

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Caracterización de los contaminantes químicos presentes en la fibra reciclada para su eliminación en las etapas críticas del proceso de fabricación de papel higiénico.

Mario Roberto Bassegoda Portillo

Guatemala

2008

Caracterización de los contaminantes químicos presentes en la fibra reciclada para su eliminación en las etapas críticas del proceso de fabricación de papel higiénico.

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Caracterización de los contaminantes químicos presentes en la fibra reciclada para su eliminación en las etapas críticas del proceso de fabricación de papel higiénico.

Trabajo de investigación presentado por Mario Roberto Bassegoda Portillo para optar el grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2008

Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Mauricio Fletes

Tribunal

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Mauricio Fletes

(f) 
Ing. Oscar Maldonado

PREFACIO

Uno de los grandes problemas existentes a nivel mundial, se refleja en los altos costos de producción, originados por el incremento acelerado que han tenido los combustibles y todas las materias primas derivadas del petróleo. La industria papelera, se ve en la necesidad de utilizar cada día, materias primas a base de fibra secundaria, mucha de ella a un costo bajo, pero conteniendo una gama exagerada de contaminantes.

En el proceso de reciclaje, se hace uso del papel de desecho de oficinas, domicilios e industrias, razón por la que contienen: cintas adhesivas, etiquetas, grapas, tintes, resinas y otros materiales que complican el proceso de limpieza. Las grapas y otros materiales pesados, se eliminan por medio de ciclones y las tintas, por mecanismos fisico-químicos de destintado. Pero los materiales pegajosos de las etiquetas, cintas adhesivas, resinas y otros, no se eliminan durante estos procesos y se quedan adheridos en la pasta de papel, llegando a causar agujeros en la hoja formada y originar paros de la operación, para limpieza de la máquina.

Avances tecnológicos se han dado en el proceso de selección y tratamiento físico-químico de la fibra secundaria, que son consecuencia de los nuevos tipos de tinta de impresión por inyección y pegamentos o cintas adhesivas, que acompañan a la fibra.

La utilización de fibra secundaria, se considera como una ayuda a disminuir el deterioro de la naturaleza y proporcionar una alternativa para solucionar algunos de los problemas ambientales que perjudican a toda la humanidad.

Es por ello, que surge la idea de llegar a identificar a los principales contaminantes “pegajosos” existentes en el sistema de producción, con el fin de establecer el tratamiento específico para su control o determinar si el proceso se encuentra bajo control de contaminantes de esa clase.

Para la caracterización de los contaminantes obtenidos en la máquina productora de papel, se analizaron muestras de los mismos, haciendo uso de distintos equipos de laboratorio y diferentes tipos de solventes. La primera dificultad que se encontró, fue en la selección de los equipos y solventes a utilizar, ya que existe relativamente poca información publicada sobre ese tema.

Una vez seleccionados los métodos de análisis y los solventes a utilizar, se procedió a realizar las pruebas. La segunda dificultad que se encontró fueron las lecturas obtenidas, ya que sólo proporcionaban información acerca del solvente utilizado, no de los contaminantes en sí. Por lo que se procedió a evaporar las muestras, previamente solubilizadas, para tratar de eliminar el solvente y dejar únicamente los contaminantes en el portador de muestras. Otra limitante, es que el método que proporcionó más información (espectroscopia de absorción infrarroja) es de análisis cualitativo, por lo que no se pueden cuantificar los contaminantes presentes en las muestras. A nivel papelero, tiene gran importancia conocer las sustancias que conforman los contaminantes, con el fin de proceder con la metodología correcta de ataque, en donde el tipo de químico a aplicar estaría definido y sólo se haría variar la cantidad aplicada del mismo, para optimizar el proceso de control, ya sea por disolución, dispersión o encapsulado.

Quiero aprovechar para agradecer a todos los que me apoyaron para la realización y finalización de este trabajo de graduación: a Dios, por estar siempre a mi lado, por darme fuerzas para sacar adelante los proyectos y poner en mi camino a las personas que nunca dudaron ayudarme. A toda mi familia. A mi papá, por darme su apoyo y consejos en todo momento, por su valioso ejemplo y enseñarme que la vida no es fácil, pero que si se tiene la voluntad, se pueden lograr grandes cosas. A mi mamá, que a todo momento ha estado brindándome apoyo y ternura, quien siempre pudo encontrar el tiempo para ofrecerme un consejo, por mostrarme que las cosas que valen la pena se logran alcanzar con esfuerzo y dedicación. A mi hermana por su fortaleza y brindarme la energía para levantarme cada día. A mi abuelita Mechitas, porque sus palabras de ternura siempre me impulsaron para superar los obstáculos. A mi tía Mimi, por sus palabras de aliento y por creer en mí. A mi prima Karlita, por su singular apoyo y por ser como mi hermana. A mis abuelos, tíos y primos, por tenerme en sus oraciones y por comprender algunas de mis ausencias. A todos los “magníficos”, aquel grupo de estudio, en el que encontré el verdadero significado de la amistad. A Toto, mi mejor amigo de toda la vida, por enseñarme el valor de compartir. A la Licenciada Ana Luisa de Montenegro por su constante apoyo durante todas las pruebas realizadas en el laboratorio. Al Ingeniero Mauricio Fletes por asesorarme para realizar este proyecto y proporcionarme herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo de graduación. Al Ingeniero Gamaliel Zambrano, por el apoyo para finalizar este proyecto.

ÍNDICE

	Página
PREFACIO	v
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	11
IV. OBJETIVOS	12
V. PROBLEMA A RESOLVER	13
VI. METODOLOGÍA	14
VII. RESULTADOS	15
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	17
IX. CONCLUSIONES	24
X. RECOMENDACIONES	25
XI. BIBLIOGRAFÍA	26
XII. APÉNDICE	28
XIII. GLOSARIO	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Fuentes potenciales de stickies con sus respectivos componentes	5
2. Componentes potenciales de stickies para fábricas que utilizan papel reciclado para fabricar papel higiénico	15
3. Ahorros obtenidos por la implementación del programa anti-stickies	16
4. Estudio económico, programa anti-stickies	16
5. Absorbancias de las bandas características del extracto de etanol	53
6. Absorbancias de las bandas características del extracto de isopropanol	53
7. Absorbancias de las bandas características del extracto de acetona	53
8. Absorbancias de las bandas características del extracto de hexano	54
9. Absorbancias de las bandas características del extracto de benceno	54
10. Absorbancias de las bandas características del extracto de tolueno	54
11. Absorbancias de las bandas características del extracto de p-xileno	55
12. Características de los disolventes utilizados	55
13. Características de los equipos utilizados	55
14. Solubilidad relativa de la muestra de stickies en los solventes	56
15. Cantidad relativa extraída por cada tipo de solvente	56
16. Comparación del espectro IRTF del extracto de etanol con la biblioteca Hummel Polymer Sample Library	56
17. Comparación del espectro IRTF del extracto de isopropanol con la biblioteca Hummel Polymer Sample Library	57
18. Comparación del espectro IRTF del extracto de tolueno con la biblioteca Hummel Polymer Sample Library	57
19. Comparación del espectro IRTF del extracto de benceno con la biblioteca Hummel Polymer Sample Library	58
20. Compuestos presentes únicamente en el extracto de isopropanol	58
21. Compuestos presentes únicamente en el extracto de etanol	58
22. Compuestos presentes únicamente en el extracto de tolueno	58
23. Compuestos presentes únicamente en el extracto de benceno	59
24. Grupos funcionales identificados en los extractos de los disolventes polares	59
25. Grupos funcionales identificados en los extractos de los disolventes apolares	59

Cuadro	Página
26. Productos químicos utilizados en el programa anti-stickies	59
27. Clasificación de la calidad de la materia prima utilizada	60
28. Otras propiedades de los productos químicos utilizados en el programa anti-stickies	60
29. Costos del programa anti-stickies	60
30. Efecto que la calidad de materia prima empleada tiene sobre la eficiencia operativa del proceso	61
31. Costo acumulado de la materia prima considerando la limpieza química	61
32. Costo acumulado de la materia prima considerando el paro realizado para limpieza de maquinaria	61
33. Costo acumulado de la materia prima considerando el producto reprocesado por no cumplir estándares de calidad	62
34. Cantidades por tiempo perdido al no aplicar programa anti-stickies	62
35. Valores X, Y, Z, u, s, t, con distintas combinaciones de materia prima	62
36. Ahorro por utilizar combinaciones de materia prima comparado con la media (materia prima clase C)	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica	Página
1. Solubilidad de la muestra de stickies en distintos solventes	64
2. Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia (Extracto de Stickies en etanol)	65
3. Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia (Extracto de Stickies en isopropanol)	66
4. Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia (Extracto de Stickies en etanol/tolueno)	67
5. Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia (Extracto de Stickies en etanol/benceno)	68
6. Comparación de los compuestos presentes en el extracto de etanol e isopropanol	69
7. Comparación de los compuestos presentes en las extracciones combinadas de Etanol/Tolueno y Etanol/Benceno	70
8. Comparación de los dos componentes presentes en todos los extractos	71
9. Valores de absorbancia de los extractos de disolventes polares	72
10. Valores de absorbancia de los extractos de disolventes apolares	73
11. Costo total del programa anti-stickies	74
12. Comparación costo materia prima Vs. costo real	75
13. Costos del programa anti-stickies	76
14. Evolución del costo de la materia	77
15. Porcentaje de costos por tipo de materia prima	78
16. Ahorro/pérdida por mezclas de materia prima respecto a la materia prima clase A	79

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar las características físicas y químicas, de los contaminantes presentes en la fibra reciclada para fabricar papel higiénico, para poder así eliminarlos en las etapas críticas del proceso. Para ello, es necesario analizar distintas muestras de los contaminantes químicos conocidos como “stickies”, utilizando equipos de análisis instrumental, que sean capaces de proporcionar información analítica acerca de los compuestos presentes en las muestras.

Los resultados obtenidos al final del trabajo de investigación son: 1. La naturaleza de los contaminantes químicos presentes en las muestras de stickies tomadas del proceso de elaboración de papel higiénico. 2. Los compuestos presentes en dichos contaminantes y las fuentes potenciales que pueden originarlos a partir de la materia prima utilizada. 3. El análisis económico para ver si es económicamente rentable utilizar un programa anti-stickies.

ABSTRACT

The purpose of the present research work is to determine the chemical and physical characteristics of the pollutants present in secondary fiber to produce toilet paper, in order to eliminate them in the critical phases of the making process. To achieve this goal, it is necessary to analyze different samples of the chemical pollutants known as “stickies”, using instrumental analysis equipment, that are capable to provide useful information about the chemical compounds present in the samples.

The results obtained at the end of the investigation are: 1. the nature of the pollutants present in the samples taken from the making process. 2. The chemical compounds present in such pollutants and the potential sources that could have originated them, according to the raw materials used. 3. The economic analysis to determine if it is feasible to implement an anti-stickies program.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de papel de residuo como materia prima para la producción de papel higiénico, es cada vez mayor en el mundo entero. Se produce gran variedad de calidades y generalmente se emplean procesos intermitentes o por lotes. El material recolectado se desfibra en agua, se elimina la suciedad y los contaminantes, se destinta con álcali [NaOH, Na₂CO₃ y Na₂O(SiO₂)_x], se lava, se cuece ligeramente con álcalis suaves, se blanquea, se filtra y después se maneja como cualquier pulpa (Austin, 1988:734).

Debido a las condiciones iniciales de la materia prima utilizada para reciclar papel, no se pueden eliminar todos los contaminantes presentes en la misma con los métodos convencionales de eliminación. Estos contaminantes frecuentemente forman parte del material de proceso y perjudican el funcionamiento de las máquinas y la calidad del producto final. Dichos contaminantes se adhieren en la superficie de fieltros y telas portadoras de la hoja de papel, obligando a realizar más paros por limpiezas y reduciendo su tiempo de vida útil. Posteriormente, existen contaminantes que terminan en el producto final, pegando las hojas de papel, en el rollo, unas con otras. Por esta razón se necesita determinar un sistema de eliminación de los contaminantes presentes en la materia prima para fabricar papel higiénico, ya que con ello, se evitan paros por limpieza y una mejora considerable en la calidad del papel producido.

El trabajo de graduación se divide en las siguientes secciones para explicar su elaboración: antecedentes: en donde se exponen los fundamentos de la elaboración de papel higiénico, la naturaleza de algunos contaminantes presentes en la materia prima utilizada y algunos métodos analíticos de identificación y caracterización; justificación: en la que se dan las razones por las cuales se realiza el trabajo; objetivos: en donde se plantea qué se desea lograr con el estudio; problema a resolver: en el que se expresa el problema que existe en la industria sin efectuar el proyecto; metodología: en donde se explica el procedimiento a seguir para la determinación de la composición y concentración de los contaminantes presentes en la fibra reciclada, selección del sistema de remoción de contaminantes y el estudio económico; resultados: en donde se presentan los componentes principales identificados como fuente de contaminantes para el proceso de reciclaje de papel para fabricar papel higiénico y el programa anti-stickies utilizado en las etapas críticas de dicho proceso; discusión de resultados: en la cual se hace un análisis de los resultados obtenidos justificando la validez de los mismos y problemas encontrados; conclusiones: las cuales verifican el cumplimiento de los objetivos y sintetiza los principales hallazgos; recomendaciones: las cuales tienen el propósito de facilitar futuras investigaciones y el apéndice: en donde se muestra la información adicional.

II. ANTECEDENTES

A. Reciclaje de papel

El uso de residuos de papel como materia prima para la preparación de pasta, ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, hasta el punto que algunas papeleras dependen casi completamente del papel de desecho. El papel reciclado se puede retransformar en pasta en un proceso relativamente suave, que utiliza agua y a veces hidróxido de sodio (NaOH). Los contaminantes, tales como pequeños trozos de metal, arena, grapas, ganchos, polietileno y plástico, se separan en la fase previa al pulpeo o cuando la fibra, en presencia de agua, forma lo que se llama pasta a tres por ciento de concentración, en donde utilizando medios centrífugos, se consigue la separación parcial de los contaminantes. Las sustancias de relleno, colas y resinas se eliminan en la fase destintado, por el método de flotación y/o por lavado, en donde se hacen uso de surfactantes y dispersantes. Una nueva metodología, implica la utilización de enzimas. La espuma formada en los equipos de destintado, contiene sustancias químicas indeseables y se retira. El blanqueo tiene la desventaja de que puede reducir la longitud de la fibra y, por consiguiente, disminuir la calidad final del papel. Los agentes blanqueantes utilizados en la producción de pasta reciclada son en general similares a los empleados en las operaciones de abrillantado de la pasta mecánica, el peróxido de hidrógeno y el bisulfito de sodio.

El papel de desecho puede ser triturado y reciclado varias veces. Sin embargo, en cada ciclo, del 15 al 20 por ciento de las fibras se vuelven demasiado pequeñas para ser usadas, por lo que en algunos casos es necesario mezclar con pasta virgen (obtenida a partir de fibras vegetales). La pulpa de menor calidad se utiliza para fabricar cajas de cartón. Las impurezas y algunas tintas se eliminan de la pulpa de mejor calidad para fabricar papel higiénico, de impresión y escritura. En otros casos, la fibra reciclada se mezcla con pulpa nueva para elaborar productos de papel con un porcentaje de material reciclado.

B. Etapas del proceso de reciclaje de papel

1. **Preparación de la pulpa.** La pasta se prepara en un aparato llamado *pulper*, donde se mezcla agua con los residuos de papel. El pulper es un gran recipiente, normalmente a nivel inferior del suelo, en cuyo interior se encuentra una gran hélice. Al añadir los residuos de papel, comienza el proceso de disgregación de fibras, primero por el impacto al caer los fardos, luego por el rozamiento de la hélice con la pasta y finalmente por el rozamiento de las mismas fibras entre sí. Esta acción genera calor que ayuda a la dispersión.

2. **Limpieza mecánica y destintado.** Una vez formada la pasta de papel, se lleva a cabo la etapa de destintado, en la cual se agregan aditivos químicos que ayudan a la separación de tintas. Por efectos de densidad, las tintas tienden a flotar y forman un tipo de espuma oscura, la cual es removida por acción mecánica utilizando aspas en la parte superior del tanque de destintado. La pasta de papel limpia, se lleva al siguiente proceso que es el refinado.

3. **Refinado.** Las fibras en suspensión se han de tratar físicamente mediante un proceso de fricción, con el cual se busca aumentar su capacidad de "afieltrarse" y unirse entre sí. A este proceso se le llama *refinado*. Consiste en frotar las fibras entre sí y contra unos discos metálicos. Esto hace que se rompan parcialmente y se formen una especie de terminaciones irregulares con las que se crearán los puentes de hidrógeno y darán al papel mayor resistencia a la tracción. Al aumentar el grado de refinación de una pasta disminuye su opacidad, aumenta la resistencia a la tracción y disminuye la porosidad.

Una vez refinado, pasa por varios contenedores de líquidos donde se le agregan aditivos tales como colorantes, cargas minerales (para añadir blancura y disminuir porosidad), productos especiales (para aumentar la resistencia al agua y a la tracción). Después de haber agregado los aditivos, se deja reposar por cierto tiempo para eliminar la latencia, que es la propensión de la fibra a enredarse. Y posteriormente llega a la máquina de papel.

4. **Máquina de papel.** Es el elemento más importante. Es el lugar donde la pasta en suspensión se convierte en papel. Aunque hay varios tipos, la más usada es la máquina de mesa plana. Consta de varios elementos, se citan los más importantes por orden de utilización y la utilidad que desempeñan.

a. **Cabeza de máquina.** Se encarga de expulsar la pasta de papel en una fina capa sobre la tela de la máquina de papel. Básicamente es una caja alargada, en cuyo interior circula la pasta. En su extremo inferior, tiene una abertura en su largo por donde sale la película de pasta. El ancho de esta abertura se controla con unos labios, el cual a su vez, controla la cantidad de pasta suministrada. Controlando la salida de pasta de los labios se obtienen distintas propiedades de la hoja formada. Al salir de los labios, cae directamente en la tela de máquina, a ésta en su inicio, se le da un movimiento horizontal para mitigar un sentido de la fibra pronunciado.

b. **Tela.** Es una malla muy fina donde se coloca la pasta de papel y comienza el goteo y secado. La primera parte del secado es por gravedad, el agua cae atravesando la tela y las fibras quedan retenidas en la parte superior. Después, el exceso de agua no gotea por sí sola, por lo que hay que ayudarla con varios elementos. Algunos de estos elementos son piezas de plástico, que se colocan en la parte inferior de la tela. Tienen un ligero ángulo de descenso, al contacto con la malla genera cierto vacío.

Al eliminar el agua en su mayor parte, el papel comienza a tener consistencia y se coloca en la sección de prensas y secadores.

5. **Prensas y secadores.** Una vez el papel ya ha adquirido consistencia, se elimina toda la humedad posible, para esta etapa se usa presión y calor. La presión se da por medio de pares de rodillos recubiertos de goma; entre los rodillos y la hoja de papel corre una cinta de fieltro que absorbe el agua escurrida por la presión del rodillo. La banda de papel prensada se hace pasar por una serie de rodillos huecos por los que circula vapor a altas temperaturas, para ello se acompaña con una manta de fieltro que evita que la hoja se aparte del cilindro ayudando al secado y guiando la hoja por ellos. En el caso de papel higiénico, se utiliza un solo secador, llamado “Yankee”, el cual tiene la particularidad de tener un diámetro mucho mayor que el de los secadores, soportar altas presiones de vapor y poseer una campana, por donde se saca el condensado producido por la evaporación de la hoja de papel.

6. **Pope.** Finalmente, el papel fabricado se enrolla en grandes bobinas para su posterior uso. Es un cilindro con entrada y salida de agua de refrigeración para el correcto enrollado.

C. Stickies

Uno de los principales problemas en el uso de fibra reciclada en la industria de papel es la presencia de los contaminantes presentes en el papel de desecho que ingresa a la planta. En la industria de papel reciclado, el término “stickies” se refiere a una amplia gama de contaminantes pegajosos, orgánicos o inorgánicos, que se originan a partir de varias fuentes. Estas fuentes pueden ser adhesivos sensitivos a la presión, adhesivos termofusibles (hot melts), tintas, resina de madera, resinas de resistencia húmeda, entre otros. Materiales extraños frecuentemente se ven encerrados o absorbidos debido a la naturaleza pegajosa de dichos contaminantes (Douek, 1996:191).

Los stickies pueden ocasionar grandes problemas de operación y de calidad. Las consecuencias varían desde cambios prematuros de materia hasta agujeros en la hoja final de papel. Pequeñas partículas también se pueden incorporar al producto final, causando motas de suciedad que reducen la calidad del producto final y que pueden causar problemas posteriores. Sin duda alguna, los stickies son considerados uno de los contaminantes más problemáticos y costosos de la industria de papel reciclado en la actualidad (Douek, 1996:191).

Los stickies se forman principalmente por los adhesivos y tintas presentes en la materia prima del reciclaje de papel. Existen distintos tipos de adhesivos y cada uno posee características y aplicaciones diferentes. A continuación se mencionan algunos tipos de adhesivos.

1. **Adhesivos naturales.** Generalmente son de baja resistencia y susceptibles a la humedad y moldeado. Su utilización está restringida para unir materiales de baja resistencia. Incluyen gomas animales y vegetales y caseína.

2. **Adhesivos elastómeros.** Basados en hules naturales y sintéticos. Poseen relativamente baja capacidad de proporcionar resistencia y por lo tanto son útiles para enlaces flexibles con plásticos y hules. Los adhesivos elastómeros incluyen hules naturales, policloropreno (neopreno), acrilonitrilo butadieno, poliuretano, silicona y copolimeros estireno/butadieno.

3. **Adhesivos termoplásticos.** En general este tipo de adhesivos posee una capacidad baja/media de proporcionar resistencia. Poseen buena resistencia contra aceites, pero poca resistencia contra el agua. Los adhesivos termoplásticos incluyen acetato de polivinilo (PVA), alcohol de polivinilo (PVA_{OH}), poliacrilatos, cianoacrilatos y resinas de silicón.

Cuadro 1

Fuentes potenciales de stickies con sus respectivos componentes

Fuente	Componente
Sobres (auto cierre a base de agua)	Almidón, acrílicos, Polyisopreno, hule natural
Bolsas de papel y corrugado medium	Almidón
Cajas corrugadas	Copolímero de acetato de etilenvinilo
Masking tape	Hule natural
Papel engomado, adhesivo laminado	Almidón, copolímero estireno/butadieno
Adhesivo de encuadernación	Copolímeros de estireno/butadieno, estireno/isopreno o estireno/butadieno
Encuadernación de block de notas	Hule natural o de estireno/butadieno
Etiquetas sensitivas a presión (post-it)	Hule de estireno/butadieno
Papel encerado	Polietileno, etilenvinyl acetato
Laminados plásticos	Hule natural de grado A, polyisopropeno
Cartón para leche	Polietileno o cera
Revistas	Látex recubierta UV
Papeles y cartones recubiertos	PVA, Almidón
Centros de higiénico	Acetato de polivinilo

Desafortunadamente, existe relativamente poca información publicada acerca del análisis de dichos contaminantes en forma de stickies. Trabajos recientes reportan el uso de espectroscopia infrarroja (IR), espectroscopia de resonancia magnético nuclear (RMN), cromatografía de exclusión por tamaño, cromatografía de gases por pirolisis (CG-Py), cromatografía de gases por espectrometría de masas (CG/EM) y espectroscopia por energía dispersiva (EED). Sin embargo, en la mayoría de estos casos se examinaron únicamente puntos individuales y sólo muestras relativamente puras pudieron ser examinadas (Douek, 1996:191).

D. Técnicas analíticas

1. Espectroscopia de absorción infrarroja (IR). La espectroscopia de absorción infrarroja es una técnica que se utiliza en la química analítica y es tan general como los métodos UV y visible. La absorción de radiación en la región IR puede proporcionar información acerca de la naturaleza de los compuestos, de la existencia o no de grupos funcionales y de la estructura de las moléculas. Aunque tiene menos aplicaciones en el análisis cuantitativo que la absorción UV o visible, la absorción IR es una de las técnicas fundamentales en el análisis cualitativo y muy valiosa para identificar grupos funcionales (Skoog, 2001:631).

a. Moléculas que absorben radiación infrarroja. Con excepción de las moléculas diatómicas mononucleares, como O_2 , Cl_2 y N_2 , todas las moléculas orgánicas e inorgánicas absorben la radiación infrarroja. Por esta razón, la espectroscopia IR es uno de los métodos de análisis que tienen una aplicación más general. La absorción molecular de la radiación IR lleva una serie de transiciones entre los niveles de energía de vibración de los estados energéticos electrónicos con las más baja excitación. La forma en que puede vibrar una molécula está relacionada con el número de sus enlaces, por lo tanto, está relacionada con el número de átomos que la componen. Las vibraciones de una molécula son numerosas, inclusive para la más simple (Skoog, 2001:632).

Además de las moléculas orgánicas, los compuestos inorgánicos simples como CO_2 , CO , H_2S , NO_2 y SO_2 también absorben la radiación infrarroja, así como varios tipos de complejos metálicos unidos por enlaces covalentes (Skoog, 2001:632).

b. Aplicaciones cualitativas y estructurales. La espectroscopia IR es una de las herramientas más poderosas e importantes de la química para identificar y establecer la estructura de especies orgánicas, inorgánicas y bioquímicas. Aun las moléculas más simples dan un espectro complejo, con muchas bandas de absorción, las cuales pueden servir para establecer la identidad de un compuesto. De hecho, el espectro IR de un compuesto que abarque un intervalo de longitud de onda de 2.5 a 15 μm , es una huella dactilar única que se puede distinguir de los espectros de absorción de otros compuestos. Sólo los isómeros ópticos tienen espectros idénticos (Skoog, 2001:632).

Los espectros pueden proporcionar información acerca de la absorbancia o transmitancia de una las moléculas absorbentes de energía infrarroja a diferentes intervalos de longitud de onda. La longitud de onda está representada en la parte inferior del espectro, en cm^{-1} como unidad de medida. La intensidad de la banda se mide en porcentaje de transmitancia.

c. Análisis cuantitativo por espectroscopia de absorción infrarroja. Las aplicaciones de la espectroscopia IR en el análisis cuantitativo son mucho más limitadas que las que tienen las mediciones en la región UV o visible. Esto se debe principalmente a que en el IR las absorptividades molares son bajas, la absorción por el disolvente y la absorción de fondo son considerables y las bandas de absorción IR más estrechas, lo cual puede llevar a que haya desviaciones en la ley de Beer debido a la radiación policromática (Skoog, 2001:633).

1) Medición de la absorbancia. El procedimiento empleado en los métodos UV y visible para aparear las celdas del disolvente y del analito, es poco práctico para las mediciones en el IR porque es más difícil disponer de celdas con características de transmisión idénticas. Con el uso, las ventanas de las celdas pierden su transparencia debido al desgaste por la humedad del medio ambiente y de las muestras (especialmente las ventanas de NaCl pulido). Por otra parte es difícil reproducir las longitudes de la trayectoria del haz, ya que las celdas deben tener un grosor de 1 mm o menos para que la radiación IR se transmita con intensidad suficiente y pueda medirse. Por el deterioro y el pequeño grosor de las celdas, hay que calibrar con frecuencia la trayectoria que sigue la radiación. Además, a diferencia de las regiones UV y visible del espectro, en el IR no siempre se pueden hacer mediciones de soluciones diluidas de analito, ya que no siempre se tienen disolventes que transmitan en regiones apreciables del IR (Skoog, 2001:633).

Estos problemas se pueden superar utilizando los sistemas de transformadas de Fourier (IRTF) guardando en una memoria el espectro del disolvente y obtener luego el de la muestra. Con los antiguos sistemas de dispersión, se eliminaba por completo el absorbente de referencia y se comparaba la intensidad de la radiación que salía de la muestra con la de un haz que pasara libremente o uno que sólo tuviera una placa salina de referencia. La transmitancia en el IR suele ser menor del 100% debido a la absorción por el disolvente, inclusive en aquellas regiones en las que la muestra es totalmente transparente. Las interferencias debido a la absorción por el disolvente y la del fondo pueden dificultar la medición de absorbancia de un solo compuesto en el IR. De hecho, a menudo es necesario restar la contribución de la absorción de fondo a la señal de absorción máxima del analito. Normalmente, esto se puede hacer por extrapolación de la línea basal en cualquier lado de la señal de absorción máxima. Sin embargo, estos métodos hacen poco fiables las mediciones de absorbancia IR (Skoog, 2001:633).

2) Aplicaciones de la espectroscopia IR. La espectroscopia infrarroja tiene el potencial para determinar varias de sustancias en virtud de que casi cualquier especie absorbe en esta región. Además, la peculiaridad de cada espectro IR proporciona un alto grado de especificidad que sólo es igualado o superado por muy pocos métodos analíticos (Skoog, 2001:633).

Por otro lado, el aumento cada vez mayor de las normas que demandaban las dependencias gubernamentales para disminuir la emisión de contaminantes atmosféricos, precisa un desarrollo continuo de métodos altamente específicos, sensibles y rápidos que permitan medir la enorme variedad de compuestos químicos. Los métodos de absorción IR son los que satisfacen mejor estas necesidades más que cualquier otro método analítico. Las técnicas de IR se utilizan conjuntamente con otras técnicas, tales como la espectrometría de masas y la espectroscopia por RMN (Skoog, 2001:633).

2. **Cromatografía de exclusión por tamaño de alta resolución.** La cromatografía por exclusión de tamaño en gel es el más novedoso de los procedimientos cromatográficos. Esta técnica es especialmente útil en la separación de especies de peso molecular elevado (Skoog, 2001:714).

Los empaques que se emplean en cromatografía de exclusión por tamaño, se componen de pequeñas partículas ($-10\mu\text{m}$) de sílice o de algún polímero que tiene una red de poros uniformes, dentro de los cuales difunden las moléculas de soluto y de disolvente. Mientras las moléculas están en los poros, quedan atrapadas y separadas del flujo de la fase móvil. El tiempo medio de residencia de las moléculas de analito depende de su tamaño efectivo. Las moléculas de tamaño mayor al del poro del empaque son excluidas y no experimentan retención, es decir, viajan por la columna a la velocidad de la fase móvil. Las moléculas de tamaño menor al de los poros pueden penetrar a través del laberinto de poros y quedan atrapadas por más tiempo, son las últimas en salir de la columna. Entre estos dos extremos están las moléculas de tamaño intermedio, cuyo poder de penetración en los poros depende de su diámetro. La separación que se logra dentro de este grupo está directamente asociada al tamaño molecular, y en cierta medida, a la forma de la molécula (Skoog, 2001:714)

3. **Cromatografía de Gases por Espectrometría de Masas (CG/EM).** La cromatografía de gases por espectrometría de masas se ha convertido en una de las herramientas más poderosas para el análisis de mezclas orgánicas complejas. La cromatografía de gases permite separar los componentes de una muestra vaporizada en virtud de que estos se distribuyen entre una fase gaseosa móvil y una fase estacionaria líquida o sólida contenida en una columna. La muestra que se analizará se lleva a la fase gaseosa y se inyecta en una de las cabezas de la columna cromatográfica. La elución de los componentes se realiza mediante el flujo de una fase gaseosa móvil que, a diferencia de la de otros métodos cromatográficos, es inerte y no interactúa con las moléculas de las especies de la muestra, sólo las transporta a través de la columna. Existen dos tipos de cromatografía de gases: la de gas-líquido (CGL) y la de gas-sólido (CGS). La primera, es la que más aplicaciones tiene en todos los campos de la ciencia y se conoce más comúnmente como cromatografía de gases (CG). La cromatografía de gas-sólido tiene menos aplicaciones debido a que muchas moléculas reactivas o polares poseen tiempos de retención muy largos y las colas de los picos de elución no son aceptables (Skoog, 2001:687).

El fundamento de la cromatografía de gas-líquido es la separación del analito entre una fase gaseosa móvil y una fase líquida estática adherida en la superficie de un empaque sólido inerte o en las paredes de una columna capilar. A continuación se describen brevemente los componentes básicos de un cromatógrafo de gases (Skoog, 2001:687).

a. Sistema de gas acarreador. La fase gaseosa móvil de un cromatógrafo de gases debe ser químicamente inerte, por lo cual se utiliza gas helio, aunque también pueden emplearse otros gases como argón, nitrógeno e hidrógeno. Ya que los tanques vienen comprimidos en tanques de presión, es necesario disponer de reguladores de presión y manómetros para controlar la velocidad de flujo del gas. Las presiones que se alcanzan en la entrada de la columna van de 6.89×10^4 Pa a 3.45×10^5 Pa y proporcionan un flujo de 0.83 mL/s. El flujo del gas puede medirse con una simple bureta que mide el desplazamiento de una burbuja de jabón. Al comprimir el bulbo lleno con una solución jabonosa, se forma una película de jabón en el trayecto por donde pasa el gas. Luego se mide el tiempo necesario para que la burbuja recorra dos graduaciones de la bureta y se transforma en unidades de flujo. Muchos cromatógrafos comerciales ya vienen equipados con circuitos electrónicos que miden el flujo de gas, además de un sistema controlado por computadora para regular la velocidad de este flujo (Skoog, 2001:688).

b. Sistema de inyección de la muestra. Para optimizar la eficacia de la columna cromatográfica, es indispensable que la muestra tenga el tamaño adecuado para inyectarla como un “bolo” de vapor, si las muestras son voluminosas o se inyectan lentamente, se obtienen bandas muy anchas y su resolución es pobre. Las muestras líquidas se inyectan con microjeringas calibradas a través de un diafragma de caucho o de silicona que desemboca en una cavidad donde se calienta la muestra antes de pasar a la cabeza de la columna. La temperatura que se alcanza en esta cavidad es de unos 323 K por arriba del punto de ebullición del componente menos volátil de la muestra. Los volúmenes se reducen hasta 100 veces o más. En estas columnas es necesario utilizar un mecanismo para fraccionar la muestra e inyectar sólo una pequeña porción conocida, el resto se desecha (Skoog, 2001:689).

c. Detectores. Los sistemas de detección para la cromatografía de gases deben responder rápidamente a las pequeñas concentraciones de solutos que salen de la columna. En cualquier instante, la concentración de soluto en el gas acarreador no llega a más de unas cuantas partes por mil y a menudo es de dos órdenes de magnitud menor. Además, como el tiempo que tarda en pasar un pico de señal por el detector suele ser de un segundo (o menos), es imprescindible que éste responda totalmente a dicho lapso. Otras propiedades del detector incluyen en que debe dar una respuesta rápida, que sea lineal, estable y uniforme para gran variedad de especies químicas. De forma alternativa, la respuesta puede ser selectiva y predecible hacia uno o varios tipos de soluto (Skoog, 2001:690).

El detector de masas más simple para cromatografía de gases es el detector de trampa de iones. En este instrumento, los iones se generan por impacto de electrones o por ionización química, a partir de la muestra eluida, y luego se mantienen en un campo de radiofrecuencia. A continuación, los iones atrapados se expulsan del área de almacenamiento hacia un detector multiplicador de electrones. La expulsión se controla de tal forma que es posible un barrido en función de la relación masa/carga. El detector de trampa de iones es extraordinariamente compacto y más barato que los instrumentos de cuadrupolo.

d. Métodos de detección combinados. Los cromatógrafos de gases también utilizan otros tipos de detectores, tales como los detectores termoiónicos, los detectores de Hall o detectores de conductividad electrolítica y los de fotoionización. Cuando se utiliza un detector termoiónico, los compuestos que contienen nitrógeno y fósforo generan grandes corrientes en la flama en la que se ha vaporizado una sal de un metal alcalino. Estos detectores son de mucha utilidad para analizar pesticidas organofosforados y productos farmacéuticos. Para analizar compuestos que contienen halógenos, azufre o nitrógeno con un detector de conductividad electrolítica, se mezclan los componentes con un gas de reacción en un pequeño tubo reactor. Los productos se disuelven luego en un líquido, con lo que se forma una solución conductora y se mide el cambio de conductividad debido al compuesto activo. En la detección por fotoionización se aplica radiación UV a las moléculas para ionizarlas. Los iones y electrones producidos se colectan mediante un par de electrodos y se mide la corriente generada. Este tipo de detector se emplea mucho en las moléculas aromáticas y en las que pueden ionizarse fácilmente por radiación UV (Skoog, 2001:692).

El efluente de la columna cromatográfica se mide continuamente con alguna técnica espectroscópica o electroquímica selectiva. También se emplean técnicas de espectrometría de masas (EM) y de espectroscopia IR con transformadas de Fourier. Los instrumentos modernos controlados por computadoras tienen bases de datos muy completas con las que se pueden comparar los espectros e identificar los compuestos que salen de la columna cromatográfica (Skoog, 2001:693).

4. Espectroscopia de Energía Dispersiva (EED). El análisis de la porción inorgánica de los contaminantes puede proporcionar pistas para conocer el origen de los contaminantes presentes en la materia prima para reciclar papel. Se etiquetan los elementos que se sitúan por encima del sodio en la tabla periódica de los elementos. Se puede determinar el contenido de cenizas, lo cual proporcionaría otra parte de información para la caracterización de los contaminantes químicos (Berben, 1999:87).

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente ha cobrado gran importancia la protección al medio ambiente, con lo que se ha buscado disminuir el deterioro de la naturaleza y solucionar los problemas ambientales. Una opción, que cada día toma más importancia para reducir los residuos sólidos y disminuir la contaminación ambiental, es el proceso de reciclaje. El reciclaje consiste en reutilizar los desechos para fabricar productos de utilidad. Reciclar papel es una gran alternativa para producir papel higiénico sin necesidad de talar árboles o efectuar los elevados gastos energéticos que requiere. Al fabricar papel higiénico a partir de fibra reciclada se utiliza menos agua y energía que al fabricar papel higiénico a partir de fibra virgen, por lo que el proceso de reciclaje se utiliza cada vez más en el mundo entero.

Sin embargo, este tipo de materia prima para fabricar papel higiénico posee muchos contaminantes, dentro de los que se cuentan: adhesivos, tintas, resinas, etiquetas, plásticos, colorantes, pigmentos y gomas de distintos tipos.

Por lo tanto, para evitar daños o mantenimientos excesivos en las máquinas y para obtener un producto de alta calidad, se debe eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes en la fibra reciclada. Esta tarea se debe realizar en una etapa inicial y desarrollar un sistema de eliminación de contaminantes en los puntos críticos del proceso para aquellos que no pudieron ser eliminados en la etapa inicial. Sin embargo, estos contaminantes poseen características especiales que les permiten adherirse a la pulpa de papel y ser muy difíciles de detectar y por lo tanto de eliminar. Para ello, se hace necesario conocer las características específicas de los contaminantes y seleccionar así el mejor sistema de eliminación.

Al eliminar los contaminantes presentes en la fibra reciclada, se puede mejorar considerablemente la eficiencia de la línea de producción de papel higiénico y la calidad del producto final, obteniendo un impacto positivo en la economía del proceso de reciclaje de papel.

IV. OBJETIVOS

A. General

Determinar la composición y concentración de los contaminantes presentes en la fibra reciclada, la cual es utilizada como materia prima para el proceso de elaboración de papel higiénico, para que puedan ser eliminados en las etapas críticas del proceso.

B. Específicos

1. Determinar la composición y concentración de los principales contaminantes de la fibra reciclada por medio de cromatografía de gases y espectroscopia de absorción infrarroja (IR).
2. Identificar las etapas críticas del proceso y eliminar los contaminantes restantes del material de proceso en dichas etapas.
3. Mejorar el efecto de los equipos de limpieza sobre los contaminantes más comunes utilizando un programa anti-stickies.
4. Por medio del programa anti-stickies:
 - A. Evitar que los equipos se vean afectados por los contaminantes del material de proceso.
 - B. Mejorar la calidad del producto final.
 - C. Mejorar la eficiencia de la línea de producción del papel higiénico.

V. PROBLEMA A RESOLVER

El principal problema que se tiene en la actualidad en la industria de papel higiénico es que la materia prima utilizada lleva muchos contaminantes que influyen en la eficiencia del proceso, en el funcionamiento de la maquinaria y en la calidad del producto final. Estos contaminantes deben ser eliminados de manera progresiva en las distintas etapas del proceso.

VI. METODOLOGÍA

A. Determinación de la composición y concentración de los contaminantes

Tiene por objetivo conocer las características físicas y químicas de los contaminantes para poder eliminarlos eficientemente de la materia prima y del material de proceso. Se toman muestras de los contaminantes y se realizan pruebas a nivel laboratorio por medio de cromatografía de gases por espectroscopia de masas y por medio de espectroscopía de absorción infrarroja (IR). En ambos casos se debe aislar y preparar la muestra con el solvente seleccionado como base para realizar las mediciones necesarias y así poder identificar los componentes presentes en los contaminantes de la fibra reciclada.

B. Pruebas en planta piloto

Después de haber seleccionado el sistema de remoción de contaminantes se realizan pruebas en planta piloto para observar si es aplicable a una línea de producción industrial de papel higiénico. Estas pruebas tienen como objetivo visualizar el comportamiento del sistema de eliminación de contaminantes para determinar si es aplicable a gran escala.

C. Pruebas en planta industrial

Se realizan pruebas en una planta de fabricación de papel higiénico para observar si el sistema de eliminación de contaminantes funciona adecuadamente y si es factible aplicarlo a la industria de papel higiénico.

D. Estudio económico

Con base a los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio y de planta en cuanto al tipo de solvente que se va a utilizar, la cantidad de solvente que se va a utilizar por cada kg de fibra reciclada y a otros factores necesarios para realizar el proyecto se aplican diferentes técnicas de análisis financiero para determinar la rentabilidad de implementar un sistema de eliminación de contaminantes al reciclar papel.

VII. RESULTADOS

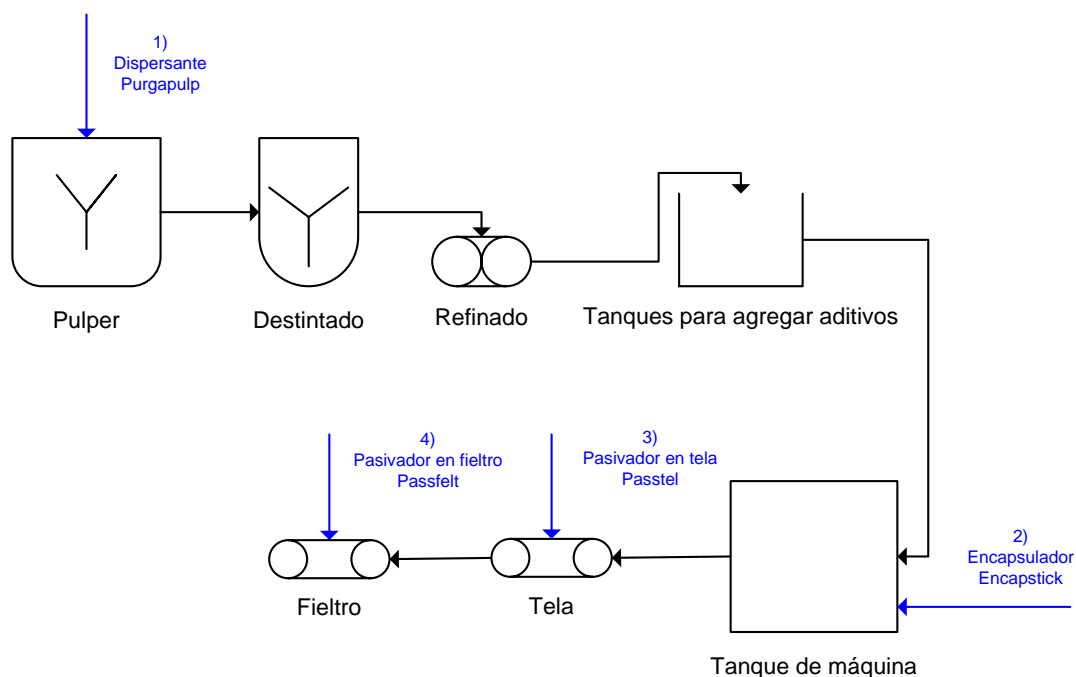
Cuadro 2

Componentes potenciales de stickies para fábricas que utilizan papel reciclado para fabricar papel higiénico

Componente	Fuentes potenciales de los contaminantes
Acetato de polivinilo (PVA)	Adhesivos, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, papel recubierto, cartón corrugado, uniones de libros
Alcohol de polivinilo (PVAOH)	Colas, papel recubierto, material de empaque
Cloruro de polivinilo (PVC)	Adhesivos, materiales termofusibles
Copolímero butadieno/metil metacrilato	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Copolímero butil metacrilato/isobutil metacrilato	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Copolímero estireno/acrilonitrilo/metil metacrilato	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Copolímero etilacrilato/estireno/acrilamida	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Copolímero etileno/cloruro de vinilo	Adhesivos, materiales termofusibles, papel recubierto
Copolímero etileno/propileno	Adhesivos, materiales termofusibles, papel recubierto
Copolímero etileno/propileno/dieno	Adhesivos, materiales termofusibles, papel recubierto
Copolímero vinil acetato/etileno [3:1] (EVA)	Adhesivos, materiales termofusibles, cartón corrugado, papel encerado
Copolímero vinil acetato/etileno [4:1] (EVA)	Adhesivos, materiales termofusibles, cartón corrugado, papel encerado
Poliacrilato 2-etilhexil	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Polibutadieno + aceite mineral de fracción nafténica	Adhesivos, materiales termofusibles, residuos de tinta, papel recubierto
Poliéster, ter-iso-ftalato	Adhesivos, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado, papel recubierto
Polietileno (PE)	Adhesivos, materiales termofusibles, papel recubierto
Polisopreno (PIP)	Adhesivos, materiales termofusibles
Polimetacrilato, con grupos OH	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Polimetil metacrilato (MMA)	Adhesivos, sobres, materiales termofusibles, colas, residuos de tinta, químicos para destintado
Polipropileno, atáctico (PP)	Adhesivos, materiales termofusibles
Polipropileno, sindiotáctico (PP)	Adhesivos, materiales termofusibles
Resina de poliéster, insaturada	Químicos para destintado, resinas de resistencia en húmedo, papel recubierto
Resinas alquídicas	Químicos para destintado, resinas de resistencia en húmedo
Resinas de hidrocarburos aromáticos	Químicos para destintado, resinas de resistencia en húmedo
Uretano alquídico, rico en aceite de linaza	Residuos de tinta

Figura 1

Etapas críticas del proceso de elaboración de papel higiénico, a partir de fibra reciclada, para implementar el programa anti-stickies



Cuadro 3

Ahorros obtenidos por la implementación del programa anti-stickies

Tipo de ahorro	Equivalente en producto (kg/mes)	Equivalente en producto (Q/año)
Reducción de paros por limpieza (de 18 h/mes a 2 h/mes)	20,000	
CERO reclamos en área de conversión	6,000	
Incremento del 50% de vida útil de telas y fieltros		200,000.00
Disminución en la utilización de solventes limpiadores		150,000.00
Empleo de materia prima de baja calidad		451,000.00

Cuadro 4

Ahorro por utilizar combinaciones de materia prima comparado con la materia prima más costosa (materia prima A)

	A	AE	AD	AC	AB
Costo (Q/Tm)	4349.71	4560.21	4329.94	4217.28	4218.63
Ahorro respecto a A (Q/Tm)	0.00	-210.50	19.76	132.42	131.07

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar las características físicas y químicas, de los contaminantes presentes en la fibra reciclada para fabricar papel higiénico, para poder así eliminarlos en las etapas críticas del proceso. Para ello, es necesario analizar distintas muestras de los contaminantes químicos, utilizando equipos de análisis instrumental, que sean capaces de proporcionar información analítica acerca de los compuestos presentes en las muestras.

En el Cuadro 2 (pág. 15) de la sección de resultados, se muestran las fuentes potenciales de stickies y una amplia gama de compuestos que los originan. Estos datos se obtuvieron analizando los resultados de diversas técnicas analíticas, empleadas para la caracterización de los contaminantes presentes en las muestras de stickies.

Las muestras de los contaminantes se tomaron en la etapa final del proceso de elaboración de papel higiénico, de una planta que opera en Centro América. Las muestras se tomaron en el tanque de máquina y se utilizaron dos equipos distintos para realizar los análisis, con el fin de complementar la información obtenida con cada uno de ellos. Para realizar las lecturas, las muestras se disolvieron a temperatura ambiente en cuatro solventes polares (próticos y apróticos) y en cuatro solventes apolares. Los solventes utilizados para realizar los análisis son: agua, etanol, isopropanol, acetona, hexano, benceno, tolueno y p-xileno. Las características específicas de los disolventes utilizados se muestran en el Cuadro 12 (pág. 55) de la sección de apéndice.

Las propiedades de los disolventes utilizados permitieron determinar en gran medida la naturaleza de los componentes químicos presentes en la muestra de stickies. Primero, porque se pudo identificar en qué tipo de disolvente era más soluble la muestra, dando a conocer la polaridad de los compuestos presentes en ella. Y segundo, porque al analizar las muestras en los equipos de laboratorio, fue posible identificar una gama más amplia de compuestos químicos.

En la Gráfica 1 (pág. 64) de la sección de apéndice, se muestra el comportamiento de las muestras de stickies ante distintos solventes. Se puede observar que las muestras tienen más afinidad por los disolventes apolares (hexano, benceno, tolueno y p-xileno) que por los disolventes polares (etanol, isopropanol, agua y acetona), incluso, se puede observar que la muestra de stickies presentó solubilidad nula en el agua desionizada. Esto indica que las muestras de stickies analizadas tienen mayor cantidad de compuestos apolares.

Después de observar el grado de solubilidad de las muestras de stickies en los distintos tipos de solventes, se procedió a realizar los análisis químicos correspondientes. El primer equipo que se utilizó para

realizar los análisis químicos es el espectrofotómetro IRTF Nicolet Impact 420, que utiliza una celda de Bromuro de potasio (KBr) en la cual se colocan las muestras y analiza un promedio de 32 espectros por lectura.

Se realizó el análisis en el espectrofotómetro IRTF para todos los extractos obtenidos por los disolventes, a excepción del agua desionizada que no tuvo ningún tipo de extracto. Al realizar el análisis, se identificó un problema, las muestras se encontraban muy diluidas para encontrar algo significativo en los espectros IRTF. En los espectros obtenidos de dichos análisis se identificaba únicamente el blanco utilizado, que en cada caso era el disolvente puro. Entonces se procedió a evaporar las muestras líquidas dentro de la celda de KBr, dejándolas al aire libre, para concentrar las muestras y posteriormente realizar nuevamente el análisis en el espectrofotómetro IRTF, que esta vez sí fue satisfactorio.

Para verificar la validez del método, se realizaron extracciones combinadas utilizando un solvente polar y uno apolar para extraer la mayor cantidad de componentes de la muestra e identificar los compuestos que son solubles en distintos tipos de solventes. El solvente polar utilizado fue el etanol y se utilizaron dos solventes apolares para tener un parámetro de comparación, los cuales fueron benceno y tolueno.

También se tomaron muestras en distintas etapas del proceso para identificar dónde se aglomeran los contaminantes. Se utilizó xileno para realizar las extracciones. Los espectros IRTF obtenidos para todos los extractos, se muestran en la sección de apéndice (págs. 28- 46).

Al analizar los espectros obtenidos, se pueden determinar las características cualitativas que permiten identificar los distintos grupos funcionales en la muestra y así, poder identificar qué tipo de moléculas la componen. Al analizar los espectros, se puede observar que los extractos obtenidos a partir de cada tipo de solvente, ya sea polar o apolar, absorben la misma cantidad de energía infrarroja, dando como resultado bandas características ubicadas en el mismo intervalo de número de onda.

En las páginas 32, 34 y 35 se muestran los espectros IRTF obtenidos para los extractos de etanol, isopropanol y acetona. A pesar de algunas diferencias en los espectros, las tres muestras presentan las mismas bandas de absorción características a los movimientos vibracionales de los siguientes grupos funcionales: estiramientos del grupo -OH ($3365\text{--}3377\text{ cm}^{-1}$); estiramientos de los hidrocarburos alifáticos CH_2 y CH_3 ($2919\text{--}2921\text{ cm}^{-1}$); estiramientos del ácido carboxílico y grupo éster ($1729\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$); flexiones de los hidrocarburos alifáticos CH_2 y CH_3 ($1453\text{--}1460\text{ cm}^{-1}$); flexiones del hidrocarburo alifático CH_3 ($1374\text{--}1376\text{ cm}^{-1}$); estiramientos de los enlaces C-O ($1236\text{--}1237\text{ cm}^{-1}$); movimientos vibracionales de los enlaces C-C ($1163\text{--}1168\text{ cm}^{-1}$).

En las páginas 28, 30 y 37-40 se muestran los espectros IRTF obtenidos para los extractos de hexano, benceno, tolueno y p-xileno. Las cuatro muestras presentan las mismas bandas de absorción características a los movimientos vibracionales de los siguientes grupos funcionales: estiramientos de los hidrocarburos alifáticos CH_2 y CH_3 (2919 cm^{-1}); estiramientos del ácido carboxílico y grupo éster ($1729\text{--}1735\text{ cm}^{-1}$); flexiones de los hidrocarburos alifáticos CH_2 y CH_3 ($1452\text{--}1453\text{ cm}^{-1}$); flexiones del hidrocarburo alifático CH_3 ($1375\text{--}1376\text{ cm}^{-1}$); estiramientos de los enlaces $\text{C}\text{--}\text{O}$ ($1236\text{--}1237\text{ cm}^{-1}$); movimientos vibracionales de los enlaces $\text{C}\text{--}\text{C}$ ($1163\text{--}1166\text{ cm}^{-1}$).

En las páginas 44 y 45 se muestran los espectros de las muestras de stickies tomadas en el pulper y después del espesador. Estos espectros tienen bandas características similares a los espectros de los demás solventes apolares. En la página 43 se muestra el espectro de una muestra de stickies tomada a la salida de la refinación. Se puede observar que en este espectro existen más bandas que en los espectros de las muestras tomadas en las etapas anteriores, estas bandas se encuentran en la región que va desde $700\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$. Esto se debe a que en la etapa de refinación se agregó un polímero para el control de stickies.

Como se puede observar, los espectros obtenidos para los extractos son muy similares entre sí, diferenciándose únicamente en algunas bandas. Estas bandas, que no están presentes en todos los espectros, representan los grupos funcionales de las moléculas que fueron extraídas por un único solvente, por esta razón, sólo aparecen en el espectro IRTF correspondiente a dicho extracto.

Se utilizaron dos métodos para identificar los posibles compuestos presentes en las muestras de stickies, de acuerdo con las bandas características de los grupos funcionales de los espectros. El primer método, consiste en comparar los espectros IRTF obtenidos con los espectros de la biblioteca de referencia de la base de datos del programa utilizado para elaborar los espectros. La biblioteca utilizada como referencia es "Hummel Polymer Sample Library". Al comparar los espectros con esta biblioteca de referencia, se encuentran los posibles compuestos que la muestra puede tener, utilizando porcentajes de coincidencia. Se clasifican los diez compuestos con más porcentaje de coincidencia y se incluyen en el espectro de comparación. Los espectros de comparación se encuentran en la sección de apéndice (págs. 29, 31, 33, 36).

En las Gráficas 2 y 3 (págs. 65 y 66) de la sección de apéndice, se encuentran representados los compuestos que pueden tener las muestras de stickies en dos disolventes polares, etanol e isopropanol, respectivamente. Los principales compuestos presentes en la fracción extraída por los disolventes polares son: copolímeros formados a partir de etileno, propileno, cloruro de vinilo, resina alquídica y uretano alquídico.

En las Gráficas 4 y 5 (págs. 67 y 68) de la sección de apéndice, se encuentran representados los compuestos que pueden tener las muestras de stickies en dos disolventes apolares, tolueno y benceno, respectivamente.

Los principales compuestos extraídos por los solventes apolares son: copolímeros formados a partir de butadieno, estireno, acrilatos, vinil acetato, resina alquídica y uretano alquídico.

Después de identificar los compuestos presentes en los extractos de cada tipo de solvente, se procedió a identificar qué solvente extrajo mayor cantidad de compuestos absorbentes, utilizando el porcentaje de coincidencia como parámetro de comparación. En las Gráficas 6 y 7 (págs. 69-70) se representan los compuestos extraídos por cada tipo de solvente, polar y apolar, respectivamente.

Analizando los porcentajes de coincidencia de cada compuesto, se puede notar que el etanol y el benceno, son los disolventes que extraen mayor cantidad de compuestos.

Después de analizar los compuestos que cada fracción de las extracciones combinadas posee, se procedió a analizar los compuestos que se encuentran presentes en todas las fracciones. Estos compuestos son: resina alquídica y uretano alquídico. Utilizando el porcentaje de coincidencia como parámetro de comparación nuevamente, se observa de nuevo que el benceno y el etanol son los disolventes que extraen mayor cantidad de componentes, que en este caso específico son resina alquídica y uretano alquídico, ver Gráfica 8 (pág. 71) de la sección de apéndice.

Luego se identificaron los compuestos que cada solvente extrajo exclusivamente. Los Cuadros 20-23 (Págs. 58 y 59) en la sección de apéndice, muestran los compuestos que extrajo cada disolvente exclusivamente, con su respectivo porcentaje de coincidencia. Estos compuestos, se asignan a las bandas que son únicas en cada espectro. En el espectro del extracto de isopropanol, estas bandas tienen las siguientes características: banda intensa mediana, ubicada en 1640 cm^{-1} , banda angosta e intensa ubicada en 1125 cm^{-1} y una banda angosta e intensa ubicada en 947 cm^{-1} . En el espectro del extracto de etanol, estas bandas tienen las siguientes características: banda angosta e intensa, ubicada en 1045 cm^{-1} , banda angosta e intensa ubicada en 878 cm^{-1} y un par de bandas angostas y de alta intensidad ubicadas en $699\text{-}720\text{ cm}^{-1}$.

Como se puede observar en los Cuadros 18 y 19 (págs. 57 y 58) en la sección de apéndice, los compuestos que cada disolvente apolar extrajo exclusivamente de la muestra de stickies, son los que menor porcentaje de coincidencia tienen. Esto indica que los principales compuestos de la muestra de stickies, son solubles en estos dos solventes (benceno y tolueno).

En el espectro del extracto de tolueno, estas bandas tienen las siguientes características: una banda angosta y de mediana intensidad, ubicada en 1494 cm^{-1} y una banda angosta e intensa ubicada en 695 cm^{-1} . En el espectro del extracto de benceno, estas bandas tienen las siguientes características: una banda angosta y de mediana intensidad, ubicada en 872 cm^{-1} y una banda angosta y de mediana intensidad ubicada en 803 cm^{-1} .

El segundo método se utilizó para complementar la información obtenida por medio de la comparación de los espectros con los de la biblioteca de la base de datos del programa. Consistió en consultar otra biblioteca de referencia, pero que en este caso no era una biblioteca digital sino física. Es una recopilación de espectros de una gran cantidad de compuestos, incluyendo una gran variedad de polímeros. El nombre de la segunda biblioteca de referencia utilizada es “Aldrich library of Infrared Spectra”. Se enfocó principalmente en comparar la sección de polímeros de la biblioteca con los espectros IRTF obtenidos por los análisis. Se compararon las principales bandas características de los espectros obtenidos para las muestras de stickies con los polímeros de referencia y se identificaron los polímeros que más coincidían con los espectros de las muestras. Los polímeros identificados son: acetato de polivinilo, alcohol de polivinilo, polisopreno, polietileno, poli (2,etilhexil acrilato), cloruro de polivinilo, copolímero de vinilo de acetato/etileno, copolímero de butil metacrilato/isobutil metacrilato y copolímero de etileno/propileno.

Después de haber identificado todos los compuestos que pudieran estar presentes en las muestras de stickies analizadas, se calculó la absorbancia de todos los extractos para tener un valor con el cual se pudiera comparar la concentración de los compuestos absorbentes extraídos por cada uno de los disolventes. Se analizó la transmitancia de cada banda característica que estuviera presente en todos los espectros de un solo tipo de disolvente, ya sea polar o apolar. Luego se obtuvo la absorbancia de cada banda característica utilizando la ecuación 1 (pág. 51) en la sección de apéndice. Se graficó la absorbancia obtenida para cada banda y se determinó qué disolvente había extraído mayor cantidad de compuestos absorbentes.

En la Gráfica 9 (pág. 72) en la sección de apéndice se muestra la absorbancia obtenida para cada banda característica de los extractos de los disolventes polares. Se puede observar que la absorbancia es muy similar para todos los extractos en la mayoría de bandas características. Sólo en la banda ubicada en $2919\text{-}2921\text{ cm}^{-1}$, se nota una extracción muy superior por parte del etanol. Esta es una banda que también se puede observar en los espectros de los extractos apolares, razón por la cual se decidió utilizar el etanol como disolvente en las extracciones combinadas.

En la Gráfica 10 (pág. 73) en la sección de apéndice se muestra la absorbancia obtenida para cada banda característica de los extractos de los disolventes apolares. Se pueden observar comportamientos muy similares por parte de los extractos de los disolventes apolares. Aunque el que está por encima de todos los

demás es el extracto de benceno. Lo que indica que el benceno es el disolvente apolar que mayor cantidad de compuestos absorbentes extrajo de la muestra de stickies. Por otra parte, de los otros dos disolventes aromáticos utilizados (tolueno y p-xileno), el que menos cantidad de compuestos absorbentes extrajo fue el tolueno. Es por esta razón que se utilizaron estos dos disolventes (benceno y tolueno) en las extracciones combinadas con etanol, para tener un campo más amplio de resultados.

El segundo equipo utilizado fue el cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Series II, que opera isotérmicamente a 130 °C con una columna de 30 m de longitud y una presión de cabeza de 10 kPa. Dicho cromatógrafo se encontraba equipado con un detector de ionización de llama. Cada inyección de muestra era de 1 µL y se utilizaba nitrógeno como gas acarreador. Para realizar las lecturas de las muestras de stickies en el cromatógrafo se utilizaron dos disolventes distintos, los cuales eran isopropanol y benceno. Los cromatogramas obtenidos, ubicados en la sección de apéndice (págs. 49-50), solo indicaban la información del disolvente utilizado. Por lo que se procedió a evaporar la muestra para concentrarla e inyectarla nuevamente en el equipo para realizar nuevamente las lecturas. Los nuevos cromatogramas obtenidos, ubicados en la sección de apéndice (págs. 47-48), no presentaban ninguna información significativa, ya que en cada caso se identificaba únicamente un pico distinto al del disolvente, pero éste era muy pequeño y se podía confundir con cualquier impureza. Por esta razón, se determinó que la información proporcionada por los cromatogramas no era relevante para la caracterización de los compuestos.

Conociendo la composición de los contaminantes presentes en las muestras de stickies, del programa anti-stickies más utilizado en América Central, se hizo uso de materias químicas afines a los resultados obtenidos en el presente trabajo de graduación, con el fin de disminuir los paros por mantenimientos a los equipos, mejorar la calidad del producto final y por ende, incrementar la eficiencia de la línea de producción de papel higiénico. Pero el punto primordial, se centra en optimizar la cantidad de productos químicos empleados, luego de conocer el tipo de contaminantes que acarrea el proceso productivo. Es de mucha importancia hacer constar que el tipo de contaminantes encontrados en una fábrica de papel es muy diferente al encontrado en otra, ya que dependen totalmente de la clase de materia prima empleada, del lugar de abastecimiento y de los equipos mecánicos con los que se cuenta para su separación. Es por ello, que cuando se efectuaron los análisis de contaminantes, las muestras obtenidas corresponden a una muestra homogenizada de sub muestras recolectadas durante tres meses de operación. El programa anti-stickies hace uso de cuatro productos químicos específicos, en las etapas críticas del proceso de elaboración de papel higiénico. En la Figura 1 (pág. 16) de la sección de resultados, se muestran las etapas críticas del proceso, en las cuales se adicionan los productos del programa anti-stickies. Se determinaron estas etapas como críticas, debido a que en estas etapas es en las que se forma, existe o se debe atacar el problema debido a los stickies.

En la fase de preparación de pasta, conjuntamente con los productos de destintado, se agrega un dispersante fuerte de stickies, que no sea base solvente y que no contamine el aire, razón por la cual se hace uso de PURGAPULP, la dosificación es función del tipo de contaminante encontrado en la pasta. En la tela formadora, se agrega un producto que evite la deposición de pegamentos en su superficie, llamado pasivador en la tela (PASSTEL); en el fieltro, por consiguiente, se agrega un pasivador (Passfelt); y por último, en la pasta, previo a entrar a la caja de formación, se inyecta un encapsulador de stickies (Encapstick), el cual ayuda a que los contaminantes que se han colado por todos los equipos de separación mecánica, se puedan sufrir un proceso de encapsulado termoplástico, el cual evite la función de pegado entre hojas y formación de agujeros en la hoja de papel. Para poder apreciar el costo total del programa anti-stickies en el proceso de fabricación de papel higiénico, dirigirse a la página 74 para ver Gráfica 11.

En el Cuadro 3 (pág. 16) de la sección de resultados, se observa el ahorro obtenido a causa de la disminución de paros por mantenimiento a los equipos, por disminución de la utilización de solventes limpiadores y por el aumento en la utilización de materias primas de menor calidad, sin afectar el proceso. Dichos resultados influyen directamente en la calidad del producto final y en la eficiencia de la línea de producción. Los fieltros y telas, incrementaron su vida útil en un 50%, lo que representa un ahorro de Q200,000.00 por año. Los solventes limpiadores disminuyeron en un 80%, ahorrando Q150,000.00 por año. El empleo de materia prima de baja calidad se incrementó, dando lugar a un ahorro equivalente de Q451,000.00 anuales. Asimismo, los problemas en el área de conversión, disminuyeron a CERO reclamos, al momento de aplicación del programa completo, lo que da lugar a un ahorro de reproceso del orden de 6 toneladas mensuales como mínimo.

En el Cuadro 4 (pág. 16) de la sección de resultados, se presenta el ahorro obtenido al combinar distintas clases de materia prima, comparado con la media, la cual es la materia prima clase C. Estas combinaciones se hacen debido a que en la línea de producción debe haber siempre cierto porcentaje de materia prima clase A, por lo tanto se realizan combinaciones con materias primas de menor calidad para disminuir los costos sin obtener características de calidad en el producto inferiores a los estándares establecidos por la empresa.

En la Gráfica 14 (pág. 77) se puede apreciar la evolución del costo para cada clase de materia prima por separado, mientras se asignan los costos del proceso. Se puede observar que se obtiene mayor rentabilidad al combinar la materia prima clase A con las materias primas clase B o C, la diferencia no es muy significativa entre estas dos combinaciones (ver Gráfica 16, pág.79). Esto se debe a que la eficiencia de estas dos clases es relativamente alta, comparada con la eficiencia de las materias primas clase D o E. Por lo tanto, resulta más rentable efectuar una combinación AB o AC porque la eficiencia alcanzada en la línea de producción tiene un efecto directo sobre el costo/beneficio de cada alternativa. Existe un ahorro de aproximadamente Q130.00 por tonelada métrica al efectuar una combinación de materias primas, sin mencionar el impacto positivo sobre el medio ambiente, ya que favorece el proceso de reciclaje.

IX. CONCLUSIONES

1. La mayor parte de los compuestos absorbentes presentes en las muestras de stickies son solubles en solventes apolares, aproximadamente un 87.32%.
2. El disolvente con mayor extracción de compuestos absorbentes, utilizado para llevar a cabo los análisis correspondientes en los equipos es el benceno.
3. Los principales compuestos identificados en las muestras de stickies son polímeros y copolímeros de: etileno, propileno, estireno, butadieno, acetato de vinilo, alcohol de vinilo, cloruro de vinilo, acrilatos, uretano alquídico y resina alquídica.
4. El método de análisis que proporcionó más información acerca de los compuestos presentes en las muestras de stickies analizadas fue el de espectroscopia de absorción infrarroja por medio de transformada de Fourier (IRTF). La cromatografía de gases no proporcionó información significativa.
5. Las etapas críticas del proceso para la elaboración de papel higiénico a partir de fibra secundaria (papel reciclado), en las que es posible eliminar los contaminantes químicos son: 1. pulper; 2. limpieza mecánica y destintado y 3. tela y fieltro de la máquina de papel.
6. Se utilizó un programa anti-stickies, para mejorar el efecto físico-químico en el proceso de limpieza y dispersión de los contaminantes pegajosos. La implementación del programa anti-stickies, hizo disminuir los paros para limpieza, de 18 h/mes a 2 h/mes, equivalente a 20,000 kg de producto ganado.
7. Los fieltros y telas, incrementaron su vida útil en un 50%, lo que representa un ahorro de Q200,000.00 por año. Los solventes limpiadores disminuyeron en un 80%, ahorrando Q150,000.00 por año. El empleo de materia prima de baja calidad se incrementó, dando lugar a un ahorro equivalente de Q451,000.00 anuales.
8. Los problemas en el área de conversión, disminuyeron a CERO reclamos, al momento de aplicación del programa completo, lo que da lugar a un ahorro de reproceso del orden de 6 toneladas mensuales mínimo.
9. Es económicamente rentable la utilización de un programa anti-stickies, para la reducción del impacto negativo de los contaminantes químicos presentes en la materia prima, para fabricar papel higiénico a partir del reciclaje de papel. Existe un ahorro de aproximadamente Q130.00 por tonelada métrica al utilizar combinaciones de materia prima (materia virgen y reciclada).

X. RECOMENDACIONES

1. Utilizar otros equipos de análisis instrumental para realizar las mediciones de caracterización y cuantificación de las muestras. Se recomienda utilizar un cromatógrafo de gases con espectrometría de masas y equipos de resonancia magnética nuclear.
2. Se recomienda utilizar soluciones concentradas de stickies para evitar problemas en los análisis de las muestras y poder obtener resultados significativos.
3. Se recomienda realizar extracciones combinadas con disolventes, diferentes a los utilizados en este documento, para identificar los compuestos absorbentes solubles en otros tipos de disolventes.
4. Comparar los espectros de los resultados experimentales con una biblioteca de referencia más amplia.
5. Realizar las pruebas de caracterización y cuantificación a muestras de stickies tomadas con un tipo de formulación de materia prima específica y luego comparar los resultados con las muestras tomadas con otro tipo de formulación de materia prima, que también sea conocida, para observar el comportamiento de los contaminantes al variar la calidad de materia prima.

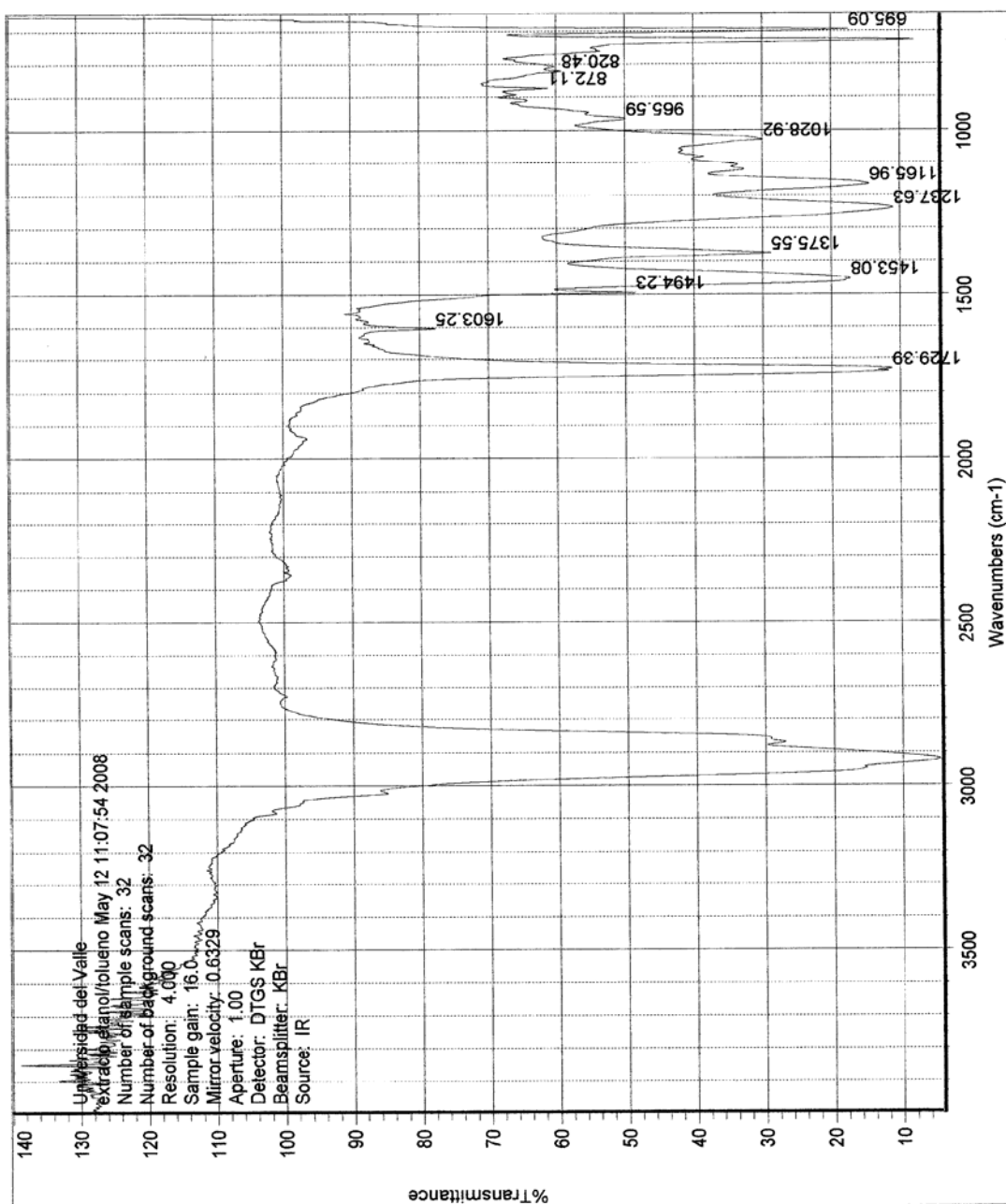
XI. BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. 1981. *Paper and paperboard: characteristics, nomenclature and significance of tests*. 3^a ed. Philadelphia, PA. ASTM. 129 págs.
2. Austin, G. 1988. *Manual de procesos químicos en la industria*. 5^a ed. Tomo III. McGraw-Hill.
3. Berben, Sally. 1999. *Sticky detective work*. Appleton, WI. Tappi J. 86-89 págs.
4. Doshi, M. R. 1991. *Properties and control of Stickies*. Paper recycling. 1(1):54.
5. Douek, M. 1996. *Analysis of deposits/stickies from newsprint mills using recycled fibre*. Journal of Pulp and Paper Science.
6. Hsu, N., Schroeck, J. 1997. *Identification of the origins of stickies in deinked pulp*. Atlanta, GA. Tappi J.
7. Jensen, Timothy B. 1999. *To recycle or not, and if so, how?* Cleveland, Ohio. The pressure sensitive tape council.
8. Perry, Robert y D. Green. 1997. *Perry's chemical engineers' handbook*. 7^a ed. Estados Unidos. McGraw-Hill. 2558 págs.
9. Pouchert, C. 1981. *The Aldrich library of infrared spectra*. 3^a ed. Milwaukee, WI. Aldrich Chemical Company, Inc. 1873 págs.
10. Sapag, Nassir. 2007. *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación*. 1^a ed. México. Pearson. 488 págs.
11. Skoog, Douglas. 2001. *Principios de análisis instrumental*. 5^a ed. Madrid, España. McGraw-Hill. 1028 págs.
12. Skoog, Douglas. 2001. *Química analítica*. 7^a ed. México. McGraw-Hill. 795 págs.

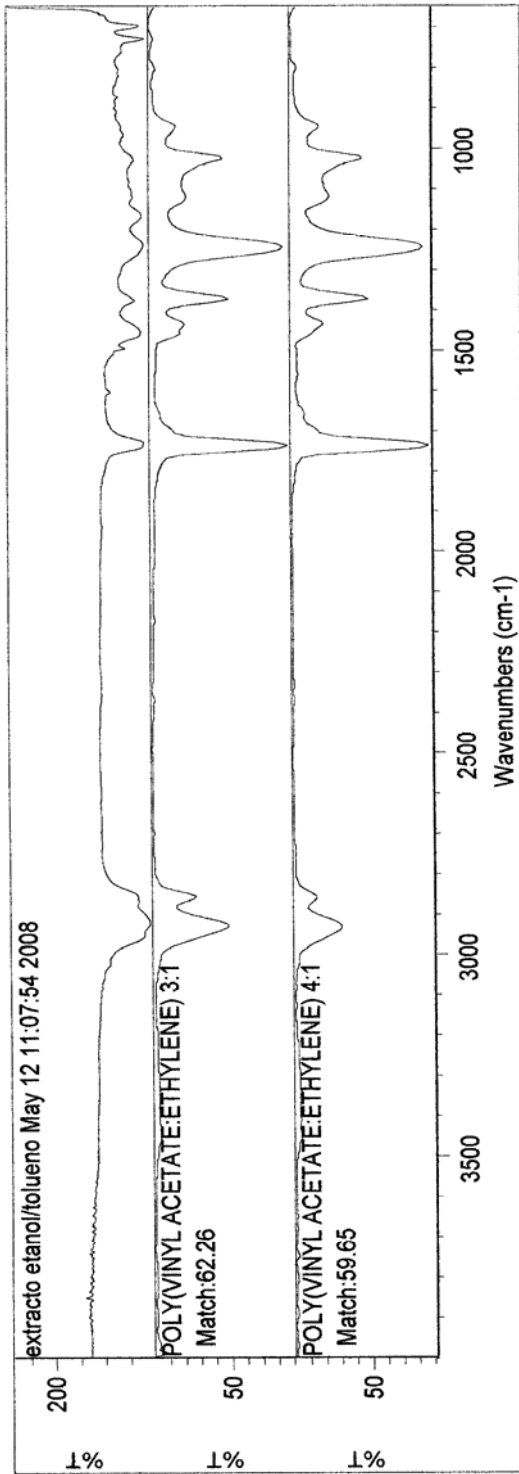
13. Smith, Ivor y J. G. Feinberg. 1972. *Paper and thin layer chromatography & electrophoresis*. Londres. Longman Group Ltd. 223 págs.
14. Speight, J. G. 2002. *Chemical process and design handbook*. 1ª ed. Estados Unidos. McGraw-Hill. 2,565 págs.

XII. APÉNDICE

A. Espectros y cromatogramas

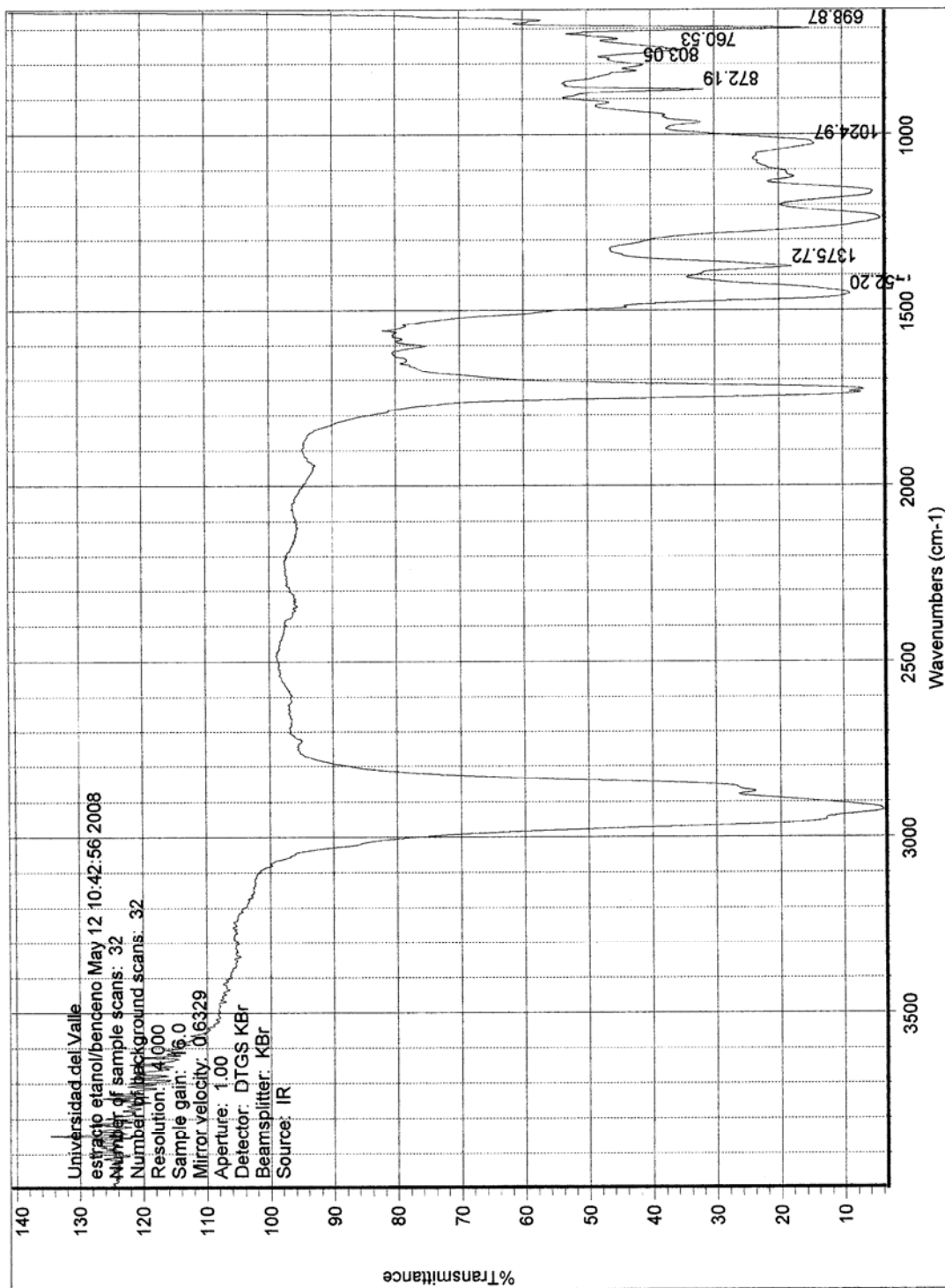


Search results for: extracto etanol/tolueno May 12 11:07:54 2008
 Date: Mon May 12 11:23:31 2008
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3995.65-649.89

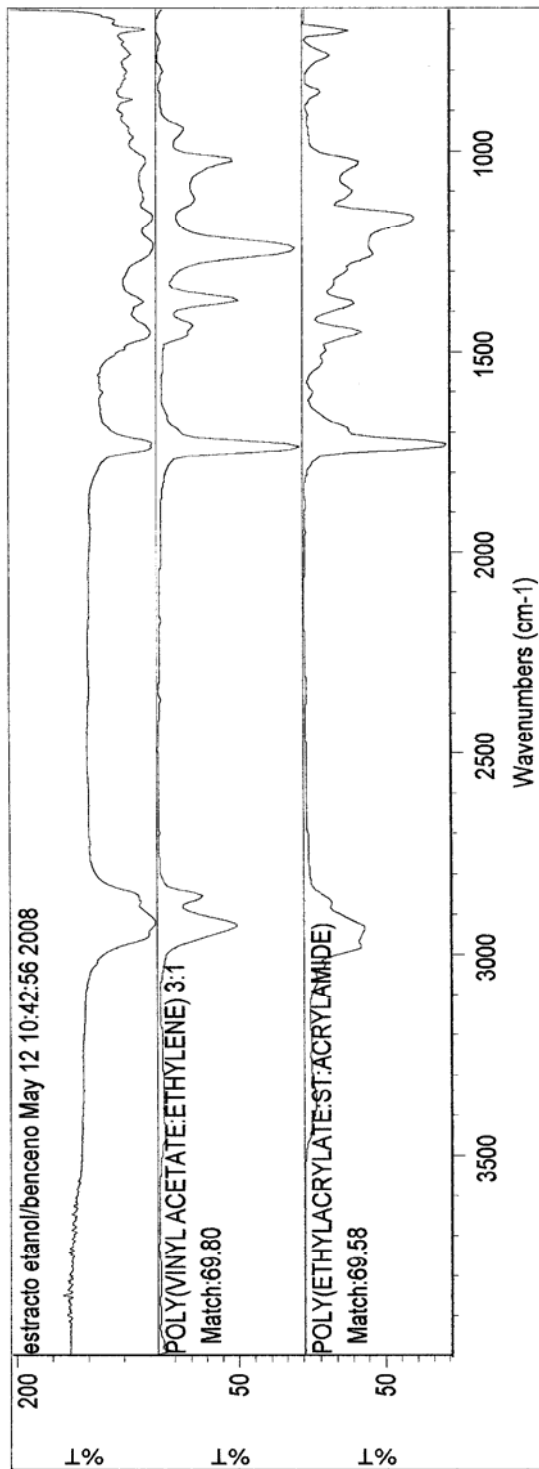


Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name
1	31	62.26 POLY(VINYL ACETATE:ETHYLENE) 3:1	Hummel Polymer Sample Library
2	29	59.65 POLY(VINYL ACETATE:ETHYLENE) 4:1	Hummel Polymer Sample Library
3	17	59.42 POLY(ETHYLACRYLATE:ST:ACRYLAMIDE)	Hummel Polymer Sample Library
4	14	55.85 ALKYD RESIN	Hummel Polymer Sample Library
5	42	54.07 POLY(STYRENE:ACRYLONITRILE:MMA)	Hummel Polymer Sample Library
6	48	53.43 POLY(BUTADIENE:MMA)	Hummel Polymer Sample Library
7	20	52.64 URETHANE ALKYD, LINSEED OIL-RICH	Hummel Polymer Sample Library
8	19	52.44 POLY(METHACRYLATE), W/OH GROUPS	Hummel Polymer Sample Library
9	39	50.32 POLY(ETHYLENE:PROPYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
10	3	48.70 POLYESTER, TERE-&ISO-PHTHALATE	Hummel Polymer Sample Library

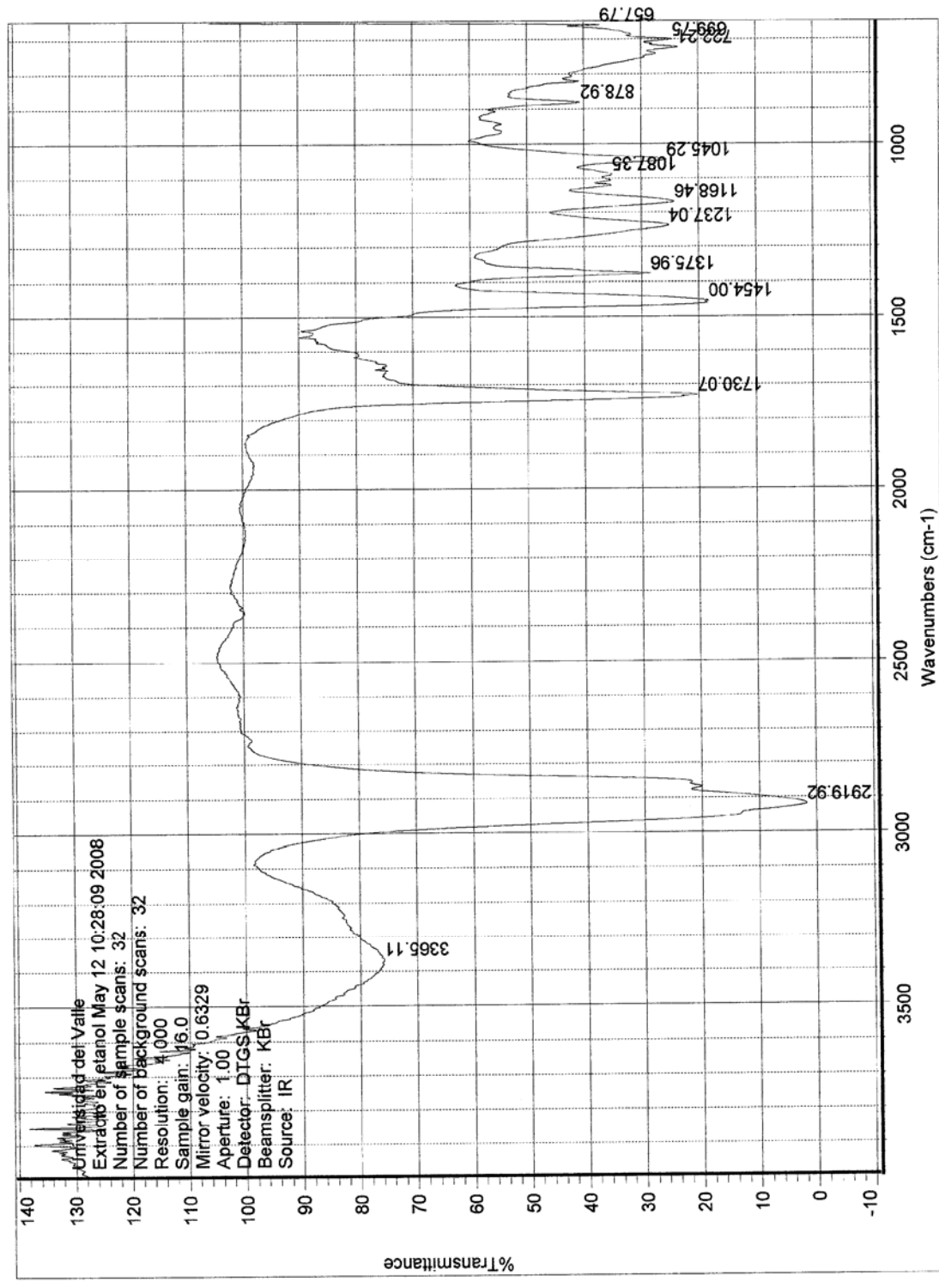


Search results for: extracto etanol/benceno May 12 10:42:56 2008
 Date: Mon May 12 10:59:32 2008
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3995.85-649.89

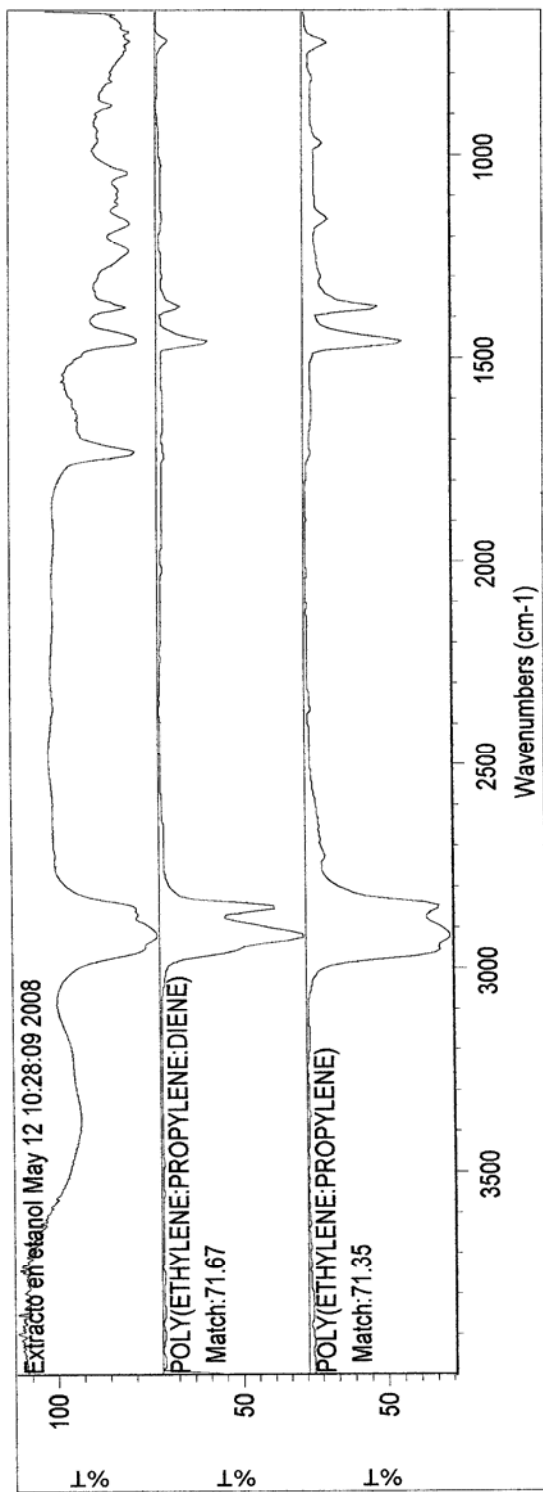


Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name
1	31	69.80 POLY(VINYL ACETATE:ETHYLENE) 3:1	Hummel Polymer Sample Library
2	17	69.58 POLY(ETHYLACRYLATE:ST:ACRYLAMIDE)	Hummel Polymer Sample Library
3	29	67.79 POLY(VINYL ACETATE:ETHYLENE) 4:1	Hummel Polymer Sample Library
4	42	64.37 POLY(STYRENE:ACRYLONITRILE:MMA)	Hummel Polymer Sample Library
5	14	59.88 ALKYD RESIN	Hummel Polymer Sample Library
6	19	59.57 POLY(METHACRYLATE), W/OH GROUPS	Hummel Polymer Sample Library
7	20	58.68 URETHANE ALKYD, LINSEED OIL-RICH	Hummel Polymer Sample Library
8	48	56.70 POLY(BUTADIENE:MMA)	Hummel Polymer Sample Library
9	36	52.50 POLYESTER RESIN, UNSATURATED	Hummel Polymer Sample Library
10	30	51.91 POLY(METHYL METHACRYLATE)	Hummel Polymer Sample Library

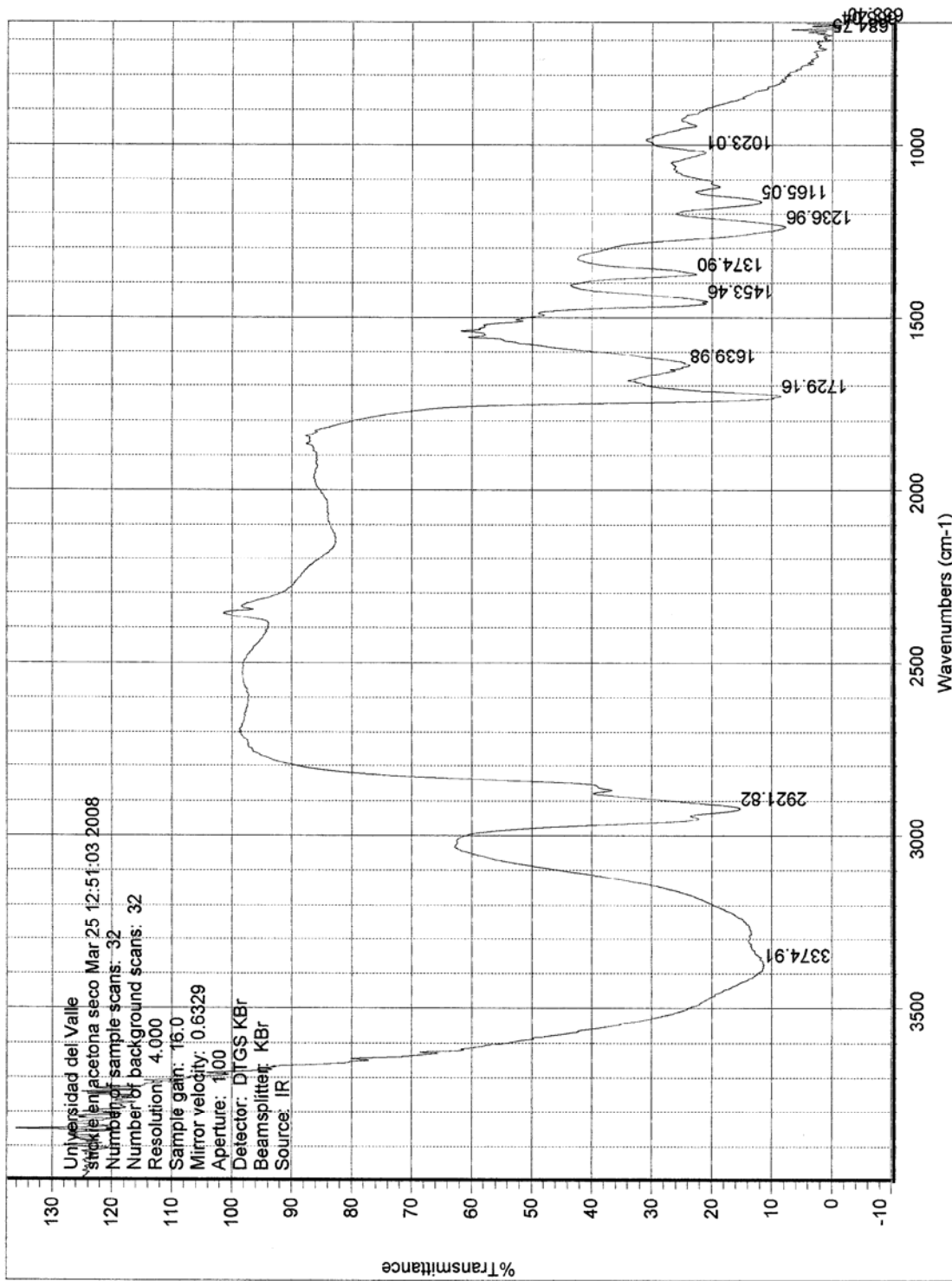


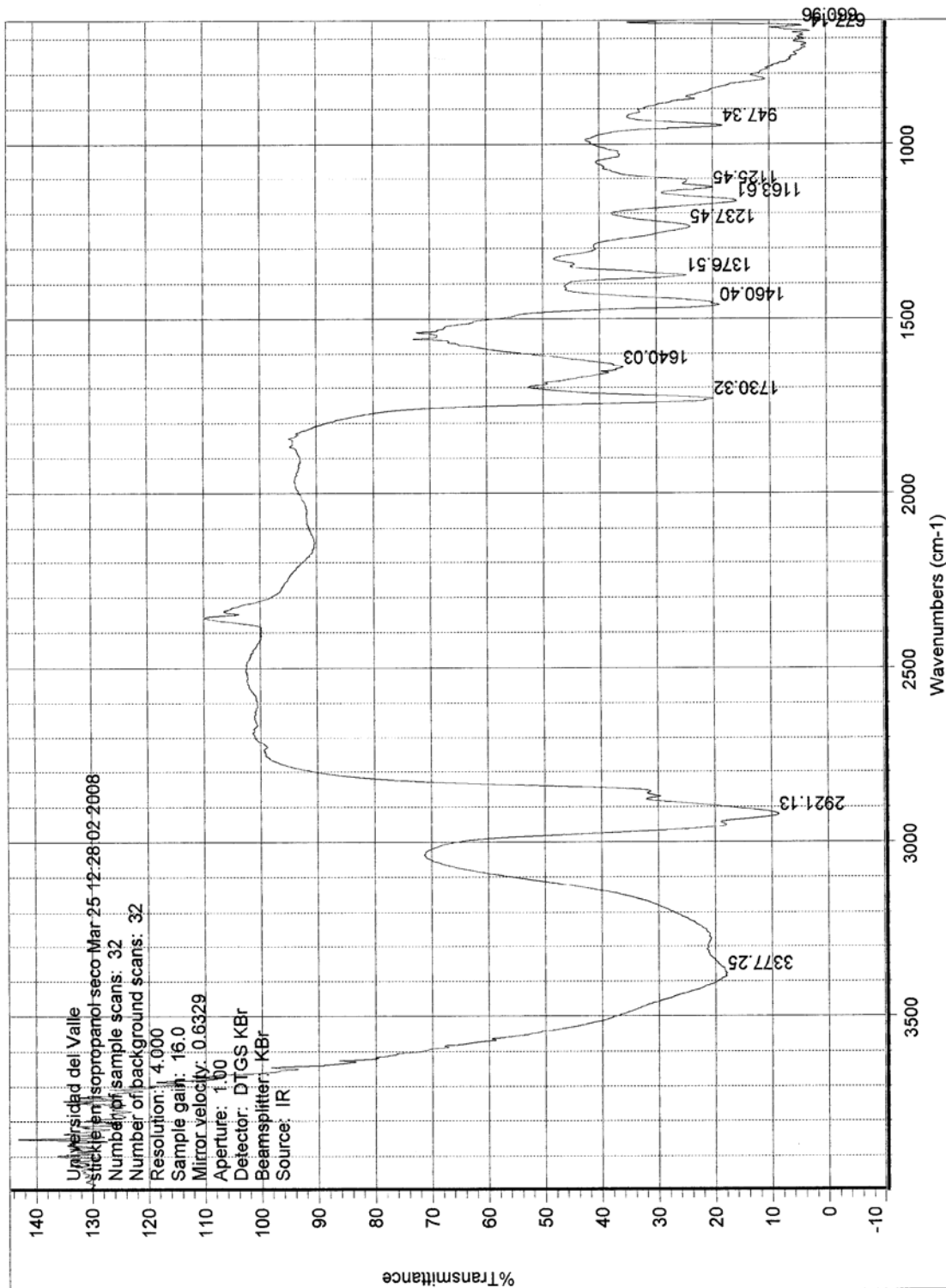
Search results for: Extracto en etanol May 12 10:28:09 2008
 Date: Mon May 12 11:25:00 2008
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3995.85-649.89



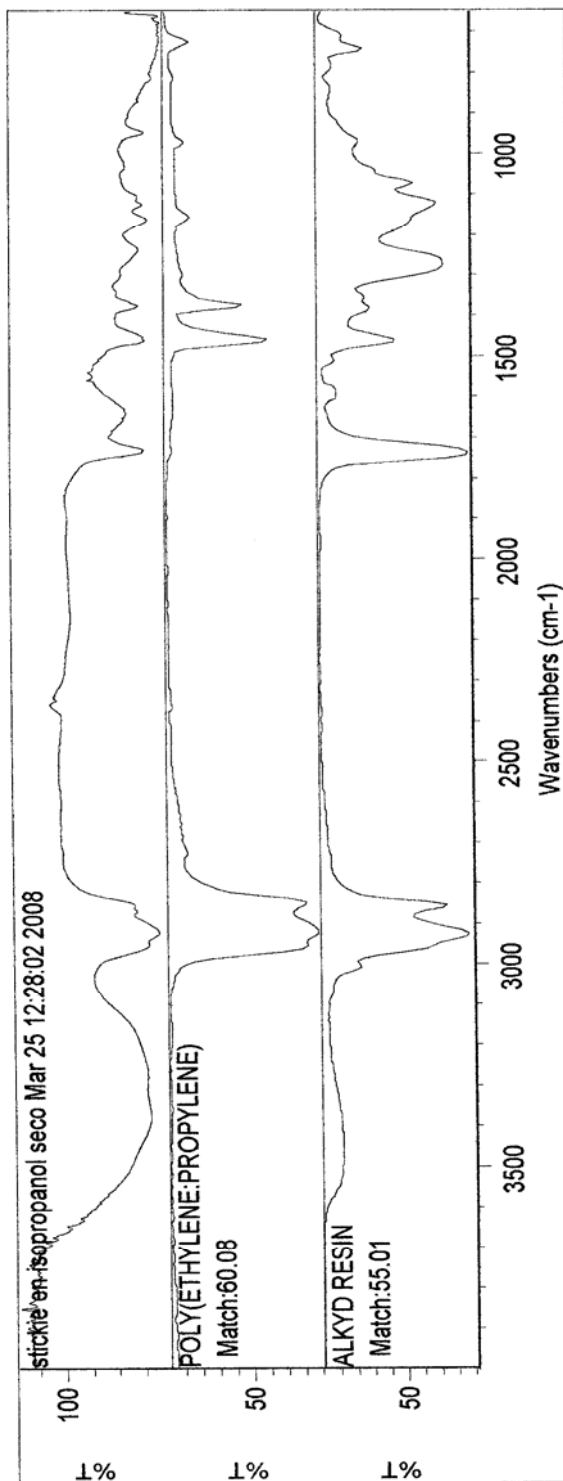
Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name
1	32	POLY(ETHYLENE:PROPYLENE:DIENE)	Hummel Polymer Sample Library
2	39	POLY(ETHYLENE:PROPYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
3	41	POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
4	38	POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
5	51	POLY(ETHYLENE:VINYL CHLORIDE)	Hummel Polymer Sample Library
6	14	ALKYD RESIN	Hummel Polymer Sample Library
7	20	URETHANE ALKYD, LINSEED OIL-RICH	Hummel Polymer Sample Library
8	44	POLY(VINYL CHLORIDE:ETHYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
9	37	AROMATIC HYDROCARBON RESIN	Hummel Polymer Sample Library
10	25	POLY(BUTADIENE) + NAPHTHENIC OIL	Hummel Polymer Sample Library



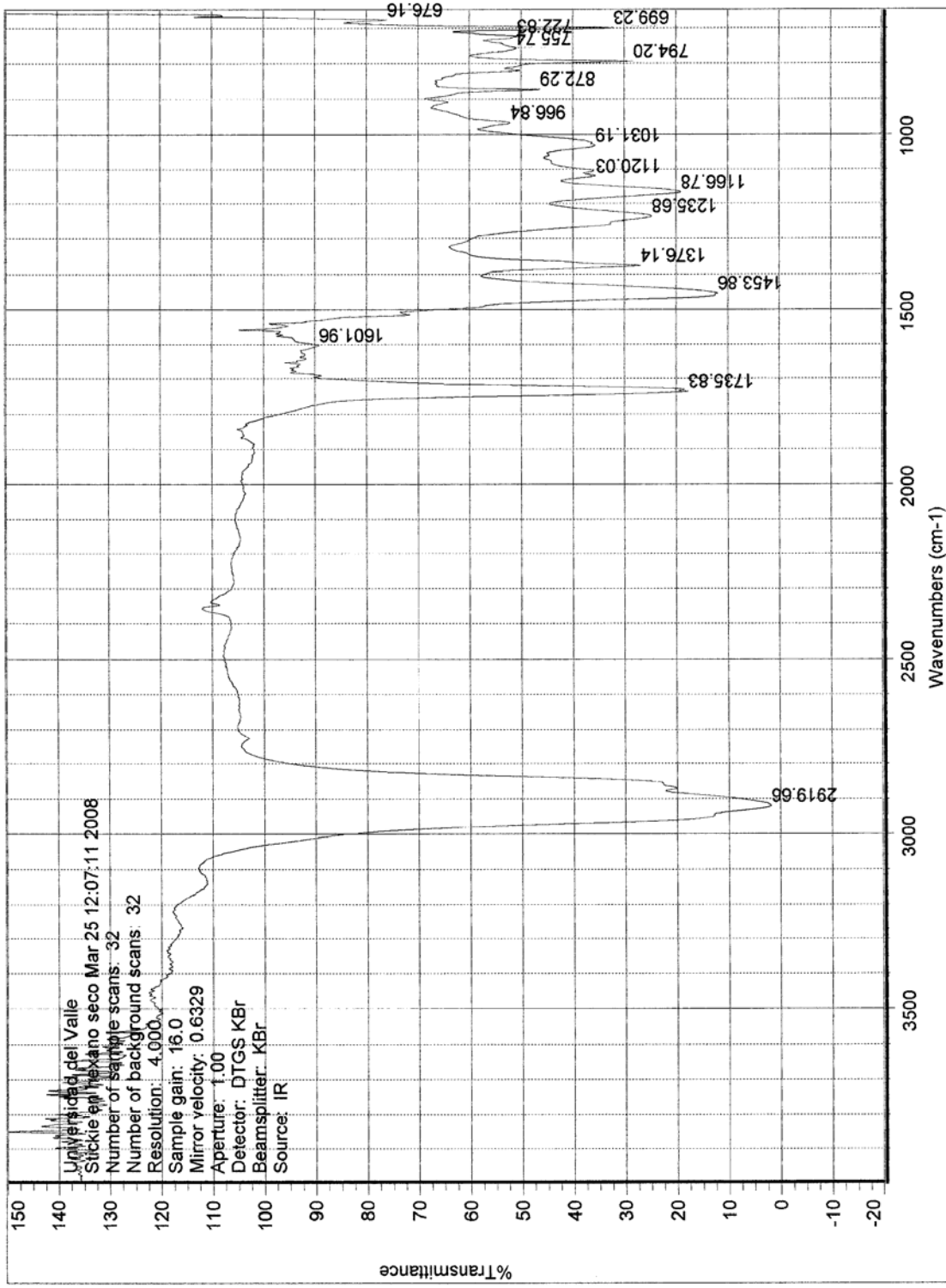


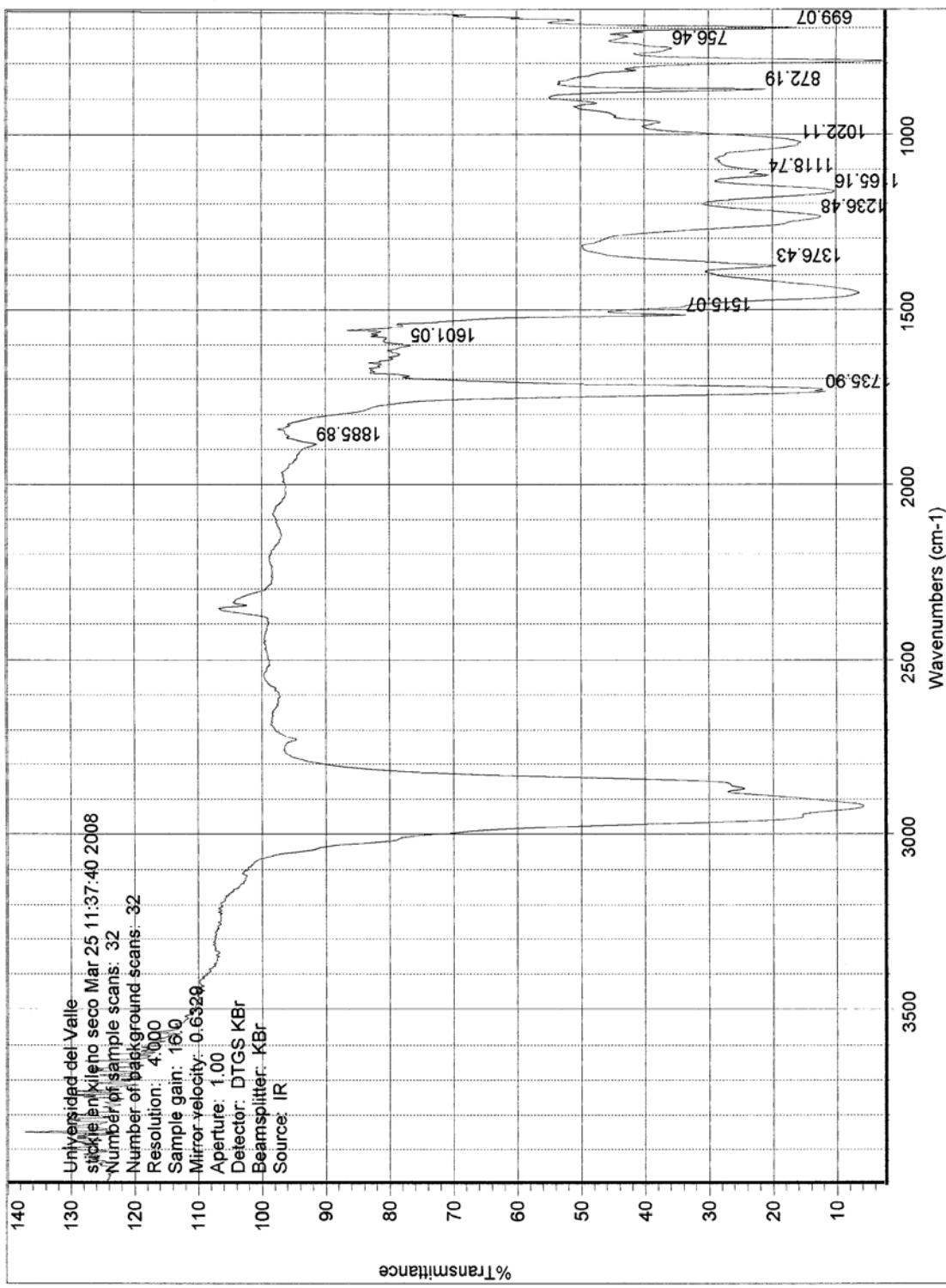
Search results for: stickie en isopropanol seco Mar 25 12:28:02 2008
 Date: Mon May 12 11:35:50 2008
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3995.85-455.13

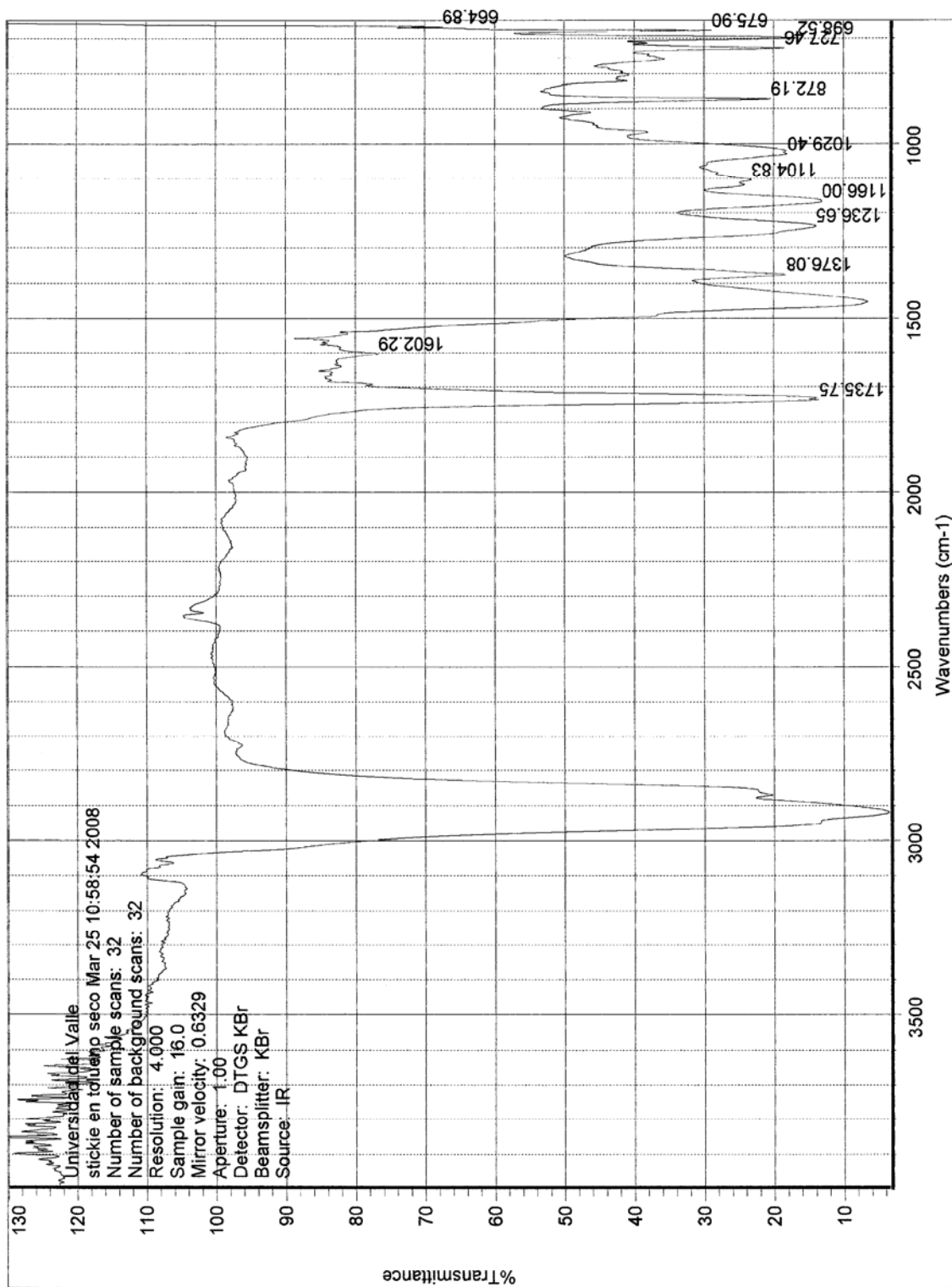


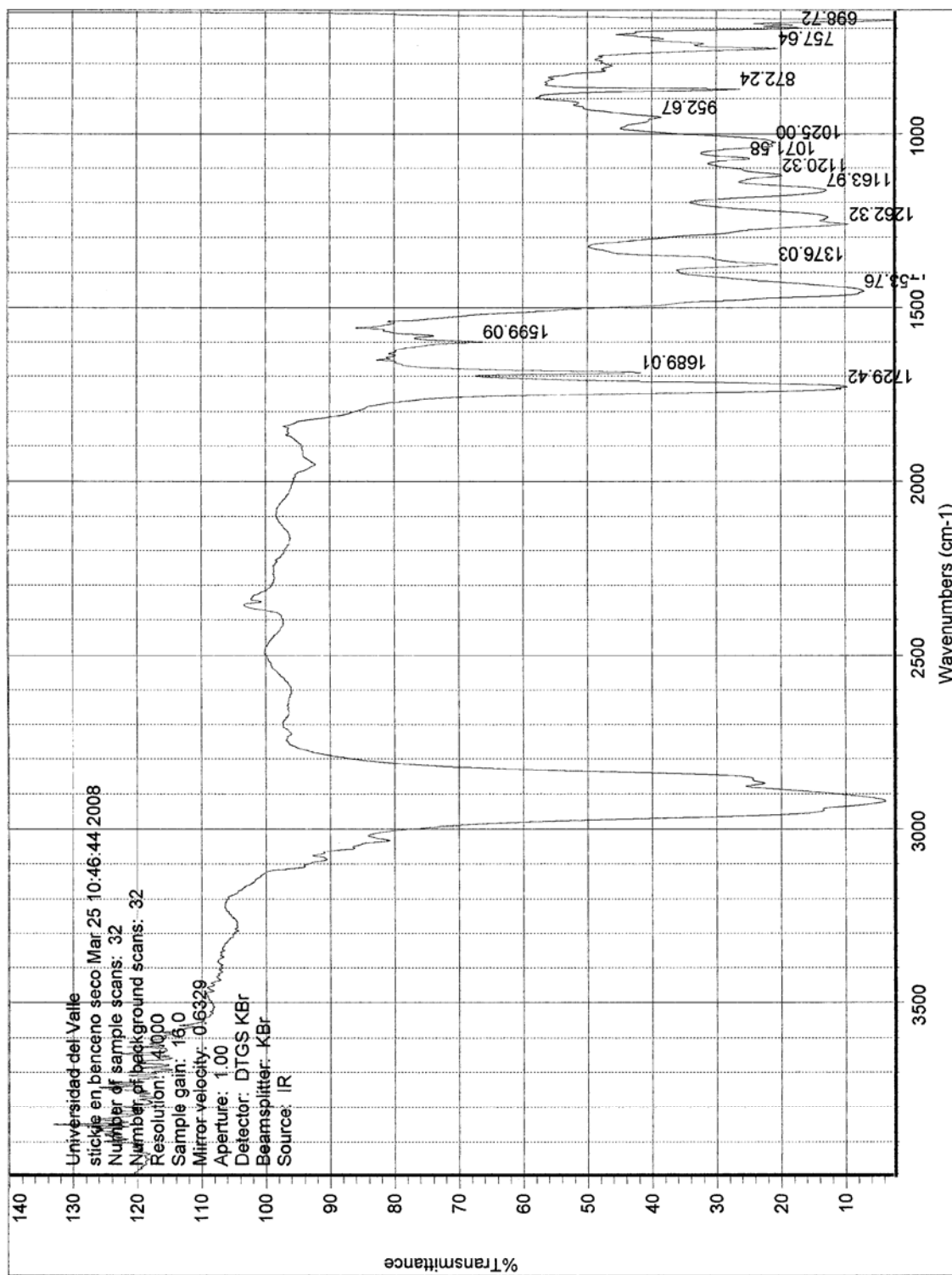
Search results list of matches

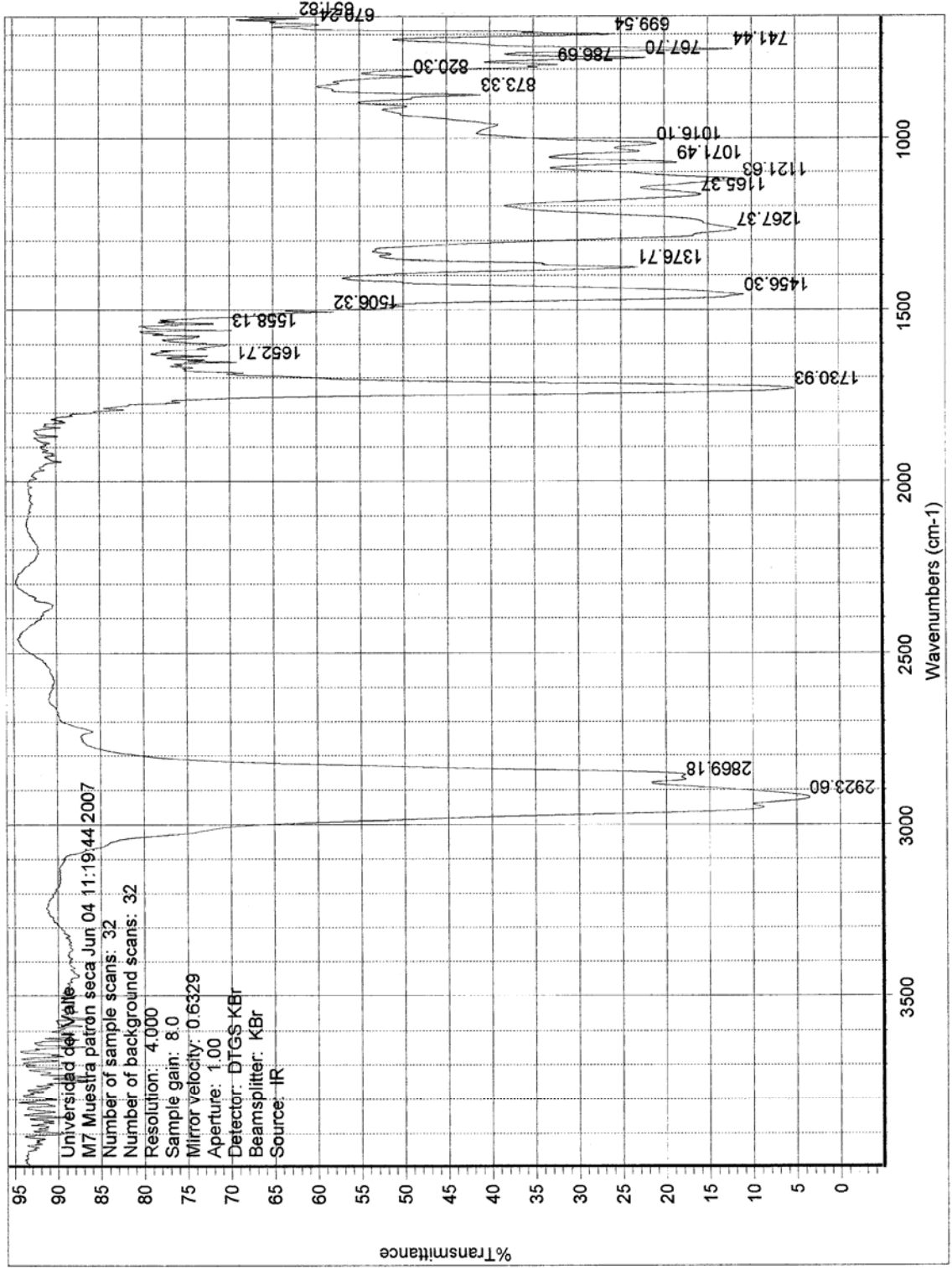
Index	Match	Compound Name	Library Name
1	39	60.08 POLY(ETHYLENE:PROPYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
2	14	55.01 ALKYD RESIN	Hummel Polymer Sample Library
3	38	51.78 POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
4	51	51.00 POLY(ETHYLENE-VINYL CHLORIDE)	Hummel Polymer Sample Library
5	17	50.89 POLY(ETHYLACRYLATE:ST:ACRYLAMIDE)	Hummel Polymer Sample Library
6	31	49.96 POLY(VINYL ACETATE:ETHYLENE) 3:1	Hummel Polymer Sample Library
7	41	49.78 POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
8	32	48.61 POLY(ETHYLENE:PROPYLENE:DIENE)	Hummel Polymer Sample Library
9	20	47.10 URETHANE ALKYD, LINSEED OIL-RICH	Hummel Polymer Sample Library
10	29	47.07 POLY(VINYL ACETATE:ETHYLENE) 4:1	Hummel Polymer Sample Library

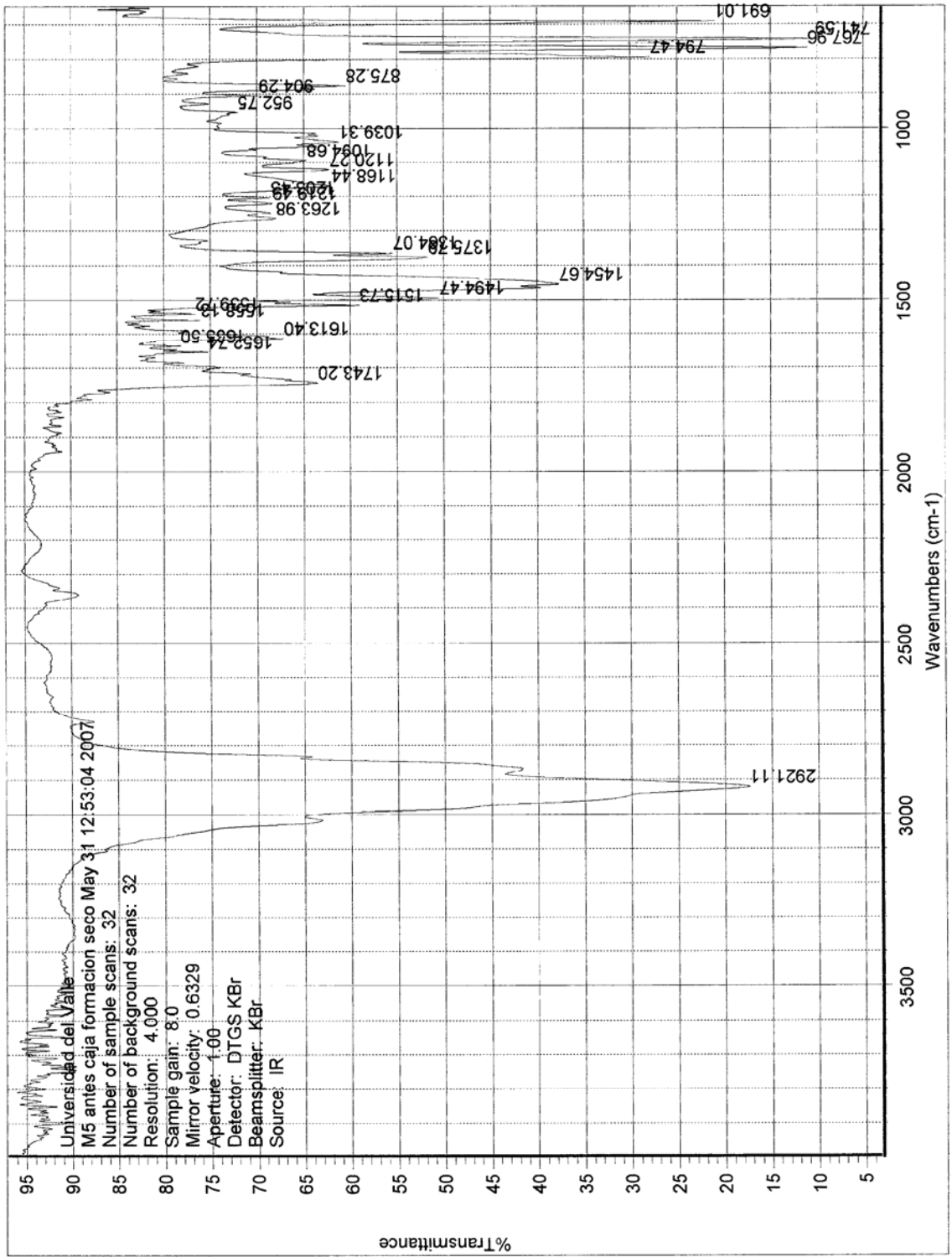


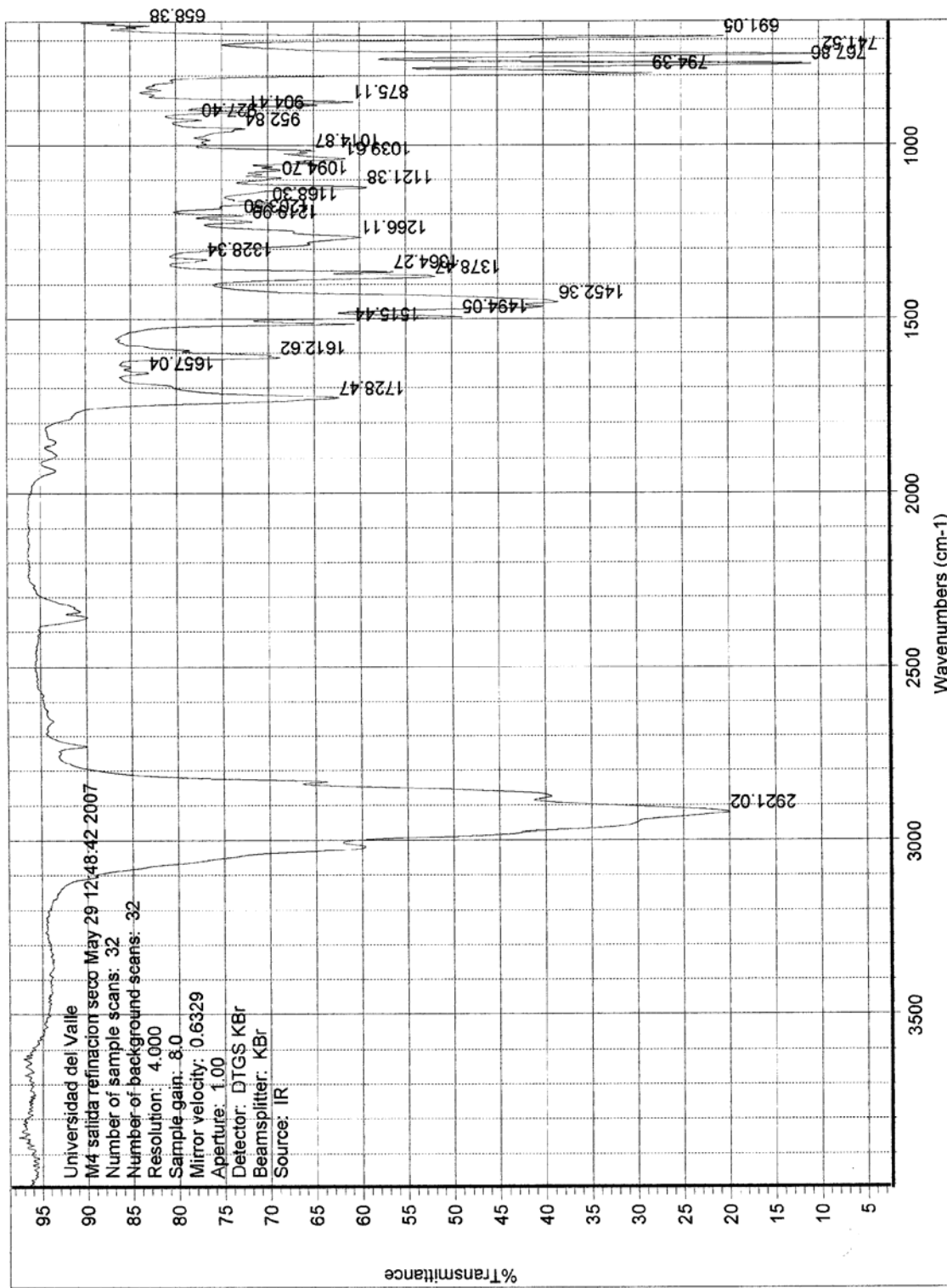


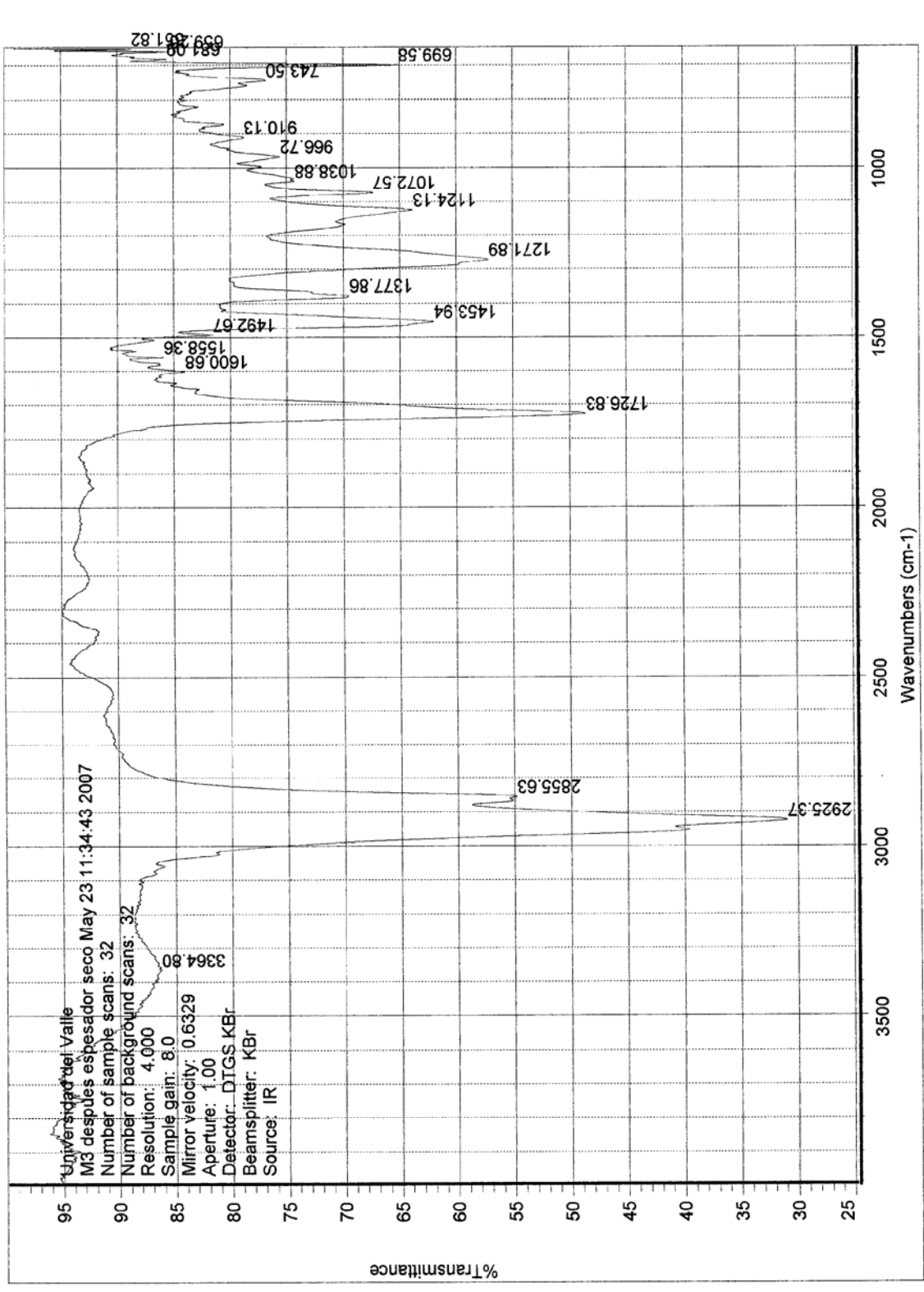


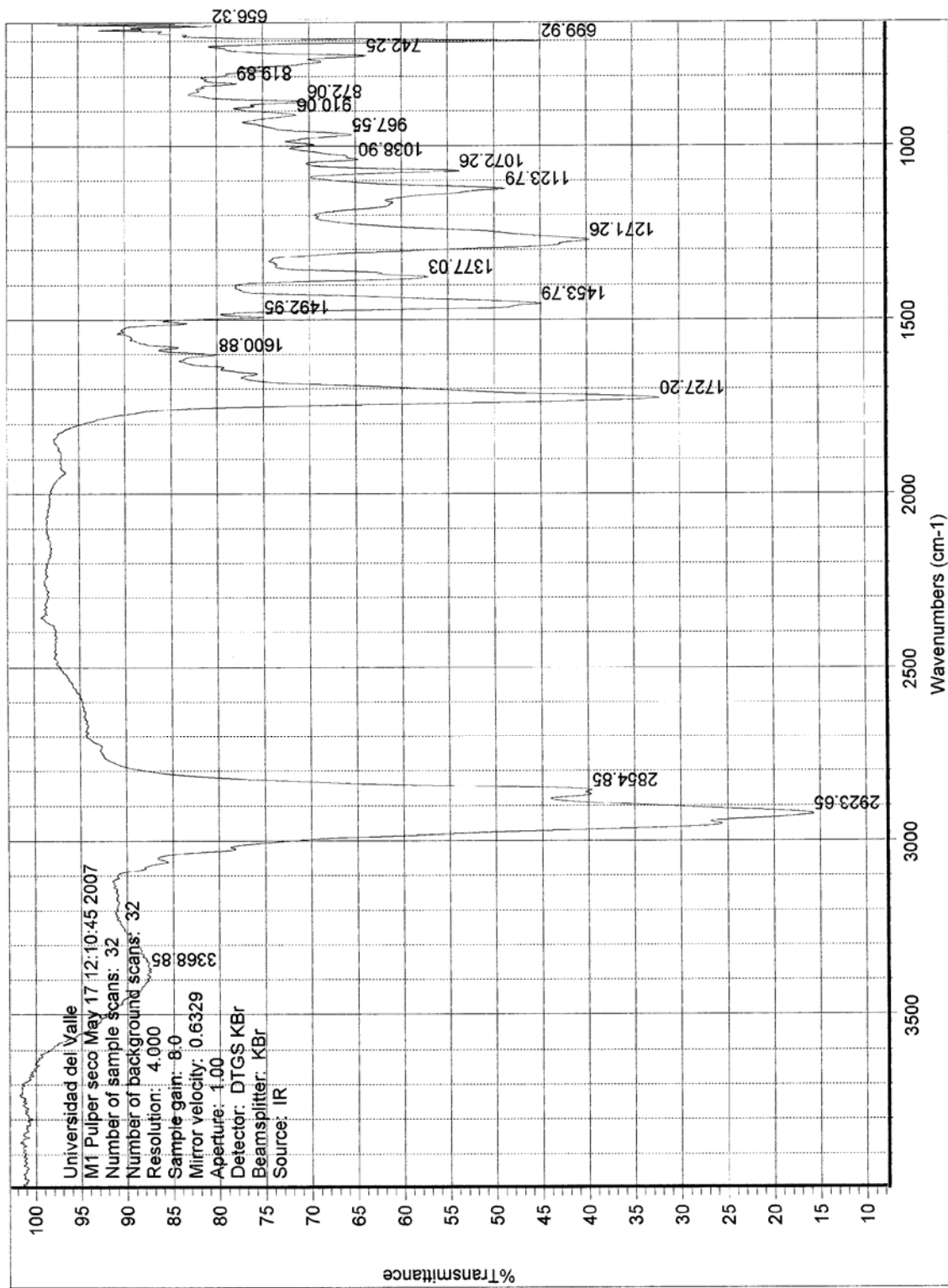


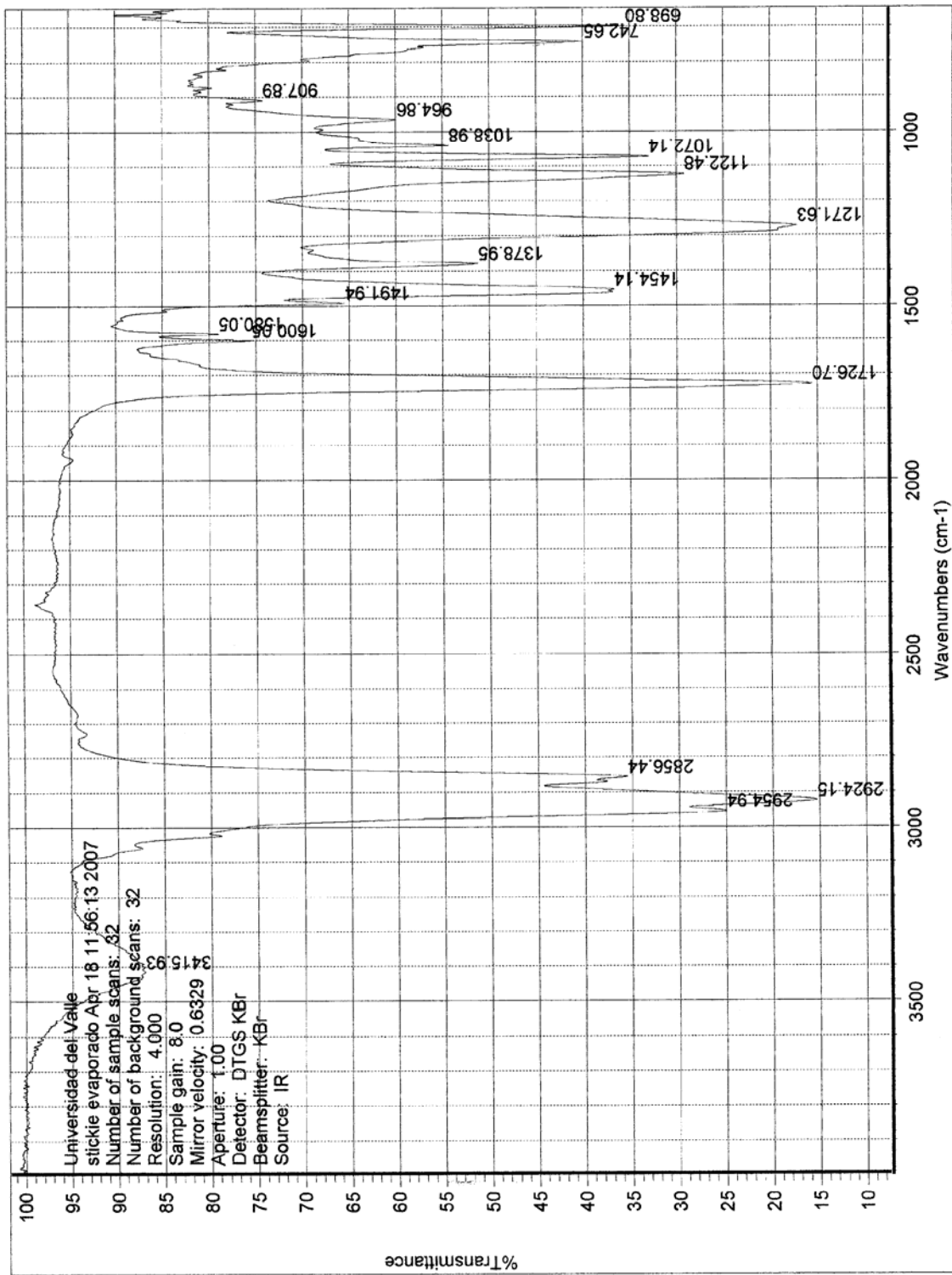












Data File D:\HPCHEM\2\DATA\TINQUI\SIG20005.D

Sample Name: benceno

```

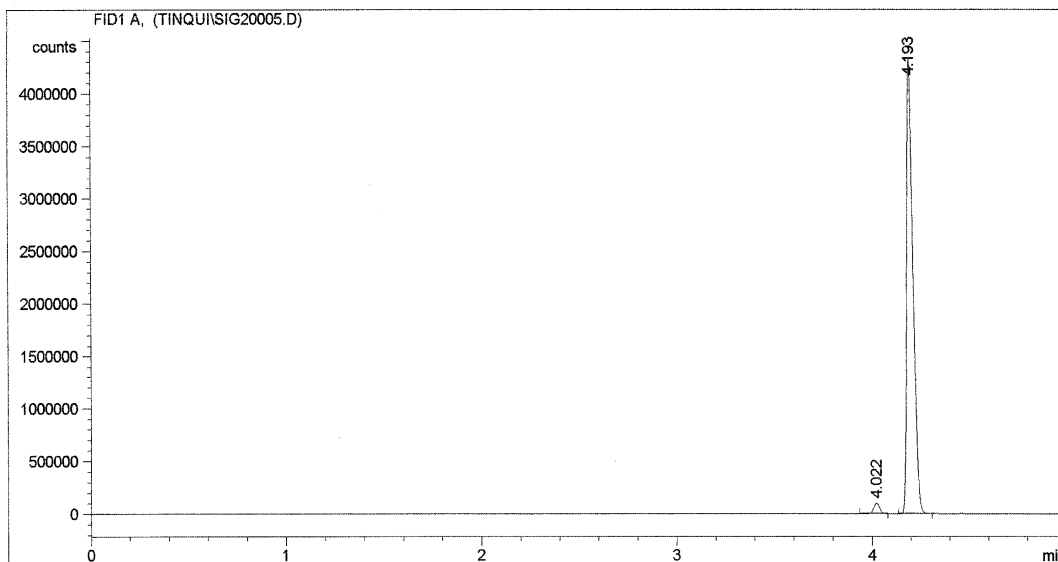
=====
Injection Date   : 2/4/08 11.46.30
Sample Name      : benceno                      Location   : -
Acq. Operator    : Tesis
Acq. Instrument  : Instrument 2                 Inj Volume : Manually
Method           : D:\HPCHEM\2\METHODS\AIAARO.M
Last changed     : 2/4/08 11.44.11 by Tesis    (modified after loading)

```

```

AIA 2008
Análisis de mezclas ternarias hidrocarburos
HP5890 II/Chemstation. Nitrogeno 2psi, split
iny 105C, FID 250C (Hidr 12 psi, aire 34 psi)
horno 130C HP-5 30m*0.32mm, 0.25microm.
Muestras sin diluir, <0.5microL

```



```

=====
Area Percent Report
=====

```

```

Sorted By      : Signal
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Sample Amount  : 1.00000 [ng/ul] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

```

Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Height [counts]	Area %
1	4.022	VV	0.0327	2.08144e5	9.81773e4	2.09247
2	4.193	VV	0.0343	9.73915e6	4.32388e6	97.90753

```
Totals :                9.94729e6  4.42206e6
```

Results obtained with enhanced integrator!

Data File D:\HPCHEM\2\DATA\TINQUI\SIG20004.D

Sample Name: Isopropanol

```

=====
Injection Date : 2/4/08 11.39.27
Sample Name    : Isopropanol                Location : -
Acq. Operator  : Tesis
Acq. Instrument : Instrument 2              Inj Volume : Manually
Method         : D:\HPCHEM\2\METHODS\AIAARO.M
Last changed   : 2/4/08 11.44.11 by Tesis
                (modified after loading)

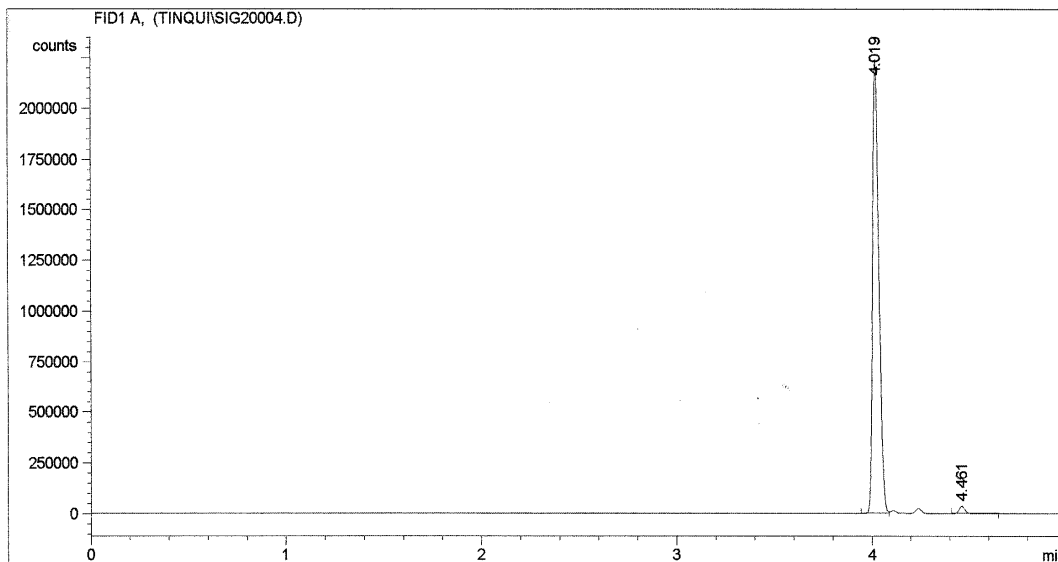
```

AIA 2008

```

Análisis de mezclas ternarias hidrocarburos
HP5890 II/Chemstation. Nitrogeno 2psi, split
iny 105C, FID 250C (Hidr 12 psi, aire 34 psi)
horno 130C HP-5 30m*0.32mm, 0.25microm.
Muestras sin diluir, <0.5microL

```



```

=====
                          Area Percent Report
=====

```

```

Sorted By      :      Signal
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Sample Amount  :      1.00000 [ng/ul] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

```

Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Height [counts]	Area %
1	4.019	VV	0.0350	4.99864e6	2.24166e6	98.59544
2	4.461	VV	0.0315	7.12091e4	3.53120e4	1.40456

```
Totals :                5.06985e6  2.27698e6
```

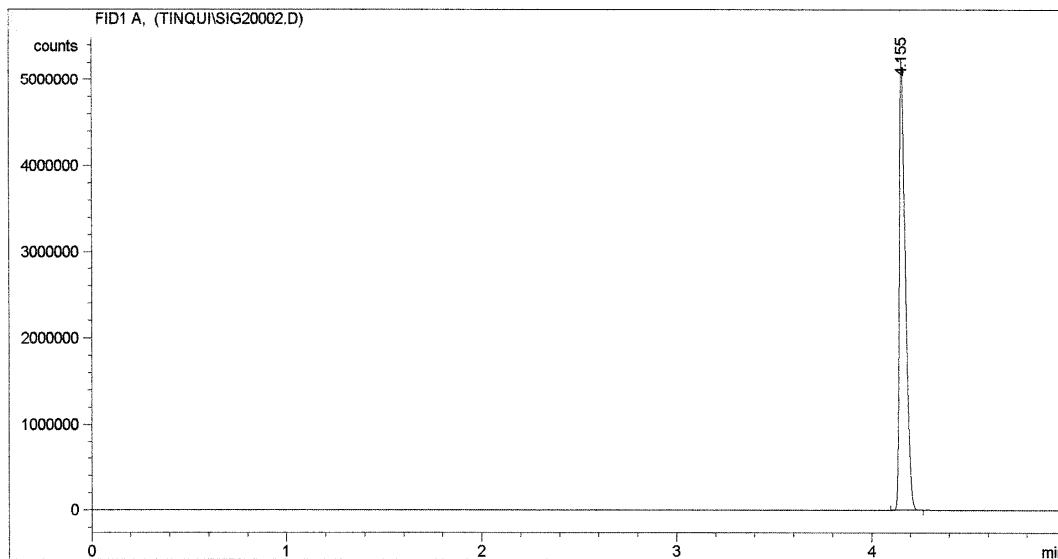
Results obtained with enhanced integrator!

Data File D:\HPCHEM\2\DATA\TINQUI\SIG20002.D

Sample Name: Benceno

Stickie en Benceno

```
=====
Injection Date   : 2/4/08 9.01.51
Sample Name      : Benceno                      Location   : -
Acq. Operator    : Tesis
Acq. Instrument  : Instrument 2                 Inj Volume  : Manually
Acq. Method      : D:\HPCHEM\2\METHODS\AIAARO.M
Last changed     : 2/4/08 8.58.20 by Tesis
                  (modified after loading)
Analysis Method  : D:\HPCHEM\2\METHODS\AIAARO.M
Last changed     : 13/3/08 9.43.48
AIA 2008
Analisis de mezclas ternarias hidrocarburos
HP5890 II/Chemstation. Nitrogeno 2psi, split
iny 105C, FID 250C (Hidr 12 psi, aire 34 psi)
horno 130C HP-5 30m*0.32mm, 0.25microm.
Muestras sin diluir, <0.5microL
=====
```



```
=====
                          Area Percent Report
=====
```

```
Sorted By      :      Signal
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Sample Amount   :      1.00000 [ng/ul]   (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

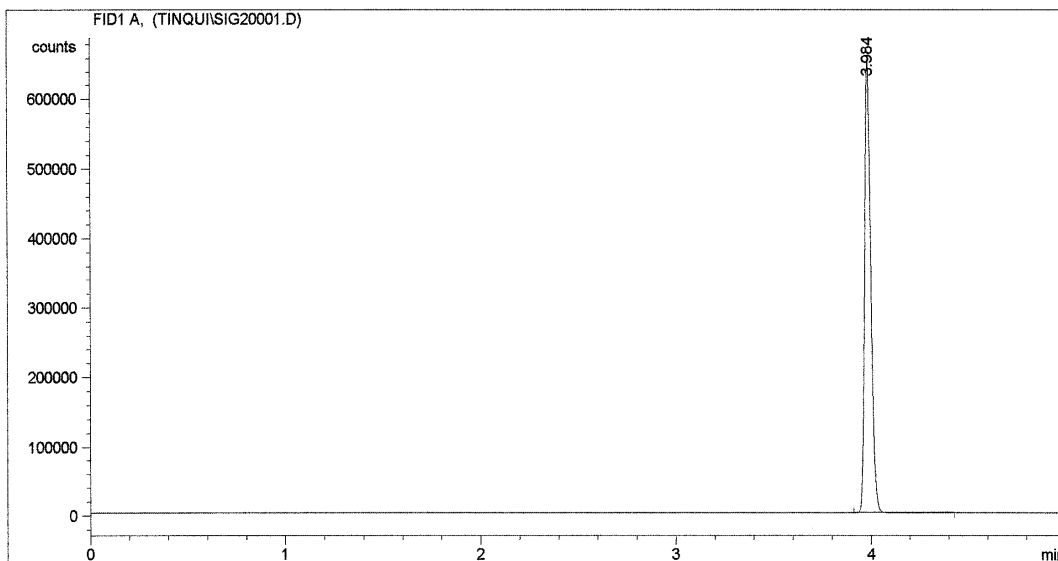
Signal 1: FID1 A,

Data File D:\HPCHEM\2\DATA\TINQUI\SIG20001.D

Sample Name: Isopropanol

Stickie en isopropanol

```
=====
Injection Date   : 2/4/08 8.49.34
Sample Name     : Isopropanol
Acq. Operator   : Tesis
Acq. Instrument : Instrument 2
Acq. Method     : D:\HPCHEM\2\METHODS\AIAARO.M
Last changed    : 2/4/08 8.58.20 by Tesis
                  (modified after loading)
Analysis Method : D:\HPCHEM\2\METHODS\AIAARO.M
Last changed    : 13/3/08 9.43.48
AIA 2008
Analisis de mezclas ternarias hidrocarburos
HP5890 II/Chemstation. Nitrogeno 2psi, split
iny 105C, FID 250C (Hidr 12 psi, aire 34 psi)
horno 130C HP-5 30m*0.32mm, 0.25microm.
Muestras sin diluir, <0.5microL
=====
```



```
=====
Area Percent Report
=====
```

```
Sorted By       : Signal
Multiplier      : 1.0000
Dilution        : 1.0000
Sample Amount   : 1.00000 [ng/ul] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Signal 1: FID1 A,

B. Cálculo de muestra

1. Cálculo de la absorbancia en los espectros IR

Ecuación 1

$$A = -\log_{10} T$$

Donde:

A = absorbancia [unidades de absorbancia]

T = transmitancia [% de transmitancia]

Absorbancia de la banda ubicada en 3365 – 3377 cm⁻¹ del espectro de acetona.

$$A = -\log_{10}(12)$$

$$A = 0.92082$$

2. Cálculo de la cantidad de materia prima necesaria para hacer una mezcla de material virgen con material reciclado

Ecuación 2

$$sX + tY = zU$$

Ecuación 3

$$s + t = z$$

Donde:

X = % de material fuera de norma en a

Y = % de material fuera de norma en b

Z = 3% de materia fuera de norma permitido en c

s = cantidad de s en la mezcla (kg/Tm)

t = cantidad de t en la mezcla (kg/Tm)

u = cantidad total de la mezcla (1 Tm)

Si se utiliza la fibra secundaria clase A con la clase C:

$$sX + tY = 97$$

$$s + t = 1$$

$$s(1.00) + t(0.95) = 970$$

$$s + t = 1000$$

$$1.00s + 0.95t = 970$$

Por ecuaciones simultáneas se resuelve:

$$1.00s + 0.95(1000 - s) = 970$$

$$1.00s + 959 - 0.95s = 970$$

$$0.05s = 20$$

$$s = 400$$

$$t = 600$$

Costo de utilizar la combinación de distintas clases de materias primas (A-C):

$$\frac{400 * 4349.71}{1000} = 1739.88$$

$$\frac{600 * 4129.00}{1000} = 2477.40$$

Costo total:

$$Q1739.88 + Q2477.40 = Q4217.28$$

Ahorro respecto a la clase de materia prima más costosa (clase A):

$$Q4349.71 - Q4217.28 = Q132.43$$

C. Datos calculados

Cuadro 5

Absorbancias de las bandas características del extracto de etanol

Número de onda (cm ⁻¹)	Espectro etanol	
	Transmitancia	Absorbancia
3365-3377	76%	0.11919
2919-2921	2%	1.69897
1729-1730	20%	0.69897
1453-1460	19%	0.72125
1374-1376	28%	0.55284
1236-1237	26%	0.58503
1163-1168	25%	0.60206

Cuadro 6

Absorbancias de las bandas características del extracto de isopropanol

Número de onda (cm ⁻¹)	Espectro isopropanol	
	Transmitancia	Absorbancia
3365-3377	18%	0.74473
2919-2921	9%	1.04576
1729-1730	20%	0.69897
1453-1460	20%	0.69897
1374-1376	25%	0.60206
1236-1237	25%	0.60206
1163-1168	16%	0.79588

Cuadro 7

Absorbancias de las bandas características del extracto de acetona

Número de onda (cm ⁻¹)	Espectro acetona	
	Transmitancia	Absorbancia
3365-3377	12%	0.92082
2919-2921	15%	0.82391
1729-1730	9%	1.04576
1453-1460	22%	0.65758
1374-1376	24%	0.61979
1236-1237	8%	1.09691
1163-1168	12%	0.92082

Cuadro 8

Absorbancias de las bandas características del extracto de hexano

Número de onda (cm^{-1})	Espectro hexano	
	Transmitancia	Absorbancia
2919	2%	1.69897
1729-1735	19%	0.72125
1452-1453	12%	0.92082
1375-1376	28%	0.55284
1236-1237	25%	0.60206
1163-1166	20%	0.69897

Cuadro 9

Absorbancias de las bandas características del extracto de benceno

Número de onda (cm^{-1})	Espectro benceno	
	Transmitancia	Absorbancia
2919	4%	1.39794
1729-1735	6%	1.22185
1452-1453	9%	1.04576
1375-1376	18%	0.74473
1236-1237	4%	1.39794
1163-1166	6%	1.22185

Cuadro 10

Absorbancias de las bandas características del extracto de tolueno

Número de onda (cm^{-1})	Espectro tolueno	
	Transmitancia	Absorbancia
2919	4%	1.39794
1729-1735	11%	0.95861
1452-1453	17%	0.76955
1375-1376	30%	0.52288
1236-1237	11%	0.95861
1163-1166	15%	0.82391

Cuadro 11

Absorbancias de las bandas características del extracto de p-xileno

Número de onda (cm^{-1})	Espectro p-xileno	
	Transmitancia	Absorbancia
2919	6%	1.22185
1729-1735	12%	0.92082
1452-1453	6%	1.22185
1375-1376	20%	0.69897
1236-1237	13%	0.88606
1163-1166	10%	1.00000

D. Cuadros de análisis

Cuadro 12

Características de los disolventes utilizados

Solvente	Fórmula	Peso molecular (g/mol)	Marca	Pureza
Benceno	C_6H_6	78.11	Merck	99.70%
Tolueno	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	92.14	Productos Monterrey	99.80%
p-xileno	C_8H_{10}	106.17	Merck	99.00%
Hexano	C_6H_{14}	86.18	J.T. Baker	99.50%
Isopropanol	$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	60.1	B & J Brand	99.10%
Acetona	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	58.1	J.T. Baker	99.40%

Cuadro 13

Características de los equipos utilizados

Equipo utilizado	Características
Cromatógrafo de gases	Hewlett Packard 5890 Series II
	Isotérmico: 130 °C
	Presión de cabeza de columna: 10 kPa
	Largo de la columna: 30 m
	Equipado con un detector de ionización de llama
	Detector utilizado: A
	Inyección: 1 μL
	Solventes utilizados: Isopropanol y benceno
	Nitrógeno utilizado como gas acarreador
Espectrofotómetro IRTF	Nicolet Impact 420
	Celda de KBr
	Promedio de análisis 32 espectros

Cuadro 14

Solubilidad relativa de la muestra de stickies en los solventes

Solvente	Solubilidad
p-xileno	80%
Tolueno	75%
Benceno	85%
Hexano	70%
Etanol	20%
Isopropanol	15%
Acetona	10%
Agua desionizada	0%

Cuadro 15

Cantidad relativa extraída por cada tipo de solvente

Tipo de Solvente	Valor relativo
Polar	12.68%
Apolar	87.32%

Cuadro 16

Comparación del espectro IRTF del extracto de etanol con la biblioteca

Hummel Polymer Sample Library

No.	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero etileno/propileno/dieno	71.67
2	Copolímero etileno/propileno	71.35
3	Polipropileno, atáctico	63.99
4	Polipropileno, sindiotáctico	63.51
5	Copolímero etileno/cloruro de vinilo	60.34
6	Resina alquídica	59.47
7	Uretano alquídico, rico en aceite de linaza	54.80
8	Copolímero cloruro de vinilo/etileno	54.59
9	Resina de hidrocarburos aromáticos	52.96
10	Polibutadieno + aceite mineral (fracción nafténica)	51.26

Cuadro 17

Comparación del espectro IRTF del extracto de isopropanol con la biblioteca

Hummel Polymer Sample Library

No.	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero etileno/propileno	60.08
2	Resina alquídica	55.01
3	Polipropileno, sindiotáctico	51.78
4	Copolímero etileno/cloruro de vinilo	51.00
5	Copolímero etilacrilato/estireno/acrilamida	50.89
6	Copolímero vinil acetato/etileno (3:1)	49.96
7	Polipropileno, atáctico	49.78
8	Copolímero etileno/propileno/dieno	48.61
9	Uretano alquídico, rico en aceite de linaza	47.10
10	Copolímero vinil acetato/etileno (4:1)	47.07

Cuadro 18

Comparación del espectro IRTF del extracto de tolueno con la biblioteca

Hummel Polymer Sample Library

No.	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero vinil acetato/etileno (3:1)	62.26
2	Copolímero vinil acetato/etileno (4:1)	59.65
3	Copolímero etilacrilato/estireno/acrilamida	59.42
4	Resina alquídica	55.85
5	Copolímero estireno/acrilonitrilo/metil metacrilato	54.07
6	Copolímero butadieno/metil metacrilato	53.43
7	Uretano alquídico, rico en aceite de linaza	52.64
8	Polimetacrilato, con grupos OH	52.44
9	Copolímero etileno/propileno	50.32
10	Poliéster, ter-iso-ftalato	48.70

Cuadro 19

Comparación del espectro IRTF del extracto de benceno con la biblioteca
Hummel Polymer Sample Library

No.	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero vinil acetato/etileno (3:1)	69.80
2	Copolímero etilacrilato/estireno/acrilamida	69.58
3	Copolímero vinil acetato/etileno (4:1)	67.79
4	Copolímero estireno/acrilonitrilo/metil metacrilato	64.37
5	Resina alquídica	59.88
6	Polimetacrilato, con grupos OH	59.57
7	Uretano alquídico, rico en aceite de linaza	58.68
8	Copolímero butadieno/metil metacrilato	56.70
9	Resina de poliéster, insaturada	52.50
10	Polimetil metacrilato	51.91

Cuadro 20

Compuestos presentes únicamente en el extracto de isopropanol

	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero etilacrilato/estireno/acrilamida	50.89
2	Copolímero vinil acetate/etileno (3:1)	49.96
3	Copolímero vinil acetate/etileno (4:1)	47.07

Cuadro 21

Compuestos presentes únicamente en el extracto de etanol

	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero cloruro de vinilo/etileno	54.59
2	Polibutadieno + aceite mineral (fracción nafténica)	51.26
3	Resina de hidrocarburos aromáticos	52.96

Cuadro 22

Compuestos presentes únicamente en el extracto de tolueno

	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Copolímero etileno/propileno	50.32
2	Poliéster, ter-iso-ftalato	48.70

Cuadro 23

Compuestos presentes únicamente en el extracto de benceno

	Nombre del compuesto	% Coincidencia
1	Polimetil metacrilato	51.91
2	Resina de poliéster, insaturada	52.50

Cuadro 24

Grupos funcionales identificados en los extractos de los disolventes polares

Tipo de banda	Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
Ancha e intensa	3365-3377	-OH
Intensa	2919-2921	CH ₂ , CH ₃
Aguda e intensa	1729-1730	C=O
Aguda y mediana	1453-1460	CH ₂ , CH ₃
Aguda y mediana	1374-1376	CH ₃
Aguda y mediana	1236-1237	C-O
Aguda y mediana	1163-1168	C-C

Cuadro 25

Grupos funcionales identificados en los extractos de los disolventes apolares

Tipo de banda	Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
Intensa	2919	CH ₂ , CH ₃
Aguda e intensa	1729-1735	C=O
Aguda y mediana	1452-1453	CH ₂ , CH ₃
Aguda y mediana	1375-1376	CH ₃
Aguda y mediana	1236-1237	C-O
Aguda y mediana	1163-1166	C-C

Cuadro 26

Productos químicos utilizados en el programa anti-stickies

Nombre comercial	Descripción	Precio (Q/kg)	Dosis
Passtel	Pasivador de stickies en la tela	30.00	0.00036 m ³ /1000 kg de papel
Passfelt	Pasivador de stickies en el fieltro	35.00	0.00065 m ³ /1000 kg de papel
Encapstick	Encapsulador de stickies	35.00	* de 0 a 0.0018 m ³ /1000 kg de papel
Purgapulp	Dispersante de stickies	45.00	*de 0 a 2 kg/1000 kg

*Depende del tipo de materia prima utilizada

Cuadro 27

Clasificación de la calidad de la materia prima utilizada

Materia prima	Calidad	Descripción
A	Excelente	Material limpio
B	Buena	Hasta 5% de material con adhesivos
C	Regular	Hasta 10% de material con adhesivos
D	Mala	Hasta 15% de material con adhesivos
E	Muy mala	Hasta 30% de material con adhesivos

Cuadro 28

Otras propiedades de los productos químicos utilizados en el programa anti-stickies

Producto	Densidad (kg/m ³)
Purgapulp	960
Encapstick	1,053
Passtel	1,033
Passfelt	1,060

Cuadro 29

Costos del programa anti-stickies

Materia Prima	Costo de Limpieza Química (Q/Tm)	Costo por paro de maquinaria para limpiezas (Q/Tm)	Costo por producto dañado que pasa a conversión y es reprocesado (Q/Tm)
A	35.00	0.00	0.00
B	60.00	100.00	100.00
C	85.00	230.00	228.00
D	165.00	305.00	336.00
E	250.00	373.00	373.00

Cuadro 30

Efecto que la calidad de materia prima empleada tiene sobre la eficiencia operativa del proceso

Materia Prima	Eficiencia (%)	Materia Prima	
		Costo (Q/Tm)	Costo Real (Q/Tm)
A	85%	4000.00	4600.00
B	80%	3600.00	4320.00
C	75%	3000.00	3750.00
D	65%	2500.00	3375.00
E	55%	2000.00	2900.00

Cuadro 31

Costo acumulado de la materia prima considerando la limpieza química

Materia Prima	Eficiencia (%)	Limpieza Química
		Costo (Q/Tm)
A	85%	4635.00
B	80%	4380.00
C	75%	3835.00
D	65%	3540.00
E	55%	3150.00

Cuadro 32

Costo acumulado de la materia prima considerando el paro realizado para limpieza de maquinaria

Materia Prima	Eficiencia (%)	Paro de maquinaria para limpiezas
		Costo (Q/Tm)
A	85%	4635.00
B	80%	4480.00
C	75%	4065.00
D	65%	3845.00
E	55%	3523.00

Cuadro 33

Costo acumulado de la materia prima considerando el producto reprocesado por no cumplir estándares de calidad

		Producto reprocesado
Materia Prima	Eficiencia (%)	Costo (Q/Tm)
A	85%	4635.00
B	80%	4580.00
C	75%	4293.00
D	65%	4181.00
E	55%	3896.00

Cuadro 34

Cantidades por tiempo perdido al no aplicar programa anti-stickies

Fórmula	Tiempo perdido por limpieza (horas/mes)	Tiempo perdido equivalente en kg de producto al mes	Producto rechazado en conversión o en fábrica (kg)	kg totales relativos
1	3	5000	0	0
2	9	15000	3000	13000
3	14	23000	12000	32000
4	16	27000	18000	42000
5	18	30000	24000	51000

Cuadro 35

Valores X, Y, Z, u, s, t, con distintas combinaciones de materia prima

	AE	AD	AC	AB
X	1	1	1	1
Y	0.95	0.95	0.95	0.95
Z	970	970	970	970
u	1000	1000	1000	1000
s	400	400	400	400
t	600	600	600	600

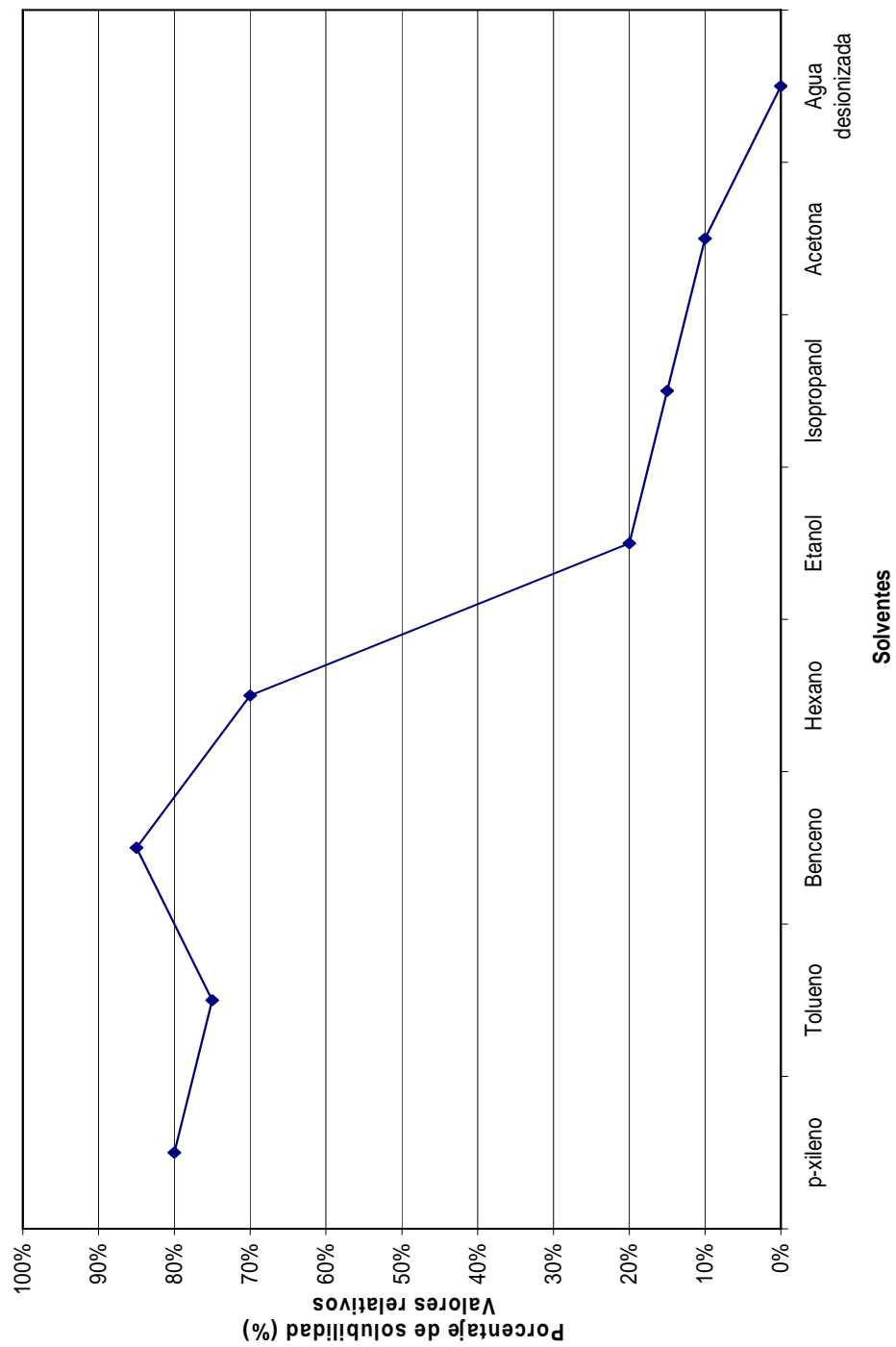
Cuadro 36

Ahorro por utilizar combinaciones de materia prima comparado con la media (materia prima clase C)

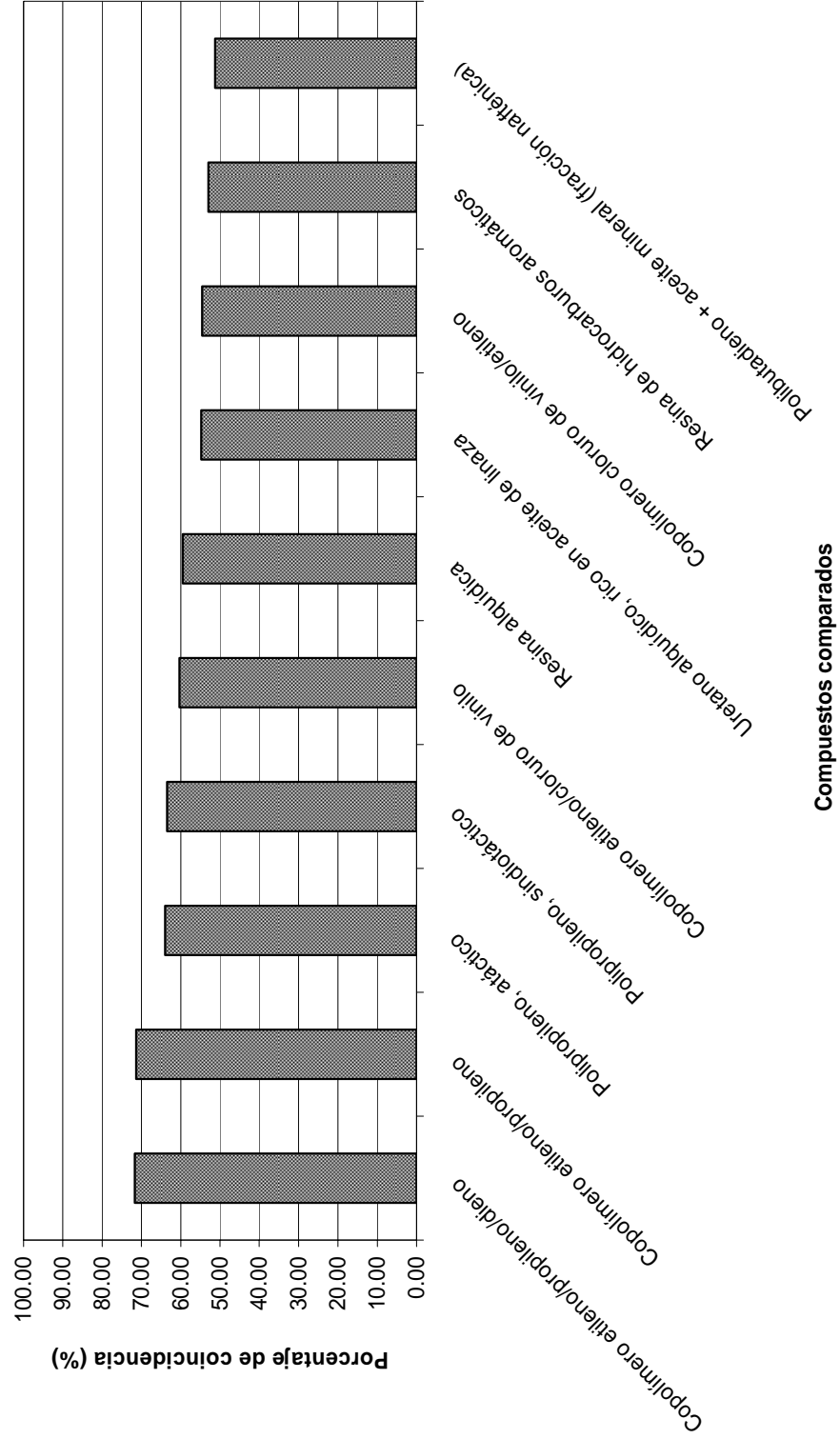
	C	AE	AD	AC	AB
Costo (Q/Tm)	4129.00	4560.21	4329.94	4217.28	4218.63
Ahorro respecto a C (Q/Tm)	0.00	-431.21	-200.94	-88.28	-89.63

E. Gráficas

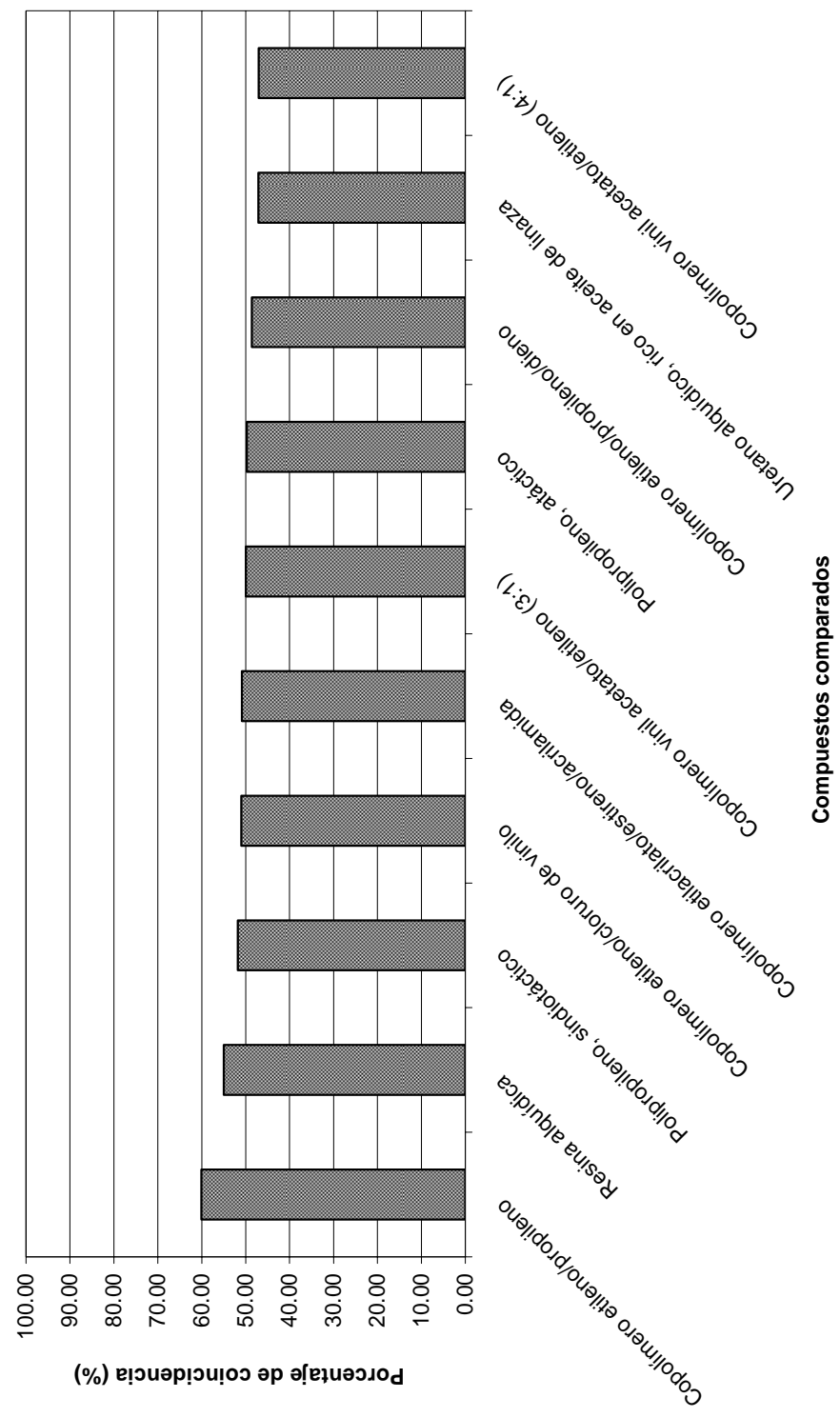
Gráfica 1
Solubilidad de la muestra de Stickies en distintos solventes



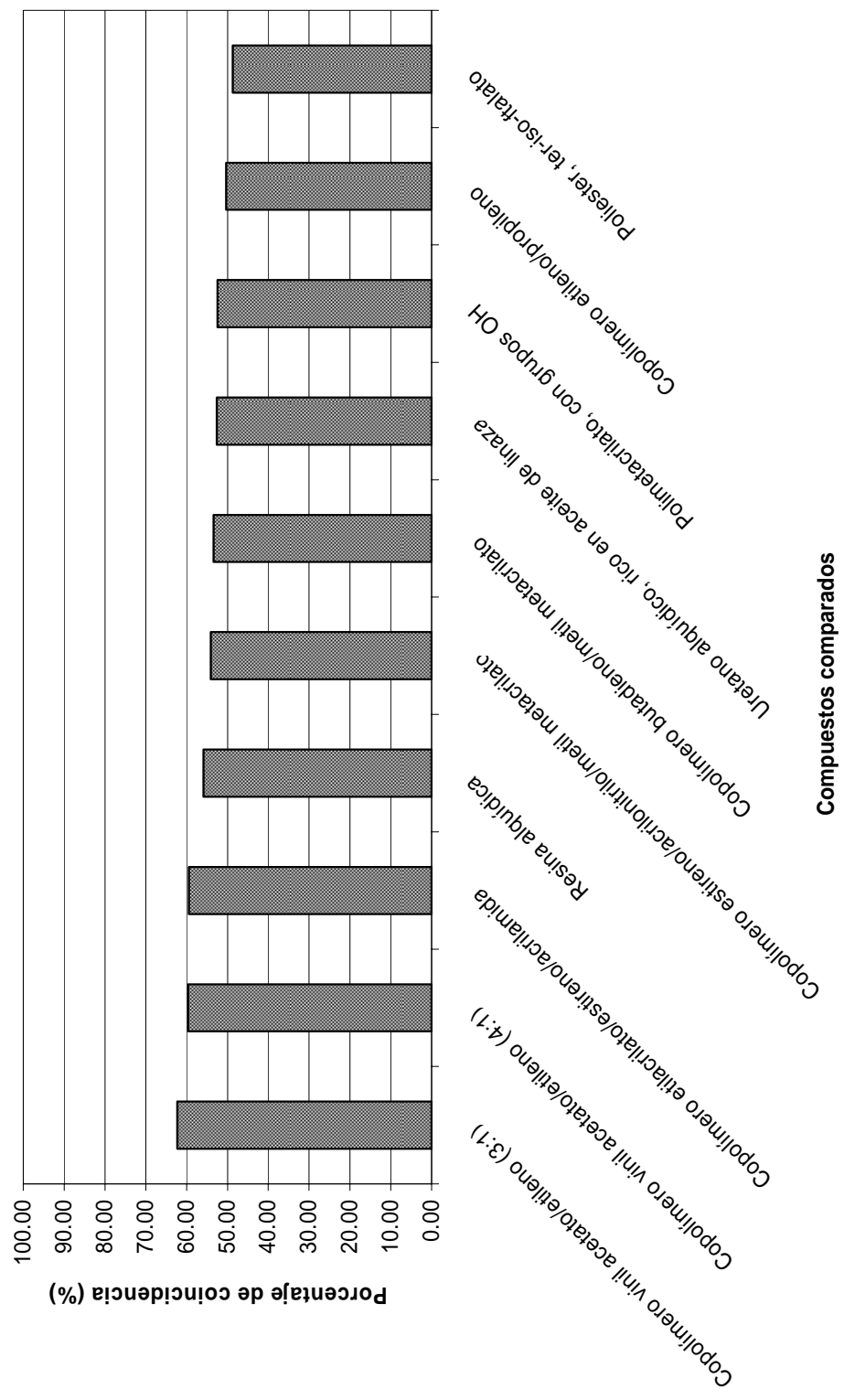
Gráfica 2
Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia
(Extracto de Stickies en etanol)



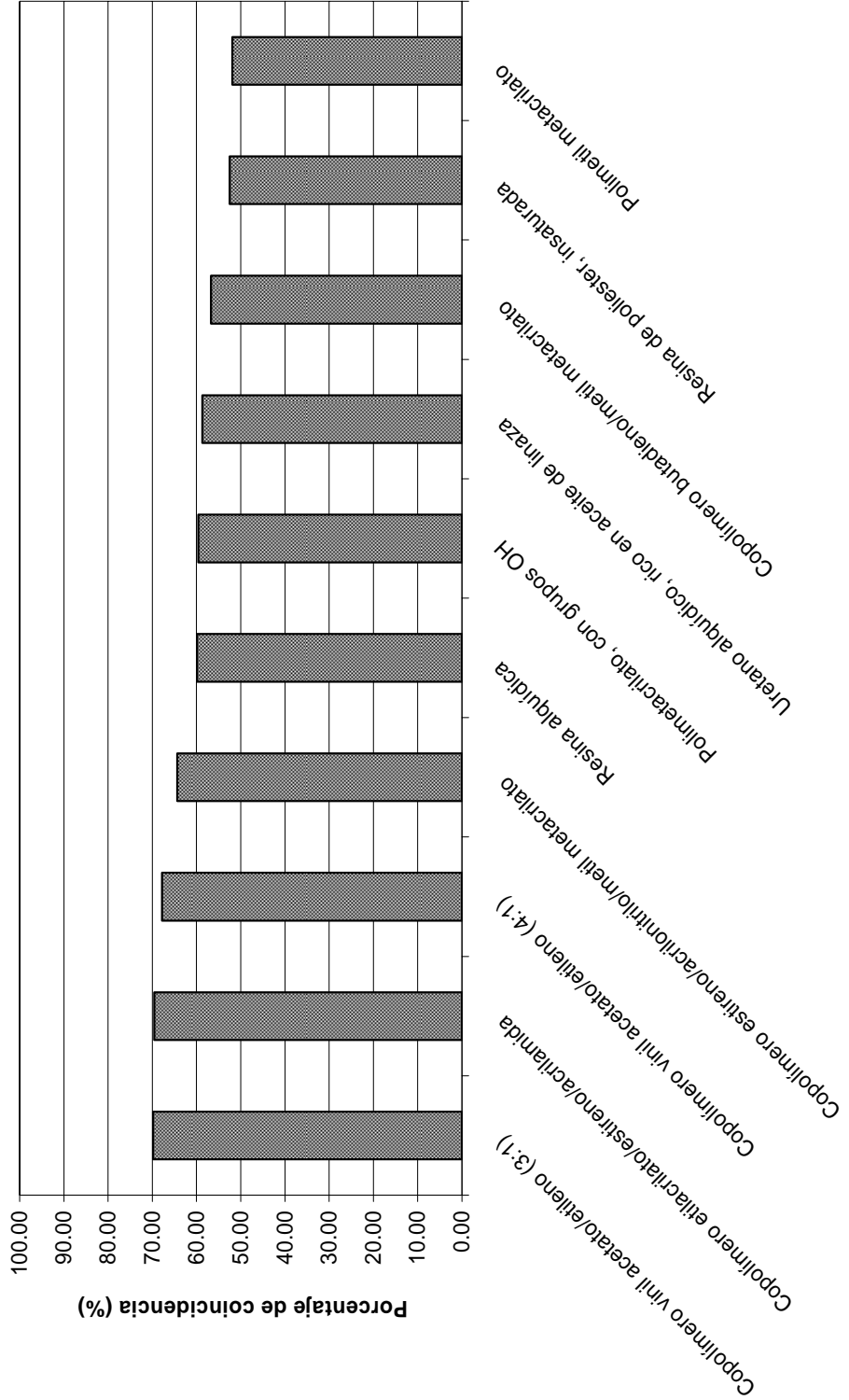
Grafica 3
Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia
(Extracción de Stickies en Isopropanol)



Grafica 4
Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia
(Extracción combinada de Stickies en etanol/tolueno)

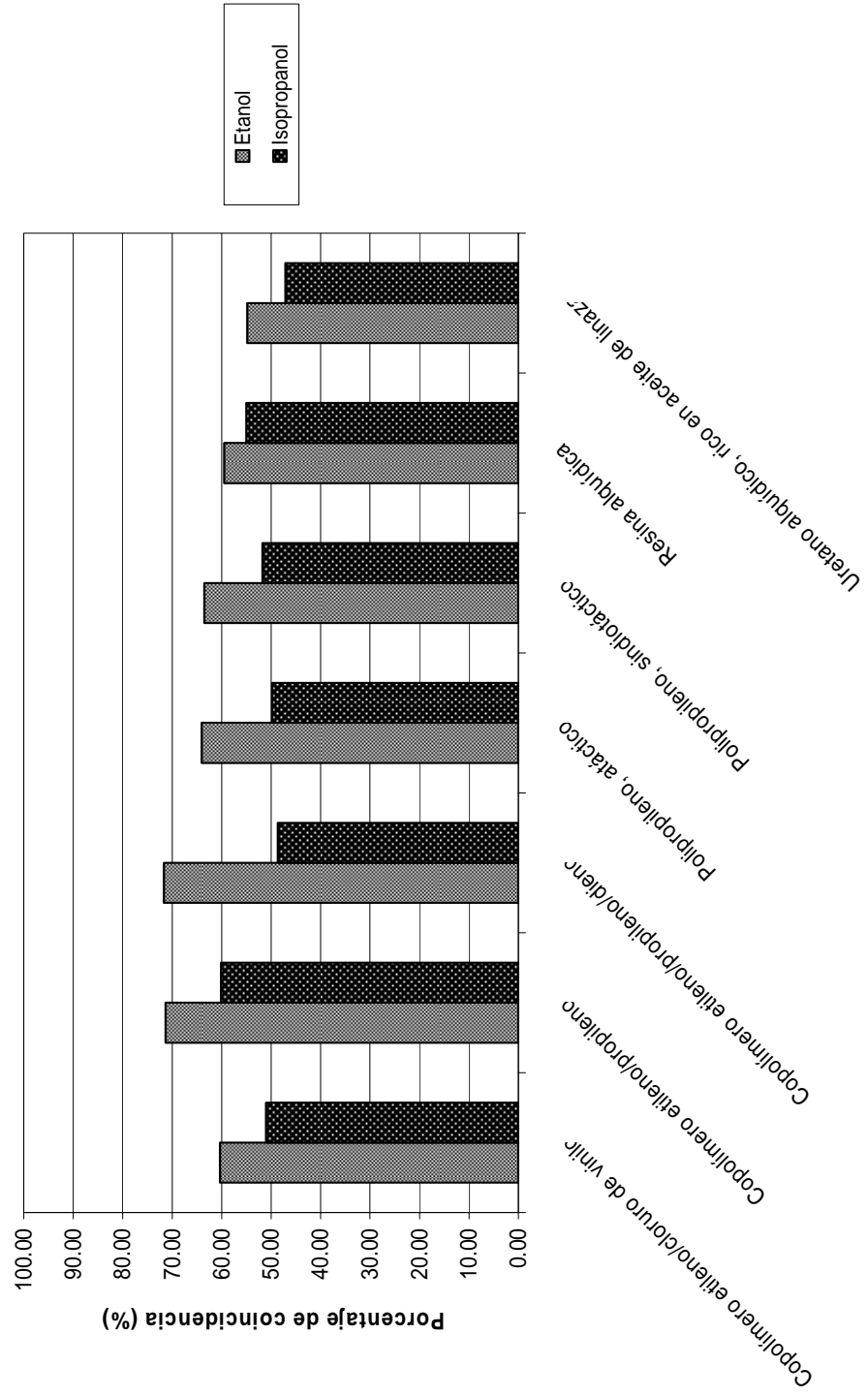


Grafica 5
Comparación de espectros IRTF obtenidos con espectros de la biblioteca de referencia
(Extracción combinada de Stickies en etanol/benceno)



Compuestos comparados

Grafica 6
Comparación de los compuestos presentes en el extracto de etanol e isopropanol



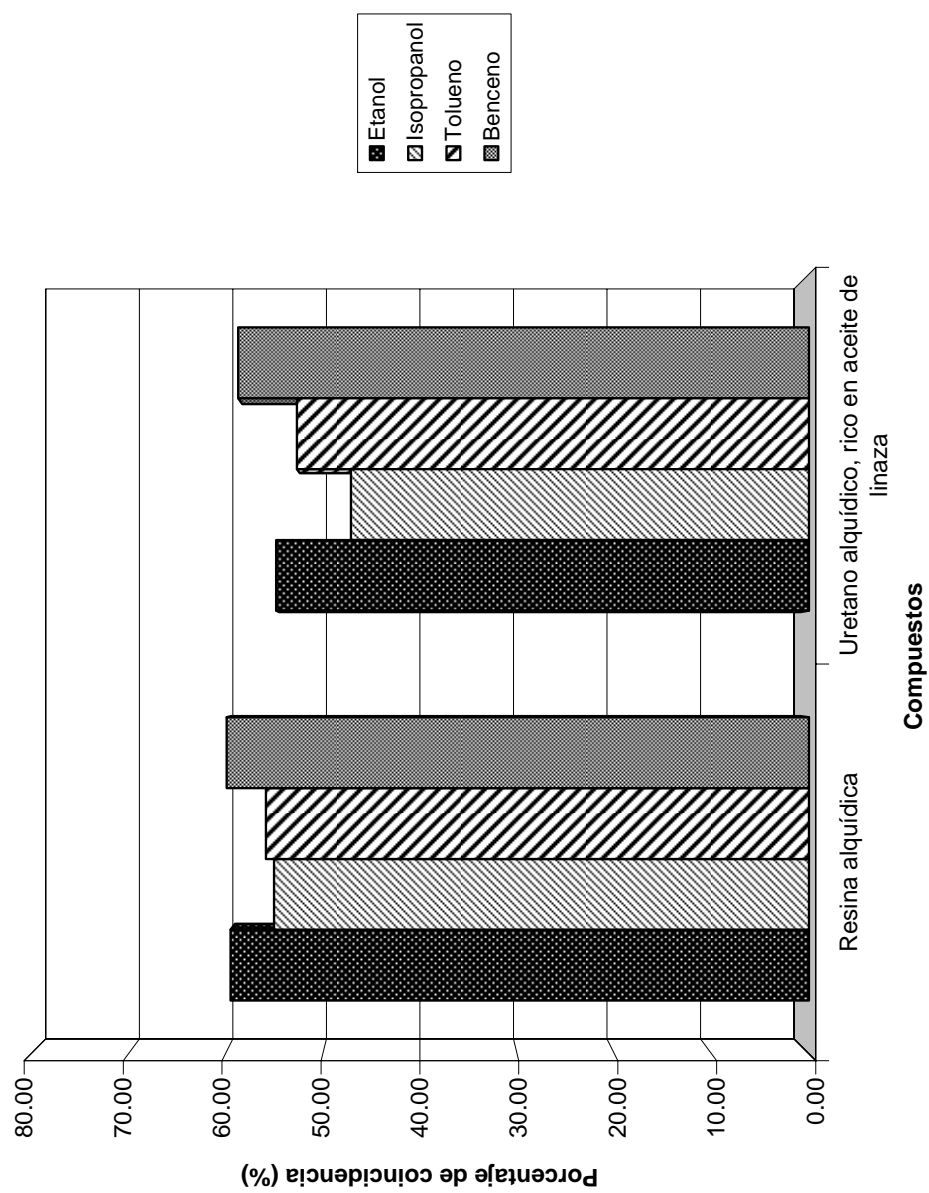
Compuestos presentes en ambos solventes

Gráfica 7
Comparación de los compuestos presentes en las extracciones combinadas de Etanol/Tolueno y Etanol/Benceno

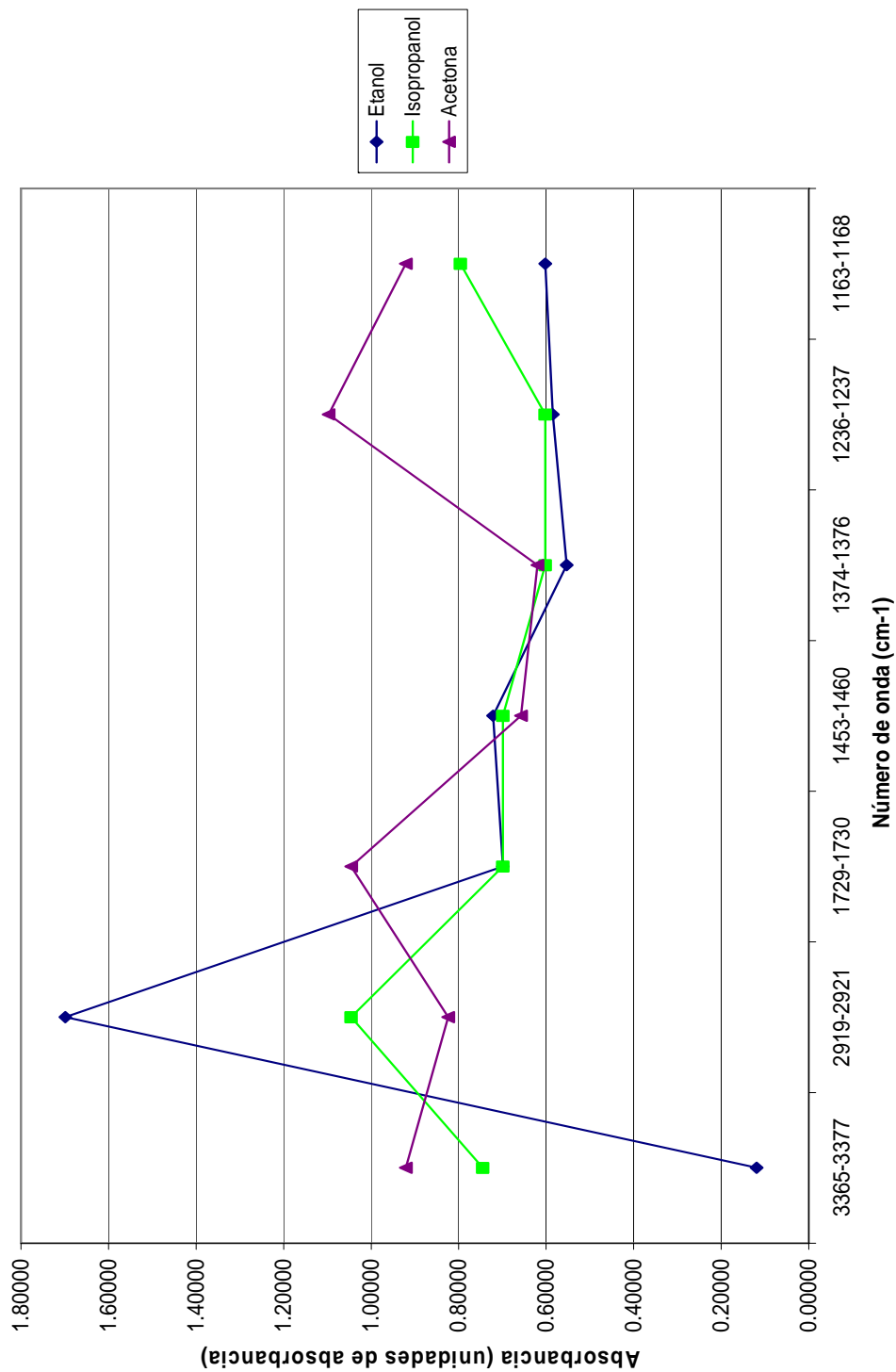


Compuestos presentes en ambas extracciones

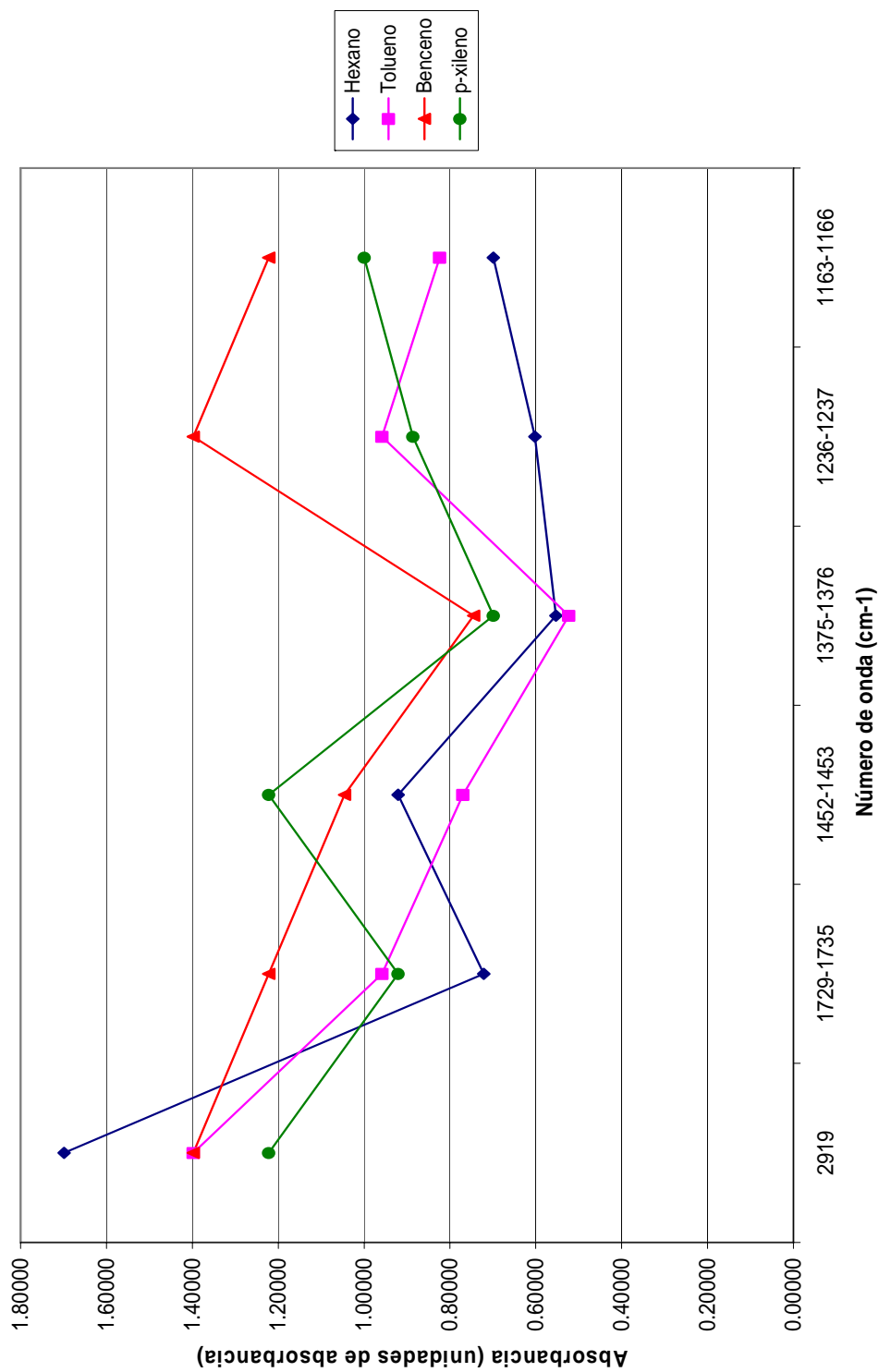
Gráfica 8
Comparación de los dos componentes presentes en todos los extractos



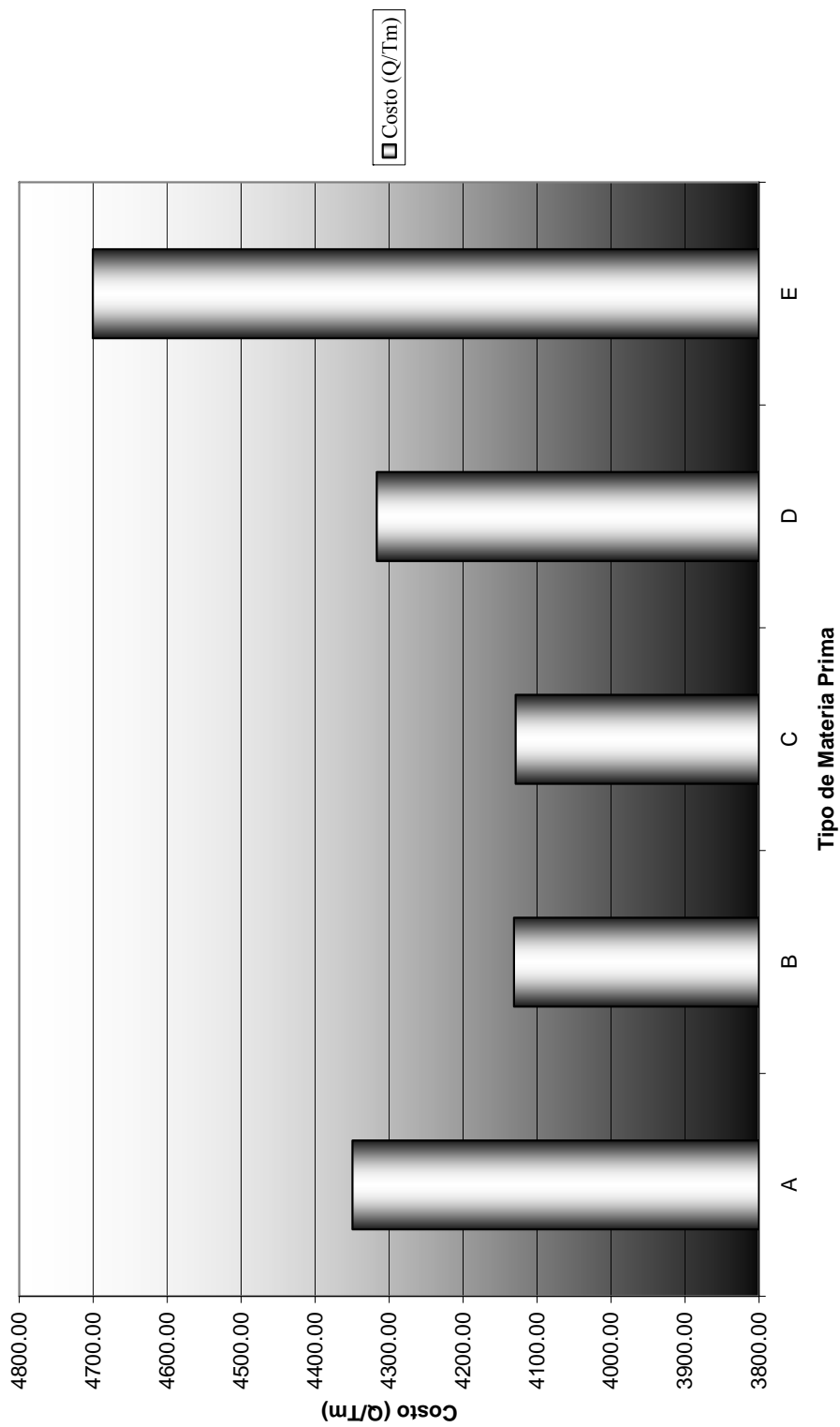
Gráfica 9
Valores de absorbancia de los extractos de disolventes polares



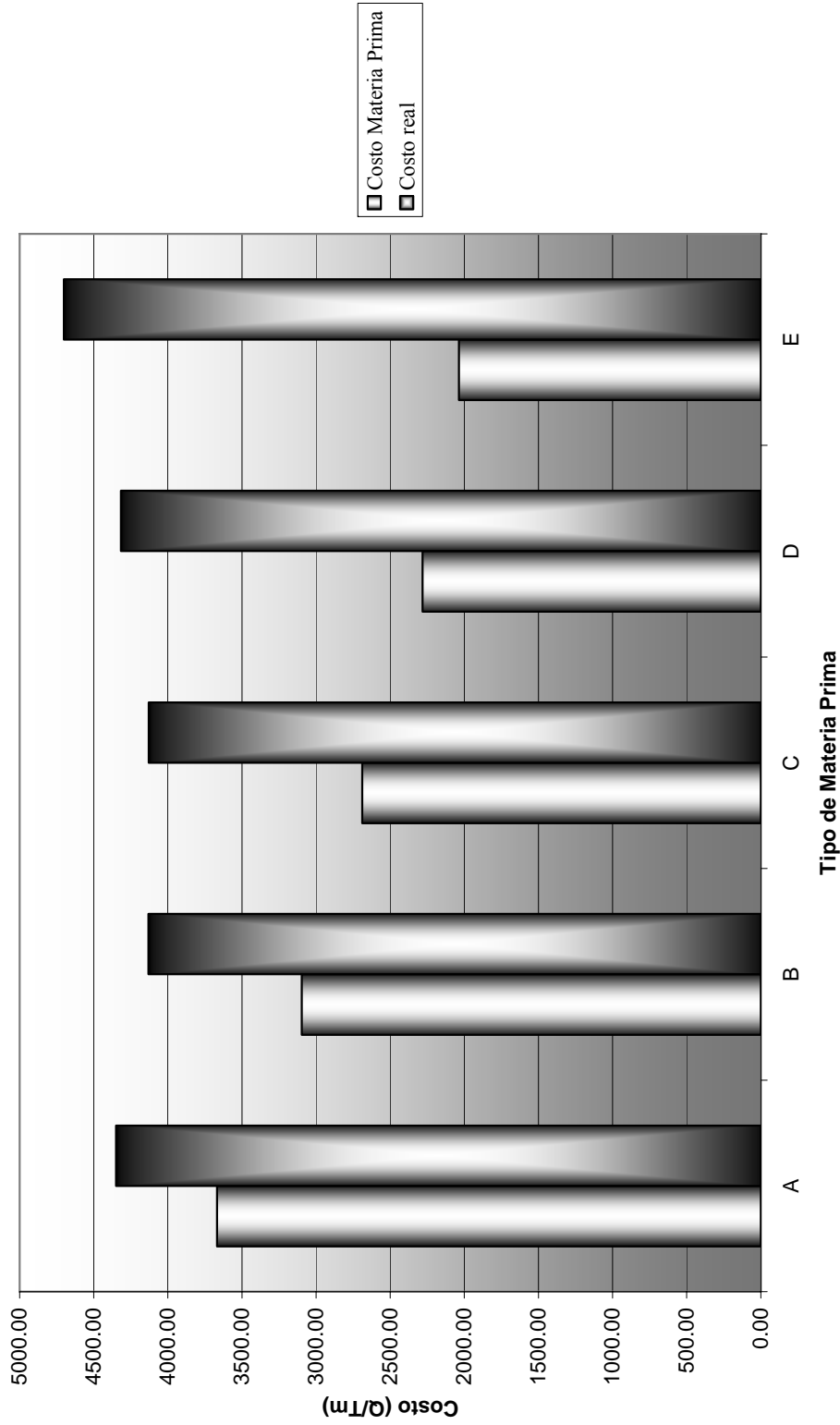
Gráfica 10
Valores de absorbancia de los extractos de disolventes apolares



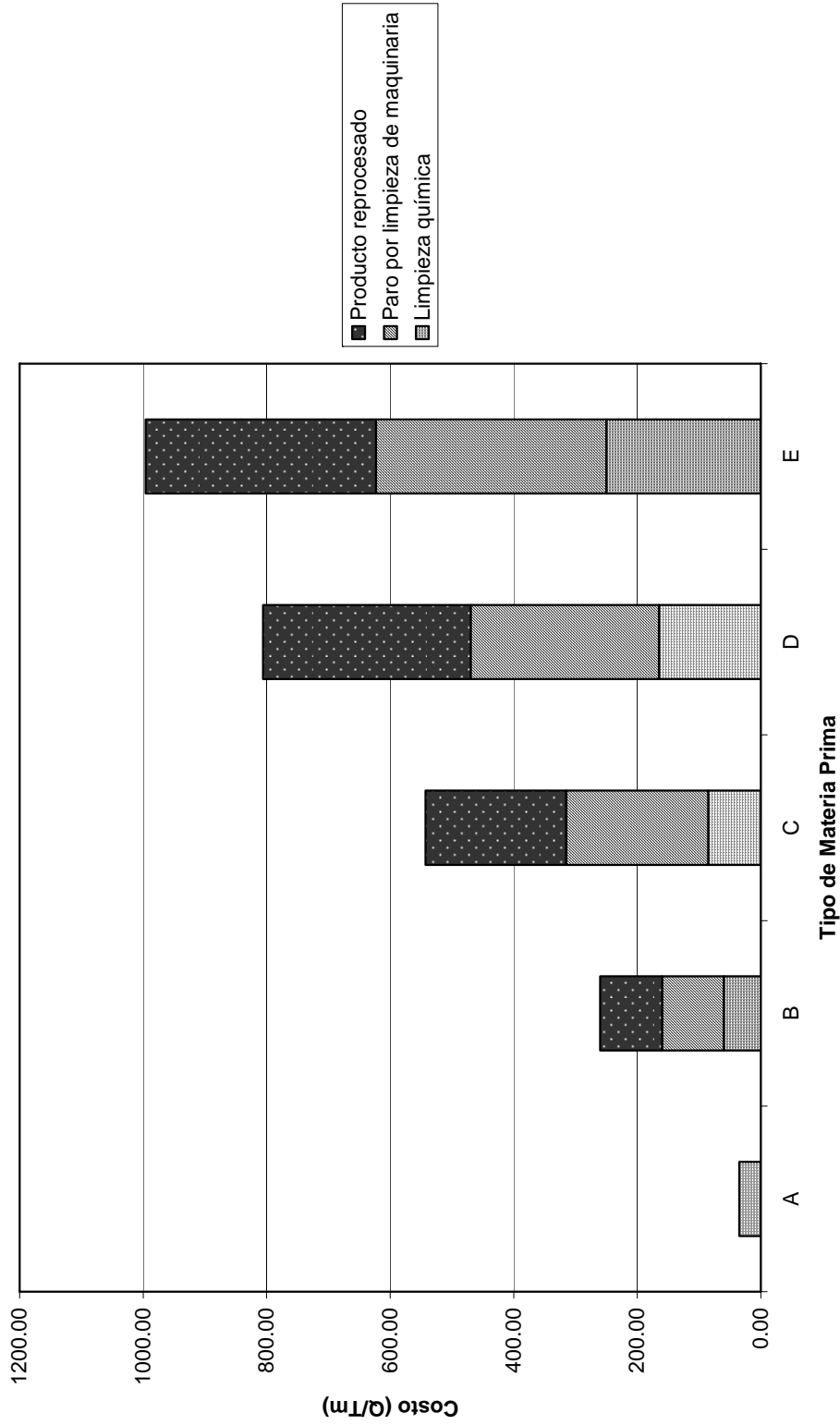
Gráfica 11
Costo total del programa anti-stickers



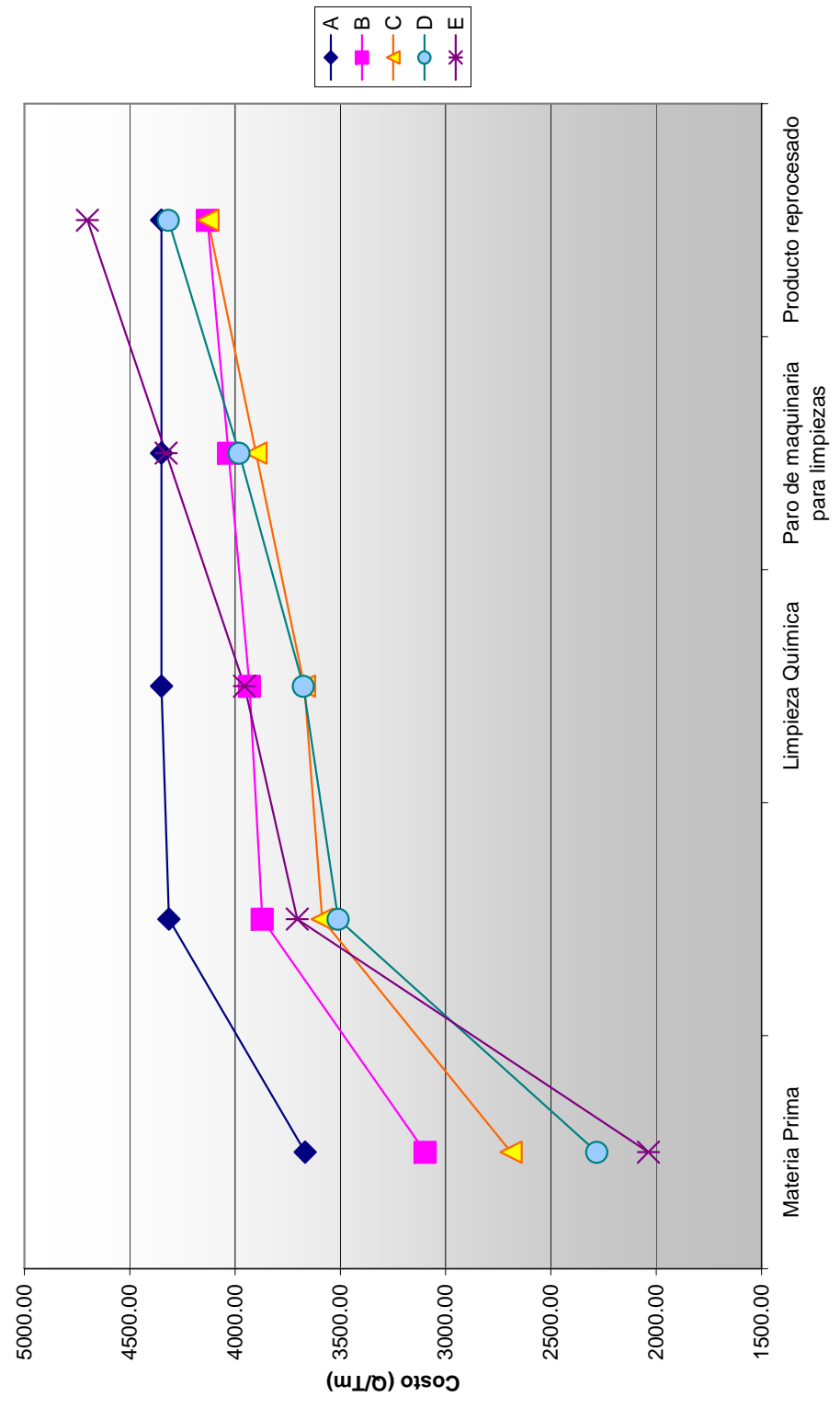
Gráfica 12
Comparación costo materia prima Vs. costo real



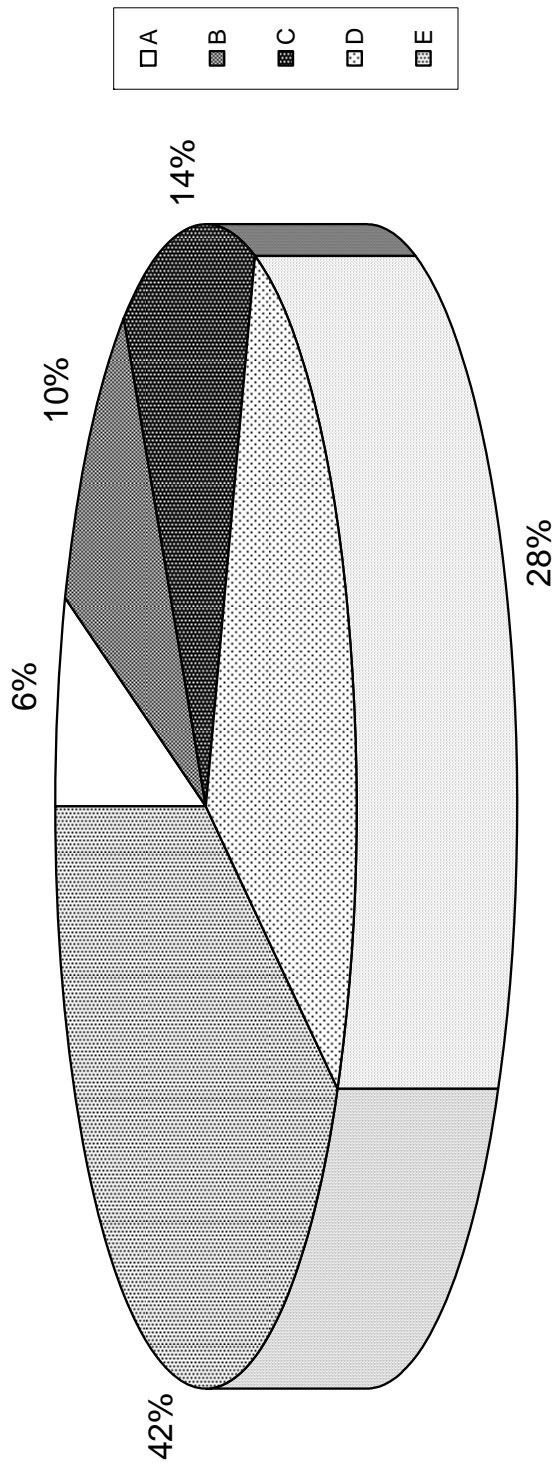
Gráfica 13
Costos del programa anti-stickers



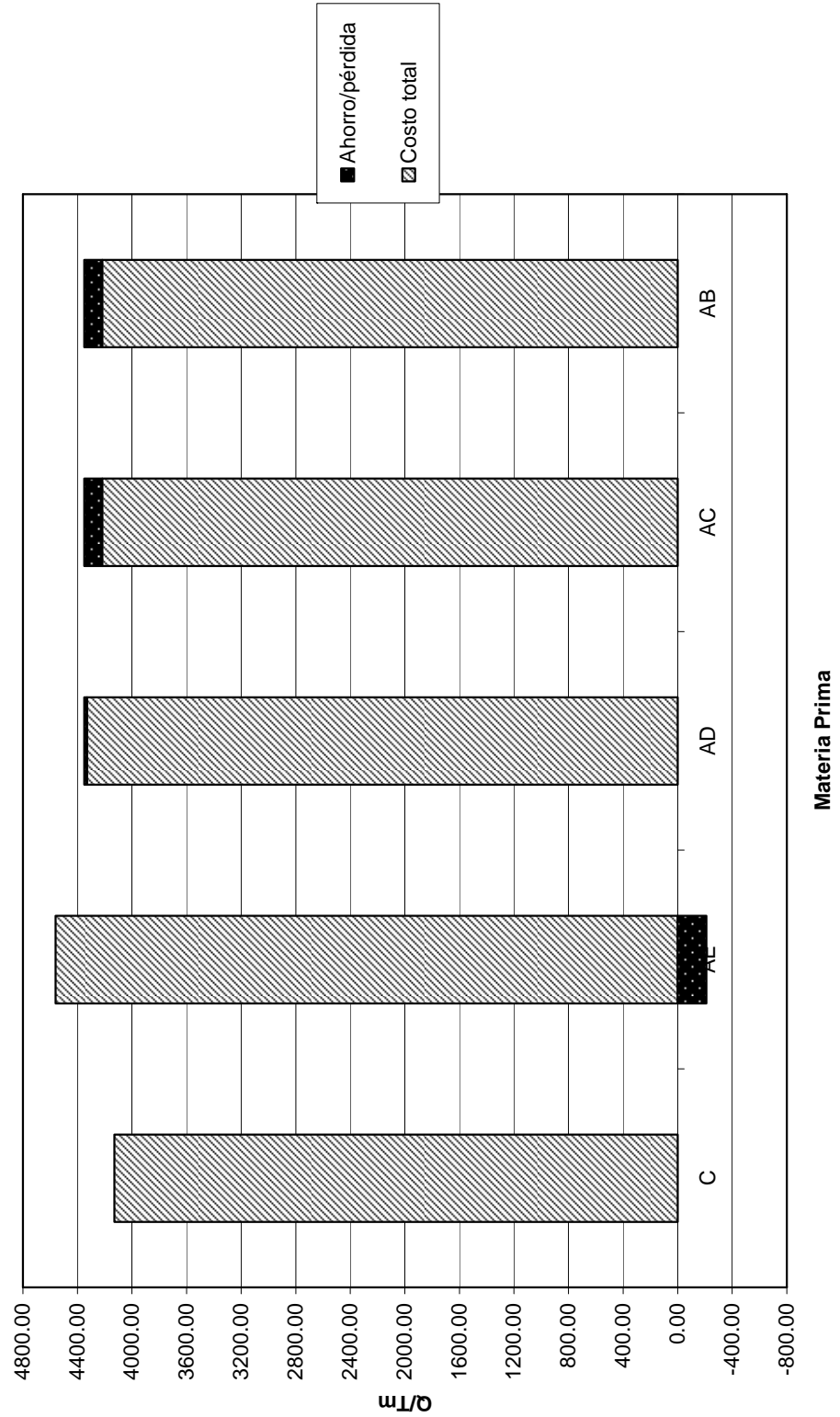
Gráfica 14
Evolución del costo de la materia prima



Gráfica 15
Porcentaje de costos por tipo de materia prima

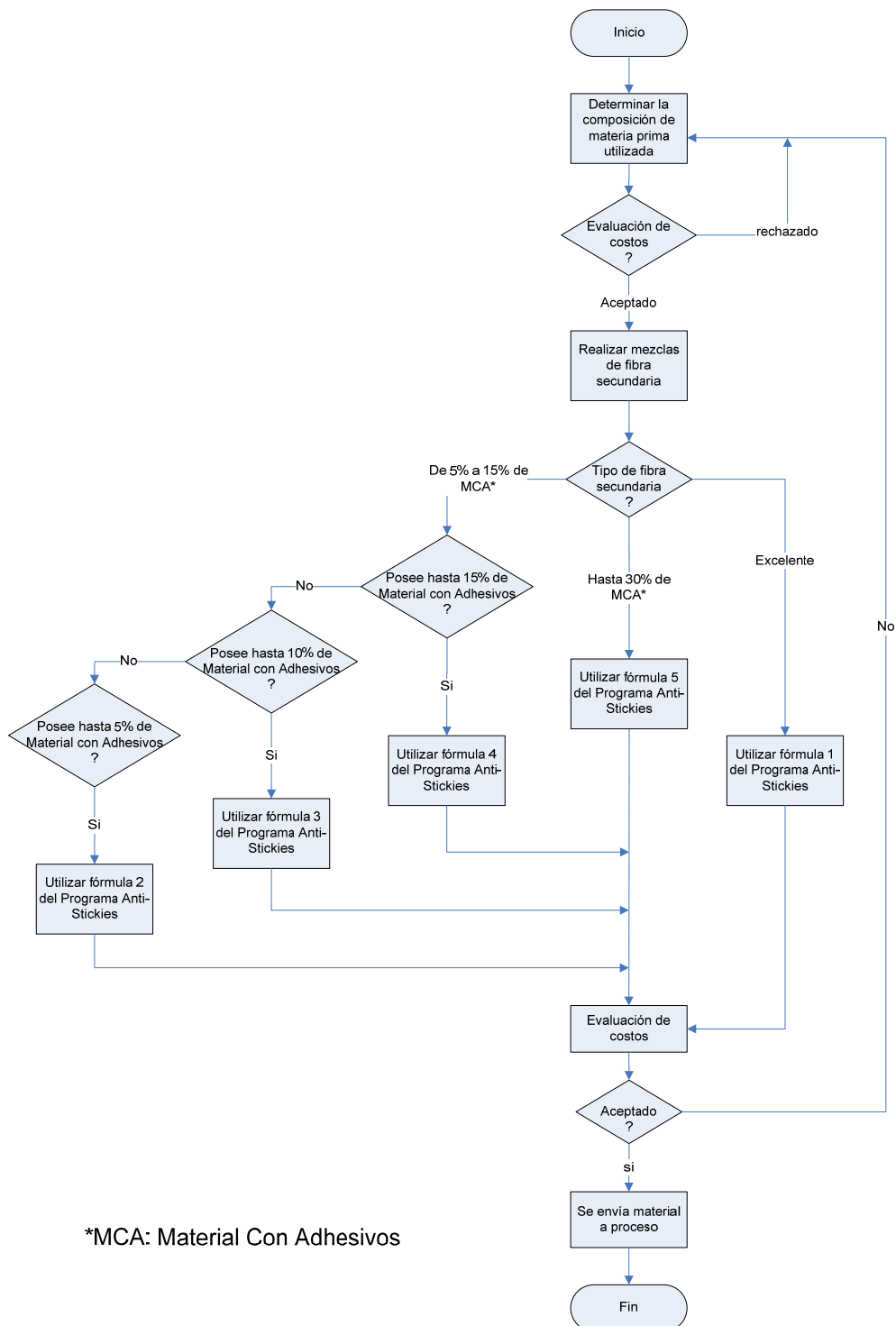


Gráfica 16
Ahorro/pérdida por mezclas de materia prima respecto a la materia prima clase A



Materia Prima

F. Diagrama de flujo (programa anti-stickies)



XIII. GLOSARIO

A. Absorbancia

La absorbancia de una muestra indica la cantidad de energía electromagnética que ésta “absorbe” de un haz de luz incidente. La absorbancia, en espectroscopia, es proporcional al grosor de la muestra y a la concentración de las especies absorbentes que se encuentran presentes en la muestra, al contrario de la transmitancia de una muestra, la cual varía logarítmicamente con el grosor y la concentración.

B. Adhesivo

Es una sustancia que puede mantener unidos dos o más cuerpos por contacto superficial, son los integrantes del grupo de productos, naturales o sintéticos, que permiten obtener una fijación de carácter mecánico.

C. Centro de quiralidad

Se le llama centro de quiralidad a los átomos de carbono tetraédricos enlazados con cuatro grupos distintos.

D. Composición

Características físicas y químicas de las sustancias presentes en una muestra que facilitan la comprensión de la naturaleza de los mismos.

E. Concentración

Es la magnitud química que expresa la cantidad de un elemento o un compuesto por unidad de volumen.

F. Disolvente polar aprótico

Es un disolvente polar que no tiene enlaces $-OH$ o $-NH$. La acetona es un disolvente polar aprótico.

G. Disolvente polar prótico

Un disolvente polar prótico contiene un enlace $-OH$ o $-NH$. El agua y el etanol son disolventes polares próticos.

H. Enantiómero

Las moléculas de imagen especular que no se pueden sobreponer se llaman enantiómeros. Se relacionan entre ellos como se relaciona la mano derecha con la izquierda. Se producen siempre que un carbono tetraédrico se enlaza con cuatro sustituyentes distintos.

I. Longitud de onda

Longitud de onda es la distancia entre dos crestas o valles consecutivos en una onda y describe qué tan larga es la misma. La longitud de onda se representa con la letra griega " λ " (lambda). La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda. La unidad de medida de la longitud de onda es el metro, pero debido al orden de magnitud de este parámetro, se utiliza el milímetro (mm), el micrómetro (μm) y el nanómetro (nm).

J. Máquina de papel

Es el lugar donde la pasta en suspensión se convierte en papel.

K. Número de onda

El número de onda es una propiedad inversamente proporcional a la longitud de onda, y tiene unidades de radianes por metro.

L. Polímero

Un polímero es una molécula grande que está formada por muchas unidades pequeñas que se repiten llamadas monómeros. El número de monómeros en un polímero se llama grado de polimerización.

M. Polímero atáctico

Un polímero es atáctico si todos los grupos añadidos a la estructura principal del polímero no tienen algún arreglo geométrico regular.

N. Polímero sindiotáctico

Un polímero sindiotáctico, es esencialmente la unidad básica de una macromolécula con tacticidad que abarca configuraciones enantioméricas alternadas. Tiene centros de quiralidad en la cadena principal comprendidos en un arreglo único con respecto a sus unidades constitucionales adyacentes. En una macromolécula sindiotáctica, la unidad de configuración repetida, consiste en dos unidades básicas de configuración que son enantiómeros. (Ver centro de quiralidad, enantiómero y tacticidad)

O. Pope

Es un cilindro con entrada y salida de agua de refrigeración para enrollar el papel correctamente.

P. Prensas

Rodillos recubiertos de goma por los que pasa la hoja de papel y una cinta de fieltro que absorbe el agua escurrida por la presión de los rodillos.

Q. Pulper

Es un tanque agitado por medio de una hélice en el que se prepara la pasta a partir de los residuos de papel.

R. Radiación infrarroja

La radiación infrarroja es radiación electromagnética cuya longitud de onda es mayor a la de la luz visible, pero menor a la de microondas y ondas de radio. La radiación infrarroja tiene longitudes de onda entre 750 nm y 1 mm.

S. Reciclaje

El reciclaje consiste en reutilizar los desechos para fabricar productos de utilidad.

T. Refinado

Es un proceso de tratamiento por fricción, en el que se busca aumentar la capacidad de las partículas de papel de "afieltrarse" y unirse entre sí.

U. Secadores

Rodillos huecos por los que circula vapor a altas temperaturas, entre ellos pasa la hoja de papel y una manta de fieltro para ayudar al secado y guiando la hoja de papel a través de los mismos.

V. Stickies

Amplia gama de contaminantes pegajosos que se originan a partir de etiquetas, adhesivos termofusibles (hot melts), tinta, resina de madera, resinas de resistencia húmeda, entre otros. Se pueden definir como pequeñas partículas insolubles que aparecen en la etapa de formación de pulpa. Varían en composición, pero típicamente son materiales formados por polímeros termoplásticos.

W. Tacticidad

Tacticidad proviene del griego taktikos que significa “orden” o “arreglo”. En química de polímeros, se refiere al arreglo estereoquímico en centros quirales de la macromolécula. De acuerdo con la IUPAC, una macromolécula con tacticidad es aquella en la cual la configuración de las unidades repetitivas es constante o igual.

X. Transmitancia

Transmitancia es la fracción de luz incidente a una longitud de onda específica que pasa a través de una muestra.