

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA



MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA

**“RECUPERACIÓN DEL VIDRIO DE PANTALLAS DE PLASMA
RESIDUALES MEDIANTE LAVADOS CORROSIVOS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

GUSTAVO ENRIQUE CAMARGO NEGRETE

DIRECTOR

DR. JOSÉ HERIBERTO ESPINOZA GÓMEZ

TIJUANA, B. C.

OCTUBRE DE 2009

Universidad Autónoma de Baja California
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FOLIO No. 028

Tijuana, B. C., a 11 de agosto de 2009

C. GUSTAVO ENRIQUE CAMARGO NEGRETE
Pasante de: Maestro en Ciencias
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción TESIS

Es propuesto, por el C. Dres. José Heriberto Espinoza Gómez y Gerardo Cesar
Díaz Trujillo

quien será el responsable de la calidad del trabajo que usted presente, referido al
tema: "Recuperación del vidrio de pantallas de plasma residuales mediante lavados
corrosivos"

el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- MATERIALES Y MÉTODOS
- III.- RESULTADOS
- IV.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES
- V.- BIBLIOGRAFÍA




MC. Luis Enrique Palafox Maestre

Sub-Director Secretario

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA




FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA



Dr. Gerardo Cesar Díaz Trujillo

Asesor



Dr. José Heriberto Espinoza Gómez

Asesor



MC. Rubén Guillermo Sepúlveda Marqués

DEDICATORIA

A mis padres Aída y Andrés, a Karolina y a Héctor Iván.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la confianza y el apoyo de mi director de tesis, Dr. José Heriberto Espinoza Gómez, para el desarrollo del presente trabajo y por brindarme la oportunidad de comenzar mi vida como investigador en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería.

Al Dr. Gerardo Cesar Díaz Trujillo por el apoyo brindado para la realización de los estudios de microscopía electrónica de barrido, realizados en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Quím. Cesar Iván Zapiain Cobos, por su aportación constante en el desarrollo experimental de la recuperación del vidrio.

A los doctores que integran al subcomité de Medio Ambiente del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería, por sus valiosos comentarios y sugerencias para la mejora de los tratamientos químicos con ácidos inorgánicos.

Al personal de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por la realización de la investigación en las instalaciones.

Finalmente, agradezco el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y de la Universidad Autónoma de Baja California para que la realización de la investigación fuera posible.

INDICE

	Pág
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xv
ABREVIATURAS	xviii
RESUMEN	xx
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 Objetivo general.	3
I.2 Objetivos específicos.....	3
I.3 Hipótesis.....	3
II. Marco teórico y conceptual.....	4
II.1 Definiciones de residuos peligrosos.....	4
II.2 Procesos de recuperación de residuos.....	6
II.2.1 Ácidos y álcalis.....	7
II.3 Pantallas PDP y generación de residuos de vidrio.....	9
II.3.1 Principio de funcionamiento de las pantallas de plasma.	9
II.3.1.1 Estructura básica de los circuitos de una televisión PDP.	10
II.3.1.2 Estructura básica de la pantalla PDP.	12
II.3.2 Proceso de fabricación de pantallas de plasma.	19
II.3.3 Estado del mercado de PDP.....	21

II.3.4 Residuos de vidrio generados en el proceso de producción de televisiones	
PDP.....	23
II.4 Antecedentes.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
III.1 Materiales.....	26
III.1.1 Equipos.....	26
III.1.2 Reactivos.....	26
III.2. MÉTODOS.....	27
III.2.1 Lavados corrosivos con calentamiento y agitación (LCCA).....	27
III.2.2 Lavados corrosivos con ultrasonido (LCUS).....	29
III.2.3 Lavados corrosivos con los agentes óptimos.....	31
IV. RESULTADOS.....	32
IV.1 Estudio previo del porcentaje de remoción de capas mediante LCCA y LCUS.....	32
IV.1.1 Lavados ácidos.....	32
IV.1.1.1 Lavados corrosivos con calentamiento y agitación.....	32
IV.1.1.2 Lavados corrosivos con ultrasonido.....	34
IV.1.2 Lavados alcalinos.....	36
IV.1.2.1 Lavados corrosivos con calentamiento y agitación.....	36
IV.1.2.2 Lavados corrosivos con ultrasonido.....	37
IV.2. Tratamiento LCUS del vidrio PDP con agua regia e hidróxido de sodio.....	39

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	42
V.1 Discusión.	42
V.1.1 Remoción de las capas superficiales de los recubrimientos del vidrio de PDP.....	42
V.1.2 Minimización de la generación de residuos peligrosos.	47
V.1.3 Diseño del proceso a nivel laboratorio para recuperar vidrio de PDP.....	47
V.1.4 Justificación legal de la recuperación de vidrio PDP en el sitio de generación.....	48
V.2 Conclusiones.....	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	55
A1.Tablas de datos.	55
A2. Tablas de fotografías.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Composición de una televisión PDP de 50 pulgadas.	9
Tabla 2. Características de las capas del vidrio PDP frontal.	13
Tabla 3. Características de las capas del vidrio PDP trasero.	14
Tabla 4. Condiciones óptimas del tratamiento de recuperación de vidrio PDP.	45
Tabla 5. Efecto visual del tratamiento corrosivo del vidrio PDP.	46
Tabla 6. LCCA con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).	55
Tabla 7. LCCA con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	56
Tabla 8. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	57
Tabla 9. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	58
Tabla 10. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	59
Tabla 11. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	60
Tabla 12. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	61
Tabla 13. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	62
Tabla 14. LCUS con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).	63
Tabla 15. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).	64
Tabla 16. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).	65
Tabla 17. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	66
Tabla 18. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).	67
Tabla 19. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).	68
Tabla 20. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml).	69
Tabla 21. LCUS con agua regia (T = 40°C, t = 10 min)	70

Tabla 22. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, [NaOH] = 0,01 M).....	71
Tabla 23. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, t = 10 min, [NaOH] = 0,01 M).....	72
Tabla 24. LCCA con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).....	73
Tabla 25. LCCA con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).....	74
Tabla 26. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 0,01 M).....	75
Tabla 27. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 3,63 M).....	76
Tabla 28. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 7,25 M).....	77
Tabla 29. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 10,88 M).....	78
Tabla 30. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 14,50 M).....	79
Tabla 31. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 18,12 M).....	80
Tabla 32. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 0,01 M).....	81
Tabla 33. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 2,79 M).....	82
Tabla 34. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 5,57 M).....	83

Tabla 35. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 8,35 M).....	84
Tabla 36. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 11,11 M).....	85
Tabla 37. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 0,01 M).....	86
Tabla 38. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 2,07 M).....	87
Tabla 39. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 4,13 M).....	88
Tabla 40. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 6,19 M).....	89
Tabla 41. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 8,23 M).....	90
Tabla 42. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 0,01 M)	91
Tabla 43. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 3,42 M)	92
Tabla 44. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 6,82 M)	93
Tabla 45. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 10,23 M)	94
Tabla 46. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 13,63 M)	95

Tabla 47. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 0,01 M)	96
Tabla 48. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 2,46 M)	97
Tabla 49. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 4,91 M)	98
Tabla 50. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 7,36 M)	99
Tabla 51. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 9,81 M)	100
Tabla 52. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	101
Tabla 53. LCUS con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).....	102
Tabla 54. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 0,01 M).....	103
Tabla 55. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 3,63 M).....	104
Tabla 56. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 7,25 M).....	105
Tabla 57. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 10,88 M).....	106
Tabla 58. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 14,50 M).....	107
Tabla 59. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H ₂ SO ₄] = 18,12 M).....	108

Tabla 60. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 0,01 M).....	109
Tabla 61. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 2,79 M).....	110
Tabla 62. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 5,57 M).....	111
Tabla 63. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 8,35 M).....	112
Tabla 64. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO ₃] = 11,11 M).....	113
Tabla 65. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 0,01 M).....	114
Tabla 66. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 2,07 M).....	115
Tabla 67. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 4,13 M).....	116
Tabla 68. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 6,19 M).....	117
Tabla 69. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HCl] = 8,23 M).....	118
Tabla 70. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 0,01 M)	119
Tabla 71. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 3,42 M)	120

Tabla 72. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 6,82 M)	121
Tabla 73. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 10,23 M)	122
Tabla 74. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [NaOH] = 13,63 M)	123
Tabla 75. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 0,01 M)	124
Tabla 76. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 2,46 M)	125
Tabla 77. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 4,91 M)	126
Tabla 78. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 7,36 M)	127
Tabla 79. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [KOH] = 9,81 M)	128
Tabla 80. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 5 min)	129
Tabla 81. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 8 min)	130
Tabla 82. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 10 min)	131
Tabla 83. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 15 min)	132
Tabla 84. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 30 min)	133
Tabla 85. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 45 min)	134
Tabla 86. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h)	135
Tabla 87. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 1 ml/g, t = 10 min)	136

Tabla 88. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 3 ml/g, t = 10 min).....	137
Tabla 89. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 4 ml/g, t = 10 min).....	138
Tabla 90. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 5 ml/g, t = 10 min).....	139
Tabla 91. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 10 ml/g, t = 10 min).....	140
Tabla 92. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 5 min, [NaOH] = 0,01 M)	141
Tabla 93. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 8 min, [NaOH] = 0,01 M)	142
Tabla 94. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 10 min, [NaOH] = 0,01 M)	143
Tabla 95. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 15, [NaOH] = 0,01 M)	144
Tabla 96. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, v = 1 ml/g, t = 10 min, [NaOH] = 0,01 M)	145
Tabla 97. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, v = 5 ml/g, t = 10 min, [NaOH] = 0,01 M)	146
Tabla 98. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, v = 10 ml/g, t = 10 min, [NaOH] = 0,01 M)	147

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1 Circuitos de una televisión PDP.....	11
Figura 2. FPC´s vista frontal	11
Figura 3. FPC´s vista trasera	11
Figura 4. Mecanismo del funcionamiento de la pantalla PDP.	12
Figura 5. Distribución de las capas de PDP.....	15
Figura 6. Capas del vidrio PDP frontal	16
Figura 7. Capas del vidrio PDP trasero	16
Figura 8. Vidrio PDP sin capas.	17
Figura 9. Microscopia electrónica de barrido del vidrio PDP frontal.	17
Figura 10. Microscopia electrónica de barrido del vidrio PDP trasero.	18
Figura 11. Composición química cualitativa del vidrio PDP frontal.	18
Figura 12. Composición química cualitativa del vidrio PDP trasero.	19
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de producción de pantallas PDP.	21
Figura 14. Escala estimada de producción mundial de PDP 2006-2010, por modelo de pantalla.	22
Figura 15. Escala estimada de producción mundial de televisiones 2006-2010, por tipo de pantalla	22
Figura 16. Diagrama de flujo recomendado para el reciclaje de CRT.	24
Figura 17. Tendencia típica mensual de la generación y disposición de vidrio PDP residual 2008.	25

Figura 18. Diagrama de flujo del procedimiento experimental previo para el estudio del porcentaje de remoción para soluciones corrosivas.	28
Figura 19. Diagrama de flujo del procedimiento experimental previo para el estudio del porcentaje de remoción para soluciones corrosivas.	30
Figura 20. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 5 ácidos respecto a la concentración.	33
Figura 21. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 5 ácidos respecto a la concentración.	33
Figura 22. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 5 ácidos respecto a la concentración.	34
Figura 23. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 5 ácidos respecto a la concentración.	35
Figura 24. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 2 álcalis respecto a la concentración.	36
Figura 25. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 2 álcalis respecto a la concentración.	37
Figura 26. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 2 álcalis respecto a la concentración.	38
Figura 27. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 2 álcalis respecto a la concentración.	38
Figura 28. Efecto del tiempo de tratamiento con agua regia sobre la remoción de capas de recubrimientos del vidrio PDP.	39
Figura 29. Efecto del volumen de agua regia por gramo de vidrio PDP sobre la remoción de las capas de recubrimientos.	40

Figura 30. Efecto del tiempo de tratamiento con hidróxido de sodio sobre la remoción de capas de recubrimientos del vidrio PDP.	40
Figura 31. Efecto del volumen de hidróxido de sodio por gramo de vidrio PDP sobre la remoción de las capas de recubrimientos.	41
Figura 32. Diagrama de flujo de la recuperación de vidrio PDP con 2 etapas.	48
Figura 33. Aviso de materiales importados y retorno de residuos peligrosos. Modalidad: Aviso de reciclaje de residuos peligrosos no retornados.	50

ABREVIATURAS

CRT	Tubo de Rayos Catódicos (Cathode Ray Tube)
LCD	Pantallas de Cristal Líquido (Liquid Cristal Display)
PDP	Pantallas de Plasma (Plasma Display Panel)
FPD	Pantallas planas (Flat Panel Display)
TV	Televisión
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
FPC	Circuito Impreso Flexible (Flexible Printed Circuit)
SMPS	Suministro de energía (Switching Mode Power Supply)
IC	Circuito integrado (Integrated Circuit)
T	Temperatura, (°C)
T_{Max}	Temperatura Máxima, (°C)
°C	Grados Celsius
t	Tiempo
min	Minuto

V	Volumen, (ml)
ml	Mililitro
g	gramo
[]	Concentración molar, (M)
M	Molaridad, (moles/litro de solución)
v	Volumen de solución / masa de vidrio, (ml/g)
conc.	Concentrado
LCCA	Lavado Corrosivo con Calentamiento y Agitación
LCUS	Lavado Corrosivo con Ultrasonido

RESUMEN

El vidrio residual de pantallas de plasma, PDP, es dispuesto por confinamiento directo sin reciclarse o reutilizarse. El compromiso ambiental del país tiene como uno de sus objetivos, el aumento de la valoración de los residuos.

Para aumentar el valor de los residuos de vidrio PDP generados en las empresas, se investigó la recuperación del vidrio para contribuir al desarrollo sustentable, al remover las capas de los recubrimientos del vidrio para recuperarlo y minimizar los residuos peligrosos generados. Para cumplir con el presente propósito, se diseñó el proceso a nivel laboratorio de la recuperación del vidrio PDP residual. Para tal fin, se incluyó una sección sobre la justificación legal de la recuperación dentro de una empresa extranjera para cumplir con los requerimientos legales en materia ambiental de la recuperación de residuos peligrosos de empresas con régimen de importación temporal de materia prima.

Se seleccionaron métodos corrosivos para la remoción de las capas de recubrimientos. El agua regia e hidróxido de sodio resultaron los mejores agentes removedores de las capas mediante el tratamiento con ultrasonido. Mediante el lavado con ultrasonido se determinaron las condiciones óptimas de remoción. En el estudio del efecto de la remoción, se establecieron 2 etapas de lavado: primer tratamiento con agua regia y segundo tratamiento con hidróxido de sodio. Mediante el procedimiento utilizado se remueven 9 de 11 capas, el cual corresponde al 97% en peso de los recubrimientos. El vidrio recuperado tiene la calidad suficiente para ser utilizado en otros procesos productivos.

El proceso de remoción, el tratamiento de 450 muestras de vidrio PDP y los resultados, son discutidos en el trabajo presente.

I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Tijuana, Baja California, cuya región es industrial, integrada por empresas manufactureras, de fabricación y de servicio, se generan grandes cantidades de residuos sólidos municipales y residuos industriales peligrosos.

La materia prima y la maquinaria importada de las empresas extranjeras asentadas en el país, tienen como régimen la importación temporal; la cual establece que “Los materiales y residuos peligrosos generados en los procesos de producción, transformación, elaboración o reparación en los que se haya utilizado materia prima introducida en el país bajo el régimen de importación temporal, deberán ser retornados al país de procedencia” (1).

Con el creciente avance tecnológico se generan nuevos y diversos residuos peligrosos y no peligrosos; la forma más sencilla y económica es la disposición final confinando los residuos en sitios especiales alejados de zonas habitacionales e industriales. Los sitios de disposición son acondicionados para que degraden los residuos a través del tiempo y para que pierdan sus propiedades químicas peligrosas para el ambiente y el ser humano.

El reciclado y recuperación de residuos es común para materiales como el papel, cartón, aceite residual, plástico, vidrio, el aluminio y otros metales. También es habitual la reutilización de residuos como las pilas, baterías y lámparas fluorescentes, entre otros.

La tecnología de reciclado o recuperación, a diferencia de las tecnologías de producción, no avanza rápidamente para solucionar los problemas generados por los residuos peligrosos producidos por las nuevas tecnologías.

En la industria electrónica de producción de pantallas de televisión (displays en inglés), como los CRT (Cathode Ray Tube), LCD (Liquid Crystal Display) y PDP (Plasma Display Panel), se produce una gama enorme de residuos peligrosos y no peligrosos.

Los residuos peligrosos provocan un gasto de disposición indirecto en la producción de las pantallas. El costo de la disposición depende de los constituyentes tóxicos que contiene. Los residuos peligrosos comunes generados en esta industria son aceite gastado, solventes residuales, soluciones corrosivas, óxidos metálicos, silicón y vidrio residual.

Las exigencias de los consumidores para tener pantallas con mejor calidad en imagen demandan una gran inversión para el diseño y construcción de la tecnología necesaria para cumplir con este propósito, generando residuos peligrosos difícilmente recuperables.

El vidrio residual tiene una especial importancia, ya que para la industria de las pantallas de televisión, la matriz vítrea tiene impurezas de bario y/o plomo para absorber radiaciones de alta energía producidas en el proceso de generación de la imagen. En el proceso de fabricación de CPT y PDP se desperdician pantallas por problemas de calidad o de producción.

El proceso para la recuperación del vidrio es muy riguroso en cuanto a limpieza y tratamiento. El empleo de alta tecnología permite la extracción selectiva de materiales. El vidrio se puede recuperar con la calidad según estándares aplicables.

Para una empresa es conveniente disponer de sus residuos con los costos mínimos posibles o tener un ingreso por su aprovechamiento al reutilizarse, reciclarse y/o venderse. La tecnología para la recuperación del vidrio de televisiones de plasma no existe o no se aplica en la región, por lo cual el presente trabajo plantea los métodos de recuperación química del vidrio.

I.1 Objetivo general.

Considerando el compromiso del desarrollo sustentable en la industria de Tijuana y el objetivo ambiental de nuestro país, establecido por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”, la “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos” y las “Normas Oficiales Mexicanas” para incrementar la valorización y aprovechamiento de los residuos, se plantea el objetivo principal de la investigación:

“La recuperación del vidrio de las pantallas PDP residuales de televisión generadas en proceso mediante tratamientos químicos adecuados, para reducir costos de disposición al reaprovecharlo, minimizando la generación de contaminantes peligrosos”.

I.2 Objetivos específicos.

I.2.1 Remover las capas superficiales de los recubrimientos del vidrio de PDP.

I.2.2 Minimizar la generación de residuos peligrosos.

I.2.3 Diseñar el proceso a nivel laboratorio para recuperar vidrio de PDP.

I.2.4 Justificar legalmente la recuperación de vidrio PDP en el sitio de generación.

I.3 Hipótesis.

Se pueden remover las capas superficiales de sustancias químicas del vidrio de las pantallas PDP residuales de televisión, por métodos químicos sencillos para su recuperación.

II. Marco teórico y conceptual.

II.1 Definiciones de residuos peligrosos.

Los conceptos utilizados en la presente tesis son las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), y en los reglamentos correspondientes y en las definiciones contenidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-2005. Los principales se indican a continuación (1), (2), (3):

- Aprovechamiento de los residuos. Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundarios o energía.
- Constituyente tóxico. Cualquier sustancia química contenida en un residuo y que hace que éste sea peligroso por su toxicidad, ya sea ambiental, aguda o crónica.
- CRETIB. El acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico Infeccioso.
- CRIT. El acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa: Corrosivo, Reactivo, Inflamable y Tóxico Ambiental.
- Disposición final. Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones, cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.
- Generación. Acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

- **Generador.** Persona física o moral que produce residuos, a través del desarrollo de proceso productivos o de consumo.
- **Manejo integral.** Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte o disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.
- **Residuo.** Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.
- **Residuos peligrosos.** Son aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieren a otro sitio.
- **Residuos sólidos urbanos.** Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que se consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro del establecimiento o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados como otro tipo de residuo en la LGPGIR.

- PECT. Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos.
- Secretaria. La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Toxicidad. La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas.
- Toxicidad Ambiental. La característica de sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona un desequilibrio ecológico.
- Valorización. Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo los criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica.
- Extracto PECT. El lixiviado a partir del cual se determinan los constituyentes tóxicos del residuo y su concentración, con la finalidad de identificar si éste es peligroso por su toxicidad al ambiente.

II.2 Procesos de recuperación de residuos.

Existe una gran cantidad de técnicas de tratamiento de residuos peligrosos para eliminar las características de peligrosidad. Los métodos mas utilizados incluyen la oxidación biológica, la precipitación química, el intercambio iónico, la oxidación reducción y la adsorción en carbón (4).

La desintoxicación química es una tecnología de tratamiento que se emplea como el único procedimiento de tratamiento para reducir el riesgo de determinado residuo (4).

El tratamiento químico utilizado para la remoción de las capas de óxidos metálicos que contiene el vidrio PDP, es la precipitación química utilizando ácidos y bases. Este proceso de remoción se clasifica como una técnica de neutralización, que consiste en precipitar los óxidos metálicos agregando una solución con pH en rango corrosivo. Una solución es corrosiva cuando presenta un pH menor o igual a 2,0 o mayor o igual a 12,5 (5).

II.2.1 Ácidos y álcalis.

Ácido nítrico.

El ácido nítrico concentrado caliente es un oxidante fuerte que disuelve todos los metales comunes, salvo el aluminio y el cromo que se vuelven pasivos ante este reactivo por la formación de óxidos de superficie. Cuando se tratan aleaciones que contienen estaño, tungsteno o antimonio con el reactivo caliente, se forman óxidos hidratados ligeramente solubles, como el $\text{SnO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Después de la coagulación, estos materiales coloidales se pueden separar de otras especies metálicas por filtración (6).

Ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico concentrado es el disolvente por excelencia para muestras inorgánicas. Se utiliza de forma general para disolver muchos óxidos metálicos, así como metales que se oxidan más fácilmente que el hidrógeno, y suele ser mejor disolvente de óxidos que los ácidos oxidantes (6).

Mezclas oxidantes.

Es posible lograr la combustión húmeda más rápidamente con la utilización de mezclas de ácidos o la adición de agentes oxidantes a un ácido mineral. Una muy conocida es el agua

regia, mezcla que contiene tres volúmenes de ácido clorhídrico concentrado por uno de ácido nítrico. La adición de bromo o peróxido de hidrógeno a ácidos minerales suele incrementar su acción disolvente y acelerar la oxidación de materiales orgánicos en la muestra. También es útil para este fin la mezcla crómica, formada por la adición de dicromato de potasio 0,02 M en ácido sulfúrico 1M (6).

Ácido sulfúrico.

Muchos materiales se descomponen y disuelven con ácido sulfúrico concentrado caliente, que debe en parte a su efectividad como disolvente a su punto de ebullición alto (cercano a 340°C). Numerosos compuestos orgánicos se deshidratan y oxidan a esa temperatura, con lo que con este tratamiento de calcinación húmeda se eliminan de las muestras en forma de dióxido de carbono y agua. También son numerosos los metales y aleaciones que son atacados por ácido caliente (6).

Ácido fluorhídrico

El uso primordial del ácido fluorhídrico es la descomposición de minerales y rocas de silicato de la determinación de diversas especies, con la excepción de la sílice. En este tratamiento, el silicio evoluciona en la forma de tetrafluoruro. Después de completada la descomposición, el exceso de ácido fluorhídrico se elimina por evaporación con ácidos sulfúrico o perclórico. Es frecuente que su eliminación completa sea indispensable para el éxito del análisis, ya que el ion fluoruro reacciona con diversos cationes y forma complejos muy estables, que interferirán en la determinación de los cationes (6).

Hidróxidos de sodio y potasio.

El hidróxido de potasio y el hidróxido de sodio son bases fuertes de uso común. Tiene muchos usos tanto industriales como comerciales. La mayoría de las aplicaciones explotan su reactividad con ácidos y su corrosividad natural (6).

II.3 Pantallas PDP y generación de residuos de vidrio.

II.3.1 Principio de funcionamiento de las pantallas de plasma.

Una pantalla PDP es un dispositivo electrónico que funciona mediante el fenómeno de liberación de rayos UV de gases nobles cuando se les aplica voltaje, los cuales al interactuar con los fósforos, se producen los rayos visibles. Una pantalla de PDP esta integrada por millones de celdas que poseen fósforos rojos, verdes y azules. Las celdas están contenidas entre 2 placas de vidrio selladas al vacío que contienen una mezcla de gases nobles (xenón, neón, argón y helio), por las cuales atraviesan un par de electrodos horizontales y un electrodo vertical (7). La televisión de plasma está integrada por los circuitos electrónicos y la pantalla PDP (Figuras 1, 2 y 3). Los pesos de las partes de la televisión se indican en la Tabla 1 (7).

Tabla 1. Composición de una televisión PDP de 50 pulgadas.

	Peso, kg	% en peso
Cabina y circuitos	30,4	73,4
Base de la pantalla	4,0	9,7
Pantalla de vidrio	7,0	16,9
Peso Total	41,4	100%

II.3.1.1 Estructura básica de los circuitos de una televisión PDP.

La circuitería de una televisión PDP sirve para operar los electrodos de transporte (X, Y) y direccional de la pantalla. Funcionamiento por parte:

- Circuito Lógico. Recibe la señal de la imagen y controla la separación de la señal en los electrodos de transporte (X, Y) y direccional. Controla la potencia aplicada.
- Unidad Circuito. Recibe las señales del Circuito Lógico y las transmite a la Unidad IC (Integrated Circuit).
- Unidad IC. Distribuye los comandos del Circuito Lógico a cada electrodo.
- FPC (Flexible Printed Circuit). Conecta el electrodo de la pantalla y la Unidad Circuito (X, Y, Direccional).
- SMPS. Transforma la electricidad necesaria por cada parte del circuito.
- Filtro de energía AC. Rectifica la electricidad externa (Remoción de ruido, etc.).
- Chasis. Protege la pantalla y los circuitos.

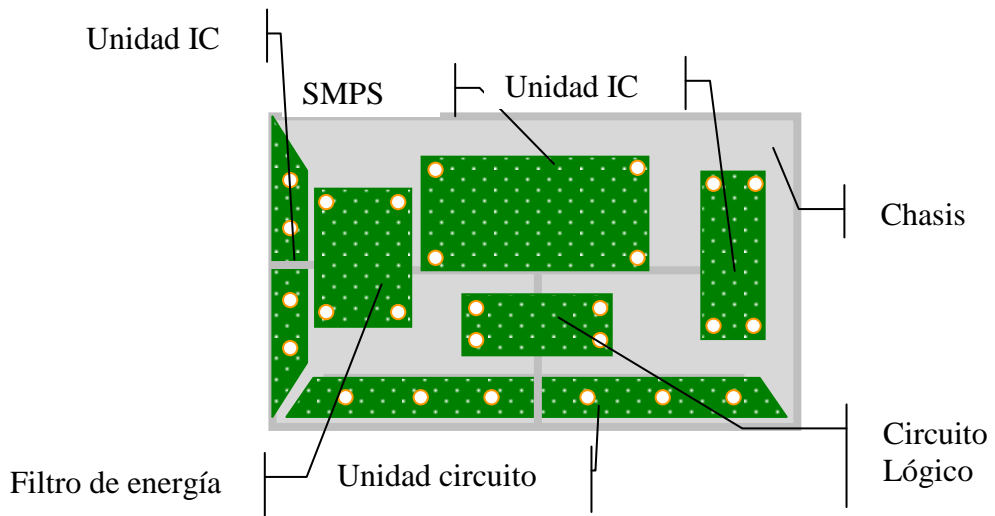


Figura 1 Circuitos de una televisión PDP

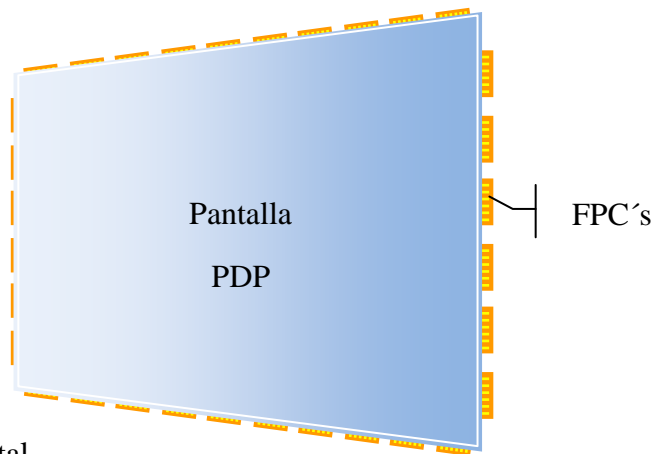


Figura 2. FPC's vista frontal

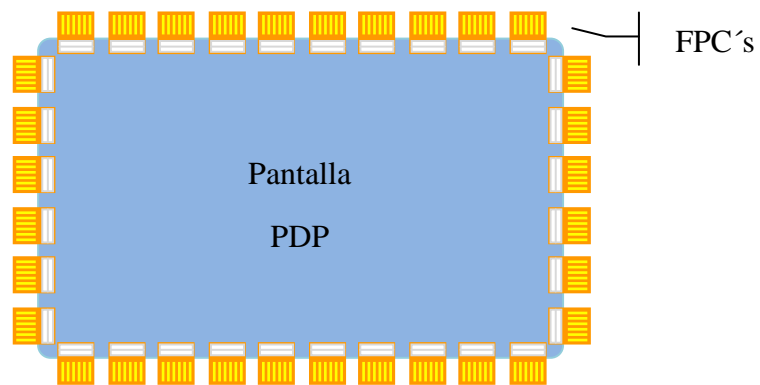


Figura 3. FPC's vista trasera

II.3.1.2 Estructura básica de la pantalla PDP.

Dos placas de vidrio con electrodos, son dispuestos en una configuración hueca con numerosas barreras pequeñas divisoras, con un espacio entre ellas para contener el gas de descarga y la estructura se sella bajo presión. Después de cargar la PDP con el gas en el espacio entre las placas superior e inferior, los rayos ultravioleta son generados a través de una descarga eléctrica y son inducidos a la capa de fósforos para producir la luz visible (7).

En Figura 4 se muestra el principio de funcionamiento de la PDP (7):

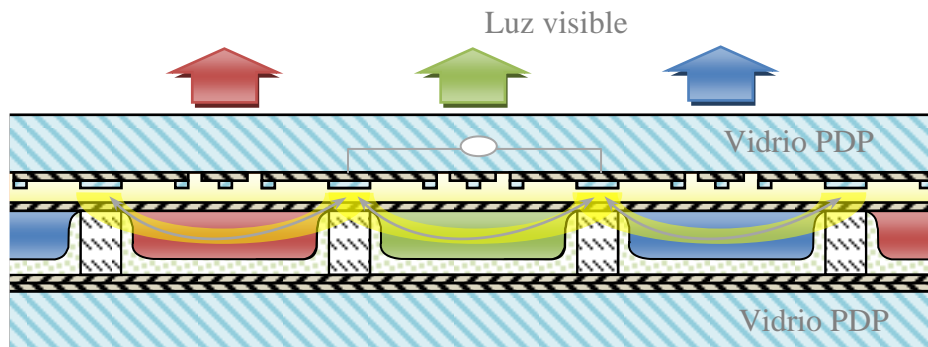


Figura 4. Mecanismo del funcionamiento de la pantalla PDP.

La pantalla de PDP está constituida por dos placas de vidrio que contienen capas de óxidos metálicos. En las Tablas 2 y 3 se indican las características de las capas de cada vidrio (7). En la Figura 5 se muestra la configuración de las capas en cada placa (8). En la Figuras 6 y 7 se muestran fotografías microscópicas del vidrio PDP frontal y trasero, donde se observa la distribución de las capas, respectivamente. En la Figura 8 se muestra una fotografía tomada al vidrio PDP limpio. El porcentaje en peso de las capas de recubrimiento del vidrio PDP frontal es de 3,32% y del vidrio PDP trasero es 5,55% (8,87% en total). El porcentaje fue calculado por diferencia de peso del vidrio con recubrimientos con respecto al vidrio limpio: % peso = $100 * (\text{peso de vidrio con capas} - \text{peso de vidrio limpio}) / \text{peso de vidrio con capas}$.

Tabla 2. Características de las capas del vidrio PDP frontal.

VIDRIO PDP FRONTAL		
Nombre de la capa	Descripción	Composición
1. Electrodo ITO	Induce la descarga dentro de la celda y mantiene el voltaje. La transmisión de la luz visible es alta.	Óxido de itrio y estaño
2. Electrodo de transporte	Se genera un valor de compensación de resistencia relativamente grande en el electrodo transparente. El mismo voltaje es aplicado en todas (o en la mayoría) de las celdas de descarga.	Pasta de plata
3. Electrodo transparente	Obliga la descarga de corriente. Se mantiene el aumento de la descarga. Produce la carga acumulada en la placa.	Óxidos de cinc, boro y litio
4. Black Stripe	Eleva la escala oscura de la imagen	Óxidos de silicio, titanio, aluminio, circonio, tantalio, germanio, itrio y cinc
5. Capa de MgO	Capa dieléctrica transparente para protección de la colisión de iones. Disminuye la descarga de voltaje.	Óxido de magnesio

Tabla 3. Características de las capas del vidrio PDP trasero.

VIDRIO PDP TRASERO		
Nombre de la capa	Descripción	Composición
	Protege al electrodo direccional.	
6. Capa dieléctrica	Proporciona un gran refuerzo de insulación y destrucción. Aumenta la transmisión de luz.	Óxidos de cinc, boro y litio
7. Electrodo direccional	Baja la resistencia de electrodo	Pasta de plata
8. Barrera divisora	Espacio que asegura la descarga en cada celda de fósforos aislados evitando su mezcla.	Sulfuro de cinc
9. Capas de fósforos	Reciben los rayos generados por la descarga y los transforman en luz visible (rojo, verde, azul). Tienen una excelente transformación de luz, lo cual produce una gran pureza de color.	Aluminato de cobre, óxido de itrio y sulfuro de cinc.

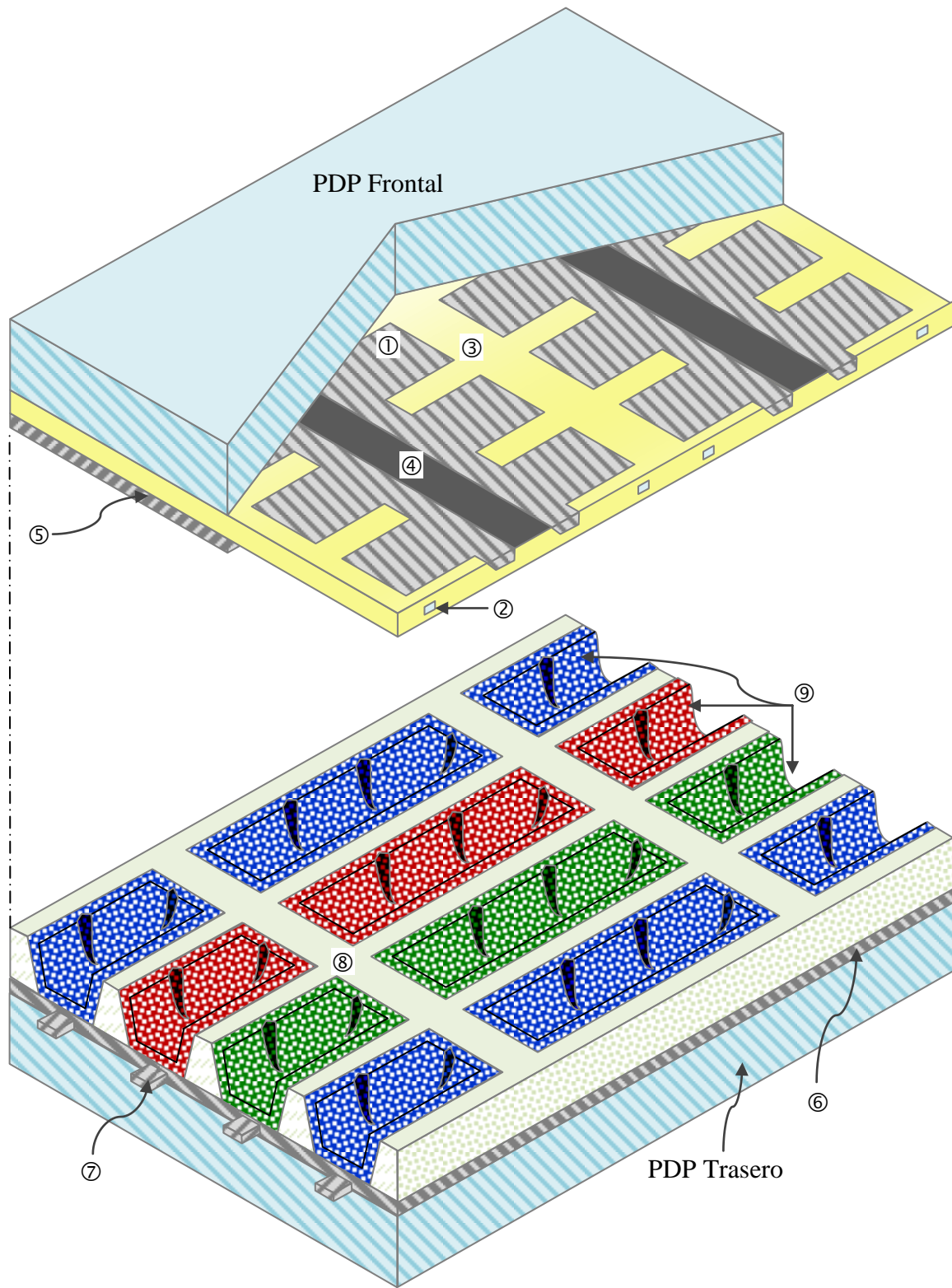


Figura 5. Distribución de las capas de PDP.

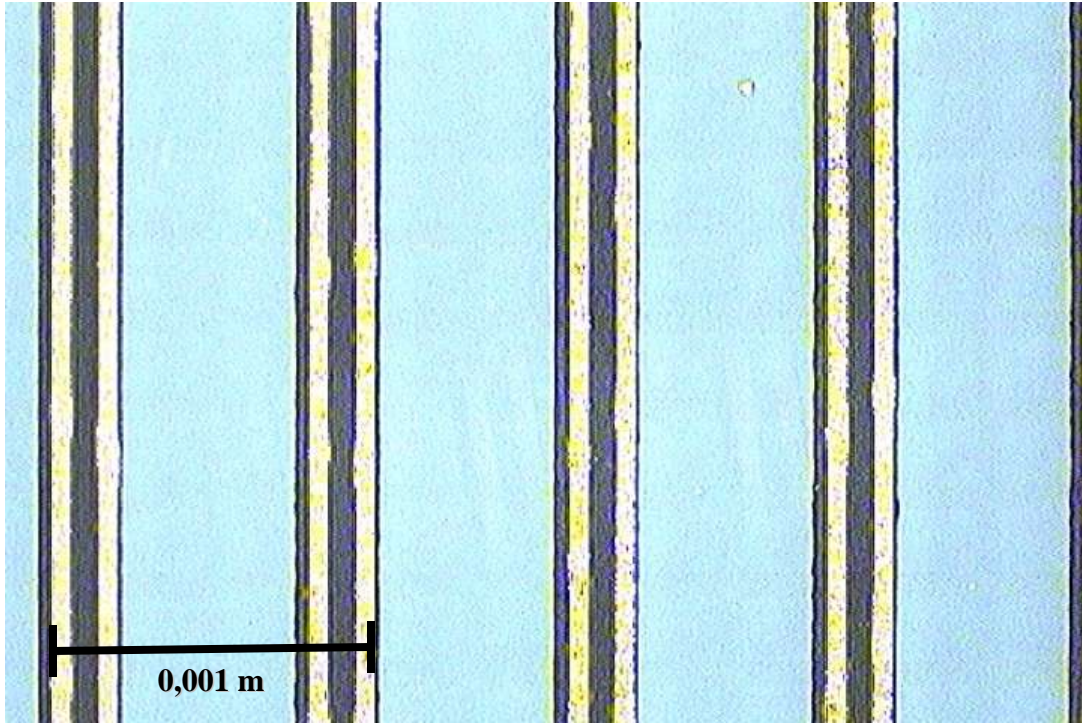


Figura 6. Capas del vidrio PDP frontal

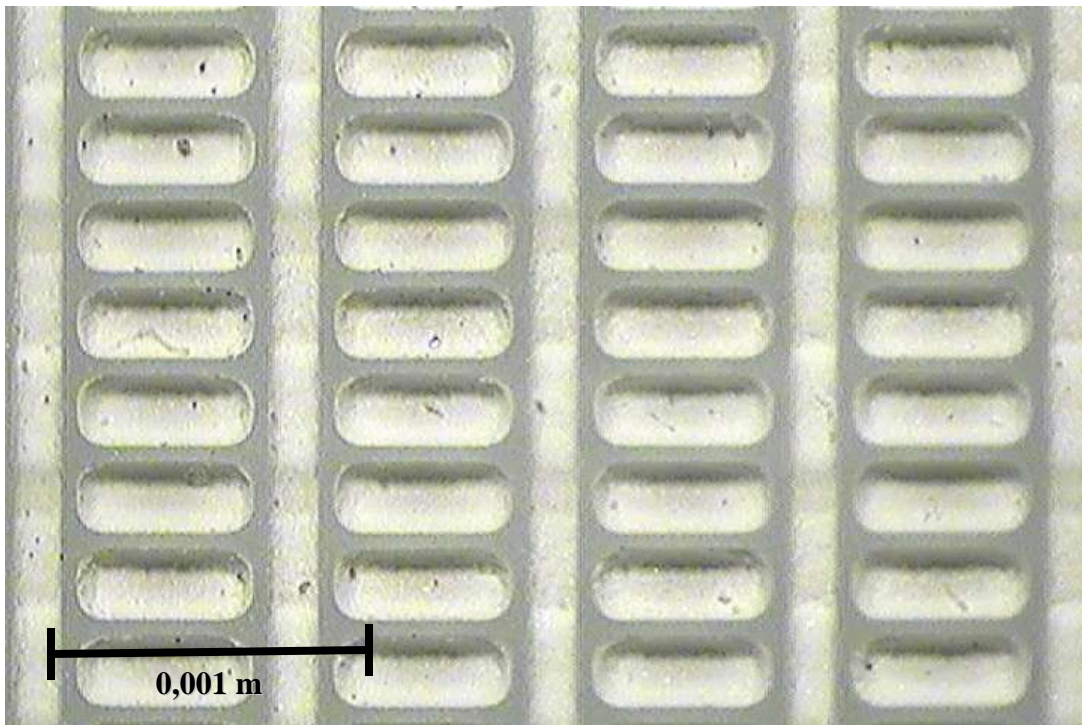


Figura 7. Capas del vidrio PDP trasero

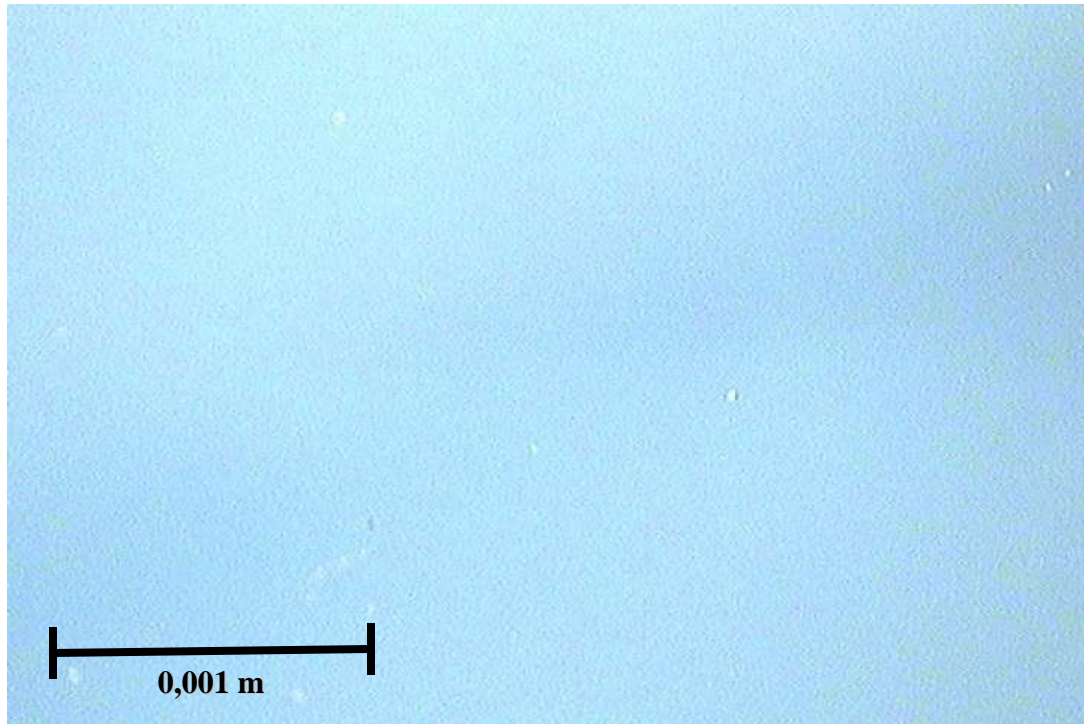


Figura 8. Vidrio PDP sin capas.

En las figuras 9 y 10 se muestran una imágenes tomadas con microscopio electrónico de barrido y en las figuras 11 y 12 se indican los constituyentes químicos, se para el vidrio PDP frontal y trasero, respectivamente.

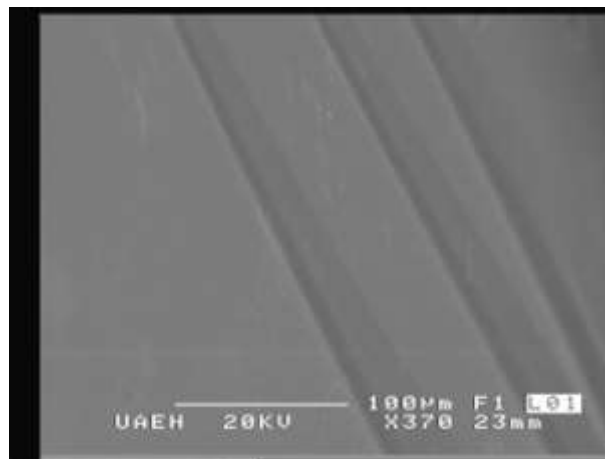


Figura 9. Microscopia electrónica de barrido del vidrio PDP frontal.

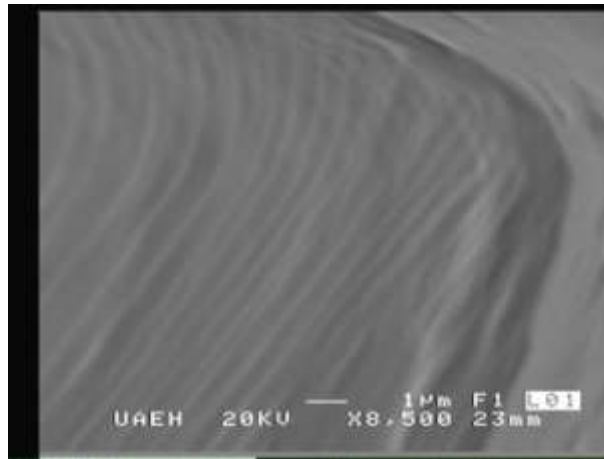


Figura 10. Microscopia electrónica de barrido del vidrio PDP trasero.

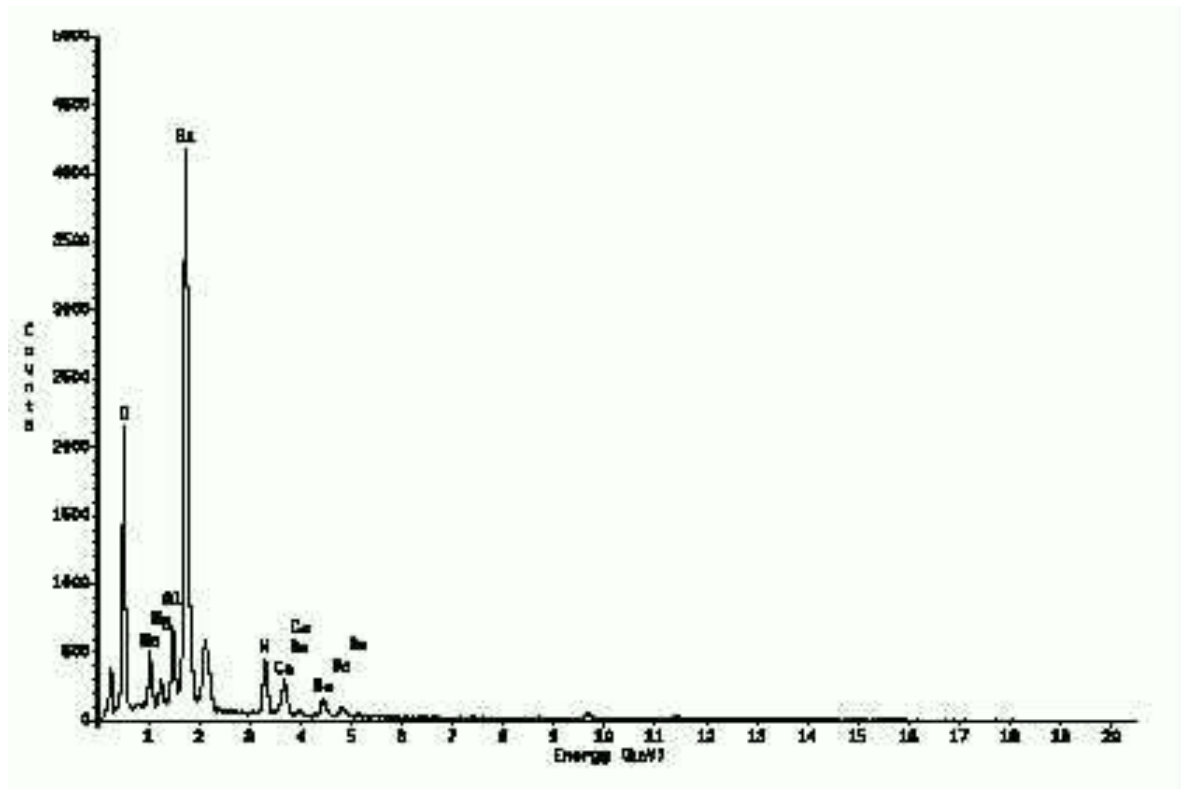


Figura 11. Composición química cualitativa del vidrio PDP frontal.

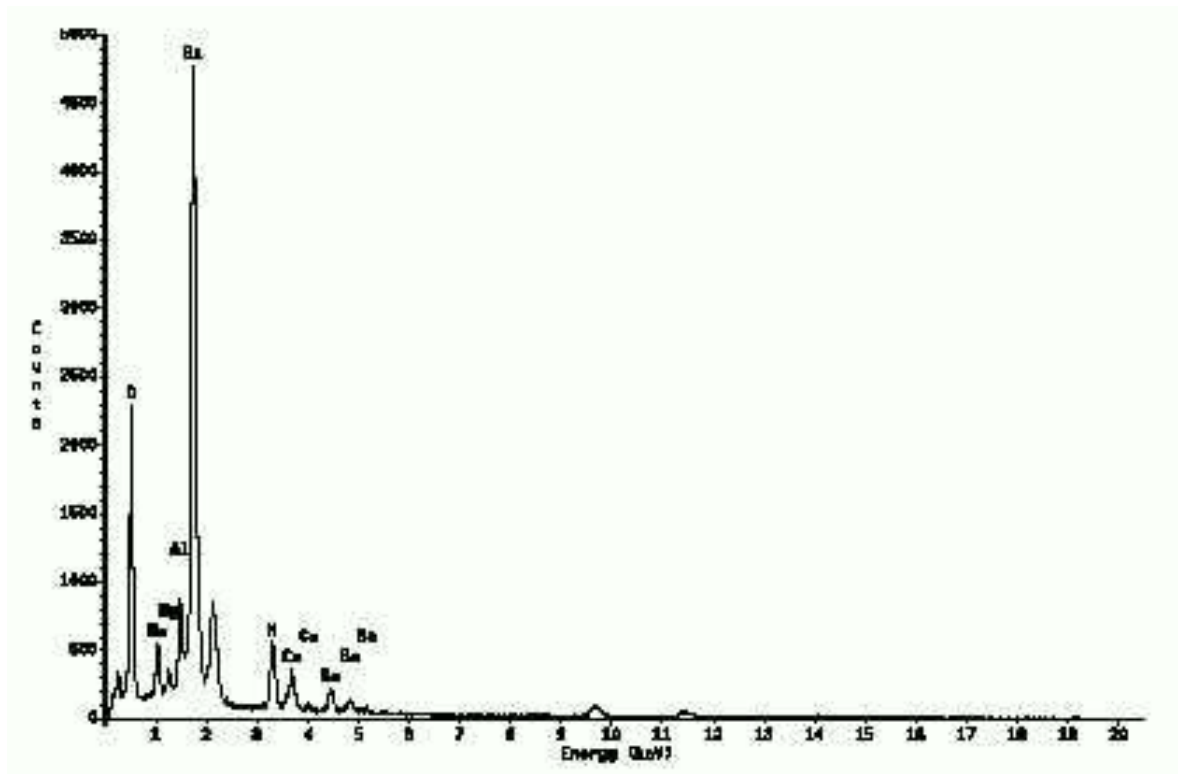


Figura 12. Composición química cualitativa del vidrio PDP trasero.

II.3.2 Proceso de fabricación de pantallas de plasma.

El proceso de fabricación de pantallas PDP se compone de las siguientes etapas y se indican en el diagrama de flujo de la Figura 9 (7):

1. Electrodo ITO. Se fotolitografía la capa de ITO que está plastificado por el cátodo (sputter), para generar los patrones de ITO correspondientes a los electrodos descargados principales.
2. Electrodo de transporte. Se genera el patrón fotolitografiando la pasta de plata de sobre el electrodo ITO.
3. Black stripe. Se genera mediante el método de impresión patronal en la zona de semidescarga con la misma dirección paralela que el electrodo ITO.

4. Capa dieléctrica 1. Se forma por medio de impresión en la pantalla sobre los electrodos fotolitografiados.
5. Capa dieléctrica 2. Se forma por medio de impresión en la pantalla sobre la capa dieléctrica 1.
6. Capa de MgO. La capa de óxido de magnesio es depositada mediante el principio del ión plating.
7. Electrodo direccional. Se genera a través de la impresión mediante el patrón de la fotorresistencia de pasta de plata.
8. Capa dieléctrica. Se forma por medio de impresión en la pantalla sobre el electrodo direccional.
9. Barreras separadoras. Son generadas mediante el proceso de sand blasting.
10. Capa de fósforos. Se forma por medio del patrón de impresión.
11. Frit. Se forma por el método de dispensing con la finalidad de sellar el panel frontal y trasero.
12. Ensamble (alineación de panel). Se ensambla ajustando el panel frontal y trasero.
13. Frit sealing / exhaust. Se presiona el panel frontal con el panel trasero, se elimina el aire para generar vacío y se llena con el gas de descarga (xenón, argón, neón, helio).
14. Aging (añejamiento). Se aplica voltaje a la pantalla durante 10 a 15 horas para asegurar las características óptimas de descarga.
15. Inspección de luz. La pantalla es inspeccionada para decidir la calidad de la imagen.

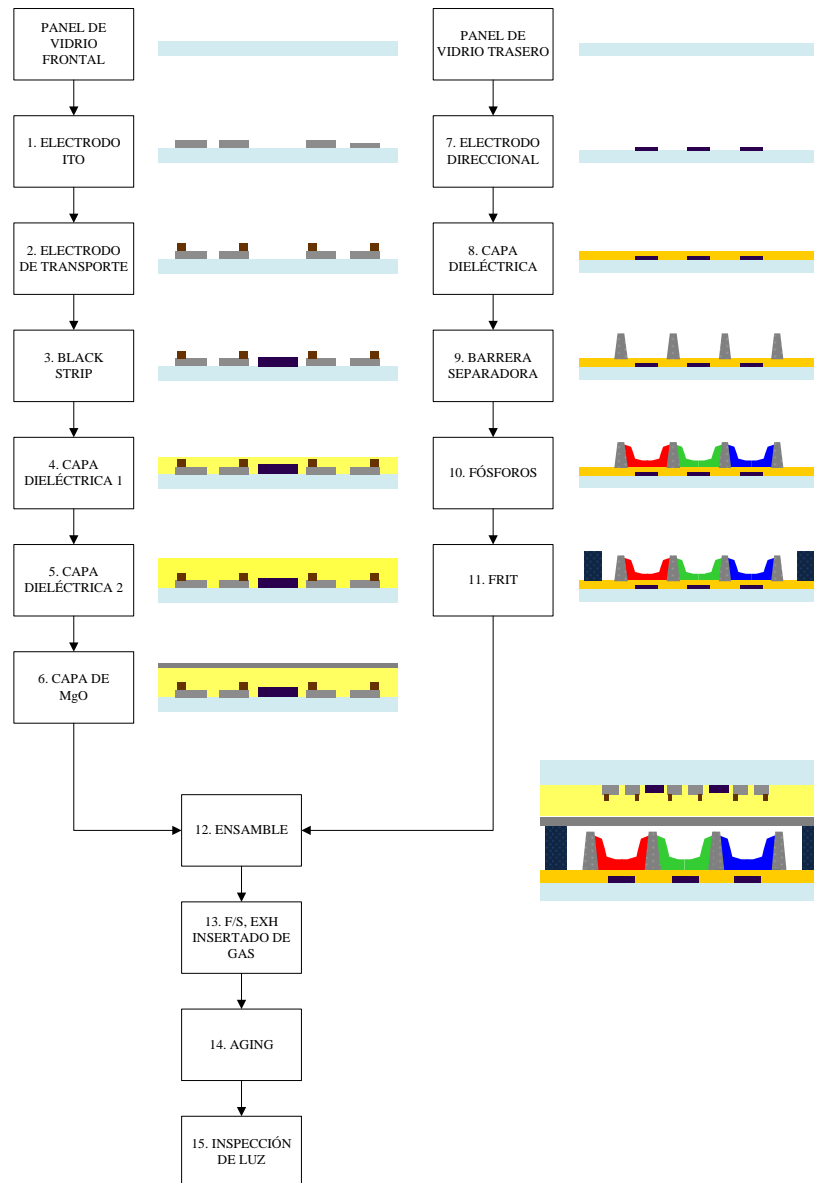


Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de producción de pantallas PDP.

II.3.3 Estado del mercado de PDP.

El mercado de las pantallas planas de plasma esta creciendo a una velocidad increíble. Se considera que los cargamentos de televisiones de PDP aumentarán en 30% cada año, generando 25 millones de unidades para el año 2010 (7).

La investigación en desarrollo de pantallas pronostica que el mercado se incrementara por un 11.4% anual del 2006 al 2010, debido al incremento de la demanda de tamaños grandes de televisiones (mayor de 40 pulgadas) y al surgimiento de nuevos mercados multimedia. Esto aumentará por 16 billones de dólares en volumen para el 2010, Figuras 10 y 11 (7).

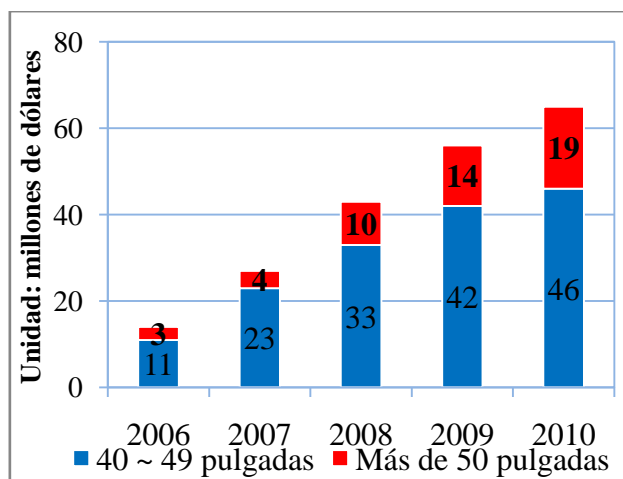


Figura 14. Escala estimada de producción mundial de PDP 2006-2010, por modelo de pantalla.

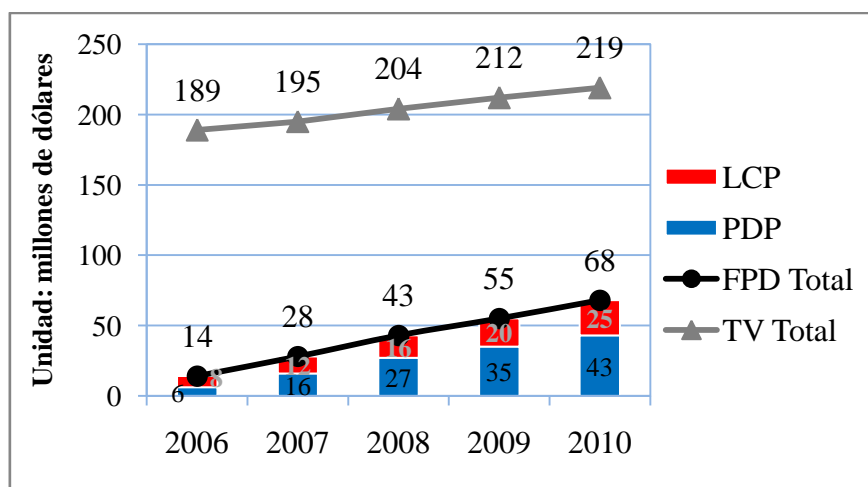


Figura 15. Escala estimada de producción mundial de televisiones 2006-2010, por tipo de pantalla

II.3.4 Residuos de vidrio generados en el proceso de producción de televisiones PDP.

II.4 Antecedentes.

El vidrio PDP residual se dispone por confinamiento directo realizando un tratamiento de estabilización térmica. El material no es reciclado debido a la falta de tecnología necesaria para su recuperación.

Se tienen antecedentes de los procesos de recuperación del vidrio CRT. Estos métodos de reciclado no pueden ser empleados directamente en la recuperación de vidrio PDP para la remoción de las capas de recubrimiento, porque no contienen los mismos componentes químicos y el proceso de deposición de las capas de sustancias químicas en el vidrio PDP es diferente al proceso de recubrimiento del vidrio CRT.

El proceso de reciclado de CRT se describe en el diagrama de flujo de la figura 12 (9):

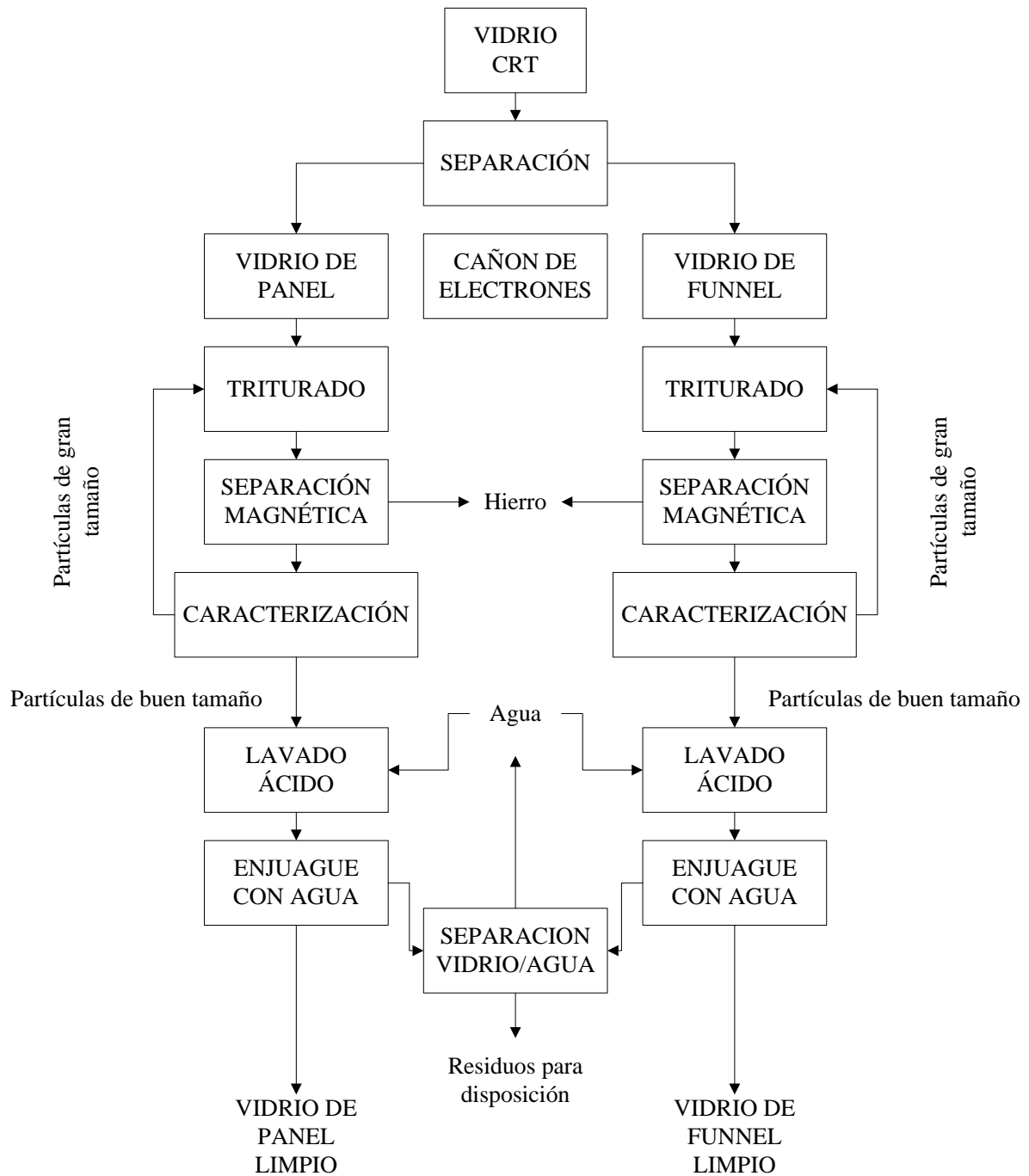


Figura 16. Diagrama de flujo recomendado para el reciclaje de CRT.

En la Figura 13 se muestra el comportamiento de la disposición de vidrio PDP residual de una empresa típica que produce televisiones de plasma de 50 pulgadas.

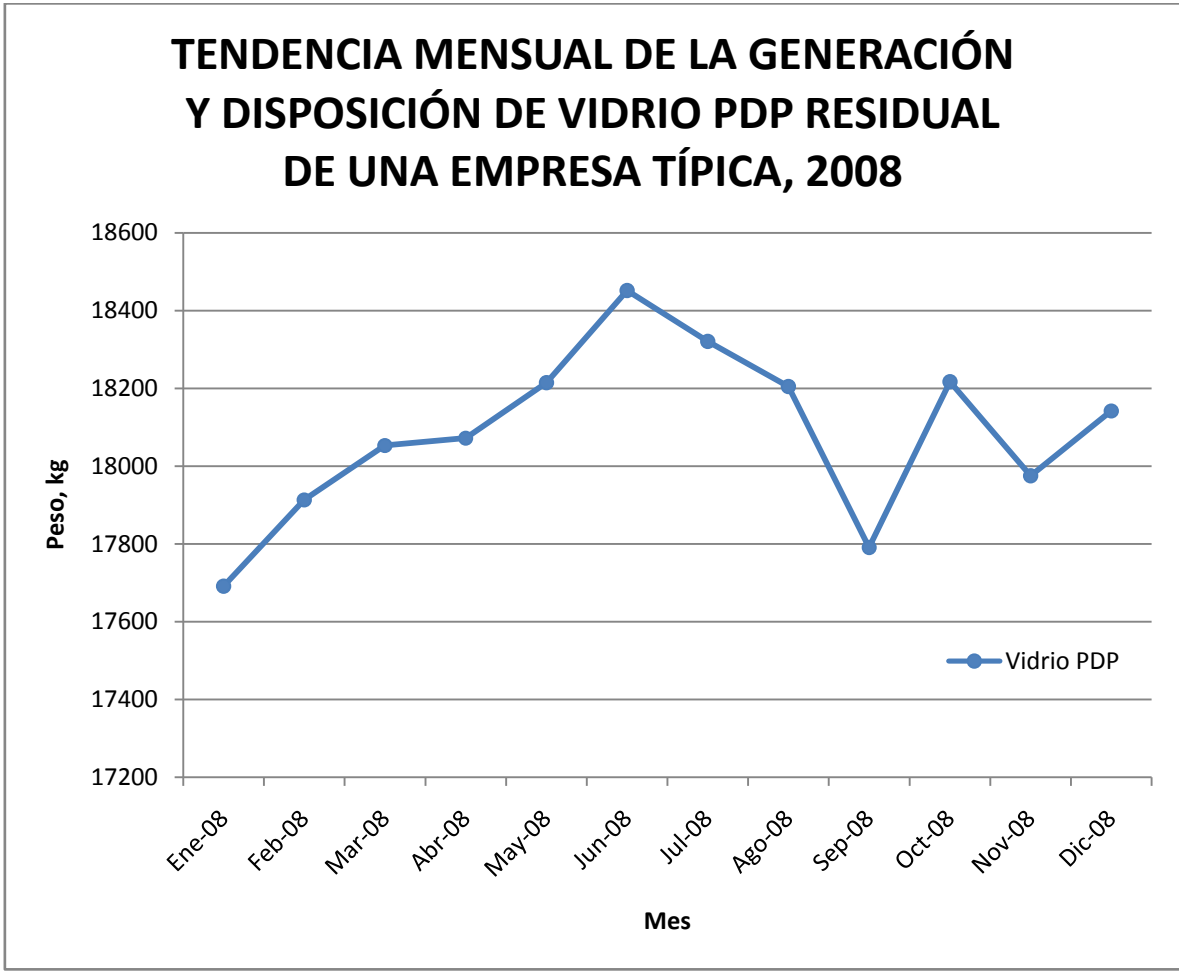


Figura 17. Tendencia típica mensual de la generación y disposición de vidrio PDP residual 2008.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 Materiales.

III.1.1 Equipos.

1. Limpiador ultrasónico. Ultrasonic Cleaner 1510. (BRANSON).
2. Balanza Analítica. Voyager Pro VP144CN (OHAUS Corporation)
3. Parrilla eléctrica con agitador. Stirr Plate Thermolyne (NOUVA II).
4. Barra magnética agitadora. Magnetic Stirring bar F37120-0025 (VWR).
5. Matraz Erlenmeyer, 600 ml No. 14000 (KIMAX).
6. Termómetro de mercurio, $T_{\text{Max}} = 280^{\circ}\text{C}$.
7. Probeta, 50 ml No. 20025-H (KIMAX).
8. Matraz aforado, 250 ml No. 5580 (PYREX).
9. Soporte universal y pinzas para soporte.
10. Pinzas de aluminio con cubierta de plástico.
11. Cortador de vidrio, CV-5 12953 (TRUPER).
12. Microscópio Digital, Digital Stereo Zoom Microscope, DMW143 (MOTIC).
13. Programa de interfase del microscópio digital, Motic Images Plus, Version 2.0 ML (MOTIC).

III.1.2 Reactivos.

1. Agua destilada.
2. Ácido sulfúrico, grado reactivo (FISHER SCIENCE).
3. Ácido nítrico, grado técnico (SPECTRUM CHEMICAL).
4. Ácido clorhídrico, grado técnico (SPECTRUM CHEMICAL).

5. Dicromato de potasio, grado reactivo (SIGMA CHEMICAL).
6. Hidróxido de sodio, grado reactivo (SIGMA CHEMICAL).
7. Hidróxido de potasio, grado reactivo (SIGMA CHEMICAL).

III.2. Métodos.

III.2.1 Lavados corrosivos con calentamiento y agitación (LCCA).

La primera técnica utilizada para la remoción de las capas de recubrimientos del vidrio PDP, es la digestión corrosiva mediante el calentamiento y agitación, utilizando ácidos y álcalis para precipitar los óxidos metálicos de las capas en las sales correspondientes.

El procedimiento experimental previo para el estudio del porcentaje de remoción para soluciones corrosivas, se describe mediante las siguientes etapas:

1. Se cortan muestras de vidrio PDP frontal y trasero con una superficie inferior a 1 cm².
2. Cada muestra se pesa y se registra el dato para evaluar el porcentaje de remoción.
3. Se utiliza solución corrosiva en exceso para asegurar que no sea un limitante en la remoción de los óxidos (V = 30 ml).
4. Se calienta la solución corrosiva contenida en una parrilla eléctrica hasta alcanzar el equilibrio térmico a 40°C.
5. Las muestras se colocan en la solución para la digestión con un agitador magnético para optimizar el contacto.
6. Las muestras son tratadas durante una hora.
7. El vidrio tratado se separa de la solución y se enjuaga con agua destilada para retirar la solución corrosiva.

8. Las muestras se dejan secar.
9. Se registra el peso del vidrio después del tratamiento para calcular el porcentaje de remoción y la eficiencia de la solución corrosiva.

En las gráficas de las Figuras 16, 17, 20 y 21 de la sección de resultados se muestran los efectos del tratamiento. Los datos de las graficas están en las Tablas 5 a 11 y 23 a 50 de los anexos.

El diagrama de flujo del procedimiento descrito es mostrado en la Figura 14.

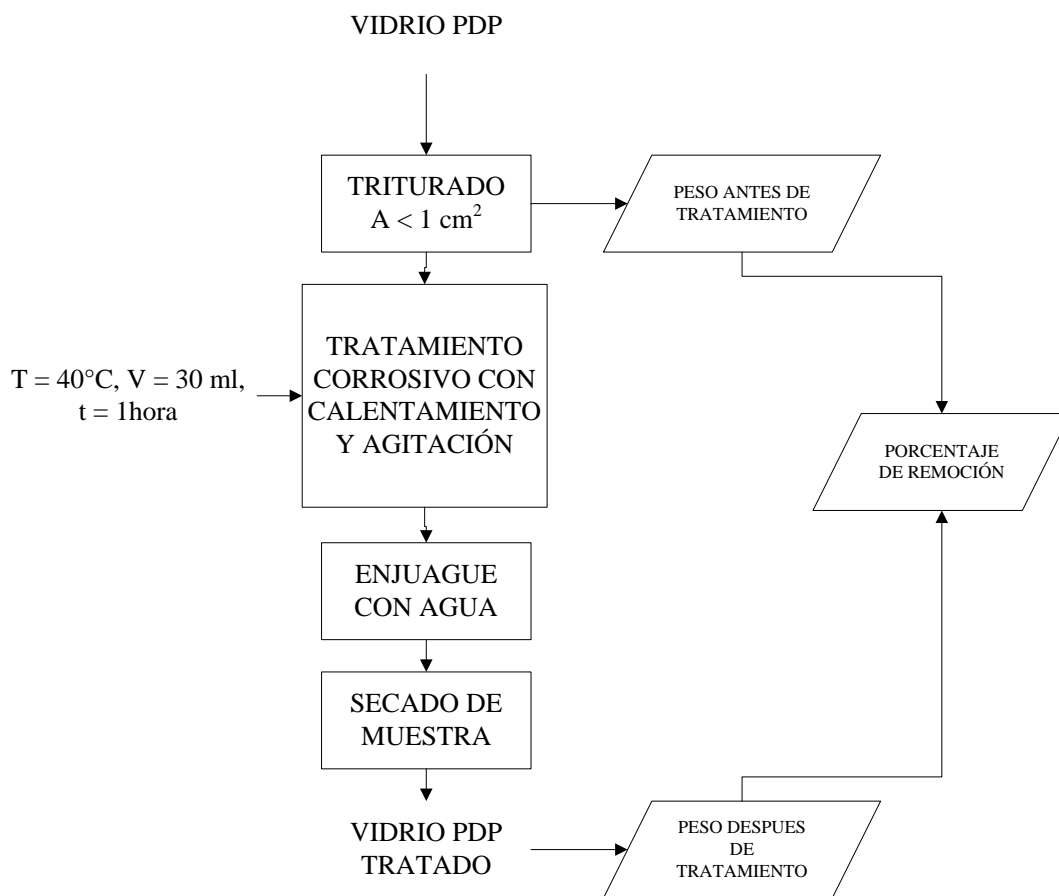


Figura 18. Diagrama de flujo del procedimiento experimental previo para el estudio del porcentaje de remoción para soluciones corrosivas.

El método descrito se realiza para evaluar el efecto de remoción utilizando ácido nítrico, ácido clorhídrico, agua regia, mezcla crómica, ácido sulfúrico, ácido fluorhídrico, hidróxido de sodio e hidróxido de potasio a concentración, temperatura y volumen constantes para tener un punto de comparación entre ellos.

III.2.2 Lavados corrosivos con ultrasonido (LCUS).

El segundo procedimiento utilizado para la remoción de las capas de recubrimientos del vidrio PDP es la digestión corrosiva mediante el lavado en un equipo con ultrasonido utilizando ácidos y álcalis para precipitar los óxidos metálicos de las capas en las sales correspondientes.

El procedimiento experimental previo para el estudio del porcentaje de remoción para soluciones corrosivas utilizando lavador ultrasónico, se describe mediante las siguientes etapas (Figura 15):

1. Se cortan muestras de vidrio PDP frontal y trasero con una superficie inferior a 1 cm^2 .
2. Cada muestra se pesa y se registra el dato para evaluar el porcentaje de remoción.
3. Se utiliza solución corrosiva en exceso para asegurar que no sea un limitante para la remoción de los óxidos ($V = 30 \text{ ml}$).
4. Se calienta la solución corrosiva contenida en un frasco dentro del equipo de ultrasonido hasta 40°C .
5. Las muestras se colocan en la solución para la digestión con un agitador magnético para optimizar el contacto.
6. Las muestras son tratadas durante una hora.

7. El vidrio tratado se separa de la solución y se enjuaga con agua destilada para retirar la solución corrosiva.
8. Las muestras se dejan secar.
9. Se registra el peso del vidrio después del tratamiento para calcular el porcentaje de remoción y la eficiencia de la solución corrosiva.

En las gráficas de las Figuras 18, 19, 22 y 23 de la sección de resultados se muestran los efectos del tratamiento. Los datos de las graficas están en las Tablas 12 a 22 y 51 a 78 de los anexos.

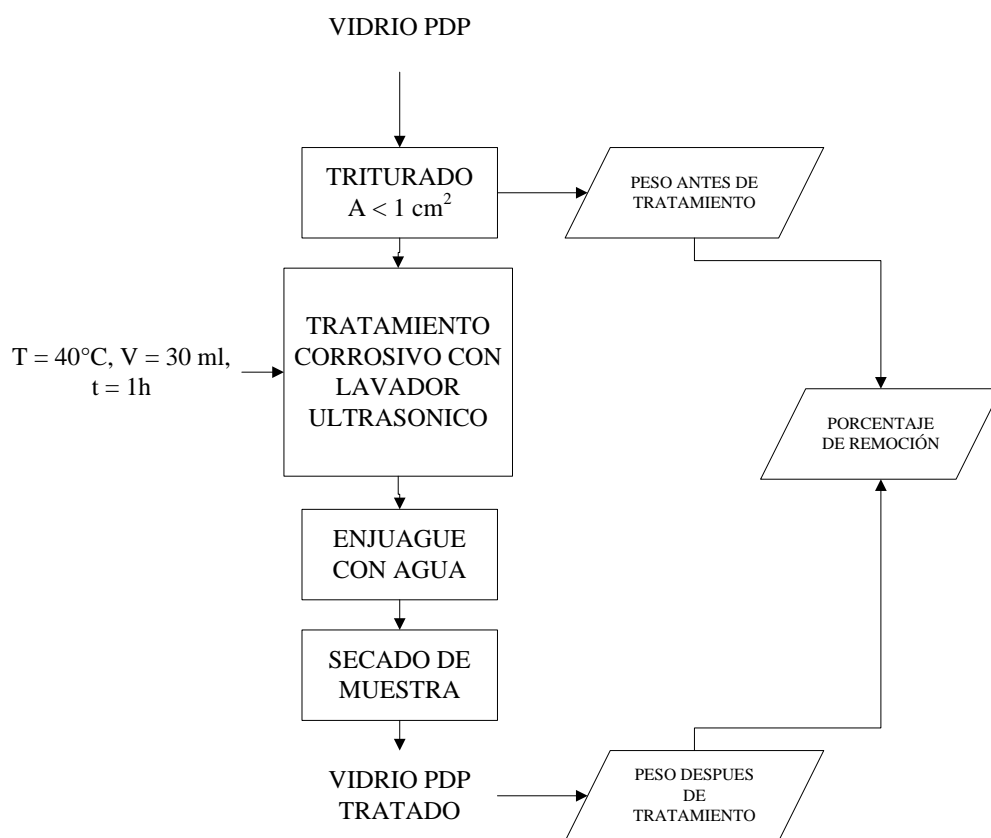


Figura 19. Diagrama de flujo del procedimiento experimental previo para el estudio del porcentaje de remoción para soluciones corrosivas.

El método descrito se realiza para evaluar el efecto de remoción utilizando ácido nítrico, ácido clorhídrico, agua regia, mezcla crómica, ácido sulfúrico, ácido fluorhídrico, hidróxido de sodio e hidróxido de potasio a concentración, temperatura y volumen constantes para tener un punto de comparación entre ellos.

III.2.3 Lavados corrosivos con los agentes óptimos.

La metodología para evaluar el efecto de los parámetros de tratamiento utilizando el mejor agente corrosivo ácido y alcalino, se establece considerando los siguientes puntos:

1. Seleccionar el método (LCCA o LCUS), que proporcionó el mejor porcentaje de remoción de las capas de recubrimiento.
2. El vidrio se trata durante una hora con 30 ml a diferentes concentraciones de la solución corrosiva (desde 0,01 M hasta concentrada). Se selecciona la mejor concentración de remoción.
3. A concentración constante (determinada en paso 1), el vidrio se trata con 30 ml durante una hora en la solución corrosiva a diferentes temperaturas (a 25, 40, 60 y 90°C). Se obtiene la temperatura óptima de tratamiento.
4. Se estudia el efecto de la cantidad de volumen de solución corrosiva de tratamiento durante una hora (1, 5, 10, 15, 20 ml/mg), a concentración y temperatura constante. El volumen óptimo de solución se determina en este punto.
5. El último parámetro evaluado es el tiempo (5 min, 15 min, 30 min, 45 min, 1 h, 2h). La muestra es tratada a las condiciones óptimas determinadas en los puntos 1 a 3.

En las gráficas de las Figuras 24 a 27 de la sección de resultados se muestran los efectos del tratamiento. Los datos de las graficas están en las Tablas 79 a 97 de los anexos.

IV. RESULTADOS

En esta sección se incluye los datos de remoción de las capas de recubrimiento del vidrio PDP, obtenidos por el tratamiento con distintas soluciones corrosivas en condiciones constantes, y se muestran los resultados del tratamiento con el mejor agente removedor variando los parámetros de concentración, temperatura, volumen de solución y tiempo.

IV.1 Estudio previo del porcentaje de remoción de capas mediante LCCA y LCUS.

El estudio previo de remoción se efectuó mediante dos etapas: la primera etapa con un tratamiento ácido y la segunda con tratamiento alcalino. Se estudió el efecto de remoción mediante LCCA y LCUS.

IV.1.1 Lavados ácidos.

IV.1.1.1 Lavados corrosivos con calentamiento y agitación.

Mediante el tratamiento con calentamiento y agitación, se realizó el estudio de 5 agentes corrosivos en un amplio rango de concentraciones, desde una solución diluida hasta concentrada. Para el tratamiento se fijaron condiciones constantes para la comparación.

Condiciones contantes:

$T = 40^{\circ}\text{C}$

$V = 30 \text{ ml}$

$t = 1 \text{ h}$

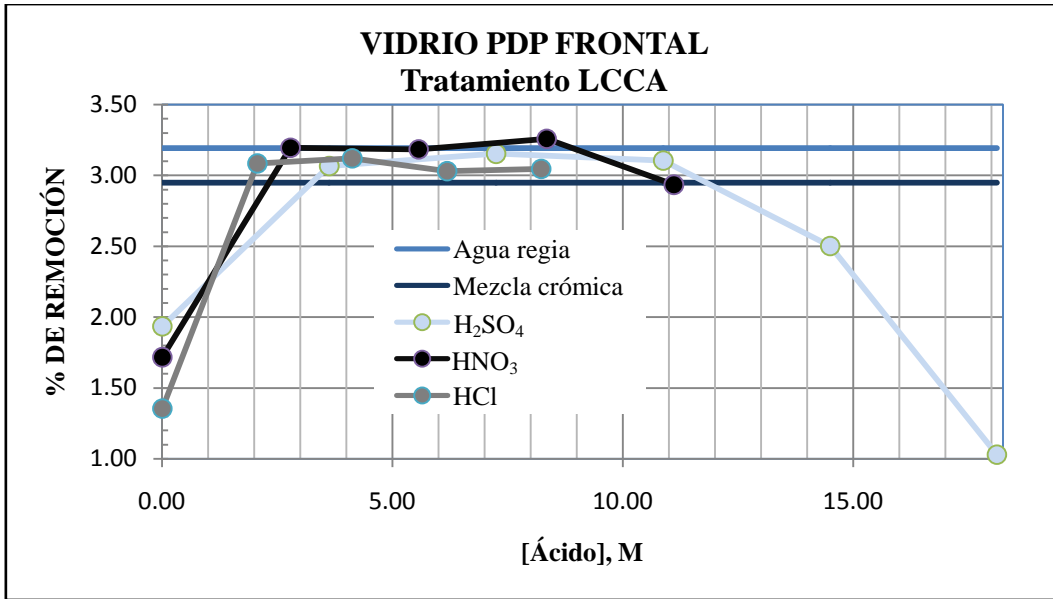


Figura 20. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 5 ácidos respecto a la concentración.

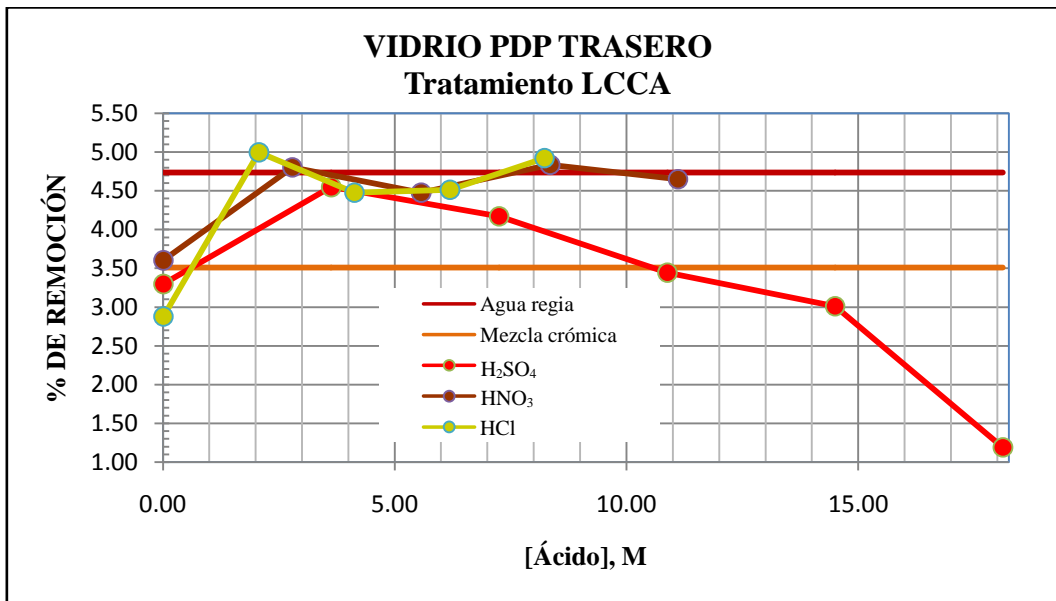


Figura 21. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 5 ácidos respecto a la concentración.

IV.1.1.2 Lavados corrosivos con ultrasonido.

Mediante el tratamiento con ultrasonido se realizó el estudio de los 5 agentes corrosivos utilizados en LCCA en el mismo rango de concentraciones. Para el tratamiento se fijaron condiciones constantes para la comparación.

Condiciones contantes:

T = 40°C

V = 30 ml

t = 1 h

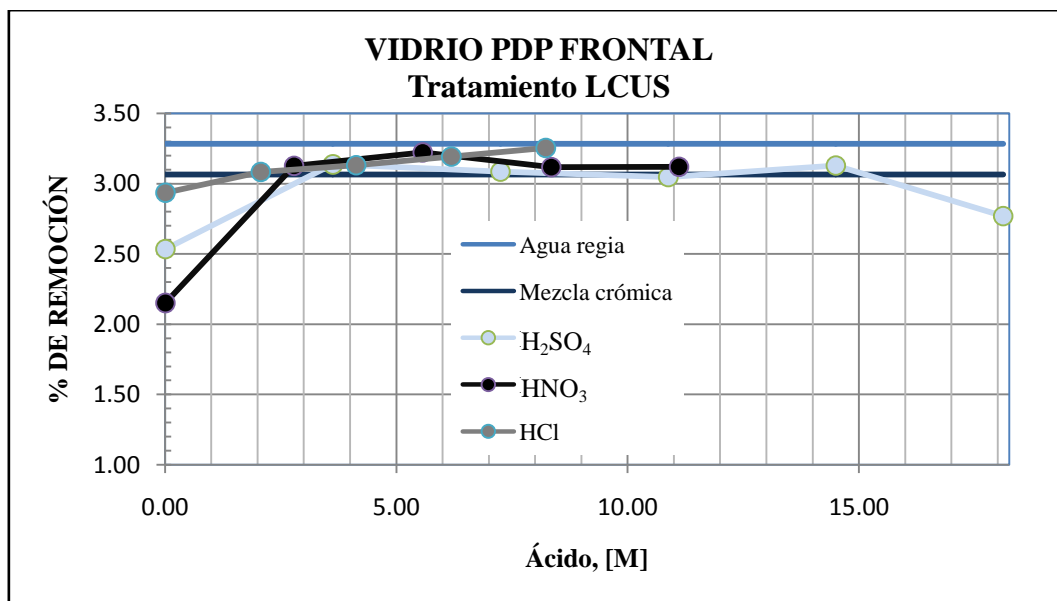


Figura 22. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 5 ácidos respecto a la concentración.

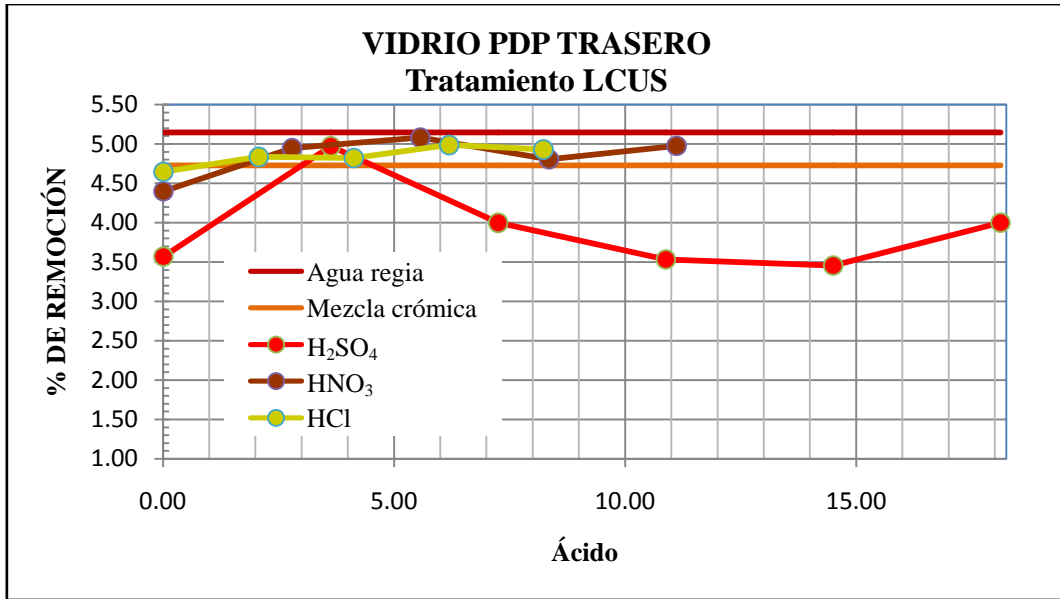


Figura 23. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 5 ácidos respecto a la concentración.

IV.1.2 Lavados alcalinos.

IV.1.2.1 Lavados corrosivos con calentamiento y agitación.

Mediante el tratamiento con calentamiento y agitación se realizó el estudio de 2 agentes corrosivos en un amplio rango de concentraciones, desde una solución diluida hasta concentrada. Para el tratamiento se fijaron condiciones constantes para la comparación.

Condiciones contantes:

T = 40°C

V = 30 ml

t = 1 h

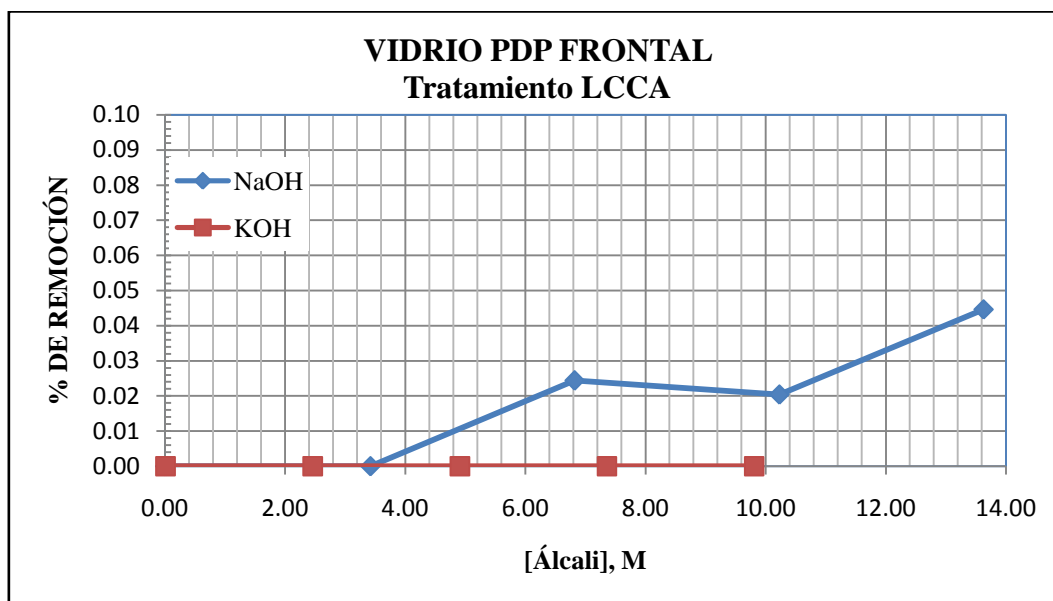


Figura 24. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 2 álcalis respecto a la concentración.

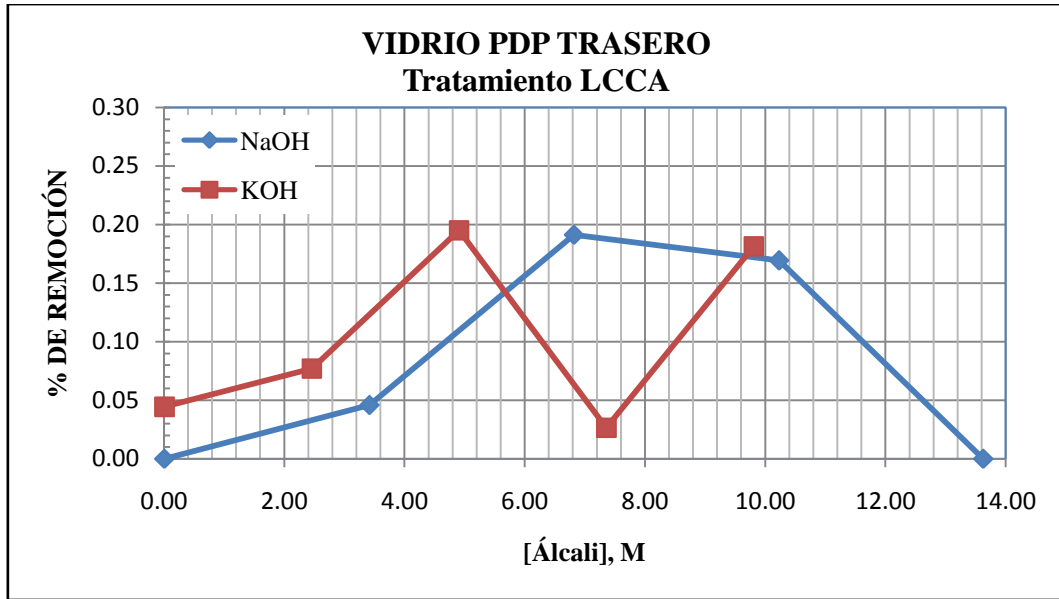


Figura 25. Estudio previo LCCA de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 2 álcalis respecto a la concentración.

IV.1.2.2 Lavados corrosivos con ultrasonido.

Mediante el tratamiento con ultrasonido se realizó el estudio de los 2 agentes corrosivos utilizados en LCCA en el mismo rango de concentraciones. Para el tratamiento se fijaron condiciones constantes para la comparación.

Condiciones contantes:

$T = 40^{\circ}\text{C}$

$V = 30 \text{ ml}$

$t = 1 \text{ h}$

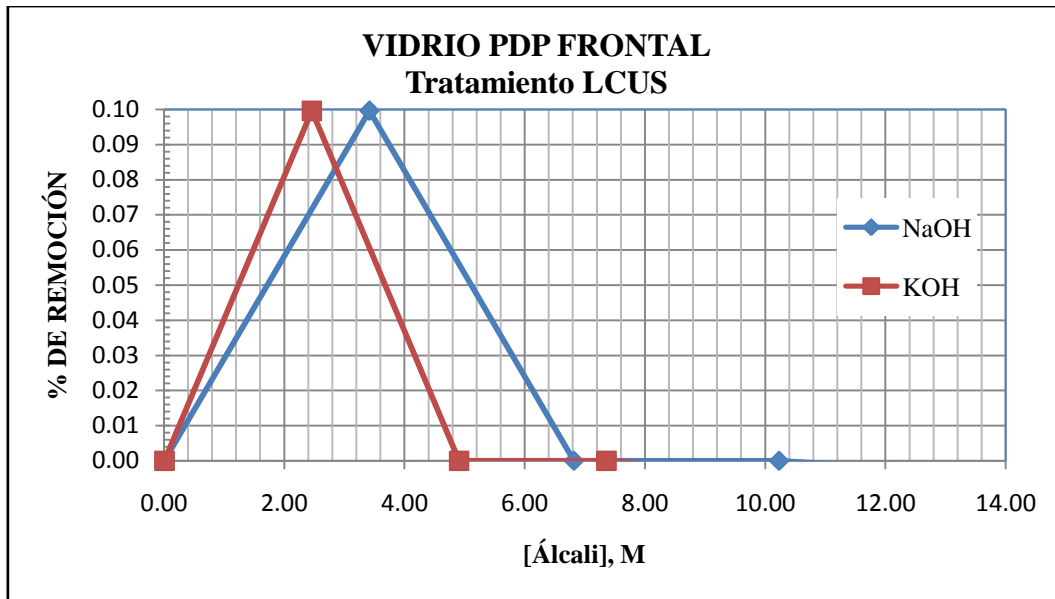


Figura 26. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP frontal con 2 álcalis respecto a la concentración.

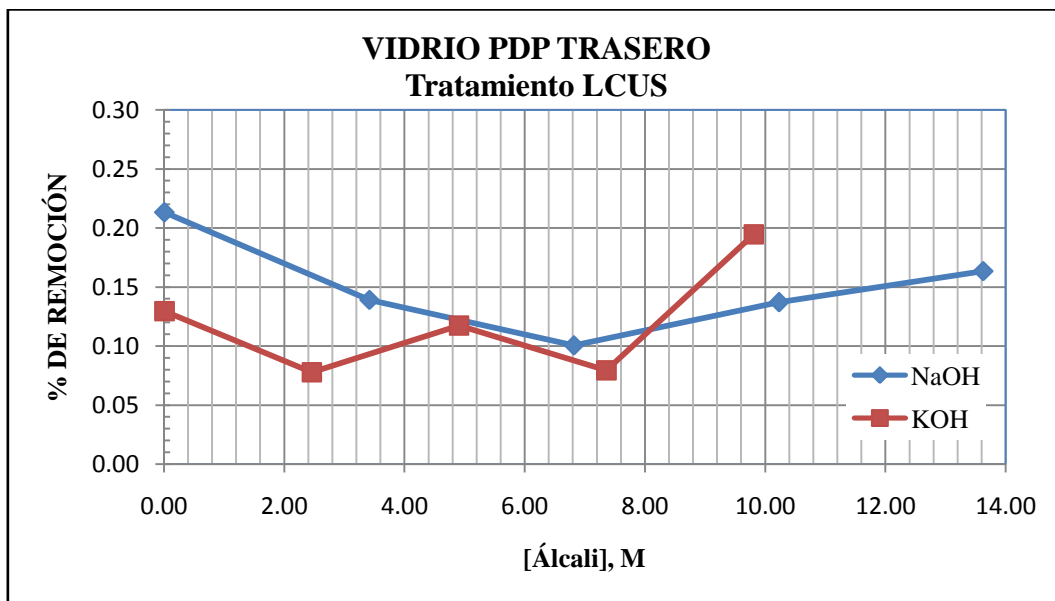


Figura 27. Estudio previo LCUS de la remoción de capas del vidrio PDP trasero con 2 álcalis respecto a la concentración.

IV.2. Tratamiento LCUS del vidrio PDP con agua regia e hidróxido de sodio.

Como resultado del estudio previo de la remoción de capas de recubrimiento utilizando ácidos, se determinó el primer tratamiento con agua regia y el segundo tratamiento con hidróxido de sodio. Estas soluciones presentaron las mejores características de agentes corrosivos utilizando el lavador con ultrasonido (LCUS).

A continuación se muestran los resultados de la evaluación de remoción variando los parámetros de tiempo y volumen de agua regia e hidróxido de sodio mediante LCUS.

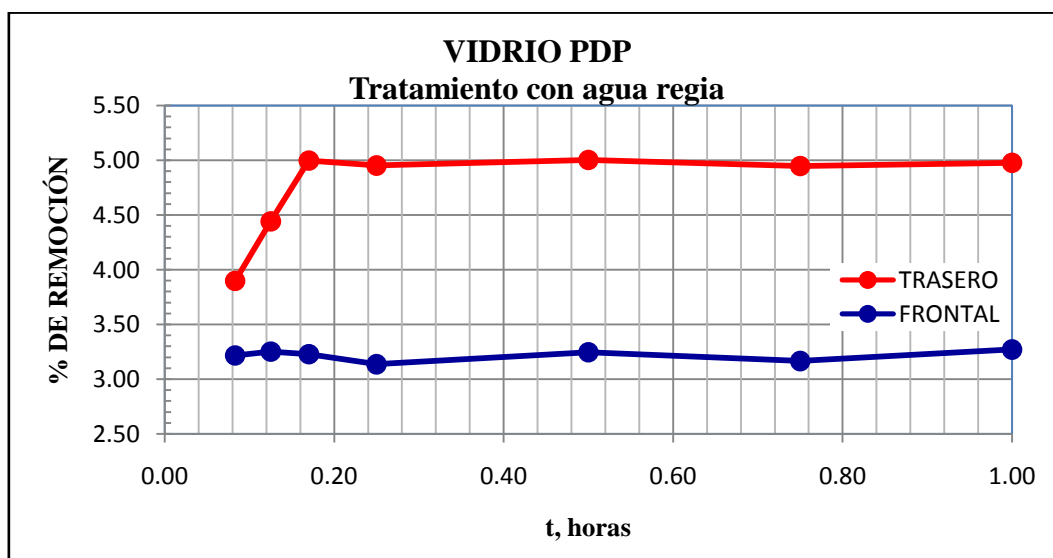


Figura 28. Efecto del tiempo de tratamiento con agua regia sobre la remoción de capas de recubrimientos del vidrio PDP.

Las imágenes de microscopio de las muestras de la Figura 24 se encuentran en las tablas 79 a 84 de los anexos.

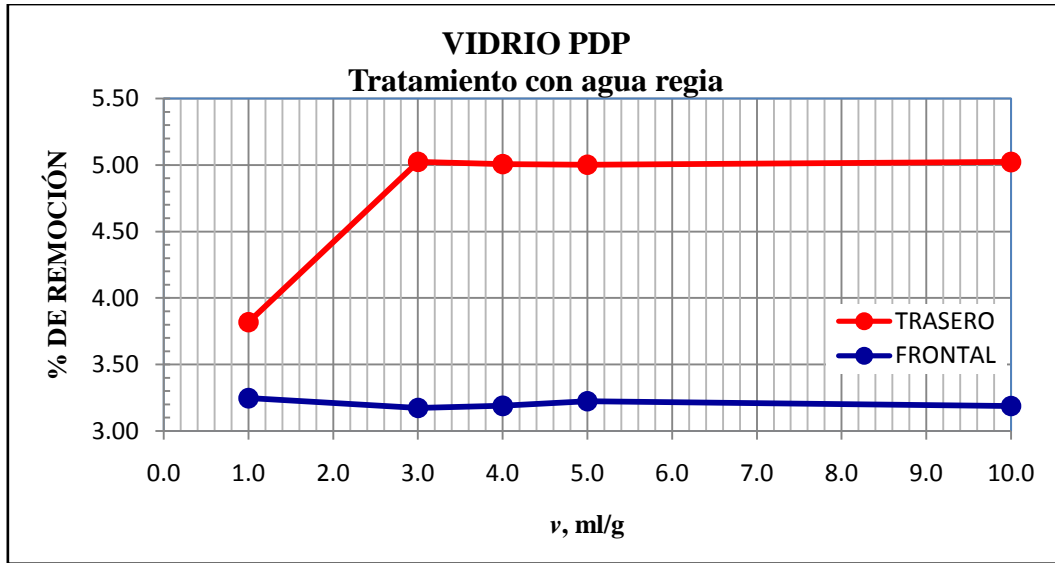


Figura 29. Efecto del volumen de agua regia por gramo de vidrio PDP sobre la remoción de las capas de recubrimientos.

Las imágenes de microscopio de las muestras de la Figura 25 se encuentran en las tablas 85 a 90 de los anexos.

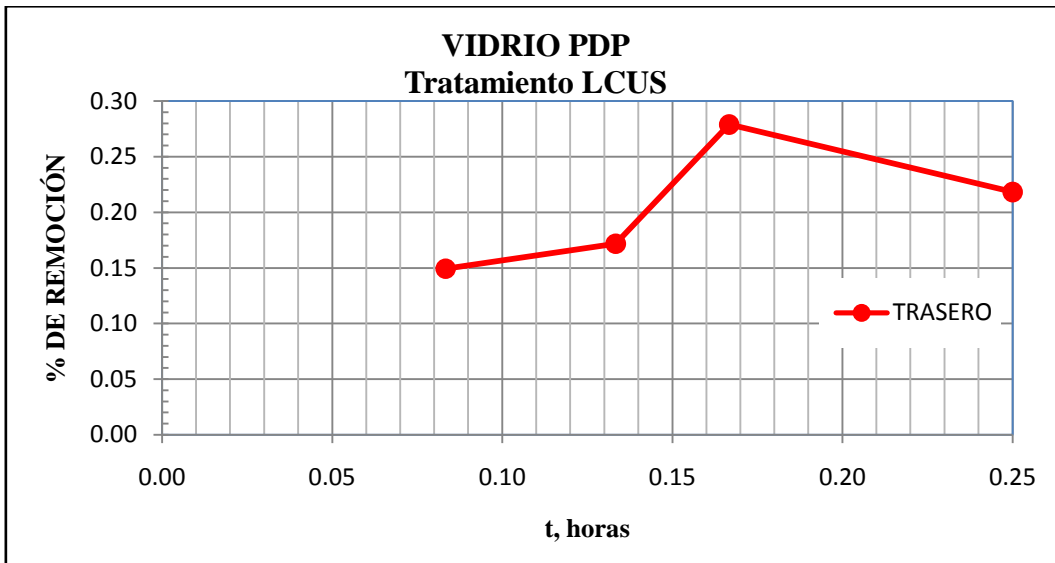


Figura 30. Efecto del tiempo de tratamiento con hidróxido de sodio sobre la remoción de capas de recubrimientos del vidrio PDP.

Las imágenes de microscopio de las muestras de la Figura 26 se encuentran en las tablas 91 a 94 de los anexos

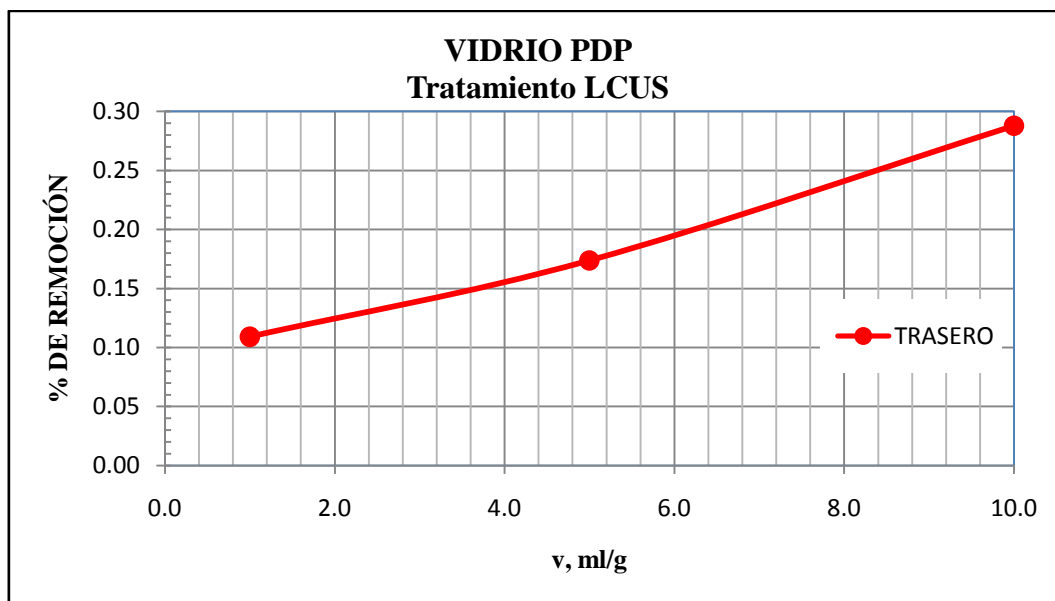


Figura 31. Efecto del volumen de hidróxido de sodio por gramo de vidrio PDP sobre la remoción de las capas de recubrimientos.

Las imágenes de microscopio de las muestras de la Figura 27 se encuentran en las tablas 95 a 97 de los anexos.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

V.1 Discusión.

V.1.1 Remoción de las capas superficiales de los recubrimientos del vidrio de PDP.

El vidrio PDP residual se pudo recuperar utilizando el tratamiento de neutralización con ácidos y álcalis.

El proceso de evaluación de la remoción de capas de recubrimiento del vidrio PDP, se realizó variando la concentración de los 5 ácidos (agua regia, mezcla crómica, ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido clorhídrico) y 2 bases (hidróxido de sodio e hidróxido de potasio) estudiadas para determinar los mejores agentes corrosivos.

Se realizó un estudio previo del comportamiento de remoción de los 5 ácidos variando la concentración mediante el LCCA y LCUS. El porcentaje de remoción en peso se calculo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ peso} = 100 \left(\frac{\text{peso muestra sin tratar} - \text{peso muestra tratada}}{\text{peso muestra sin tratar}} \right)$$

Las gráficas de las Figuras 16 y 17 muestran el efecto de LCCA del tratamiento ácido sobre la remoción de las capas del vidrio PDP frontal y trasero, respectivamente. El mejor efecto de remoción de capas del vidrio PDP frontal se consiguió utilizando ácido nítrico 8,35 M, al remover el 3,26% de las capas (Figura 16). El porcentaje mayor de remoción de capas del vidrio PDP trasero obtenido es de 5,00% utilizando ácido sulfúrico 2,07 M (Figura 17).

Las Figuras 18 y 19 muestran el efecto de remoción de las capas mediante LCUS del tratamiento ácido para el vidrio PDP frontal y trasero. El porcentaje de remoción máximo

obtenido es del 3,28% para las capas del vidrio PDP frontal (Figura 18) y del 5,15% para las capas del vidrio PDP trasero (Figura 19), en ambos casos, utilizando agua regia.

En las Figuras 20 y 21 se muestran las gráficas del efecto de remoción alcalina LCCA para el vidrio PDP frontal y trasero. Con hidróxido de sodio 13,63 M se obtuvo el mejor efecto de remoción para el vidrio PDP frontal, 0,04% (Figura 20). El máximo porcentaje de remoción de capas del vidrio PDP trasero de 0,20%, se obtuvo utilizando hidróxido de sodio 4,91 M (Figura 21).

En las Figuras 22 y 23 se muestran los resultados del estudio previo del efecto de remoción alcalina por LCUS para el vidrio PDP frontal y trasero, respectivamente. Los porcentajes máximos de 0,10% de remoción de las capas del vidrio PDP frontal (Figura 22) y de 0,21% de remoción de las capas del vidrio PDP trasero (Figura 23), se obtuvieron mediante el tratamiento alcalino con hidróxido de sodio 3,42 M y 0,01 M, respectivamente.

El mejor agente corrosivo ácido de remoción para las capas frontal y trasera es el agua regia mediante el LCUS, el cual remueve el 3,28% de las capas del vidrio PDP frontal y el 5,15% de las capas del vidrio PDP trasero.

El segundo tratamiento, posterior a la etapa ácida, se evaluó mediante el estudio previo de remoción de 2 álcalis variando la concentración de las bases en LCCA y LCUS. El hidróxido de sodio a 0,01 M resultó ser el mejor agente removedor LCUS. El efecto de remoción de capas del vidrio PDP frontal no es representativo, por lo cual no se consideró importante para la selección de la concentración del álcali.

Las fotografías de microscopio de las muestras del tratamiento previo ácido y alcalino, se encuentran en las Tablas 5 a 78 de los anexos.

Determinados los agentes corrosivos óptimos de remoción, se variaron los parámetros de tiempo y volumen de solución de tratamiento, para establecer las condiciones óptimas del proceso de recuperación en ambas etapas.

El tiempo óptimo del tratamiento ácido para la remoción de las capas determinado fue de 10 minutos en el lavador ultrasónico (Figura 24), en el cual se remueve el 3,23% de las capas del vidrio PDP frontal y el 5,00% de las capas del vidrio trasero.

Variando la cantidad de volumen de ácido por gramo de vidrio tratado, se determinó que el volumen mínimo para remover las capas, llegando al rendimiento constante, es de 3 ml/g (Figura 25). Utilizando este volumen se remueve el 3,17% de las capas del vidrio PDP frontal y el 5,02% de las capas del vidrio PDP trasero.

Por lo tanto, estableciendo las condiciones constantes de tiempo y volumen se remueve el 3,17% y el 5,02% de las capas del vidrio PDP frontal y trasero, respectivamente, utilizando agua regia.

Las condiciones óptimas para el segundo tratamiento LCUS de la recuperación, utilizando hidróxido de sodio como agente corrosivo, se establecieron variando el tiempo de lavado y el volumen de álcali necesario para remover las capas.

El tiempo mínimo necesario para remover el máximo porcentaje de capas es de 10 minutos (Figura 26). El volumen óptimo es de 10 ml/g (Figura 27). El porcentaje de remoción a estas condiciones es de 0,10% para el vidrio PDP frontal y de 0,29% para el vidrio PDP trasero.

La concentración de hidróxido de sodio óptima se determinó en el estudio previo alcalino [NaOH] = 0,01 M.

La temperatura se mantuvo constante en 40°C en ambas etapas por utilizar el tratamiento corrosivo con ultrasonido (LCUS).

La recuperación del vidrio PDP se logra utilizando dos etapas de tratamiento. En la primera etapa se utiliza agua regia, removiendo 3,17% de las capas del vidrio PDP frontal y 5,02% de las capas del vidrio PDP trasero; en la segunda etapa se utiliza hidróxido de sodio, removiendo el 0,10% y el 0,29% de las capas de recubrimientos del vidrio PDP frontal y trasero, respectivamente. Las condiciones óptimas de tratamiento se muestran en la Tabla 4.

El proceso de recuperación con las 2 etapas remueve 3,27% y 5,31% en peso de las capas del vidrio frontal y trasero, removiendo el 8,58% total. Este porcentaje corresponde a la remoción del 97% de las capas.

$$\% \text{ total de remoción} = 100 - 100 \frac{(8,87 - 8,58)}{8,87}$$

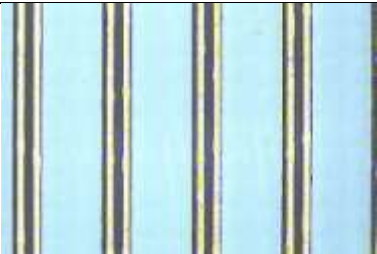
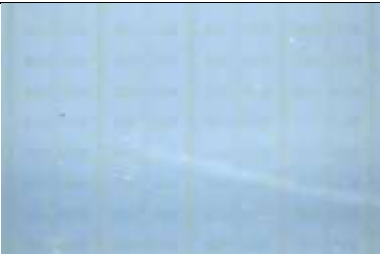

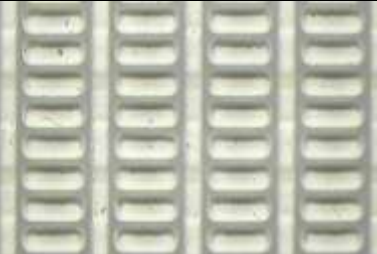


Tabla 4. Condiciones óptimas del tratamiento de recuperación de vidrio PDP.

	Primer tratamiento Agua regia	Segundo Tratamiento Hidróxido de sodio
Temperatura, °C	40°C	40°C
Volumen de solución por gramo de vidrio PDP, ml/g	3	10
Tiempo de tratamiento, min	10	10
Concentración de solución corrosiva, M	NA	0,01

Las imágenes de microscopio del tratamiento para definir las condiciones óptimas de las 2 etapas del proceso de recuperación se muestran en las tablas 79 a 97 de los anexos.

En la Tabla 5 se muestra el efecto del tratamiento de 2 etapas para la remoción de las capas de recubrimientos del vidrio PDP frontal y trasero. En la primera columna se incluye imágenes microscópicas de las muestras sin tratar. En la segunda columna se muestra el vidrio tratado mediante agua regia e hidróxido de sodio. Las capas remanentes que se observan, corresponde al 3% en peso del total de los recubrimientos. En la Tabla 5 se incluye una imagen del vidrio PDP sin capas de recubrimientos para una comparación con las muestras tratadas.

Tabla 5. Efecto visual del tratamiento corrosivo del vidrio PDP.

Muestra sin tratar	Muestra a condiciones óptimas	Vidrio PDP limpio
	 <p data-bbox="657 1346 1013 1373">LCUS-AR-5V-1F (Frontal)</p>	
	 <p data-bbox="657 1648 1013 1675">LCUS-HS-3V-1T (Trasero)</p>	

V.1.2 Minimización de la generación de residuos peligrosos.

Los residuos sólidos peligrosos de vidrio PDP, se disponen mediante la estabilización química de los metales peligrosos y su posterior confinamiento. No hay recuperación del sólido residual.

Con el tratamiento de neutralización utilizado, se recupera el cien por ciento del vidrio. Los óxidos se remueven con las soluciones corrosivas y los residuos generados están en fase líquida.

Por cada gramo de vidrio PDP se requieren 3 ml de agua regia, 10 ml de hidróxido de sodio y 2 ml de agua para enjuagar el vidrio recuperado. Se generan 15 ml de residuos líquidos.

Los líquidos corrosivos producidos por la recuperación del vidrio PDP pueden ser enviados a una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con la NOM-001-ECOL-1996 “Que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales” (10), o con la NOM-002-ECOL-1996 “Que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal” (11), según aplique.

V.1.3 Diseño del proceso a nivel laboratorio para recuperar vidrio de PDP.

La recuperación del vidrio PDP consta de 2 etapas.

La primera etapa consiste en el tratamiento ácido con agua regia. Las condiciones óptimas de tratamiento son las siguientes:

Temperatura = 40°C, v = 3 ml/g y tiempo de tratamiento = 10 minutos.

La segunda etapa es un tratamiento alcalino utilizando hidróxido de sodio. Los parámetros óptimos son:

Temperatura = 40°C, $v = 10 \text{ ml/g}$, tiempo de tratamiento = 10 minutos y $[\text{NaOH}] = 0,01 \text{ M}$.

Considerando las dos etapas de tratamiento que se realizan para limpiar el vidrio PDP, se diseñó el siguiente diagrama de proceso, para la recuperación mediante el lavado corrosivo, con ultrasonido:

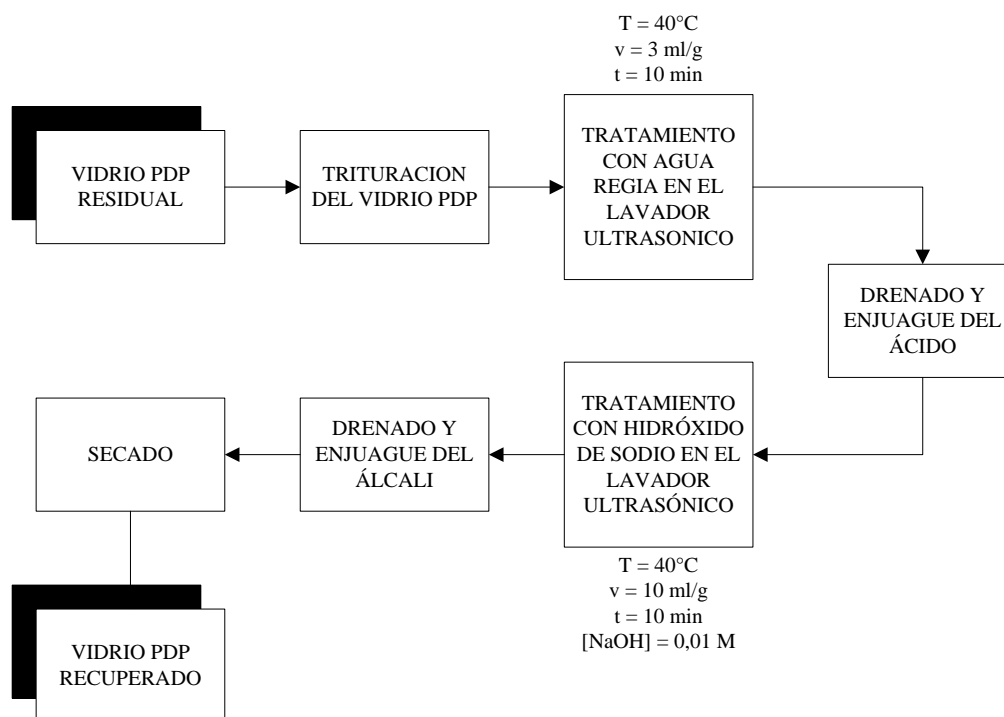


Figura 32. Diagrama de flujo de la recuperación de vidrio PDP con 2 etapas.

V.1.4 Justificación legal de la recuperación de vidrio PDP en el sitio de generación.

El proceso de recuperación de vidrio PDP, dentro de una empresa extranjera se podría realizar de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Ley General de Equilibrio Ecológico

para la Protección al Ambiente, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y en sus correspondientes reglamentos (12).

En el artículo 94 de la LGPGIR se establece que:

“Las industrias que utilicen insumos sujetos al régimen de importación temporal para producir mercancías de exportación, estarán obligadas a informar a la Secretaría acerca de los materiales importados, señalando su volumen y características de peligrosidad, así como sobre los volúmenes y características de los residuos peligrosos que se generen a partir de ellos.”

“Cuando dichos residuos peligrosos no sean reciclables, deberán ser retornados al país de origen, notificando a la Secretaría, mediante aviso, el tipo, volumen y destino de los residuos peligrosos retornados.”

“Cuando sí lo sean, podrán ser reciclados dentro de las propias instalaciones en donde se generan o a través de empresas de servicios autorizadas, de conformidad con las disposiciones de esta Ley y otros ordenamientos aplicables”(3).

Conforme a lo anterior, teniendo el procedimiento para la recuperación de vidrio PDP, se puede recuperar y reciclar el residuo dentro de las instalaciones de la empresa, reportando a la dependencia ambiental la información requerida sobre el proceso.

El vidrio PDP es susceptible de recuperar y reciclar, por lo cual, la SEMARNAT autorizaría el reciclaje de este residuo extranjero mediante el trámite administrativo de “Aviso de Materiales Importados de Régimen Temporal y Retorno de Residuos Peligrosos”.

La empresa generadora o la empresa recicladora, estaría obligada a presentar la siguiente información en el formato establecido por la SEMARNAT:



SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA
PROTECCIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE MATERIALES
Y ACTIVIDADES RIESGOSAS
AVISO DE MATERIALES IMPORTADOS Y RETORNO DE RESIDUOS PELIGROSOS
 Modalidad: Aviso de reciclaje de residuos peligrosos no retornados

Razón social:

INFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.

Nombre	Cantidad (ton)	Código de peligrosidad de los residuos (CPR)											Clave	No. C.A.S.	DESTINO DE RECICLAJE			
		C	R	E	T	Te	Th	Ti	I	S	M	E.S.A.			D.I.			

E.S.A. / EMPRESA DE SERVICIO AUTORIZADA POR LA SECRETARÍA
 D.I. / DENTRO DE LAS INSTALACIONES DONDE SE GENERO EL RESIDUO PELIGROSO

 Nombre y firma del representante legal de la empresa

Sello de la Secretaría

Fecha de recepción:

Por este medio certifico que toda la información incluida en éste y todos los documentos adicionales es completa y verídica, y que todos los peligros conocidos o sospechados están declarados.

Figura 33. Aviso de materiales importados y retorno de residuos peligrosos. Modalidad: Aviso de reciclaje de residuos peligrosos no retornados.

V.2 Conclusiones.

Con el tratamiento de remoción de óxidos metálicos mediante el uso de soluciones corrosivas, se logró la remoción del 97% de las capas de recubrimiento que contiene el vidrio PDP.

El proceso de recuperación se diseñó con 2 etapas de lavados corrosivos en un equipo ultrasónico. La primera etapa se realiza con agua regia, con un posterior drenado del ácido y enjuague del vidrio con agua para remover el ácido sobrante. Al vidrio tratado con ácido se le da un segundo tratamiento corrosivo utilizando hidróxido de sodio.

Los parámetros óptimos determinados para cada etapa son:

Primera etapa (agua regia): $T = 40^{\circ}\text{C}$, $v = 3 \text{ ml/g}$, $t = 10 \text{ min}$

Segunda etapa (hidróxido de sodio): $T = 40^{\circ}\text{C}$, 10 ml/g , $t = 10 \text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01 \text{ M}$.

En el método de recuperación se generan residuos líquidos, recuperando todo el sólido. La remoción de los contaminantes peligrosos de las capas de recubrimiento con las soluciones líquidas corrosivas, minimiza el volumen de residuos peligrosos generados y facilita el tratamiento de los residuos resultantes en una planta de tratamiento de aguas residuales.

El proceso de recuperación de un residuo peligroso en la empresa donde se genera, es factible cumpliendo con los requerimientos legales y especificaciones de las dependencias ambientales mexicanas. Se notificara a la SEMARNAT la cantidad de residuos peligrosos no retornados que serán reciclados, y se dispondrán de ellos como materia prima de proceso alterno.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar los usos alternos del vidrio PDP recuperado.
2. Recuperar elementos de valor económico mediante la extracción selectiva de los metales de las soluciones corrosivas residuales y determinar el incremento del valor económico del vidrio recuperado.
3. Determinar la composición de las capas de recubrimientos del vidrio PDP para evaluar la recuperación de los metales de valor por métodos electroquímicos.
4. Diseñar el proceso electroquímico específico para recuperar los metales de valor económico.
5. Desarrollar el proceso a nivel industrial para realizar el estudio económico de la recuperación en el sitio de generación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **RLGPGIR.** *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.* México : Diario Oficial de la Federación 11 diciembre 2006, 2006.
2. **LGEEPA.** *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.* México : Diario Oficial de la Federación 5 julio 2007, 2007.
3. **LGPGIR.** *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.* México : Diario Oficial de la Federación 19 junio 2007, 2007.
4. **Davis, Mackenzie L. y Masten, Susan J.** *Ingeniería y ciencias ambientales.* 1a edición. EUA : McGraw-Hill, 2005.
5. **NOM-052-SEMARNAT-2005.** *Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.* México : Diario Oficial de la Federación 23 junio 2006, 2006.
6. **Skoog, D. A. y West, D. M.** *Fundamentos de química analítica.* 4a edición. EUA : Reverté, 1996.
7. **Samsung.** SERIWorld. *Samsung Economic Research Institute.* [En línea] 2004-2009. [Citado el: 16 de Julio de 2009.] www.seriworld.org.
8. **Ryley, James.** FreePatentsOnline.com. [En línea] 2004-2009. [Citado el: 16 de Julio de 2009.] www.freepatentsonline.com.

9. **Lee, Ching-Hwa y Hsi, Chi-Shiung.** *Recycling of Scrap Cathode Ray Tubes.* 2005. págs. 69-75.

10. **NOM-001-ECOL-1996.** *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.* México : Diario Oficial de la Federación 6 enero 1997, 2006.

11. **NOM-002-ECOL-1996.** *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.* México : Diario Oficial de la Federación 3 junio 1998, 1996.

12. *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* [En línea] 31 de Octubre de 2008. [Citado el: 16 de Julio de 2009.] www.semarnat.gob.mx.

13. **NOM-008-SCFI-2002.** *Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida.* México : Diario Oficial de la Federación 27 noviembre 2002, 2002.

ANEXOS

A1.Tablas de datos.

Tabla 6. LCCA con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	
Agua regia		0,01	
Vidrio		# muestra Peso, g	
Frontal	Sin tratar	LCCA-AR-1C-1F	0,1652
	Tratado		0,1599
	Sin tratar	LCCA-AR-1C-2F	0,1695
	Tratado		0,1641
	Sin tratar	LCCA-AR-1C-3F	0,1540
	Tratado		0,1491
% de remoción			3,19
Trasero	Sin tratar	LCCA-AR-1C-1T	0,1679
	Tratado		0,1600
	Sin tratar	LCCA-AR-1C-2T	0,1581
	Tratado		0,1506
	Sin tratar	LCCA-AR-1C-3T	0,1239
	Tratado		0,1180
% de remoción			4,73

Tabla 7. LCCA con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	
Mezcla crómica		0,01	
Vidrio		# muestra Peso, g	
Frontal	Sin tratar	LCCA-MC-1C-1F	0,1620
	Tratado		0,1573
	Sin tratar	LCCA-MC-1C-2F	0,1511
	Tratado		0,1467
	Sin tratar	LCCA-MC-1C-3F	0,1411
	Tratado		0,1368
% de remoción			2,95
Trasero	Sin tratar	LCCA-MC-1C-1T	0,1963
	Tratado		0,1895
	Sin tratar	LCCA-MC-1C-2T	0,1901
	Tratado		0,1834
	Sin tratar	LCCA-MC-1C-3T	0,1718
	Tratado		0,1657
% de remoción			3,51

Tabla 8. LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	2	3	4	5	6						
[H ₂ SO ₄], M		0,01	3,63	7,25	10,88	14,50	18,12						
Vidrio		# muestra Peso, g											
Frontal	Sin tartar	LCCA-AS-1C-1F	0,2984	LCCA-AS-2C-1F	0,3904	LCCA-AS-3C-1F	0,2888	LCCA-AS-4C-1F	0,3820	LCCA-AS-5C-1F	0,3778	LCCA-AS-6C-1F	0,2343
	Tratado		0,2926		0,3784		0,2798		0,3701		0,3691		0,2319
	Sin tartar	LCCA-AS-1C-2F	0,2727	LCCA-AS-2C-2F	0,2695	LCCA-AS-3C-2F	0,2778	LCCA-AS-4C-2F	0,3187	LCCA-AS-5C-2F	0,3323	LCCA-AS-6C-2F	0,2654
	Tratado		0,2674		0,2613		0,2690		0,3088		0,3237		0,2626
	Sin tartar	LCCA-AS-1C-3F	0,2710	LCCA-AS-2C-3F	0,2271	LCCA-AS-3C-3F	0,2545	LCCA-AS-4C-3F	0,2524	LCCA-AS-5C-3F	0,2409	LCCA-AS-6C-3F	0,2198
	Tratado		0,2658		0,2201		0,2464		0,2446		0,2344		0,2176
% de remoción			1,94		3,07		3,15		3,11		2,50		1,03
Trasero	Sin tartar	LCCA-AS-1C-1T	0,2757	LCCA-AS-2C-1T	0,3123	LCCA-AS-3C-1T	0,3302	LCCA-AS-4C-1T	0,3923	LCCA-AS-5C-1T	0,3188	LCCA-AS-6C-1T	0,2893
	Tratado		0,2669		0,2980		0,3169		0,3788		0,3094		0,2859
	Sin tartar	LCCA-AS-1C-2T	0,2605	LCCA-AS-2C-2T	0,3037	LCCA-AS-3C-2T	0,2603	LCCA-AS-4C-2T	0,2985	LCCA-AS-5C-2T	0,2965	LCCA-AS-6C-2T	0,3109
	Tratado		0,2519		0,2901		0,2492		0,2883		0,2875		0,3071
	Sin tartar	LCCA-AS-1C-3T	0,2494	LCCA-AS-2C-3T	0,2986	LCCA-AS-3C-3T	0,2559	LCCA-AS-4C-3T	0,2734	LCCA-AS-5C-3T	0,2348	LCCA-AS-6C-3T	0,2576
	Tratado		0,2409		0,2849		0,2450		0,2639		0,2276		0,2546
% de remoción			3,30		4,55		4,17		3,44		3,01		1,19

Tabla 9. LCCA con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	2	3	4	5					
[HNO ₃], M		0,01	2,79	5,57	8,35	11,11					
Vidrio											
Frontal	Sin tartar	LCCA-AN-1C-1F	0,1540	LCCA-AN-2C-1F	0,1441	LCCA-AN-3C-1F	0,1349	LCCA-AN-4C-1F	0,1209	LCCA-AN-5C-1F	0,1915
	Tratado		0,1534		0,1394		0,1309		0,1168		0,1857
	Sin tartar	LCCA-AN-1C-2F	0,1326	LCCA-AN-2C-2F	0,1377	LCCA-AN-3C-2F	0,1340	LCCA-AN-4C-2F	0,1108	LCCA-AN-5C-2F	0,1708
	Tratado		0,1289		0,1332		0,1294		0,1073		0,1659
	Sin tratar	LCCA-AN-1C-3F	0,1036	LCCA-AN-2C-3F	0,1218	LCCA-AN-3C-3F	0,0954	LCCA-AN-4C-3F	0,1027	LCCA-AN-5C-3F	0,1454
	Tratado		0,1012		0,1181		0,0924		0,0994		0,1412
% de remoción		1,72	3,20	3,18	3,26	2,93					
Trasero	Sin tratar	LCCA-AN-1C-1T	0,1275	LCCA-AN-2C-1T	0,1476	LCCA-AN-3C-1T	0,1983	LCCA-AN-4C-1T	0,1930	LCCA-AN-5C-1T	0,2131
	Tratado		0,1227		0,1402		0,1889		0,1841		0,2032
	Sin tratar	LCCA-AN-1C-2T	0,1072	LCCA-AN-2C-2T	0,1433	LCCA-AN-3C-2T	0,1423	LCCA-AN-4C-2T	0,1361	LCCA-AN-5C-2T	0,2037
	Tratado		0,1033		0,1373		0,1361		0,1293		0,1942
	Sin tratar	LCCA-AN-1C-3T	0,0956	LCCA-AN-2C-3T	0,0881	LCCA-AN-3C-3T	0,1041	LCCA-AN-4C-3T	0,0929	LCCA-AN-5C-3T	0,1531
	Tratado		0,0924		0,0833		0,0998		0,0882		0,1460
% de remoción		3,60	4,80	4,47	4,83	4,65					

Tabla 10. LCCA con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		2	3	4	5	6					
[HCl], M		0,01	2,07	4,13	6,19	8,23					
Vidrio											
Frontal	Sin tratar	LCCA-AC-1C-1F	0,1365	LCCA-AC-2C-1F	0,1390	LCCA-AC-3C-1F	0,1362	LCCA-AC-4C-1F	0,1332	LCCA-AC-5C-1F	0,1697
	Tratado		0,1370		0,1348		0,1321		0,1295		0,1646
	Sin tratar	LCCA-AC-1C-2F	0,1363	LCCA-AC-2C-2F	0,1235	LCCA-AC-3C-2F	0,1316	LCCA-AC-4C-2F	0,1241	LCCA-AC-5C-2F	0,1647
	Tratado		0,1330		0,1197		0,1272		0,1202		0,1596
	Sin tratar	LCCA-AC-1C-3F	0,1185	LCCA-AC-2C-3F	0,1070	LCCA-AC-3C-3F	0,1231	LCCA-AC-4C-3F	0,1155	LCCA-AC-5C-3F	0,1481
	Tratado		0,1160		0,1036		0,1194		0,1118		0,1436
% de remoción			1,35		3,09		3,12		3,03		3,05
Trasero	Sin tratar	LCCA-AC-1C-1T	0,2001	LCCA-AC-2C-1T	0,2292	LCCA-AC-3C-1T	0,2091	LCCA-AC-4C-1T	0,1503	LCCA-AC-5C-1T	0,2303
	Tratado		0,1948		0,2182		0,1998		0,1437		0,2189
	Sin tratar	LCCA-AC-1C-2T	0,1937	LCCA-AC-2C-2T	0,1408	LCCA-AC-3C-2T	0,1968	LCCA-AC-4C-2T	0,1338	LCCA-AC-5C-2T	0,2078
	Tratado		0,1878		0,1335		0,1880		0,1278		0,1975
	Sin tratar	LCCA-AC-1C-3T	0,1101	LCCA-AC-2C-3T	0,1243	LCCA-AC-3C-3T	0,1035	LCCA-AC-4C-3T	0,0814	LCCA-AC-5C-3T	0,1672
	Tratado		0,1068		0,1179		0,0988		0,0775		0,1591
% de remoción			2,88		5,00		4,48		4,51		4,92

Tabla 11. LCCA con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

Álcali		1		2		3		4		5	
NaOH		0,01		3,42		6,82		10,23		13,63	
Vidrio		# muestra Peso, g									
Frontal	Sin tratar	LCCA-HS-1C-1F	0,1503	LCCA-HS-1C-1F	0,1861	LCCA-HS-1C-1F	0,1727	LCCA-HS-1C-1F	0,1777	LCCA-HS-1C-1F	0,1639
	Tratado ácido		0,1454		0,1805		0,1669		0,1721		0,1588
	Tratado alcalino		0,1454		0,1805		0,1668		0,1720		0,1588
	Sin tratar	LCCA-HS-1C-2F	0,1254	LCCA-HS-1C-2F	0,1454	LCCA-HS-1C-2F	0,1361	LCCA-HS-1C-2F	0,1685	LCCA-HS-1C-2F	0,1497
	Tratado ácido		0,1213		0,1407		0,1320		0,1629		0,1450
	Tratado alcalino		0,1213		0,1407		0,1320		0,1629		0,1450
	Sin tratar	LCCA-HS-1C-3F	0,0800	LCCA-HS-1C-3F	0,0921	LCCA-HS-1C-3F	0,1152	LCCA-HS-1C-3F	0,1609	LCCA-HS-1C-3F	0,1491
	Tratado ácido		0,0777		0,0891		0,1116		0,1558		0,1447
	Tratado alcalino		0,0777		0,0891		0,1116		0,1558		0,1445
% de remoción ácida			3,18		3,14		3,18		3,21		3,07
% de remoción alcalina			0,00		0,00		0,02		0,02		0,04
% de remoción total			3,18		3,14		3,21		3,23		3,11
Trasero	Sin tratar	LCCA-HS-1C-1T	0,1771	LCCA-HS-2C-1T	0,1719	LCCA-HS-3C-1T	0,1765	LCCA-HS-4C-1T	0,1563	LCCA-HS-5C-1T	0,1452
	Tratado ácido		0,1688		0,1635		0,1676		0,1480		0,1375
	Tratado alcalino		0,1688		0,1634		0,1672		0,1477		0,1375
	Sin tratar	LCCA-HS-1C-2T	0,1535	LCCA-HS-2C-2T	0,1540	LCCA-HS-3C-2T	0,1409	LCCA-HS-4C-2T	0,1479	LCCA-HS-5C-2T	0,1152
	Tratado ácido		0,1463		0,1463		0,1342		0,1411		0,1094
	Tratado alcalino		0,1463		0,1462		0,1340		0,1408		0,1094
	Sin tratar	LCCA-HS-1C-3T	0,1423	LCCA-HS-2C-3T	0,1320	LCCA-HS-3C-3T	0,1232	LCCA-HS-4C-3T	0,1307	LCCA-HS-5C-3T	0,1074
	Tratado ácido		0,1366		0,1258		0,1168		0,1245		0,1016
	Tratado alcalino		0,1366		0,1258		0,1166		0,1244		0,1016
% de remoción ácida			4,48		4,87		4,99		4,90		5,25
% de remoción alcalina			0,00		0,05		0,19		0,17		0,00
% de remoción total			4,48		4,91		5,17		5,06		5,25
Volumen de AR, ml			2,49		2,64		2,59		2,83		2,49

Tabla 12. LCCA con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

Álcali		1		2		3		4		5	
KOH		0,01		2,46		4,91		7,36		9,81	
Vidrio		# muestra Peso, g									
Frontal	Sin tratar	LCCA-HP-1C-1F	0,1659	LCCA-HP-1C-1F	0,2118	LCCA-HP-1C-1F	0,1555	LCCA-HP-1C-1F	0,2252	LCCA-HP-1C-1F	0,2205
	Tratado ácido		0,1606		0,2050		0,1506		0,2180		0,2133
	Tratado alcalino		0,1606		0,2050		0,1506		0,2180		0,2133
	Sin tratar	LCCA-HP-1C-2F	0,1345	LCCA-HP-1C-2F	0,2026	LCCA-HP-1C-2F	0,1384	LCCA-HP-1C-2F	0,1783	LCCA-HP-1C-2F	0,1745
	Tratado ácido		0,1301		0,1962		0,1340		0,1729		0,1690
	Tratado alcalino		0,1301		0,1962		0,1340		0,1729		0,1690
	Sin tratar	LCCA-HP-1C-3F	0,0997	LCCA-HP-1C-3F	0,1889	LCCA-HP-1C-3F	0,1247	LCCA-HP-1C-3F	0,0977	LCCA-HP-1C-3F	0,1690
	Tratado ácido		0,0965		0,1829		0,1210		0,0943		0,1556
	Tratado alcalino		0,0965		0,1829		0,1210		0,0943		0,1556
% de remoción ácida			3,22		3,18		3,11		3,19		4,63
% de remoción alcalina			0,00		0,00		0,00		0,00		0,00
% de remoción total			3,22		3,18		3,11		3,19		4,63
Trasero	Sin tratar	LCCA-HP-1C-1T	0,1897	LCCA-HP-2C-1T	0,1587	LCCA-HP-3C-1T	0,1863	LCCA-HP-4C-1T	0,1583	LCCA-HP-5C-1T	0,1651
	Tratado ácido		0,1803		0,1509		0,1772		0,1508		0,1572
	Tratado alcalino		0,1802		0,1506		0,1770		0,1507		0,1570
	Sin tratar	LCCA-HP-1C-2T	0,1735	LCCA-HP-2C-2T	0,1292	LCCA-HP-3C-2T	0,1277	LCCA-HP-4C-2T	0,1315	LCCA-HP-5C-2T	0,1427
	Tratado ácido		0,1651		0,1224		0,1214		0,1244		0,1358
	Tratado alcalino		0,1650		0,1224		0,1211		0,1244		0,1354
	Sin tratar	LCCA-HP-1C-3T	0,1113	LCCA-HP-2C-3T	0,1227	LCCA-HP-3C-3T	0,1177	LCCA-HP-4C-3T	0,1082	LCCA-HP-5C-3T	0,0976
	Tratado ácido		0,1055		0,1164		0,1116		0,1031		0,0929
	Tratado alcalino		0,1055		0,1164		0,1113		0,1031		0,0928
% de remoción ácida			4,97		5,09		4,98		4,95		4,81
% de remoción alcalina			0,04		0,08		0,20		0,03		0,18
% de remoción total			5,02		5,16		5,17		4,97		4,98
Volumen de AR, ml			2,62		3,04		2,55		2,70		2,91

Tabla 13. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	
Agua regia		0,01	
Vidrio		# muestra Peso, g	
Frontal	Sin tratar	LCUS-AR-1C-1F	0,1645
	Tratado		0,1591
	Sin tratar	LCUS-AR-1C-2F	0,1670
	Tratado		0,1617
	Sin tratar	LCUS-AR-1C-3F	0,1436
	Tratado		0,1387
% de remoción			3,28
Trasero	Sin tratar	LCUS-AR-1C-1T	0,1823
	Tratado		0,1730
	Sin tratar	LCUS-AR-1C-2T	0,1546
	Tratado		0,1465
	Sin tratar	LCUS-AR-1C-3T	0,1274
	Tratado		0,1209
% de remoción			5,15

Tabla 14. LCUS con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	
Mezcla crómica		0,01	
Vidrio		# muestra Peso, g	
Frontal	Sin tratar	LCUS-MC-1C-1F	0,1691
	Tratado		0,1641
	Sin tratar	LCUS-MC-1C-2F	0,1668
	Tratado		0,1616
	Sin tratar	LCUS-MC-1C-3F	0,1570
	Tratado		0,1521
% de remoción			3,06
Trasero	Sin tratar	LCUS-MC-1C-1T	0,1712
	Tratado		0,1632
	Sin tratar	LCUS-MC-1C-2T	0,1987
	Tratado		0,1893
	Sin tratar	LCUS-MC-1C-3T	0,1418
	Tratado		0,1350
% de remoción			4,73

Tabla 15. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1	2	3	4	5	6						
[H ₂ SO ₄], M		0,01	3,63	7,25	10,88	14,50	18,12						
Vidrio		# muestra Peso, g											
Frontal	Sin tratar	LCUS-AS-1C-1F	0,1233	LCUS-AS-2C-1F	0,1391	LCUS-AS-3C-1F	0,2147	LCUS-AS-4C-1F	0,1903	LCUS-AS-5C-1F	0,1534	LCUS-AS-6C-1F	0,1567
	Tratado		0,1203		0,1346		0,2081		0,1847		0,1486		0,1519
	Sin tratar	LCUS-AS-1C-2F	0,1110	LCUS-AS-2C-2F	0,1161	LCUS-AS-3C-2F	0,1337	LCUS-AS-4C-2F	0,1384	LCUS-AS-5C-2F	0,1237	LCUS-AS-6C-2F	0,1399
	Tratado		0,1079		0,1129		0,1297		0,1340		0,1198		0,1364
	Sin tratar	LCUS-AS-1C-3F	0,1051	LCUS-AS-2C-3F	0,1115	LCUS-AS-3C-3F	0,1313	LCUS-AS-4C-3F	0,1211	LCUS-AS-5C-3F	0,1193	LCUS-AS-6C-3F	0,1043
	Tratado		0,1026		0,1077		0,1271		0,1174		0,1156		0,1015
% de remoción			2,53		3,14		3,09		3,05		3,13		2,77
Trasero	Sin tratar	LCUS-AS-1C-1T	0,2111	LCUS-AS-2C-1T	0,1687	LCUS-AS-3C-1T	0,2066	LCUS-AS-4C-1T	0,2158	LCUS-AS-5C-1T	0,1713	LCUS-AS-6C-1T	0,2313
	Tratado		0,2042		0,1606		0,1983		0,2078		0,1650		0,2220
	Sin tratar	LCUS-AS-1C-2T	0,1654	LCUS-AS-2C-2T	0,1626	LCUS-AS-3C-2T	0,1606	LCUS-AS-4C-2T	0,1522	LCUS-AS-5C-2T	0,1493	LCUS-AS-6C-2T	0,1759
	Tratado		0,1589		0,1547		0,1541		0,1469		0,1442		0,1685
	Sin tratar	LCUS-AS-1C-3T	0,0970	LCUS-AS-2C-3T	0,0971	LCUS-AS-3C-3T	0,1304	LCUS-AS-4C-3T	0,1385	LCUS-AS-5C-3T	0,1106	LCUS-AN-6C-3T	0,1676
	Tratado		0,0935		0,0918		0,1253		0,1339		0,1071		0,1613
% de remoción			3,57		4,97		4,00		3,53		3,46		4,00

Tabla 16. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

		1	2	3	4	5					
[HNO ₃], M		0,01	2,79	5,57	8,35	11,11					
Vidrio											
Frontal	Sin tratar	LCUS-AN-1C-1F	0,1549	LCUS-AN-2C-1F	0,1981	LCUS-AN-3C-1F	0,1341	LCUS-AN-4C-1F	0,1248	LCUS-AN-5C-1F	0,1313
	Tratado		0,1523		0,1921		0,1298		0,1209		0,1272
	Sin tratar	LCUS-AN-1C-2F	0,1310	LCUS-AN-2C-2F	0,1242	LCUS-AN-3C-2F	0,1156	LCUS-AN-4C-2F	0,1166	LCUS-AN-5C-2F	0,1474
	Tratado		0,1278		0,1199		0,1117		0,1129		0,1428
	Sin tratar	LCUS-AN-1C-3F	0,1139	LCUS-AN-2C-3F	0,1191	LCUS-AN-3C-3F	0,1104	LCUS-AN-4C-3F	0,0986	LCUS-AN-5C-3F	0,1252
	Tratado		0,1111		0,1156		0,1070		0,0956		0,1213
% de remoción			2,15		3,13		3,22		3,12		3,12
Trasero	Sin tratar	LCUS-AN-1C-1T	0,1610	LCUS-AN-2C-1T	0,2274	LCUS-AN-3C-1T	0,2107	LCUS-AN-4C-1T	0,2105	LCUS-AN-5C-1T	0,1606
	Tratado		0,1540		0,2162		0,2000		0,2005		0,1529
	Sin tratar	LCUS-AN-1C-2T	0,1411	LCUS-AN-2C-2T	0,1257	LCUS-AN-3C-2T	0,1455	LCUS-AN-4C-2T	0,1556	LCUS-AN-5C-2T	0,1559
	Tratado		0,1346		0,1192		0,1381		0,1479		0,1480
	Sin tratar	LCUS-AN-1C-3T	0,0979	LCUS-AN-2C-3T	0,1037	LCUS-AN-3C-3T	0,0748	LCUS-AN-4C-3T	0,0959	LCUS-AN-5C-3T	0,1516
	Tratado		0,0938		0,0988		0,0710		0,0914		0,1439
% de remoción			4,40		4,95		5,08		4,81		4,98

Tabla 17. LCUS con ácido clorhídrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

# de tratamiento		1		2		3		4		5	
			0,01		2,07		4,13		6,19		8,23
Vidrio											
Frontal	Sin tratar	LCUS-AC-1C-1F	0,1223	LCUS-AC-2C-1F	0,1419	LCUS-AC-3C-1F	0,1286	LCUS-AC-4C-1F	0,1300	LCUS-AC-5C-1F	0,1533
	Tratado		0,1189		0,1376		0,1242		0,1259		0,1490
	Sin tratar	LCUS-AC-1C-2F	0,1100	LCUS-AC-2C-2F	0,1315	LCUS-AC-3C-2F	0,1245	LCUS-AC-4C-2F	0,1200	LCUS-AC-5C-2F	0,1391
	Tratado		0,1063		0,1274		0,1207		0,1162		0,1346
	Sin tratar	LCUS-AC-1C-3F	0,1084	LCUS-AC-2C-3F	0,1288	LCUS-AC-3C-3F	0,1206	LCUS-AC-4C-3F	0,1165	LCUS-AC-5C-3F	0,1441
	Tratado		0,1055		0,1248		0,1171		0,1127		0,1387
% de remoción			2,94		3,08		3,13		3,19		3,25
Trasero	Sin tratar	LCUS-AC-1C-1T	0,2102	LCUS-AC-2C-1T	0,2367	LCUS-AC-3C-1T	0,2083	LCUS-AC-4C-1T	0,1431	LCUS-AC-5C-1T	0,1616
	Tratado		0,2006		0,2258		0,1984		0,1360		0,1534
	Sin tratar	LCUS-AC-1C-2T	0,1733	LCUS-AC-2C-2T	0,1293	LCUS-AC-3C-2T	0,1516	LCUS-AC-4C-2T	0,1413	LCUS-AC-5C-2T	0,1553
	Tratado		0,1652		0,1227		0,1442		0,1340		0,1480
	Sin tratar	LCUS-AC-1C-3T	0,1328	LCUS-AC-2C-3T	0,1199	LCUS-AC-3C-3T	0,1253	LCUS-AC-4C-3T	0,1207	LCUS-AC-5C-3T	0,1496
	Tratado		0,1265		0,1139		0,1192		0,1149		0,1421
% de remoción			4,65		4,84		4,82		4,99		4,93

Tabla 18. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

Álcali		1		2		3		4		5	
NaOH		0,01		3,42		6,82		10,23		13,63	
Vidrio		# muestra Peso, g									
Frontal	Sin tratar	LCUS-HS-1C-1F	0,1664	LCUS-HS-1C-1F	0,1929	LCUS-HS-1C-1F	0,1600	LCUS-HS-1C-1F	0,2063	LCUS-HS-1C-1F	0,1819
	Tratado ácido		0,1612		0,1868		0,1548		0,1997		0,1759
	Tratado alcalino		0,1611		0,1868		0,1548		0,1997		0,1759
	Sin tratar	LCUS-HS-1C-2F	0,1321	LCUS-HS-1C-2F	0,1315	LCUS-HS-1C-2F	0,1411	LCUS-HS-1C-2F	0,1666	LCUS-HS-1C-2F	0,1682
	Tratado ácido		0,1279		0,1272		0,1368		0,1614		0,1629
	Tratado alcalino		0,1279		0,1272		0,1368		0,1614		0,1629
	Sin tratar	LCUS-HS-1C-3F	0,0972	LCUS-HS-1C-3F	0,1078	LCUS-HS-1C-3F	0,1041	LCUS-HS-1C-3F	0,1330	LCUS-HS-1C-3F	0,1654
	Tratado ácido		0,0940		0,1044		0,1010		0,1286		0,1603
	Tratado alcalino		0,0940		0,1044		0,1010		0,1286		0,1603
% de remoción ácida			3,18		3,19		3,11		3,20		3,18
% de remoción alcalina			0,03		0,00		0,00		0,00		0,00
% de remoción total			3,21		3,19		3,11		3,20		3,18
Trasero	Sin tratar	LCUS-HS-1C-1T	0,1975	LCUS-HS-2C-1T	0,2028	LCUS-HS-3C-1T	0,1871	LCUS-HS-4C-1T	0,1392	LCUS-HS-5C-1T	0,1479
	Tratado ácido		0,1887		0,1932		0,1783		0,1326		0,1405
	Tratado alcalino		0,1884		0,1931		0,1783		0,1324		0,1402
	Sin tratar	LCUS-HS-1C-2T	0,1860	LCUS-HS-2C-2T	0,1687	LCUS-HS-3C-2T	0,1714	LCUS-HS-4C-2T	0,1371	LCUS-HS-5C-2T	0,1288
	Tratado ácido		0,1775		0,1609		0,1630		0,1298		0,1229
	Tratado alcalino		0,1771		0,1606		0,1628		0,1296		0,1228
	Sin tratar	LCUS-HS-1C-3T	0,1573	LCUS-HS-2C-3T	0,1567	LCUS-HS-3C-3T	0,1636	LCUS-HS-4C-3T	0,1083	LCUS-HS-5C-3T	0,1089
	Tratado ácido		0,1498		0,1494		0,1559		0,1025		0,1036
	Tratamiento alcalino		0,1494		0,1491		0,1556		0,1024		0,1034
% de remoción ácida			4,59		4,68		4,77		5,12		4,82
% de remoción alcalina			0,21		0,14		0,10		0,14		0,16
% de remoción total			4,79		4,81		4,86		5,25		4,98
Volumen de AR, ml			2,81		2,88		2,78		2,67		2,70

Tabla 19. LCUS con hidróxido de potasio (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

Álcali		1		2		3		4		5	
KOH		0,01		2,46		4,91		7,36		9,81	
Vidrio		# muestra Peso, g									
Frontal	Sin tratar	LCUS-HP-1C-1F	0,2161	LCUS-HP-1C-1F	0,2473	LCUS-HP-1C-1F	0,2214	LCUS-HP-1C-1F	0,1838	LCUS-HP-1C-1F	0,2427
	Tratado ácido		0,2093		0,2391		0,2144		0,1781		0,2352
	Tratado alcalino		0,2093		0,2389		0,2144		0,1781		0,2352
	Sin tratar	LCUS-HP-1C-2F	0,1839	LCUS-HP-1C-2F	0,2173	LCUS-HP-1C-2F	0,2161	LCUS-HP-1C-2F	0,1586	LCUS-HP-1C-2F	0,1880
	Tratado ácido		0,1783		0,2105		0,2096		0,1540		0,1820
	Tratado alcalino		0,1783		0,2102		0,2096		0,1540		0,1820
	Sin tratar	LCUS-HP-1C-3F	0,1235	LCUS-HP-1C-3F	0,1582	LCUS-HP-1C-3F	0,1766	LCUS-HP-1C-3F	0,1300	LCUS-HP-1C-3F	0,1674
	Tratado ácido		0,1198		0,1531		0,1712		0,1258		0,1622
	Tratado alcalino		0,1198		0,1530		0,1712		0,1258		0,1622
% de remoción ácida			3,08		3,23		3,08		3,07		3,13
% de remoción alcalina			0,00		0,10		0,00		0,00		0,00
% de remoción total			3,08		3,32		3,08		3,07		3,12
Trasero	Sin tratar	LCUS-HP-1C-1T	0,1504	LCUS-HP-2C-1T	0,1616	LCUS-HP-3C-1T	0,1648	LCUS-HP-4C-1T	0,1516	LCUS-HP-5C-1T	0,1553
	Tratado ácido		0,1428		0,1534		0,1566		0,1439		0,1476
	Tratado alcalino		0,1428		0,1531		0,1564		0,1438		0,1472
	Sin tratar	LCUS-HP-1C-2T	0,1428	LCUS-HP-2C-2T	0,1542	LCUS-HP-3C-2T	0,1570	LCUS-HP-4C-2T	0,1435	LCUS-HP-5C-2T	0,1367
	Tratado ácido		0,1361		0,1463		0,1494		0,1363		0,1300
	Tratado alcalino		0,1360		0,1463		0,1493		0,1362		0,1298
	Sin tratar	LCUS-HP-1C-3T	0,1128	LCUS-HP-2C-3T	0,0901	LCUS-HP-3C-3T	0,1265	LCUS-HP-4C-3T	0,1027	LCUS-HP-5C-3T	0,0867
	Tratado ácido		0,1071		0,0858		0,1200		0,0978		0,0819
	Tratamiento alcalino		0,1067		0,0858		0,1198		0,0977		0,0818
% de remoción ácida			4,93		5,03		4,97		4,98		5,07
% de remoción alcalina			0,13		0,08		0,12		0,08		0,19
% de remoción total			5,05		5,10		5,09		5,05		5,25
Volumen de AR, ml			2,79		3,09		3,19		2,61		2,93

Tabla 20. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml).

# de tratamiento		1		2		3		4		5		6		7	
Tiempo, h		0,08		0,13		0,17		0,25		0,50		0,75		1,00	
Vidrio		# muestra Peso, g													
Frontal	Sin tratar	LCUS-AR-1t-1F	0,1581	LCUS-AR-2t-1F	0,1559	LCUS-AR-3t-1F	0,1623	LCUS-AR-4t-1F	0,1465	LCUS-AR-5t-1F	0,1421	LCUS-AR-6t-1F	0,1478	LCUS-AR-7t-1F	0,1554
	Tratado		0,1531		0,1507		0,1570		0,1420		0,1376		0,1430		0,1503
	Sin tratar	LCUS-AR-1t-2F	0,1331	LCUS-AR-2t-2F	0,1503	LCUS-AR-3t-2F	0,1349	LCUS-AR-4t-2F	0,1366	LCUS-AR-5t-2F	0,1389	LCUS-AR-6t-2F	0,1344	LCUS-AR-7t-2F	0,1389
	Tratado		0,1288		0,1454		0,1305		0,1322		0,1342		0,1302		0,1344
	Sin tratar	LCUS-AR-1t-3F	0,1004	LCUS-AR-2t-3F	0,1426	LCUS-AR-3t-3F	0,1333	LCUS-AR-4t-3F	0,1154	LCUS-AR-5t-3F	0,1132	LCUS-AR-6t-3F	0,1158	LCUS-AR-7t-3F	0,1000
	Tratado		0,0971		0,1381		0,1291		0,1118		0,1096		0,1122		0,0967
% de remoción			3,22		3,25		3,23		3,14		3,25		3,17		3,27
Trasero	Sin tratar	LCUS-AR-1t-1T	0,2093	LCUS-AR-2t-1T	0,1698	LCUS-AR-3t-1T	0,1774	LCUS-AR-4t-1T	0,1833	LCUS-AR-5t-1T	0,2001	LCUS-AR-6t-1T	0,1557	LCUS-AR-7t-1T	0,1747
	Tratado		0,2010		0,1620		0,1684		0,1742		0,1903		0,1480		0,1661
	Sin tratar	LCUS-AR-1t-2T	0,1508	LCUS-AR-2t-2T	0,1373	LCUS-AR-3t-2T	0,1467	LCUS-AR-4t-2T	0,1813	LCUS-AR-5t-2T	0,1860	LCUS-AR-6t-2T	0,1293	LCUS-AR-7t-2T	0,1383
	Tratado		0,1450		0,1315		0,1395		0,1723		0,1766		0,1229		0,1316
	Sin tratar	LCUS-AR-1t-3T	0,1272	LCUS-AR-2t-3T	0,1184	LCUS-AR-3t-3T		LCUS-AR-4t-3T	0,1200	LCUS-AR-5t-3T	0,1174	LCUS-AR-6t-3T	0,1111	LCUS-AR-7t-3T	0,1008
	Tratado		0,1223		0,1131				0,1141		0,1114		0,1056		0,0955
% de remoción			3,90		4,44		5,00		4,95		5,00		4,95		4,98

Tabla 21. LCUS con agua regia (T = 40°C, t = 10 min).

# de tratamiento		1	2	3	4	5					
Volumen, ml/g		1,0	3,0	4,0	5,0	10,0					
Vidrio		# muestra Peso, g									
Frontal	Sin tratar	LCUS-AR-1V-1F	0,1782	LCUS-AR-2V-1F	0,1274	LCUS-AR-3V-1F	0,1356	LCUS-AR-4V-1F	0,1564	LCUS-AR-5V-1F	0,1351
	Tratado		0,1724		0,1234		0,1310		0,1515		0,1307
	Sin tratar	LCUS-AR-1V-2F	0,1275	LCUS-AR-2V-2F	0,1155	LCUS-AR-3V-2F	0,1242	LCUS-AR-4V-2F	0,1330	LCUS-AR-5V-2F	0,1345
	Tratado		0,1233		0,1116		0,1207		0,1288		0,1303
	Sin tratar	LCUS-AR-1V-3F	0,0884	LCUS-AR-2V-3F	0,1068	LCUS-AR-3V-3F	0,1101	LCUS-AR-4V-3F	0,1198	LCUS-AR-5V-3F	0,1192
	Tratado		0,0856		0,1036		0,1064		0,1157		0,1154
% de remoción			3,25		3,17		3,19		3,23		3,19
Trasero	Sin tratar	LCUS-AR-1V-1T	0,1654	LCUS-AR-2V-1T	0,1744	LCUS-AR-3V-1T	0,1510	LCUS-AR-4V-1T	0,1749	LCUS-AR-5V-1T	0,1630
	Tratado		0,1619		0,1655		0,1436		0,1662		0,1548
	Sin tratar	LCUS-AR-1V-2T	0,1619	LCUS-AR-2V-2T	0,1481	LCUS-AR-3V-2T	0,1246	LCUS-AR-4V-2T	0,1335	LCUS-AR-5V-2T	0,1609
	Tratado		0,1541		0,1405		0,1182		0,1267		0,1531
	Sin tratar	LCUS-AR-1V-3T	0,1178	LCUS-AR-2V-3T	0,1293	LCUS-AR-3V-3T	0,0918	LCUS-AR-4V-3T	0,1253	LCUS-AR-5V-3T	0,1061
	Tratado		0,1121		0,1231		0,0872		0,1191		0,1005
% de remoción			3,82		5,02		5,01		5,00		5,02

Tabla 22. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, V = 30 ml, [NaOH] = 0,01 M).

# de tratamiento		1	2	3	4				
Tiempo, h		0,08	0,13	0,17	0,25				
Vidrio		# muestra Peso, g							
Trasero	Sin tratar	LCUS-HS-1t-1T	0,2667	LCUS-HS-2t-1T	0,2231	LCUS-HS-3t-1T	0,2003	LCUS-HS-4t-1T	0,2204
	Tratado ácido	LCUS-HS-1t-1T	0,2551	LCUS-HS-2t-1T	0,2118	LCUS-HS-3t-1T	0,1912	LCUS-HS-4t-1T	0,2100
	Tratado alcalino	LCUS-HS-1t-1T	0,2547	LCUS-HS-2t-1T	0,2115	LCUS-HS-3t-1T	0,1906	LCUS-HS-4t-1T	0,2096
	Sin tratar	LCUS-HS-1t-2T	0,1824	LCUS-HS-2t-2T	0,1993	LCUS-HS-3t-2T	0,1951	LCUS-HS-4t-2T	0,2048
	Tratado ácido	LCUS-HS-1t-2T	0,1738	LCUS-HS-2t-2T	0,1898	LCUS-HS-3t-2T	0,1803	LCUS-HS-4t-2T	0,1953
	Tratado alcalino	LCUS-HS-1t-2T	0,1736	LCUS-HS-2t-2T	0,1895	LCUS-HS-3t-2T	0,1798	LCUS-HS-4t-2T	0,1951
	Sin tratar	LCUS-HS-1t-3T	0,1821	LCUS-HS-2t-3T	0,1895	LCUS-HS-3t-3T	0,1748	LCUS-HS-4t-3T	0,1999
	Tratado ácido	LCUS-HS-1t-3T	0,1736	LCUS-HS-2t-3T	0,1804	LCUS-HS-3t-3T	0,1664	LCUS-HS-4t-3T	0,1905
	Tratamiento alcalino	LCUS-HS-1t-3T	0,1733	LCUS-HS-2t-3T	0,1800	LCUS-HS-3t-3T	0,1660	LCUS-HS-4t-3T	0,1898
% de remoción ácida			4,55		4,89		5,66		4,69
% de remoción alcalina			0,15		0,17		0,28		0,22
% de remoción total			4,69		5,05		5,93		4,90
Volumen de AR, ml			1,89		1,84		1,71		1,88

Tabla 23. LCUS con hidróxido de sodio (T = 40°C, t = 10 min, [NaOH] = 0,01 M).

# de tratamiento		1	2	3			
Volumen, ml/g		1,0	5,0	10,0			
Hidroxido de Sodio		# muestra Peso, g					
Vidrio		# muestra Peso, g					
Trasero	Sin tratar		0,2179		0,2072		0,2115
	Tratado ácido	LCUS-HS-1V-1T	0,2080	LCUS-HS-2V-1T	0,1977	LCUS-HS-3V-1T	0,2013
	Tratado alcalino		0,2080		0,1974		0,2009
	Sin tratar		0,1807		0,1719		0,1801
	Tratado ácido	LCUS-HS-1V-2T	0,1722	LCUS-HS-2V-2T	0,1638	LCUS-HS-3V-2T	0,1714
	Tratado alcalino		0,1720		0,1635		0,1710
	Sin tratar		0,1785		0,1638		0,1560
	Tratado ácido	LCUS-HS-1V-3T	0,1698	LCUS-HS-2V-3T	0,1563	LCUS-HS-3V-3T	0,1484
	Tratado alcalino		0,1694		0,1560		0,1481
% de remoción ácida			4,70		4,62		4,84
% de remoción alcalina			0,11		0,17		0,21
% de remoción total			4,80		4,79		5,04
Volumen de AR, ml			1,73		1,63		1,64

A2. Tablas de fotografías.

Tabla 24. LCCA con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

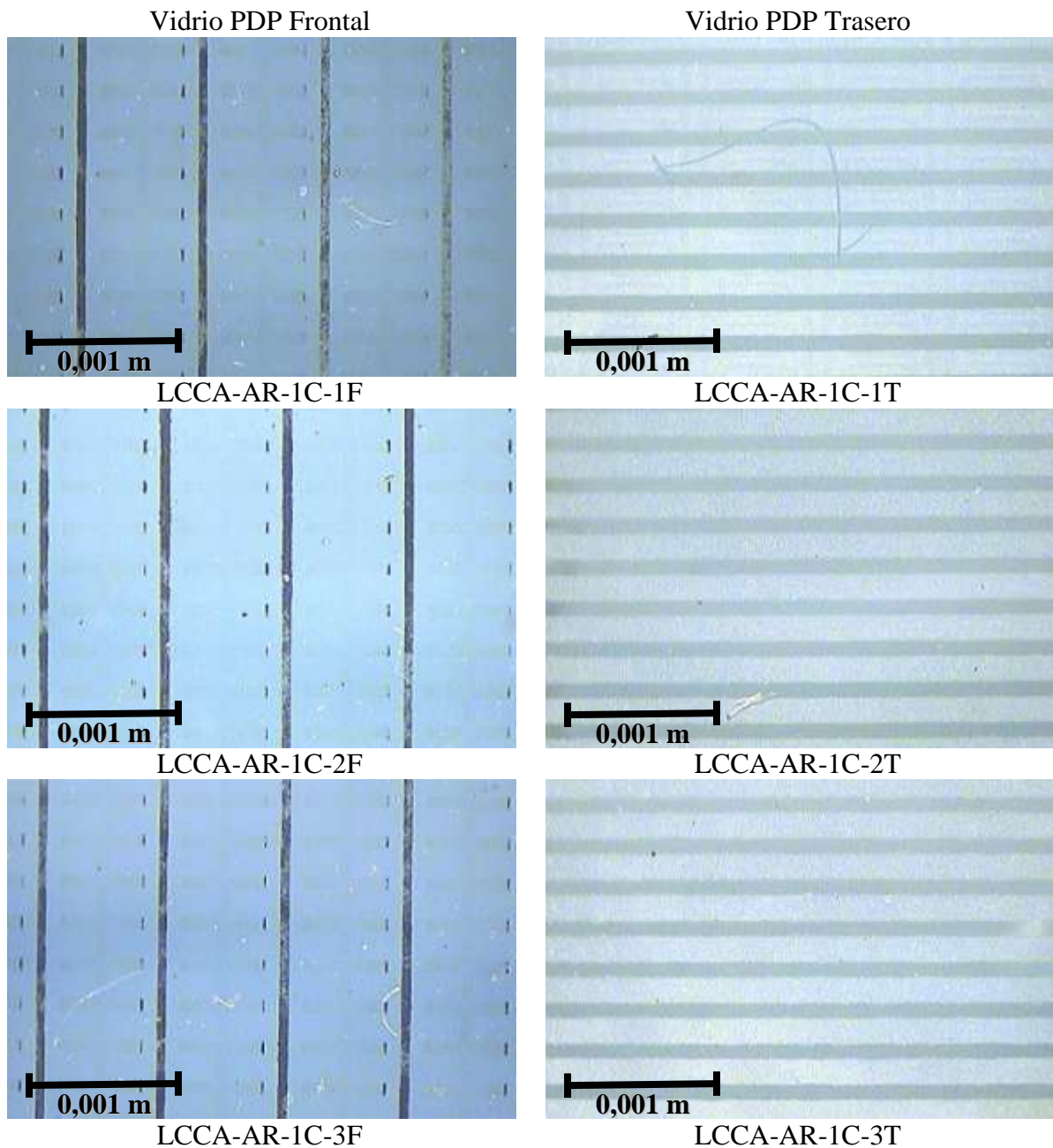


Tabla 25. LCCA con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

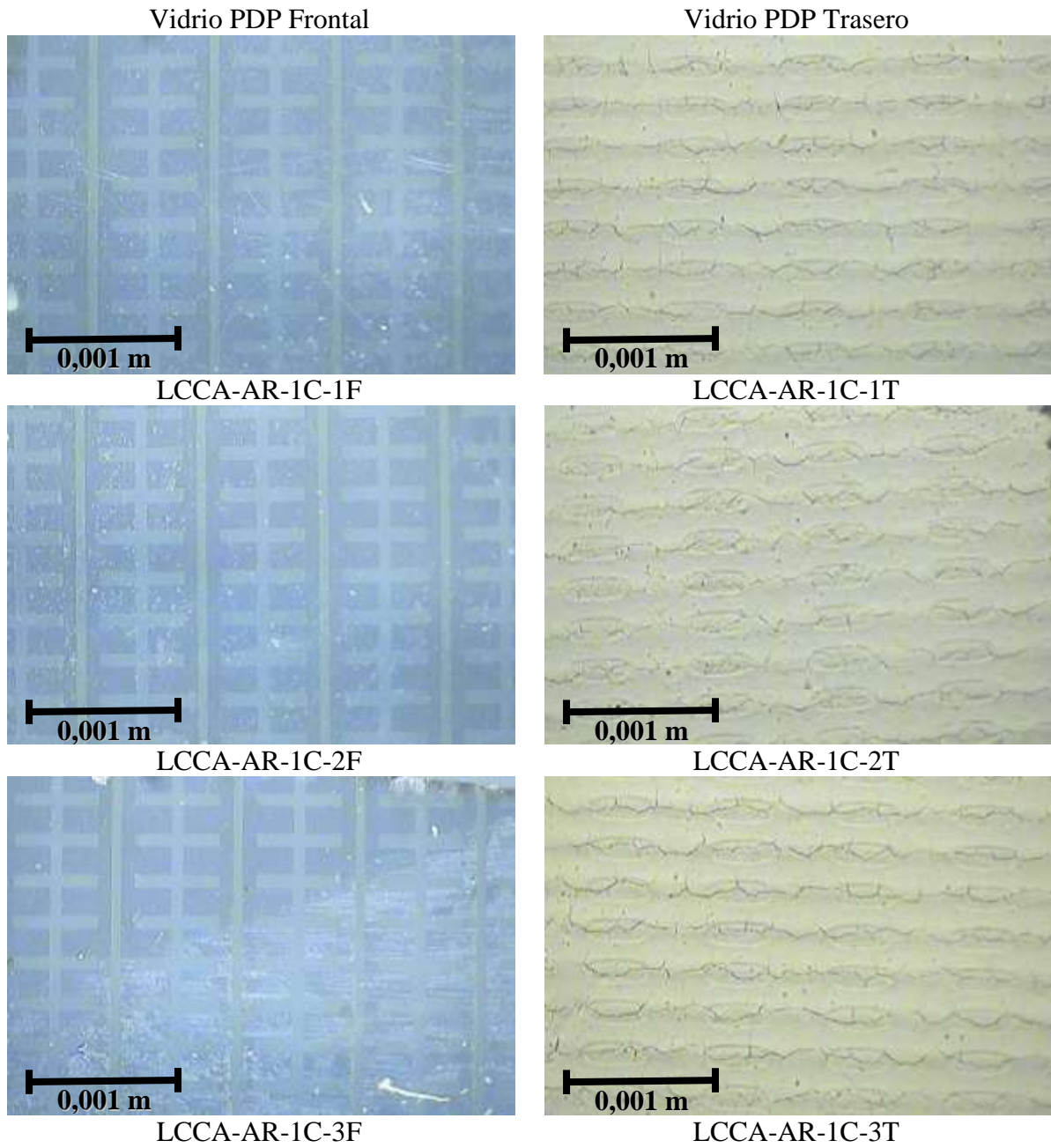
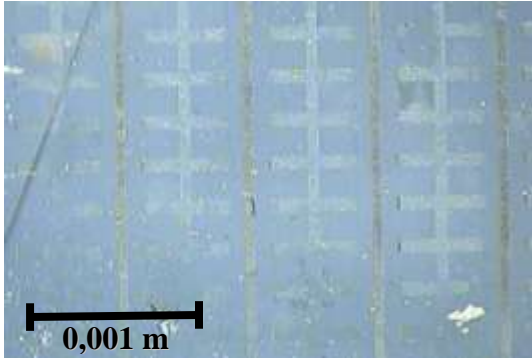


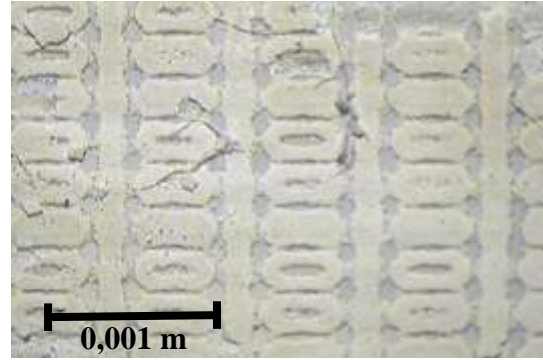
Tabla 26. LCCA con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0,01\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

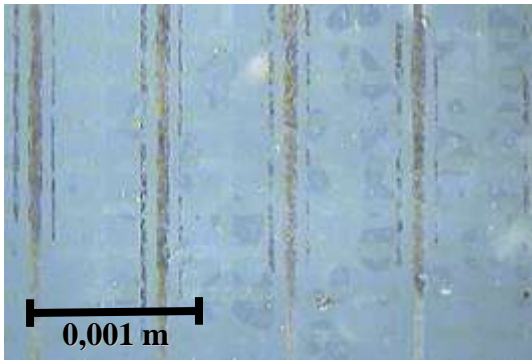


LCCA-AS-1C-1F

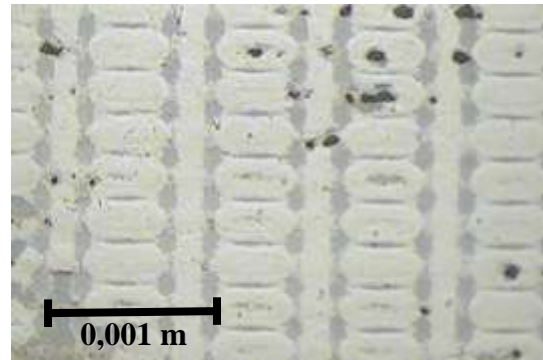
Vidrio PDP Trasero



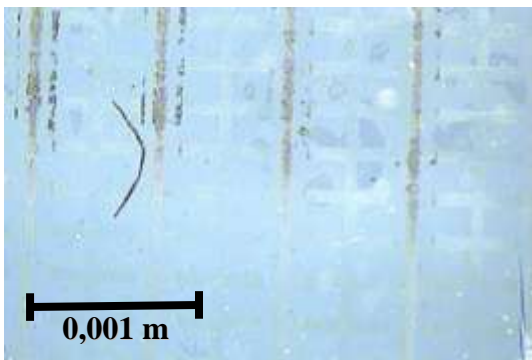
LCCA-AS-1C-1F



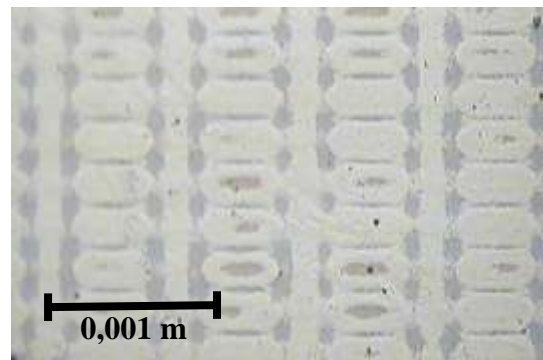
LCCA-AS-1C-1F



LCCA-AS-1C-1F



LCCA-AS-1C-1F

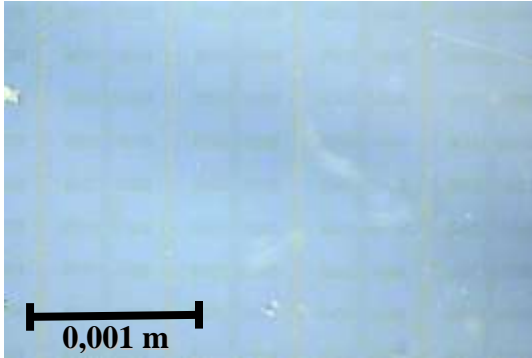


LCCA-AS-1C-1F

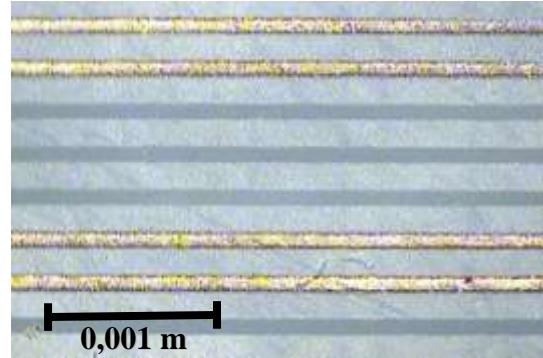
Tabla 27. LCCA con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 3,63\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

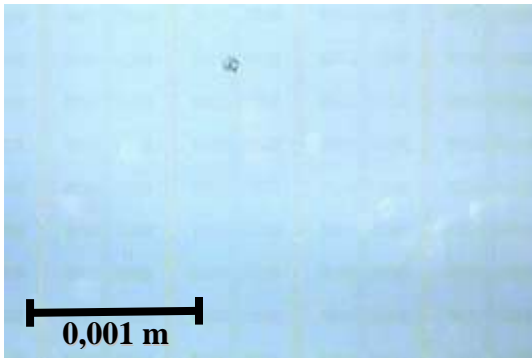
Vidrio PDP Trasero



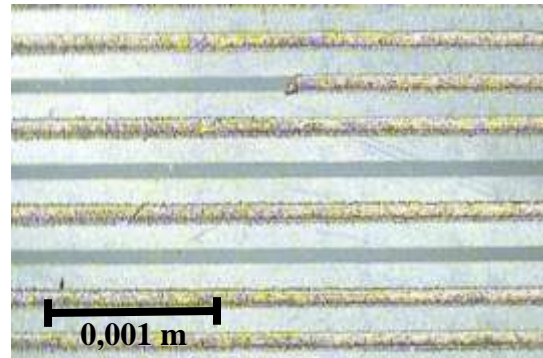
LCCA-AS-2C-1F



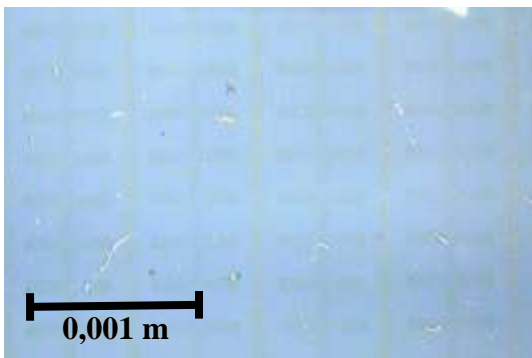
LCCA-AS-2C-1T



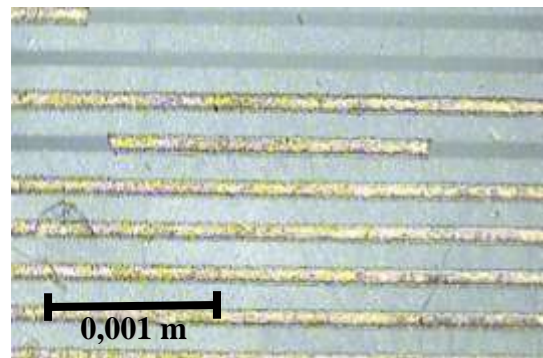
LCCA-AS-2C-2F



LCCA-AS-2C-2T



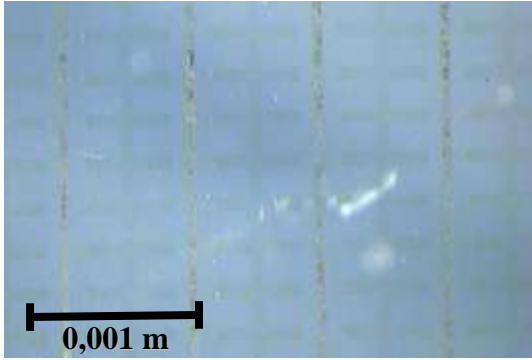
LCCA-AS-2C-3F



LCCA-AS-2C-3T

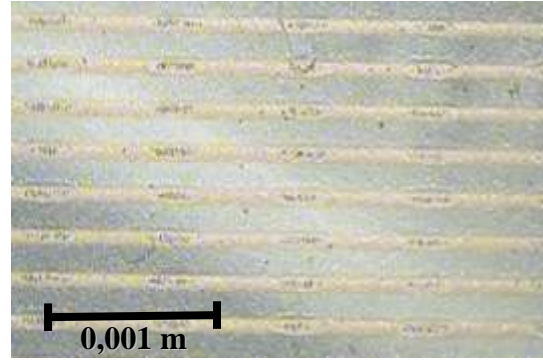
Tabla 28.LCCA con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H₂SO₄] = 7,25 M).

Vidrio PDP Frontal

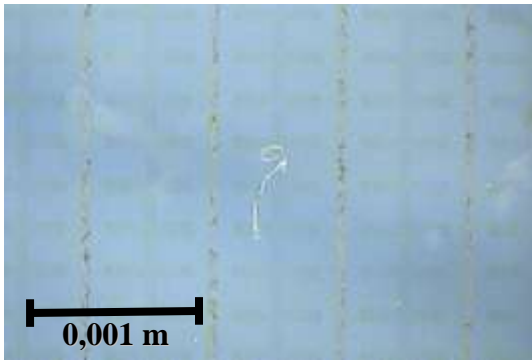


LCCA-AS-3C-1F

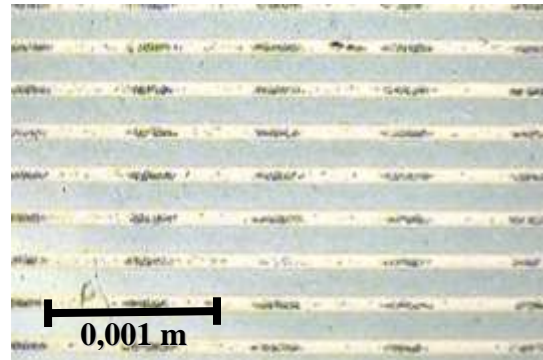
Vidrio PDP Trasero



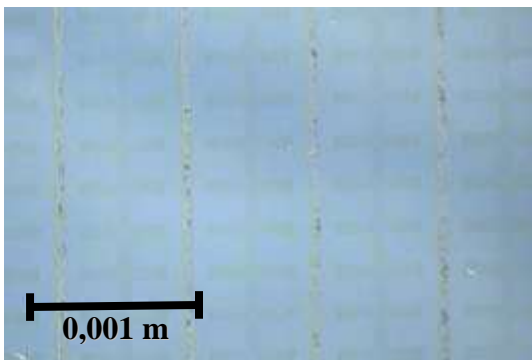
LCCA-AS-3C-1T



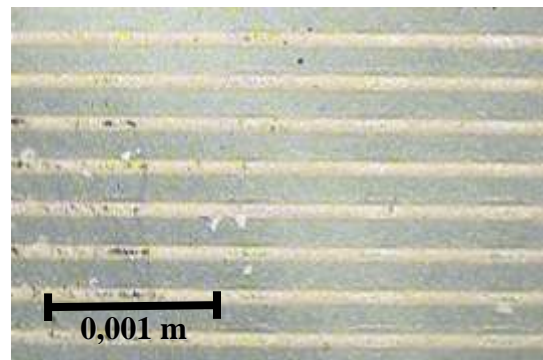
LCCA-AS-3C-2F



LCCA-AS-3C-2T



LCCA-AS-3C-3F

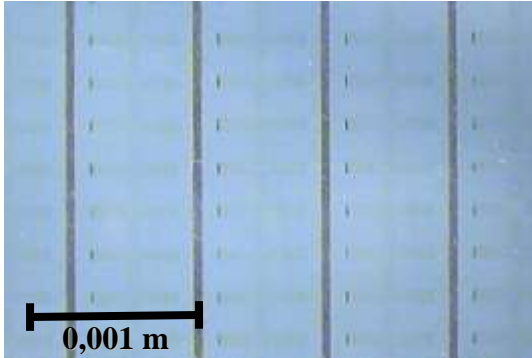


LCCA-AS-3C-3T

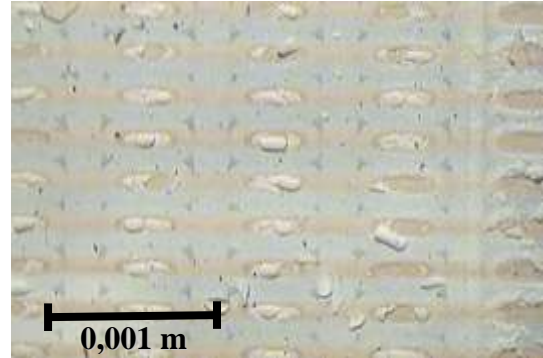
Tabla 29. LCCA con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 10,88\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

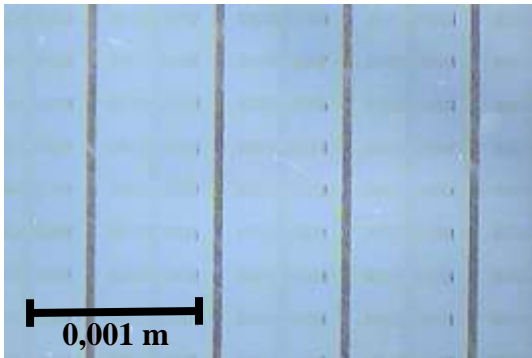
Vidrio PDP Trasero



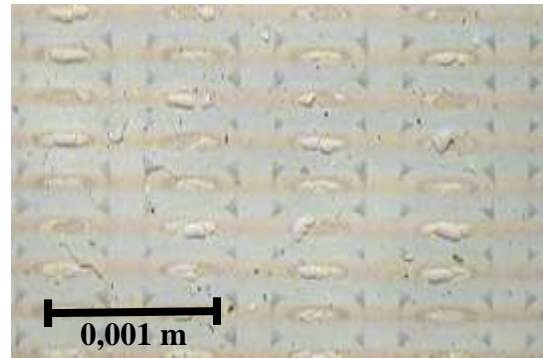
LCCA-AS-4C-1F



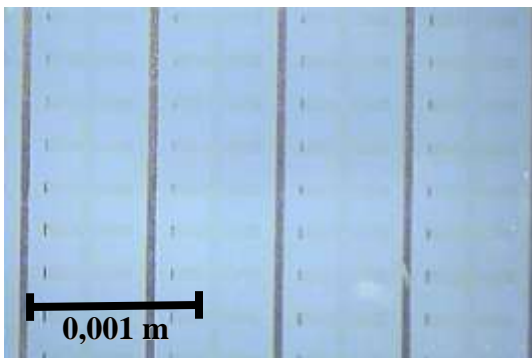
LCCA-AS-4C-1T



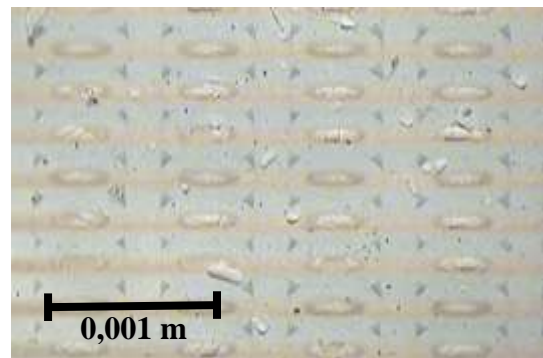
LCCA-AS-4C-2F



LCCA-AS-4C-2T



LCCA-AS-4C-3F

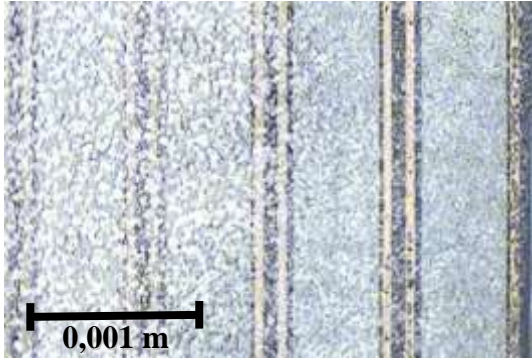


LCCA-AS-4C-3T

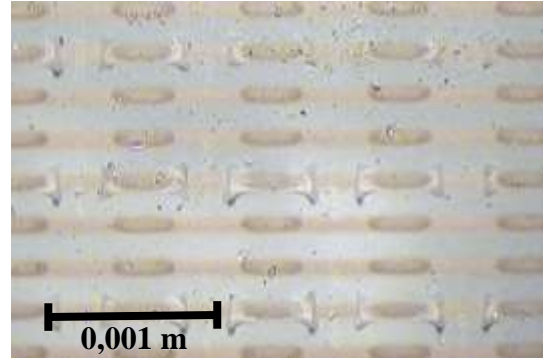
Tabla 30. LCCA con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 14,50\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

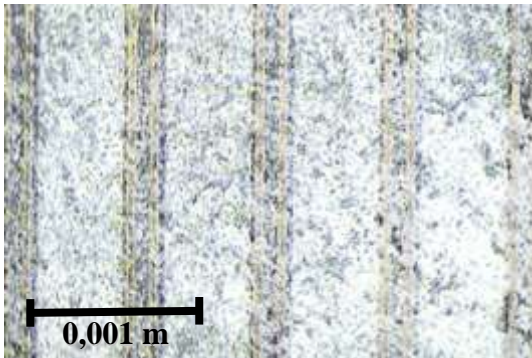
Vidrio PDP Trasero



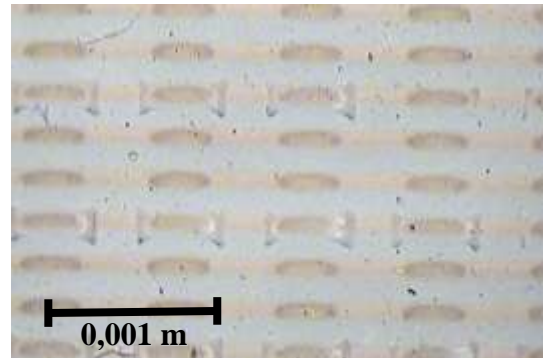
LCCA-AS-5C-1F



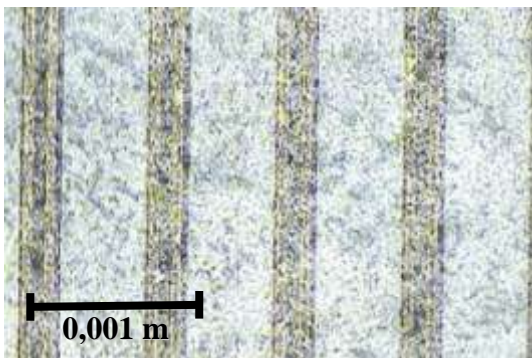
LCCA-AS-5C-1T



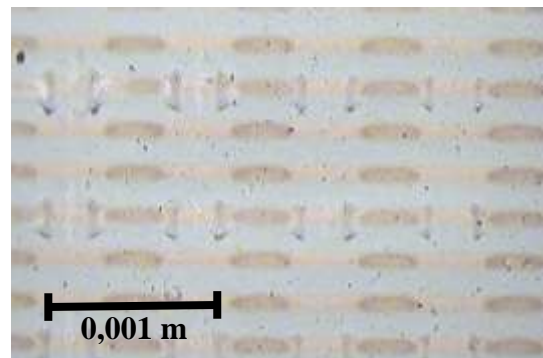
LCCA-AS-5C-2F



LCCA-AS-5C-2T



LCCA-AS-5C-3F

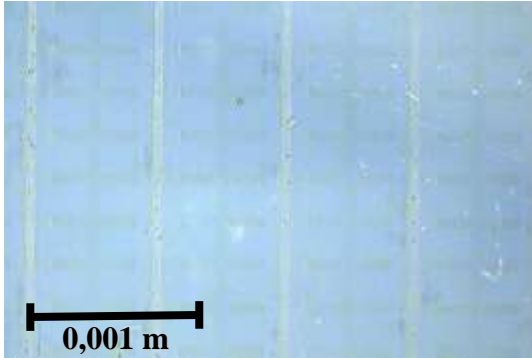


LCCA-AS-5C-3T

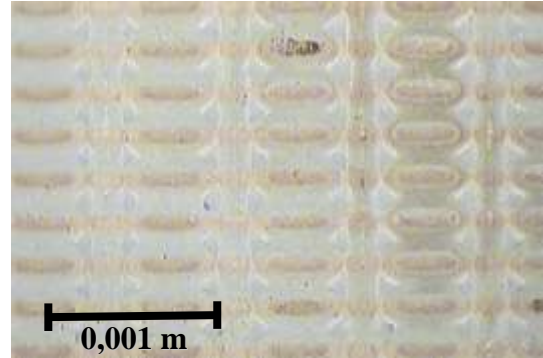
Tabla 31. LCCA con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 18,12\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

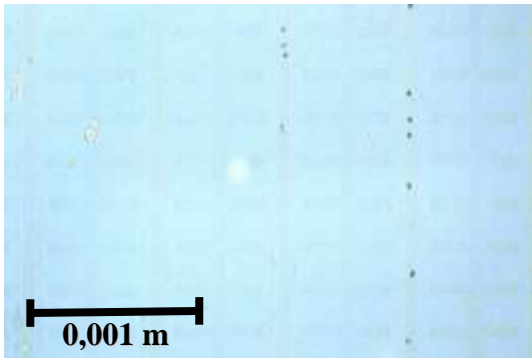
Vidrio PDP Trasero



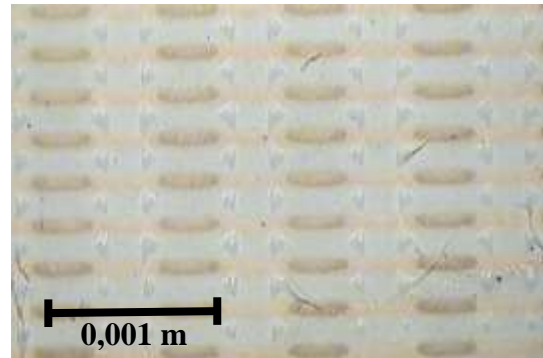
LCCA-AS-6C-1F



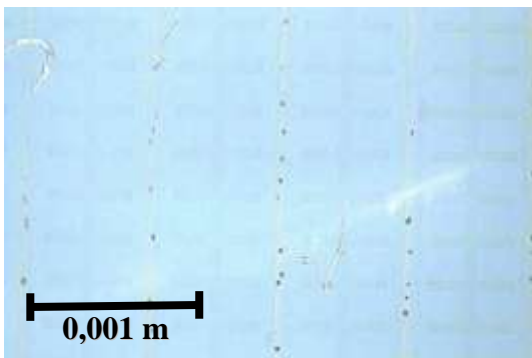
LCCA-AS-6C-1T



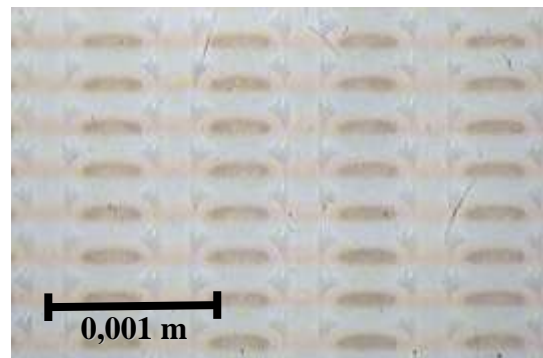
LCCA-AS-6C-2F



LCCA-AS-6C-2T



LCCA-AS-6C-3F



LCCA-AS-6C-3T

Tabla 32. LCCA con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 0,01\text{ M}$).

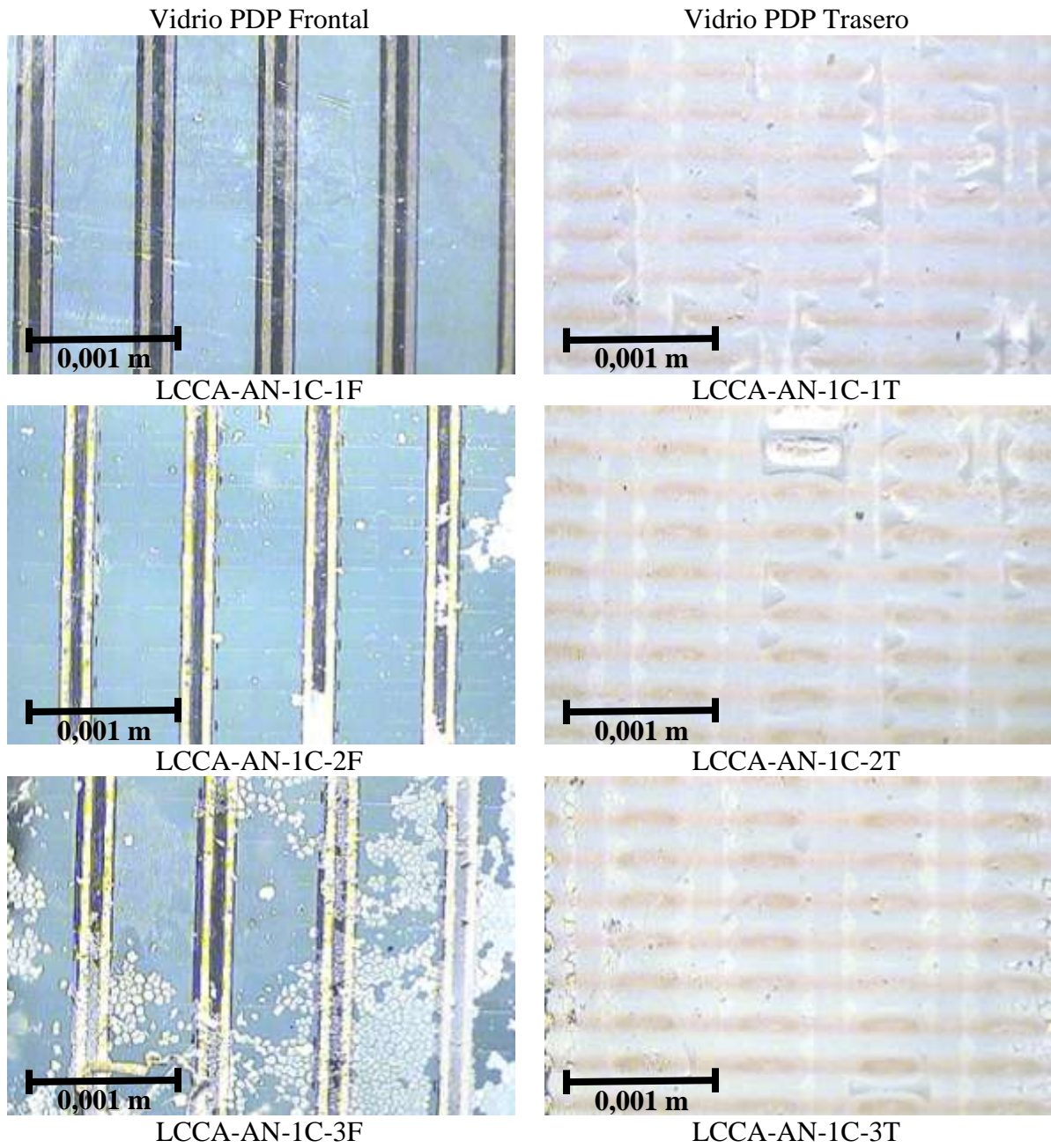


Tabla 33. LCCA con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 2,79\text{ M}$).

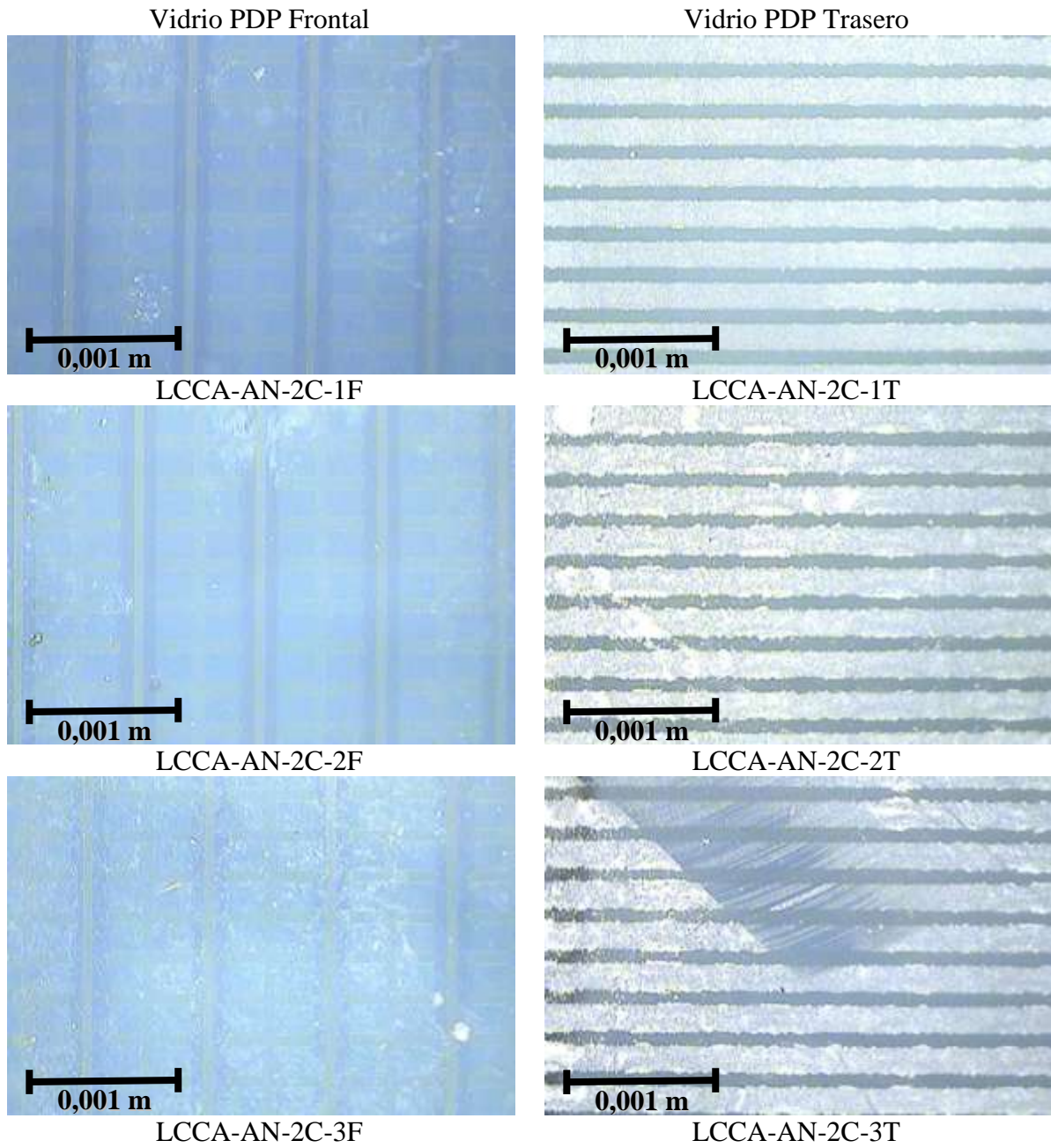
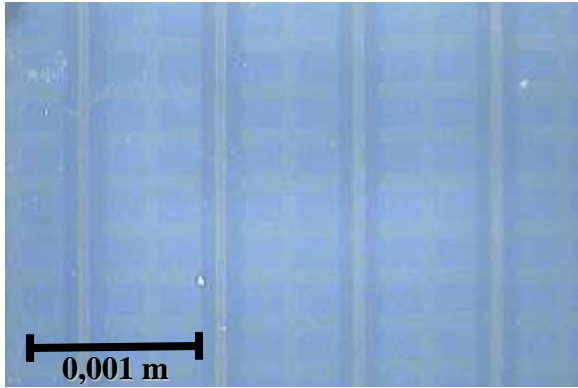


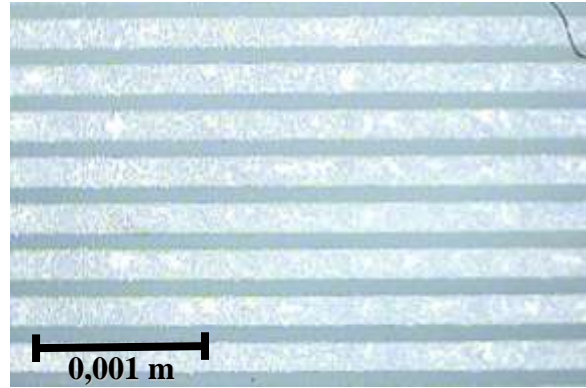
Tabla 34. LCCA con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 5,57\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

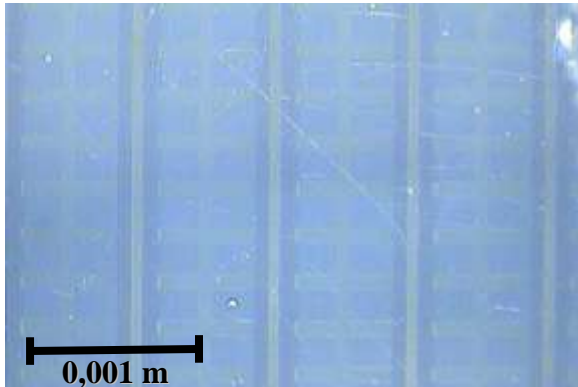


LCCA-AN-3C-1F

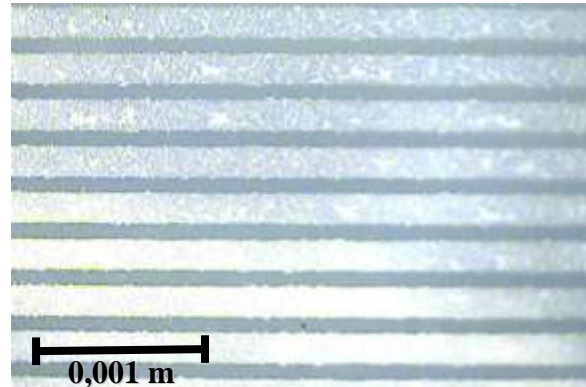
Vidrio PDP Trasero



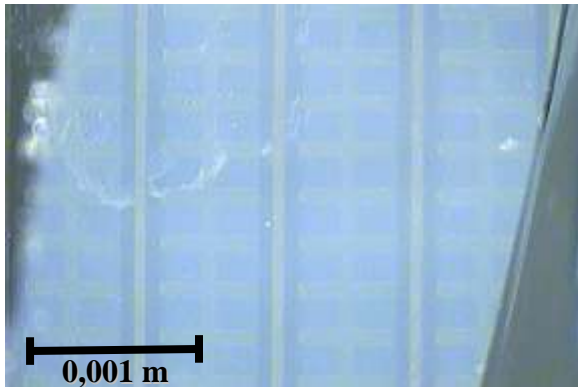
LCCA-AN-3C-1T



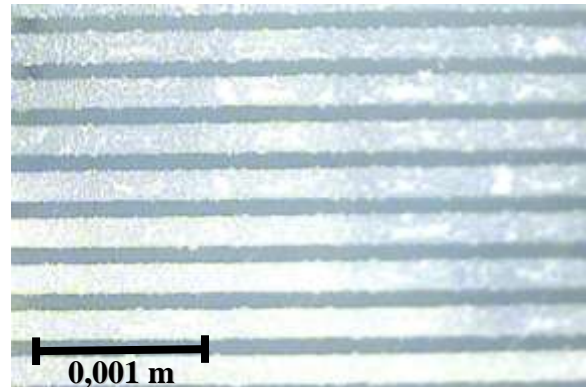
LCCA-AN-3C-2F



LCCA-AN-3C-2T



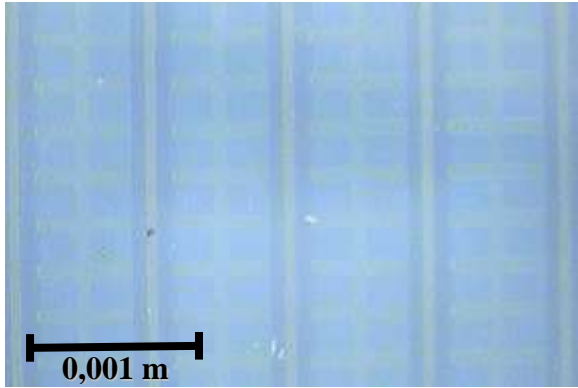
LCCA-AN-3C-3F



LCCA-AN-3C-3T

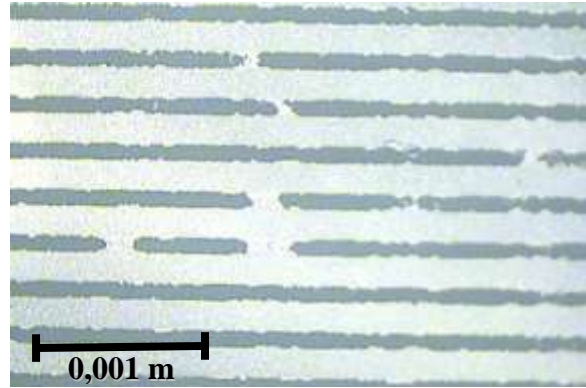
Tabla 35. LCCA con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 8,35\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

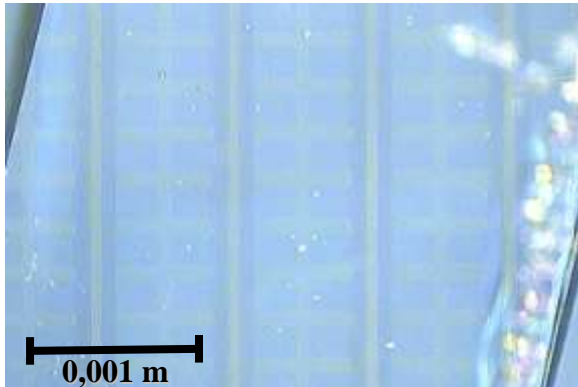


LCCA-AN-4C-1F

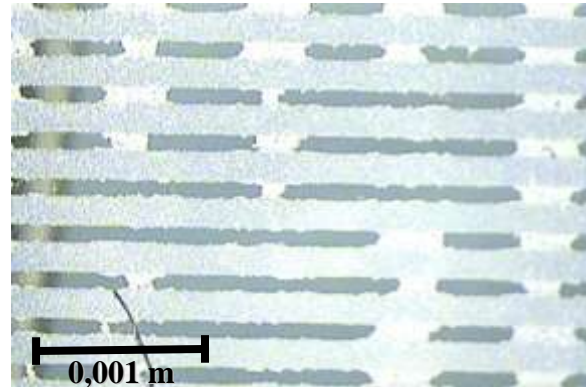
Vidrio PDP Trasero



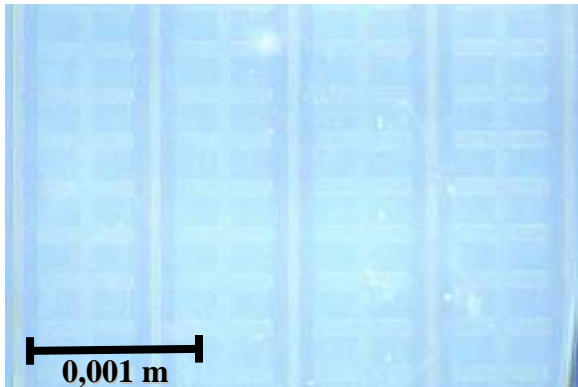
LCCA-AN-4C-1T



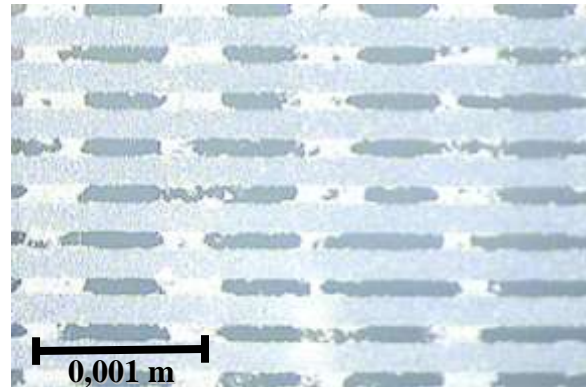
LCCA-AN-4C-2F



LCCA-AN-4C-2T



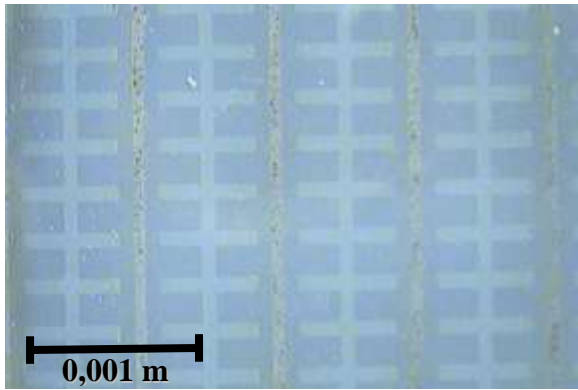
LCCA-AN-4C-3F



LCCA-AN-4C-3T

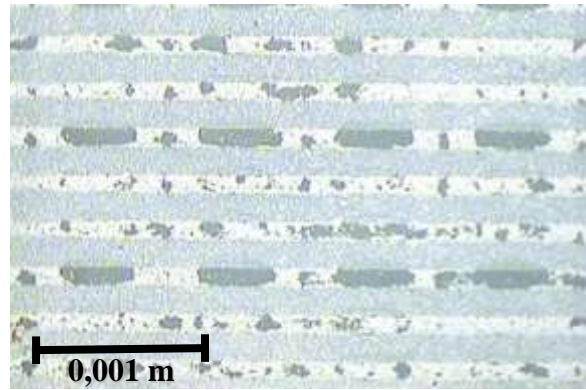
Tabla 36. LCCA con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 11,11\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

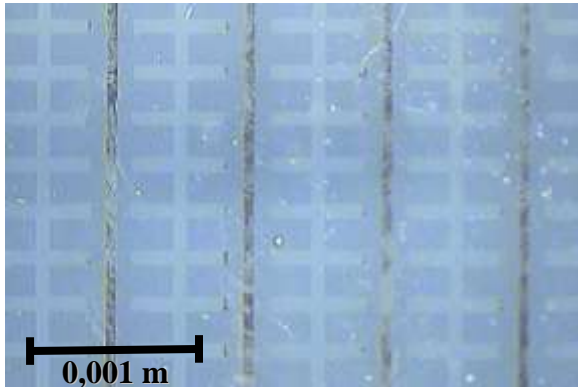


LCCA-AN-5C-1F

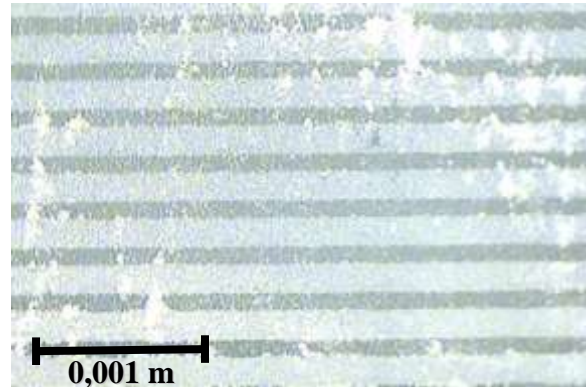
Vidrio PDP Trasero



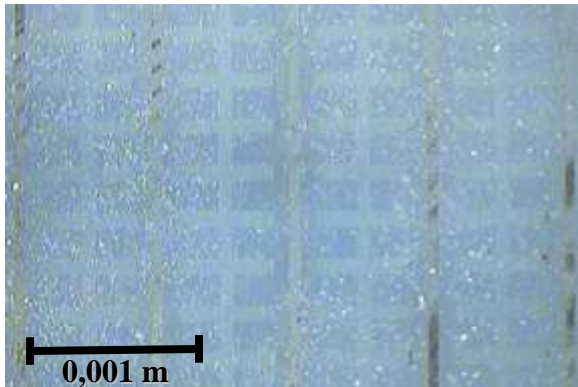
LCCA-AN-5C-1T



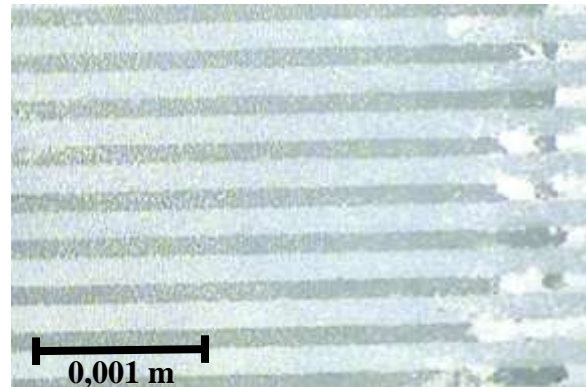
LCCA-AN-5C-2F



LCCA-AN-5C-2T



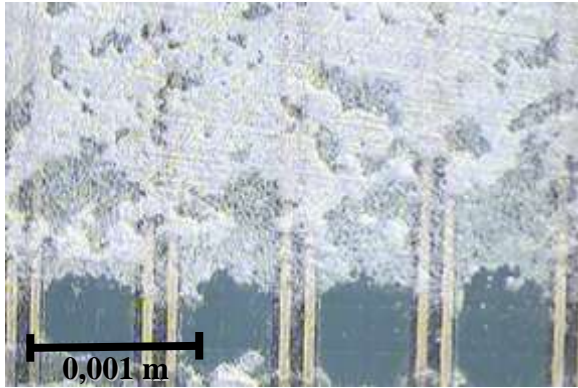
LCCA-AN-5C-3F



LCCA-AN-5C-3T

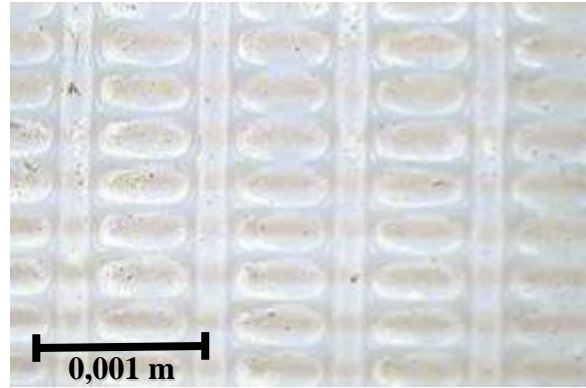
Tabla 37. LCCA con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 0,01\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

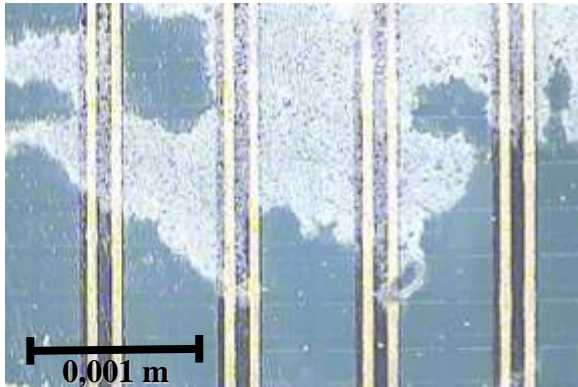


LCCA-AC-1C-1F

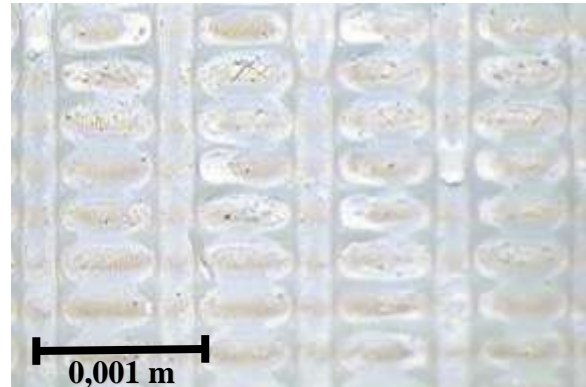
Vidrio PDP Trasero



LCCA-AC-1C-1T



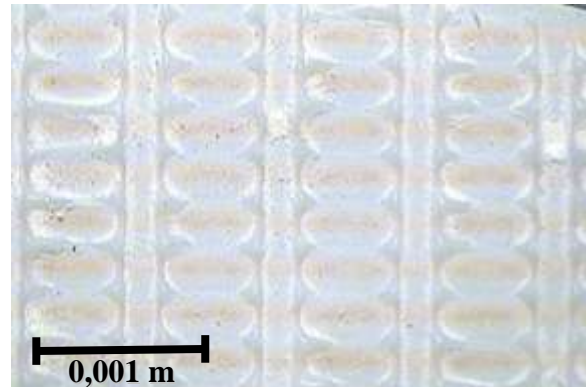
LCCA-AC-1C-2F



LCCA-AC-1C-2T



LCCA-AC-1C-3F



LCCA-AC-1C-3T

Tabla 38. LCCA con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 2,07\text{ M}$).

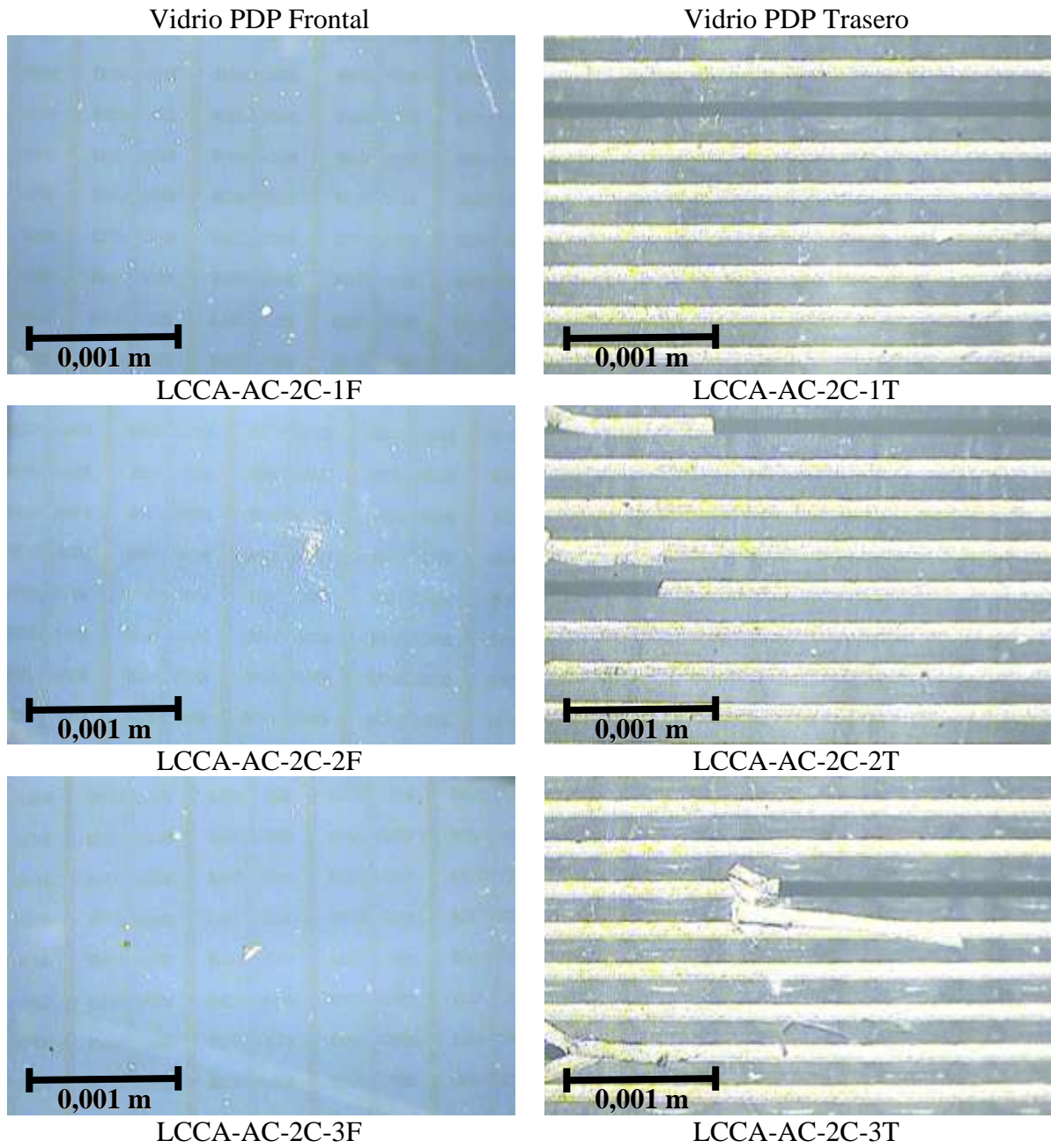


Tabla 39. LCCA con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 4,13\text{ M}$).

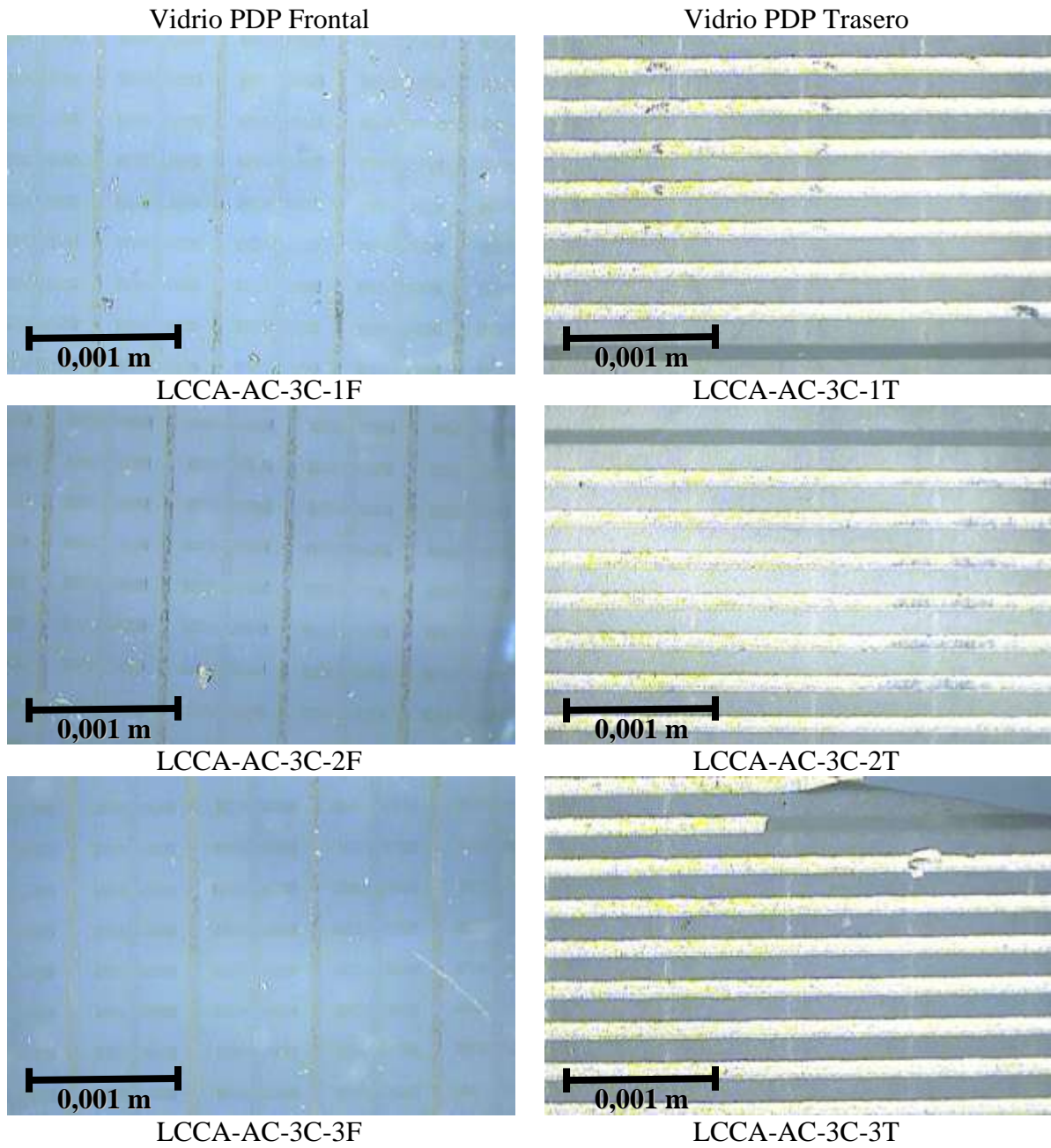


Tabla 40. LCCA con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 6,19\text{ M}$).

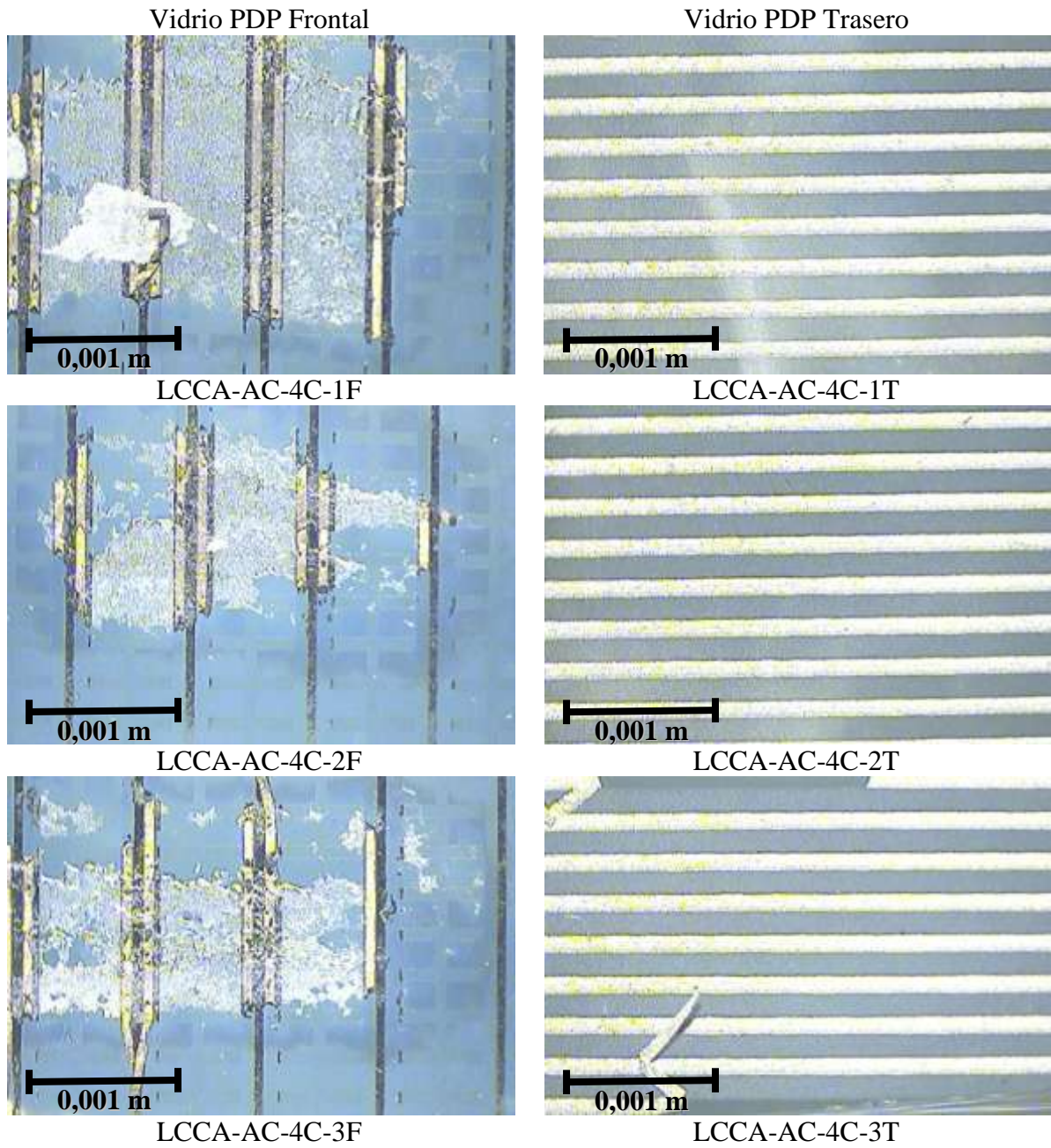


Tabla 41. LCCA con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 8,23\text{ M}$).

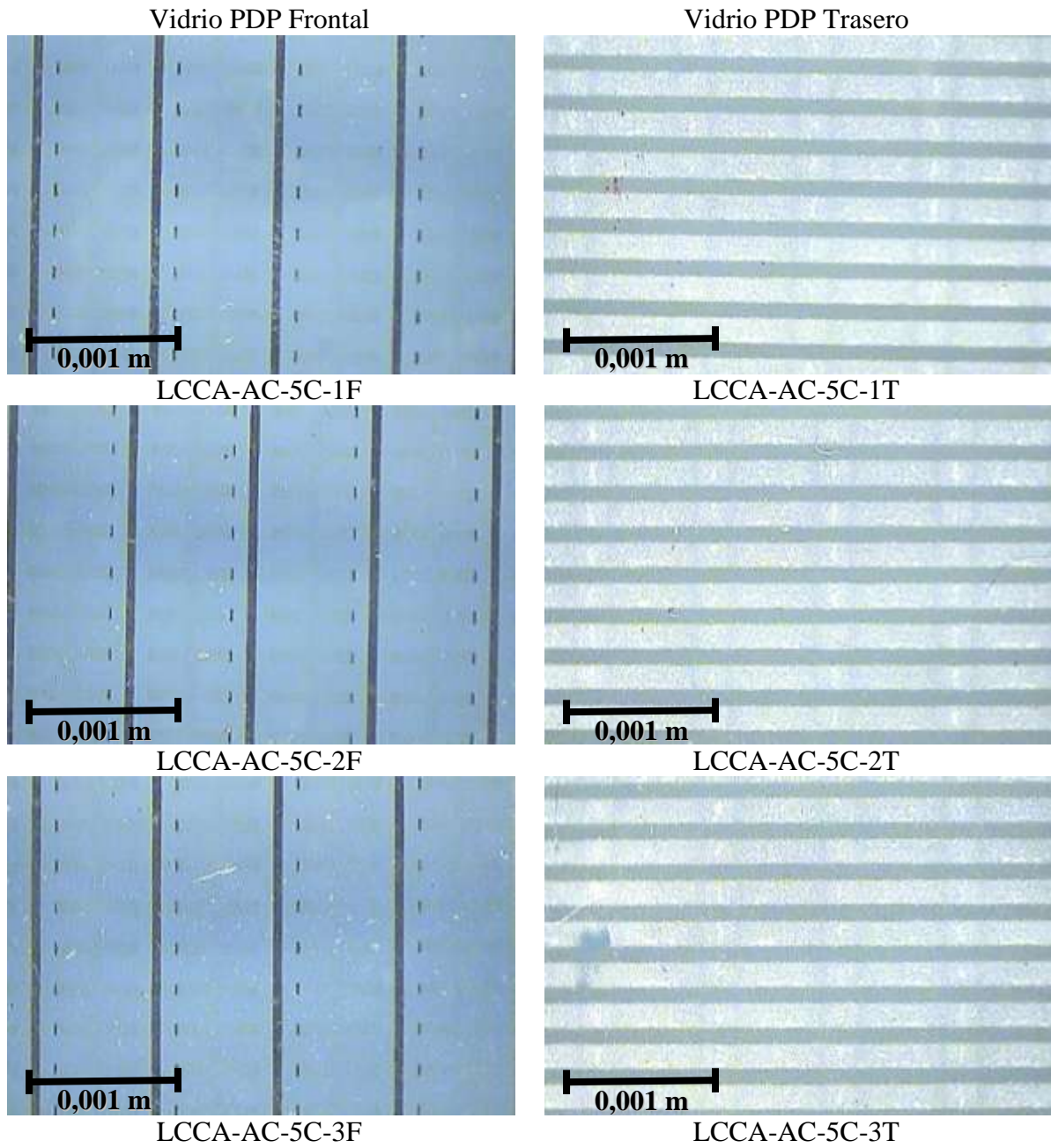


Tabla 42. LCCA con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 0,01$

M).

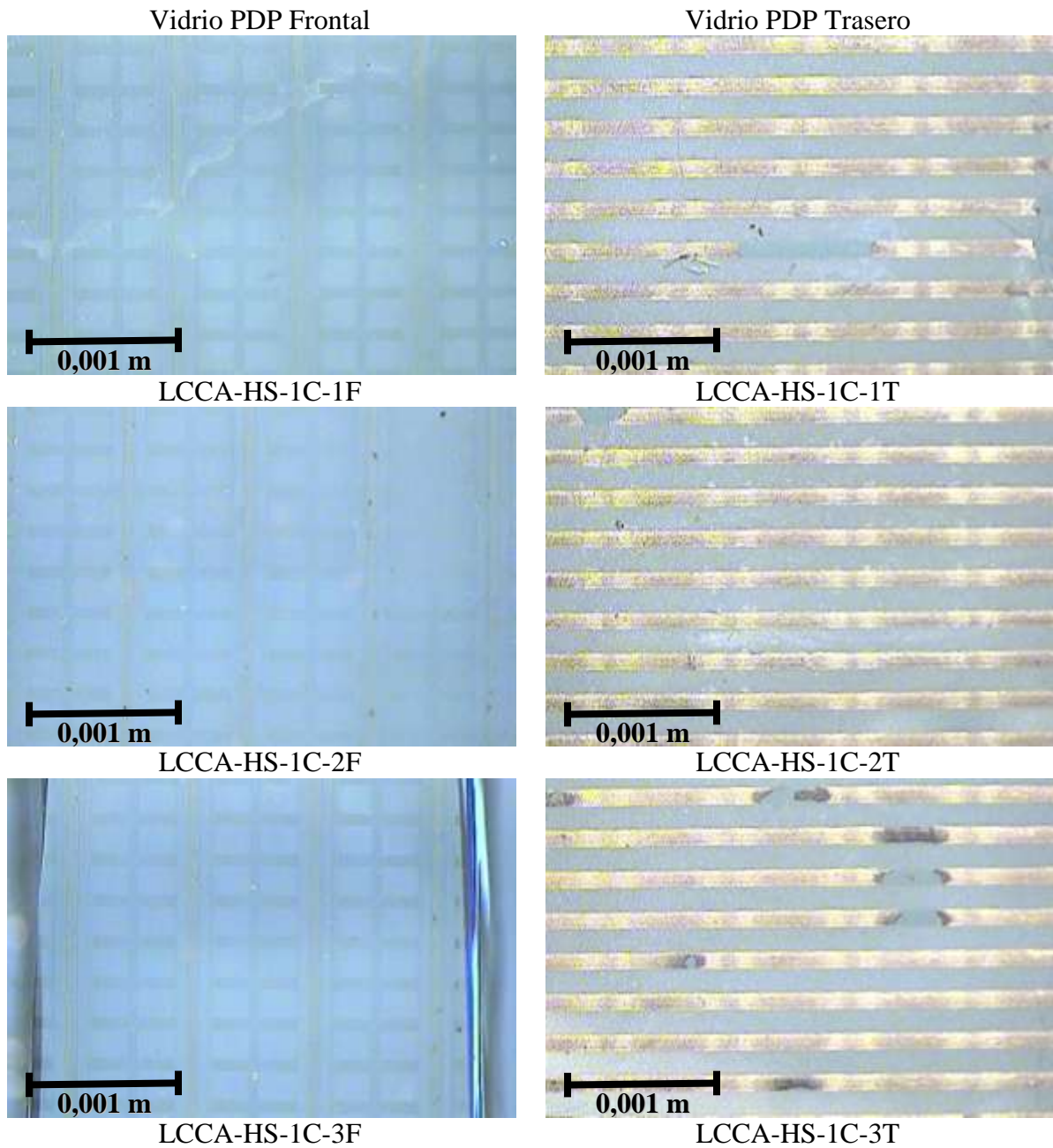


Tabla 43. LCCA con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 3,42$

M).

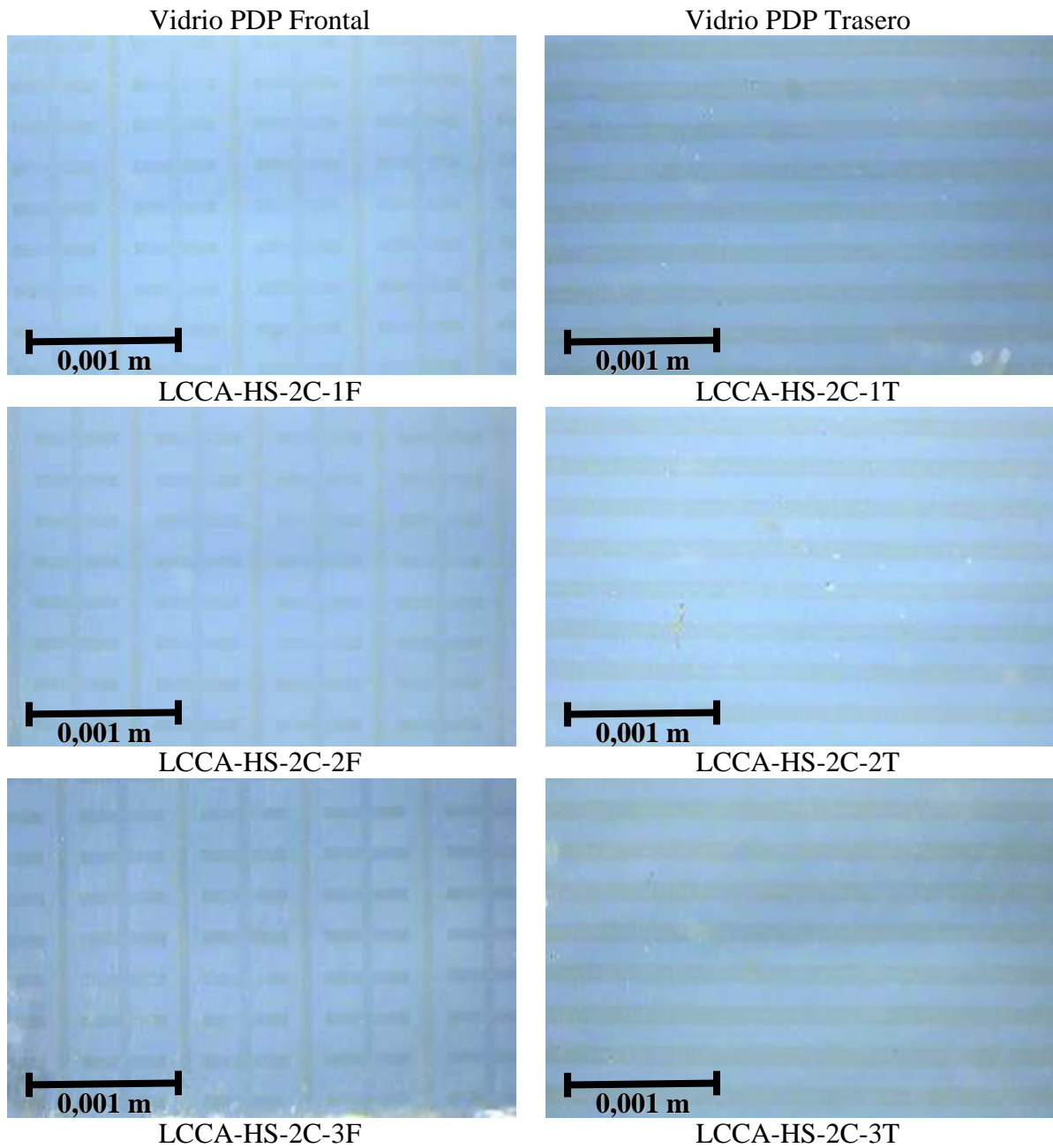


Tabla 44. LCCA con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 6,82$

M).

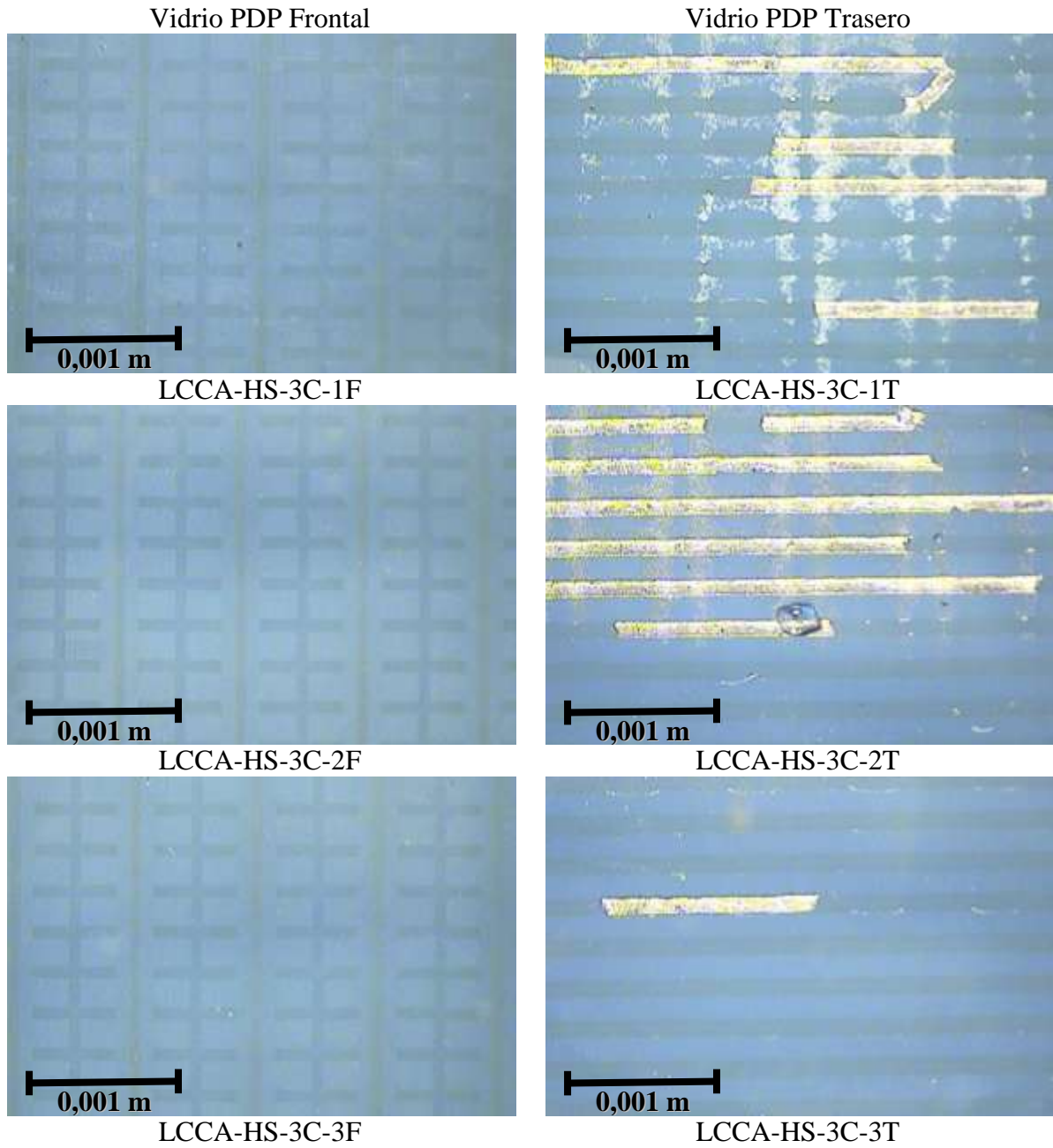


Tabla 45. LCCA con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 10,23$

M).

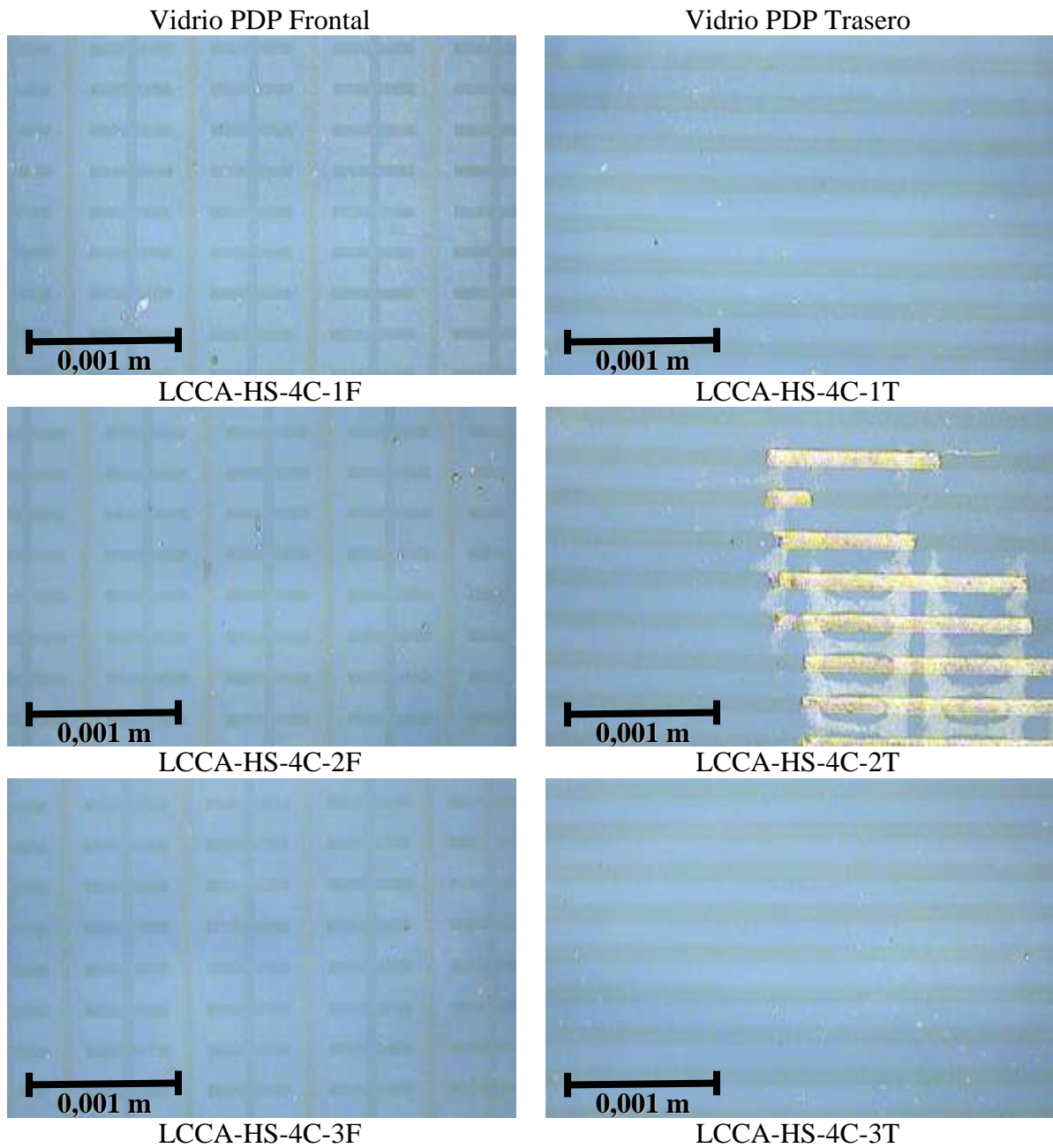


Tabla 46. LCCA con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 13,63$

M).

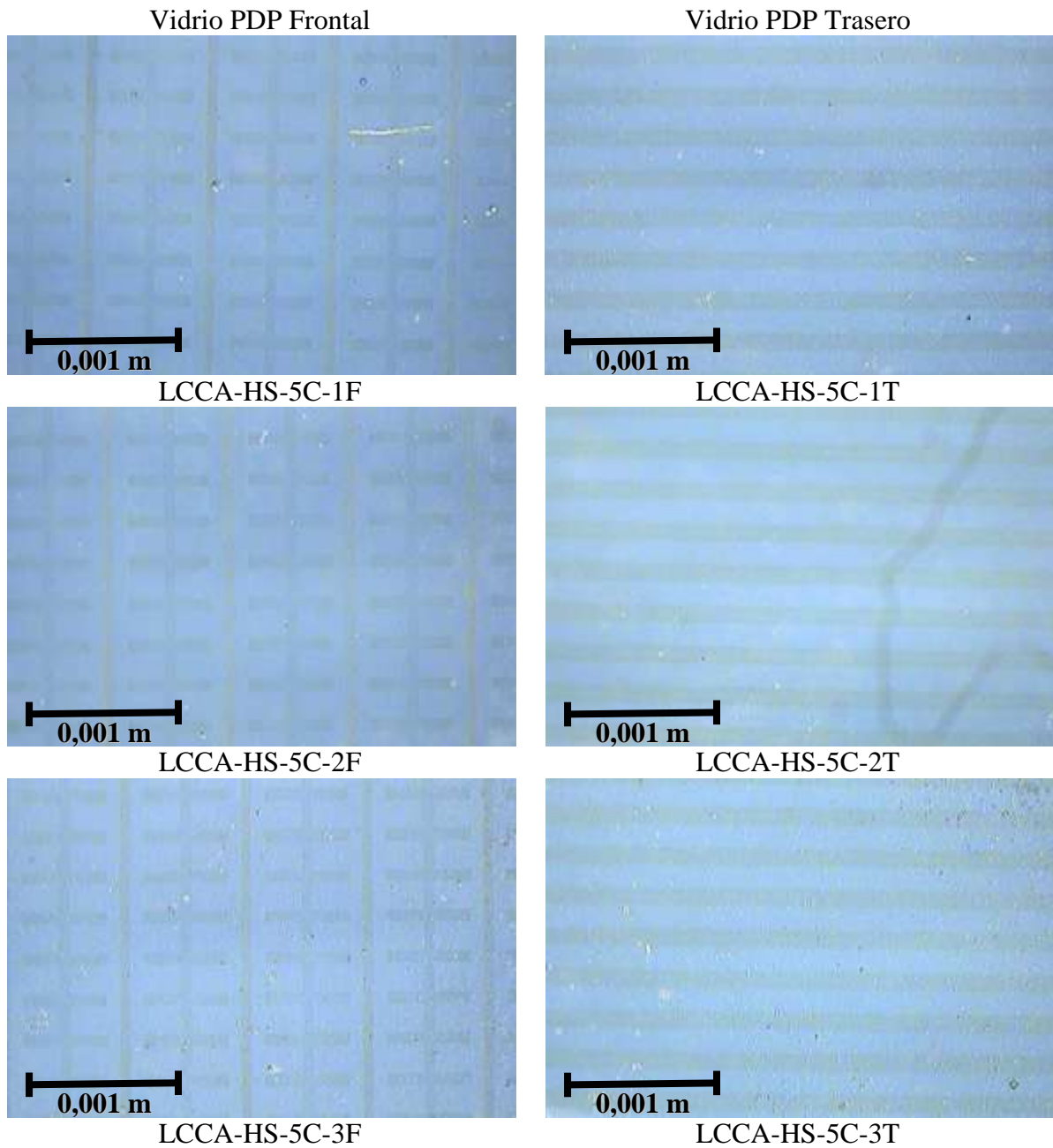


Tabla 47. LCCA con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 0,01$

M).

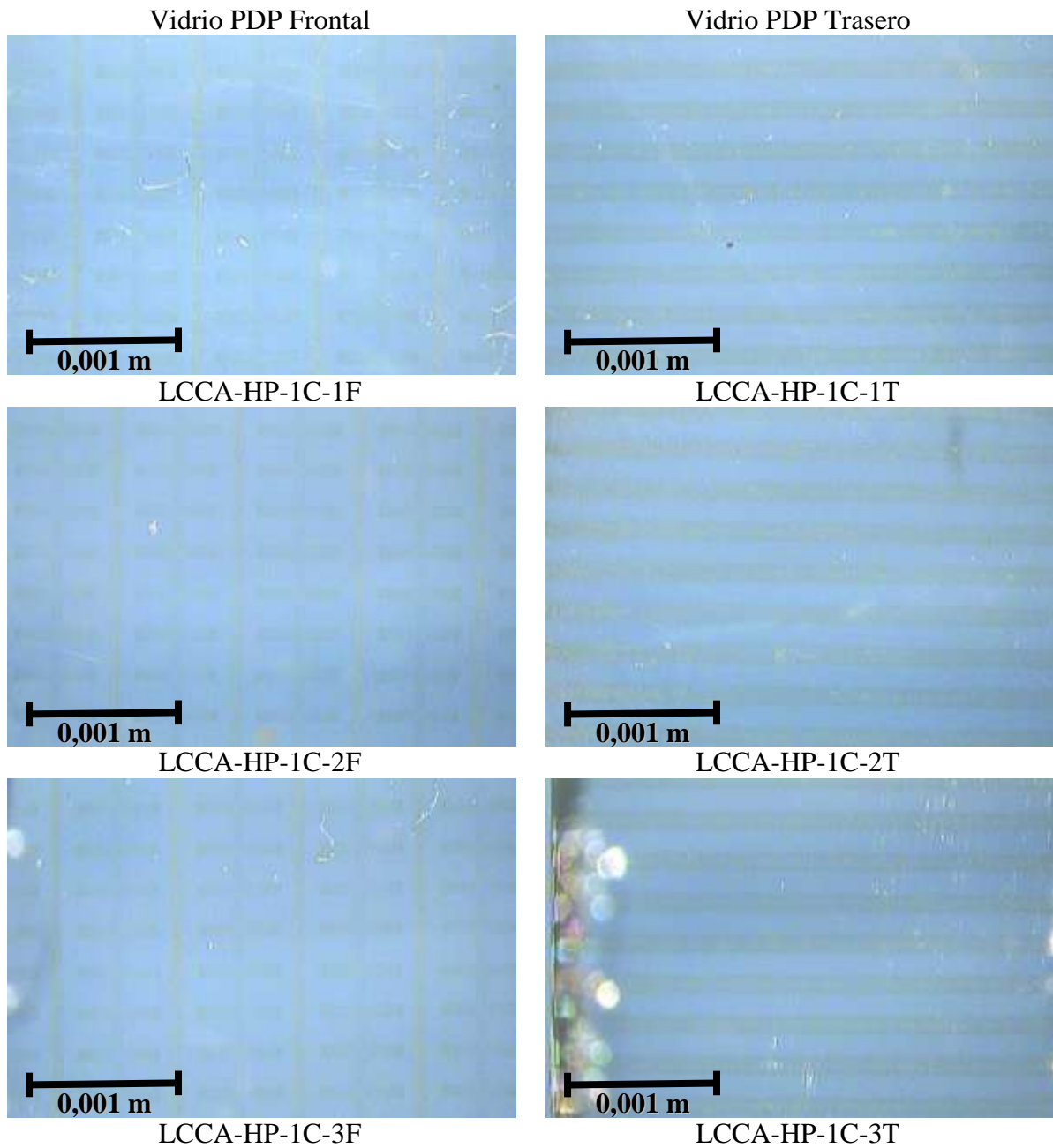


Tabla 48. LCCA con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 2,46$

M).

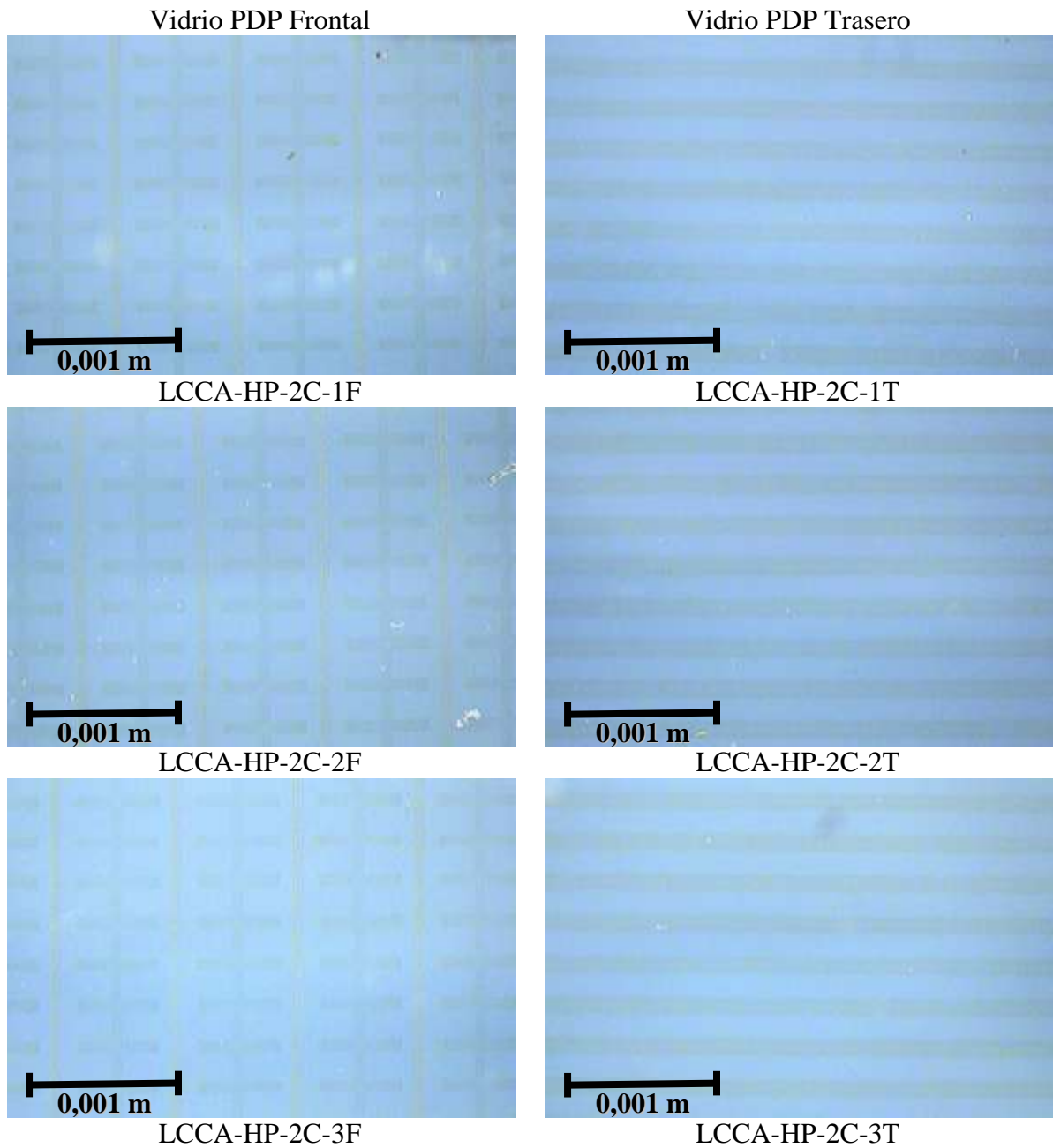


Tabla 49. LCCA con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 4,91$

M).

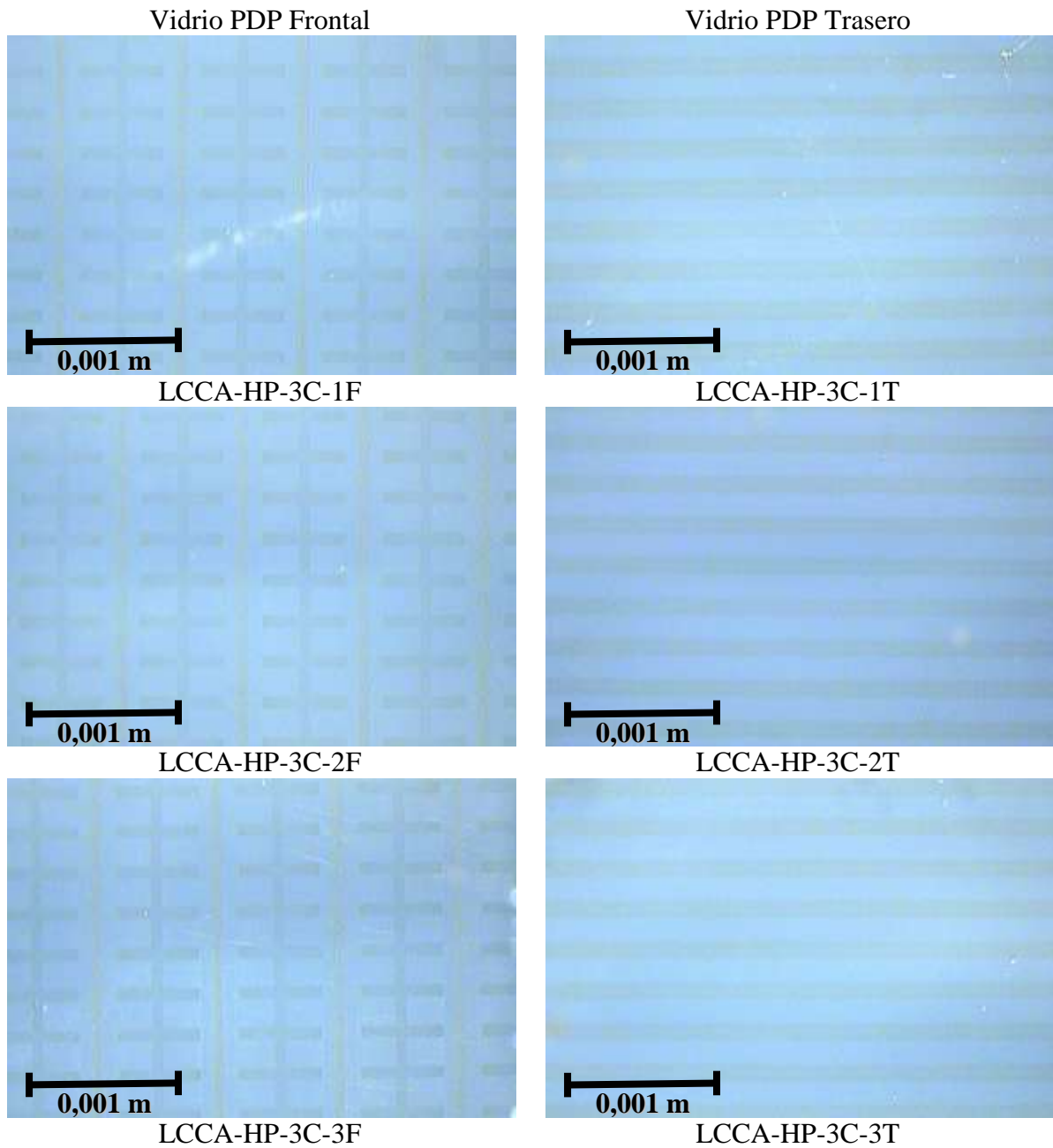


Tabla 50. LCCA con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 7,36$

M).

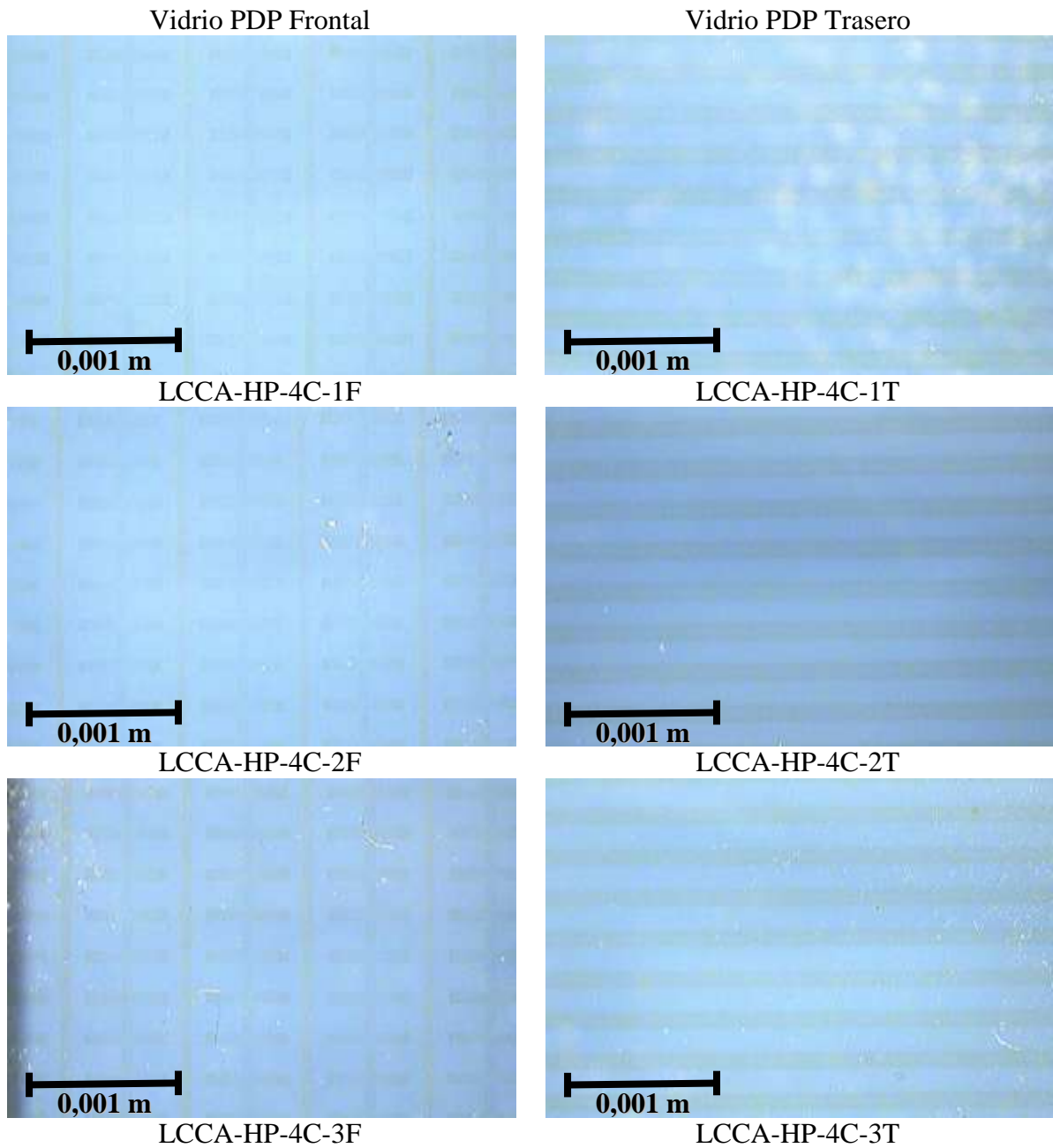


Tabla 51. LCCA con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 9,81$

M).

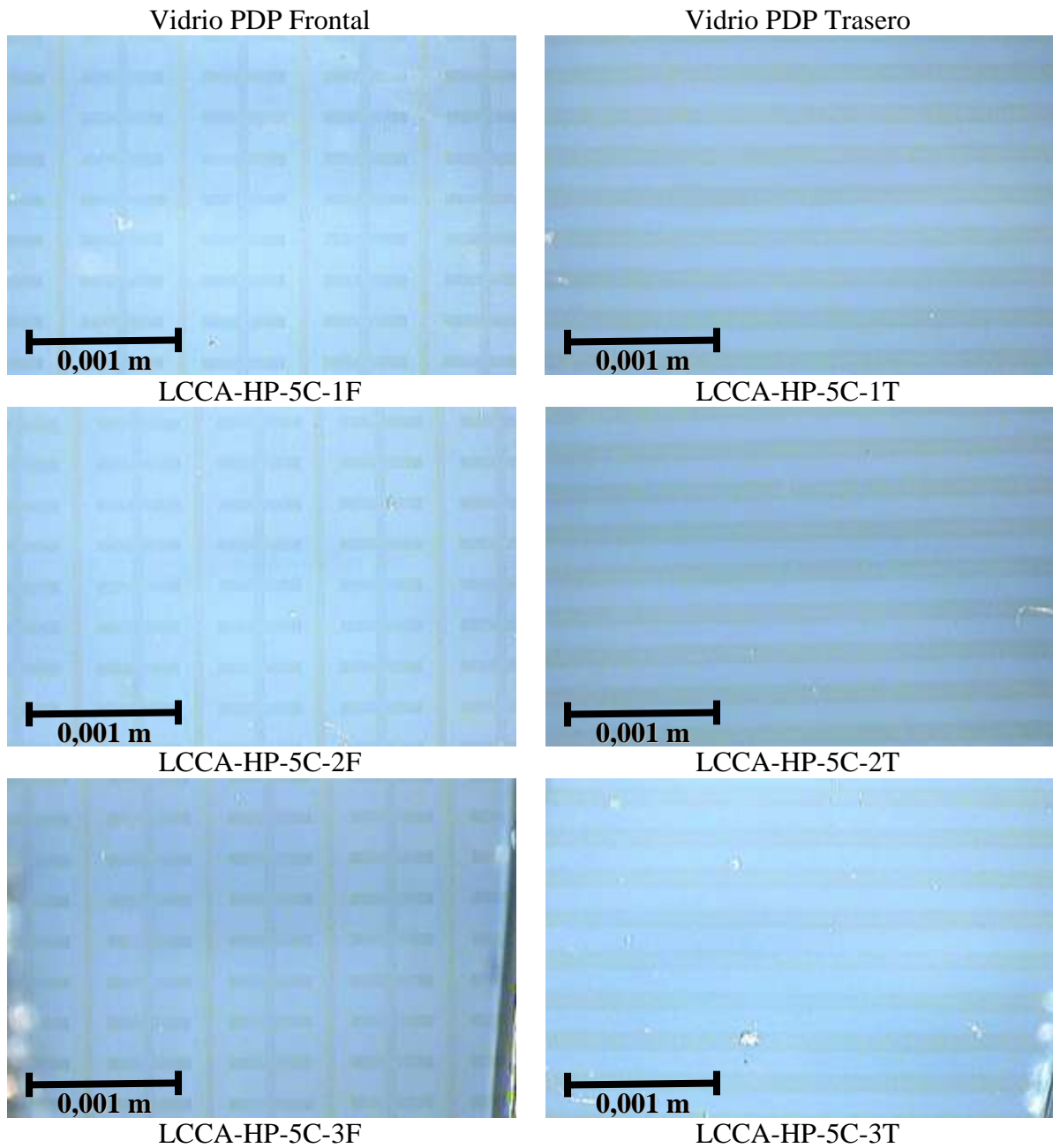
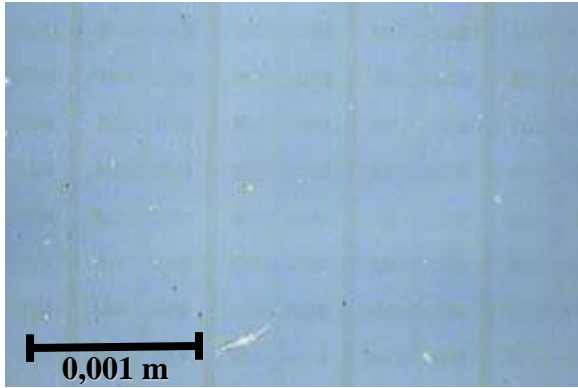


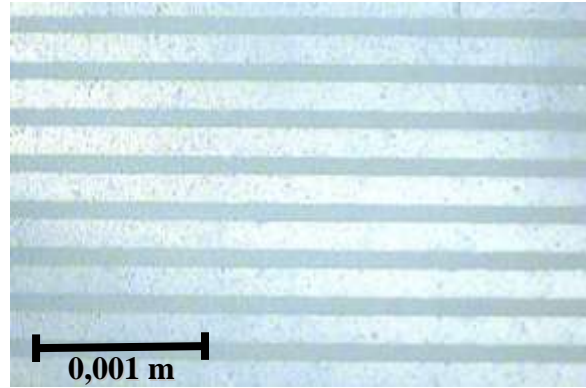
Tabla 52. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

Vidrio PDP Frontal

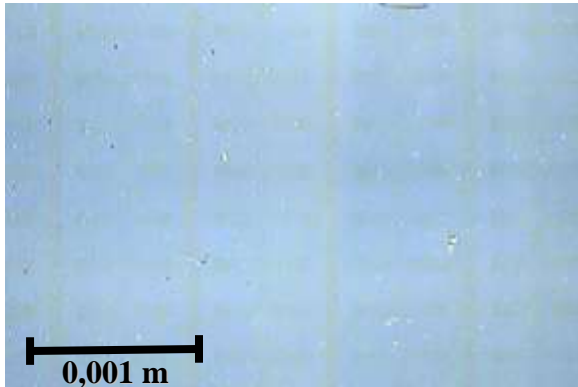


LCUS-AR-1C-1F

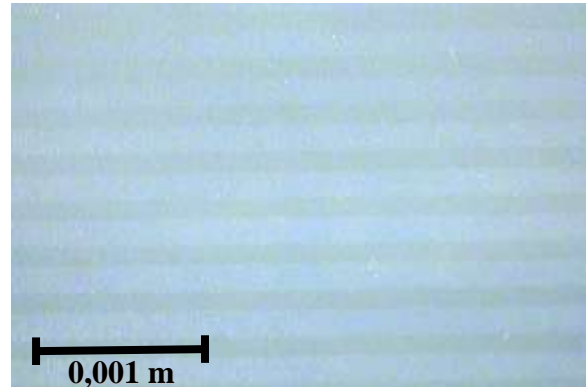
Vidrio PDP Trasero



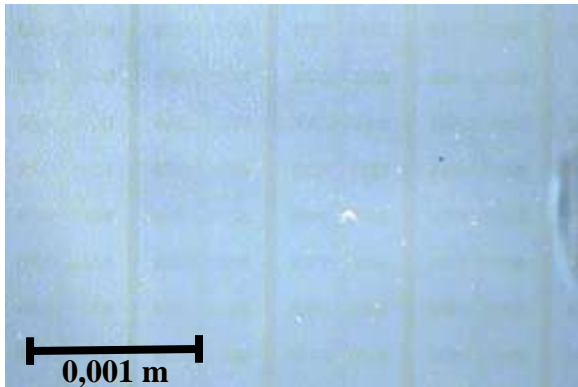
LCUS-AR-1C-1T



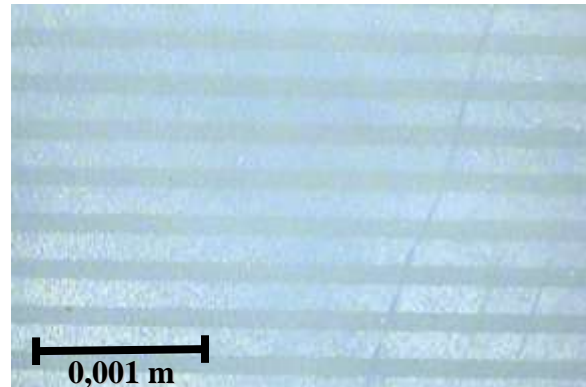
LCUS-AR-1C-2F



LCUS-AR-1C-2T



LCUS-AR-1C-3F



LCUS-AR-1C-3T

Tabla 53. LCUS con mezcla crómica (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

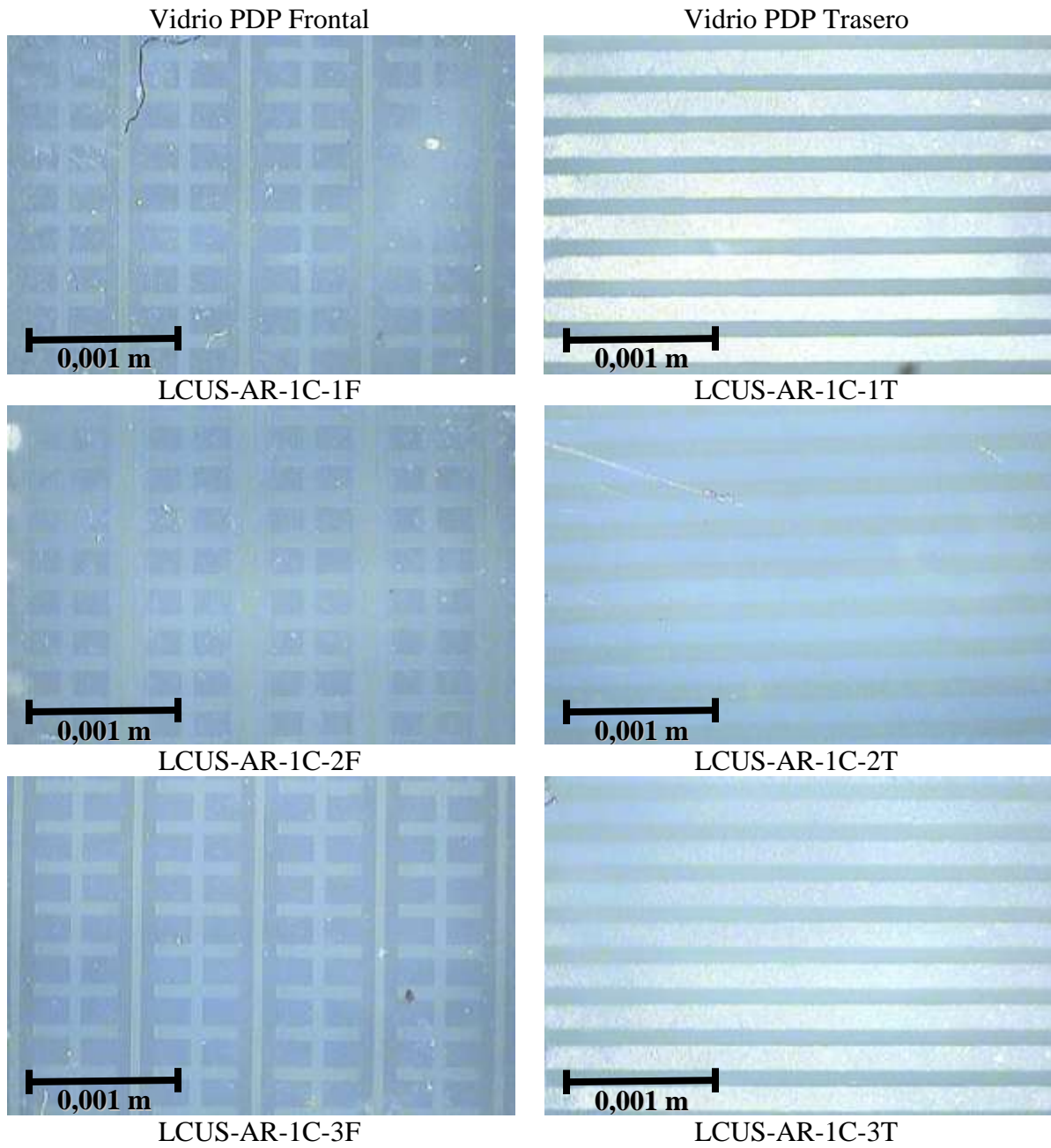


Tabla 54. LCUS con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0,01\text{ M}$).

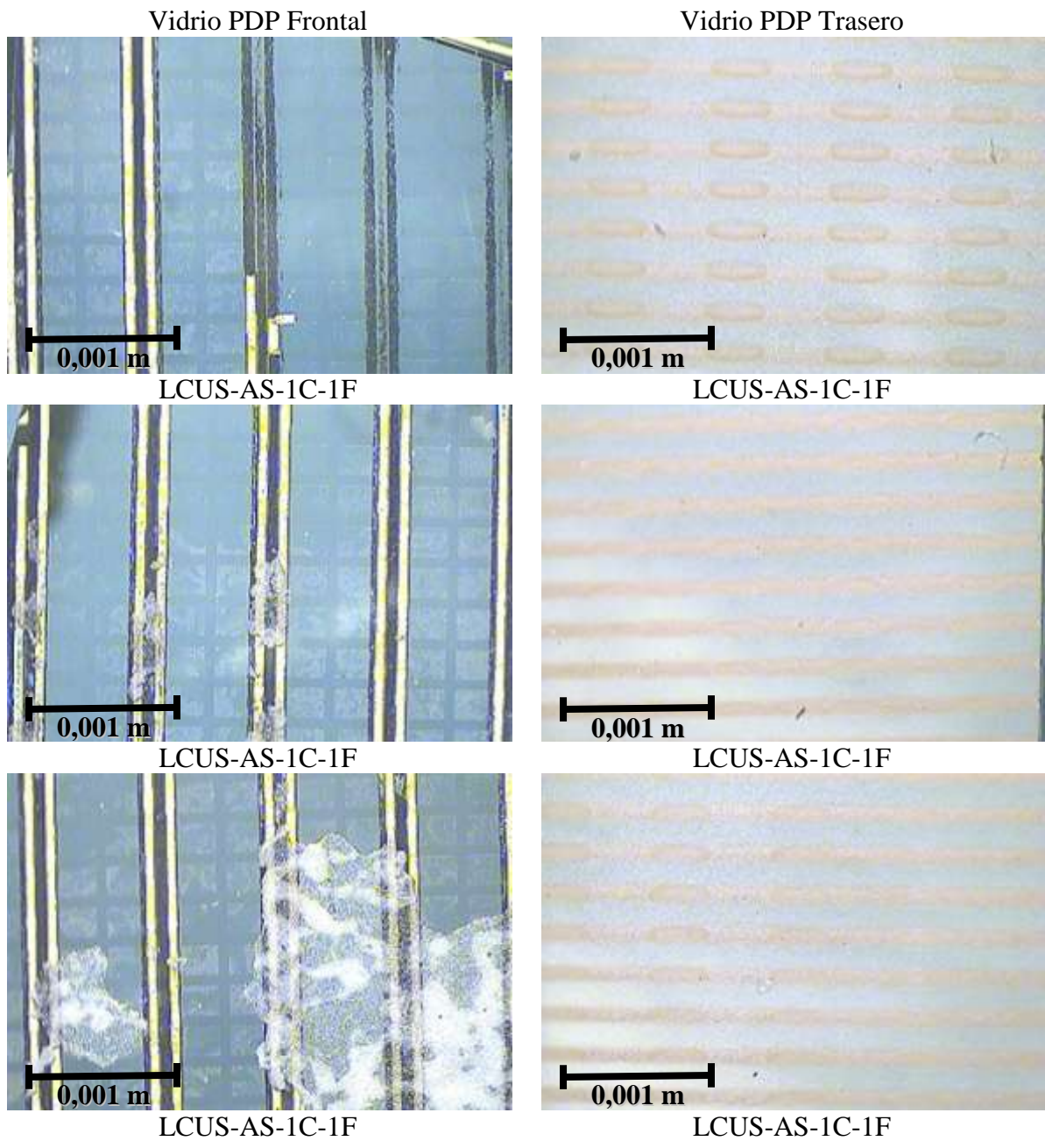


Tabla 55. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H₂SO₄] = 3,63 M).

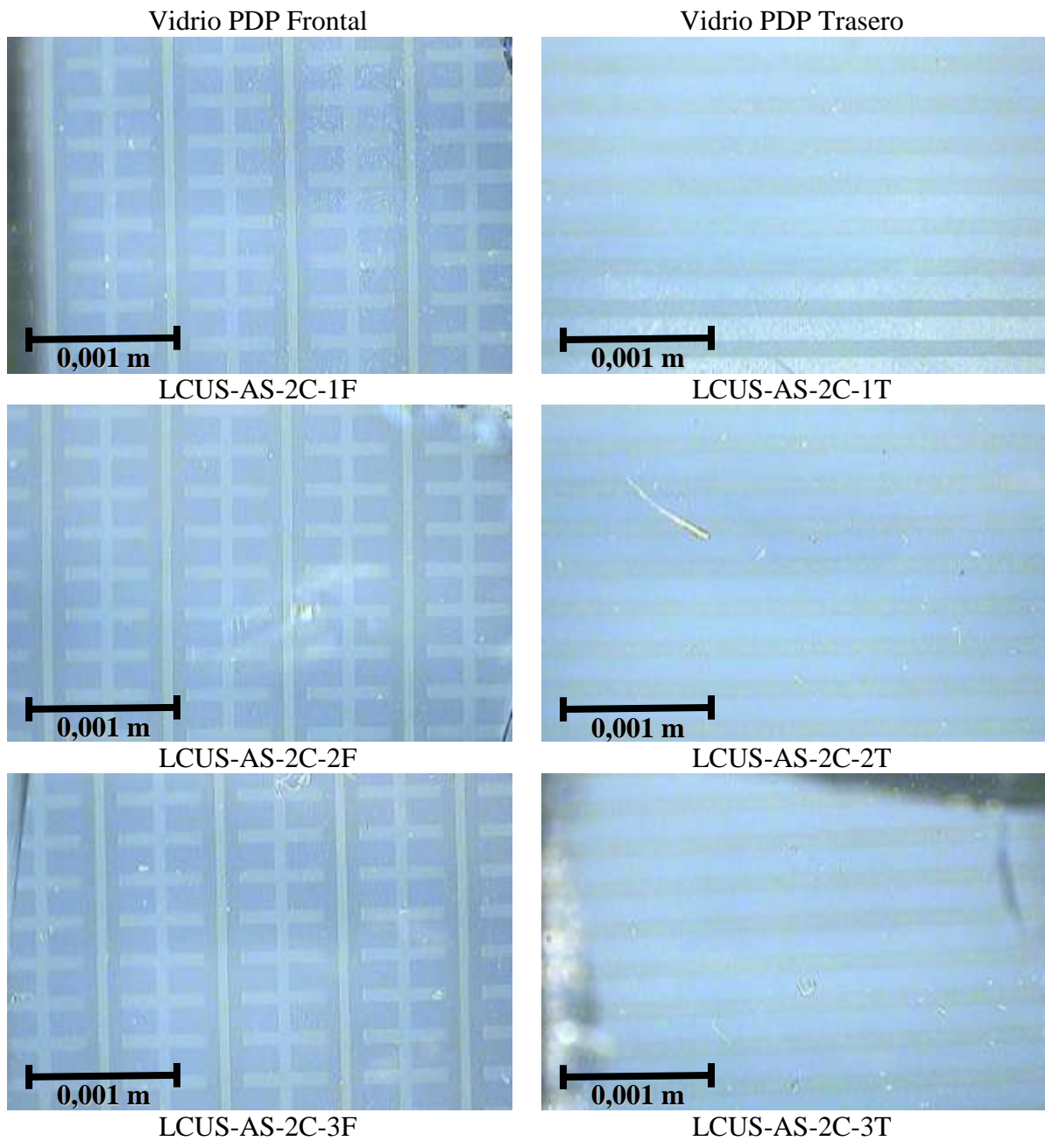


Tabla 56. LCUS con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 7,25\text{ M}$).

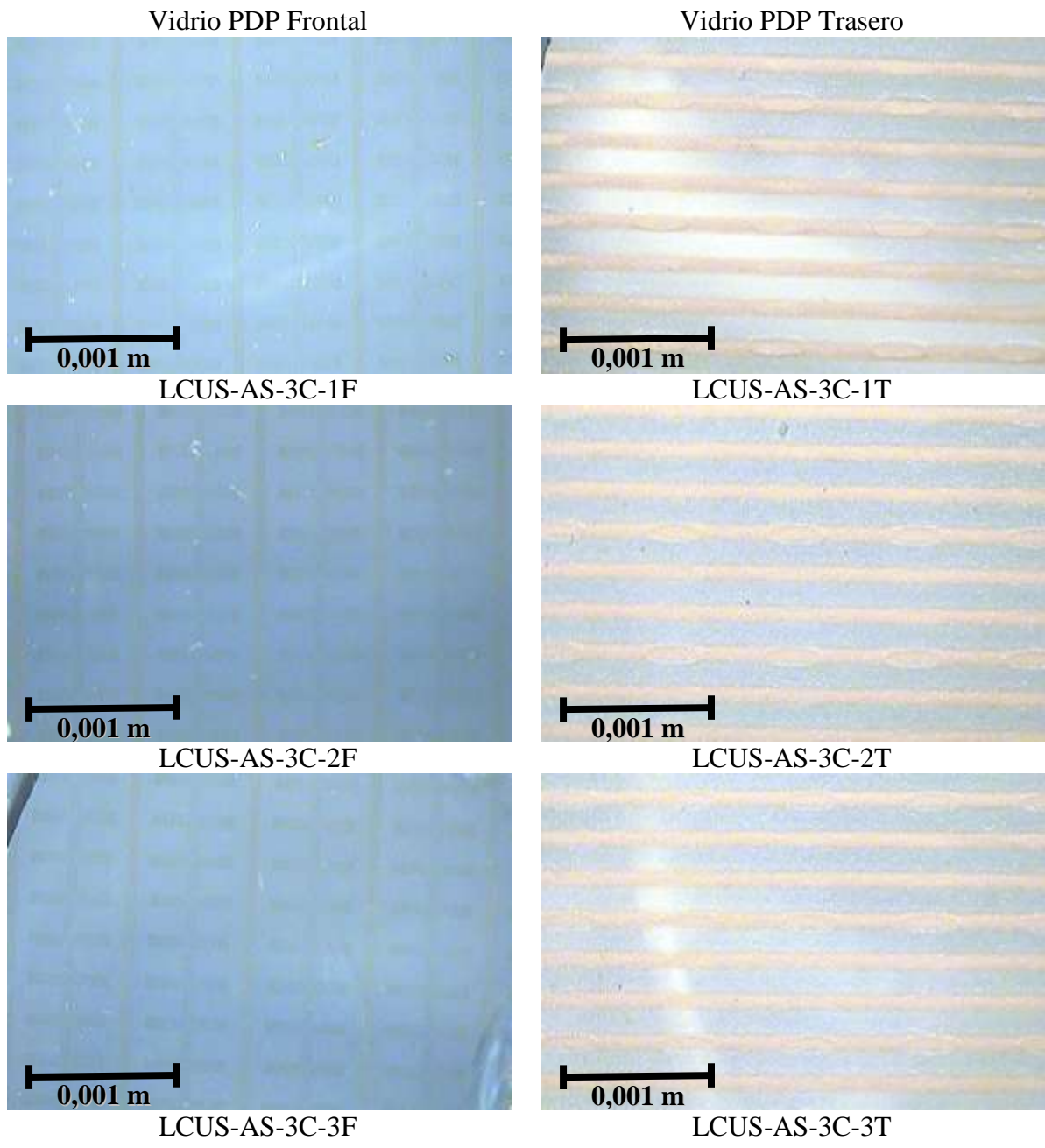


Tabla 57. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H₂SO₄] = 10,88 M).

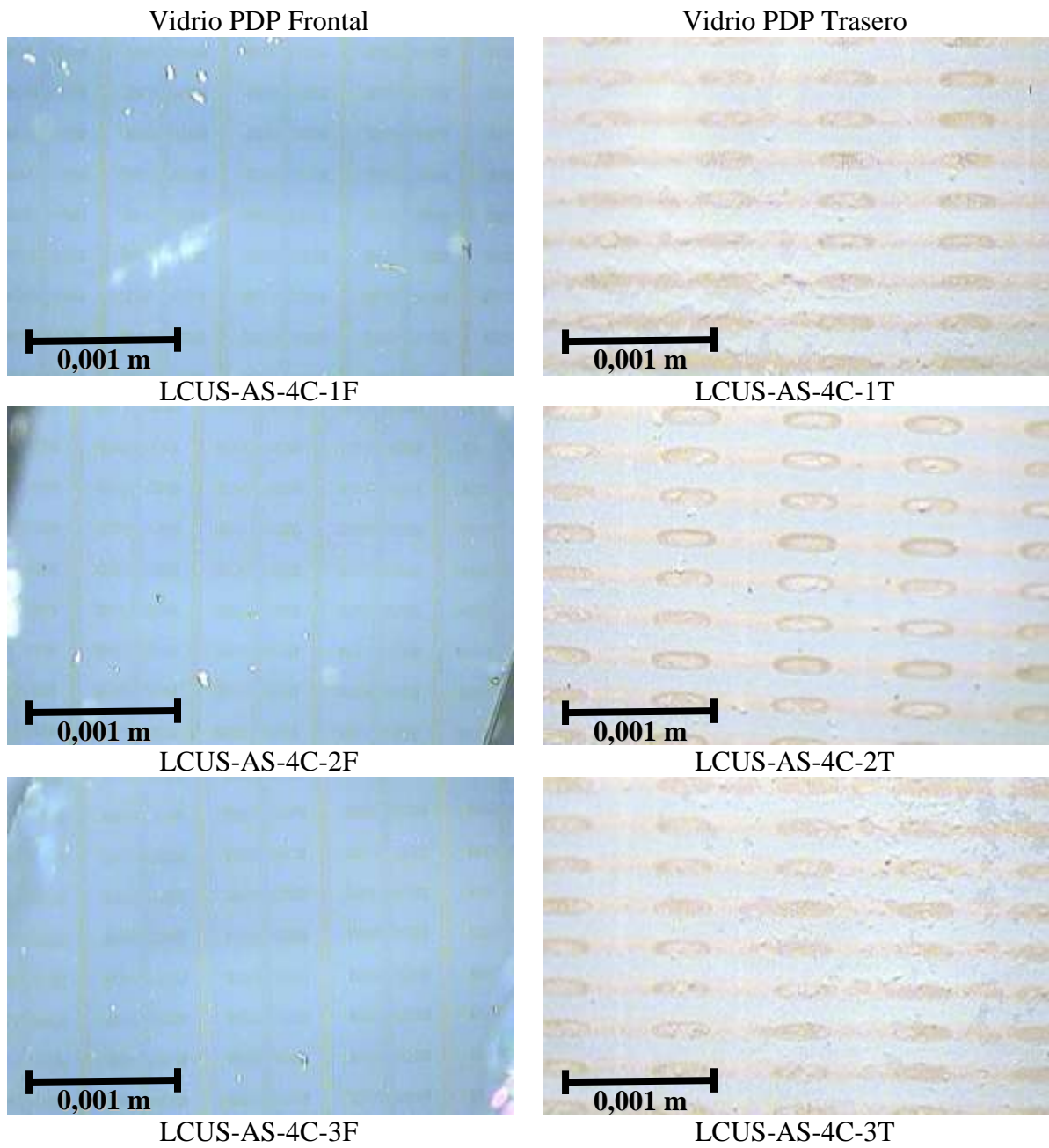


Tabla 58. LCUS con ácido sulfúrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [H₂SO₄] = 14,50 M).

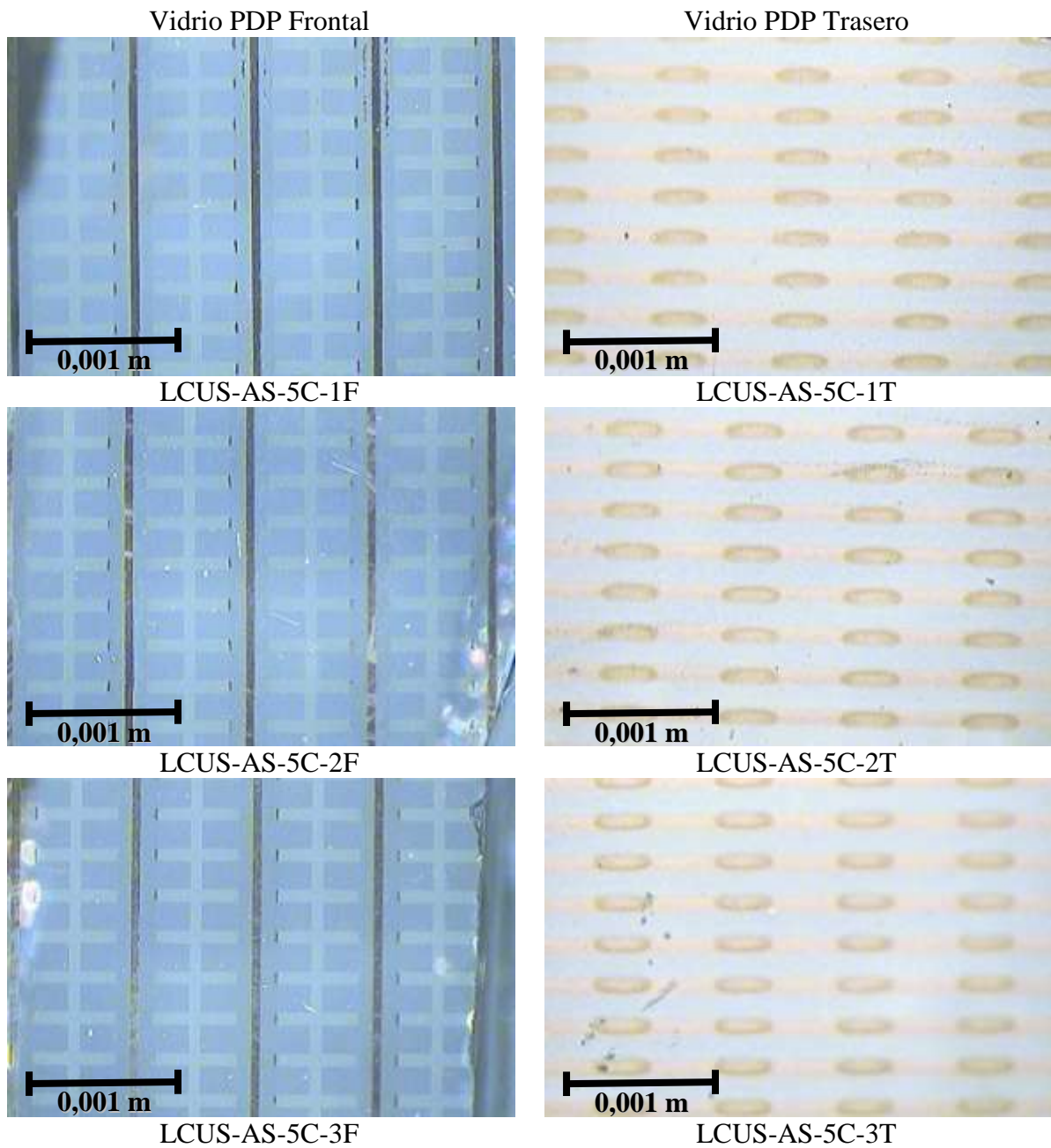


Tabla 59. LCUS con ácido sulfúrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 18,12\text{ M}$).

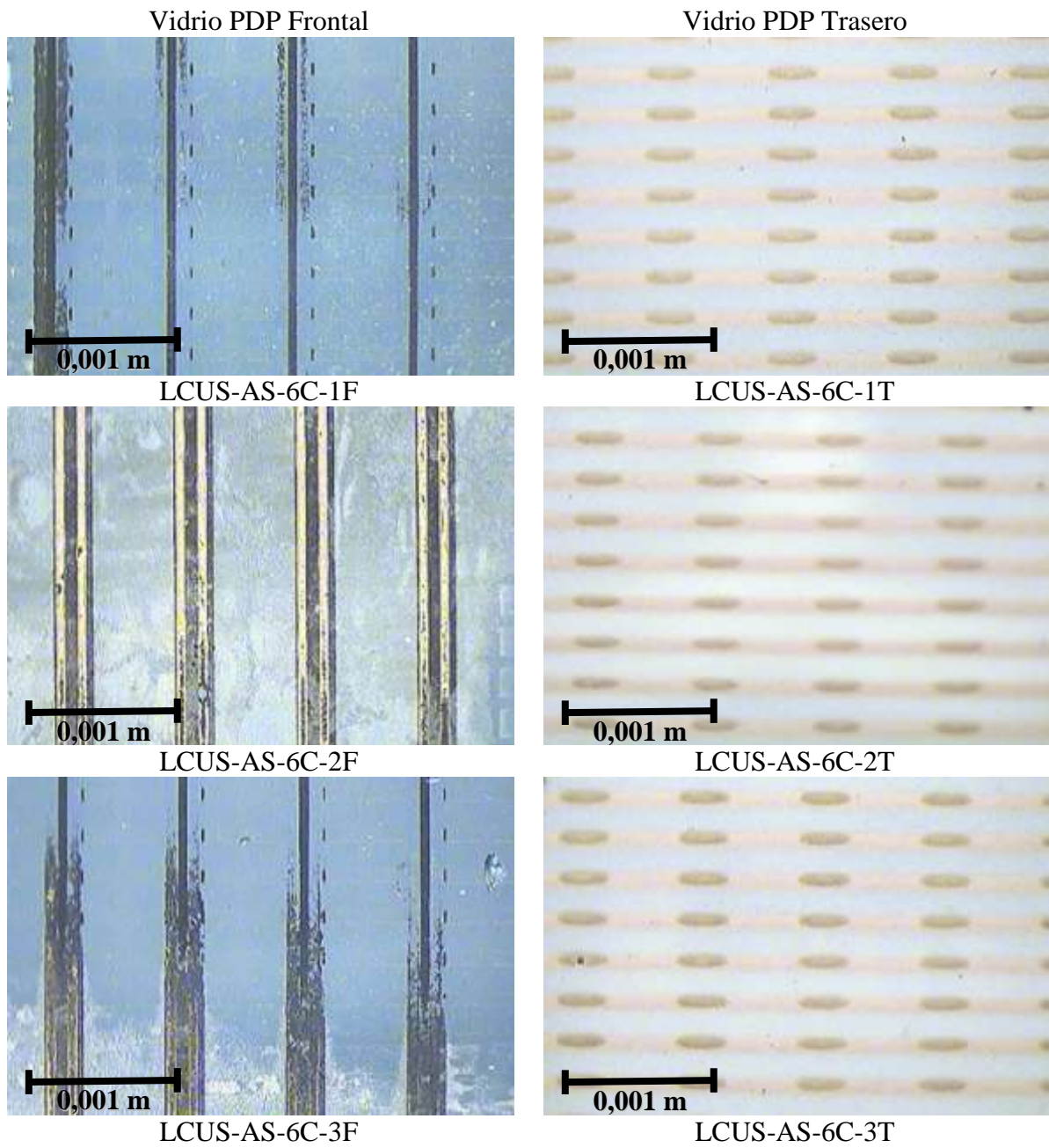


Tabla 60. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO₃] = 0,01 M).

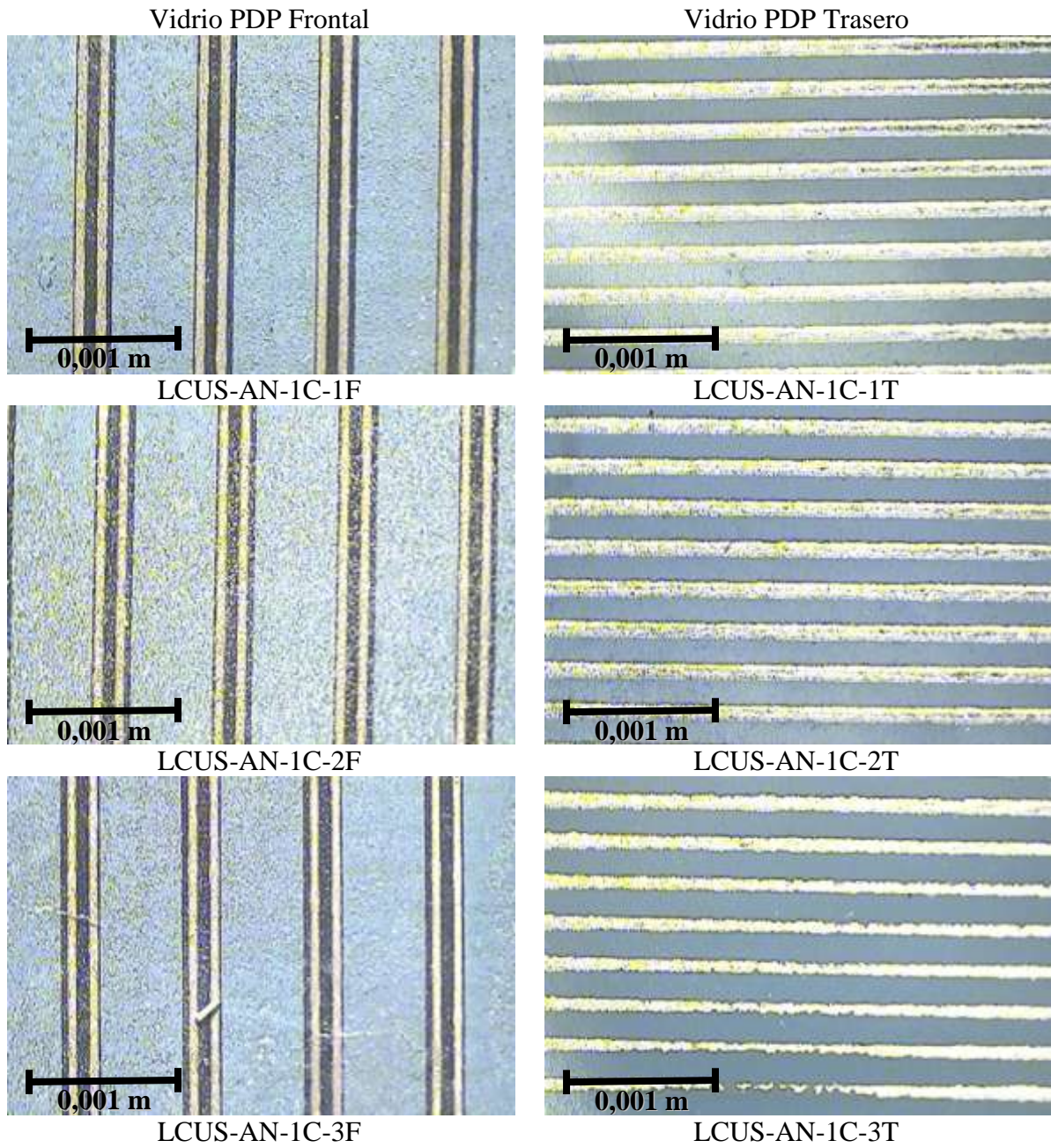


Tabla 61. LCUS con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 2,79\text{ M}$).

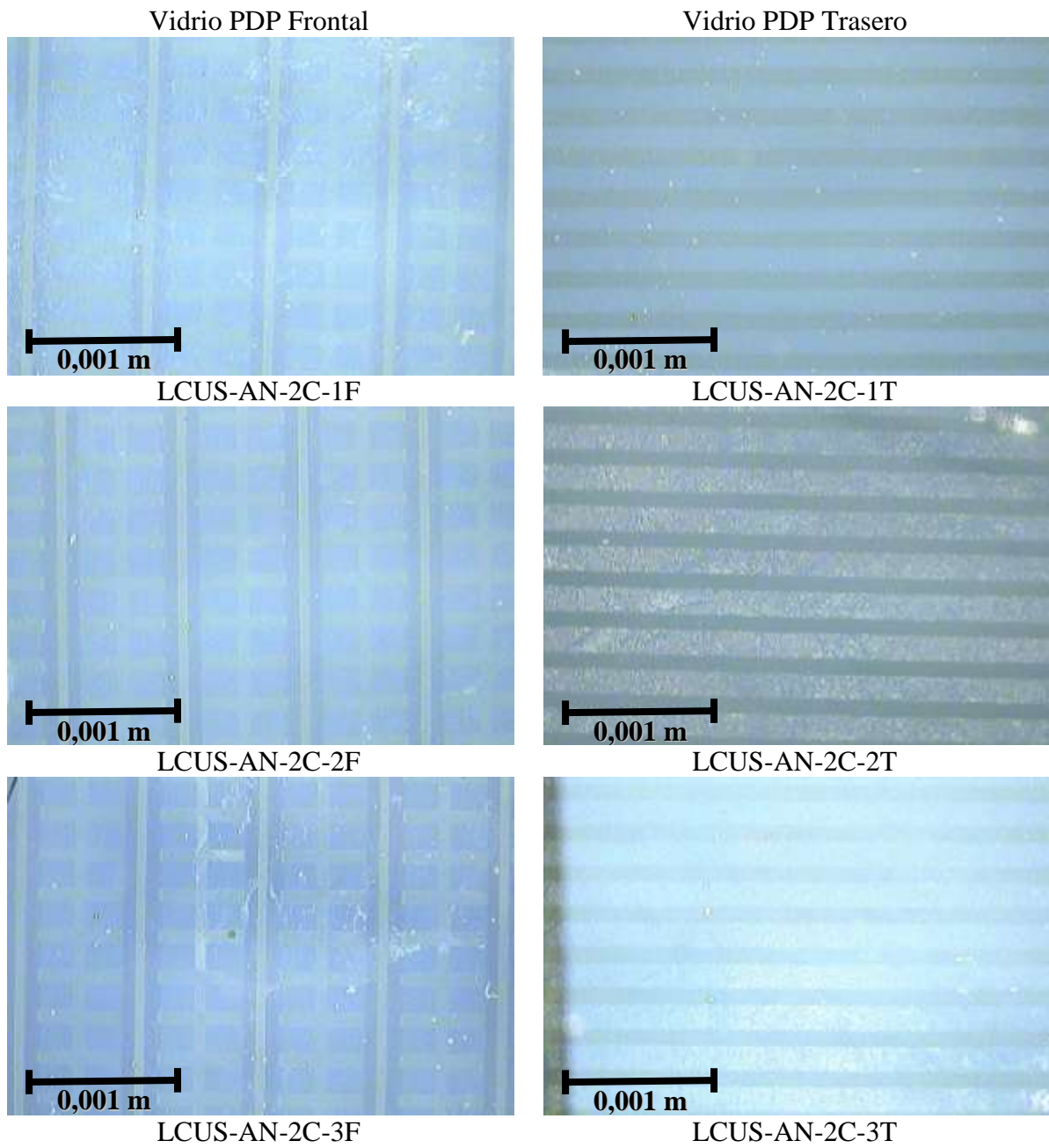


Tabla 62. LCUS con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 5,57\text{ M}$).

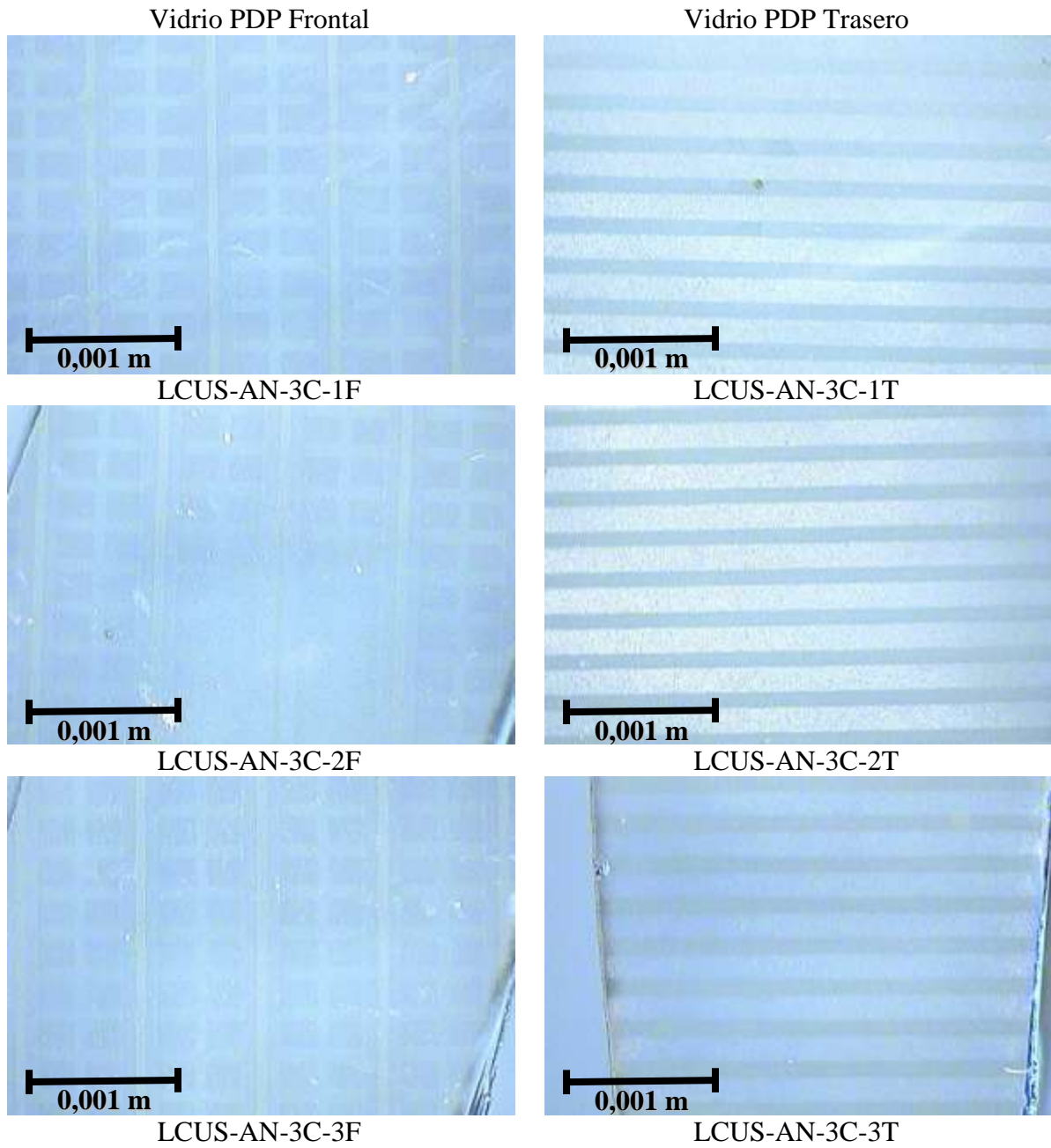


Tabla 63. LCUS con ácido nítrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HNO}_3] = 8,35\text{ M}$).

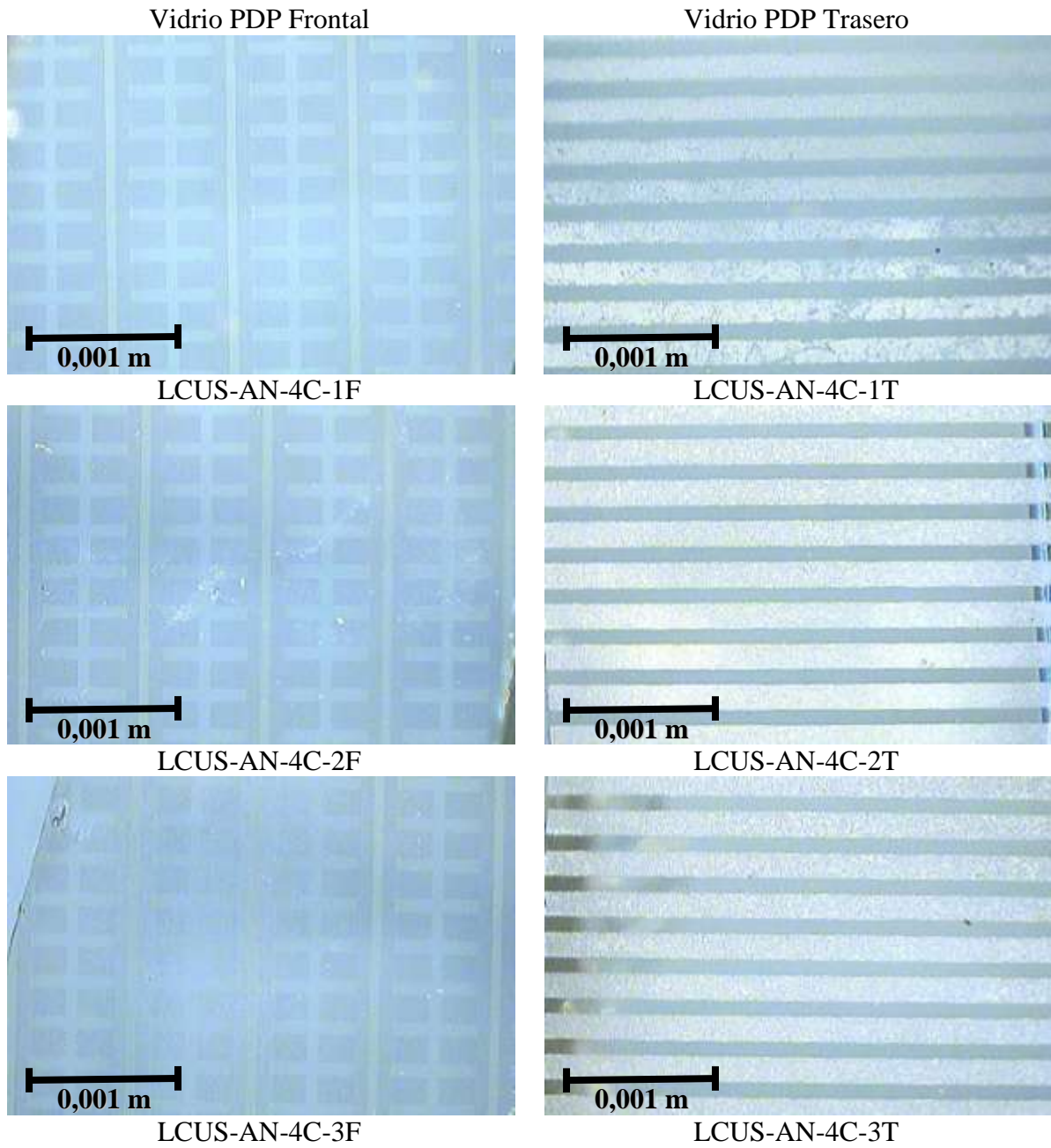


Tabla 64. LCUS con ácido nítrico (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h, [HNO₃] = 11,11 M).

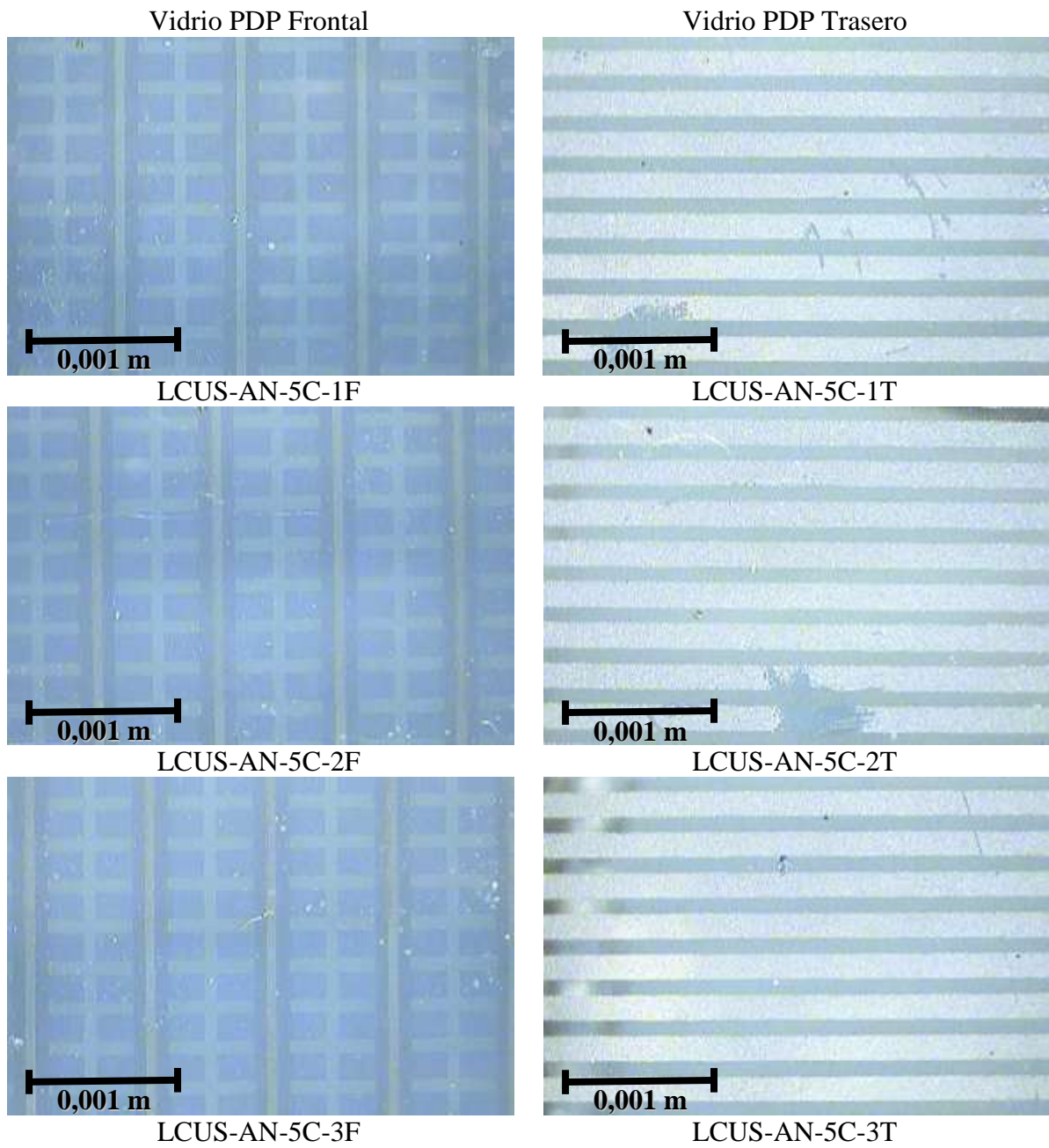


Tabla 65. LCUS con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 0,01\text{ M}$).

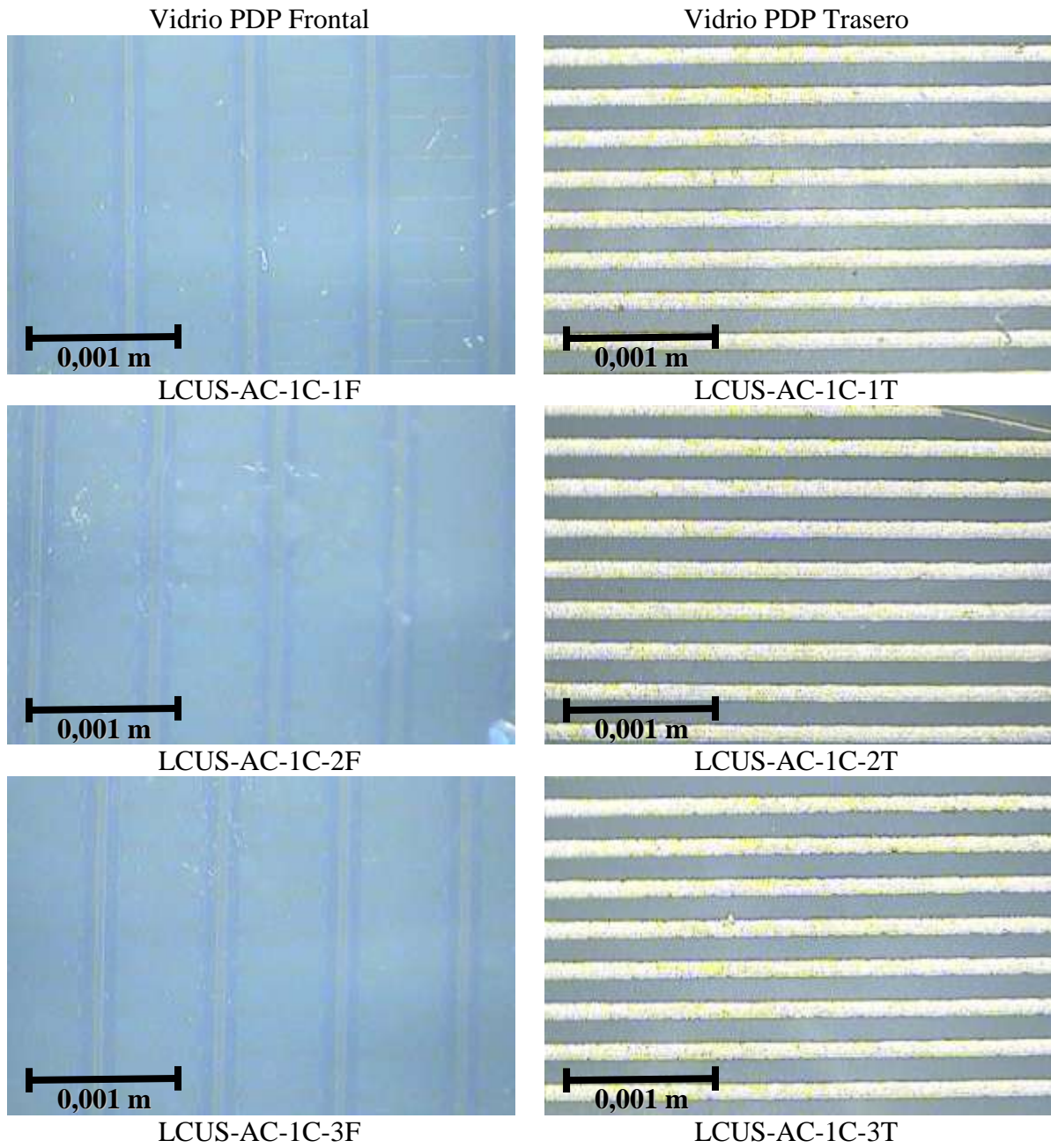
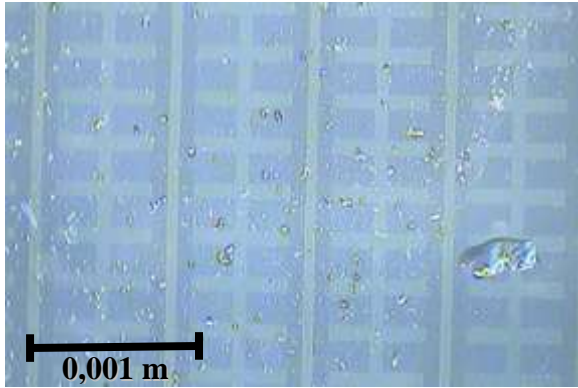


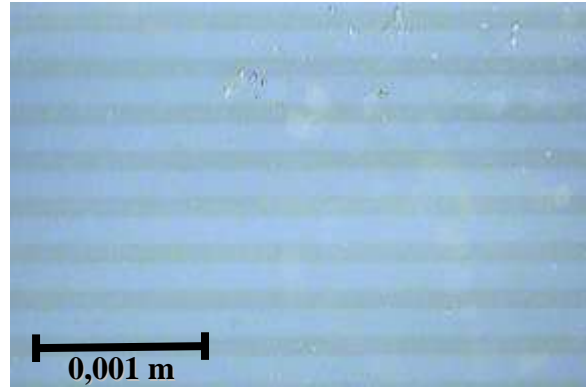
Tabla 66. LCUS con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 2,07\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

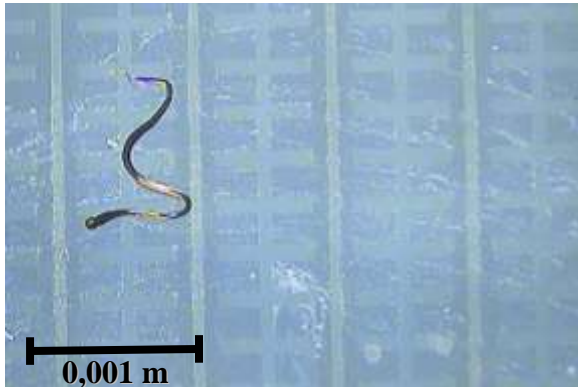


LCUS-AC-2C-1F

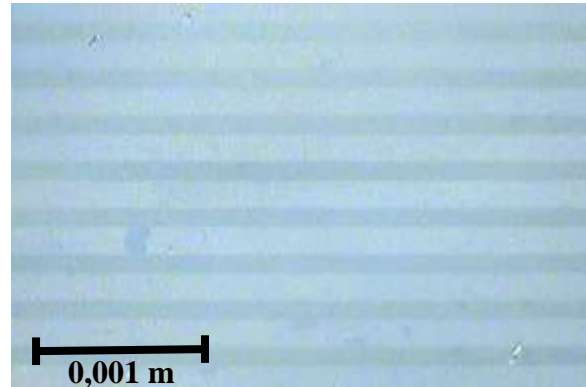
Vidrio PDP Trasero



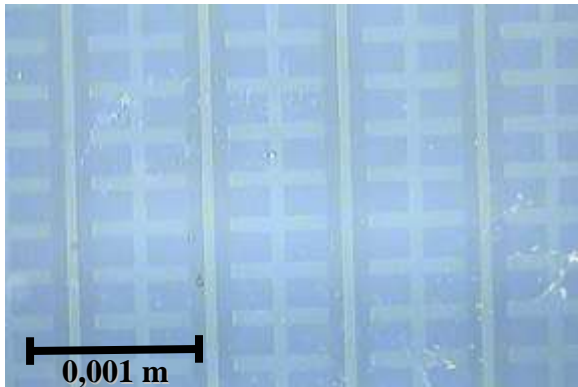
LCUS-AC-2C-1T



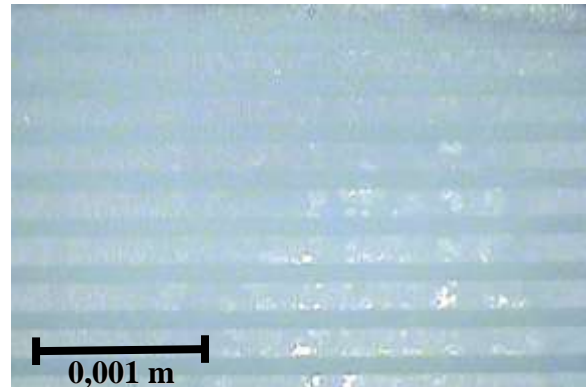
LCUS-AC-2C-2F



LCUS-AC-2C-2T



LCUS-AC-2C-3F



LCUS-AC-2C-3T

Tabla 67. LCUS con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 4,13\text{ M}$).

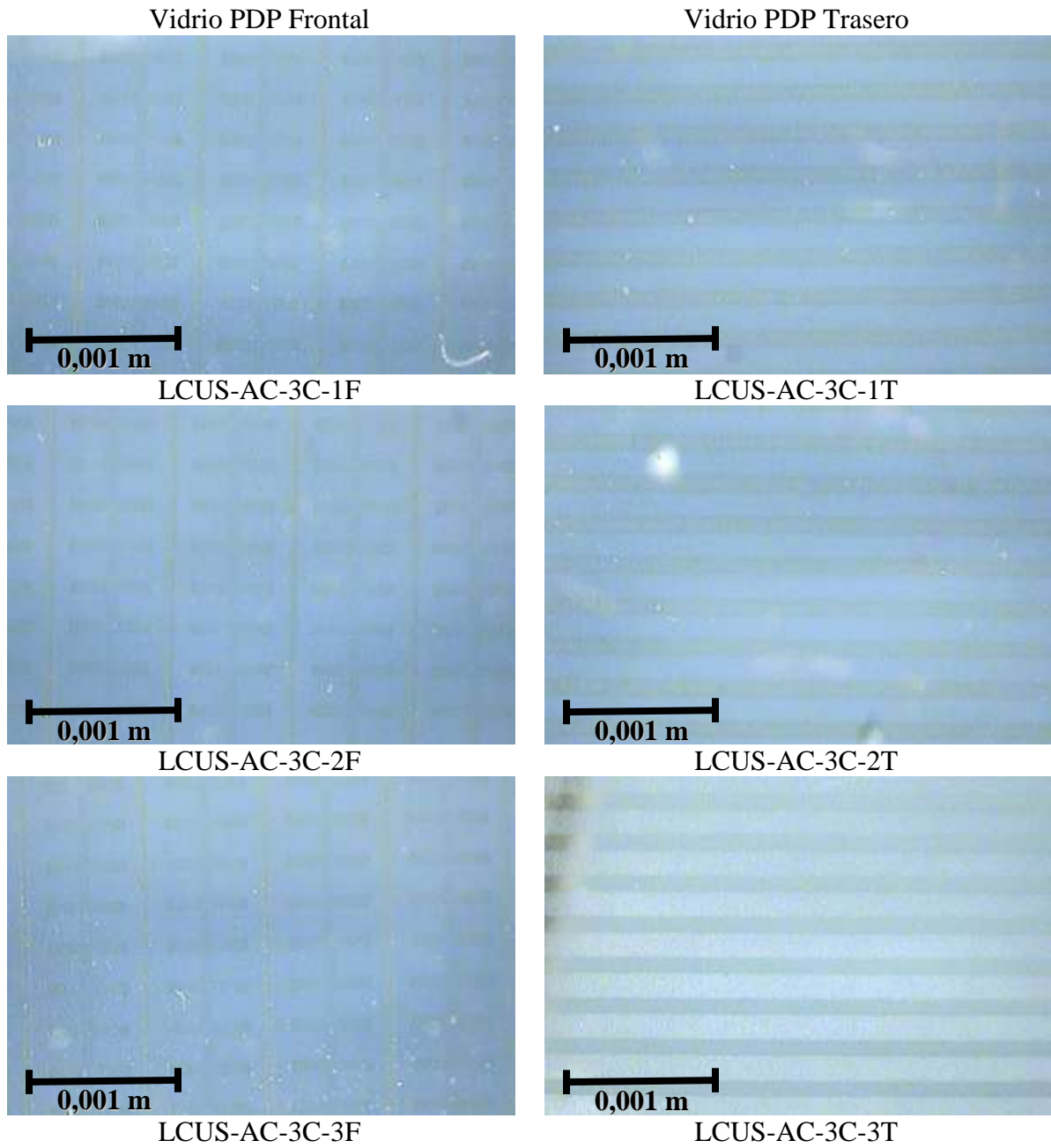


Tabla 68. LCUS con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 6,19\text{ M}$).

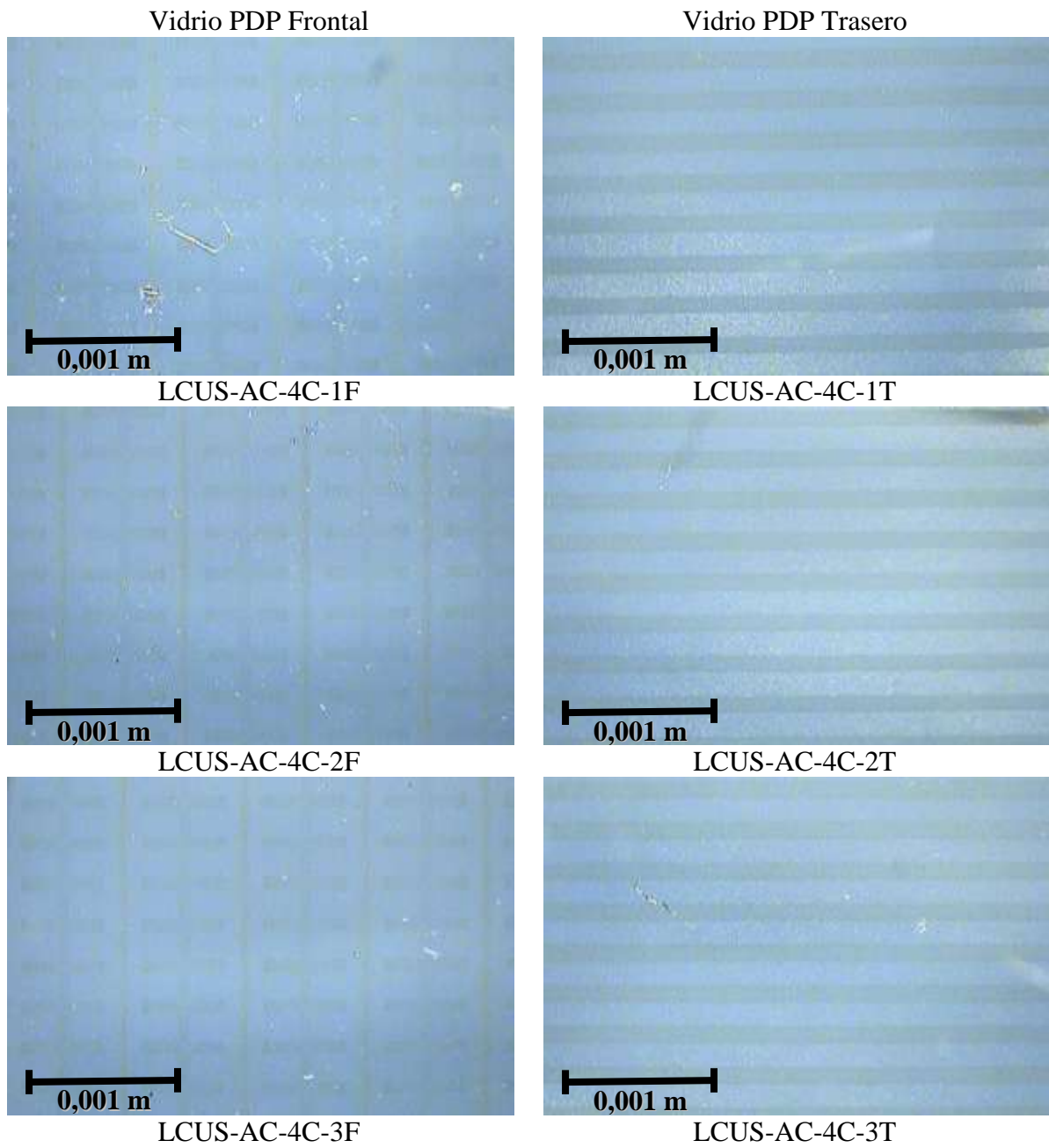
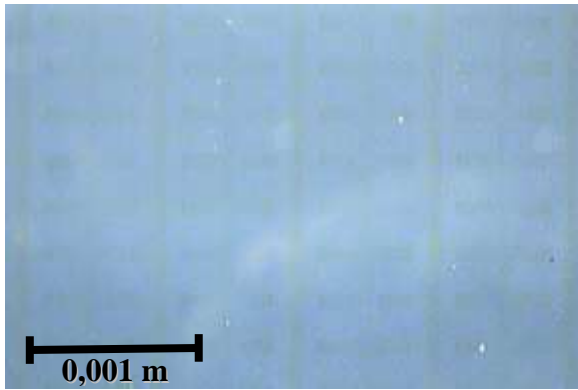


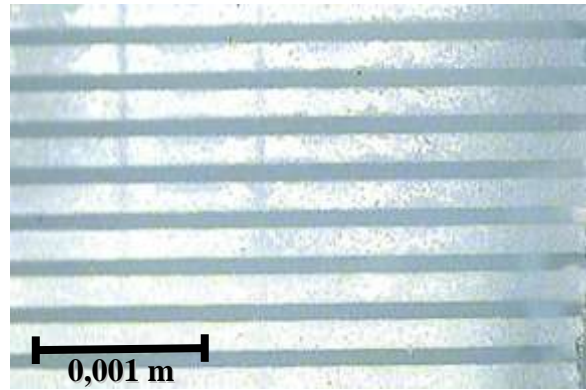
Tabla 69. LCUS con ácido clorhídrico ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{HCl}] = 8,23\text{ M}$).

Vidrio PDP Frontal

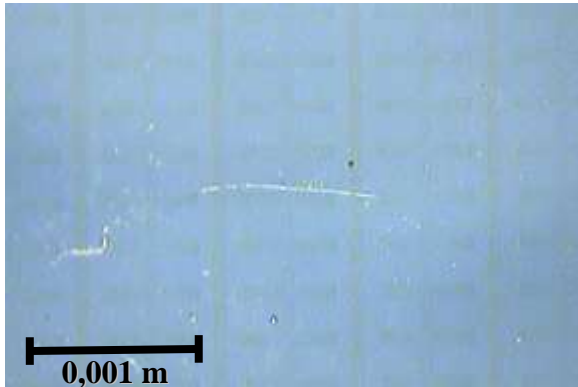


LCUS-AC-5C-1F

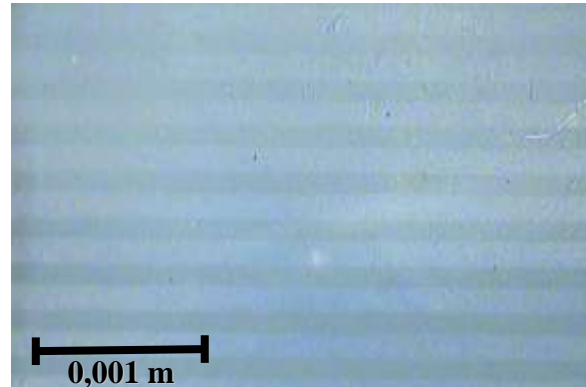
Vidrio PDP Trasero



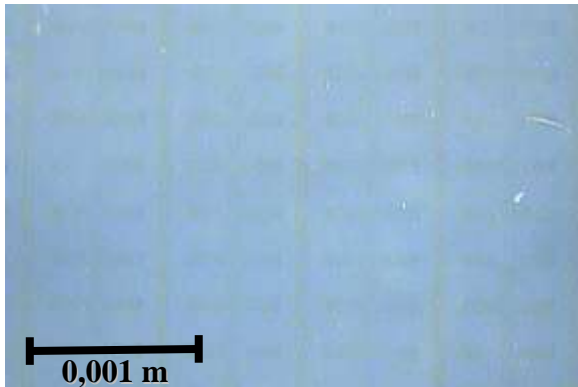
LCUS-AC-5C-1T



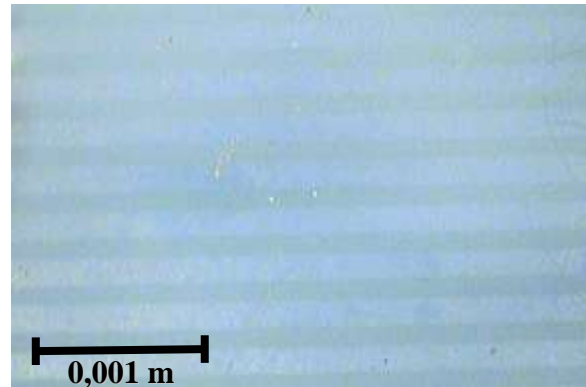
LCUS-AC-5C-2F



LCUS-AC-5C-2T



LCUS-AC-5C-3F



LCUS-AC-5C-3T

Tabla 70. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 0,01$

M).

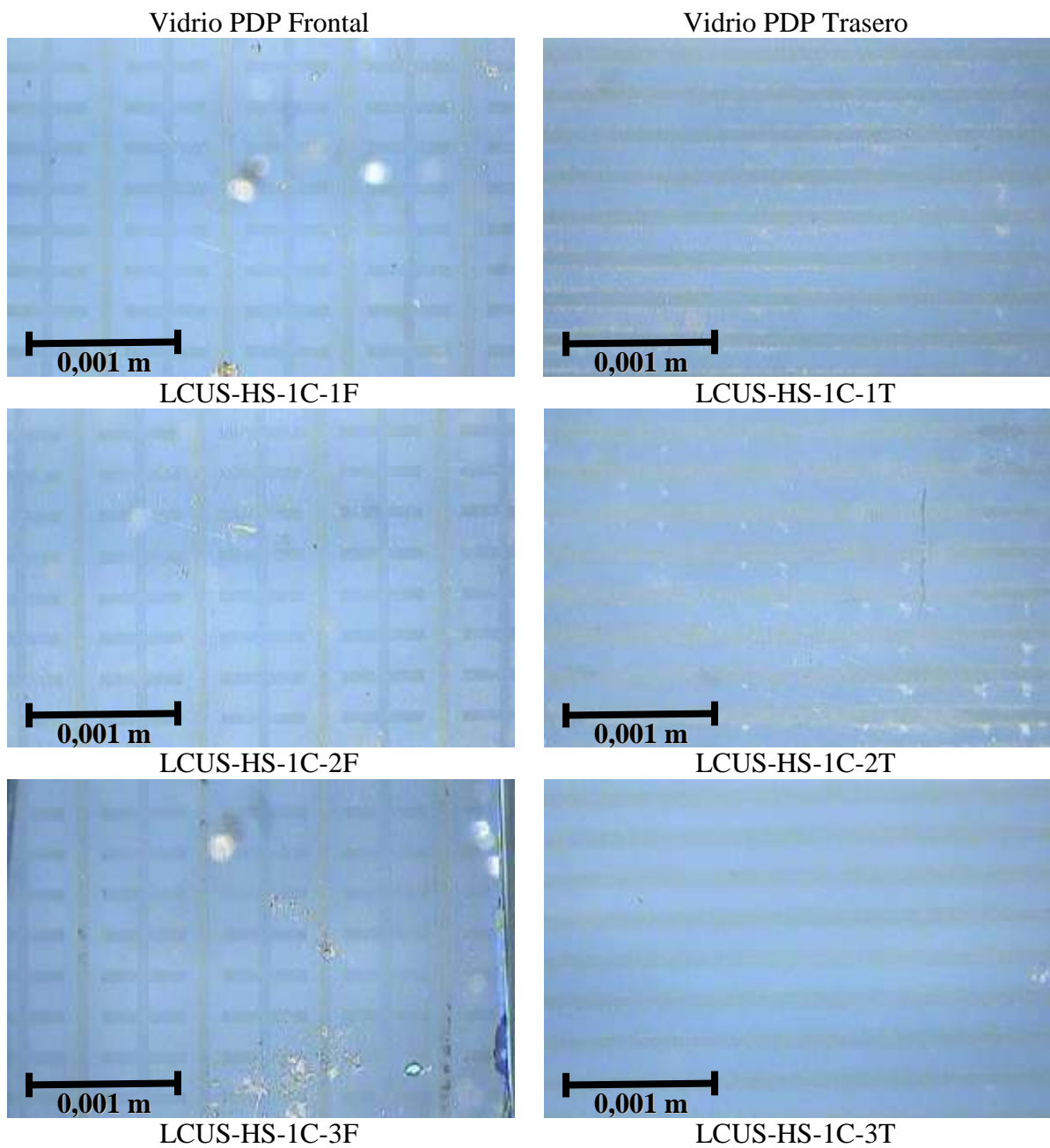


Tabla 71. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 3,42$

M).

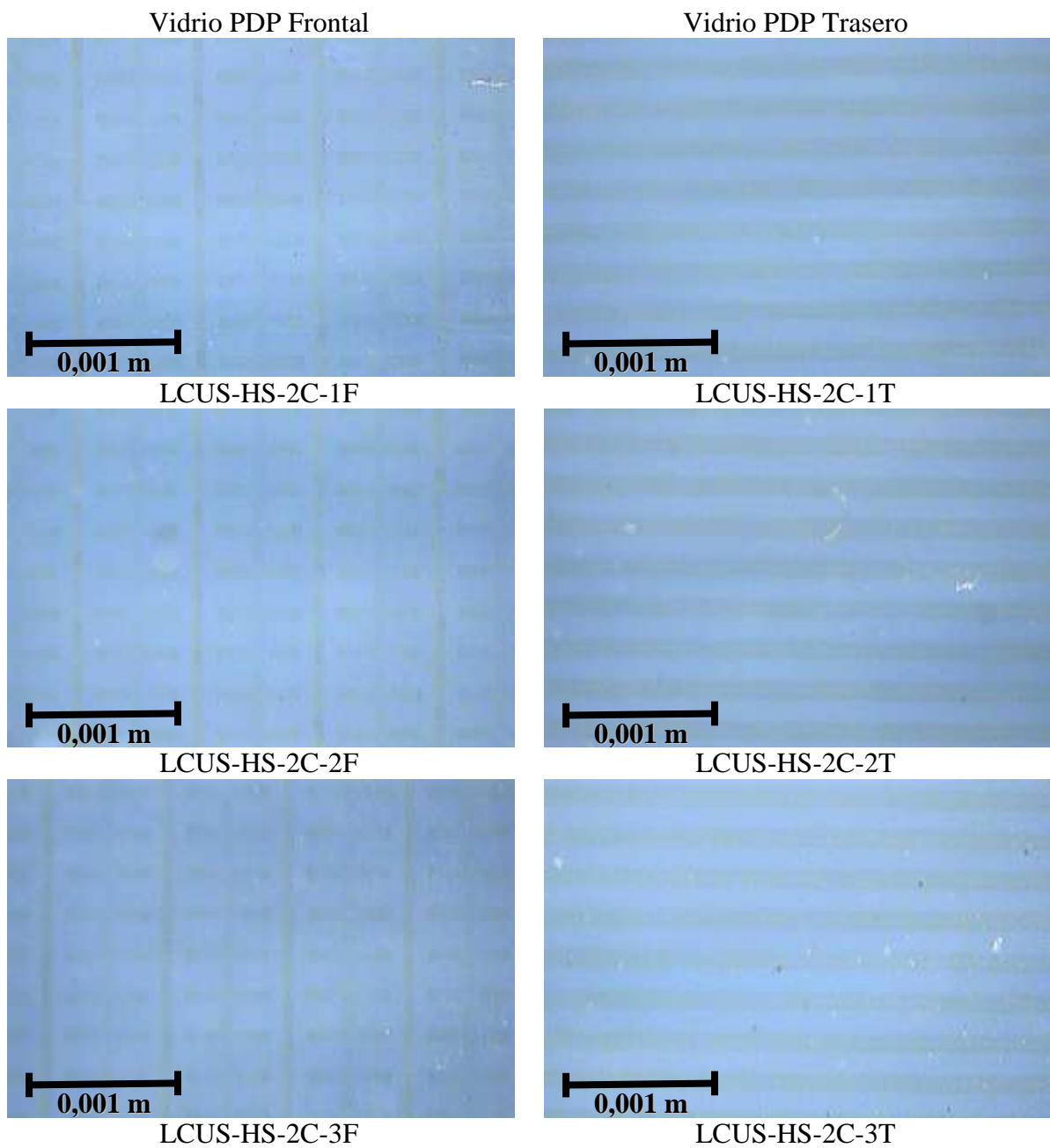


Tabla 72. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 6,82$

M).

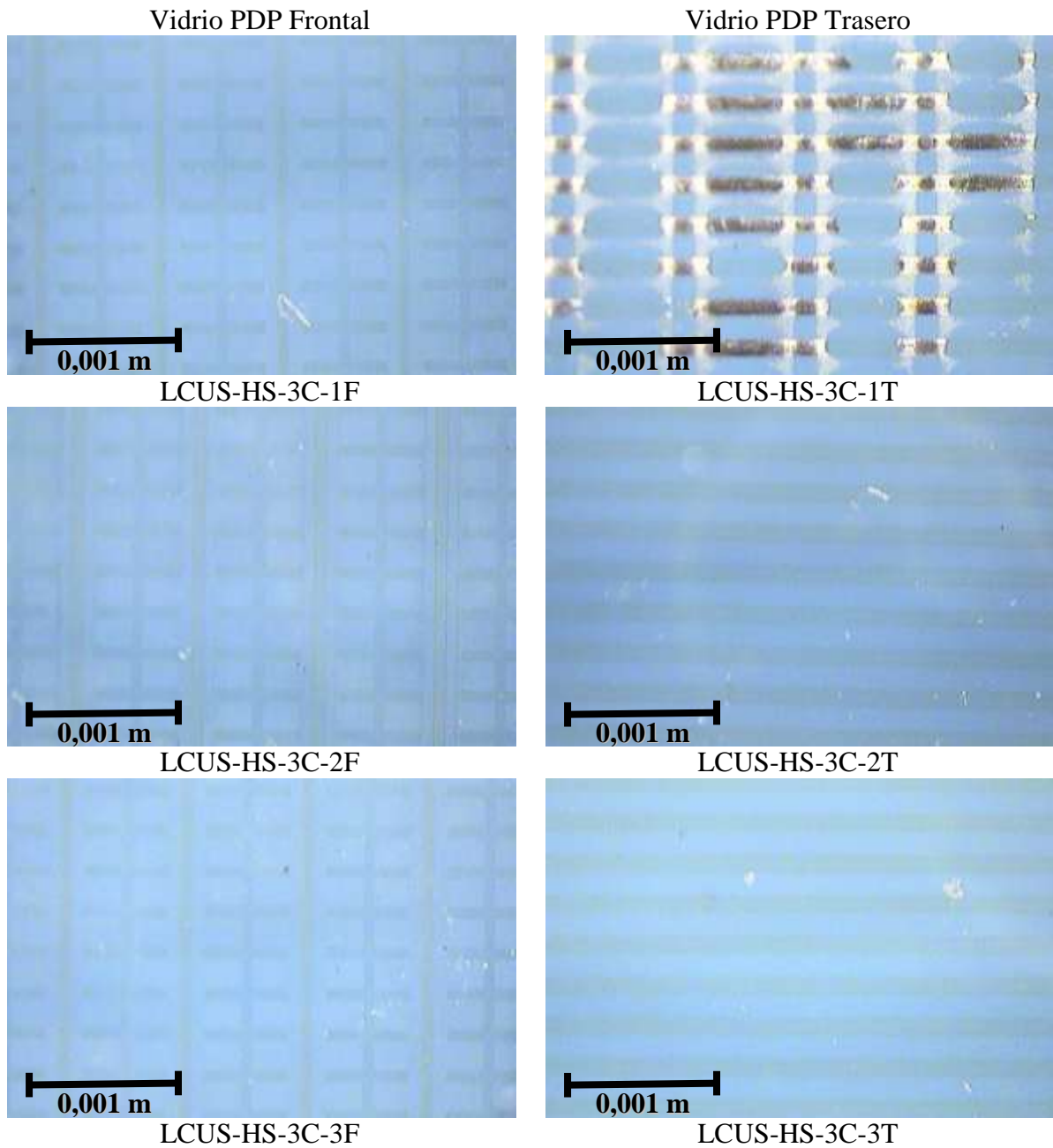


Tabla 73. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 10,23$

M).

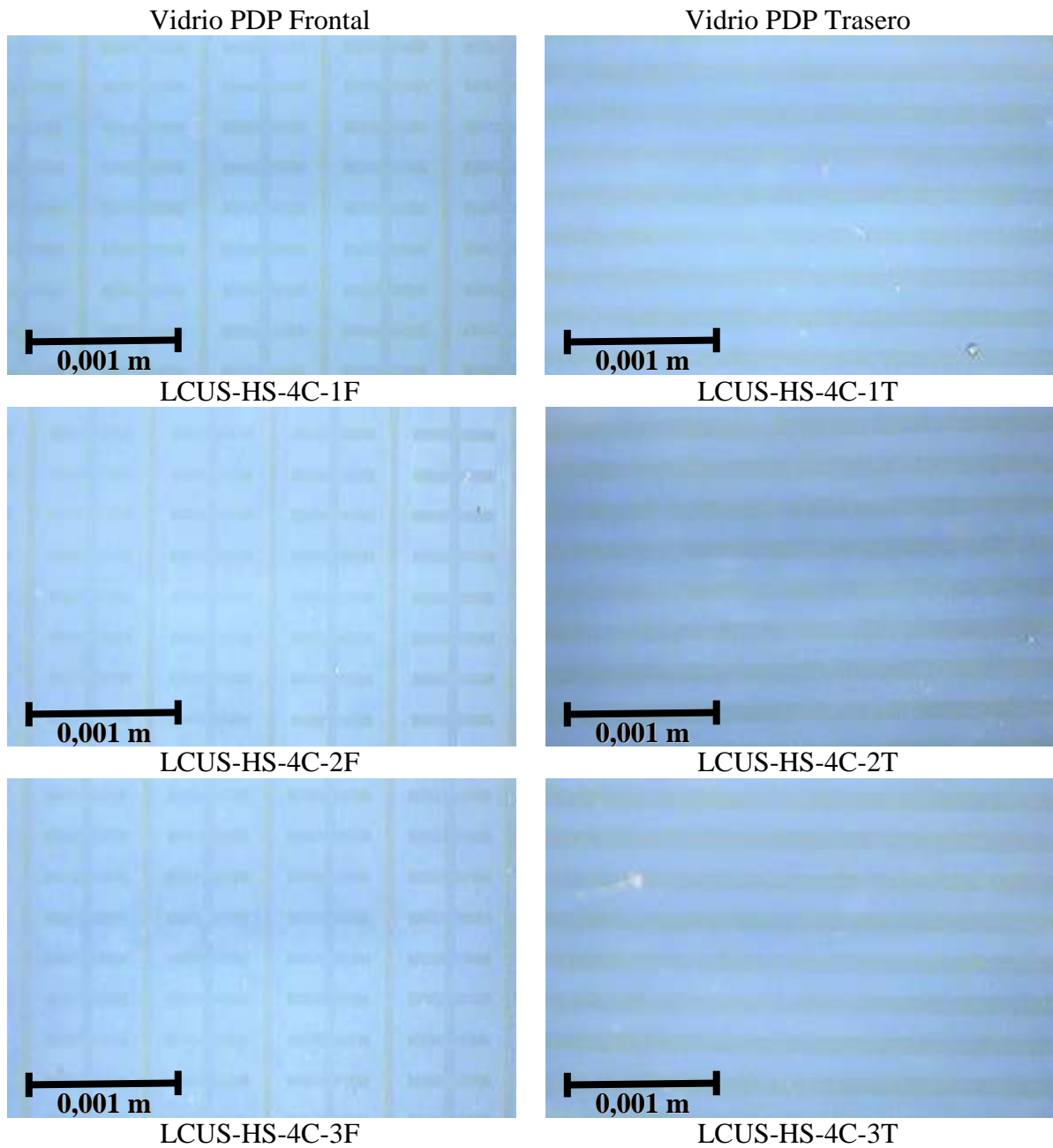


Tabla 74. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{NaOH}] = 13,63$

M).

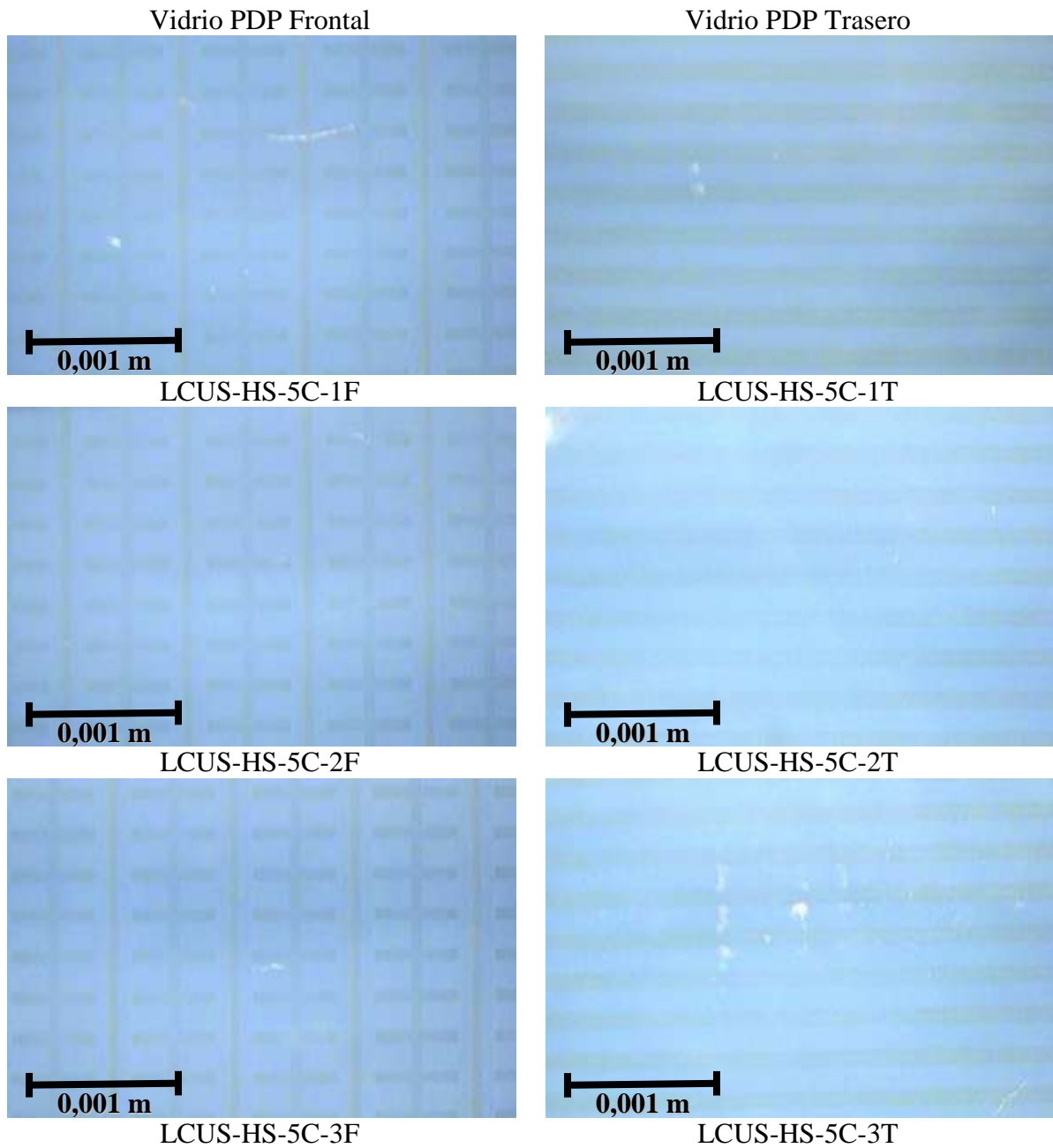


Tabla 75. LCUS con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 0,01$

M).

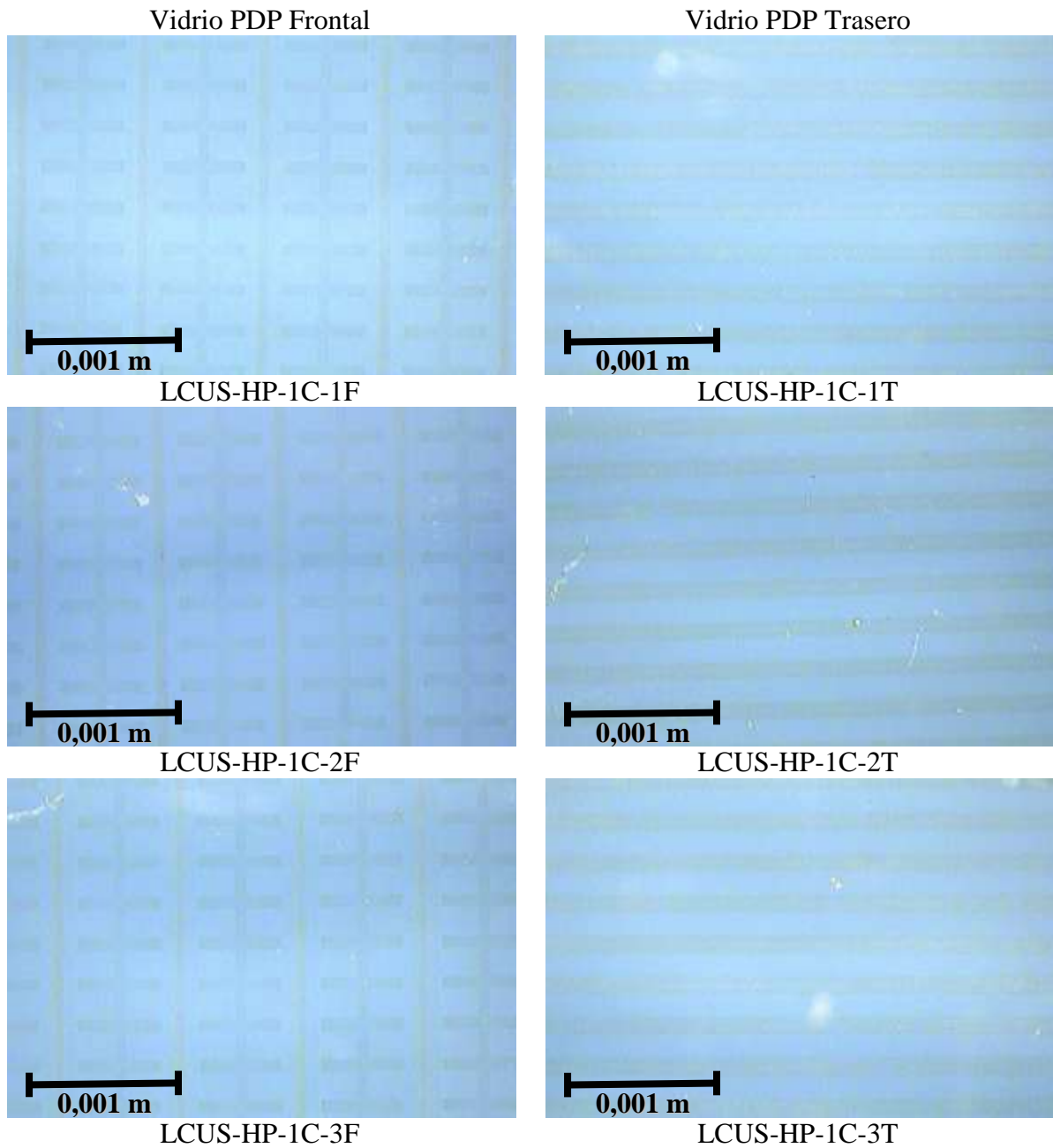


Tabla 76. LCUS con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 2,46$

M).

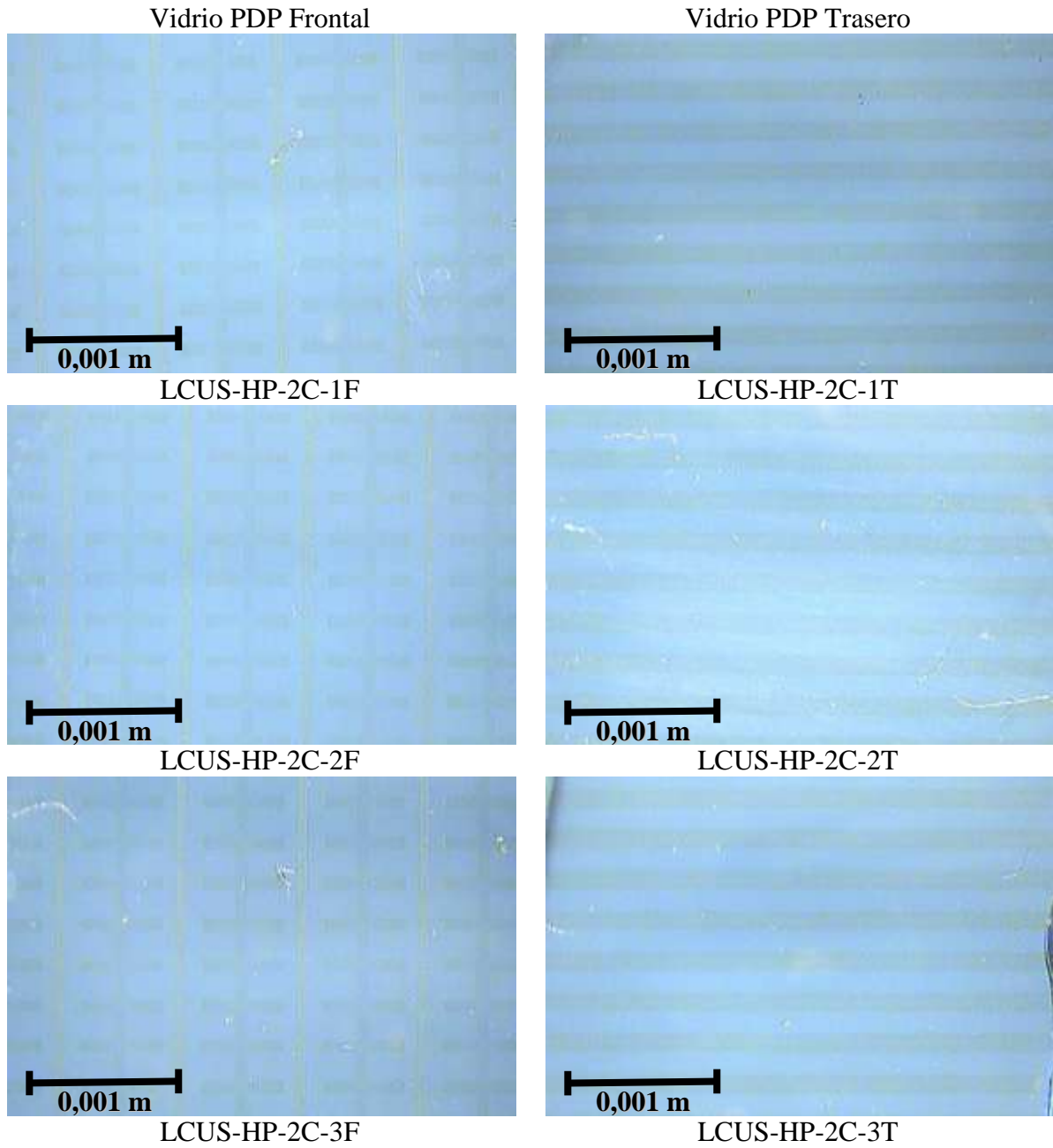


Tabla 77. LCUS con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 4,91$

M).

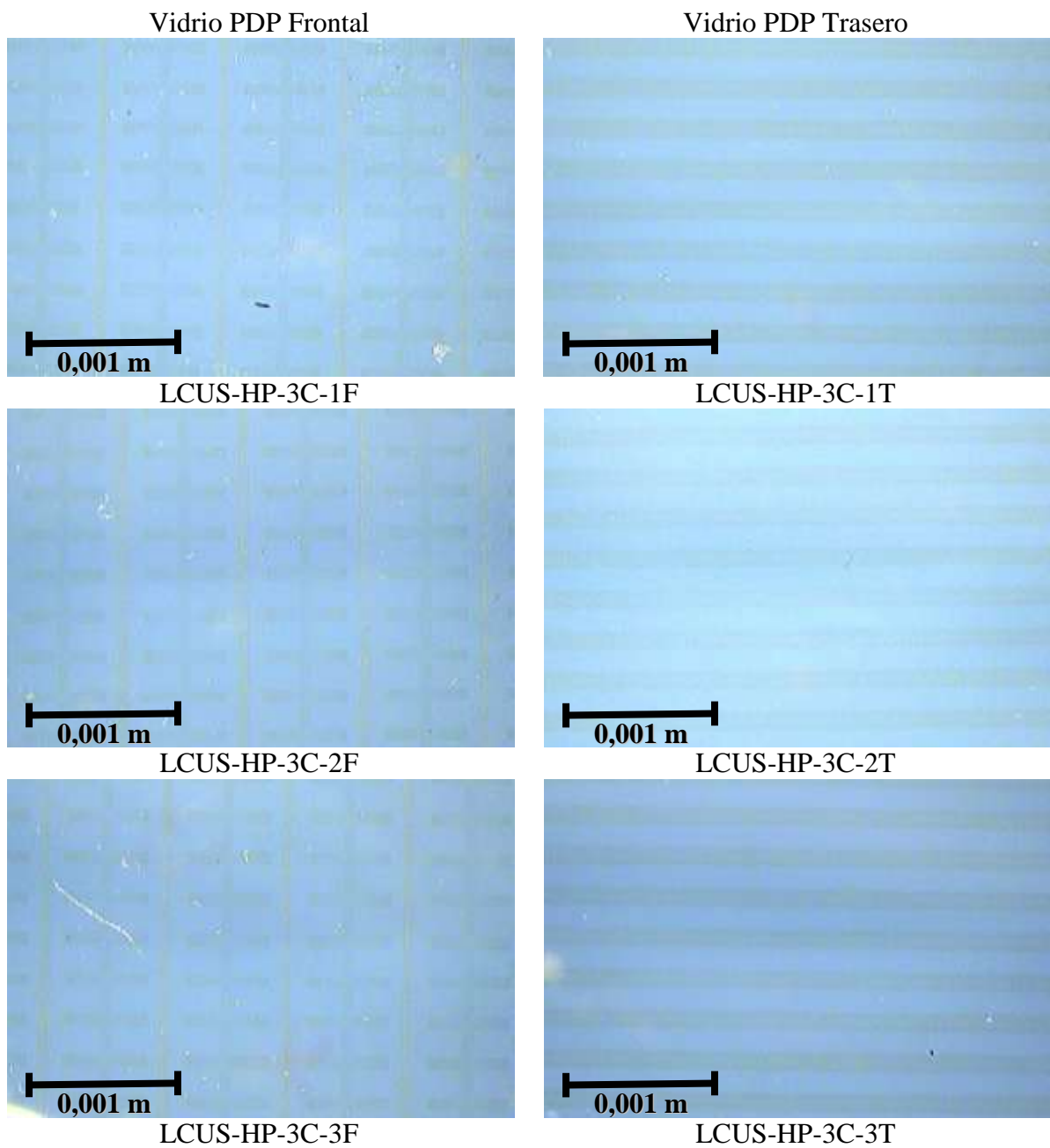


Tabla 78. LCUS con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 7,36$

M).

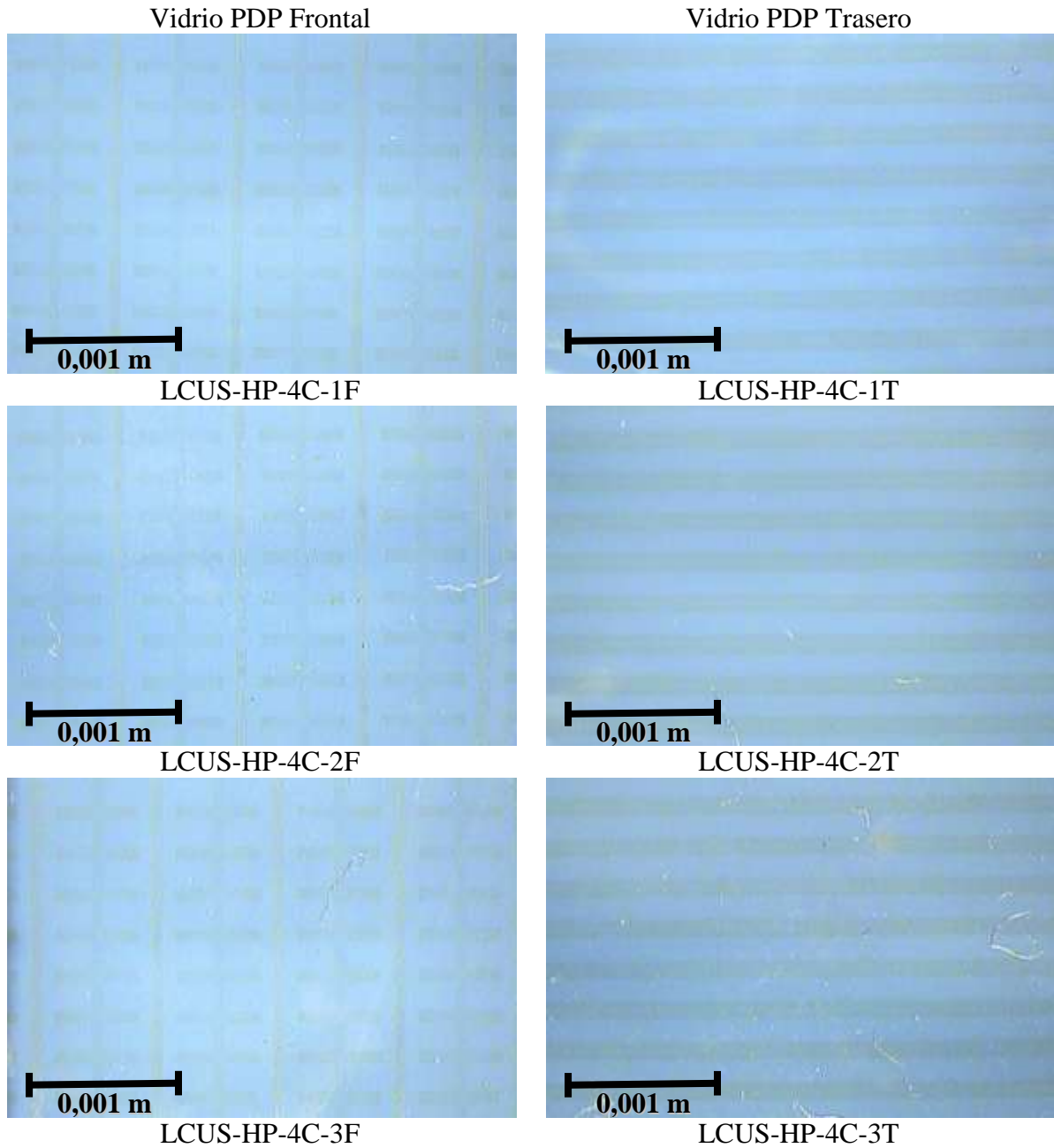


Tabla 79. LCUS con hidróxido de potasio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 1\text{ h}$, $[\text{KOH}] = 9,81$

M).

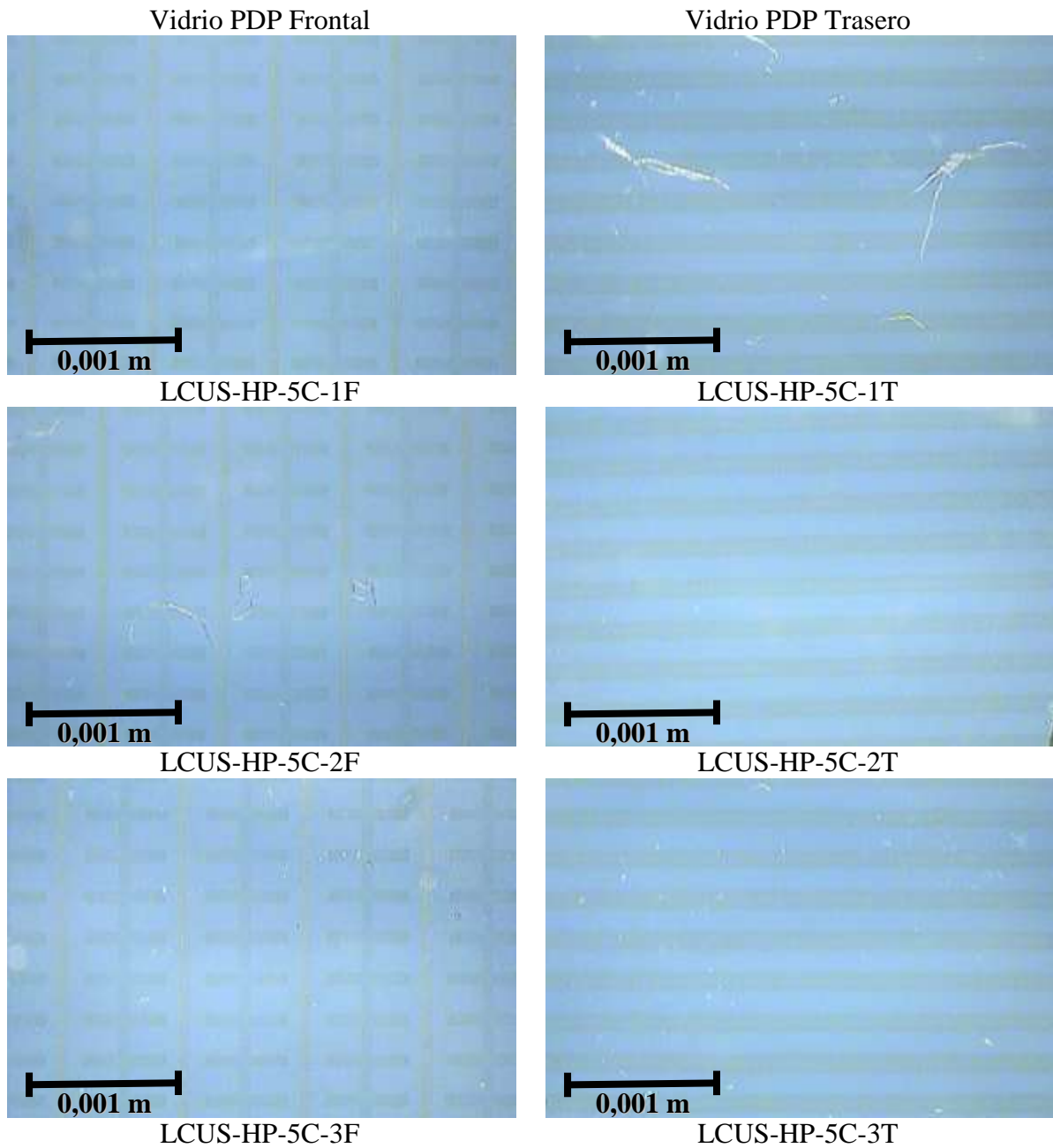
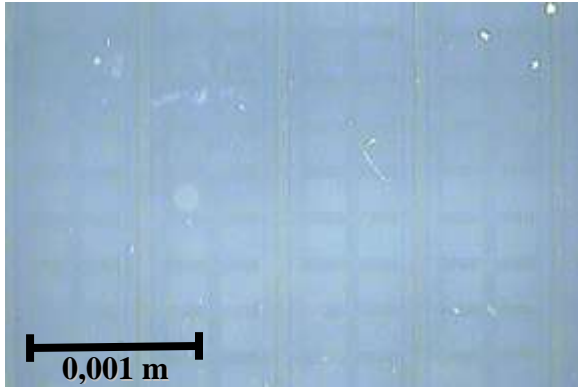


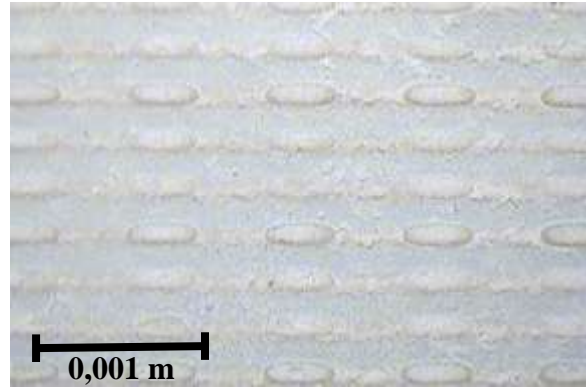
Tabla 80. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 5 min).

Vidrio PDP Frontal

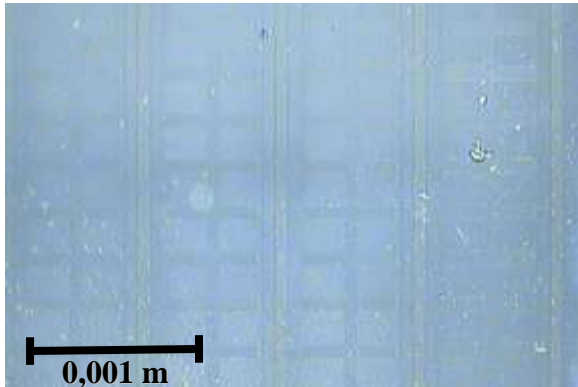


LCUS-AR-1t-1F

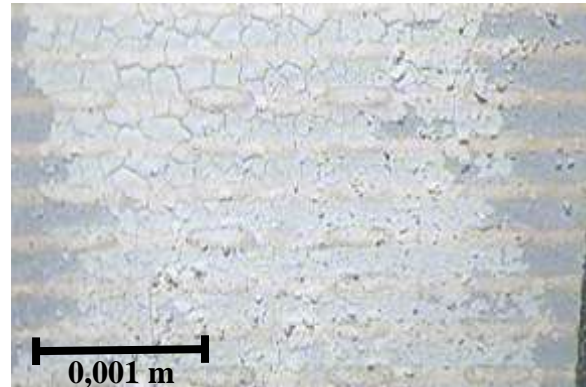
Vidrio PDP Trasero



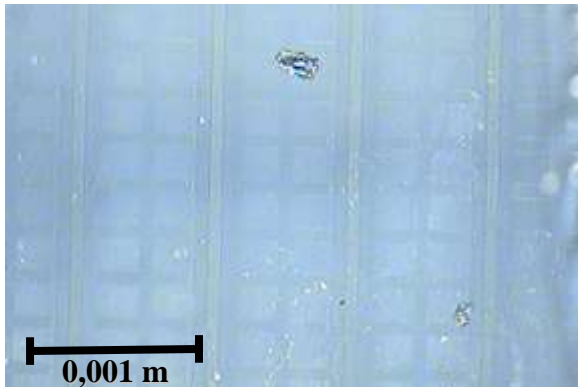
LCUS-AR-1t-1T



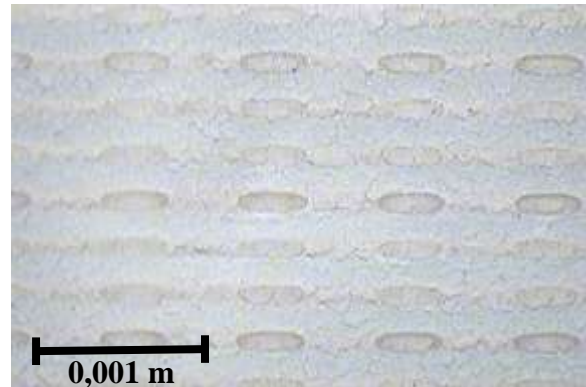
LCUS-AR-1t-2F



LCUS-AR-1t-2T



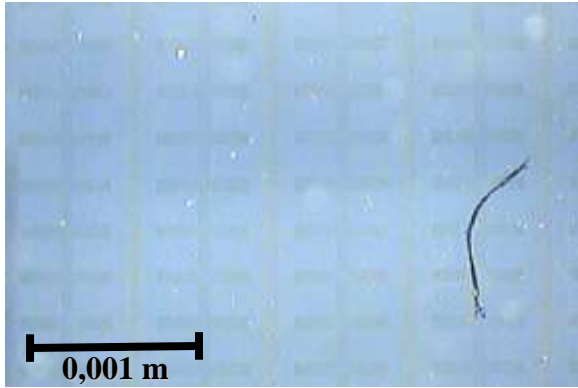
LCUS-AR-1t-3F



LCUS-AR-1t-3T

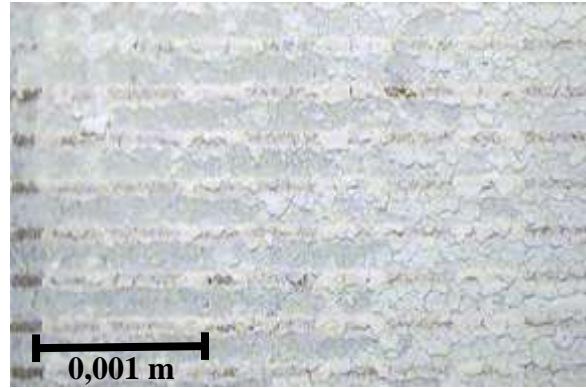
Tabla 81. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 8 min).

Vidrio PDP Frontal

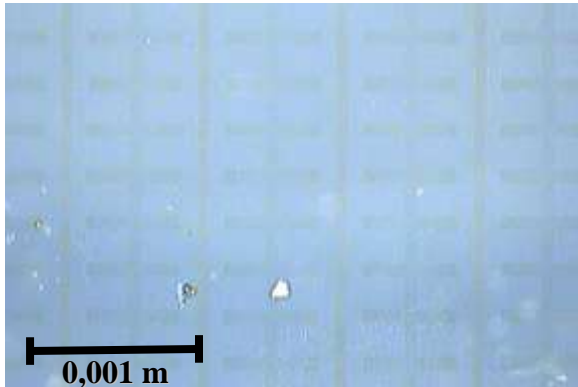


LCUS-AR-2t -1F

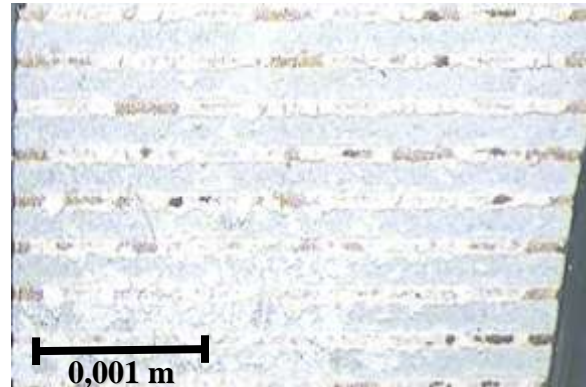
Vidrio PDP Trasero



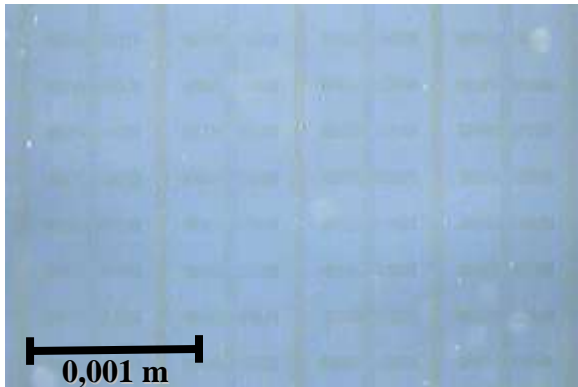
LCUS-AR-2t -1T



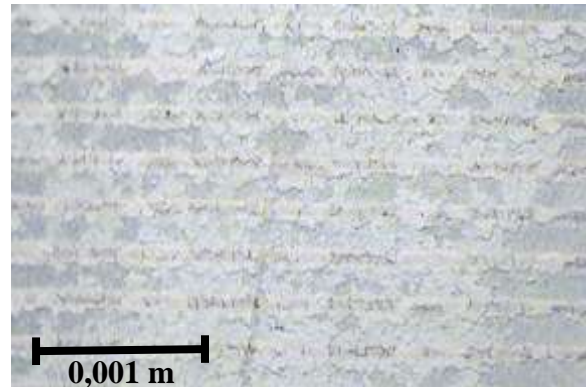
LCUS-AR-2t -2F



LCUS-AR-2t -2T



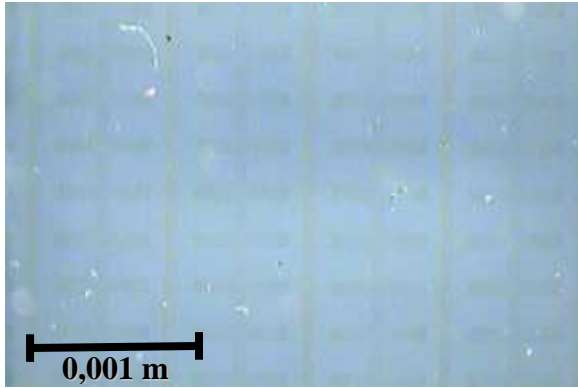
LCUS-AR-2t -3F



LCUS-AR-2t-3T

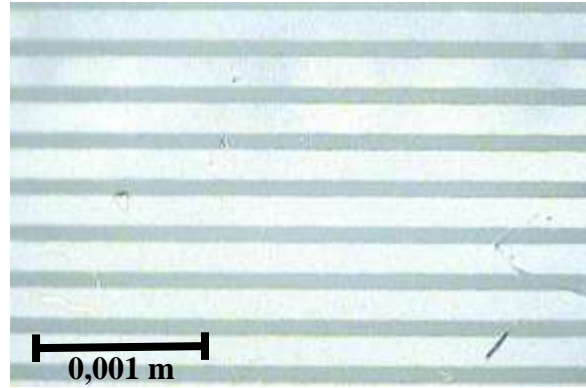
Tabla 82. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 10 min).

Vidrio PDP Frontal

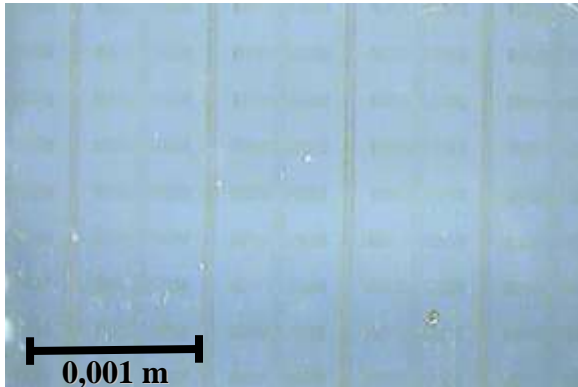


LCUS-AR-3t-1F

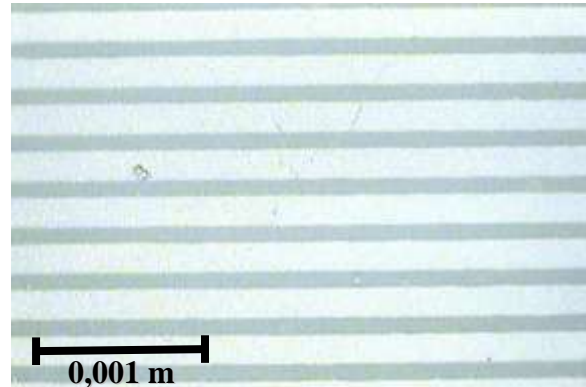
Vidrio PDP Trasero



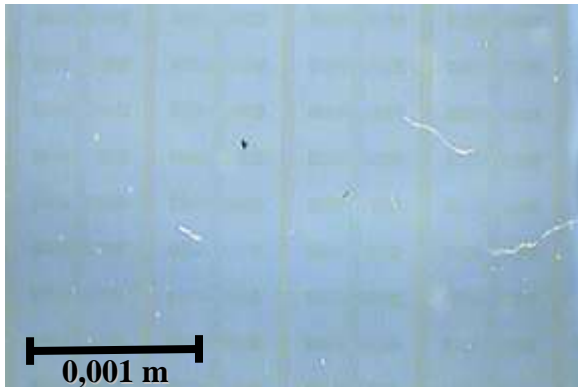
LCUS-AR-3t-1T



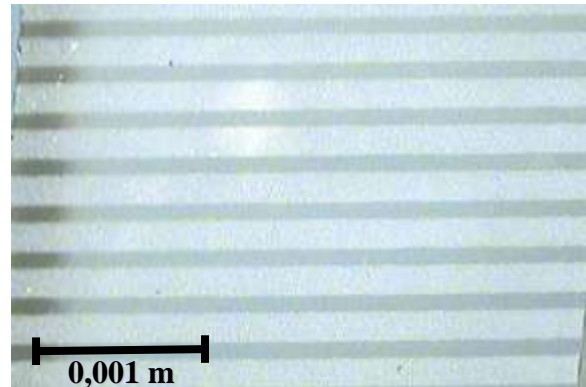
LCUS-AR-3t-2F



LCUS-AR-3t-2T

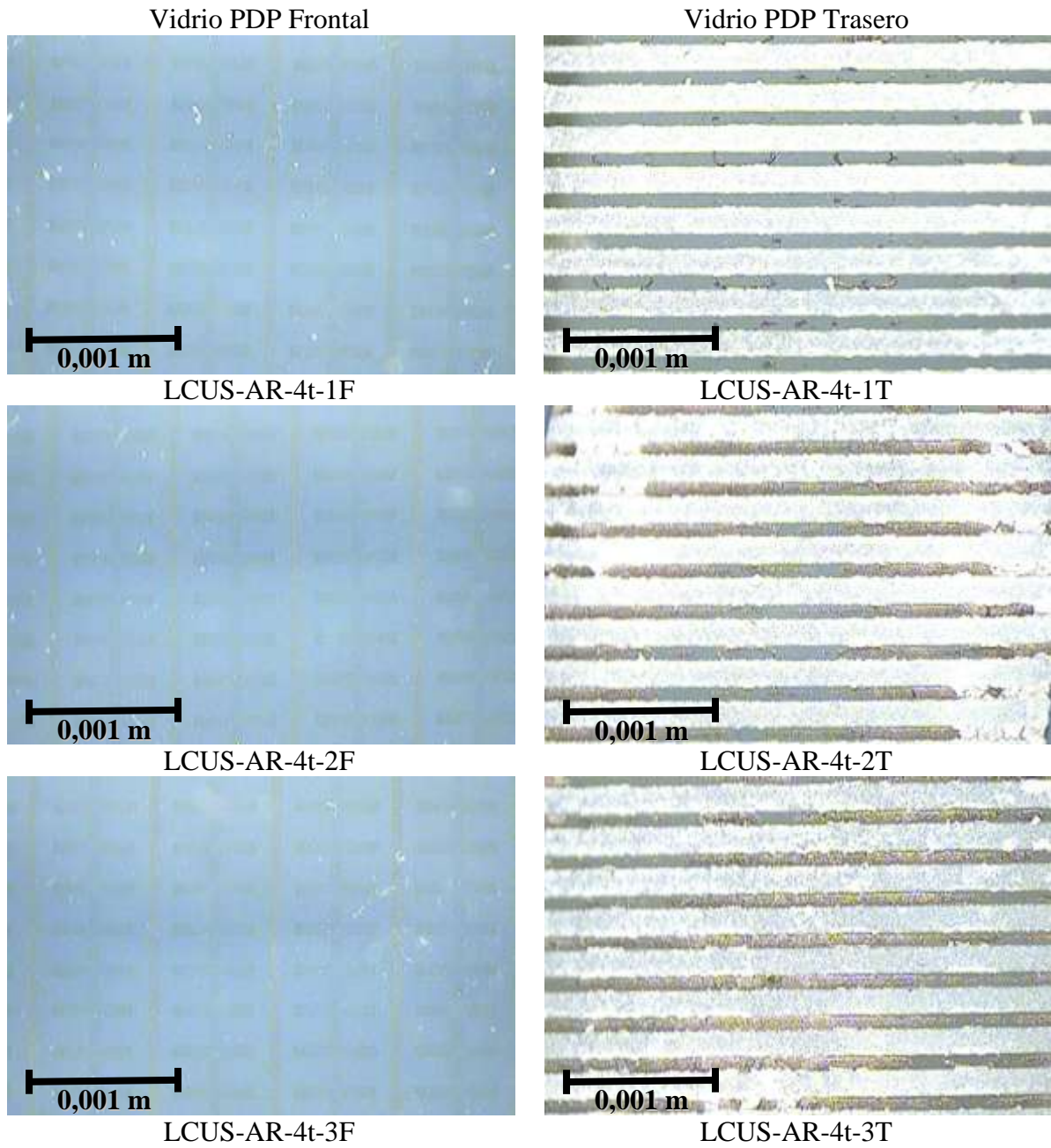


LCUS-AR-3t-3F



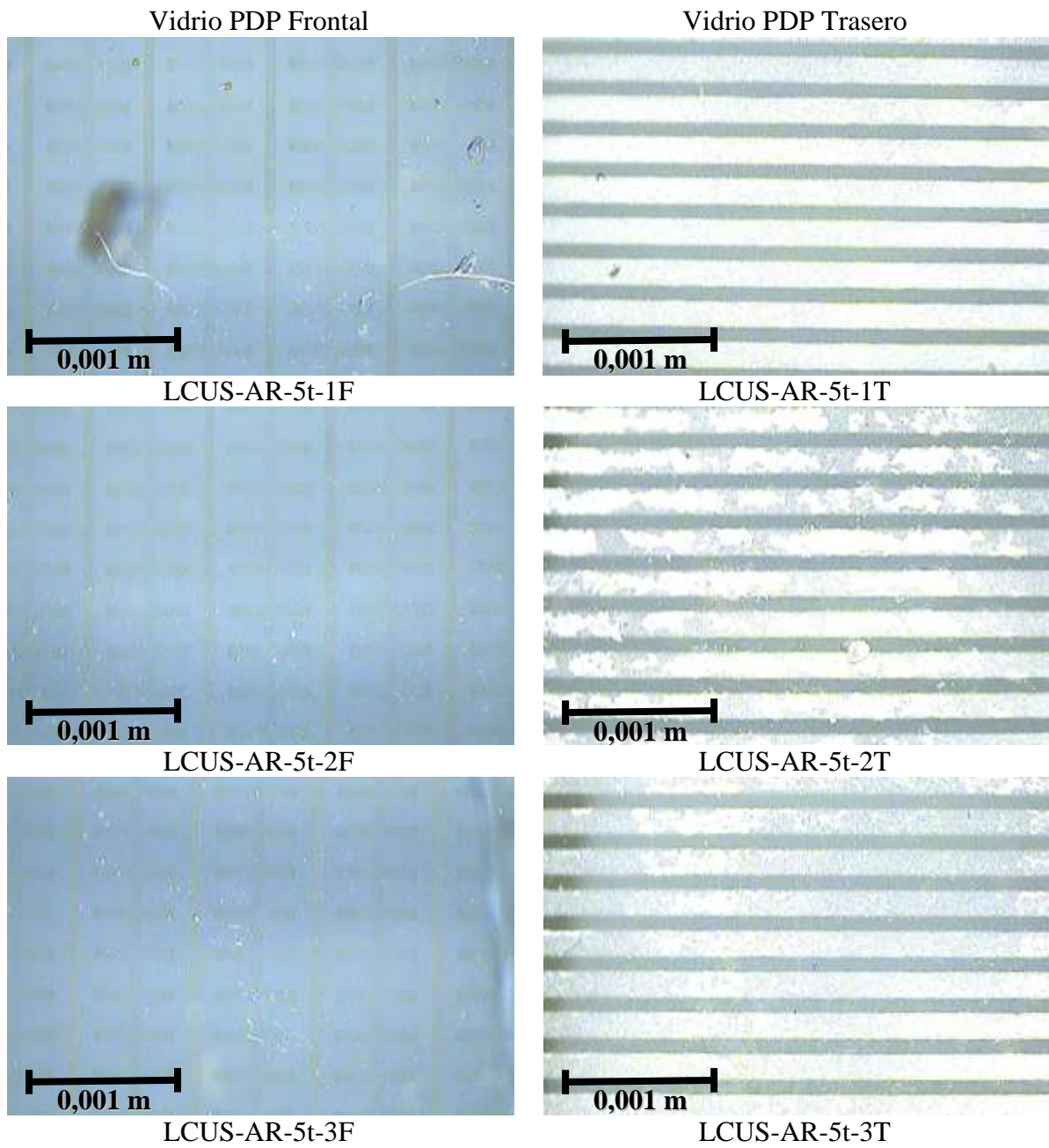
LCUS-AR-3t-3T

Tabla 83. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 15 min).



Tabla

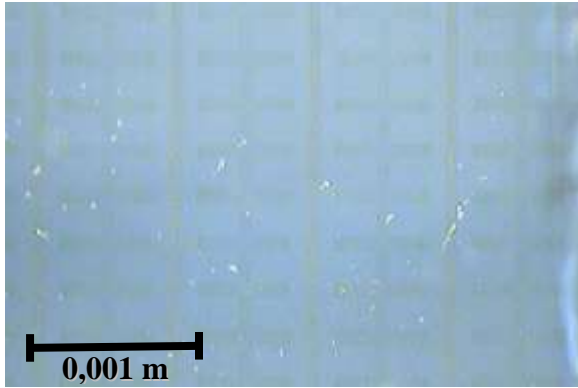
Tabla 84. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 30 min).



Tabla

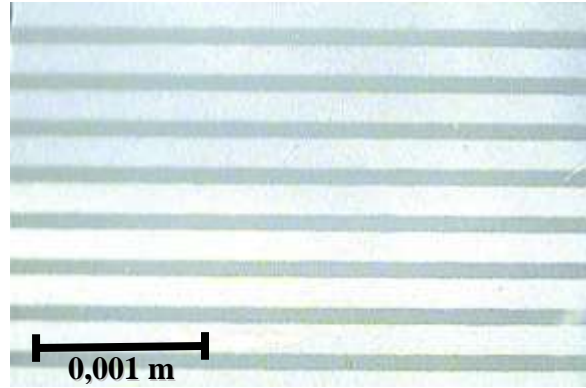
Tabla 85. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 45 min).

Vidrio PDP Frontal

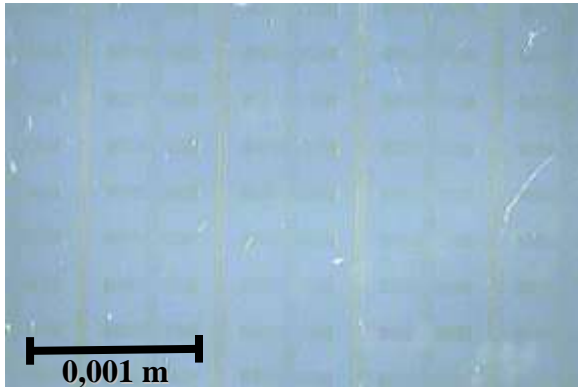


LCUS-AR-6t-1F

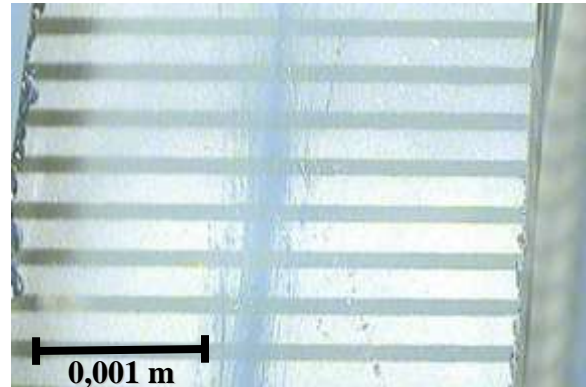
Vidrio PDP Trasero



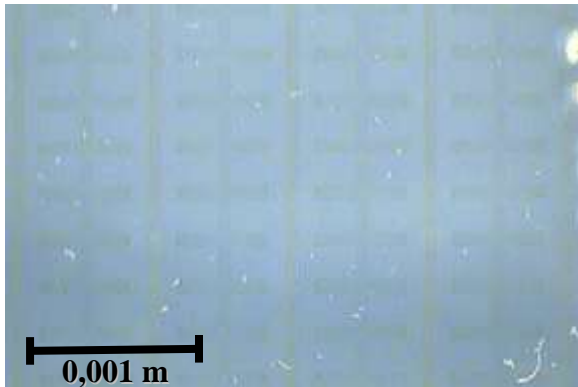
LCUS-AR-6t-1T



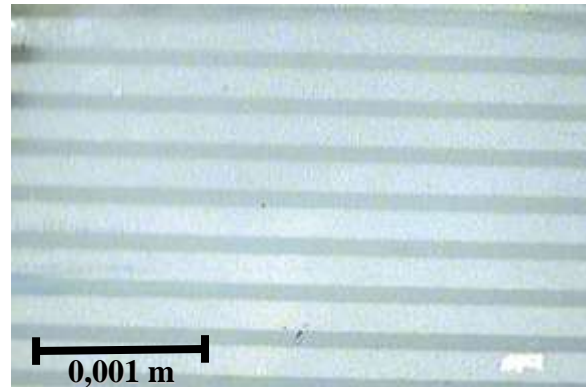
LCUS-AR-6t-2F



LCUS-AR-6t-2T



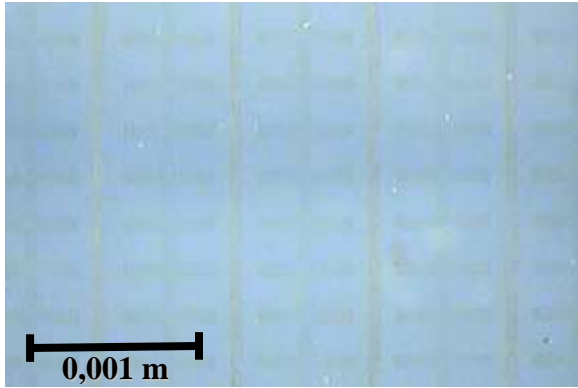
LCUS-AR-6t-3F



LCUS-AR-6t-3T

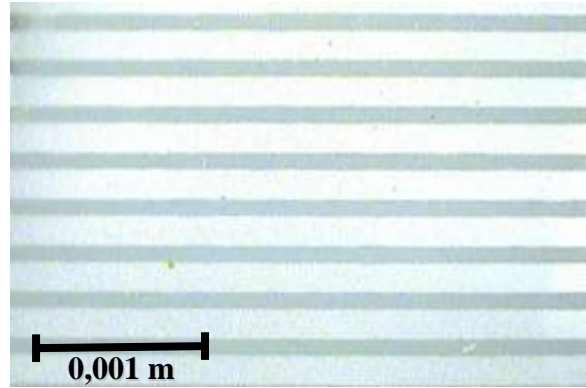
Tabla 86. LCUS con agua regia (T = 40°C, V = 30 ml, t = 1 h).

Vidrio PDP Frontal

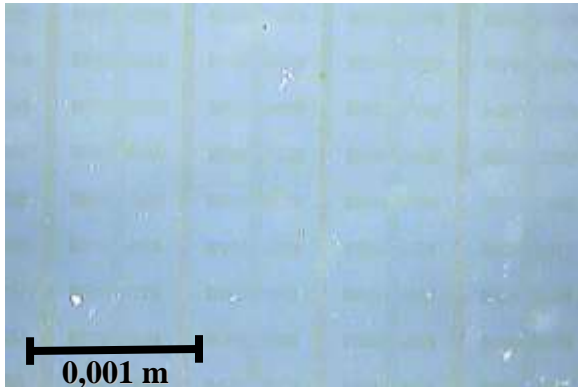


LCUS-AR-7t-1F

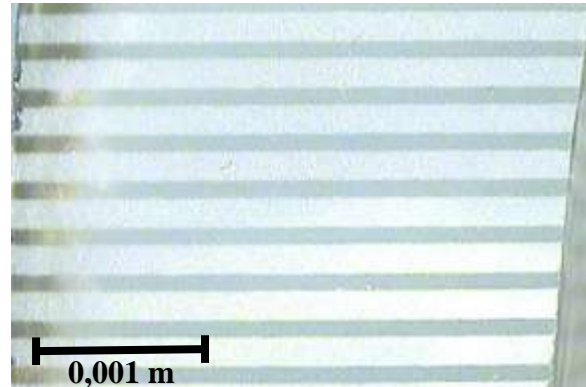
Vidrio PDP Trasero



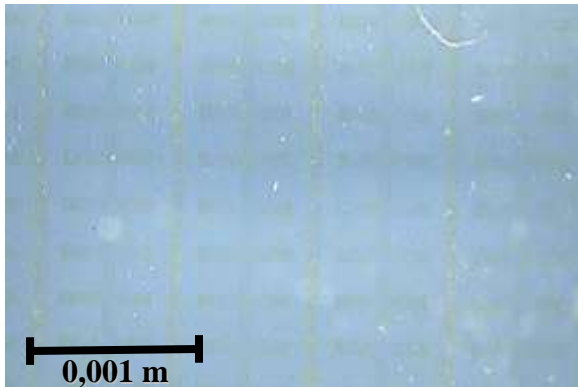
LCUS-AR-7t-1T



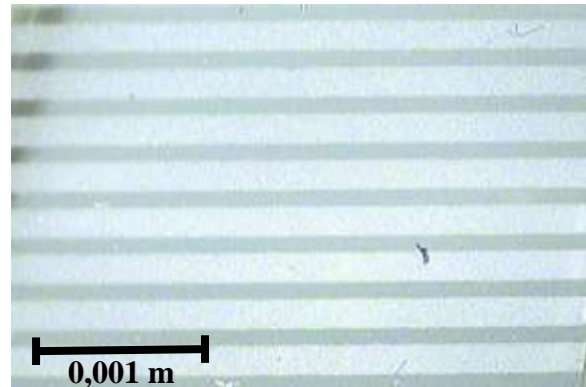
LCUS-AR-7t-2F



LCUS-AR-7t-2T



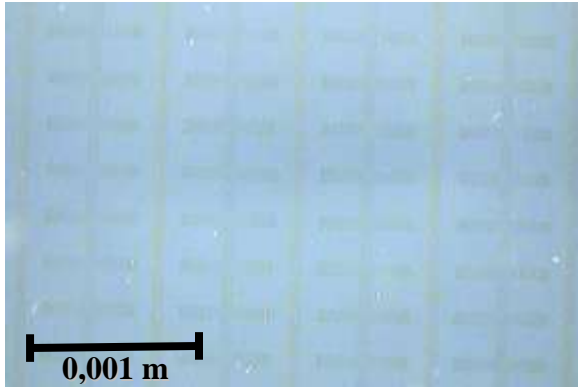
LCUS-AR-7t-3F



LCUS-AR-7t-3T

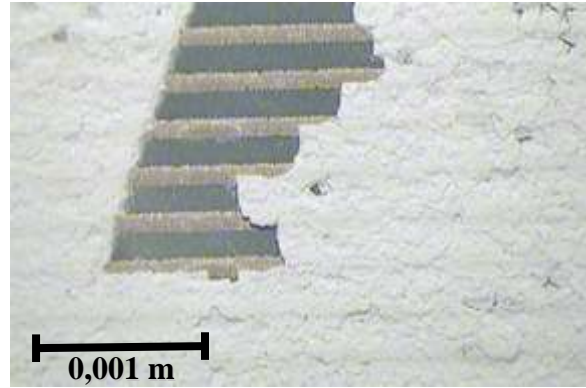
Tabla 87. LCUS con agua regia ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $v = 1 \text{ ml/g}$, $t = 10 \text{ min}$).

Vidrio PDP Frontal

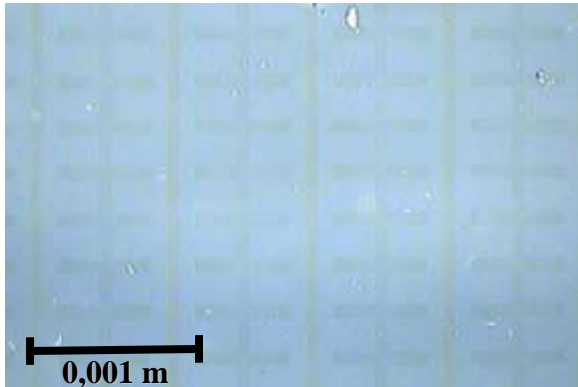


LCUS-AR-1V-1F

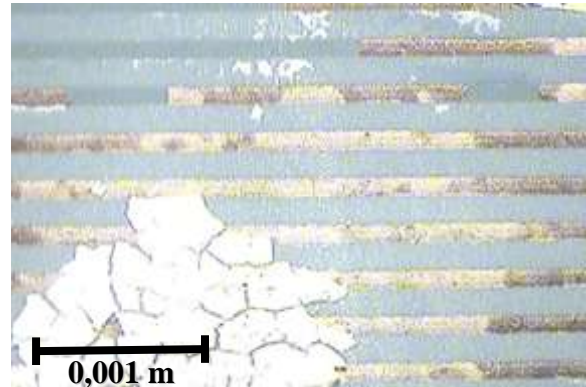
Vidrio PDP Trasero



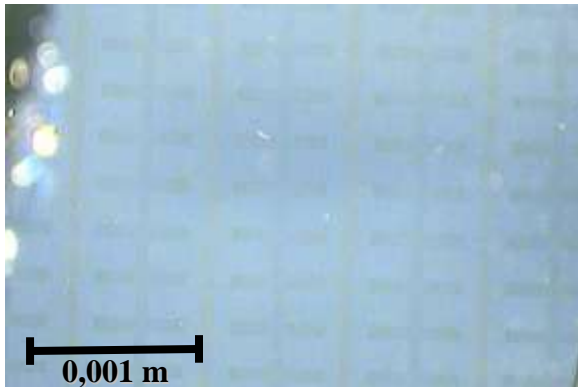
LCUS-AR-1V-1T



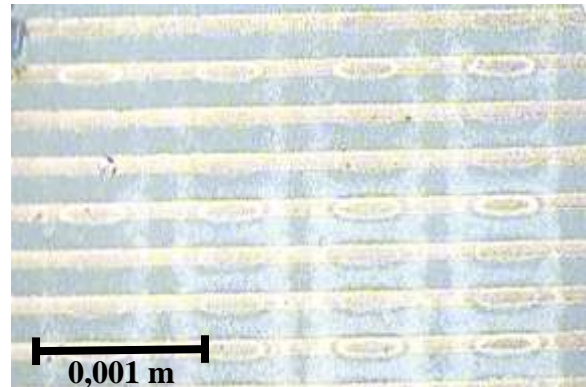
LCUS-AR-1V-2F



LCUS-AR-1V-2T



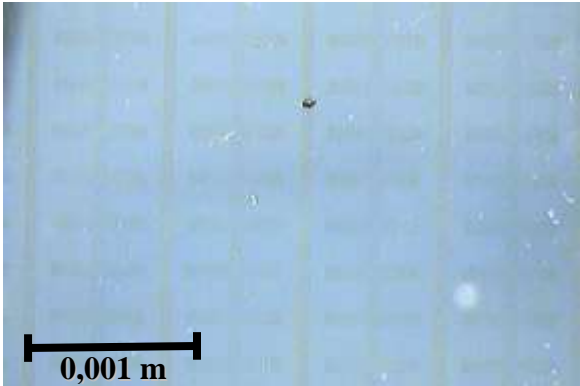
LCUS-AR-1V-3F



LCUS-AR-1V-3T

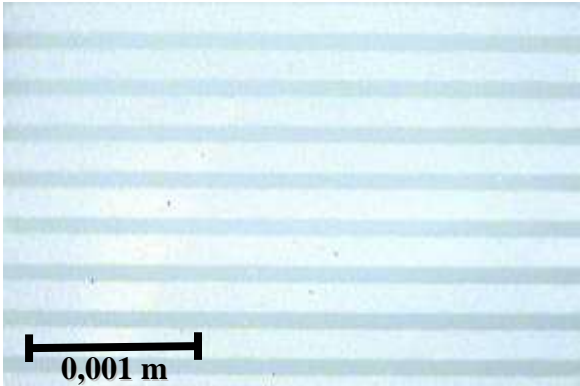
Tabla 88. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 3 ml/g, t = 10 min).

Vidrio PDP Frontal

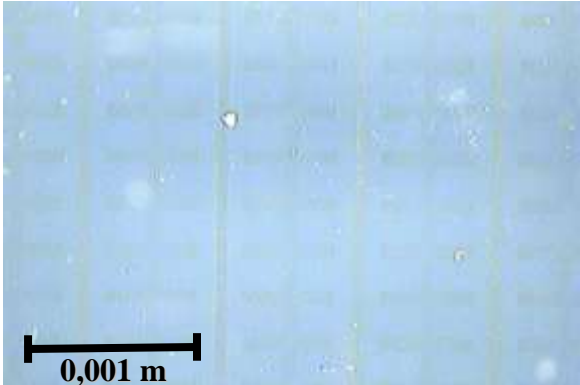


LCUS-AR-2V-1F

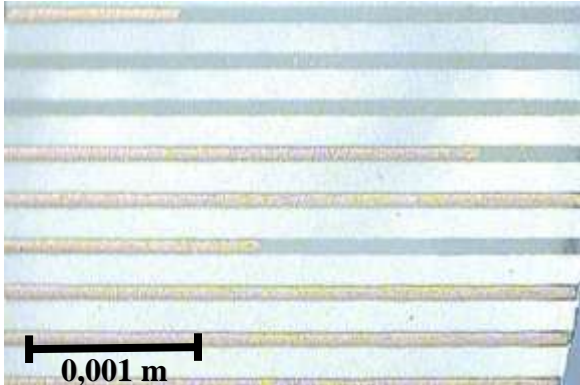
Vidrio PDP Trasero



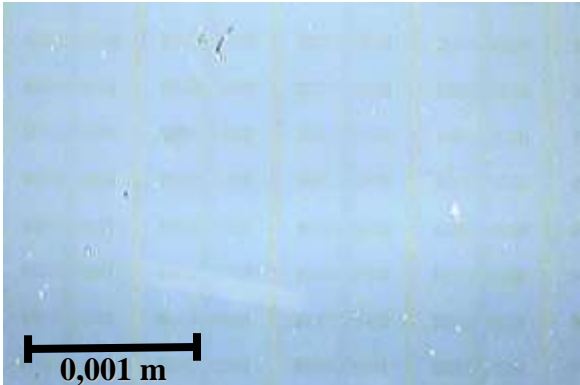
LCUS-AR-2V-1T



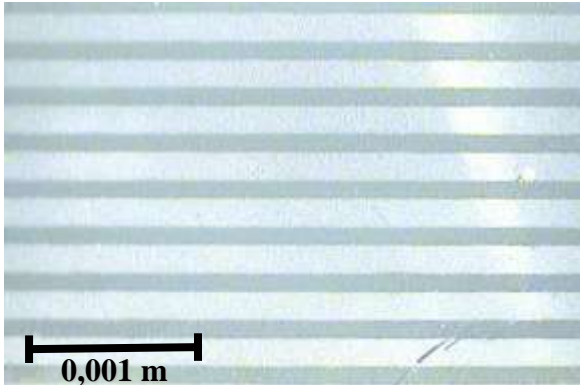
LCUS-AR-2V-2F



LCUS-AR-2V-2T



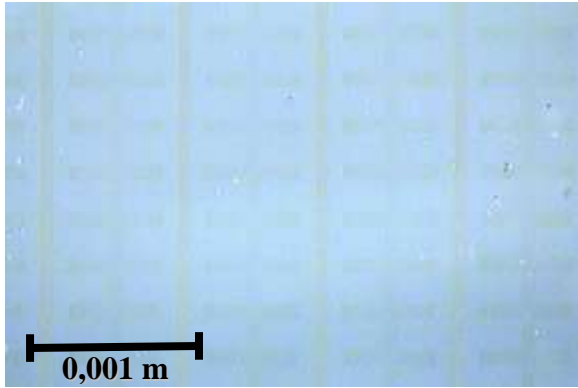
LCUS-AR-2V-3F



LCUS-AR-2V-3T

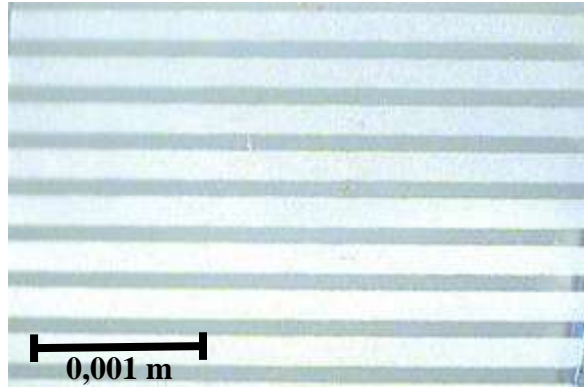
Tabla 89. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 4 ml/g, t = 10 min).

Vidrio PDP Frontal

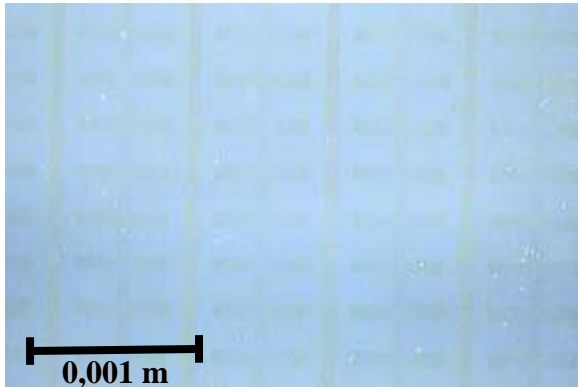


LCUS-AR-3V-1F

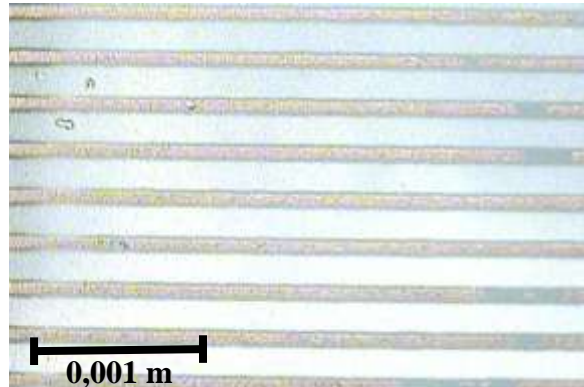
Vidrio PDP Trasero



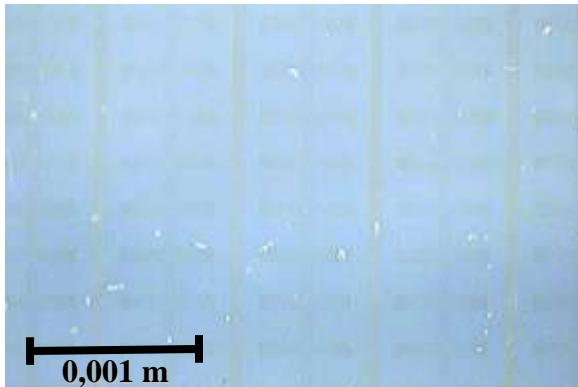
LCUS-AR-3V-1T



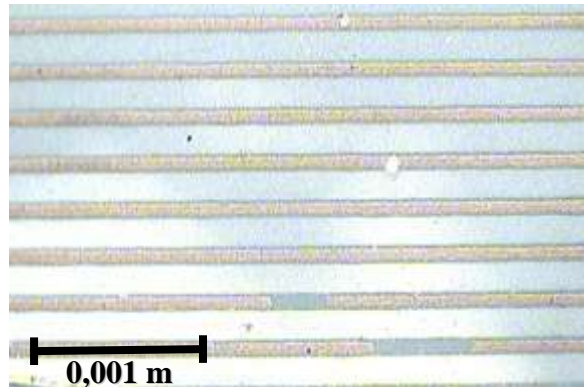
LCUS-AR-3V-2F



LCUS-AR-3V-2T



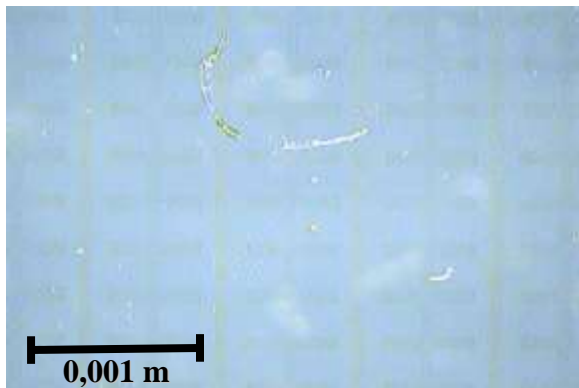
LCUS-AR-3V-3F



LCUS-AR-3V-3T

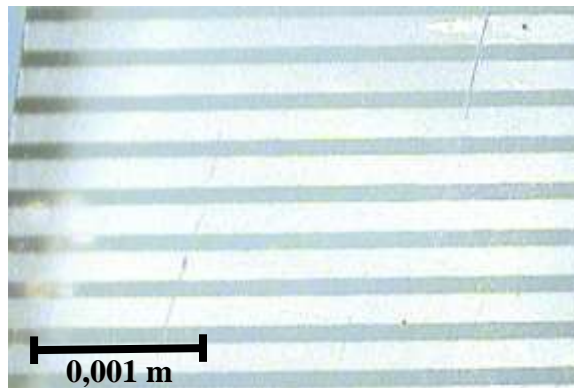
Tabla 90. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 5 ml/g, t = 10 min).

Vidrio PDP Frontal

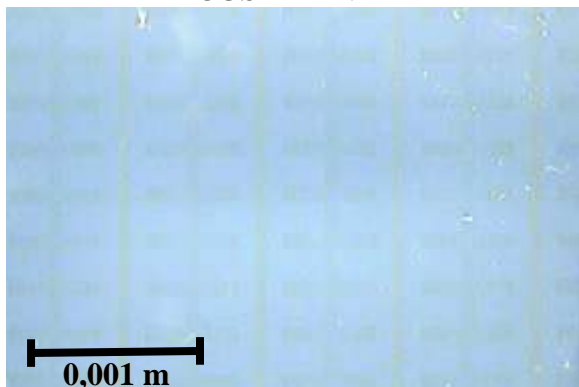


LCUS-AR-4V-1F

Vidrio PDP Trasero



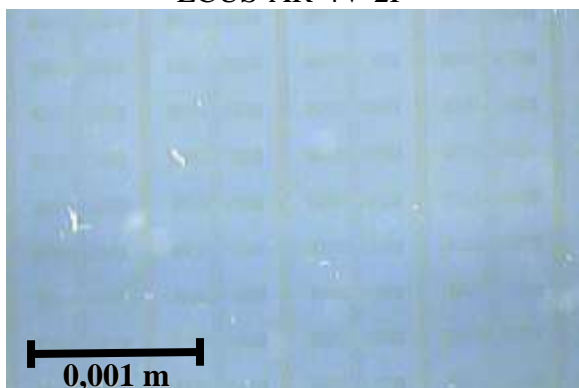
LCUS-AR-4V-1T



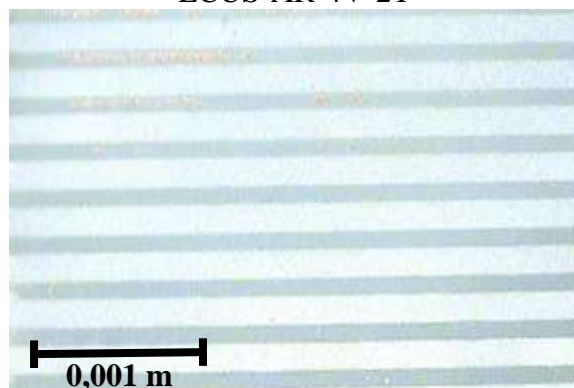
LCUS-AR-4V-2F



LCUS-AR-4V-2T



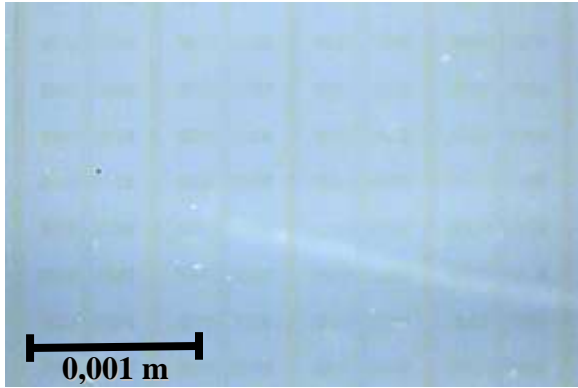
LCUS-AR-4V-3F



LCUS-AR-4V-3T

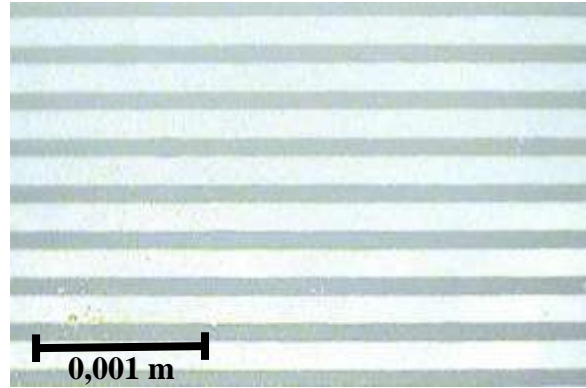
Tabla 91. LCUS con agua regia (T = 40°C, v = 10 ml/g, t = 10 min).

Vidrio PDP Frontal

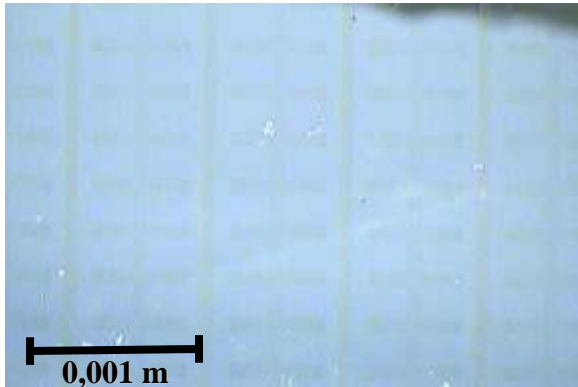


LCUS-AR-5V-1F

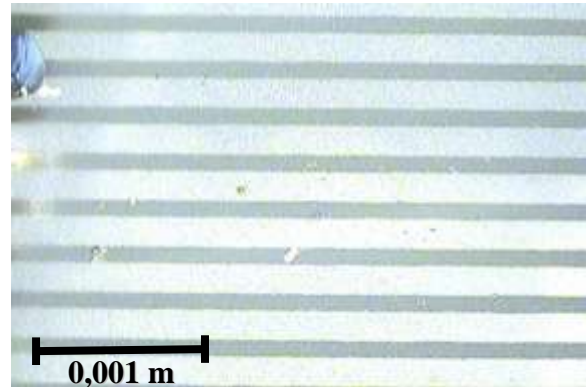
Vidrio PDP Trasero



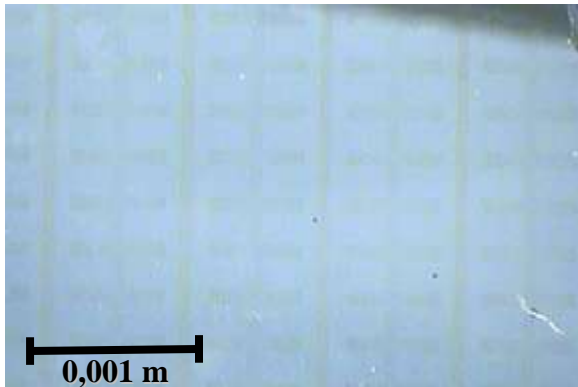
LCUS-AR-5V-1T



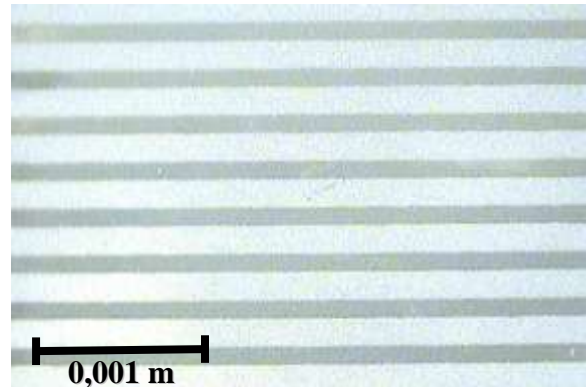
LCUS-AR-5V-2F



LCUS-AR-5V-2T



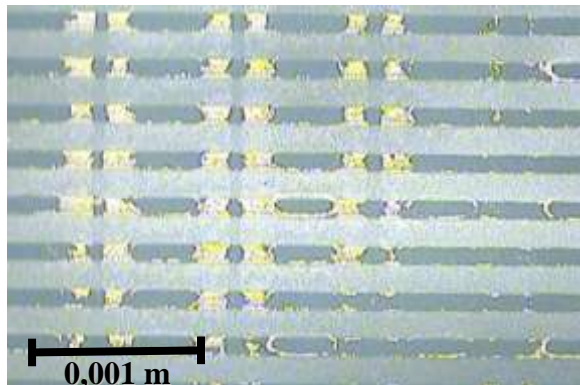
LCUS-AR-5V-3F



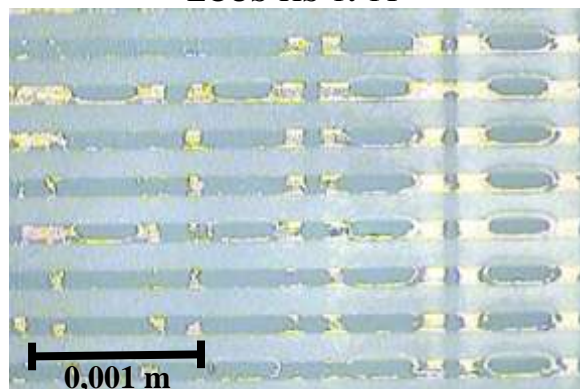
LCUS-AR-5V-3T

Tabla 92. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 5\text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01\text{ M}$).

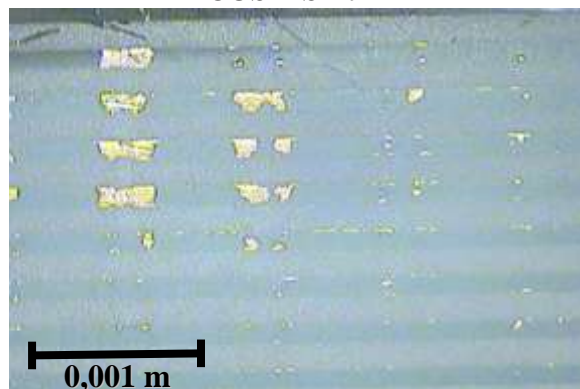
Vidrio PDP Trasero



LCUS-HS-1t-1T



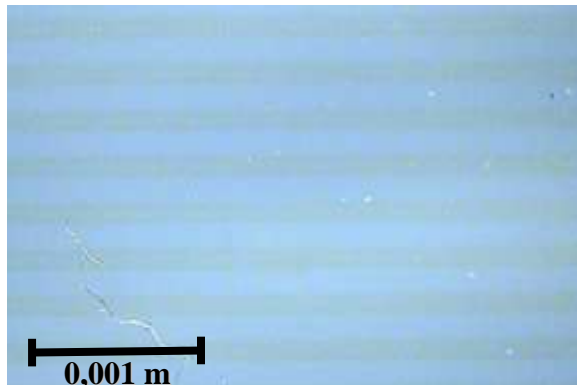
LCUS-HS-1t-2T



LCUS-HS-1t-3T

Tabla 93. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 8\text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01\text{ M}$).

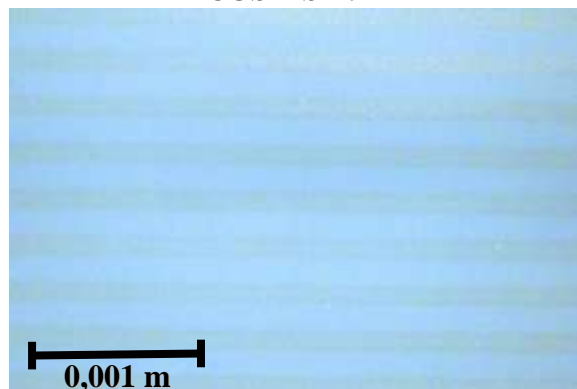
Vidrio PDP Trasero



LCUS-HS-2t-1T



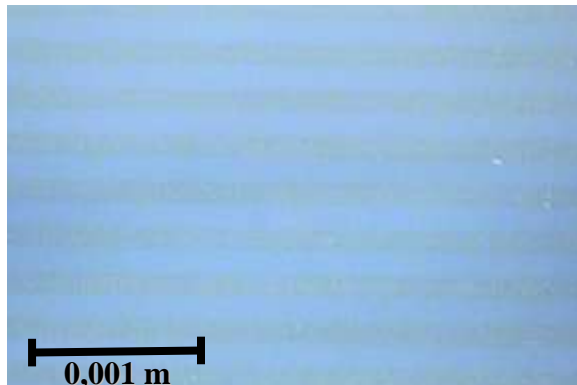
LCUS-HS-2t-2T



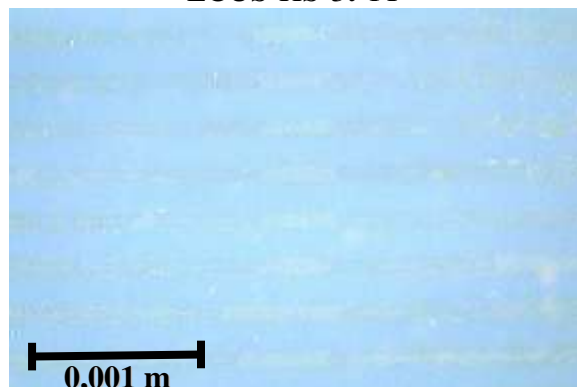
LCUS-HS-2t-3T

Tabla 94. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 10\text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01\text{ M}$).

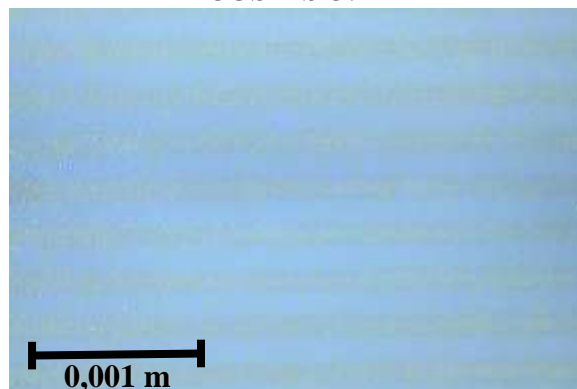
Vidrio PDP Trasero



LCUS-HS-3t-1T



LCUS-HS-3t-2T

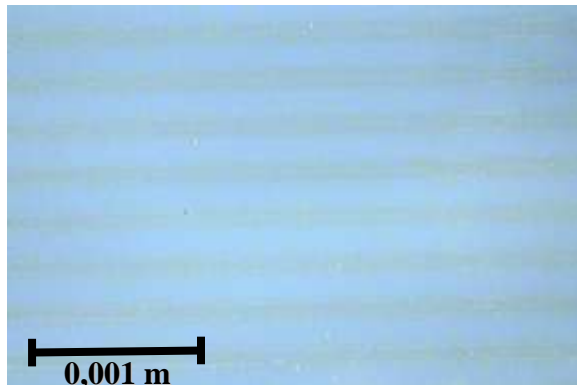


LCUS-HS-3t-3T

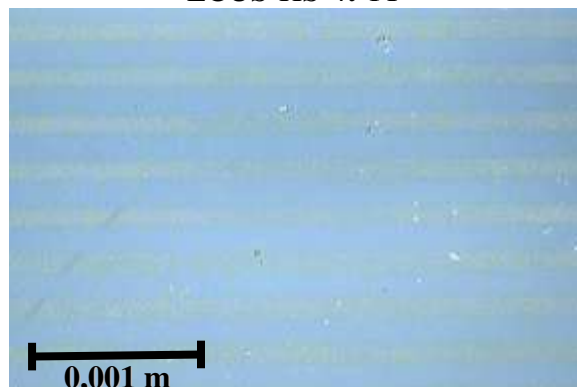
Tabla 95. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $V = 30\text{ ml}$, $t = 15$, $[\text{NaOH}] = 0,01$

M).

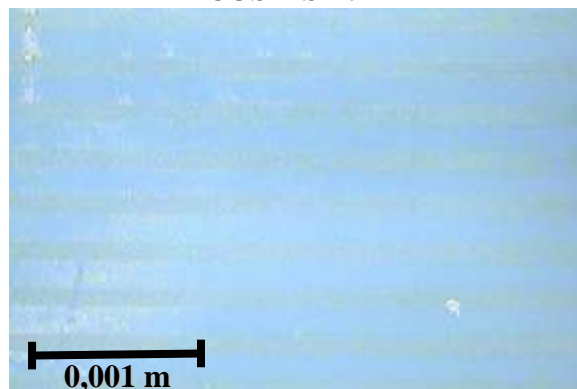
Vidrio PDP Trasero



LCUS-HS-4t-1T



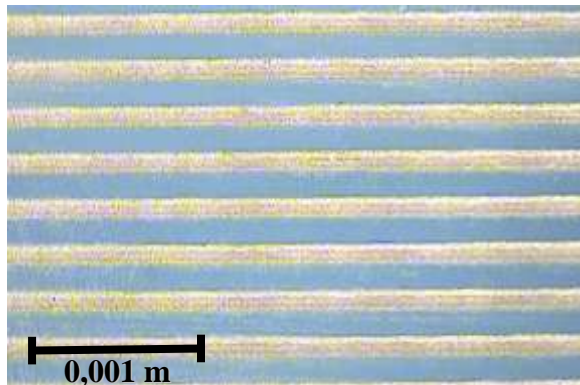
LCUS-HS-4t-2T



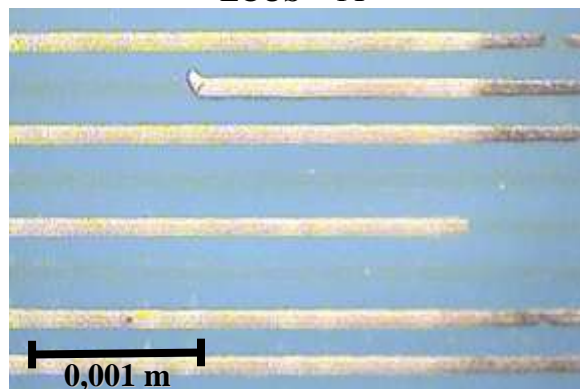
LCUS-HS-4t-3T

Tabla 96. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $v = 1 \text{ ml/g}$, $t = 10 \text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01 \text{ M}$).

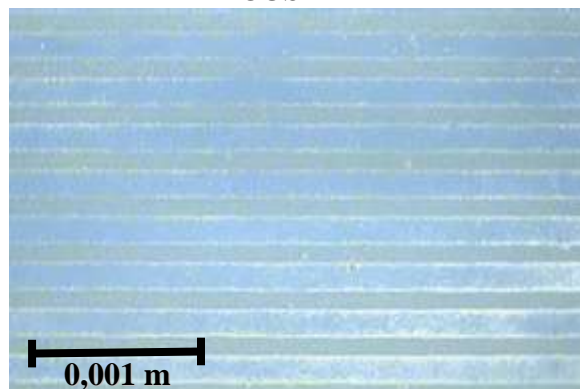
Vidrio PDP Trasero



LCUS---1T



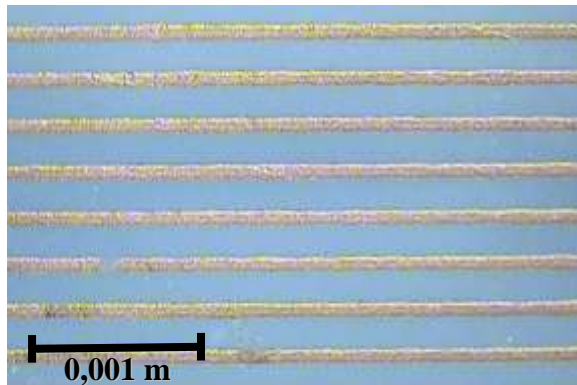
LCUS---2T



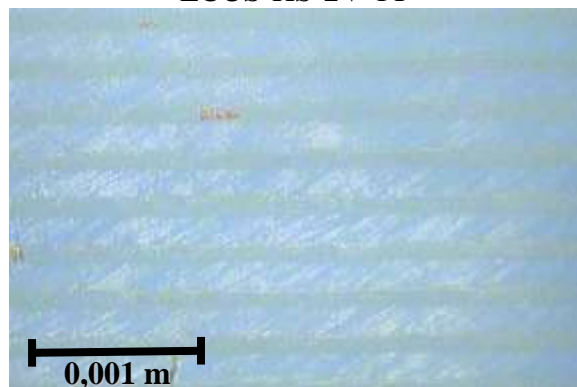
LCUS---3T

Tabla 97. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $v = 5 \text{ ml/g}$, $t = 10 \text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01 \text{ M}$).

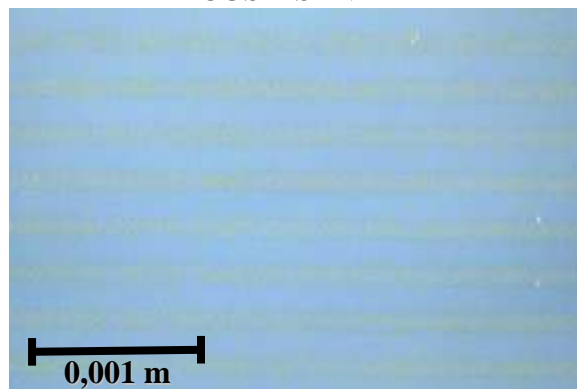
Vidrio PDP Trasero



LCUS-HS-2V-1T



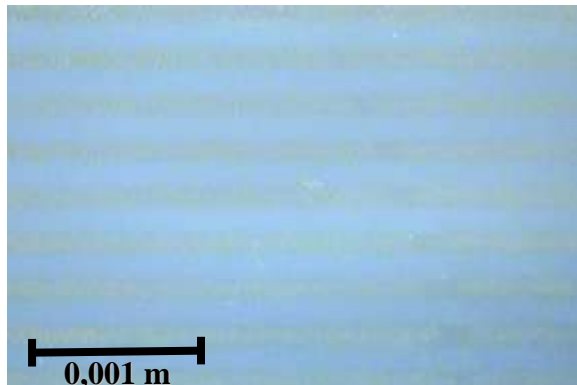
LCUS-HS-2V-2T



LCUS-HS-2V-3T

Tabla 98. LCUS con hidróxido de sodio ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $v = 10 \text{ ml/g}$, $t = 10 \text{ min}$, $[\text{NaOH}] = 0,01 \text{ M}$).

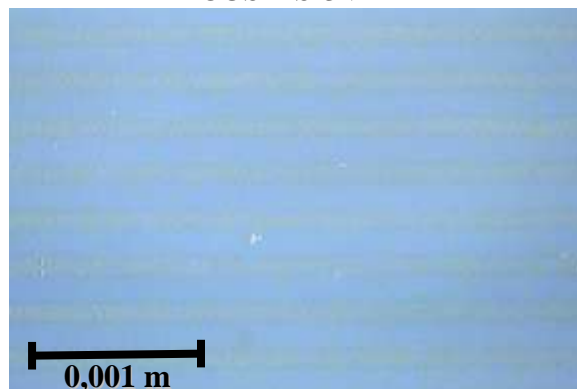
Vidrio PDP Trasero



LCUS-HS-3V-1T



LCUS-HS-3V-2T



LCUS-HS-3V-3T