fibrosa en proceso de Flotación.

7.9.- Destintado por lavado de la muestra tratada por ultrasonido.

A la suspensión resultante de los tres procesos anteriores se le redujo la consistencia a 0.4 % agregando agua y se le aplicó un proceso de destinado tradicional de Lavado, aplicando 10 mililitros de surfactante (ISTEMUL 780), los cuales fueron aplicados al inicio del proceso de lavado, al igual que el suministro de agua de un litro por minuto durante 10 minutos que dura el proceso.



Fig. 10.- Celda de Lavado.

La celda (Degussa) tiene una capacidad de 16,562 cm³, con un orificio de diámetro de 1.3 cm, en el centro de esta unidad se coloca la celda de lavado 5 litros, con una abertura en cada lado de 12 x 12 cm, la cual está cubierta por una malla 200, además cuenta con un tapa con un orificio de 10.5 cm de diámetro por donde se introduce el agitador.



Fig. 11.- Suspensión fibrosa en proceso de Lavado.

7.10.- Formador de hojas.

Las hojas se formaron con un peso base seca de 4 gramos, las cuales se hicieron bajo la norma T 218 SP-97.



Fig. 12.- Formación de Hojas.

Se utilizó un embudo Büchner (fig. 12) colocando en el mismo un papel filtro de drenado rápido con un diámetro de 150 mm. Se vierte la muestra de suspensión fibrosa obtenida de cada proceso realizado, aplicando succión por medio de una bomba de vacío, para posteriormente cuantificar las manchas en micras.



Fig. 13.- Prensado de Hojas.

7.11.- Cenizas de la pulpa tratada.

Para la determinación del porcentaje de Cenizas se uso la norma estándar T 413 om-93. Se pesa una muestra de 3 gramos libre de humedad de la pulpa obtenidas en los procesos, y se calcinó con un mechero con una flama baja hasta la eliminación de los compuestos orgánicos, posteriormente se introdujo la muestra ya calcinada a una mufla (fig. 14) a una temperatura de $575^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ por 3 horas.



Fig. 14.- Mufla Lindberg/Blue.

Al término de este tiempo la muestra se extrajo de la mufla (fig. 15) y se depositó en un desecador por 45 minutos y posteriormente se pesó y se evaluó el contenido de cenizas expresado como porcentaje.



Fig. 15.- Obtención de cenizas.

7.12.- Blancura de las hojas formadas.

Las determinaciones de blancuras de las hojas formadas se realizó por separado en cada proceso, se analizaron por grupos, en un espectrofotómetro Elrepho de serie 3000 (fig. 18). El instrumento reporta resultados de reflectancia a intervalos de 10 nm. La blancura se determina por Factor de Reflexión a 457 nm.



Fig. 16.- Espectrofotómetro Elrepho.

7.13.- Características Ópticas.

Consiste en determinar la tinta residual, evaluada por el número de tamaño de puntos negros en las hojas de papel, y la blancura. La tinta residual se avaluó con un equipo Dot Counter. Al introducirse las hojas respectivas de cada proceso, se obtuvieron las cantidades de partículas por metro cuadrado de acuerdo a su tamaño en micras.

El equipo consta de un scanner con una computadora, en donde el programa analiza las hojas, reportando datos de tamaño de partícula de tinta, el área de escaneo de análisis es de 100 cm².



Fig. 17.- Equipo Dot Counter.

7.14.- Comparación de Blancuras.

Las blancuras obtenidas de los cuatro procesos se compararon, y se determinó la influencia que tiene los factores que se utilizaron en el proceso de ultrasonido con respecto a las blancuras que se obtuvieron, comparando también con la blancura del papel reciclado original, que es la referencia.

Los datos de las blancuras fueron obtenidos de las hojas elaboradas a partir de la suspensión fibrosa proveniente de cada uno de los procesos efectuados.

8.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN (Proceso de ultrasonido).

Los resultados se obtuvieron a partir de un diseño factorial 2^{5-1} con dos puntos centrales, teniendo como objetivo el disminuir el tamaño de las partículas de tinta con los rangos de 50 a 100 micras y 100 a 150 micras, para facilitar la eliminación de estas en procesos de destintado tradicionales: Flotación y Lavado.

Los resultados obtenidos se reportan de acuerdo a la cantidad de partículas de tinta por metro cuadrado con respecto a su tamaño en micras.

8.1.- Cenizas.

Para el caso del análisis de varianza (ANOVA) se presenta la siguiente tabla, en la cual se puede observar que ninguno de los factores es significativo para esta variable de respuesta, con respecto a partículas de tinta de 50 a 100 micras. Arrojando valores en la columna del valor P que sobrepasan el valor fijo establecido de (0.05).

Este resultado es favorable, ya que es este caso no se pretende obtener un valor alto, sino más bien un valor mínimo, lo que significa que se ha eliminado tinta. Por tanto, contrario a lo tradicional, se espera que mayores valores de P menor valor de ceniza, por lo que todos los factores son importantes para el destintado, siendo el que mayor valor de P proporciona es el factor A: frecuencia.

Tabla 2.- ANOVA para la variable de respuesta Cenizas de 50-100 micras.

Análisis de la Varianza para cenizas					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: frecuencia	0.011433	1	0.011433	0.00	0.9898
B: tiempo	0.0835644	1	0.0835644	0.00	0.9725
C: consistencia	2.80755	1	2.80755	0.05	0.8424
D: temperatura	0.263965	1	0.263965	0.00	0.9511
E: modulación	6.50518	1	6.50518	0.12	0.7639
AB	0.558196	1	0.558196	0.01	0.9290
AC	0.633497	1	0.633497	0.01	0.9244
AD	12.2166	1	12.2166	0.22	0.6841
AE	0.0149879	1	0.0149879	0.00	0.9883
BC	6.91046	1	6.91046	0.13	0.7571
BD	1.27154	1	1.27154	0.02	0.8932
BE	0.720249	1	0.720249	0.01	0.9194
CD	0.0157565	1	0.0157565	0.00	0.9880
CE	0.0199022	1	0.0199022	0.00	0.9866
DE	0.00475755	1	0.00475755	0.00	0.9934
Error Total	110.19	2	55.0952		
Total (corr.)	142.228	17			

De manera similar, reforzando la anterior argumento según la gráfica de Pareto ninguno de los factores utilizados influye de manera pronunciada con respecto a la variable de respuesta de cenizas como lo señala el anova (Tabla 1), siendo de nuevo frecuencia la que provoca menor contenido de cenizas ya que es la de menor significancia por tanto menos cenizas.

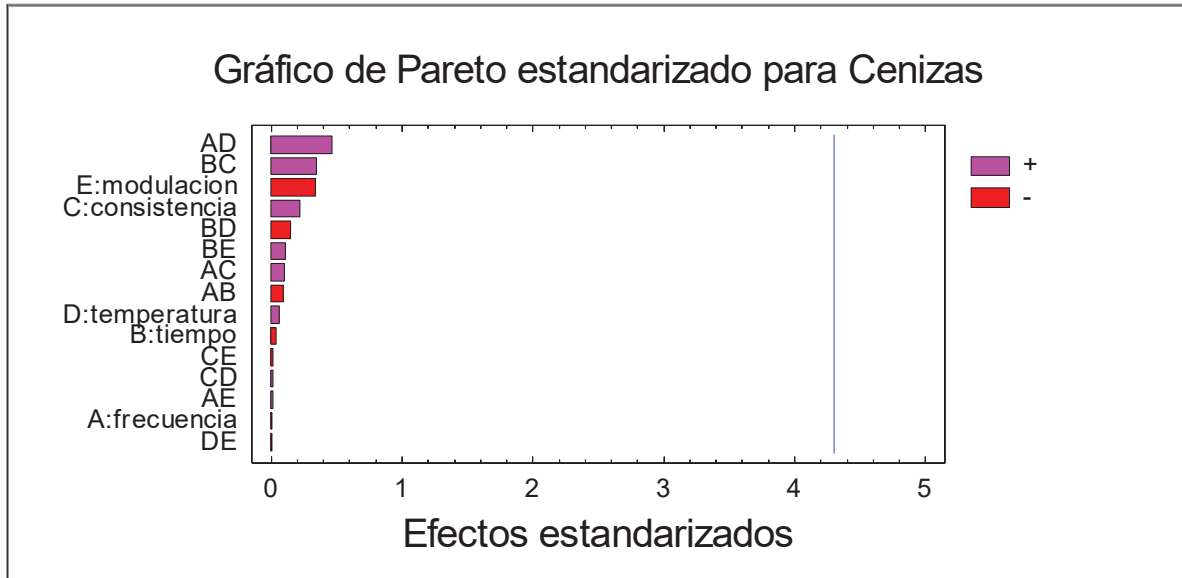


Fig. 18.- Gráfica de Pareto para rango de 50-100 micras (Cenizas).

En la tabla se presenta el análisis de los efectos individuales, se aprecia lo siguiente. A mayor frecuencia disminuye el contenido de cenizas. A mayor tiempo menos cenizas, a menor consistencia menos cenizas, a menor temperatura menos ceniza, a mayor modulación menos ceniza, aunque estadísticamente no son significativos.

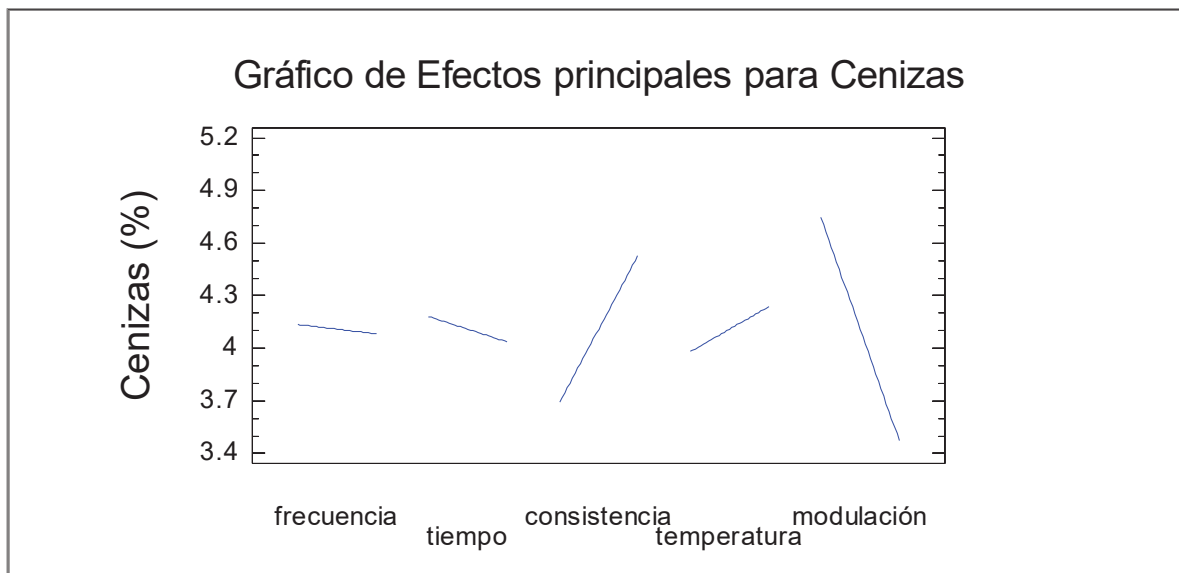


Fig. 19.- Gráfica de efectos principales (Cenizas).

La gráfica de superficie de respuesta nos presenta que comportamiento tienen los factores para el descenso del % de cenizas. El menor contenido de cenizas, se logra a mayor frecuencia y tiempo, siendo optimo a 45 khz y 20 minutos, a una consistencia de 2.0%, 40°C y modulación de cero.

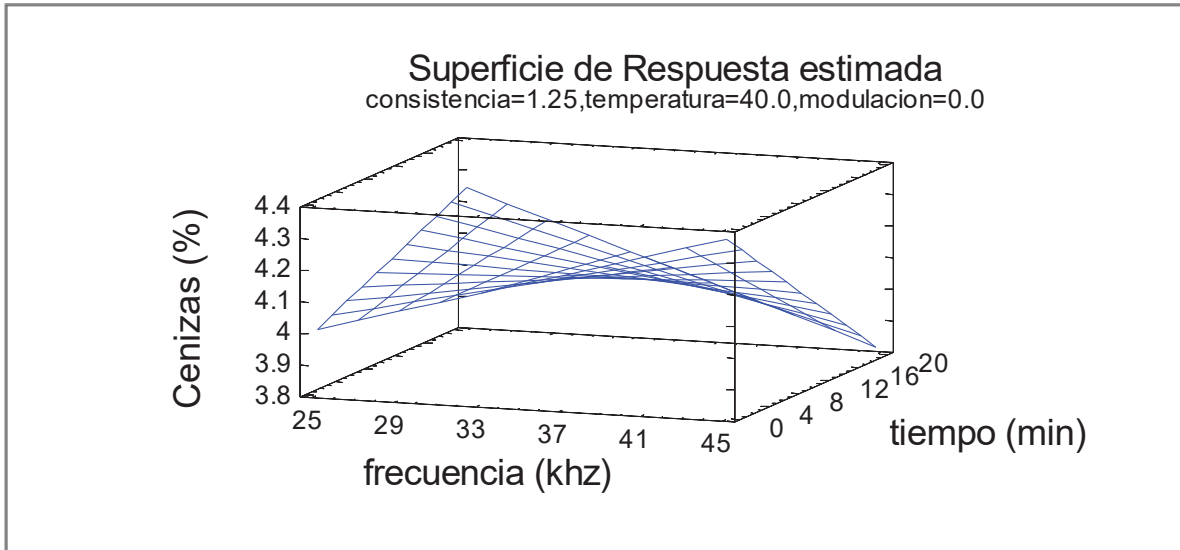


Fig. 20.- Gráfica de superficie de respuesta (Cenizas).

Las condiciones óptimas para maximizar o minimizar el contenido de cenizas se presentan en las Tablas 2 y 3, siendo esta ultima una de las más importantes, ya que con base a la menor cantidad de % de cenizas obtenida, se logra disminuir la cantidad de partículas de tinta así como una blancura mayor. Cómo se ha indica en la tabla 3 de respuesta optimizada.

Tabla 3.- Respuesta optimizada de cenizas (maximizar).

Respuesta Optimizada			
Meta: maximizar cenizas			
Valor Optimo = 6.48914			
Factor	Inferior	Mayor	Optimo
frecuencia	25.0	45.0	45.0
tiempo	1.0	20.0	1.0
consistencia	0.5	2.0	2.0
temperatura	25.0	55.0	55.0
modulacion	-1.0	1.0	-1.0

Tabla 4.- Respuesta optimizada de cenizas (minimizar).

Respuesta Optimizada			

Meta: minimizar cenizas			
Valor Optimo = 1.51674			
Factor	Inferior	Mayor	Optimo

frecuencia	25.0	45.0	45.0
tiempo	1.0	20.0	20.0
consistencia	0.5	2.0	0.5
temperatura	25.0	55.0	25.0
modulacion	-1.0	1.0	1.0

8.2.- Blancura.

El análisis de varianza (ANOVA) para el caso de la variable de respuesta blancura, nos presenta que los factores utilizados no son significativos, es decir que no influyen sobre la variable de respuesta, por lo que se acepta la hipótesis planteada.

Aunque la combinación de CE (consistencia-modulación) es la de menor de la columna del P, por tanto la de mayor efecto sobre la blancura. Individualmente el mayor efecto sobre la blancura es la consistencia y a continuación la modulación.

Tabla 5.- ANOVA para la variable de respuesta (Blancura).

Análisis de la Varianza para blancura					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: frecuencia	0.0081	1	0.0081	0.00	0.9561
B: tiempo	0.837225	1	0.837225	0.40	0.5922
C: consistencia	2.6244	1	2.6244	1.25	0.3798
D: temperatura	1.7956	1	1.7956	0.86	0.4526
E: modulación	2.1904	1	2.1904	1.04	0.4144
AB	0.2025	1	0.2025	0.10	0.7855
AC	1.91823	1	1.91823	0.91	0.4400
AD	6.99602	1	6.99602	3.33	0.2094
AE	1.78222	1	1.78222	0.85	0.4541
BC	14.44	1	14.44	6.88	0.1198
BD	0.5041	1	0.5041	0.24	0.6726
BE	0.6241	1	0.6241	0.30	0.6402
CD	2.64062	1	2.64062	1.26	0.3786
CE	16.04	1	16.04	7.64	0.1097
DE	0.172225	1	0.172225	0.08	0.8015
Error Total	4.19767	2	2.09884		
Total (corr.)	56.9734	17			

La siguiente gráfica de Pareto, se observa que ninguno de los factores manejados es significativo, como lo señala el ANOVA de la tabla 4., pero se aprecia de forma evidente que la combinación CE y la consistencia, son los de mayor efecto.

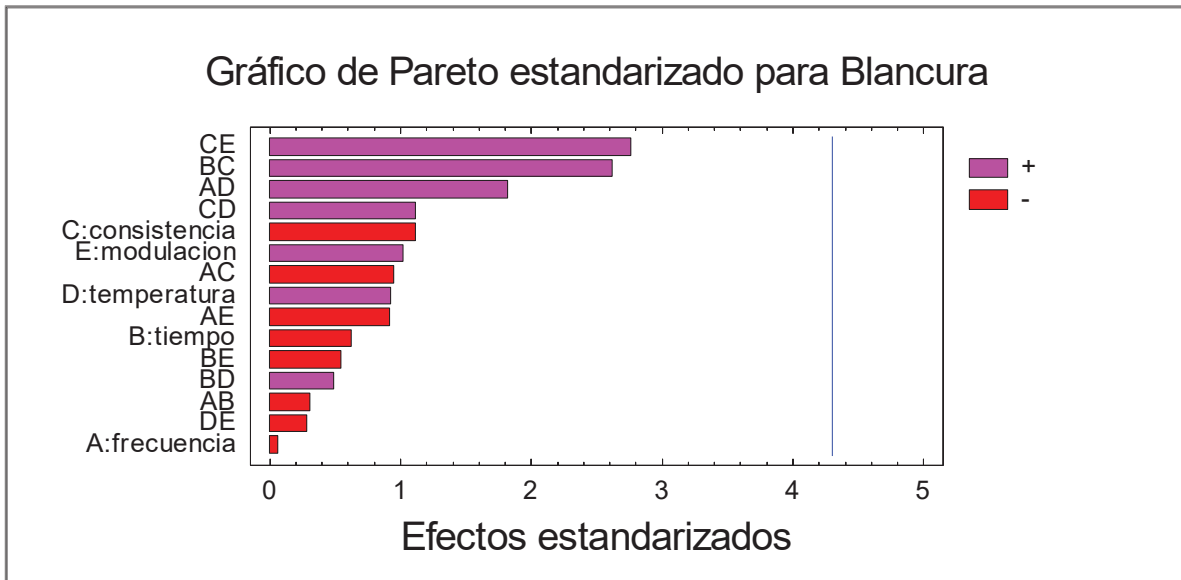


Fig. 21.- Gráfica de Pareto para rango de 50- 100 micras (Blancura).

En la siguiente figura se observan los efectos principales para la variable de respuesta Blancura con respecto al rango de partículas de 50 a 100 micras. Se observa que a menor frecuencia mayor blancura, a menor consistencia mayor blancura, a mayor temperatura mayor blancura, a mayor modulación mayor blancura.

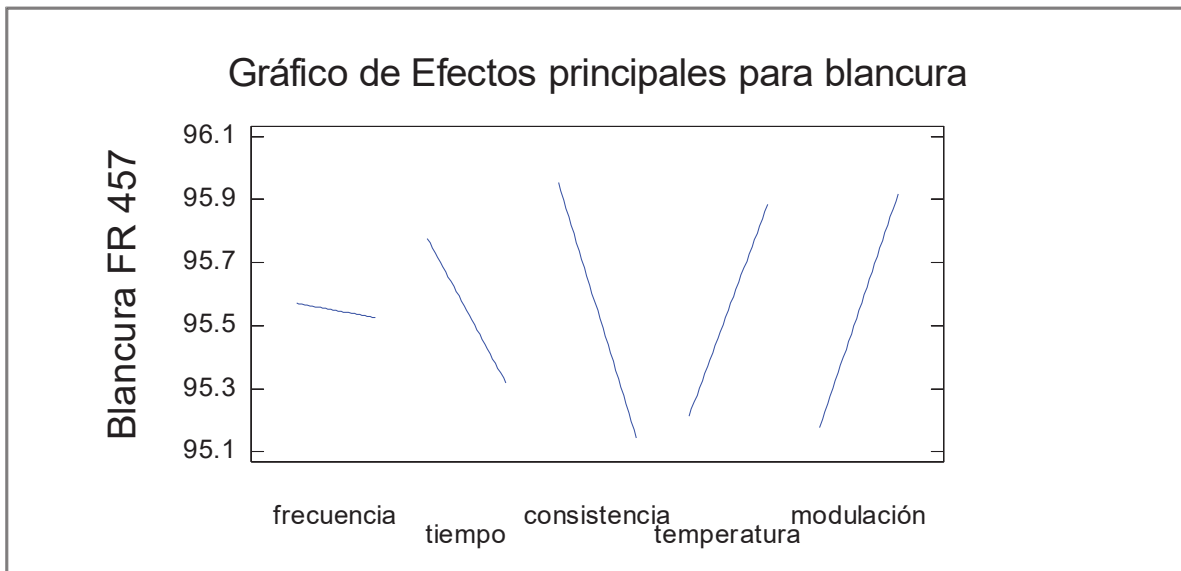


Fig. 22.- Gráfica de efectos principales para rango de 50-100 micras (Blancura).

La figura 23 nos proporciona la superficie de respuesta. La blancura se incrementa aumentando la frecuencia y disminuyendo el tiempo.

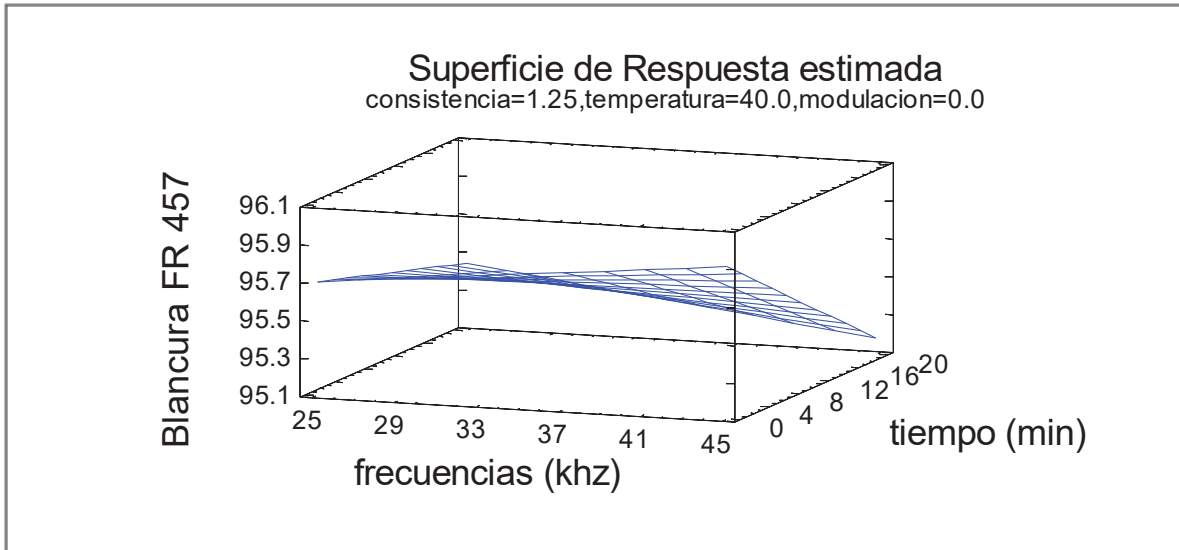


Fig. 23.- Gráfica de superficie de respuesta para rango de 50-100 micras (Blancura).

Para el caso de la optimización de la variable de respuesta blancura, la siguiente tabla nos da ha conocer que para maximizar la blancura de 98.8 es recomendable trabajar los factores de la siguiente manera.

Tabla 6.- Respuesta optimizada de Blancura.

Respuesta Optimizada			
Meta: maximizar blancura			
Valor Optimo = 98.8054			
Factor	Inferior	Mayor	Optimo
frecuencia	25.0	45.0	45.0
tiempo	1.0	20.0	1.05719
consistencia	0.5	2.0	0.504381
temperatura	25.0	55.0	54.1981
modulacion	-1.0	1.0	-1.0

Con respecto a la blancura, Turai y Teng reportan que obtuvieron una blancura mayor utilizando frecuencias de 24 khz siendo este valor el mayor del parámetro que utilizaron, por otro lado Ramírez 2004 reporta una blancura de 93.64 siendo este el mayor valor obtenido manejando una frecuencia de 40 khz. Aunque en esta parte de la investigación ninguno de los factores influye en el aumento de la variable de respuesta blancura, si existe una tendencia del valor más alto de la frecuencia manejado, sin embargo no es significativo pero arroja un valor de 98.8, estando por encima de los reportados por los autores ya mencionados.

8.3.- Evaluación óptica (partículas de rango 50-100 micras).

La tabla 6 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la cantidad y tamaño de puntos de tinta y de acuerdo con los valores que genera la columna del valor P, nos indica que los factores que son menores al estándar de 0.05, son la frecuencia, la consistencia, la temperatura y las interacciones AC, AD Y BC, por lo que se llega a la determinación que la hipótesis que se plantea se descarta, es decir que estos efectos son significativos con respecto a la variable de respuesta de la óptica.

Tabla 7.- ANOVA para la variable de respuesta (Óptica).

Análisis de la Varianza para optica					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: frecuencia	186408.0	1	186408.0	61.79	0.0158
B: tiempo	4064.06	1	4064.06	1.35	0.3656
C: consistencia	107420.0	1	107420.0	35.61	0.0270
D: temperatura	102240.0	1	102240.0	33.89	0.0283
E: modulacion	1072.56	1	1072.56	0.36	0.6115
AB	76.5625	1	76.5625	0.03	0.8881
AC	79665.1	1	79665.1	26.41	0.0358
AD	104491.0	1	104491.0	34.63	0.0277
AE	9850.56	1	9850.56	3.27	0.2125
BC	65920.6	1	65920.6	21.85	0.0428
BD	6601.56	1	6601.56	2.19	0.2772
BE	8789.06	1	8789.06	2.91	0.2300
CD	15687.6	1	15687.6	5.20	0.1502
CE	29842.6	1	29842.6	9.89	0.0880
DE	2943.06	1	2943.06	0.98	0.4274
Error Total	6033.84	2	3016.92		
Total (corr.)	731106.0	17			

La variable de mayor efecto es la frecuencia con un valor P de 0.0158. El objetivo es obtener la mayor cantidad de puntos de tinta pequeños en el rango de 50-100 micras.

La gráfica de Pareto que a continuación se presenta, se puede observar la influencia de determinados factores en el incremento de partículas de rango de 50 a 100 micras, los factores como la frecuencia, la consistencia, la combinación de frecuencia y temperatura, así como lo señala el ANOVA de la tabla 6.

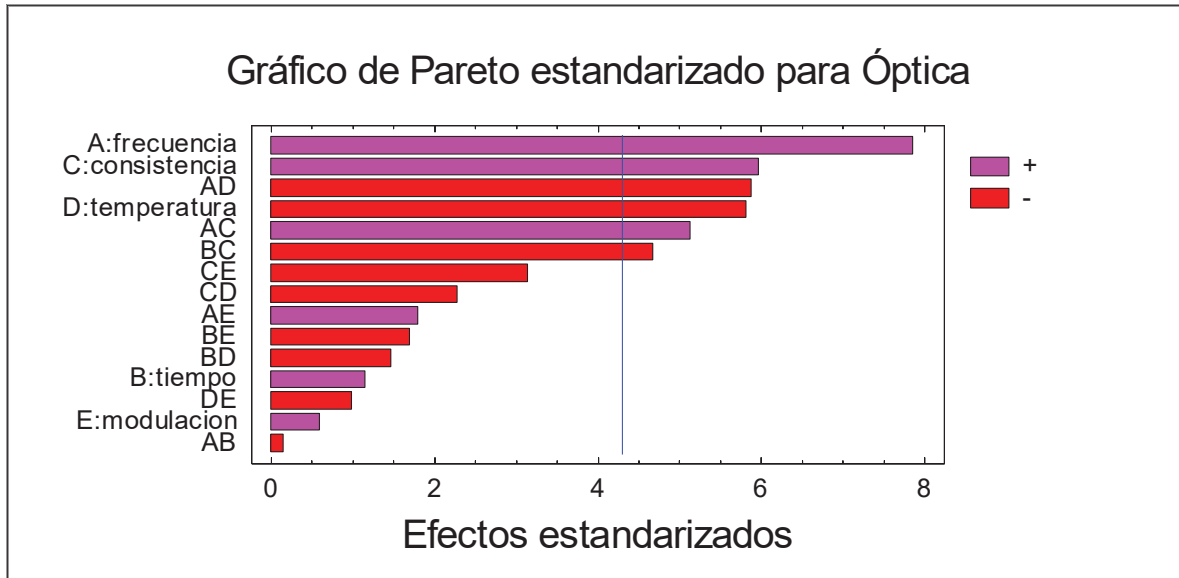


Fig. 24.- Gráfica de Pareto para rango de 50-100 micras (óptica).

En los efectos principales se aprecia con que valor del rango se proporcionan mayor influencia para obtener una mayor cantidad de partículas de tinta en el rango de 50 a 100 micras, como lo presenta el ANOVA de la tabla 6.

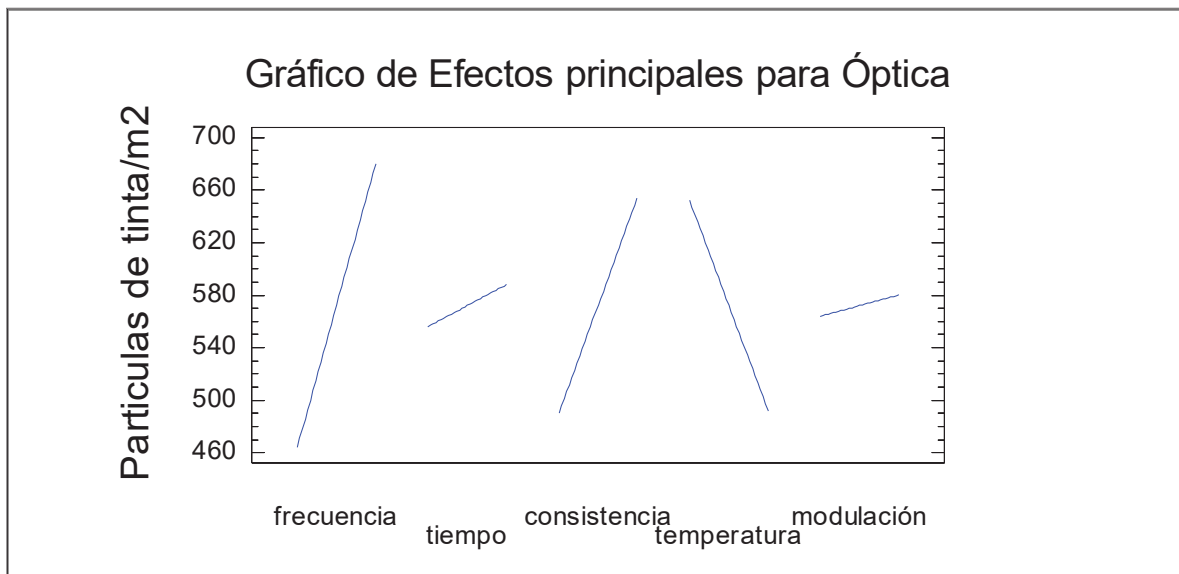


Fig. 25.- Gráfica de efectos principales para rango de 50 a 100 micras (Óptica).

La gráfica de superficie de respuesta presenta el comportamiento de los factores en el incremento de las partículas por metro cuadrado en el rango de 50 a 100 micras, indicándonos que para que se aumente la cantidad de partículas de este rango de tamaño se debe aumentar la frecuencia, sin que el tiempo tenga un efecto significativo.

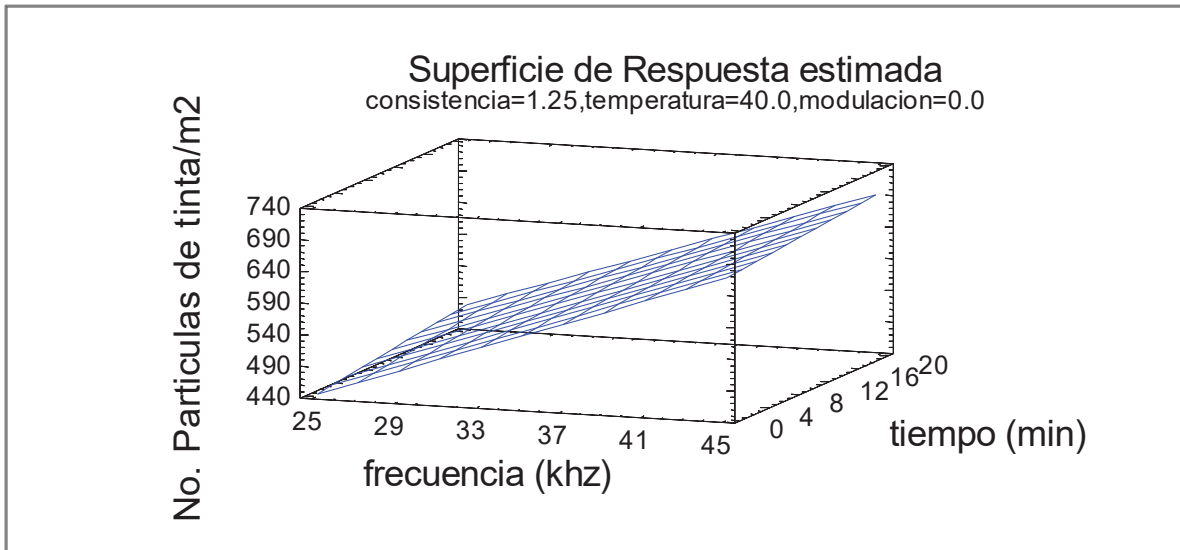


Fig. 26.- Gráfica de superficie de respuesta para rango 50-100 micras (óptica).

La tabla 7 nos presenta la respuesta óptima, es decir con que factores se puede trabajar para lograr una óptica de mejores resultados. Teniendo que los factores que se deben manejar son frecuencias de 45 khz, tiempo de un minuto, consistencias de 2 %, con temperaturas de 25 grados y modulaciones de 1. Todo esto con el fin de optimizar la variable de respuesta óptica, en el sentido de lograr puntos de tinta de tamaño menor en el rango 50-100 micras.

Tabla 8.- Respuesta optimizada de Evaluación óptica.

Respuesta Optimizada			
Meta: maximizar optica			
Valor Optimo = 1081.55			
Factor	Inferior	Mayor	Optimo
frecuencia	25.0	45.0	45.0
tiempo	1.0	20.0	1.0
consistencia	0.5	2.0	2.0
temperatura	25.0	55.0	25.0
modulacion	-1.0	1.0	1.0

En el caso de la variable de respuesta óptica (puntos de 50-100 micras) los valores manejados de los factores que generan una influencia en la generación de partículas de 50 a 100 micras tienden hacer opuestas a las que reporta Ramírez 2004. Por otro lado

Norman y Col. (29) y Sell Col. (30) coinciden con la utilización de frecuencias altas (57 khz) para generar mayor cantidad de partículas de menor tamaño.

9.- COMPORTAMIENTO DE PARTICULAS DE TINTA DE RANGO DE 100 A 150 MICRAS DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO.

9.1.- Evaluación óptica.

La tabla 8 presenta el análisis de varianza (ANOVA) observando que en la columna del valor de P, en donde los valores que corresponden a los factores de frecuencia, consistencia y temperatura, son menores al valor establecido, esto quiere decir que estos efectos son significativos sobre la óptica, para el rango de partículas de tamaño de 100 a 150 micras.

Tabla 9.- ANOVA para la variable de respuesta (Óptica).

Análisis de la Varianza para optica					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: frecuencia	32580.3	1	32580.3	131.72	0.0075
B: tiempo	306.25	1	306.25	1.24	0.3816
C: consistencia	58564.0	1	58564.0	236.77	0.0042
D: temperatura	25760.3	1	25760.3	104.15	0.0095
E: modulacion	1369.0	1	1369.0	5.53	0.1429
AB	42.25	1	42.25	0.17	0.7195
AC	16384.0	1	16384.0	66.24	0.0148
AD	9900.25	1	9900.25	40.03	0.0241
AE	7569.0	1	7569.0	30.60	0.0312
BC	12544.0	1	12544.0	50.71	0.0192
BD	182.25	1	182.25	0.74	0.4811
BE	3025.0	1	3025.0	12.23	0.0729
CD	5329.0	1	5329.0	21.54	0.0434
CE	1332.25	1	1332.25	5.39	0.1461
DE	3364.0	1	3364.0	13.60	0.0663
Error Total	494.694	2	247.347		
Total (corr.)	178746.0	17			

La gráfica de Pareto que se presenta enseguida, nos indica que factores son los más influyentes para lograr un incremento en las partículas de tinta por metro cuadrado en el rango de 100 a 150 micras, siendo la frecuencia, consistencia y la temperatura así como las combinaciones que se observa en el ANOVA de la tabla 8.

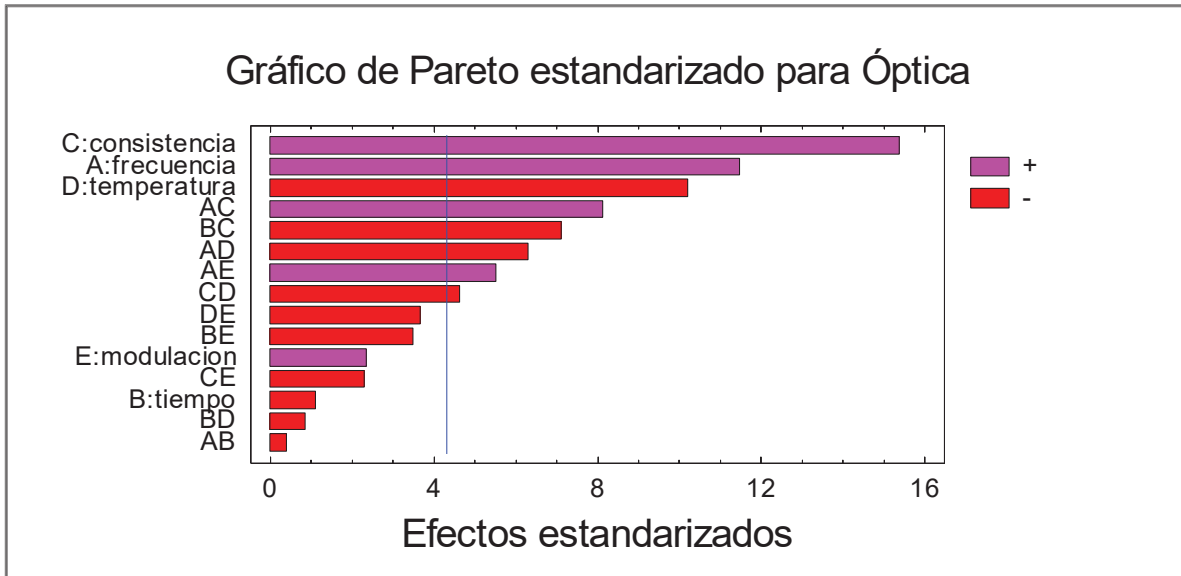


Fig. 27.- Gráfica de Pareto de rango 100-150 micras (Óptica).

En la siguiente figura de efectos principales se observa que para obtener un número más elevado de partículas de tintas de rango de 100 a 150 micras se debe de trabajar con los siguientes factores: frecuencias altas, tiempos bajos, consistencias altas, temperaturas bajas y modulaciones altas.

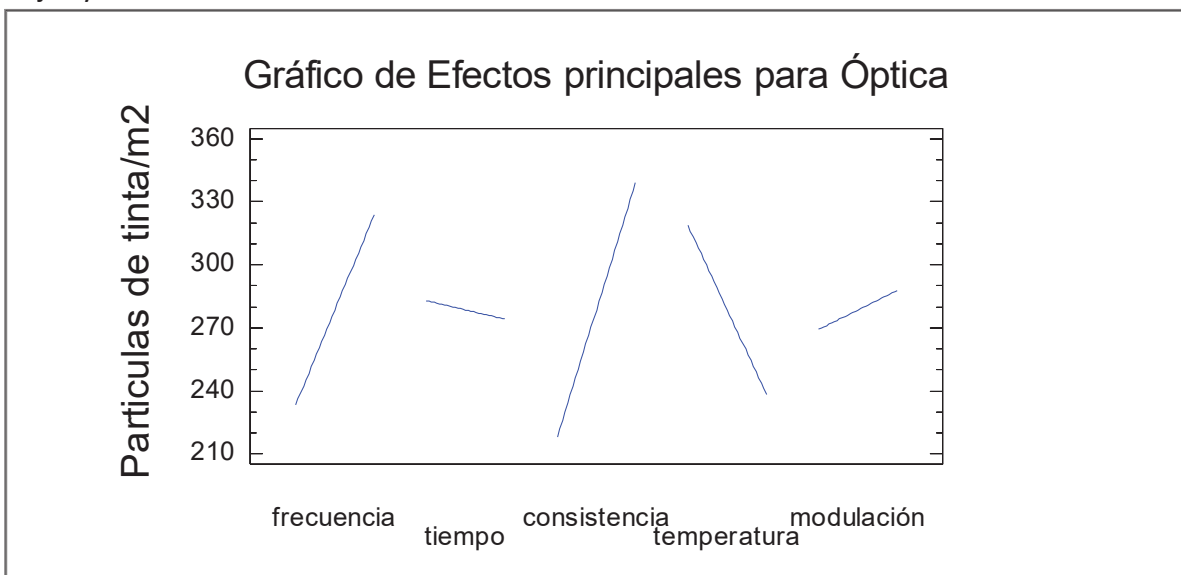


Fig. 28.- Gráfica de efectos principales (óptica).

La figura 29 de superficie de respuesta nos presenta el comportamiento de los factores para generar partículas de tinta por metro cuadrado en el rango de 100 a 150 micras, lo cual se logra aumentando la frecuencia considerando que el tiempo no tiene mayor efecto sobre este propósito.

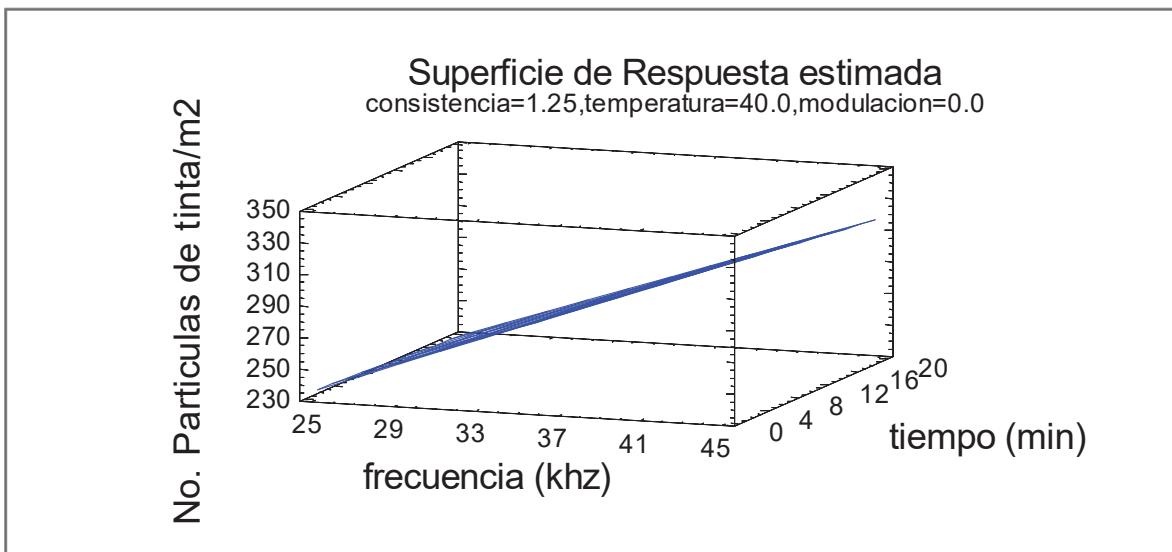


Fig. 29.- Gráfica de superficie de respuesta (óptica).

Para la variable de respuesta óptica, para lograr una optimización de esta variable de respuesta para el rango del tamaño de partículas de tinta de 100 a 150 micras, se logra con 45 khz, 1 minuto, 2% en consistencia, 25°C y modulación de 1.0

Tabla 10.- Respuesta optimizada de Evaluación óptica.

Respuesta Optimizada			
Meta: maximizar optica			
Valor Optimo = 580.181			
Factor	Inferior	Mayor	Opt imo
frecuencia	25.0	45.0	45.0
tiempo	1.0	20.0	1.0
consistencia	0.5	2.0	2.0
temperatura	25.0	55.0	25.0
modulacion	-1.0	1.0	1.0

Haciendo una comparación con los factores que influyen de manera directa en la generación de partículas de tinta tanto para el rango de 50 – 100 y el de 100 – 150 micras, se concluye que la frecuencia, la consistencia al igual que la temperatura son los factores más influyentes en esta variable de respuesta (óptica). Manejando en ambos casos frecuencia, consistencia altas y temperatura baja, reportando Ramírez 2004 que con la utilización de consistencias bajas y temperaturas altas genera un incremento en las partículas de tinta en el rango de 50 – 100 micras.

10.- DATOS DE BLANCURA OBTENIDOS (DESINTEGRACIÓN, ULTRASONIDO-FLOTACIÓN Y ULTRASONIDO-LAVADO).

10.1.- Blancuras de desintegración.

Los siguientes datos se obtuvieron solo de las hojas que se elaboraron de la suspensión fibrosa del proceso de desintegración, sin haber efectuado ningún tratamiento de la misma.

Tabla 11.- Blancuras del proceso de Desintegración.

No. Corrida	Blancura FR 457
1	93.34
2	95.4
3	96.67
4	97.09
5	98.62
6	97.59
7	98.29
8	97.9
9	101.24
10	97.92
11	97.75
12	98.03
13	97.11
14	84
15	96.39
16	99.19
17	93.08
18	98.9

10.2.- Anova de Blancura para el proceso de Ultrasonido y Flotación.

El análisis de varianza (ANOVA) para el proceso de destintado tradicional (Flotación) previo tratamiento de ultrasonido nos presenta en la tabla 11 que ninguno de los factores que fueron manejados en el proceso de ultrasonido influye sobre la blancura de las hojas elaboradas a partir del proceso de flotación. Sin embargo el factor consistencia tiene el mayor efecto sobre la blancura.

Tabla 12.- Anova de blancura (Flotación).

Análisis de la Varianza para blancura					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: frecuencia	11.3232	1	11.3232	3.58	0.1988
B: tiempo	15.171	1	15.171	4.80	0.1598
C: consistencia	45.2256	1	45.2256	14.32	0.0633
D: temperatura	32.6612	1	32.6612	10.34	0.0846
E: modulacion	8.9401	1	8.9401	2.83	0.2346
AB	7.6176	1	7.6176	2.41	0.2607
AC	3.9601	1	3.9601	1.25	0.3793
AD	6.4516	1	6.4516	2.04	0.2892
AE	0.198025	1	0.198025	0.06	0.8257
BC	23.4256	1	23.4256	7.41	0.1125
BD	43.0336	1	43.0336	13.62	0.0662
BE	17.8506	1	17.8506	5.65	0.1406
CD	0.0256	1	0.0256	0.01	0.9365
CE	29.214	1	29.214	9.25	0.0933
DE	14.1752	1	14.1752	4.49	0.1683
Error Total	6.31845	2	3.15922		
Total (corr.)	265.592	17			

Según la gráfica de Pareto nos presenta que ninguno de los factores que se manejaron es significativo, como se menciono antes, pero cabe mencionar que efectivamente la consistencia y la combinación del tiempo y temperatura, tiene el mayor efecto relativo, como se indica en el tabla 11.

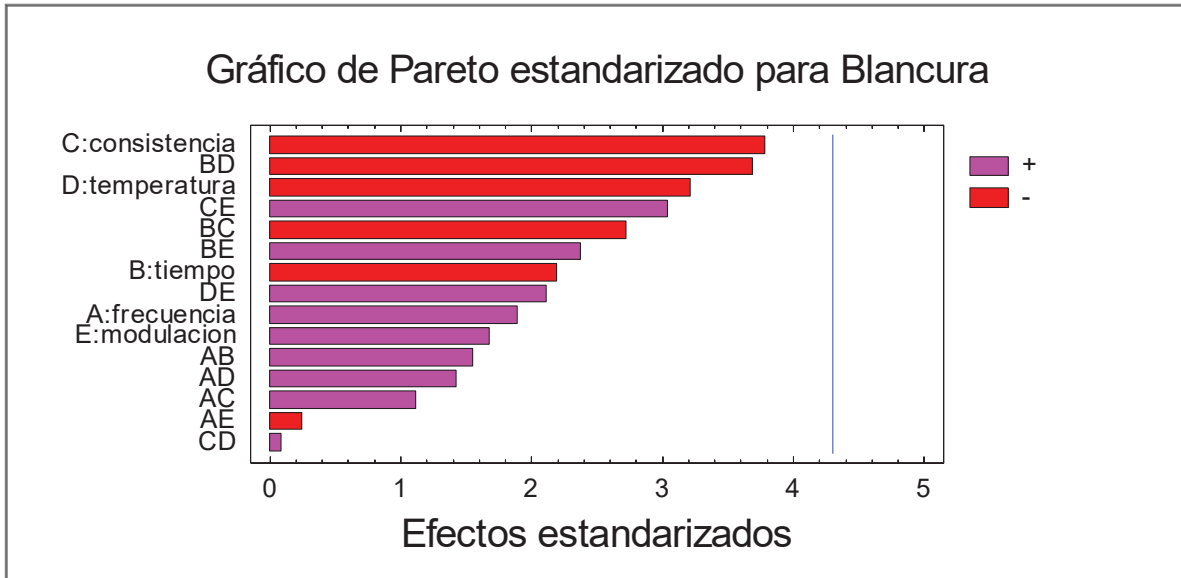


Fig. 30.- Gráfica de Pareto para blancura a partir de flotación.

La figura siguiente de efectos principales para la blancura obtenida a partir del proceso de destintado tradicional (flotación) previo ultrasonido, se aprecia que a mayor frecuencia mayor blancura, a menor tiempo mayor blancura, a menor consistencia menor blancura, a menor temperatura mayor blancura y a mayor modulación mayor blancura.

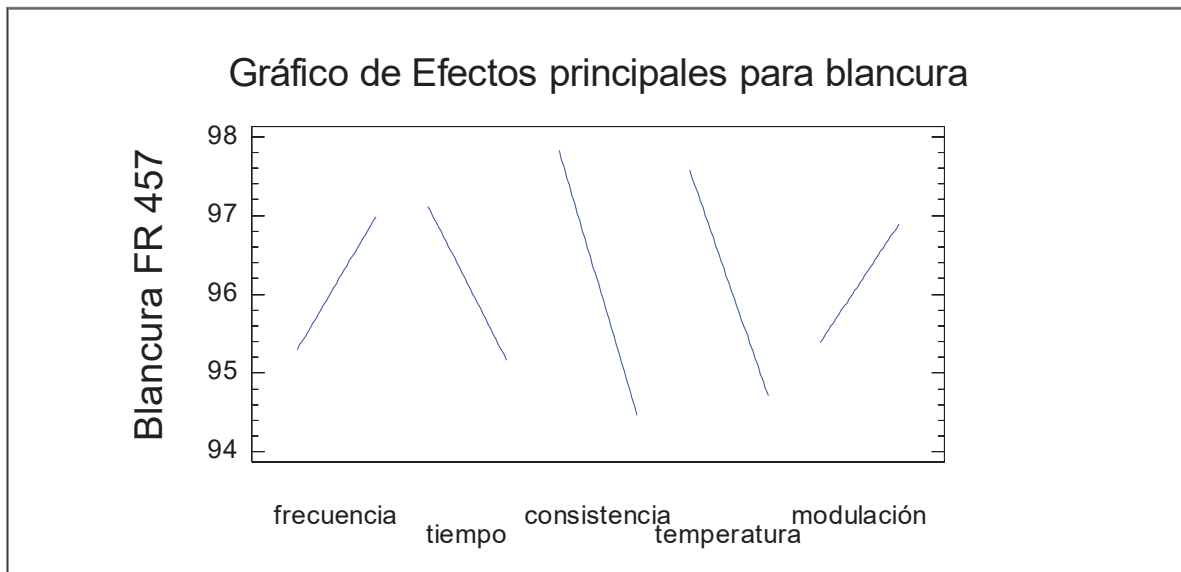


Fig. 31.- Gráfica de efectos principales para blancura a partir de flotación.

La grafica de superficie de respuesta (fig. 32), nos presenta que las blancuras altas que se obtuvieron a partir del proceso de flotación, se reflejaron al trabajar con frecuencia alta y tiempo bajo.

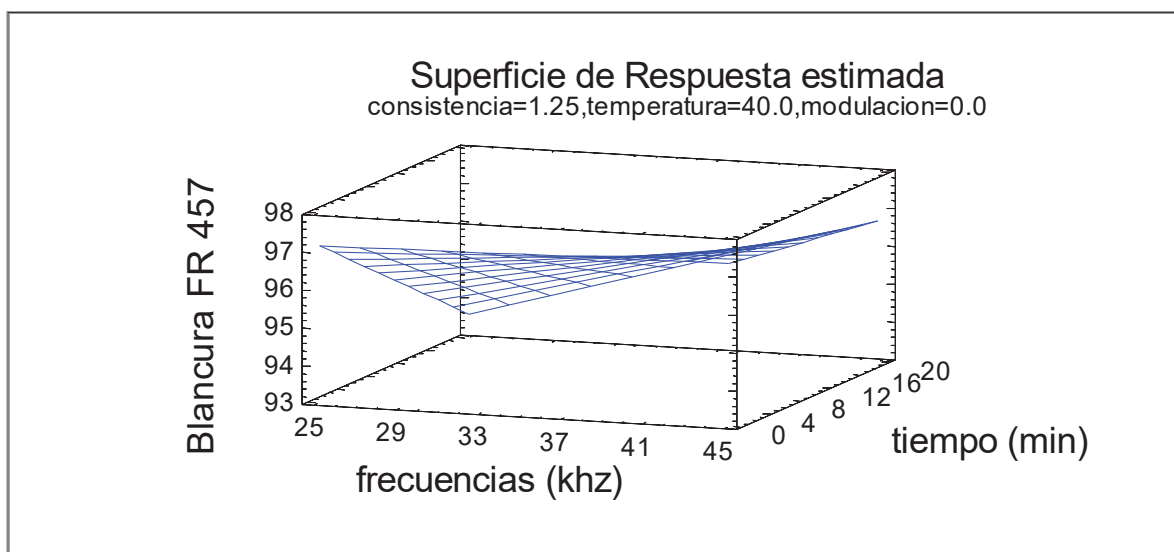


Fig. 32.- Gráfica de superficie de respuesta para blancura a partir de flotación.

La tabla 12 que a continuación se presenta, nos indica con que factores se debe de trabajar para maximizar la blancura a partir del proceso de flotación.

Tabla 13.- Respuesta optimizada.

Respuesta Optimizada			
Meta: maximizar blancura			
Valor Optimo = 102.133			
Factor	Inferior	Mayor	Optimo
frecuencia	25.0	45.0	44.9998
tiempo	1.0	20.0	20.0
consistencia	0.5	2.0	0.50311
temperatura	25.0	55.0	25.0391
modulacion	-1.0	1.0	-0.984322

10.3.- Anova de Blancura para el proceso de Ultrasonido y Lavado.

En la tabla 13 anova de blancura a partir del proceso del lavado, se observa que ninguno de los factores que se utilizaron en el proceso de ultrasonido influye en blancura obtenida a partir del lavado., aunque la variable de mayor efecto relativo es la temperatura.

Tabla 14.- Anova de blancura (Lavado).

Análisis de la Varianza para blancura					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A: frecuencia	1.55003	1	1.55003	0.34	0.6201
B: tiempo	0.16	1	0.16	0.03	0.8692
C: consistencia	5.1984	1	5.1984	1.13	0.3989
D: temperatura	10.4652	1	10.4652	2.28	0.2703
E: modulacion	0.3364	1	0.3364	0.07	0.8121
AB	4.64403	1	4.64403	1.01	0.4206
AC	5.49902	1	5.49902	1.20	0.3881
AD	0.2809	1	0.2809	0.06	0.8278
AE	0.119025	1	0.119025	0.03	0.8869
BC	4.0401	1	4.0401	0.88	0.4474
BD	4.14122	1	4.14122	0.90	0.4426
BE	3.2761	1	3.2761	0.71	0.4873
CD	12.7806	1	12.7806	2.78	0.2373
CE	0.3025	1	0.3025	0.07	0.8215
DE	1.52523	1	1.52523	0.33	0.6227
Error Total	9.18885	2	4.59442		
Total (corr.)	63.5076	17			

La gráfica de Pareto, presenta lo que se puede comprobar en la tabla 13 que en efecto ninguno de los factores que se manejaron en el proceso de ultrasonido influyen, sin embargo la temperatura y la consistencia con sus valores menores en sus parámetros, pretenden tener influencia.

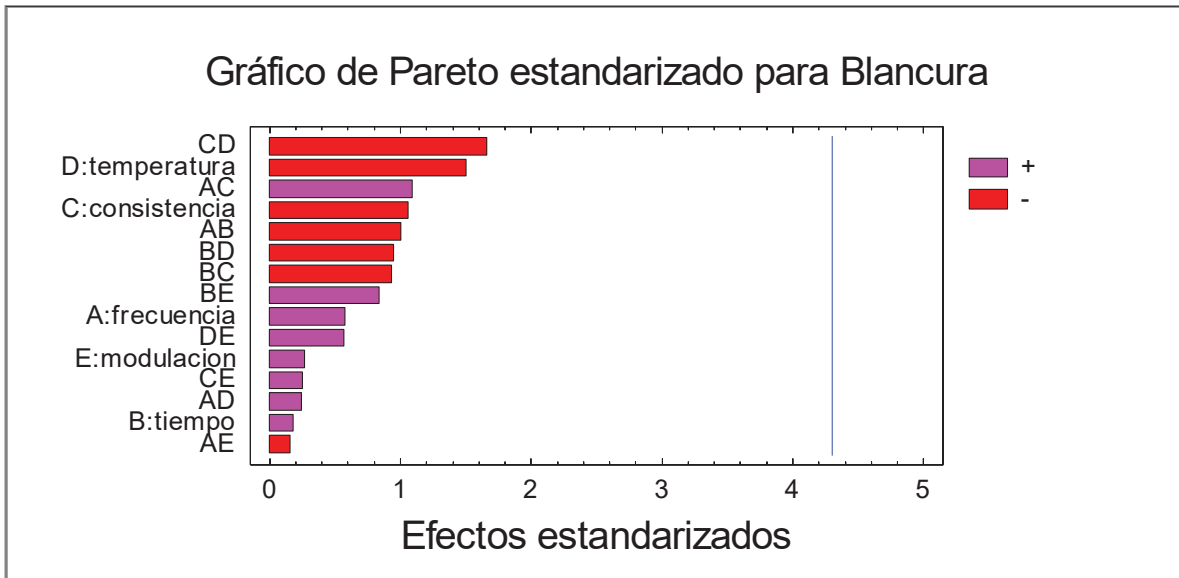


Fig. 33.- Gráfica de Pareto para blancura a partir de lavado.

En figura de efectos principales se aprecia que la blancura se eleva al aumentar la frecuencia, el tiempo, modulación y al disminuir consistencia y temperatura.

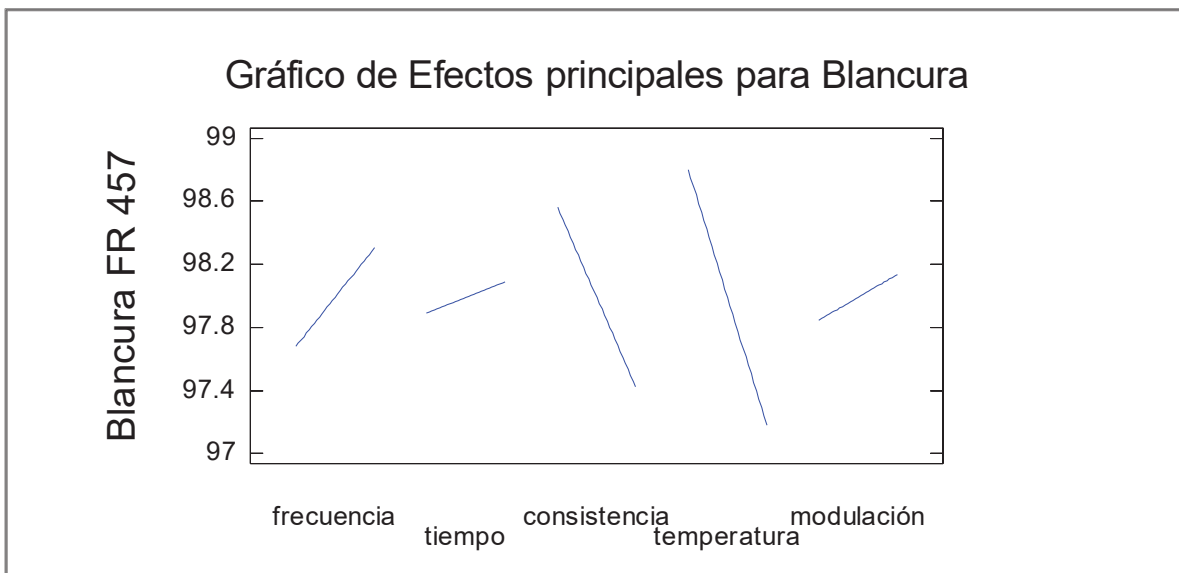


Fig. 34.- Gráfica de efectos principales para blancura a partir de lavado.

La figura 35 presenta con base a la superficie de respuesta, que al trabajar con frecuencia alta y tiempo bajo la blancura que se obtiene después del proceso de lavado tiende a ser elevada.

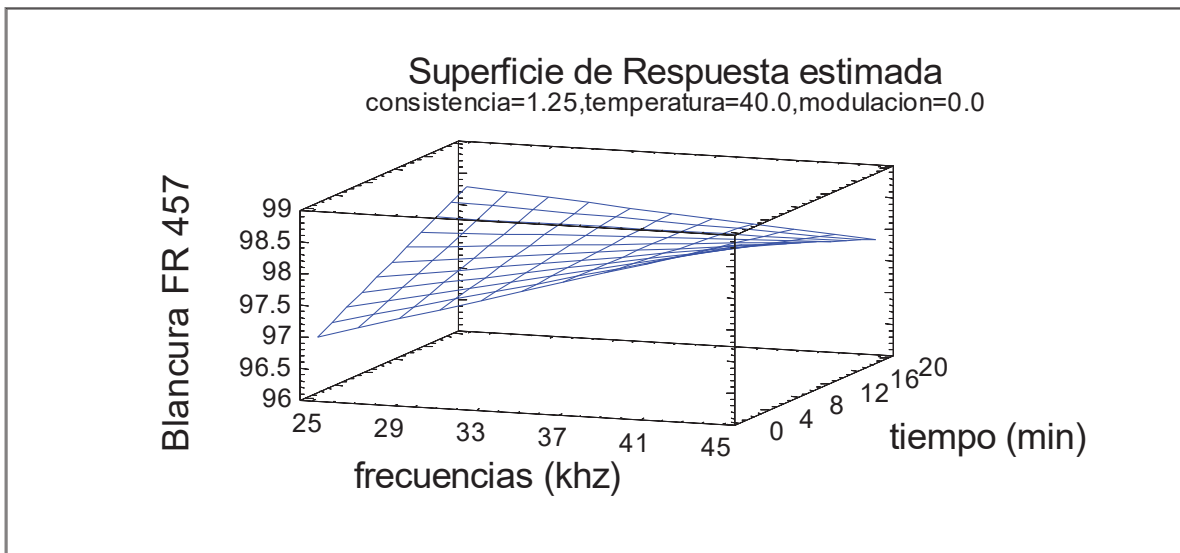


Fig. 35.- Gráfica de superficie de respuesta para blancura a partir de lavado.

Si se pretende que se maximice la blancura después de proceso de ultrasonido y lavado, la tabla 14 de respuesta optimizada nos indica que se requiere del manejo de los valores de los diferentes factores utilizados en el proceso de ultrasonido para que al obtener la blancura posterior al proceso de lavado esta sea con valores elevados.

Tabla 15.- Respuesta optimizada.

Respuesta Optimizada			
Meta: maximizar blancura			
Valor Optimo = 100.768			
Factor	Inferior	Mayor	Optimo
frecuencia	25.0	45.0	25.0
tiempo	1.0	20.0	19.9926
consistencia	0.5	2.0	0.501285
temperatura	25.0	55.0	25.0382
modulacion	-1.0	1.0	0.999999

Realizando una comparación con las blancuras a partir de los diferentes procesos efectuados, se puede observar que existe un incremento de blancura al aumentar el número de procesos, siendo obviamente los valores de los últimos procesos los más elevados.

Todo esto debido al uso del proceso de ultrasonido, ya que, al llevar a cabo este proceso en suspensiones fibrosas provenientes de un proceso de desintegración se logrará la fragmentación de la tinta generando partículas de menor tamaño, lo que facilitan su eliminación en procesos posteriores de flotación y el lavado.

Por consecuencia al irse eliminando las partículas debido a su tamaño, nos proporcionan blancuras con valores muy aceptables.

11.- COMPARACIÓN CON RESPECTO AL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE TINTA.

En las siguientes figuras 36, 37, 38 y 39 se tiene una evidencia óptica que el uso del ultrasonido en la suspensión fibrosa, con las respectivas condiciones de cada experimento, se logra que las partículas de tinta se dividan, produciéndose partículas de tinta más pequeñas. Eliminándose estas con procesos de destintado tradicionales, como son de Flotación y Lavado.

La figura 36, es una hoja formada con sólo el proceso de desintegración, en la cual se observa el gran tamaño de las partículas y la gran cantidad de ellas, dispersas en toda la hoja, dando un tono de color azulado.

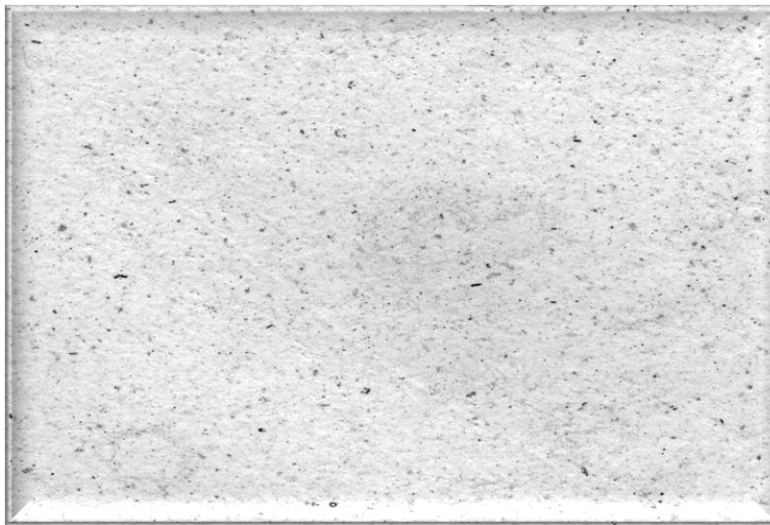


Fig. 36.- Hoja obtenida sólo con Desintegración.

La figura 37 es una hoja formada con tratamiento de ultrasonido y condiciones específicas, en las cuales podemos observar que el tamaño de las partículas de tinta tiende a hacer menor pero aumento la coloración de la hoja, esto en consecuencia de la división de las partículas de tinta.

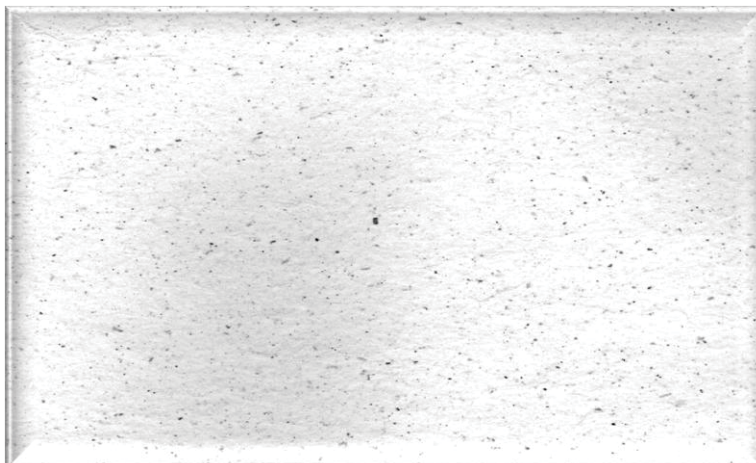


Fig. 37.- Hoja con aplicación de Ultrasonido.

La figura 38 es una hoja con aplicación de tratamiento de ultrasonido y un proceso tradicional de flotación. En la cual se observa que se eliminó, una gran cantidad de partículas de tinta, ocasionando disminución del tono de color.



Fig. 38.- Hoja con aplicación de Ultrasonido y Flotación.

La figura 39 representa una hoja formada con tratamiento de ultrasonido y dos tratamientos tradicionales flotación y lavado, en dicha hoja se observa que las partículas de tinta han disminuido considerablemente, esto debido a la aplicación de un proceso de lavado.



Fig. 39- Hoja con aplicación de Ultrasonido, Flotación y Lavado.

También se presenta el tipo de materia prima utilizada, como la función que ejercen los reactivos en dicho proceso de destintado. De acuerdo a estos datos se llega a la conclusión que para el caso del proceso de destintado por tratamiento tradicional es necesario el uso de reactivos químicos para lograr el hinchamiento y dispersión de la fibra, así como para la dispersión de la tinta.

También es conveniente el uso de agentes químicos secuestrantes, reactivos como detergentes, surfactantes como eliminadores y dispersores de la tinta, así como emulsificantes y solubilizadores.

En la presente investigación, sólo es necesario el ácido clorhídrico para bajar el pH de la suspensión fibrosa y un agente de dispersión, tanto para la etapa de flotación, como para la de lavado, para evitar que la tinta se vuelva a depositar en la fibra.

11.1.- Gráficas obtenidas por el equipo Dot Counter (óptica).

Las siguientes gráficas nos presentan el número de análisis por área de los diferentes tamaños de partículas de tinta en micras.

Observando que es la gráfica donde se aplicó Ultrasonido tienden a aumentar las partículas de tinta de 50 micras y también teniendo a un aumento en partículas de tinta de tamaño de 100 micras, pero siendo más significativas las de un tamaño de 50 micras.

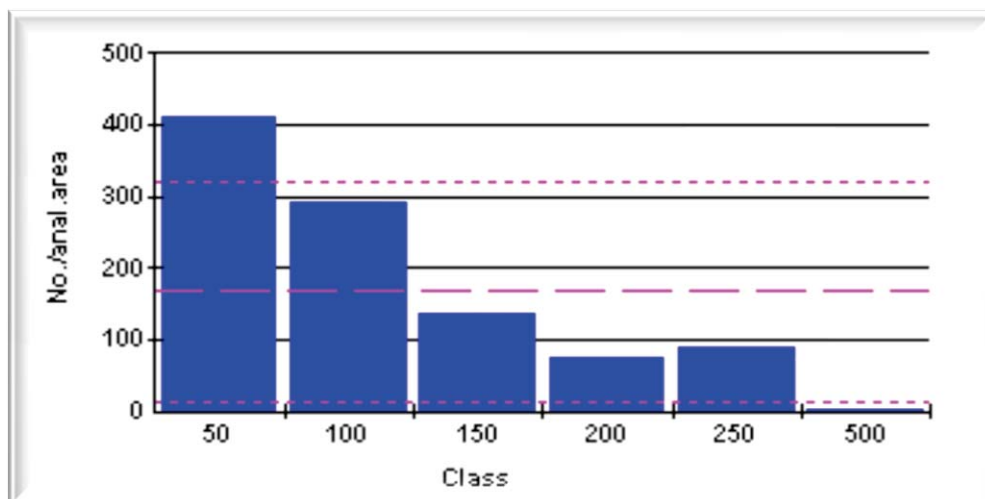


Fig. 40.- Gráfica de Desintegración, de Dot Counter

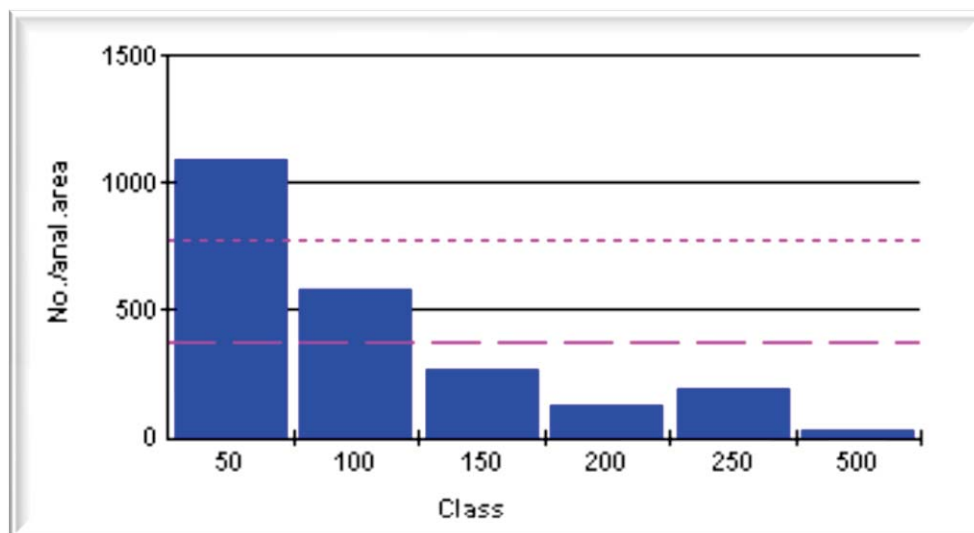


Fig. 41.- Gráfica de Ultrasonido, de Dot Counter

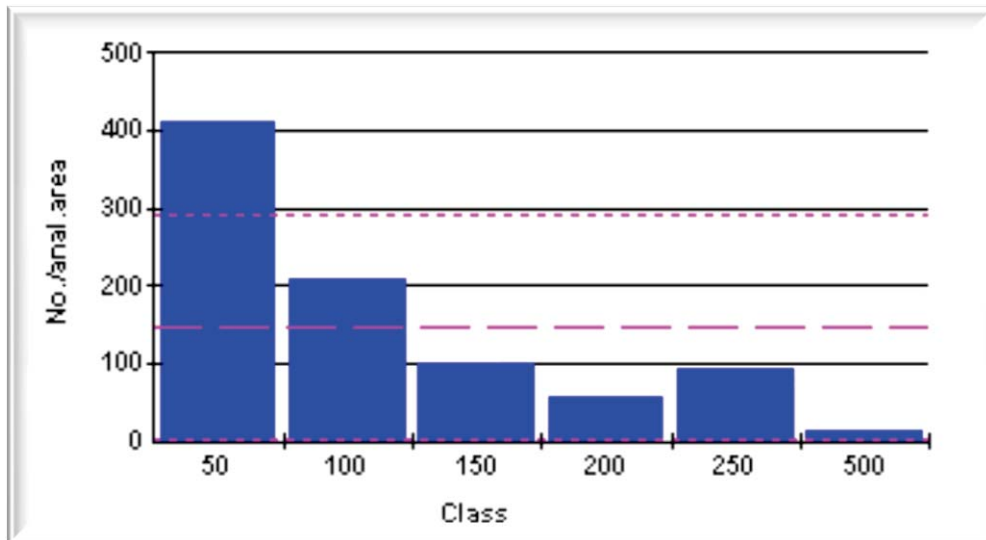


Fig. 42.- Gráfica de Flotación, de Dot Counter.

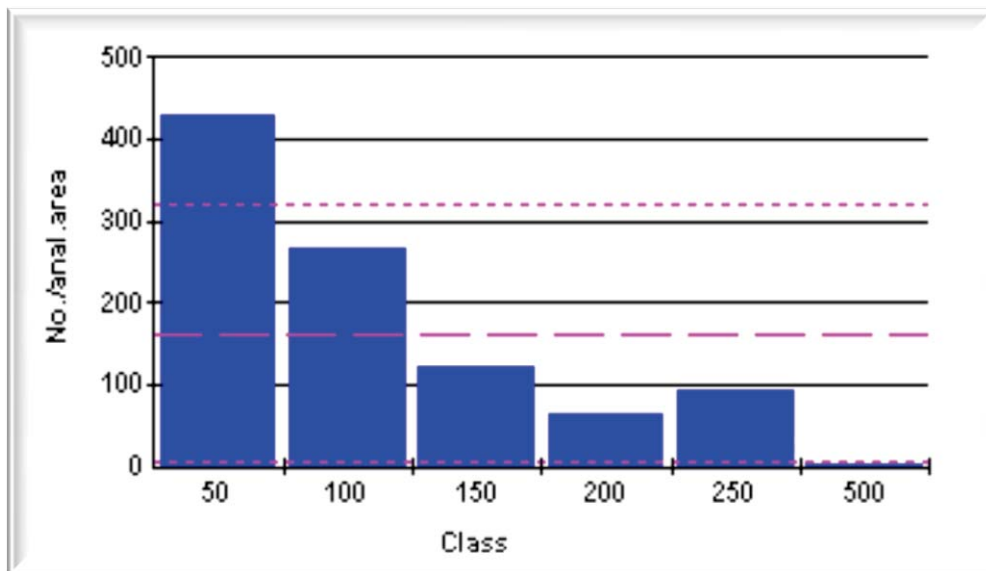


Fig. 43.- Gráfica de Lavado, de Dot Counter.

12.- CONCLUSIONES.

- Si se utiliza un proceso de destintado con Ultrasonido, se tiene la ventaja de seleccionar tamaños de partículas de tinta, esto debido a la manipulación de las frecuencias en el equipo de Ultrasonido.
- También en este proceso de destintado por Ultrasonido se puede seleccionar el tamaño de partículas, con el manejo de los diferentes factores: consistencia, tiempo.
- A la materia prima (papel de impresión Laser), al estar preparada en suspensión fibrosa, con una consistencia de 2 %, frecuencia 45, y a un tiempo de 1 minuto, se logra generar partículas de tinta del rango 50 a 100 micras. Permitiendo con esto eliminar las partículas de tinta con mayor eficacia utilizando los procesos consecuentes de destintado tradicional.
- Para los procesos de destintado tradicional Flotación y Lavado es conveniente la utilización de un agentes de dispersión (surfactantes) para lograr la eliminación de las partículas de tinta en dichos procesos.
- La proporción de la adición del agente surfactante a la etapa de flotación, debe de ser controlada ya que un exceso genera una cantidad de espuma considerable, que aunque elimina muchas partículas de tinta también provoca mucha pérdida de fibra.
- Sin embargo cuando se manejen proporciones menores de agente dispersante en el proceso, se pierde menor cantidad de tinta pero a la vez disminuye la pérdida elevada de fibra.
- Existe una disminución de reactivos químicos con proceso de destintado por Ultrasonido con respecto a un destintado tradicional.
- En el proceso de Ultrasonido realmente solo se utiliza un agente químico que es el ácido clorhídrico, el cual se utiliza para bajar el pH de la suspensión fibrosa.

- En conclusión la hipótesis planteada al principio del presente trabajo se confirma, esto debido a que se cumplieron los planteamientos propuestos. Reflejándose en los datos obtenidos en la fragmentación de la tinta en partículas así como los datos obtenidos en las blancuras de los diferentes procesos que por consecuencia al ser fragmentadas en el proceso de Ultrasonido facilito su eliminación en los procesos de Flotación y Lavado al igual que un incremento en la blancura.
- Al realizar una comparación de los procesos tradicionales de destintado como la flotación y el lavado, se llega a la conclusión de que difieren con respecto al principio físico en la separación, en los compuestos químicos usados, el equipo y las propiedades que se obtienen el producto final.
- Se puede concluir que en el destintado por ultrasonido se lograra una mayor remoción de tinta (menos cenizas, mayor cantidad de puntos pequeños) al aumentar la feecuencia y disminuir la consistencia, mientras que el tiempo no tiene un efecto significativo. En el destintado por ultrasonido-flotación se lograra el mejor destintado disminuyendo la consistencia y temperatura como factores principales, mientras que en el destintado por ultrasonido-lavado, se lograra un mayor efecto disminuyendo la temperatura. En ambos casos favorece el aumento de frecuencia y modulación.

13.-BIBLIOGRAFÍA.

Alliot, M. ; Ávila, A. Destintado de papel por flotación: Influencia de los factores de forma. Facultad de Ingeniería química. Universidad de Nuevo León.

ASTM (American Society for Testing and Materials). 2000. Standard method of accelerate laboratory test of natural decay resistance. D 2017-81 (Reapproved 1994). Annual book of ASTM standards. Section 4: Construction. Volume 14:10: Wood. Conshohocken, Pa. pp 326-330.

Levandoski, R.; Normal, J.; Pepelnjak, G.; Drnovsek, T. 1999. Ultrasonic Deinking and Fiber Properties. Progress in Paper Recycling. Pp 53-57.

Melo, R.; Valenzuela. Destintado de papeles recuperados fotocopiados e impresos láser. Trabajo técnico.

Naimpally, A.V. 2000. Note on use of ultrasonic for deinking paper. Appita. 35 (3): 242.

Norman, J.C.; Sell, N.J; Danelski, M. 1994. Deinking laser-print paper using ultrasound. Tappi Journal. 77 (3): 151-158.

Rojas O.; Bullon J. 2007. Fenómenos interfaciales en el destintado de papel desperdicio. Laboratorio de formulación, interfaces reología y procesos. Facultad de ingeniería química. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. Versión No. 3

Ramasubramanian, M.K. 2000. Focused high frequency ultrasonic removal of xerographic toner from paper surfaces. Tappi Recycling Symposium. Pp 21-31.

Ramírez, C. R. 2002. Destintado de papel de impresión Láser usando ultrasonido. Asociación Mexicana de las Industrias de la Celulosa y el Papel, A.C. 62 (5): 33-36.

Ramírez Casillas, R. 2004. Destintado de papel de impresión Láser usando ultrasonido. Tesis profesional. Departamento en Ingeniería y Tecnología. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Ramírez, C. R.; Ramos, Q. J.; Turrado, S. J. 2004. Deinking of Laser Printed Paper by Ultrasound, Flotation and Washing Systems. *Progress in Paper Recycling*. 13 (2): 29-36.

Sanjuán Dueñas, R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. 1ra. Edición. Departamento de Madera Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Sell, N.J.; Norman, J.C.; Jayaprakash. 1995. Deinking Secondary Fiber Using Ultrasound. *Progress in Paper Recycling*. Pp 28-34.

Turrado, S. J.; Chávez, L. H.; Saucedo, C. A.; Ramos, Q. J.; Sanjuán, D. R.; Arellano, C. J. 2005. Deinking Digital Offset Prints. *Progress in Paper Recycling*. 15 (1): 11-14.

Turrado, J. et al. "Destintado de papeles y cartones de oficina". VII Congreso Latinoamericano de la Celulosa y el Papel, sección 1 pág. 2 (1994).

TAPPI (Technical Association for Pulp and Paper Industry). 1991. Water solubility of wood and pulp. T 207 cm-99. *TAPPI Test Methods (1994-1995)*. TAPPI Press. Atlanta.

Turai, L. L.; Teng, C. H. 1978. Ultrasonic deinking of waste paper. *Tappi*. 61(2): Pp 31-34.

Turai, L. L.; Teng C. H. 1979. Ultrasonic deinking of wastepaper (a pilot-plant study). *Tappi*. 62 (1): 45-47.

14.- APÉNDICE.

Tabla 16.- Reactivos químicos más utilizados en procesos de destintado tradicional.

Reactivos Químicos	Función	Formula	Material Manejado
Hidróxido de sodio	Hinchamiento de la fibra	NaOH	Sin pasta Mecánica
Carbonato de sodio	Alcalinidad, ablandador de agua	Na ₂ CO ₃	Pasta celulósica poco entintada
Silicato de sodio	Adherencia, peptizante, dispersante de tinta	Na ₂ SiO ₃	Pasta mecaniza ligeramente entintada
Fosfato de Potasio	Secuestrante de iones	NaPO ₃	Cualquier tipo de pasta celulósica
Surfactantes	Eliminador y dispersor de tinta	Alcohol lineal Alcohol etoxilado Alkil fenol etoxilado	Cualquier tipo de pasta celulósica
Solventes	Suavizador de tintas	Hidrocarburos alifáticos	Sin pasta Mecánica
Polímeros Hidrofilicos	Antirredepositante	Poliacrilato	Cualquier tipo de pasta celulósica
Acido graso	Flotación de tintas	Acido esteárico	Cualquier tipo de pasta celulósica

Tabla 17.- Reactivos utilizados en el proceso de destintado tradicional por Flotación.

Reactivos	Función	Cantidad Dosificada (kg/ton)
Hidróxido de sodio	Proporciona alcalinidad	10 a 20
Secuestrantes	Estabilizador del peróxido de hidrogeno	1 a 2
Peróxido de Hidrogeno	Eleva la blancura	10 a 15
Silicato de Sodio	Dispersa la tinta para liberarla	15 a 25
Sal de calcio	Interactúa con el jabón	
Jabón	Colectar en función con el calcio en la celda de proceso	10 a 15

Tabla 18.- Valores del contenido de Cenizas en % que se presentan en papel y fibra.

Tipo de Material	Contenido % Cenizas	Reportado
Pulpa virgen	0.3	Orta y Salazar, 2006
Pulpa Kraft importada	0.8	Meza, 2006
Pulpa química	1.0	Castro, 2003
Tetra pack	1.3	Davalos, 2007
Pulpa semiquímica	1.7	Castro, 2003
Pulpa Kraft nacional	2.2	Meza, 2006
Papel periódico	8.2	Castillo, 2007
Papel Bond	13	Vergara, 2000
Papel de recubrimiento ligero	14.2	LWC Mourao, 2000
Papel con estucado alcalino	29.4	Vergara 2000
Papel Revista	36.8	Castillo, 2007
Papel Couche	46.7	Chavez, 2004

Tabla 19.- Resultados de Blancura FR 457%

CORRIDAS DE DESINTEGRACIÓN	DE	CORRIDAS DE ULTRASONIDO	DE	CORRIDAS DE FLOTACIÓN	DE	CORRIDAS DE LAVADO	DE
R457		R457		R457		R457	
93.34		96.95		97.15		98.87	
95.4		97.66		99.08		98.48	
96.67		96.86		95.27		97.52	
97.09		93.25		94.72		100.42	
98.62		92.61		96.1		98.25	
97.59		97.34		98.36		98.61	
98.29		92.7		94.53		99.26	
97.9		94.12		96.33		99.9	
101.24		95.35		101.08		100.44	
97.92		95.83		98.01		98.35	
97.75		96.31		94.99		95.08	
98.03		93		100.9		98.85	
97.11		96.22		97.64		95.43	
84		95.04		82.31		93.33	
96.39		97.54		95.83		96.4	
99.19		97.45		95.84		96.71	
93.08		94.1		96.24		98.29	
98.9		97.54		96.17		99.66	