



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL
ADHERENTE (*STICKIES*), CONTENIDO EN LA FIBRA SECUNDARIA, PARA LA
FABRICACIÓN DE PAPEL *TISSUE***

Diego José Rendón Bollat

Asesorado por el Ing. Oscar Mauricio Fletes Sosa

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL
ADHERENTE (*STICKIES*), CONTENIDO EN LA FIBRA SECUNDARIA, PARA LA
FABRICACIÓN DE PAPEL *TISSUE***

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO JOSE RENDÓN BOLLAT

ASESORADO POR EL ING. OSCAR MAURICIO FLETES SOSA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Váldez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL ADHERENTE (*STICKIES*), CONTENIDO EN LA FIBRA SECUNDARIA, PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL *TISSUE*

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha del 11 de junio de 2013.



Diego José Rendón Bollat

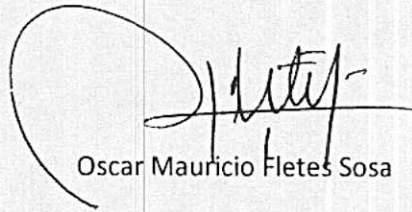
Guatemala, 01 de abril de 2014

Escuela de Ingeniería Química

Director de Escuela

Ing. Víctor Monzón

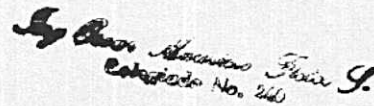
El motivo de la presente es para informar que el Trabajo de Graduación titulado "Diseño de una metodología para la cuantificación del material adherente (Stickies), contenido en la fibra secundaria, para la fabricación de papel tissue". Realizado por Diego José Rendón Bollat el cual se identifica con el carnet 200915241 y asesorado por mi persona, según mis criterios lo considero aprobado. Sin otro particular quedo a espera de sus comentarios. Atentamente.



Oscar Mauricio Fletes Sosa

Ingeniero Químico

Colegiado No 240



Oscar Mauricio Fletes S.
Colegiado No. 240



Guatemala, 30 de abril de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.014.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **025-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Diego José Rendón Bollat**.
Identificado con número de carné: **2009-15241**.

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

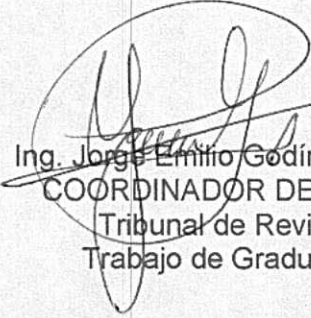
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL ADHERENTE (STICKIES), CONTENIDO EN LA FIBRA SECUNDARIA, PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL TISSUE

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Oscar Mauricio Fletes Sosa**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.176.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **DIEGO JOSÉ RENDÓN BOLLAT** titulado: **"DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL ADHERENTE (STICKIES), CONTENIDO EN LA FIBRA SECUNDARIA, PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL TISSUE"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 465.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MATERIAL ADHERENTE (STICKIES), CONTENIDO EN LA FIBRA SECUNDARIA, PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL TISSUE**, presentado por el estudiante universitario **Diego José Rendón Bollat**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 10 de septiembre de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por nunca abandonarme, darme discernimiento sabiduría y fuerza.
Mis padres	Por ser mí modelo a seguir y siempre enseñarme con el ejemplo como ser una persona de bien.
Mis hermanos	Por apoyarme y siempre alegrar nuestro hogar.
Mis amigos	Porque sin ellos no podría haber logrado estar aquí con ellos aprendimos que la unión siempre hace la fuerza.
Mis mentores	Porque de ellos aprendí a ser un profesional y son modelos de carrera admirable.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma máter.
Facultad de Ingeniería	Por instruirme de manera profesional en la ingeniería.
Mis amigos de la facultad	Por haber formado un excelente grupo de trabajo lo cual hizo más llevadera la pesada carga académica.
Mis padres y hermanos	Por siempre estar al pendiente de mí y apoyarme en todo lo que podían para hacer más fácil mis estudios.
Mis catedráticos	Por lograr impartir conocimiento de manera efectiva en mí persona.
Ingenieros Mauricio y Manuel Fletes	Los mentores del inicio de mi vida profesional me han enseñado que los valores son tan importantes como los conocimientos técnicos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS/Hipótesis	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. El método Voith Sulzer <i>pick-up</i>	1
1.2. Método de conteo de puntos fluorescentes	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Proceso de fabricación de papel a base de fibra secundaria	3
2.1.1. <i>Pulper</i>	4
2.1.2. <i>Screen</i>	5
2.1.3. Destintado.....	5
2.2. Máquina de papel	6
2.2.1. Sección húmeda	6
2.2.2. Tela (formación).....	6
2.2.3. Prensado en húmedo.....	6
2.2.4. Sección seca	7
2.3. Contaminantes (<i>stickies</i>)	7
2.3.1. Definición de <i>stickies</i>	8
2.3.2. Composición	9
2.4. Espectrofotometría	10

2.4.1.	Principios de funcionamiento de espectrofotómetro	10
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	13
3.1.	Variables	13
3.2.	Delimitación de campo de estudio	14
3.3.	Recursos humanos disponibles	14
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	14
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa.....	16
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	16
3.6.1.	Preparación de la muestra de ensayo.....	17
3.6.1.1.	Consistencia.....	18
3.6.2.	Cuantificación de <i>stickies</i>	18
3.6.2.1.	Dilución	19
3.6.2.2.	Fijar las RPM.....	19
3.6.3.	Agitar durante el tiempo establecido	19
3.6.4.	Cuantificación por software	20
3.6.5.	Análisis por espectrofotometría	21
3.6.6.	Almacenamiento de muestras.....	21
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	22
3.7.1.	Ordenamiento de la información	22
3.7.2.	Procesamiento de la información	25
3.8.	Análisis estadístico.....	25
3.8.1.	Media de una muestra.....	26
3.8.2.	Desviación estándar.....	27
4.	RESULTADOS.....	29
4.1.	Cuantificación de <i>stickies</i> en función del número de puntos	29

4.2.	Cuantificación de <i>stickies</i> en función del área	30
4.3.	Comparación metodología propuesta con análisis espectrofotométrico	32
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	35
	CONCLUSIONES	39
	RECOMENDACIONES	41
	BIBLIOGRAFÍA	43
	APÉNDICES	45
	ANEXOS	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de fabricación de papel.....	4
2.	Etapas de la pasta en la máquina de papel	7
3.	Fotografía de <i>stickie</i>	9
4.	Composición de <i>stickies</i>	10
5.	Funcionamiento del espectrofotómetro	11
6.	Diagrama de flujo proceso de cuantificación de <i>stickies</i>	20
7.	Número de puntos para cada juego de variables establecidas	30
8.	Área de puntos para cada juego de variables establecidas	32

TABLAS

I.	Variables de proceso	13
II.	Diseño de variables.....	17
III.	Consistencias obtenidas a partir de pulpa analizada.	22
IV.	Datos para la evaluación de resultados obtenidos por número de puntos totales.....	23
V.	Datos para la evaluación de resultados obtenidos por área de puntos totales.....	23
VI.	Datos para gráfica de concentración de pegamentos contra número de <i>stickies</i>	24
VII.	Datos para gráfica de concentración de pegamentos contra área de <i>stickies</i>	24

VIII.	Matriz con número de puntos cuantificados para cada juego de variables establecida	29
IX.	Matriz con puntos por metro promedio cuantificados para cada juego de variables establecida	31
X.	Porcentaje de <i>stickies</i> (porcentaje peso, peso), encontrados por metodología espectrofotométrica, comparado con el valor encontrado según el método para número de puntos	33
XI.	Porcentaje de <i>stickies</i> (porcentaje peso, peso), encontrados por metodología espectrofotométrica, comparado con el valor encontrado según el método para número de puntos	33

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_m	Absorbancia muestra desconocida
A_p	Absorbancia patrón
C_e	Concentración encontrada
C_d	Concentración desconocida
C_m	Concentración muestra desconocida
C_p	Concentración patrón
%p/p	Concentración porcentual de <i>stickies</i>
mm	Milímetro
min	Minutos
nm	Nanómetro
%	Por ciento
V	Volumen

GLOSARIO

Absorbancia	Medida de la atenuación de una radiación al
Adherencia	atravesar una sustancia, que se expresa como el logaritmo de la relación entre la intensidad saliente y la entrante.
Centrifugación	Unión física, cualidad de adherente de alguna sustancia sobre otra.
Consistencia	Aprovechar la fuerza centrífuga para separar los componentes de una masa o mezcla según sus distintas densidades.
Consistencia	Relación entre la masa de fibra seca y la cantidad de volumen en la que se encuentra suspendida la misma, usualmente utilizado como medida de concentración.
Deflector	Dicho de un dispositivo mecánico que modifica la dirección o la trayectoria de un fluido.
Espectrofotometría	Procedimiento analítico fundado en el uso de un dispositivo que mide la cantidad de luz absorbida por una sustancia en disolución y compara intensidades espectrales con respecto a una longitud de onda.

<i>Macrostickie</i>	Material coloidal adherente cuyas formaciones quedan retenidas por un tamiz de 100-150 μm .
<i>Microstickie</i>	Material coloidal adherente cuyas formaciones no quedan retenidas por un tamiz de 100-150 μm .
Pasta	Suspensión compuesta por fibra celulósica empleada usualmente para la elaboración de papel.
Reología	Estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos.
RPM	Número de giros o vueltas que da una pieza sobre su eje durante un minuto.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra el diseño de una metodología de cuantificación de material adherente (*stickies*), en el proceso de fabricación de papel, a partir de fibra secundaria. En el estudio se correlacionó la concentración de pegamento encontrado por espectrofotometría y el método de cuantificación de *stickies* propuesto.

Para obtener la validación del estudio, fue necesario manejar las variables principales que den lugar a la detección de la mayor cantidad de *stickies* y que la repetitividad de resultados se encuentre dentro de los valores estadísticos de aceptación. Para ello, se realizaron diferentes corridas variando el tiempo de retención, la consistencia de la pasta y la cantidad de revoluciones por minuto, ya que estas son las variables de mayor influencia en la metodología propuesta.

Una vez encontrada el set de variables, 70 revoluciones por minuto, 1 por ciento de consistencia y 15 minutos, se procedió a correlacionar la cantidad de *stickies* con la espectrofotometría, para generar una herramienta de control de proceso que permita el cálculo de eficiencias de remoción, cantidad total de contaminantes y lo principal: que se pueda actuar de inmediato con la dosificación y tipo de encapsulante a requerirse para que no incidan en la cantidad y calidad del producto.

La relación del método propuesto con la cantidad de contaminantes encontrados por medio de la espectrofotometría a 425 nanómetros dio como resultado una correlación lineal con un coeficiente de determinación de 0,9864 lo cual demuestra que el método tiene una fuerte relación entre las variables y

la cantidad de contaminantes en la pasta. Asimismo la relación de la metodología de cuantificación de material coloidal adherente se validó exitosamente con un valor patrón por medio de espectrofotometría, por lo que se estableció que el diseño de la metodología propuesta es válido para el proceso de fabricación de papel a partir de fibra secundaria.

OBJETIVOS

General

Diseñar una metodología de cuantificación de desechos de materia coloidal adherente, dentro del proceso de fabricación de papel, a partir de fibra secundaria, y su relación con una espectrofotometría.

Específicos

1. Determinar la influencia de las variables, consistencia, RPM y tiempo de retención, sobre el método de análisis propuesto.
2. Relacionar gráfica y matemáticamente los valores encontrados con los de comparación por medio de una espectrofotometría.

Hipótesis

- **Hipótesis científica:**

Los grados de contaminación provocados por los *stickies*, pueden ser efectivamente detectados por medio de la metodología propuesta y correlacionada por medio de espectrofotometría.

- **Hipótesis estadística:**

Hipótesis nula:

H_0 = Existe una relación entre la metodología propuesta y los datos de concentración determinados por la espectrofotometría.

Hipótesis alternativa:

H_1 = No existe una relación entre la metodología propuesta y los datos de concentración determinados por la espectrofotometría.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las industrias han incrementado su interés hacia la recuperación y reutilización de materiales, esto viene impulsado por dos condicionantes de carácter social: la necesidad de conservación de las fuentes de materias primas y del medio ambiente.

A pesar de estas condicionantes, la recuperación y reutilización del papel como materia prima, no sería posible sin la gran presión económica generada al utilizar celulosa, además de la gran cantidad de investigación y desarrollo que se cuenta en este campo industrial, todos ellos, factores clave para la industria papelera que utiliza exclusivamente fibra secundaria

Dentro del marco del desarrollo tecnológico, se hace necesaria la generación de nuevos procesos que permitan tratar fibras recicladas, eliminando los contaminantes presentes y dando lugar al mayor aprovechamiento de los sustitutos celulósicos. Una de las herramientas de control de proceso, para estos casos, consiste en el procedimiento analítico para la cuantificación del principal contaminante, los *stickies*, quienes son los causantes de una baja en la producción y en la calidad del producto.

La cuantificación de los *stickies* logra darle prioridad al mecanismo de ataque, físico o químico, que evita la generación de problemas en la calidad del papel, los que pueden incurrir en el rechazo de lotes de producto terminado.

Es por ello que éste estudio tiene como fin desarrollar un método que cuantifique, de manera confiable, la cantidad de *stickies* durante el transcurso de todo el proceso de fabricación de papel, permitiendo la toma de decisiones de manera rápida y segura, generando una herramienta básica de control de proceso.

1. ANTECEDENTES

La cuantificación de los contaminantes del papel para reciclaje es necesaria, ya que de esta depende el proceso físico mecánico y químico requerido para la obtención de los mejores índices de productividad. Los *stickies* son cuantificables actualmente por distintos métodos, pero carecen del grado de confiabilidad que se requiere para la toma de decisiones, solamente ofrecen valores puntuales. Entre los métodos más importantes se puede mencionar:

1.1. El método Voith Sulzer *pick-up*

El método determina el área y números de macro *stickies* que pasan por una abertura específica de screen. El método induce a los *stickies* a adherirse a un papel de muestreo. Después son analizados por un analizador de imágenes.

1.2. Método de conteo de puntos fluorescentes

En el método descrito por Doshi et al., los rechazos del screen son mezclados con fibra limpia y se forman hojas de pulpa. Estas hojas son prensadas entre dos filtros de papel y después esta muestra es analizada bajo luz ultravioleta para contabilizar el área de contaminantes fluorescentes.

2. MARCO TEÓRICO

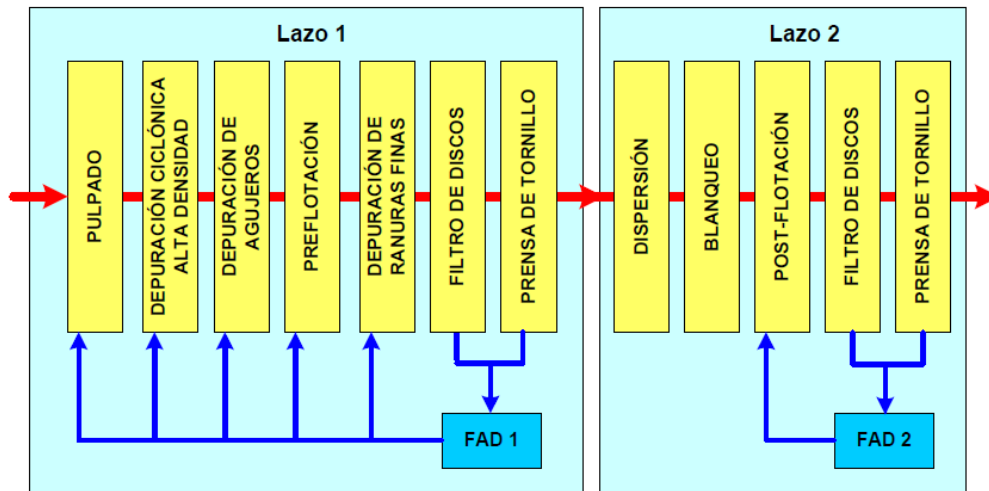
2.1. Proceso de fabricación de papel a base de fibra secundaria

El papel se puede producir a partir de varias materias primas, ya sea celulosa virgen o papel reciclado, para la fabricación de papel, a partir de celulosa, es necesaria la molienda, blanqueo, y formación de la hoja. Cuando se desea producir papel a partir de fibra secundaria, se deben agregar equipos mecánicos y procesos químicos capaces de eliminar las distintas contaminaciones presentes en la materia prima.

Este proceso puede ser dividido en la fabricación de la pasta y la formación de la hoja; la figura 1 muestra un diagrama de la fabricación de papel. Esta etapa se conoce como la etapa de destintado, la cual no abarca solamente el destintado como tal, sino todos los procesos necesarios para la preparación de la pulpa para ser convertida en papel en la máquina.

Los equipos de separación cumplen cada uno, con un tipo de contaminación específico e influyen directamente en la calidad del papel final, a continuación se describen, brevemente, los equipos utilizados en el proceso de fabricación de papel a partir de fibra secundaria con mayor incidencia en la problemática de *stickies*.

Figura 1. Diagrama de fabricación de papel



Fuente: MIRANDA CARRENO, Rubén. *Caracterización y eliminación de la materia disuelta y coloidal en la fabricación de papel reciclado*. Tesis doctoral. p. 3.

2.1.1. Pulper

La primera etapa en la fabricación de papel es la molienda del papel, para su conversión en pulpa. Esta es considerada la parte más crítica del proceso de reciclaje del papel, ya que una molienda incorrecta genera fibras inutilizables para hacer papel.

Esta máquina es un molino en húmedo, las aspas cortan el papel en partes más pequeñas, en esta parte se agregan aditivos para ayudar a un buen rompimiento de las hojuelas de papel, además se agregan productos químicos y calor para ayudar al proceso. Se considera básico la concentración a la cual se efectúa la molienda, ya que por arriba del 15 por ciento se consigue evitar el corte de la fibra y aumentar la eficiencia de la separación entre las fibras que forman la hoja.

2.1.2. Screen

Cuando se generó una mezcla totalmente homogénea de pasta, esta es pasada por unas cribas en húmedo, conocidas como screens. Estos screens remueven principalmente productos livianos, tales como hules, gomas, espumas, aditivos y plásticos entre otros.

El proceso de separación se realiza impulsando la pulpa hacia grandes conos con ranuras de tamaños específicos, usualmente entre 100-150 micrómetros, en la cual se tiene un proceso de filtración, los contaminantes que no logran pasar son forzados a separarse del cilindro por fuerza centrífuga.

2.1.3. Destintado

El destintado se realiza en celdas especializadas, en donde la pasta (solución acuosa de fibra secundaria al 1 por ciento de concentración, se le inyecta el 20 por ciento en volumen de aire en forma de micro burbujas, lo que permite que la tinta sea arrastrada adherida a las burbujas de aire y llegue a flotar, por medio de succión o unas palas recolectoras, se separa la tinta de la pasta, en la sección superior del equipo.

El método se basa en la flotación selectiva al establecerse una diferencia de propiedades fisicoquímicas, en este caso la tensión superficial entre la tinta y la fibra.

2.2. Máquina de papel

En la máquina de papel se pueden distinguir dos secciones fundamentales, las cuales a su vez se pueden subdividir en una sección de formación, prensado y secado.

2.2.1. Sección húmeda

En la sección húmeda la pulpa y los aditivos son agregados y mezclados con agua con una consistencia no mayor a un 1 por ciento. Estos aditivos suelen incluir resinas de resistencia en húmedo y retenedores de finos.

2.2.2. Tela (formación)

En la etapa de formación, la pasta es distribuida de manera uniforme a través de la tela. El drenaje del agua, en esta parte conocida como tela, ocurre principalmente por fuerzas gravitacionales, obteniendo al final de esta etapa un contenido de sólidos de entre 15 y 25 por ciento.

2.2.3. Prensado en húmedo

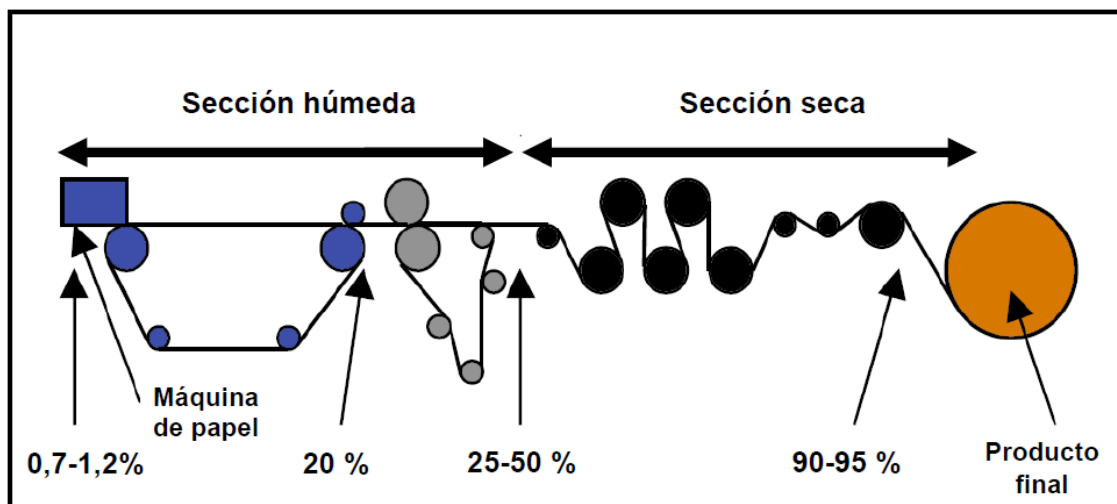
En la mesa de fabricación de papel, si se utilizan elementos adecuados es posible eliminar el agua contenida en la hoja. Este procedimiento de secado utilizado después de la mesa de fabricación es llamado prensado húmedo.

La hoja al entrar a la prensa tiene una consistencia de 20 por ciento y cuando sale de esta sección se encuentra en casi 40 por ciento de consistencia, en esta etapa las fibras son forzadas a un contacto íntimo que después ayudará para una sección de secado.

2.2.4. Sección seca

La tercera parte de la máquina es conocida como el secador, la pasta pasa sobre un cilindro de hierro rotatorio, calentado, usualmente, por vapor. Y la mayor parte del agua sobrante es removida por evaporación, cuando el papel sale del secador ha aumentado su cantidad de sólidos hasta un 90 a 95 por ciento.

Figura 2. Etapas de la pasta en la máquina de papel



Fuente: MIRANDA CARRENO, Rubén. *Caracterización y eliminación de la materia disuelta y coloidal en la fabricación de papel reciclado*. Tesis doctoral.p. 6.

2.3. Contaminantes (*stickies*)

La contaminación de las pastas de celulosa con diversas cantidades de materiales es estado sólido, principalmente coloidal, esto es debido a los distintos procesos que ha sufrido el papel para su uso final. Se pueden citar, la aplicación de tintas, gomas, resinas, fibras plásticas, asfalto, polímeros acrílicos

y vinílicos, encolantes, pigmentos y otros compuestos especializados. Aparte del material metálico, tal como grapas o ganchos; y la gran cantidad de tierra que adquiere en los patios de almacenaje.

También se genera una contaminación, de tipo acumulativa, debido a los aditivos propios del proceso de fabricación del papel, ya que los circuitos de agua son cerrados, así que un aditivo después de cumplir con su propósito queda en solución, y se convierte en una potencial fuente de contaminación de proceso, entre estos cabe mencionar las resinas de resistencia en húmedo, entre otros.

2.3.1. Definición de *stickies*

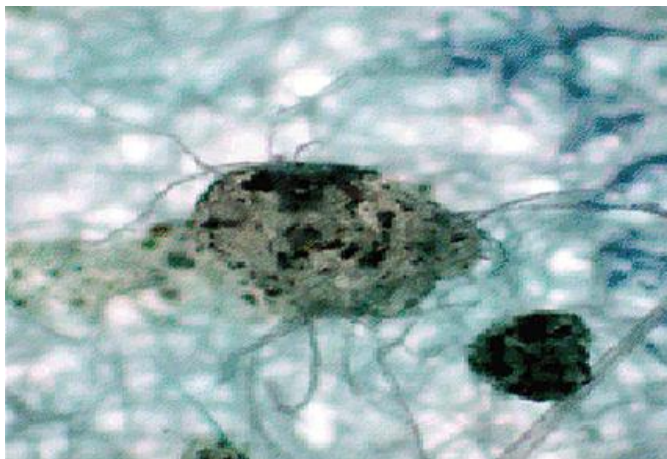
El término *stickies* ha sido adjudicado a todos aquellos depósitos adherentes, cuyo origen es el papel recuperado o los mismos químicos aplicados durante el proceso de fabricación. En la actualidad no hay una definición rigurosa del término *stickies*, ya que los depósitos pueden ser de origen natural, como el hule, o pueden ser de origen artificial como el Alcohol poli vinílico.

Un criterio de clasificación aceptado para los *stickies*, es en función del tamaño de los mismos, de esta manera se puede distinguir, el *macrostickie* que se define como aquellas formaciones que quedan retenidas por un tamiz de 100-150 micrómetros y todos aquellos que no quedan retenidos son conocidos como *microstickies*.

Dentro del proceso, debido a que estos dependen de equilibrios de temperatura y pH, es posible que cambien su naturaleza tanto la fragmentación, de *macrostickies* a *microstickies*, como la aglomeración, de *microstickies* a

macrostickies. En este sentido también es posible diferenciar otra clasificación, que es en función del riesgo potencial de contaminación al proceso, existiendo *stickies* primarios, los cuales aparecen desde el inicio del proceso y deben su origen a la materia prima. Mientras que el *stickies* secundario se puede generar por un cambio de alguna propiedad fisicoquímica del sistema, pH, temperatura, carga, conductividad, etcétera. A continuación la figura 2 presenta la fotografía de un *stickie* con el objetivo de familiarizar al lector con la apariencia de estos.

Figura 3. **Fotografía de *stickie***



Fuente: archivo fotográfico, Jabones y Resinas, S. A.

2.3.2. **Composición**

La composición de estos es muy variada y entre los productos que contribuyen a la formación se pueden mencionar; residuos de tintas, diferentes aditivos químicos, derivados de la madera, colofonia, pegamentos. A continuación la figura 4 presenta una tabla en la cual se enlistan las fuentes potenciales de depósitos adherentes y su composición.

Figura 4. Composición de *stickies*

Fuente: X.Y. Guo y M. Douek (1996); H.-J. Putz (2000).

Adhesivos	Ligantes de estucado	Residuos de tintas	Aditivos de destintado	Derivados de la madera, colofonias y otros
SBR, EVA, PVAc, poliacrilatos, acrilato de polivinilo, PVA _{OH} , PBD, PIP, PE, PP, ceras	SBR, PVAc, polivinil acrilato, PVA _{OH} , almidón, caseína, arcillas, TiO ₂ , CaCO ₃	Aceites minerales, SBR, PVAc, butiral de polivinilo, poliacrilatos, acrilato de polivinilo, estireno acrilato, epoxi acrilatos	Resinas, ácidos grasos, jabón-metal, surfactantes no iónicos, poliacrilatos, aceites hidrocarbonados	Ácidos grasos, ácidos resínicos, ésteres de ácidos grasos, urea-formaldehído

Nota. SBR: caucho butadieno-estireno; EVA: etil acetato de vinilo; PVAc: acetato de polivinilo; PVA_{OH}: alcohol polivinílico; PBD: polibutadieno; PIP: poliisopreno; PE: polietileno; PP: polipropileno.

Fuente: MIRANDA CARRENO, Rubén. *Caracterización y eliminación de la materia disuelta y coloidal en la fabricación de papel reciclado*. Tesis doctoral. p. 11.

2.4. Espectrofotometría

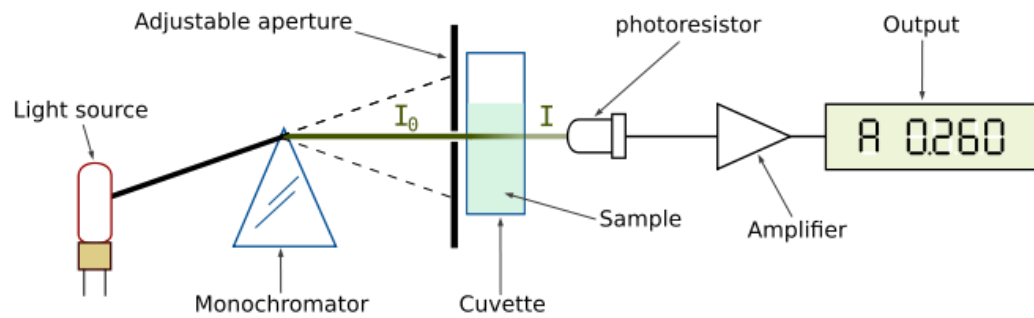
La espectrofotometría es una metodología en la cual se cuantifica la reflexión o transmisión de un material para una longitud de onda. El espectrofotómetro mide la intensidad de la luz emitida a una longitud de onda específica. Las principales características de esta técnica son, el amplio espectro de análisis y el largo lineal de absorción o refracción de la luz en las medidas realizadas.

2.4.1. Principios de funcionamiento de espectrofotómetro

Existen dos tipos principales de espectrofotómetros, los de un rayo y los de doble rayo. Los de doble rayo compara la intensidad de la luz entre dos rutas. Un espectrofotómetro de un rayo mide la intensidad relativa del haz de luz antes y después de pasar por una muestra. A pesar que el

espectrofotómetro de doble rayo es más fácil y estable, el simple ofrece más rango de trabajo y es más compacto.

Figura 5. **Funcionamiento del espectrofotómetro**



Fuente: SKOOG, Douglas. HOLLER, F. James. *Principios de Análisis instrumental*. Cengage Learning Editores. México. 2012. p. 243.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene el desarrollo de los elementos y momentos metodológicos del proyecto de investigación así como las principales variables a verificar para este fin.

3.1. Variables

A continuación se presenta la definición operacional de las variables para el diseño de un método de cuantificación de *stickies*, las cuales se dividen en variables dependientes, independientes, controlables y no controlables.

Tabla I. Variables de proceso

	Variable	Indep.	Dep.	Controlable	No controlable	Respuesta
Pasta	Peso de la pasta en solución			X		
	Peso en seco de la pasta.				X	
Metodología	Consistencia de la pasta (%p/p)	X		X		
	Rpm del aspa.	X		X		
	Tiempo de Retención	X		X		
	Cuantificación de <i>stickies</i> por Software		X			X
	Cuantificación de Área que ocupan <i>stickies</i> por software		X			X
Espectrofotometría	Concentración de <i>stickies</i>		X			X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El campo de estudio de esta investigación corresponde al control de calidad, área de dinámica de procesos químicos en la línea de diseño de procedimientos de cuantificación. La realización de la fase experimental del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad de Jabones y Resinas S.A. y en la Planta de reciclaje de Papel.

3.3. Recursos humanos disponibles

El personal que participó activamente en la asesoría y desarrollo experimental de la investigación, elegido de esta manera por su amplio conocimiento del área, se encuentra detallado a continuación:

- Investigador: Br. Diego José Rendón Bollat
- Asesor: Ing. Oscar Mauricio Fletes Sosa

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos disponibles para el desarrollo de la investigación se clasifican en reactivos y muestras, equipo, instrumentos de medición, cristalería, material, y equipo auxiliar.

- Reactivos y muestras
 - Pulpa de Proceso proporcionado por una planta Recicladora de Papel.

- Equipo
 - Agitador de paletas, EC Engineering.
 - Balanza analítica, Ohaus.

- Instrumentos de medición
 - Balanza, Ohaus, 0,01gramos.
 - Software de reconocimiento de imágenes Verity.

- Cristalería
 - 2 Beakers Pirex, 250 mililitros, Boeco.
 - Kitasato, 1000 mililitros, Marca KIMAX KIMBLE.
 - Embudo Buchner de porcelana, 13 centímetros de diámetro interno.

- Material
 - Slides para negativos.
 - Cinta adhesiva.
 - Papel filtro cualitativo, 110 milímetros, marca Whatman.

- Equipo auxiliar
 - Una computadora marca Compac, Intel Core2 Dúo, Windows 7.
 - Una impresora marca Canon MP250.
 - Un scanner marca HP.
 - Software de reconocimiento de imágenes, Verity.

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

En el desarrollo de la investigación se utilizó como técnica instrumental, la técnica cuantitativa, tanto en la metodología propuesta para la cuantificación de *stickies* como en el análisis por espectrofotometría para determinar la relación entre la concentración de los pegamentos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Las variables respuesta fueron obtenidas a lo largo de cada etapa del desarrollo experimental. Para ello a la pasta de proceso proporcionada por una fábrica papelera, se le realizó el análisis propuesto, variando el tiempo de retención, RPM y consistencia, según el diseño presentado en la tabla II.

Tabla II. **Diseño de variables**

Tiempo de Retención (min)	RPM	Consistencia	Corrida
5	30	0,5	1
		0,75	2
		1	3
	70	0,5	4
		0,75	5
		1	6
	110	0,5	7
		0,75	8
		1	9
10	30	0,5	10
		0,75	11
		1	12
	70	0,5	13
		0,75	14
		1	15
	110	0,5	16
		0,75	17
		1	18
15	30	0,5	19
		0,75	20
		1	21
	70	0,5	22
		0,75	23
		1	24
	110	0,5	25
		0,75	26
		1	27

Fuente: elaboración propia.

3.6.1. Preparación de la muestra de ensayo

La muestra se prepara para el ensayo, determinando la consistencia a la que se encuentra la pasta, y de esta manera determinar el factor de dilución a utilizar para llevarla a la consistencia adecuada.

3.6.1.1. Consistencia

A continuación se detalla el procedimiento a seguir para la determinación cuantitativa de la consistencia, este procedimiento puede variar dependiendo del equipo encontrado en la planta de papel a realizar la determinación.

- Mientras agita vigorosamente la muestra, retire rápidamente tres porciones consecutivas a un recipiente de muestreo y transfiera el peso a un *beaker*, previamente tarado.
- Pese la cantidad de pulpa con una precisión mínima de 0,01 gramos.
- Coloque un papel filtro previamente pesado en el embudo *Buchner Funnel* y humedézcalo.
- Aplique succión, y vierta la suspensión de pulpa en el embudo *Buchner Funnel*.
- Desagüe con agua los restos contenidos en el *beaker*. Si el agua filtrada se ve espesa vuelva a filtrar hasta que el agua se vea clara.
- Remueva la fibra junto con el papel filtro. Colecte cualquier fibra depositada en el embudo.
- Seque la muestra.

3.6.2. Cuantificación de *stickies*

El método para la cuantificación de *stickies* propuesto a continuación es de utilidad para todo tipo de pastas, el mayor problema a encontrarse con las pastas de consistencia más baja.

3.6.2.1. Dilución

Una vez conocida la consistencia a la cual se encuentra la pasta, esta es diluida hasta alcanzar 500 mililitros la consistencia requerida, ya sea 0,5, 0,75 o 1 por ciento. Para encontrar la cantidad de pasta a agregar para aforar a 500 mililitros la ecuación utilizada es:

$$V_a = \frac{C_e * 500}{C_d}$$

[Ecuación no. 1, Referencia no. 2]

Donde:

V_d : es el volumen de pasta a agregar

C_e : es la consistencia de la pasta encontrada

C_d : es la consistencia a la cual se desea analizar la pasta

3.6.2.2. Fijar las RPM

Se debe fijar en el aparato las RPM a utilizar las cuales varían de 30, 70 y 110 RPM. Se debe fijar el slide al aspa por medio de masking tape dejando de lado expuesto el pegamento especial utilizado para la cuantificación de *stickies*.

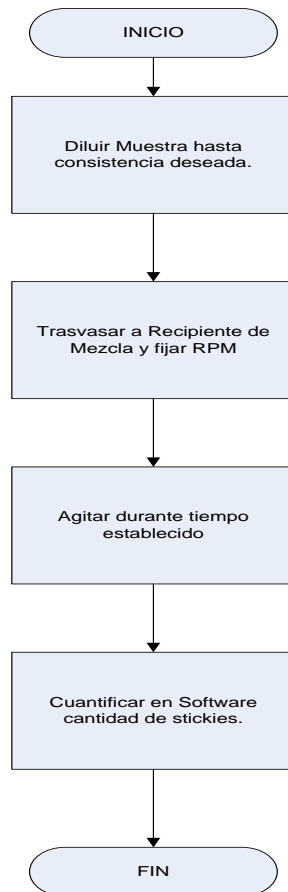
3.6.3. Agitar durante el tiempo establecido

Una vez fijada la cantidad de RPM se inicia el conteo del tiempo hasta llegar a los tiempos establecidos ya sea 5, 10 o 15 minutos. Una vez termina el tiempo retirar las paletas, retirar el slide del aspa y lavar con agua desmineralizada.

3.6.4. Cuantificación por software

Tomar el slide y fijarlo al porta slides de un scanner, fijar las ppi de escaneo a 600 y escanear la imagen, una vez escaneada importarla al programa de reconocimiento de imágenes *Verity* para realizar el conteo de puntos.

Figura 6. Diagrama de flujo proceso de cuantificación de *stickies*



Fuente: elaboración propia.

3.6.5. Análisis por espectrofotometría

En esta etapa se determinó la relación entre la concentración de pegamentos encontrada por espectrofotometría. Esto se realizara por medio de la extracción en tolueno de *stickie* puro retirado de los rechazos del *screen* y un extracto de la pulpa a analizar extraída también con tolueno, estas dos muestras se comparara su absorbancia a 425 nanómetros con el objetivo de encontrar la concentración p/p en la pasta.

Se propone la mezcla de pulpa de la parte del proceso con mayor concentración de pegamentos, encontrado en el Pulper, y pulpa limpia, mezclar estas en diferentes proporciones para lograr una relación tomando como punto superior el punto de mayor contaminación. Estas se realizan según las proporciones necesarias para encontrar el equivalente a 0, 25, 50, 75 y 100 por ciento de la concentración inicial de pegamentos. De esta manera es posible encontrar una relación gráfica. Se realiza el mismo procedimiento que el establecido en el diagrama de flujo a las condiciones encontradas en la primera parte.

3.6.6. Almacenamiento de muestras

Debido al tiempo requerido para la realización de todas las pruebas es necesaria la utilización de formol para impedir la descomposición de la pasta. Esta se almacenara en un recipiente cerrado de una capacidad aproximada de 5 galones y 1 mililitro de formol.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

El ordenamiento de los datos para este trabajo en específico, al ser únicamente valores cuantitativos directos, lleva un formato en el cual se busca la mayor comprensión para el lector.

3.7.1. Ordenamiento de la información

En lo que respecta al ordenamiento de la información es necesario tomar en cuenta todas las distintas variables descritas en el marco metodológico las cuales se detallan a continuación.

Tabla III. **Consistencias obtenidas a partir de pulpa analizada**

Análisis de consistencia para pulpa	
No. Muestra	Consistencia (%p/p)
1	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Datos para la evaluación de resultados obtenidos por número de puntos totales**

Número de puntos total encontrados por software de reconocimiento de imágenes				
		Consistencia		
Tiempo de retención (min)	RPM	0,5	0,75	1,0
5	30			
	70			
	110			
10	30			
	70			
	110			
15	30			
	70			
	110			

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Datos para la evaluación de resultados obtenidos por área de puntos totales**

Área de puntos total encontrados por software de reconocimiento de imágenes				
		Consistencia		
Tiempo de retención (min)	RPM	0,5	0,75	1,0
5	30			
	70			
	110			
10	30			
	70			
	110			
15	30			
	70			
	110			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos para gráfica de concentración de pegamentos contra número de *stickies***

Concentración de pegamentos en función del número de <i>stickies</i> en pulpa.	
Concentración de pegamentos	No. de <i>stickies</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos para gráfica de concentración de pegamentos contra área de *stickies***

Concentración de pegamentos en función del número de <i>stickies</i> en pulpa.	
Concentración de pegamentos	Área de <i>stickies</i>

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Procesamiento de la información

La concentración de la muestra desconocida proporcionada en el análisis espectrofotométrico, se puede derivar de la Ley de Lambert-Beer, la cual relaciona la absorbancia con la concentración como se muestra a continuación:

$$C_m = \frac{A_m \cdot C_p}{A_p}$$

[Ecuación no. 2, Referencia]

Donde:

C_m : concentración muestra desconocida

A_m : absorbancia muestra desconocida

C_p : concentración patrón

A_p : absorbancia patrón

Para los resultados obtenidos la concentración es de:

$$C_m = \frac{0,064 \cdot 3 \text{ mg/ml}}{0,099} = 1,93 \text{ mg/ml}$$

3.8. Análisis estadístico

El número de repeticiones para el experimento a realizar se encontrará con base a los criterios de confiabilidad del 90 por ciento, y con un error estimado del 20 por ciento este es en función de la propagación del error de los aparatos.

Para estimar la cantidad de repeticiones a evaluar se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 PQ}{E^2}$$

[Ecuación no. 3, Referencia no. 3]

Donde:

N: número de repeticiones

$Z_{\alpha/2}$: confiabilidad.

P : probabilidad de éxito.

Q : probabilidad de fracaso.

E : error

Con el propósito de obtener resultados con un mínimo de error y gráficas y análisis matemáticos adecuados utilizamos un valor de $Z_{\alpha/2} = 1,96$, $P = 0,90$, $Q = 0,10$, $E = 0,25$.

$$N = \frac{1,29^2 (0,90)(0,10)}{0,20^2}$$

Se realizarán 3 corridas esto con el objetivo de obtener un nivel de confianza del 90 por ciento según la probabilidad de éxito y fracaso aceptando un error máximo del 20 por ciento.

3.8.1. Media de una muestra

Para determinar el valor medio de una muestra de datos de la fase experimental, se utilizará la siguiente ecuación, la cual obedece a la media aritmética de cualquier conjunto de datos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n}$$

[Ecuación no. 4, Referencia no. 3]

Donde:

\bar{x} : media de una muestra

x_i : i ésimo dato

n : número total de datos

3.8.2. Desviación estándar

Para determinar el valor de la desviación estándar de una muestra de datos de la fase experimental, se utilizará la siguiente ecuación.

$$s = \sqrt{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

[Ecuación no. 5, Referencia no. 3]

Donde:

s : desviación estandar

x_i : i ésimo dato

n : número total de datos

Los ensayos iniciales se realizaran bajo un modelo estadístico de análisis de calidad normal en el cual se realiza un triplicado para tener una incertidumbre conocida dentro del experimento, en la segunda parte se realizara un análisis de regresión poli nómica o lineal, dependiendo de los datos para la obtención de una relación matemática valida.

4. RESULTADOS

4.1. Cuantificación de *stickies* en función del número de puntos

A continuación se presenta una matriz multivariable en la cual se muestra la cuantificación de *stickies* en función del número de puntos encontrado para cada condición de las variables utilizadas (RPM, tiempo de retención, consistencia).

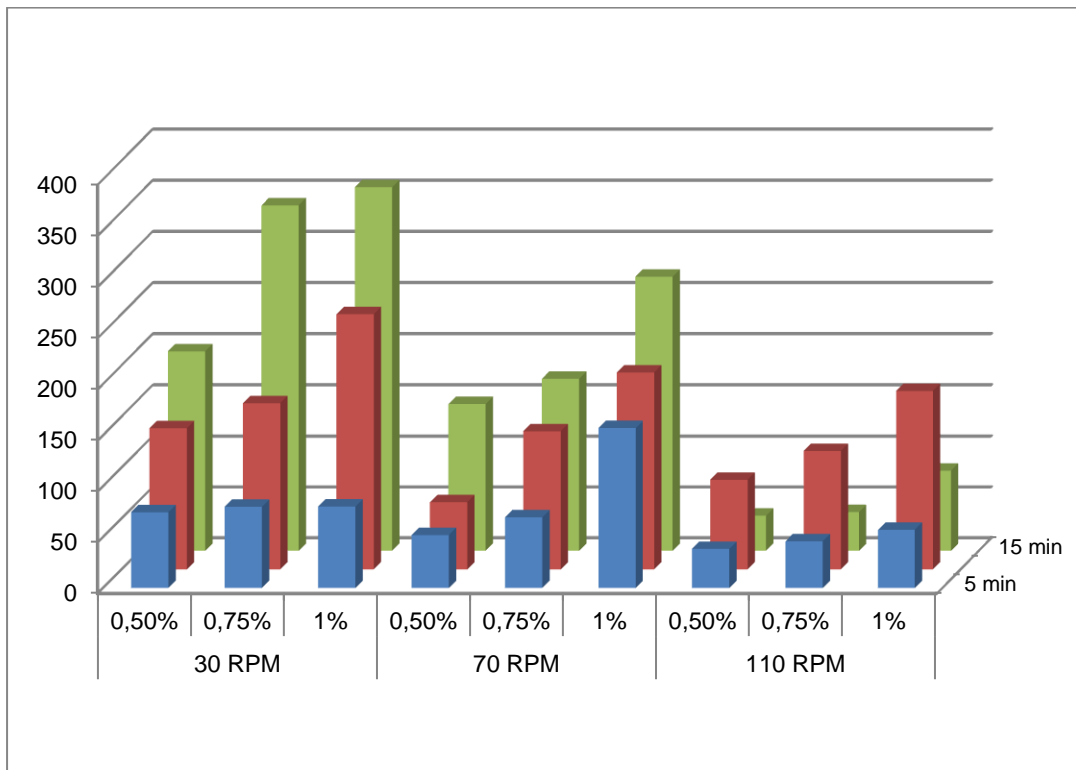
Tabla VIII. **Matriz con número de puntos cuantificados para cada juego de variables establecida**

		Tiempo (min)		
		5	10	15
RPM	Consistencia (%)	Número de puntos		
30	0,50	74,33	138,67	195,50
	0,75	79,67	163,00	338,00
	1	80,00	250,00	356,00
70	0,50	52,00	66,00	144,00
	0,75	69,33	135,67	168,67
	1	157,00	193,00	268,50
110	0,50	38,33	88,00	34,50
	0,75	45,67	116,33	38,00
	1	57,00	175,00	78,67

Fuente: elaboración propia.

La figura 7 presenta el número de puntos en función de la concentración de pegamentos según el análisis de espectrofotometría, para la muestra en las condiciones que obtenga la mayor cantidad de puntos.

Figura 7. **Número de puntos para cada juego de variables establecidas**



Fuente: elaboración propia.

4.2. **Cuantificación de *stickies* en función del área**

La tabla IX presenta una matriz multivariable en la cual se muestra la cuantificación de *stickies* en función del área encontrada para cada condición de las variables utilizadas (RPM, tiempo de retención, consistencia).

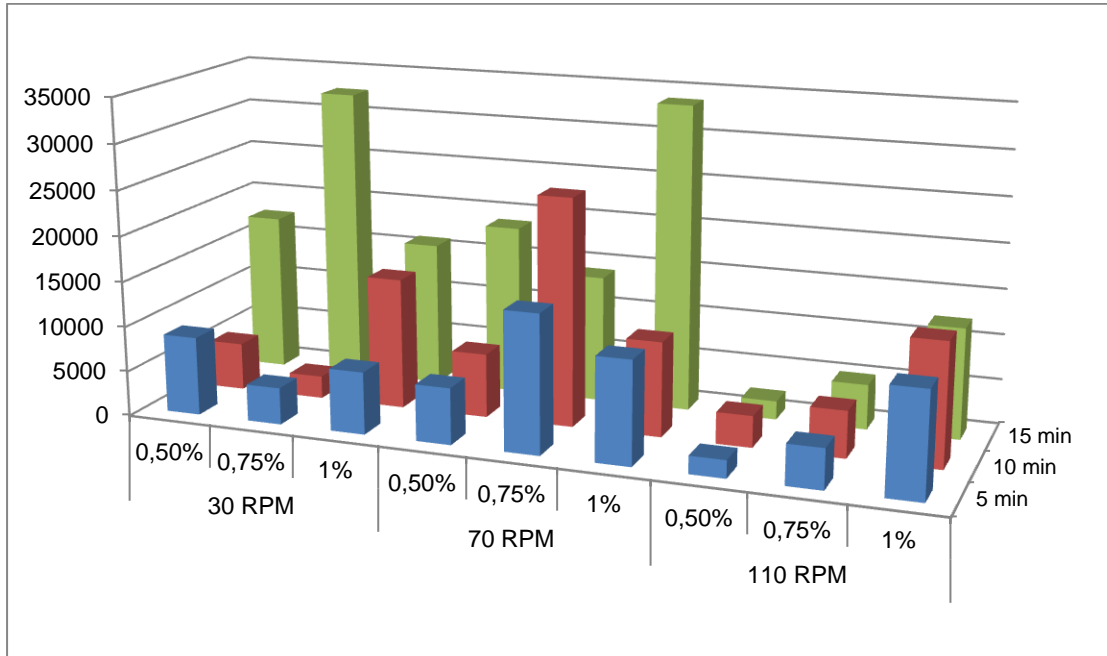
Tabla IX. **Matriz con ppm promedio cuantificados para cada juego de variables establecida**

		Tiempo (min)		
		5	10	15
RPM	Consistencia (%)	Número de puntos		
30	0,50	8681,00	5231,33	17522,00
	0,75	4079,00	2481,33	32552,33
	1	6898,67	14461,00	15992,00
70	0,50	6243,67	7069,00	18780,00
	0,75	15238,00	25100,00	14027,00
	1	11405,00	10459,00	33755,50
110	0,50	1975,37	3495,00	2053,00
	0,75	4437,33	5184,67	4991,67
	1	11601,73	13591,67	12206,00

Fuente: elaboración propia.

La figura 8 presenta el área de puntos en función de la concentración de pegamentos según espectrofotometría, para la muestra en las condiciones que obtenga la mayor cantidad de puntos.

Figura 8. Área de puntos para cada juego de variables establecidas



Fuente: elaboración propia.

4.3. Comparación metodología propuesta con análisis espectrofotométrico

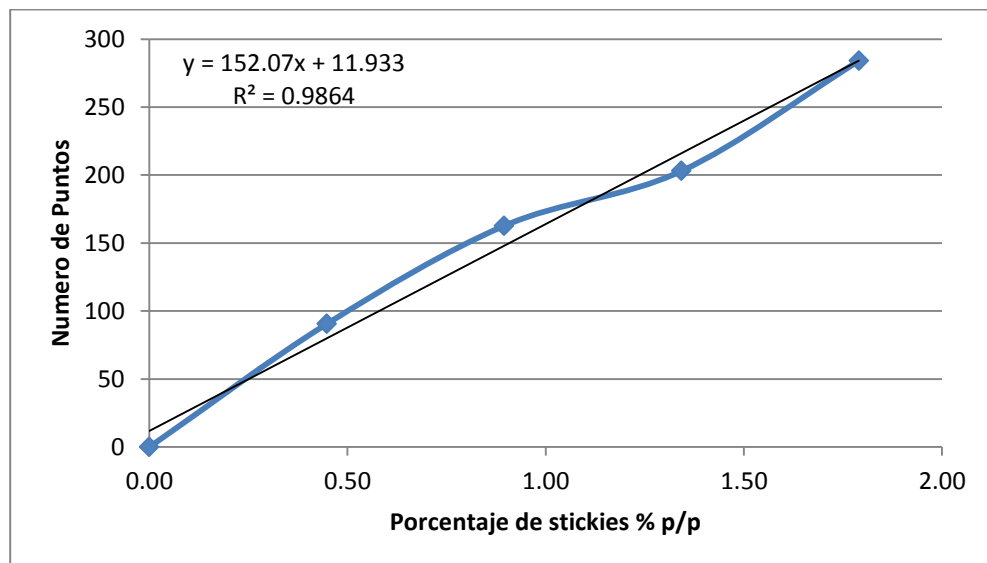
La tabla X y figura 9, presentan una comparación del porcentaje de *stickies* encontrados por ambas metodologías: el método de puntos y el análisis espectrofotométrico.

Tabla X. **Porcentaje de *stickies* (porcentaje peso, peso), encontrados por metodología espectrofotométrica, comparado con el valor encontrado según el método para número de puntos**

Porcentaje de <i>stickies</i> (%p/p)	Numero de <i>stickies</i>
1,79	284
1,34	203
0,90	162,67
0,45	90,5
0,00	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Porcentaje de *stickies* (porcentaje peso, peso), encontrados por metodología espectrofotométrica, comparado con el valor encontrado según el método para número de puntos**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para las pruebas realizadas en el laboratorio de Calidad de Jabones y Resinas, S. A., se obtuvieron el juego de variables óptimas para el método diseñado y descrito en la metodología del presente trabajo, así como su relación con un porcentaje p/p de *stickies* encontrado por medio de la absorbancia de un espectrofotómetro a 425 nanómetros.

El equipo utilizado fue un test de jarras con velocidad graduable, el cual se varió en velocidad de 30, 70 y 110 revoluciones por minuto, un cronometro estándar, con el cual se observaron tiempos de residencia de 5, 10 y 15 minutos, *slides* para negativos de fotografía y *masking tape* especial que no pierde su capacidad adherente en el agua, la pasta utilizada fue muestreada antes de los *screen* con el objetivo de tener la mejor distribución de *stickies*, ya que en este punto no se ha realizado remoción de ningún tipo. La consistencia de esta pasta era inicialmente de 4,34 por ciento y fue diluida con agua hasta alcanzar valores de 0,5, 0,75 y 1 por ciento.

Con estas 3 variables fueron realizadas las corridas, para un total de 27 combinaciones posibles de variables, cada una de estas combinaciones se corrió en un triplicado para asegurar la repetitividad del método.

Después del desarrollo experimental y análisis de los datos encontrados, se encontró el juego de variables óptimo, el cual se da la mayor representatividad del material adherente en suspensión, el juego de variables óptimas es: consistencia de 1 por ciento, rpm de 70, y tiempo de retención de 15 minutos, este juego de variables se da una cantidad dada de material

adherente aunque este valor no es el máximo tiene una mayor representatividad debido a que el juego de variables con mayor adherencia que es el de consistencia de 1 por ciento, rpm de 30, y tiempo de retención de 15 minutos, pero después de analizar la distribución de estos puntos en solución fue obvio que no eran representativos ya que estos tendían a adherir mayor cantidad de *microstickie* pero los *stickies* de mayor tamaño no son adheridos.

Las razones por las cuales no existe adherencia de *macrostickies* a estas bajas velocidades se podría argumentar que es debido a dos factores; el primer factor es debido a la sedimentación que sufre la pasta al estar en una velocidad tan baja esto genera que la pasta tenga una segregación y esto genera que los *stickies* de mayor tamaño tiendan a estar en la parte inferior de la solución. El segundo factor es la fuerza con la cual el *stickie* golpea sobre el slide debido a que existe una película mínima de agua la cual debe de romper el *stickie* para lograr adherirse de manera adecuada al slide y esto no es posible a bajas velocidades.

Con respecto a las combinaciones de variables con mayor velocidad (110 rpm) se logró observar un comportamiento de menor adherencia de *stickies* lo cual es explicable debido a un efecto de centrifugación, cuando la pasta es preparada y el slide empieza a girar este infiere gran cantidad de momentum al fluido y este empieza a girar de manera muy rápida cuando esto pasa, los *stickies*, que tienen densidad distinta a la pasta, tienden a segregarse hacia los extremos de la pasta obteniendo de esta manera una separación de los mismos.

El último juego de variables tiene un valor inferior y muy estable de *stickies* adheridos, lo cual se atribuye a que cuando la pasta logra separar de manera significativa los *stickies*, después de unos 10 minutos

aproximadamente, la pasta que golpea el slide, debido a la gran velocidad con la cual esto sucede, tiende a arrancar el *stickie* del slide lo que provoca el bajo que se observa en el último juego de variables.

Cuando se tienen 70 revoluciones por minuto se obtiene un valor de *stickies* alto y se tiene la mayor representatividad con respecto al tamaño de los *stickies* adheridos, por los factores previamente argumentados es posible dilucidar que existen fuerzas que tiene que equilibrarse para que este método tenga su mayor eficiencia, estas son; la velocidad con la cual el fluido golpea el *slide*, y la cantidad de homogenización lograda en la pasta.

Por lo argumentado anteriormente es posible inferir que podría existir otro punto máximo de adherencia, en 110 revoluciones por minuto y una consistencia mayor a 1 por ciento. En esta combinación la velocidad y la consistencia lograrían homogenizar la solución sin genera un efecto centrifugo y en este punto se daría una representatividad de la solución con una mayor adherencia de *stickies* mayor puntos que el valor obtenido actualmente, aunque este juego de variables tendría la misma validez que las encontradas actualmente debido a que el único cambio sería la proporción de adherencia y el valor de la curva de calibración.

Para la segunda parte del experimento se realizó una espectrofotometría a una disolución de *stickie* puro, este provenía del rechazo del screen, en esta parte, se obtiene una masa pegajosa. Se pesó una cantidad conocida de esta sustancia y se diluyo en tolueno, a esta muestra se le corrió un barrido y se encontró la absorbancia máxima en la longitud de 425 nanómetros después con la absorbancia encontrada se hizo una relación para encontrar la concentración de *stickies* de la pasta realizándole la misma extracción con tolueno, esto con el

objetivo de relacionar matemáticamente la cantidad de *stickies* adheridos en la metodología con un valor concentración porcentual de *stickies*.

La curva se realizó diluyendo la pasta contaminada, es decir pasta antes de screen, con pulpa completamente limpia, para esto se tomaron hojas sin utilizar y se trataron en una maceración hasta obtener pasta de consistencia conocida. Se mezcló proporcionalmente para obtener la contaminación deseada después de esto se corrieron cada una de las proporciones con la metodología a 70 rpm, 1 por ciento de consistencia y 15 minutos. Con esto se logró generar valores que se representan en la figura 9 con esto podemos concluir que el método es lineal y que las muestras tienen una proporcionalidad directa con el concentración porcentual de *stickies* en solución.

Debido a limitaciones de equipo no se pudo realizar una cromatografía HPLC, propuesta en el diseño de este trabajo, el cual es el método óptimo para encontrar este tipo de contaminantes, las desventajas de la espectrofotometría es que el valor de absorbancia utilizado representa solamente una especie química de adherentes esto limita un poco el análisis. Aunque su representatividad, según lo expuesto es clara.

CONCLUSIONES

1. La metodología de cuantificación de materia coloidal adherente, para el proceso de fabricación de papel a partir de fibra secundaria, correlacionó con la muestra patrón trabajada por medio de espectrofotometría.
2. El juego de variables en donde se obtienen valores más representativos y estables, es cuando se trabajan las muestras para análisis a 70 revoluciones por minuto, durante 15 minutos de agitación y 1 por ciento de consistencia
3. Las variables estudiadas influyen en el método de cuantificación propuesto por los efectos que estas tienen sobre la reología de la suspensión, debido a los fenómenos mostrados en la obtención de *stickies* a 30 y 110 revoluciones por minuto.
4. La hipótesis fue aceptada ya que, la espectrofotometría es un método válido para la cuantificación de *stickies* debido a la relación consistente entre las muestras encontradas a 425 nanómetros, obteniendo una regresión de 0,9864.
5. Se considera la metodología propuesta, como una herramienta útil para la detección de *stickies*, antes de la formación de papel, lo que da tiempo suficiente para hacer la aplicación de los productos químicos necesarios para evitar los efectos negativos en el proceso de fabricación, como en el de transformación.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar otro diseño del equipo, el cual posea deflectores, que propicien la turbulencia y homogenización de la pasta.
2. Caracterizar la reología de una suspensión de pasta de papel, con el objetivo de generar mayor criterio sobre el fenómeno de segregación de *stickies*.
3. Utilizar otra metodología analítica de comparación con el método actual que tenga mayor capacidad de reconocimiento de contaminante.
4. La cuantificación del beneficio obtenido en una fábrica de papel, en donde las acumulaciones de *stickies* se dan de manera periódica, se calcula alrededor de Q. 670 000 anuales; que incluye: aumento de velocidad en máquinas por menos problemas de roturas de hoja, disminución del rechazo por la calidad del producto, cambio de nivel de calidad del producto o consumo extra de aditivos químicos para el control de *stickies*. Por lo que se recomienda realizar un estudio completo del beneficio económico.
5. Diseñar una metodología alternativa de generación de *stickies* para agregarlos directamente a una pasta limpia para determinar de manera más precisa cómo el método se comporta según el tamaño y naturaleza del *stickie*.

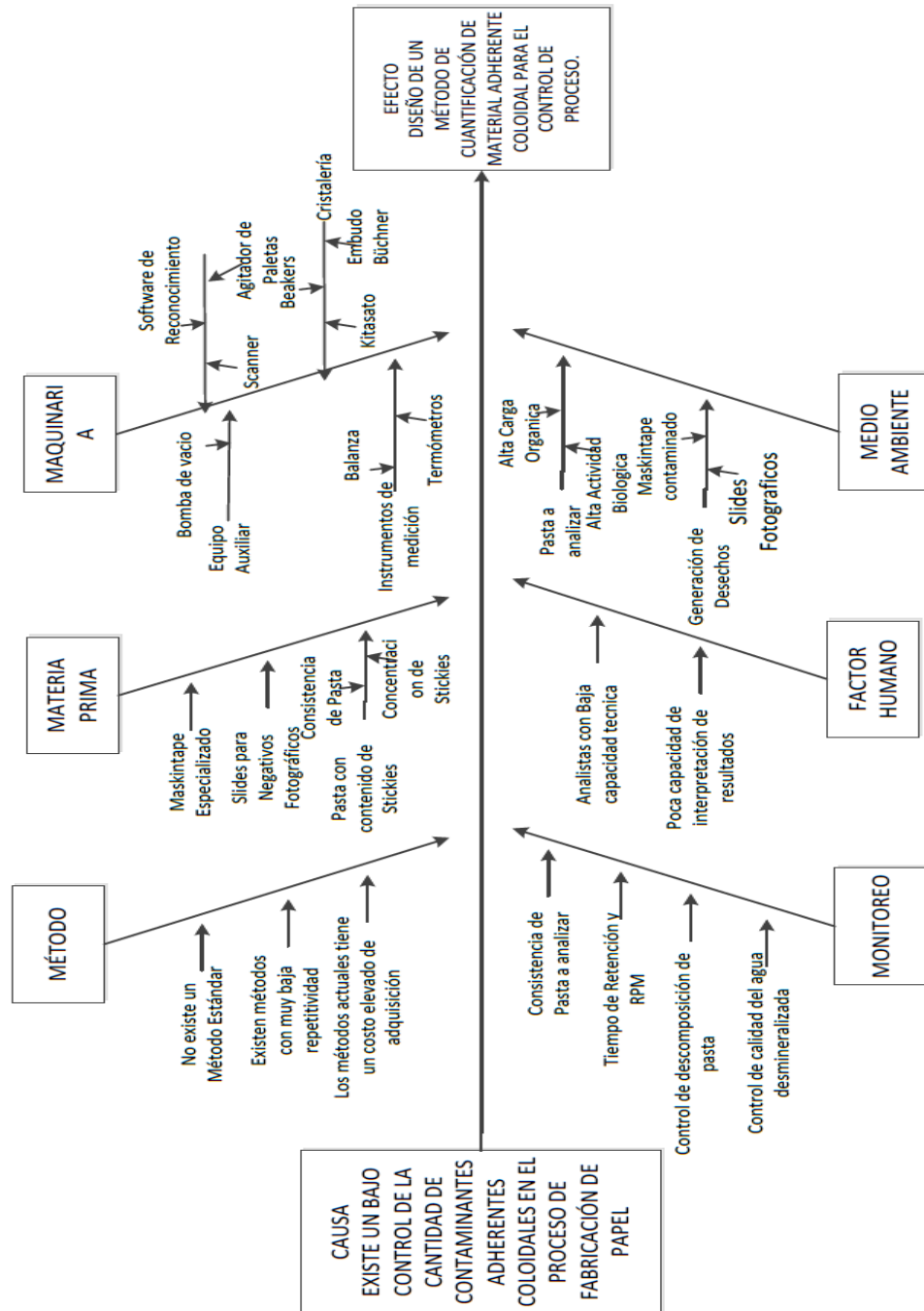
BIBLIOGRAFÍA

1. BAJPAI, Pratima. *Biotechnology for pulp and paper processing*. Springer. New York, United States.2012. 414 p.
2. MAHENDRA, Doshi; DE JONG, Rober; SALMAN, Aziz. *Measurement of Microstickies*. USDA ForestProductsLaboratory, Madison Wisconsin.2008. 63 p.
3. MILLER;MILLER. *Estadística y Quimiometría para química analítica*. 4ta. Edición. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 2002. 296 p.
4. MIRANDA CARREÑO, Rubén. *Caracterización y eliminación de la material disuelta y coloidal en la fabricación de papel reciclado*. Tesis Doctoral. 85 p.
5. PERRY, Robert H. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Octava edición. Editorial McGraw-Hill. New York, United States. 2008. 2700 p.
6. SKOOG, Douglas; HOLLER, F. James. *Principios de Análisis instrumental*. Cengage Learning Editores. México. 2012. 1043 p.
7. SOUNG-BAE, Park; JUNG-MYOUNG, Lee. *The control of sticky contaminant whit enzymes in the recycling of wastepaper*. 2003. 98 p.

8. STEIN, Padovani. *Optimizing the deinking plant by using on-line instrumentation*. 2004. 54 p.
9. TORRES LÓPEZ. Antonio L. *Introducción al destintado (I) Aspectos Generales*. Tecnología Papelera E.T.S.E.I.A.T. Universidad Politécnica de Cataluña, Terrassa. España. 1988. 63 p.
10. WALPOLE, Myers & Myers. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Pearson education. Sexta edición. México 1999. 797 p.

APÉNDICES

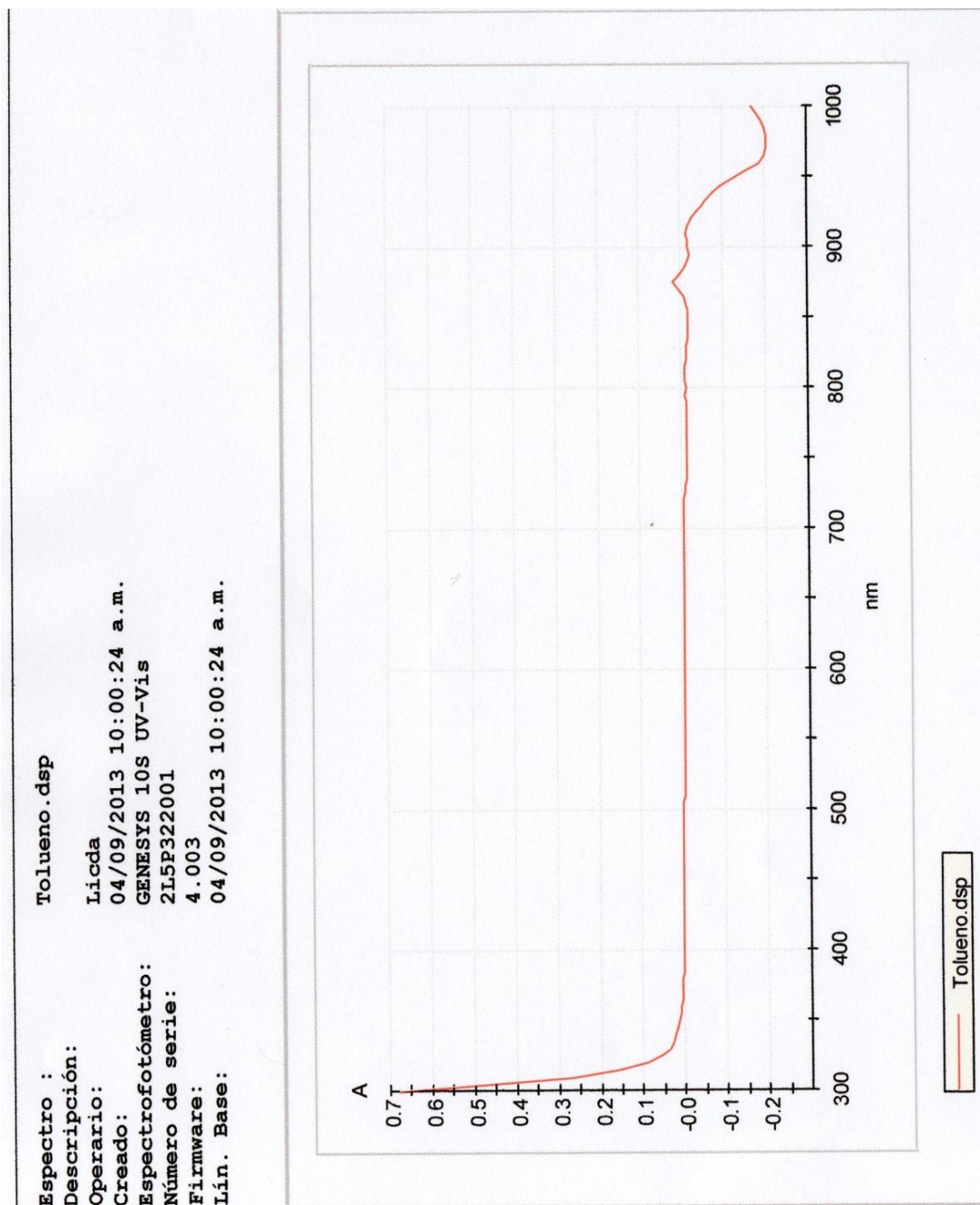
Apéndice 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

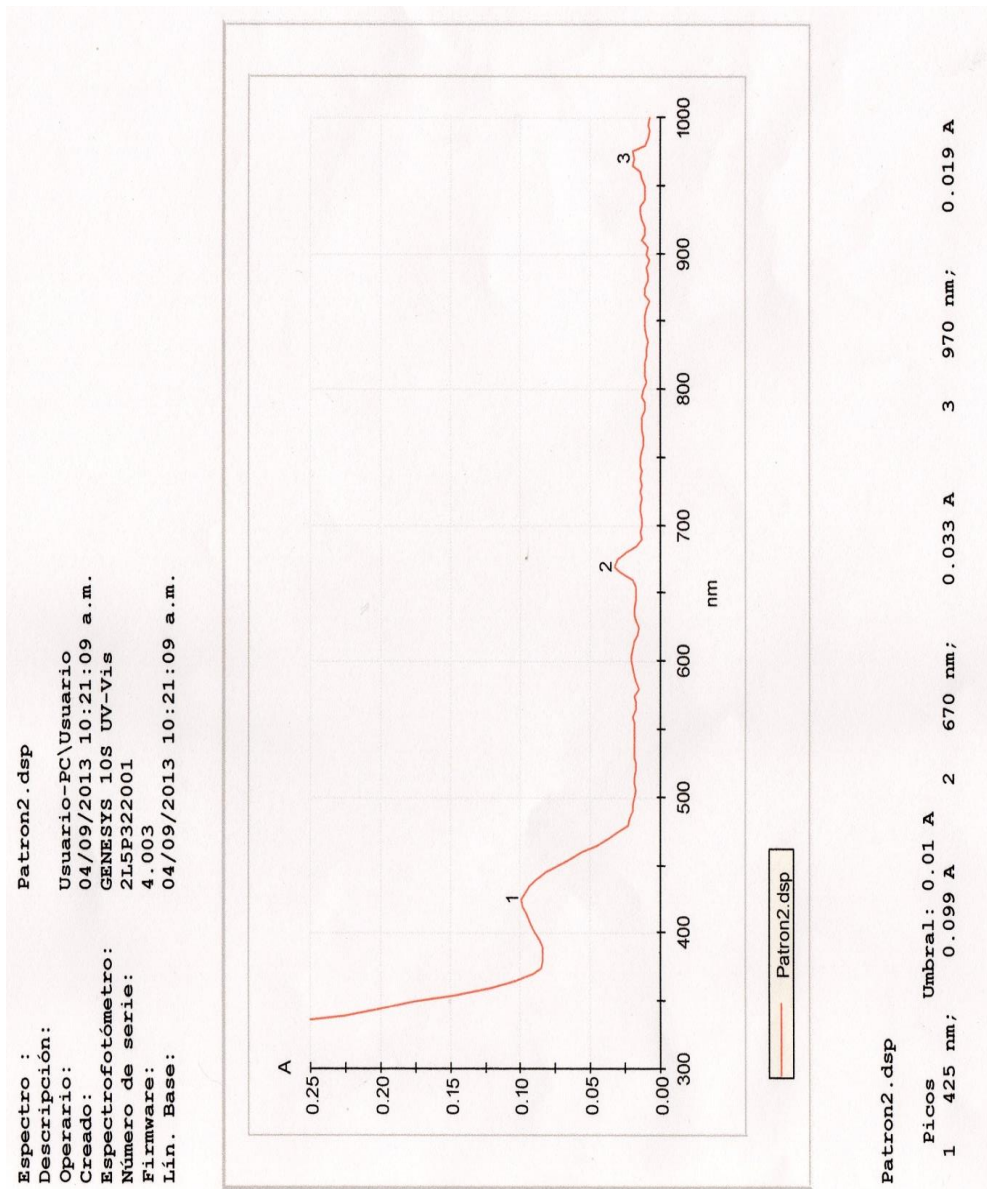
ANEXOS

Anexo 1. Muestra de solvente utilizada como blanco



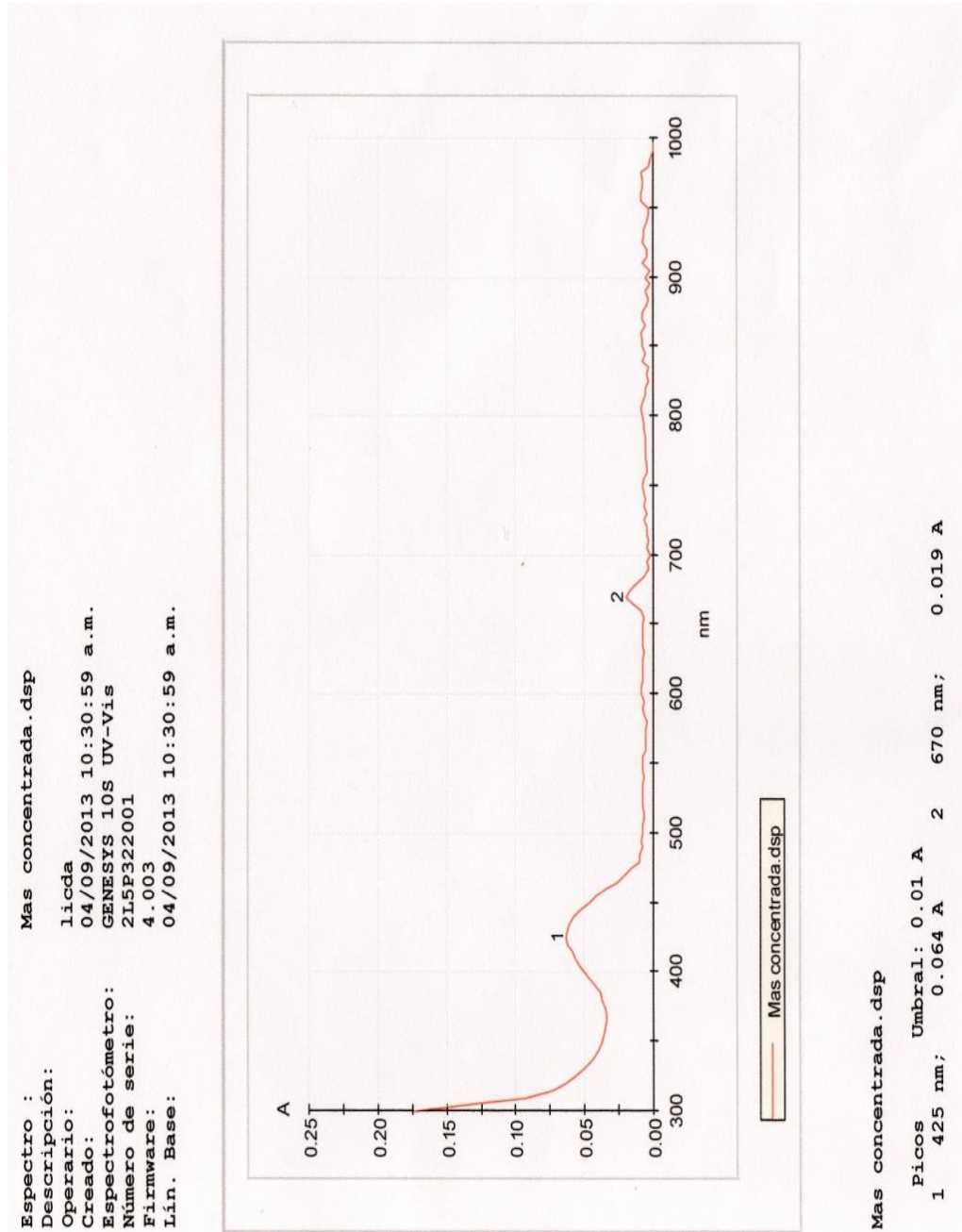
Fuente: Laboratorio Sección Química Industrial. Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

Anexo 2. Patrón utilizado en la comparación con concentración conocida de 0,15 gramos / 50 mililitros



Fuente: Laboratorio Sección Química Industrial. Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

Anexo 3. Muestra desconocida



Fuente: Laboratorio Sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

Anexo 4. Preparación de muestra para análisis



Fuente: Laboratorio de Jabones y Resinas, S. A.

Anexo 5. **Dilución de la pasta a la consistencia deseada**



Fuente: Laboratorio de Jabones y Resinas, S.A.

Anexo 6. **Fotografía de *slides* utilizados**



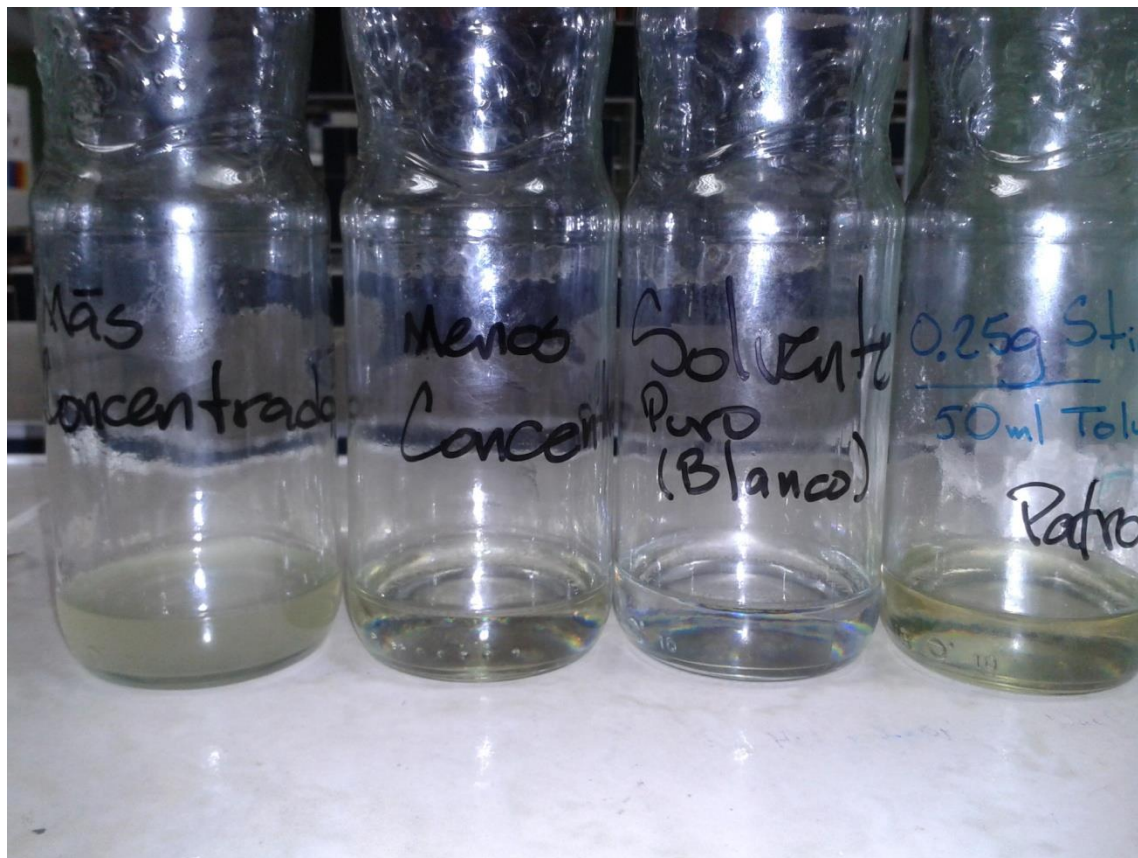
Fuente: Laboratorio de Jabones y Resinas, S. A.

Anexo 7. **Slides al momento de terminar el análisis**



Fuente: Laboratorio de Jabones y Resinas, S .A

Anexo 8. **Muestras para espectrofotometría extraídas con tolueno**



Fuente: Laboratorio de Química. USAC.