

Apéndice A

Imágenes de microscopía óptica.

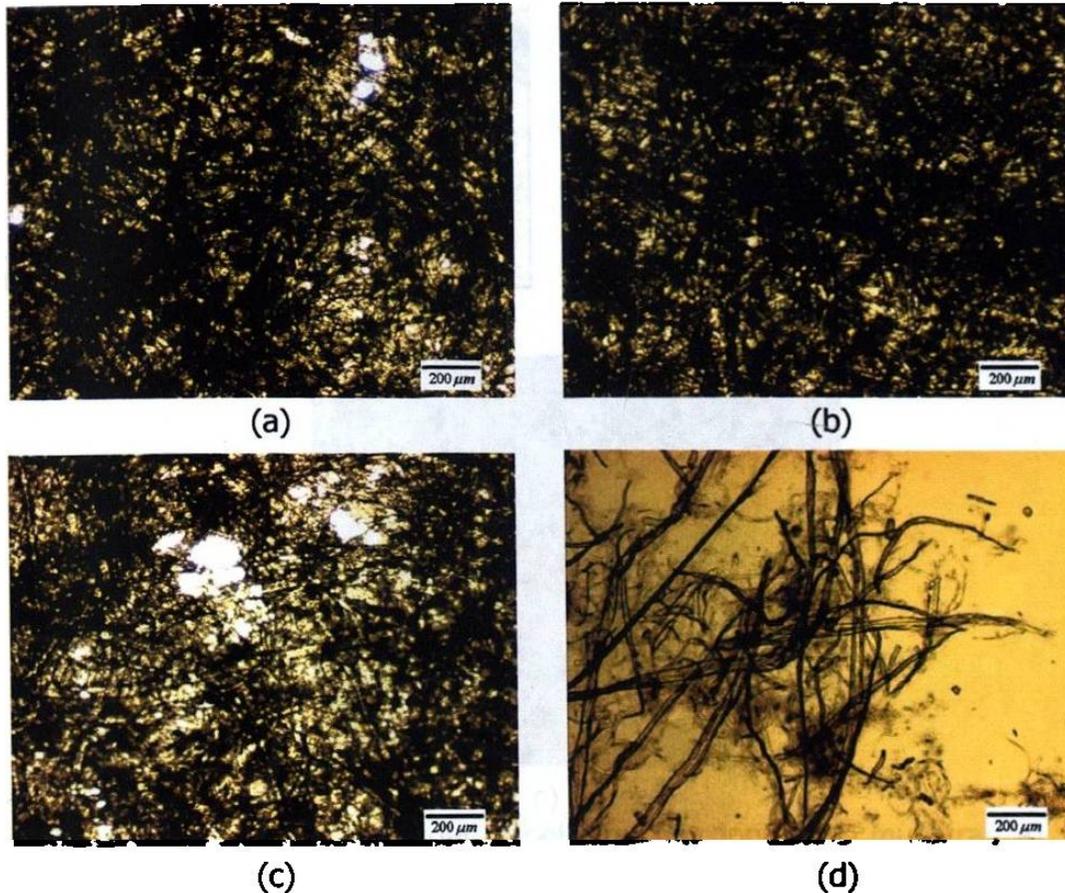


Figura A1 Micrografías a 25X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona un poco porosa; b) una zona muy cerrada del papel; c) una zona muy porosa; d) se muestran las fibras individuales.

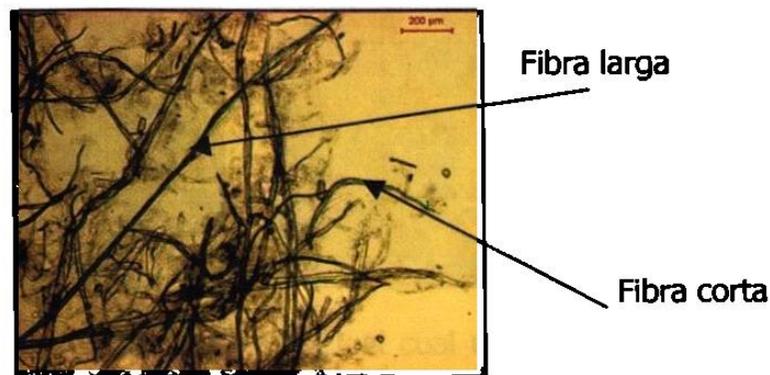


Figura A2 Micrografía a 25X del papel BPL21 donde se muestra una fibra corta y una larga.

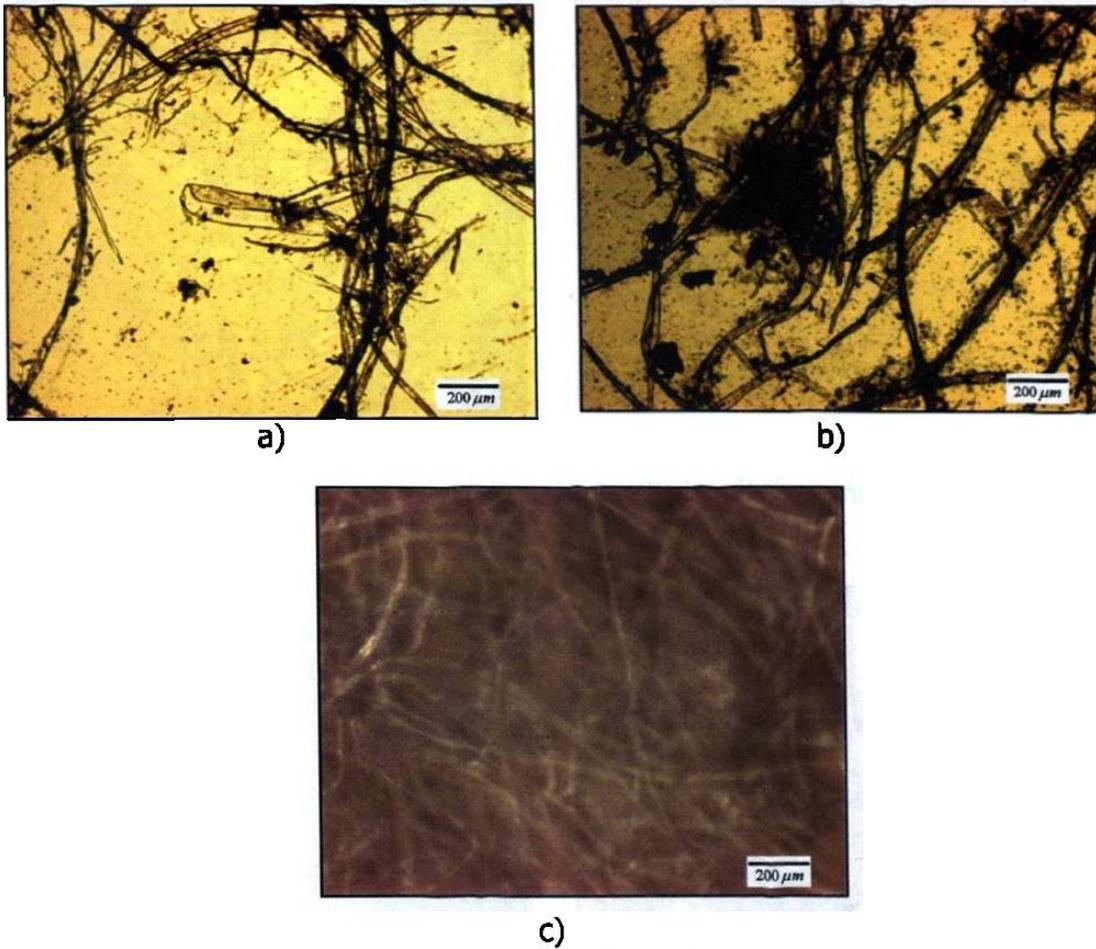


Figura A3 Micrografía a 25X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales; c) una red de fibras.

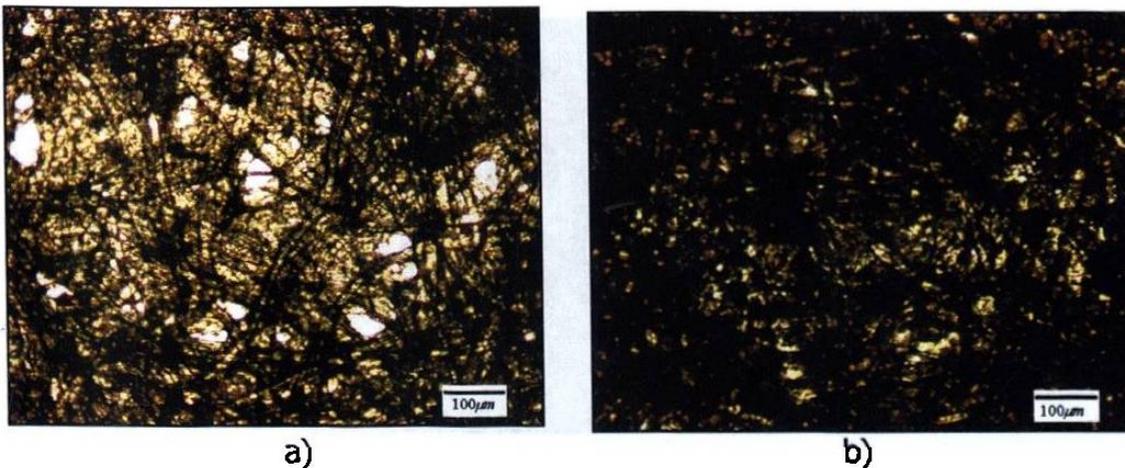
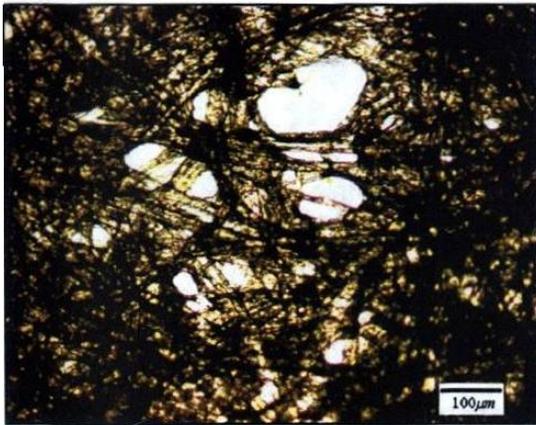
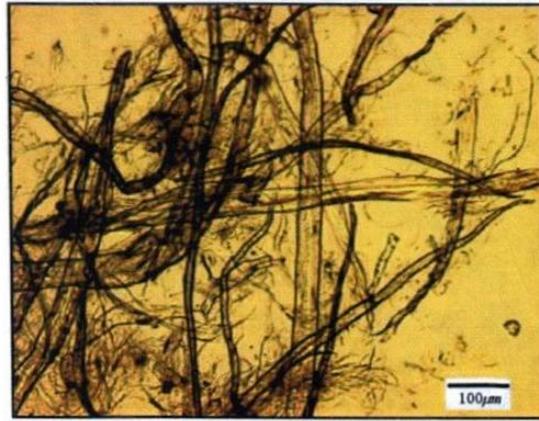


Figura A4 Micrografías a 50X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona porosa (poros pequeños); b) una zona muy cerrada del papel; continua.

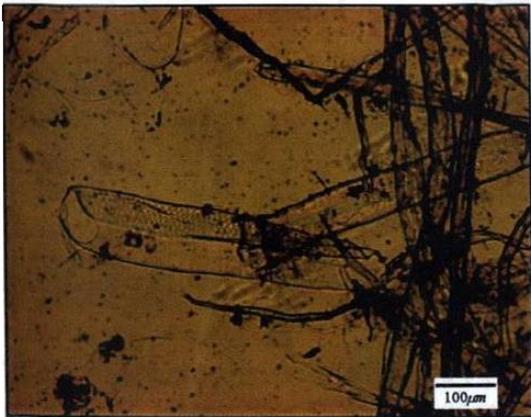


c)

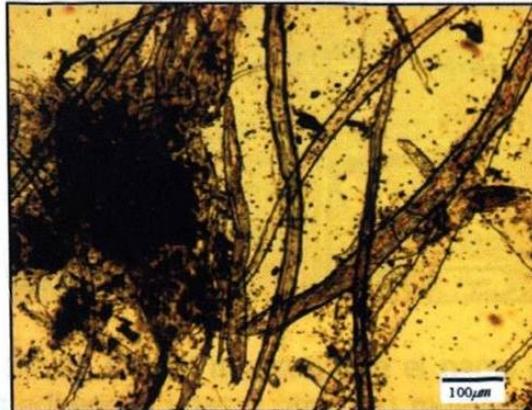


d)

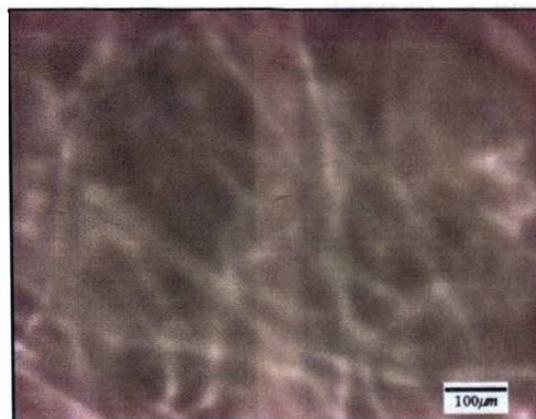
Figura A4 c) una zona porosa (poros grandes); d) se muestran las fibras individuales.



a)



b)



c)

Figura A5 Micrografía a 50X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales; c) una red de fibras.

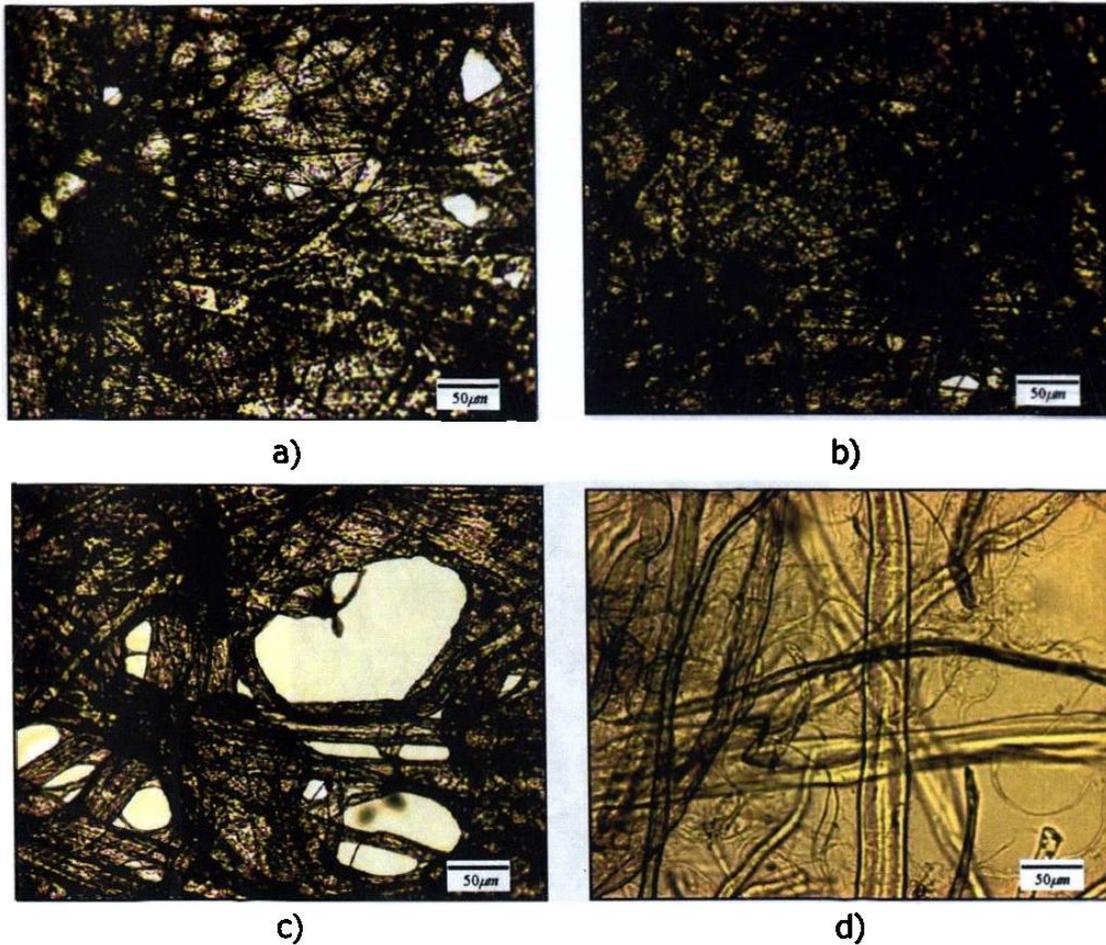


Figura A6 Micrografías a 100X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona porosa (poros pequeños); b) una zona muy cerrada del papel; c) una zona porosa (poros grandes); d) se muestran las fibras individuales.

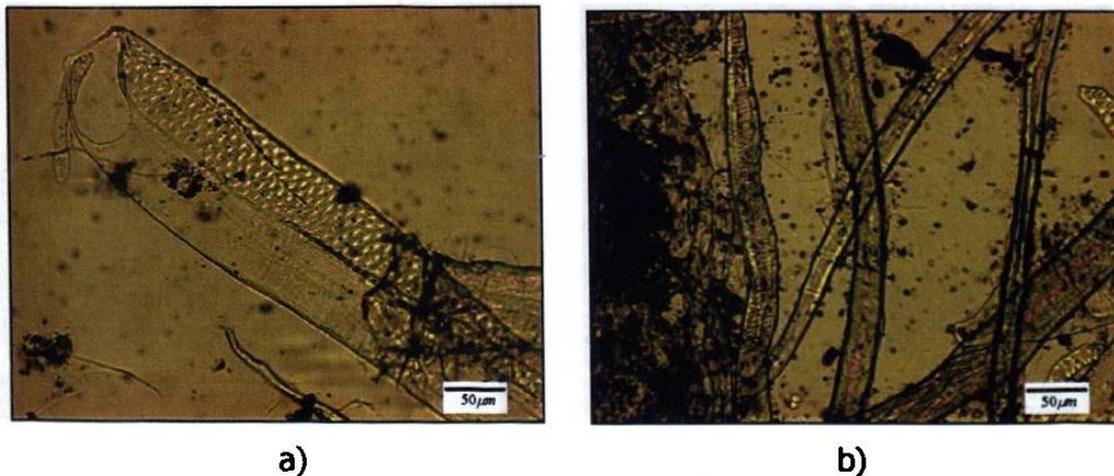


Figura A7 Micrografía a 100X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales.

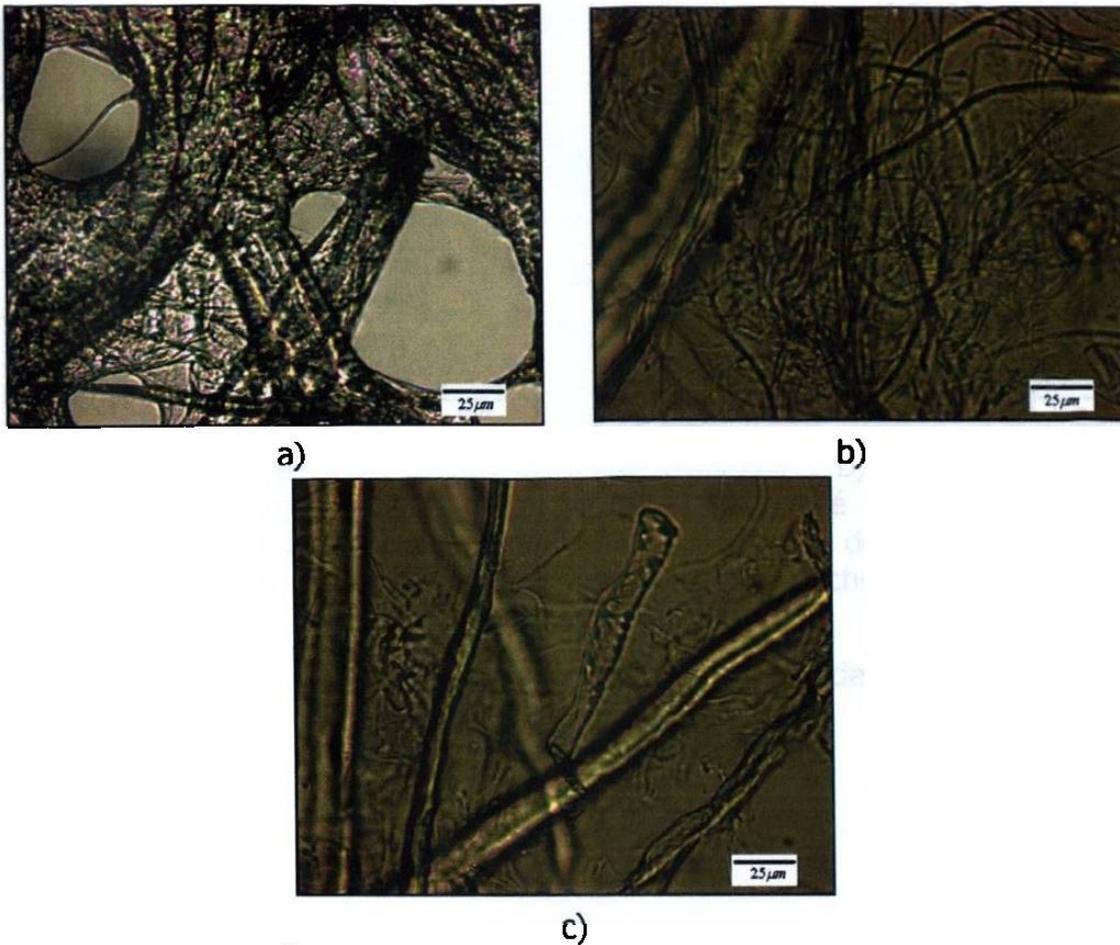


Figura A8 Micrografías a 200X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona porosa; b) una zona donde aparece un enmarañamiento de fibrillas de celulosa; c) se muestran las fibras individuales.

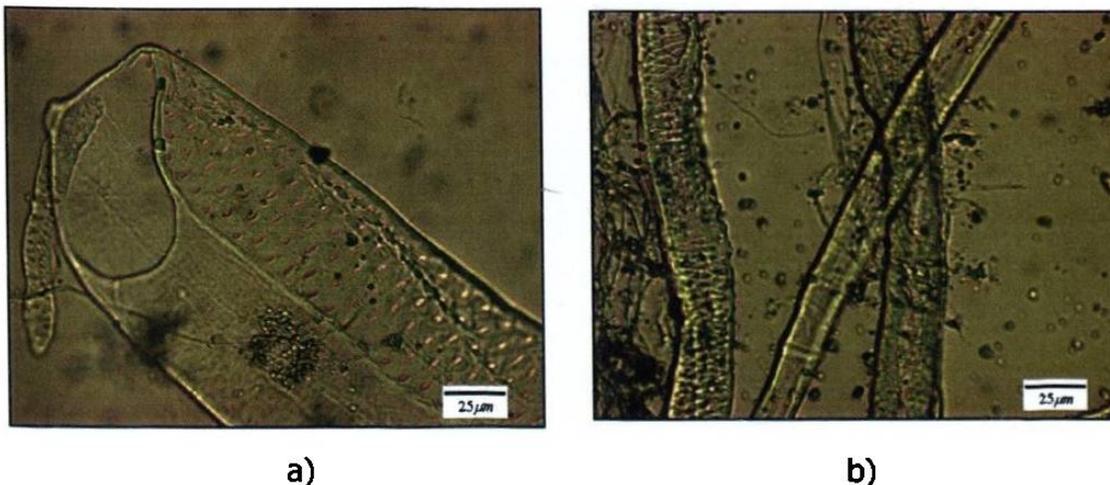
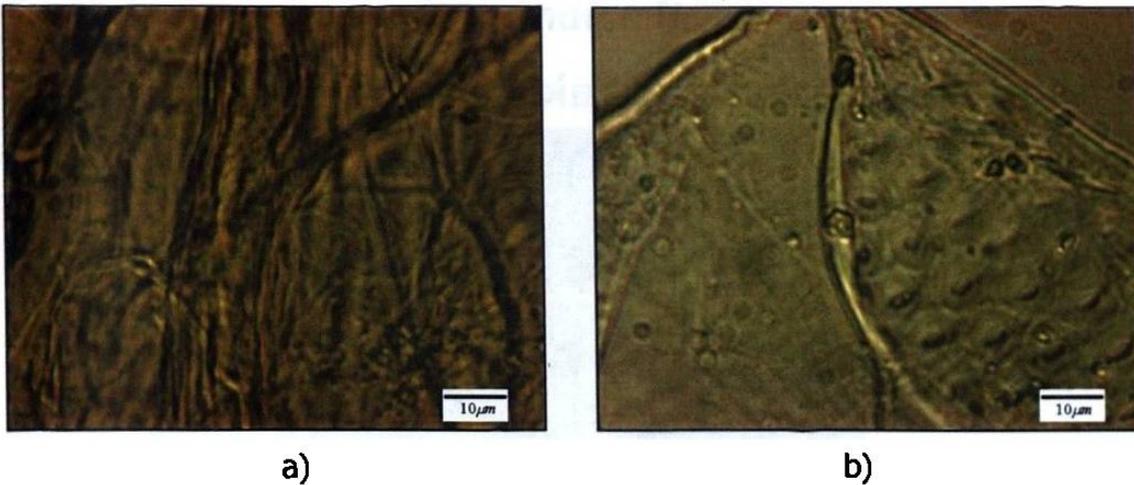


Figura A9 Micrografía a 200X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales.



a) b)
Figura A10 Micrografía a 500X del papel BPL21 y Couché donde se muestra:
a) una zona donde aparece un enmarañamiento de fibrillas de celulosa del papel BPL21; b) una parte de la estructura de vaso del papel Couché.

Nota: las imágenes están ordenadas de acuerdo a un orden de magnificación ascendente.

Apéndice B

Imágenes de microscopía electrónica de barrido.

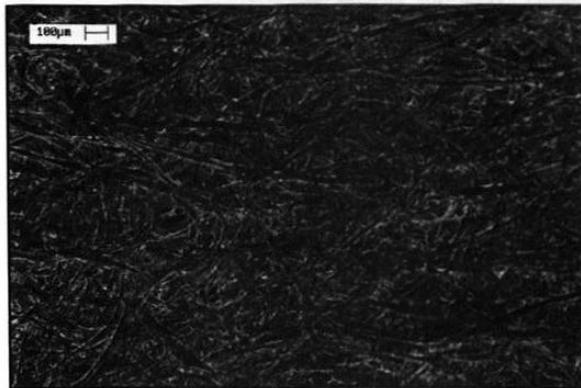


Figura B1 Micrografía obtenida del MEB a 150X la cual muestra una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21.

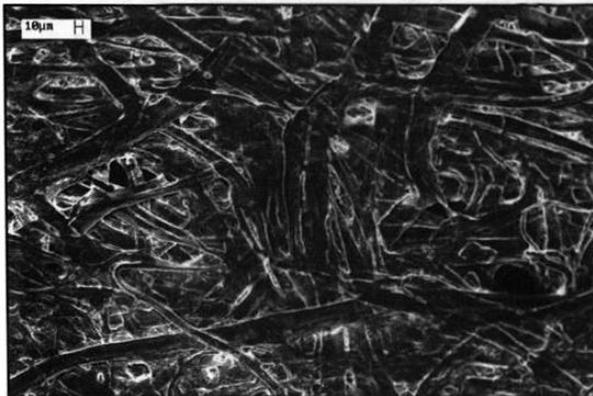
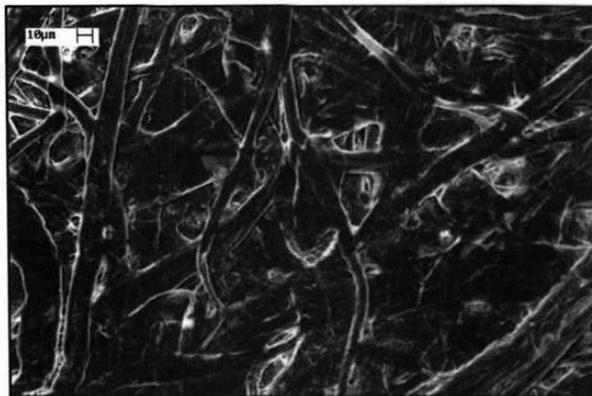
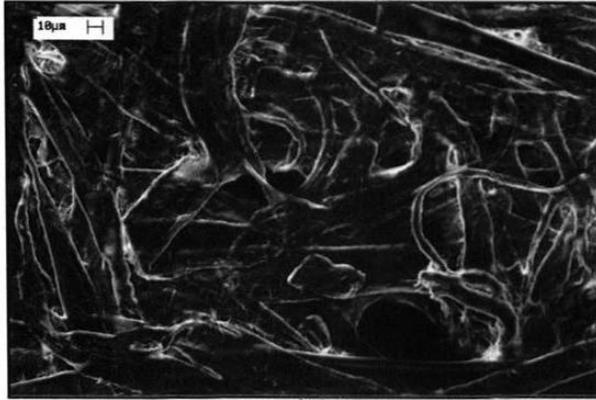


Figura B2 Micrografía obtenida del MEB a 500X la cual muestra una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21.



a)

Figura B3 Micrografía obtenida del MEB a 1KX la cual muestra aún, una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21, pero ya entra más a detalle sobre todo en la porosidad; a) zona no porosa; continua.



b)

Figura B3 Micrografía obtenida del MEB a 1KX la cual muestra aún, una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21, pero ya entra más a detalle sobre todo en la porosidad; b) zona porosa.

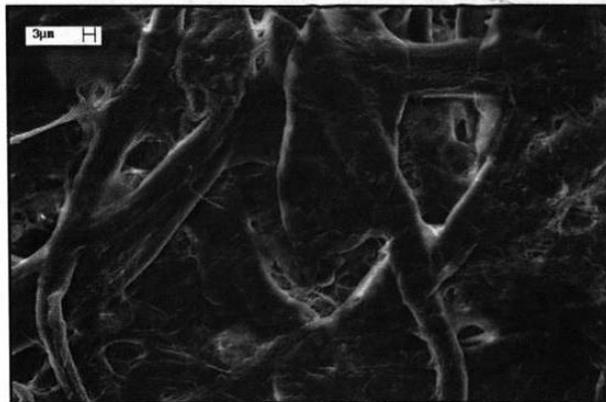


Figura B4 Micrografía obtenida del MEB a 2.5KX la cual muestra aún, una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21, pero ya entra más a detalle en cuanto a las fibras que componen a este.

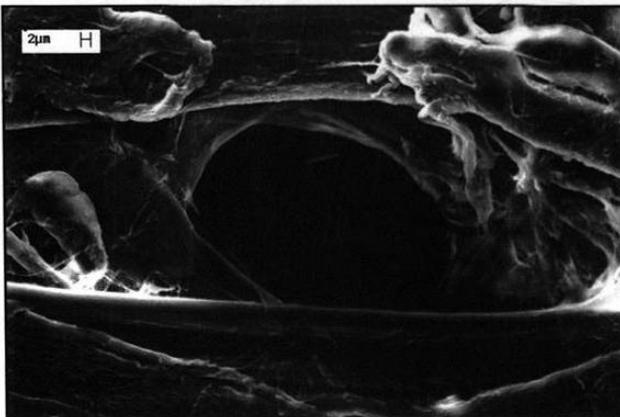


Figura B5 Micrografía obtenida del MEB a 3KX la cual muestra una panorámica de un poro en la microestructura que posee el papel BPL21.

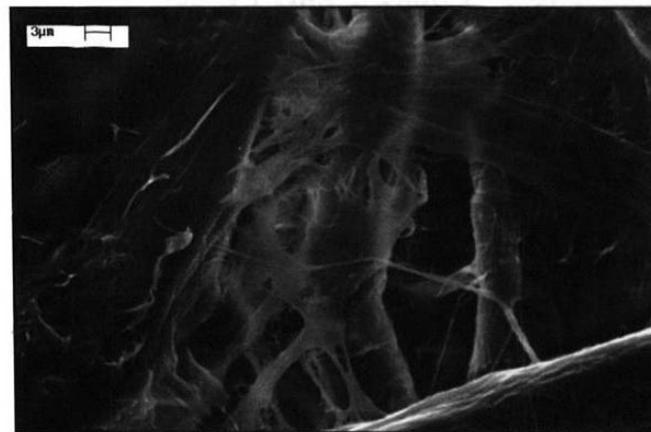
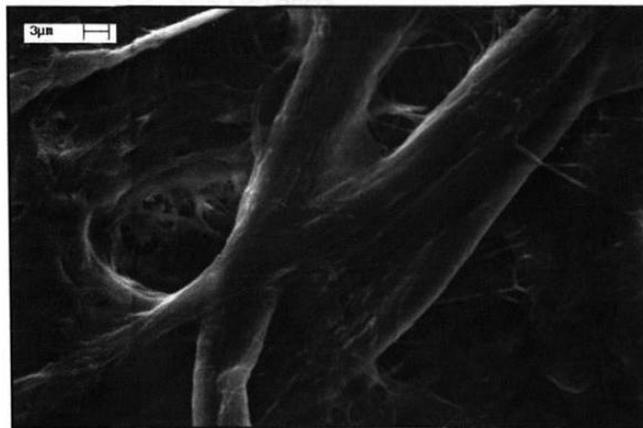
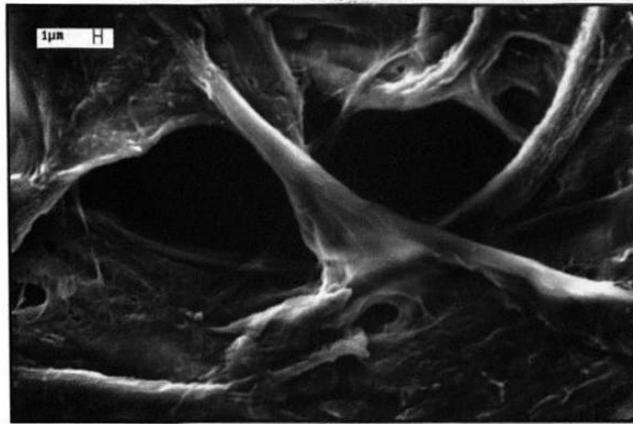


Figura B6 Micrografía obtenida del MEB a 5KX la cual muestra: a) una zona porosa; b) una red de fibras de celulosa; c) un enmarañamiento de fibrillas del papel BPL21.

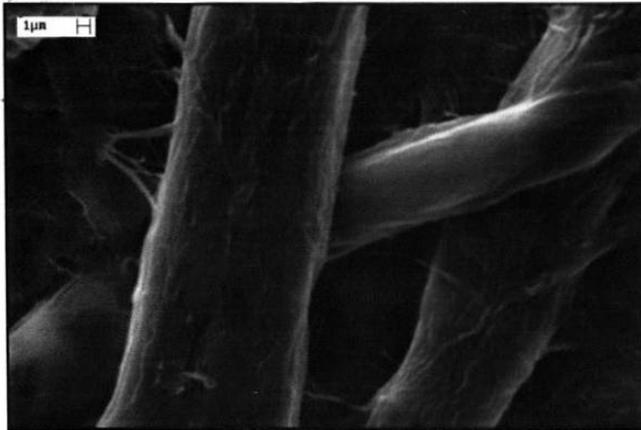


Figura B7 Micrografía obtenida del MEB a 7.5KX la cual muestra unas fibras de celulosa del papel BPL21 con sus detalles.

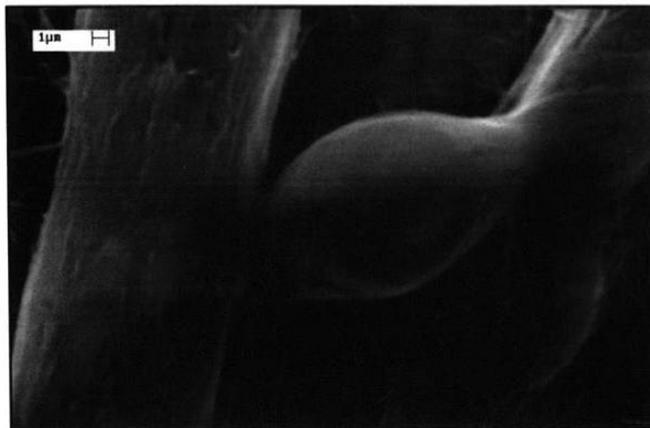


Figura B8 Micrografía obtenida del MEB a 10KX la cual muestra unas fibras de celulosa del papel BPL21.

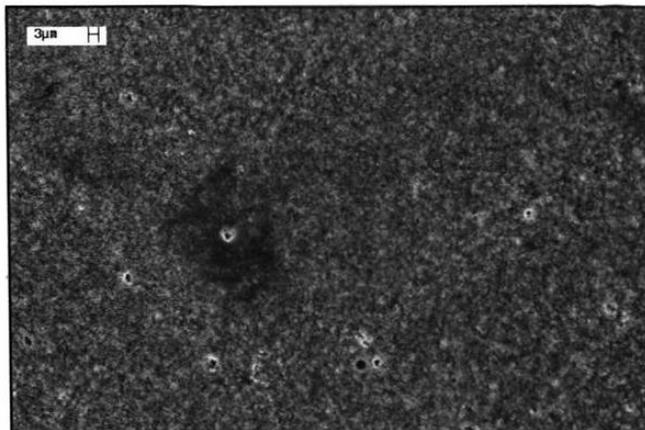


Figura B9 Micrografía obtenida del MEB a 2KX la cual muestra una panorámica de la microestructura del papel Couché.

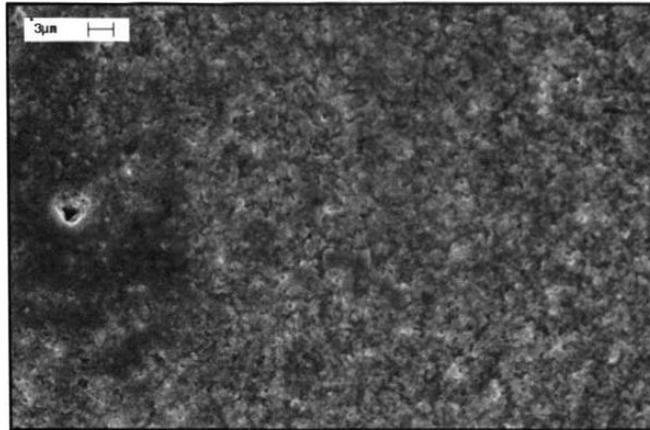
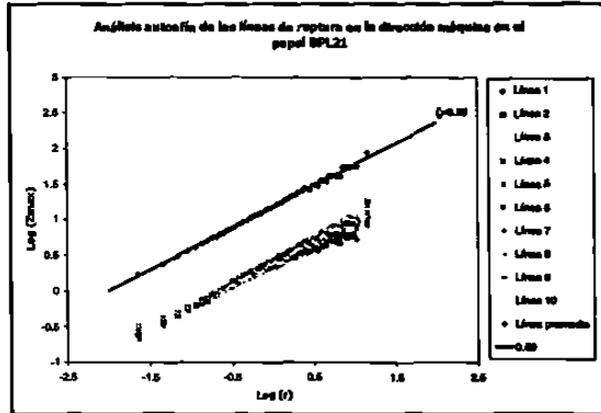


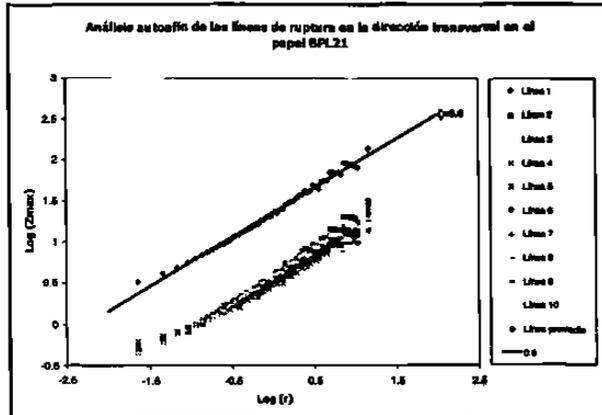
Figura B10 Micrografía obtenida del MEB a 5KX la cual muestra una vista muy general de la microestructura del papel Couché.

Apéndice C

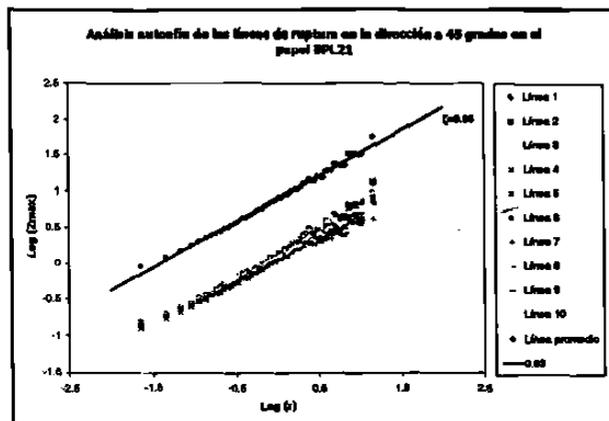
Análisis autoafín de las líneas de ruptura.



a)

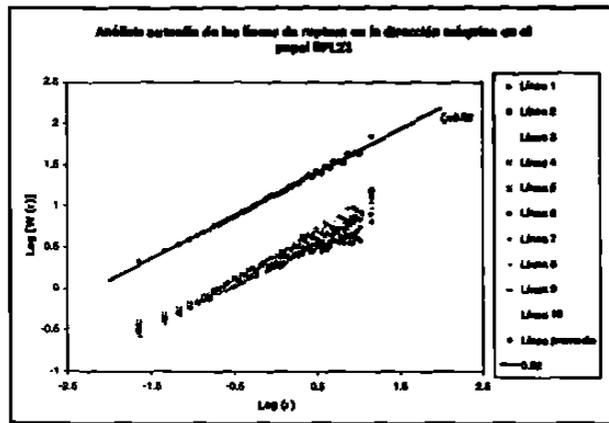


b)

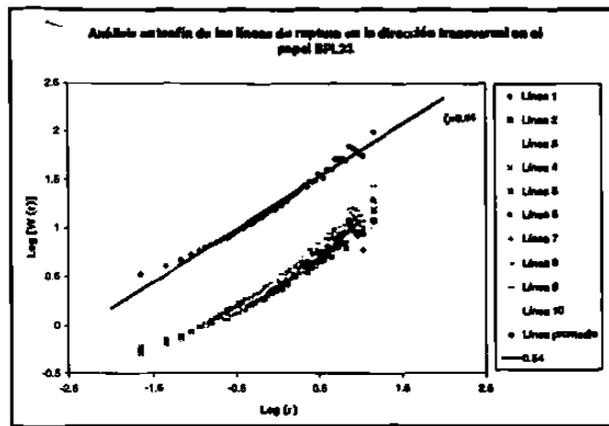


c)

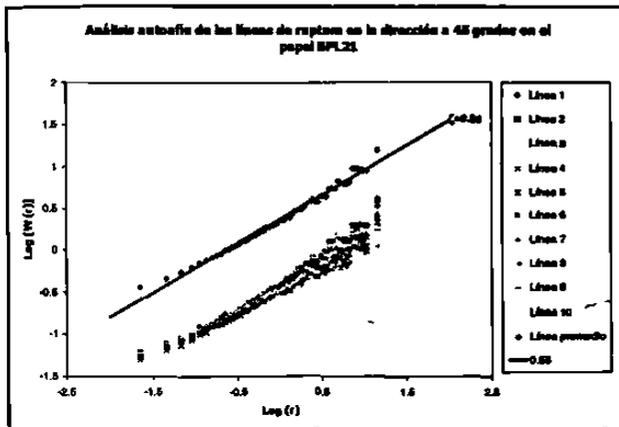
Figura C1 Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel BPL21; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados.



a)

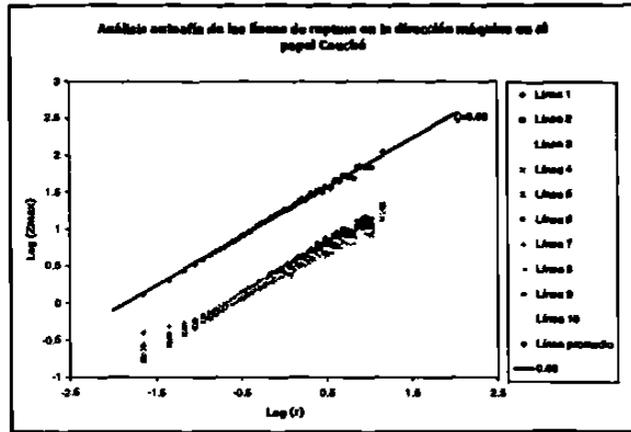


b)

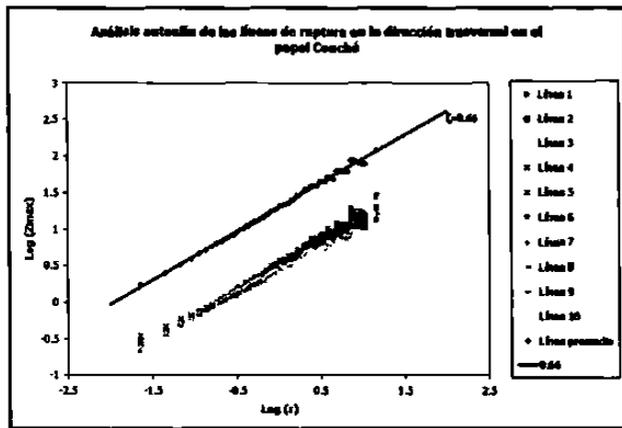


c)

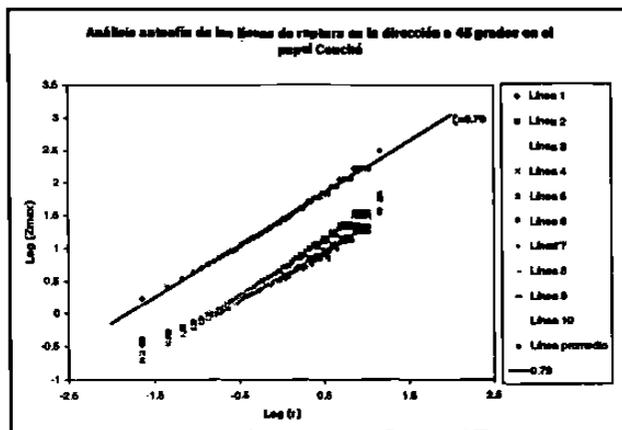
Figura C2 Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable mediante desviaciones estándar, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel BPL21; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados.



a)

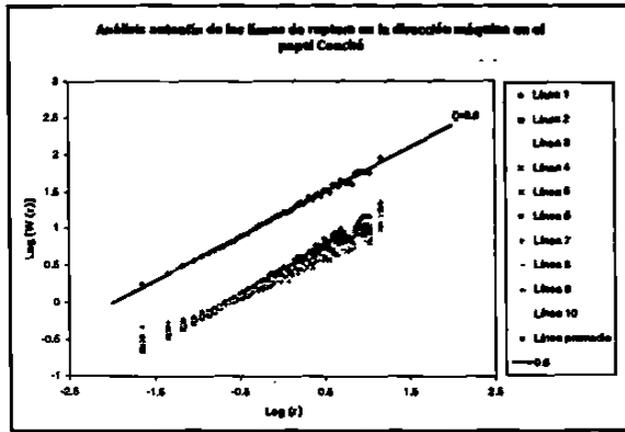


b)

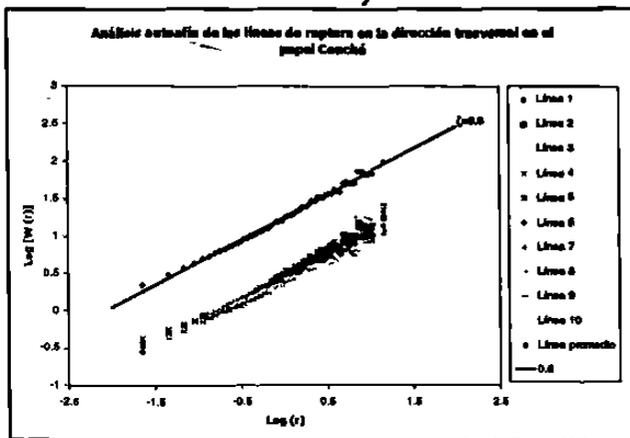


c)

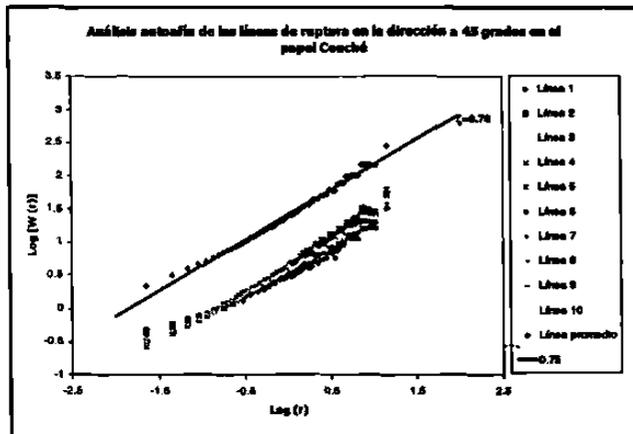
Figura C3 Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel Couché; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados.



a)



b)



c)

Figura C4 Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable por desviaciones estándar, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel Couché; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados.

Índice de figuras

Figura 2.1	Una placa bidimensional que contiene una grieta, sujeta a una fuerza uniforme tensil alejada de la grieta.	8
Figura 2.2	Muestra una cavidad elíptica en un medio bidimensional bajo un esfuerzo uniforme (σ) alejado de la cavidad.	9
Figura 2.3	Modos de desplazamiento de las superficies de una grieta	15
Figura 2.4	Muestra una fractura ocurrida en un barco en servicio [34].	16
Figura 2.5	Muestra las grietas recientemente encontradas en el accidente de la nave espacial Columbia [36].	16
Figura 2.6	Espécimen que muestra una fractura frágil [38].	20
Figura 2.7	Espécimen que muestra una fractura dúctil del tipo copa y cono [38].	21
Figura 2.8	Fractura por clivaje en un material recocido.	22
Figura 2.9	Cuasi clivaje en un acero HY 80	23
Figura 2.10	Coalescencia de microcavidades en una aleación de aluminio 2024 [31].	24
Figura 2.11	Fractura intergranular en un cojinete de bolas. La fractura muestra una ruptura dúctil del tipo copa y cono.	25
Figura 3.1	Triángulo de Sierpinski [43] el cual tiene una dimensión fraccional con un valor de 1.584.	29
Figura 3.2	Medición del tamaño de conjuntos: longitud, área y volumen.	30
Figura 3.3	Medición del tamaño de una superficie.	31
Figura 3.4	Gráfica de la función M_d (Ec.3.8), mostrando el valor de la dimensión fractal (triángulo de Sierpinski [43]) cuando M_d pasa de 0 a infinito.	33
Figura 3.5	Gráfico representativo del método de banda de ancho variable.	36
Figura 3.6	Curva de autoafinidad ideal ilustrando los parámetros autoafines ζ y ξ .	37
Figura 3.7	Representación de una línea moviéndose a lo largo del eje y, dentro de un medio heterogéneo dejando detrás una superficie rugosa.	44
Figura 3.8	Modelo de fusibles aleatorios en 2D.	46
Figura 4.1	Fibras de celulosa y fórmula estructural.	50
Figura 4.2	Imágenes de microscopía óptica ilustrando la red de fibras en dos diferentes tipos de papel.	51
Figura 4.3	Máquina para fabricación de papel.	58
Figura 4.4	Ilustración simple del proceso del papel desde el corte de la madera hasta la formación de la hoja [53].	62
Figura 5.1	Aparato de Bendtsen y dispositivo para medir la rugosidad.	77
Figura 5.2	Muestra de papel entre vidrio y anillo concéntrico.	78
Figura 5.3	Dispositivo utilizado para medir la permeabilidad al aire.	80

Figura 5.4	Guillotina y máquina de tensión L&W.	81
Figura 5.5	Máquina de rasgado.	82
Figura 5.6	Micrómetro Karl Frank.	84
Figura 5.7	Dispositivo de corte de probetas y báscula.	85
Figura 5.8	Mechero y campana, empleadas en la determinación del % de cenizas.	87
Figura 5.9	Mufla VULCAN 3 -550 NEY de 0 -900 °C, empleada en la prueba de determinación del % de cenizas.	87
Figura 5.10	Horno TERLAB 105 °C-500 °C, empleado en la prueba de determinación del % de humedad.	88
Figura 5.11	Desintegrador y clasificador de fibras tipo Bauer Mc Nett.	89
Figura 5.12	Analizador de Imágenes Leica Q550.	90
Figura 5.13	Portamuestra.	91
Figura 5.14	Microscopio electrónico de barrido LEICA S440.	92
Figura 5.15	Imágenes obtenidas por medio del escáner de las líneas de ruptura; a) papel BPL21; b) papel Couché.	93
Figura 5.16	La cual muestra líneas de ruptura obtenidas por medio de un escáner de cama plana convertidas a blanco y negro; a) de un papel BPL21; b) papel Couché.	93
Figura 5.17	Líneas de ruptura extraídas de las pruebas de tensión; a) papel BPL21; b) papel Couché.	94
Figura 6.1	Histograma de la clasificación de la longitud de fibras (método de Bauer-Mc Nett).	104
Figura 6.2	a) Micrografía a 25X del papel BPL21; b) Micrografía a 100X del papel BPL21; c) Micrografía a 100X del papel BPL21; d) Micrografía a 200X del papel BPL21.	105
Figura 6.3	a) y b) Micrografía a 25X del papel Couché; c) Micrografía a 50X; d) Micrografía a 100X;	107
Figura 6.4	a) Micrografía obtenida del MEB a 500X; b) Micrografía obtenida a 3KX; c) Micrografía obtenida a 5KX; d) Micrografía obtenida a 7.5KX;	108
Figura 6.5	a) Micrografía obtenida del SEM a 2KX; b) Micrografía obtenida del SEM a 5KX.	109
Figura 6.6	Extracción de perfiles de las líneas de ruptura del papel BPL21 y Couché para el análisis correspondiente.	110
Figura 6.7	Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable, Z_{max} y covarianza, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel BPL21.	110

Figura 6.8	Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable, Z_{max} y covarianza, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel Couché.	111
Figura A1	Micrografías a 25X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona un poco porosa; b) una zona muy cerrada del papel; c) una zona muy porosa; d) se muestran las fibras individuales.	121
Figura A2	Micrografía a 25X del papel BPL21 donde se muestra una medida de longitud de fibra corta y una larga.	121
Figura A3	Micrografía a 25X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales; c) una red de fibras.	122
Figura A4	Micrografías a 50X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona porosa (poros pequeños); b) una zona muy cerrada del papel; c) una zona porosa (poros grandes); d) se muestran las fibras individuales.	122
Figura A5	Micrografía a 50X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales; c) una red de fibras.	123
Figura A6	Micrografías a 100X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona porosa (poros pequeños); b) una zona muy cerrada del papel; c) una zona porosa (poros grandes); d) se muestran las fibras individuales.	124
Figura A7	Micrografía a 100X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales.	124
Figura A8	Micrografías a 200X del papel BPL21 el cual muestra que el papel es una red de fibras de celulosa individuales adheridas unas a otras; a) muestra el papel en una zona porosa; b) una zona donde aparece un enmarañamiento de fibrillas de celulosa; c) se muestran las fibras individuales.	125
Figura A9	Micrografía a 200X del papel Couché donde se muestra: a) una estructura de vaso; b) las fibras de celulosa individuales.	125

Figura A10	Micrografía a 500X del papel BPL21 y Couché donde se muestra: a) una zona donde aparece un enmarañamiento de fibrillas de celulosa del papel BPL21; b) una parte de la estructura de vaso del papel Couché.	126
Figura B1	Micrografía obtenida del MEB a 150X la cual muestra una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21.	127
Figura B2	Micrografía obtenida del MEB a 500X la cual muestra una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21.	127
Figura B3	Micrografía obtenida del MEB a 1KX la cual muestra aún, una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21, pero ya entra más a detalle sobre todo en la porosidad; a) zona no porosa; b) zona porosa.	127
Figura B4	Micrografía obtenida del MEB a 2.5KX la cual muestra aún, una panorámica muy general de la microestructura que posee el papel BPL21, pero ya entra más a detalle en cuanto a las fibras que componen a este.	128
Figura B5	Micrografía obtenida del MEB a 3KX la cual muestra una panorámica de un poro en la microestructura que posee el papel BPL21.	128
Figura B6	Micrografía obtenida del MEB a 5KX la cual muestra: a) una zona porosa; b) una red de fibras de celulosa; c) un enmarañamiento de fibrillas del papel BPL21.	129
Figura B7	Micrografía obtenida del MEB a 7.5KX la cual muestra unas fibras de celulosa del papel BPL21 con sus detalles.	130
Figura B8	Micrografía obtenida del MEB a 10KX la cual muestra unas fibras de celulosa del papel BPL21.	130
Figura B9	Micrografía obtenida del MEB a 2KX la cual muestra una panorámica de la microestructura del papel Couché.	130
Figura B10	Micrografía obtenida del MEB a 5KX la cual muestra una vista muy general de la microestructura del papel Couché.	131
Figura C1	Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel BPL21; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados.	132
Figura C2	Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable mediante desviaciones estándar, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel BPL21; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados.	133

- Figura C3 Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel Couché; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados. 134
- Figura C4 Análisis autoafín, utilizando el método de banda de ancho variable por desviaciones estándar, efectuado sobre las líneas de ruptura obtenidas mediante un escáner cama plana en el papel Couché; a) Dirección máquina; b) Dirección transversal; c) a 45 grados. 135

Índice de tablas

Tabla 6.1	Resultados de rugosidad.	96
Tabla 6.2	Resultados de permeabilidad del papel .	97
Tabla 6.3	Resultados de las propiedades de tensión.	98
Tabla 6.4	Resultados de la resistencia al rasgado.	100
Tabla 6.5	Resultados del espesor.	100
Tabla 6.6	Resultados del gramaje.	101
Tabla 6.7	Resultados de la densidad.	101
Tabla 6.8	Resultados del porcentaje de cenizas.	102
Tabla 6.9	Resultados del % de humedad.	102
Tabla 6.10	Resultados de la clasificación de longitud de fibras.	103
Tabla 6.11	Comparación de resultados de exponentes de rugosidad usando el método de Zmax.	111
Tabla 6.12	Comparación de resultados de exponentes de rugosidad usando el método de covarianza.	111

