

# TABLE OF CONTENTS

---

<b>CAPITULO 1: Perspectiva Ecológica</b> .....	<b>1</b>
El Concepto de Planeta Finito .....	1
El Concepto de Manejo Integral .....	2
El Alcance del Problema de la Contaminación del Agua .....	3
Literatura Citada .....	4
<b>CAPITULO 2: Panorama de los Contaminantes del Agua y su Impacto: La Industria de Pulpa y Papel</b> .....	<b>5</b>
Significado de la Contaminación .....	5
Definiciones de Contaminantes .....	5
Sustancias Demandantes de Oxígeno .....	5
DBO .....	5
DQO .....	8
COT .....	8
DTO .....	8
Agentes Causales de Enfermedad .....	8
Compuestos Orgánicos Sintéticos .....	9
Detergentes .....	9
Plaguicidas .....	10
Aceites y Grasas .....	10
Productos Químicos Industriales .....	10
Bifenilos Policlorados .....	10
Cloroformo .....	11
Dioxina .....	12
AOX .....	13
Color .....	14
Nutrientes de las Plantas .....	15
Compuestos Químicos Inorgánicos y las Sustancias Minerales .....	15
Los Sedimentos .....	16
Materiales Radioactivos .....	17
Contaminación Térmica .....	17
Sumario de Parámetros de la Contaminación y Carga de Contaminación .....	17
Origen de la Carga de Desechos Naturales (Primarios) .....	17
Pulpeo .....	18
Fabricación de Papel .....	18
Residuos Naturales (primarios) Descargados por Categoría .....	19
Literatura Citada .....	21
<b>CAPITULO 3: Posibles Modificaciones al Proceso en las Áreas de Preparación de Pastas y de la Máquina de Papel</b> .....	<b>23</b>
Composición del Agua Blanca .....	23
Sistemas de Reciclado de Agua .....	23
Sistema de Recuperación de Fibras .....	27
Agua de Lavado .....	33

Problemas Potenciales por el Reciclado del Agua .....	33
Problemas de Taponamiento .....	34
Corrosión .....	35
Depósitos .....	36
Babazas y Olor .....	36
Color .....	37
Filamentos de Fieftros .....	37
Formación de Depósitos Salinos .....	37
Contenido de Impurezas .....	38
Consideraciones para el Balance de Materiales .....	38
Consideraciones de la Calidad del Agua .....	40
Literatura Citada .....	41
<b>CAPITULO 4: Modificaciones al Proceso en el Patio de Madera .....</b>	<b>45</b>
Literatura Citada .....	48
<b>CAPITULO 5: Modificaciones al Proceso en Planta Kraft .....</b>	<b>49</b>
Lavado de la Pulpa .....	49
El Efluente de una Planta Kraft .....	51
Filtrado del Espesador .....	51
Evaporadores .....	52
Pérdidas Intermitentes .....	53
Concepto de una Planta Kraft Cerrada .....	55
Planta Práctica Kraft de Efluente Mínimo .....	59
Literatura Citada .....	62
<b>CAPITULO 6: Modificaciones al Proceso del Pulpeo Semicuímico al Sulfito Neutro .....</b>	<b>65</b>
Modificación de los Sistemas de Agua .....	65
Caso Histórico .....	66
Prevención de Derrames .....	66
Reducción de Efluentes .....	67
Problemas Técnicos .....	67
Puntos 1 y 2 - Problemas de fieltro Húmedo .....	68
Punto 3 - Problemas de Limo .....	68
Puntos 4, 8 y 9 - Menor Resistencia de la hoja y una mayor Frecuencia de Limpieza en los Elementos de Máquina .....	68
Puntos 6 y 7 - Incremento de incrustaciones, mayores demandas de químicos y otros problemas del sistema .....	69
Impacto de la refinación, lavado y recuperación de licores. ....	69
Corrosión .....	70
Literatura Citada .....	71
Glosario .....	72
<b>CAPITULO 7: Modificaciones al Proceso de Pasta Mecánica, Pulpa Mecánica de Refinador y Pulpa Termomecánica .....</b>	<b>73</b>
Pasta mecánica .....	73
Pulpa Mecánica de Refinador (PMR) .....	73
Pulpeo Termomecánico (PTM) .....	74
Lineamientos para los Papeles de Pulpa Mecánica para Impresión .....	75

Modificaciones en el proceso de pulpeo al sulfito .....	.77
Literatura Citada .....	.78
Glosario .....	.79
<b>CAPITULO 8: El Potencial de las Nuevas Tecnologías para la Reducción de la Contaminación .....</b>	<b>.81</b>
Deslignificación Prolongada .....	.81
Pulpeo a Consistencia Media .....	.81
Pulpeo con Oxígeno .....	.82
Pulpeo con Antraquinona (AQ) .....	.83
Literatura Citada .....	.83
<b>CAPITULO 9: Modificaciones al Proceso de Blanqueo .....</b>	<b>.85</b>
Modificaciones al Proceso de Blanqueo Convencional .....	.85
Blanqueo en Fase Gas .....	.88
Tecnologías Modernas de Blanqueo .....	.88
Métodos para disminuir el Uso del Cloro .....	.89
Pulpeo Modificado—Deslignificación Extendida .....	.90
Deslignificación con Oxígeno .....	.90
Pretratamiento Enzimático .....	.90
Modificación de la Etapa C .....	.90
Disminución del Factor Kappa (Múltiplo de Cloro Activo) .....	.90
Adición lenta y en Puntos Múltiples del Cloro .....	.90
Sustitución Alta de ClO <sub>2</sub> .....	.91
Orden de Adición del Cloro y del Dióxido de Cloro en la Etapa de Cloración .....	.91
Combinación de Diferentes Técnicas .....	.91
Eliminación de todos los Compuestos Clorados .....	.93
Secuencias de Blanqueo Oxígeno-Peróxido .....	.94
Secuencias de Blanqueo de Oxígeno-Ozono-Peróxido .....	.94
Oxidación en Húmedo del AOX .....	.95
La Primera Aplicación Comercial de Ozono a Gran Escala .....	.95
Opciones Alternativas de Pulpeo .....	.97
Notas Concluyentes .....	.98
Literatura Citada .....	.98
<b>CAPITULO 10: Panorama de la Eliminación del Color y Compuestos Organoclorados y las Técnicas de Destrucción .....</b>	<b>.101</b>
Situación Reglamentaria sobre el Color .....	.101
Origen y Naturaleza del Color en los Efluentes de la Industria de Pulpa y Papel .....	.101
Los Compuestos Organoclorados y su Relación con el Color y la Toxicidad del Efluente .....	.102
Naturaleza de los Compuestos Organoclorados en los Efluentes de la Industria de Pulpa y Papel .....	.103
Cómo Medir y Representar el Color .....	.103
El Color Proveniente de la Planta de Blanqueo .....	.104
El Color Proveniente de la Planta de Pulpeo (Cocción) .....	.105
Reducción del Color y de Compuestos Organoclorados en los Efluentes de la Planta .....	.105
Nivel Jerárquico I—Prevención y Minimización del Color .....	.106
Nivel Jerárquico II—Reutilización y Recirculación de Flujos Altamente Coloreados .....	.106
Nivel Jerárquico III—La Destrucción del Color y de los Organoclorados .....	.106

Procesos de Tratamiento Biológico .....	106
Oxidación Química .....	107
Ozono .....	107
Procesos Avanzados de Oxidación (PAO)—Peróxido/UV/ Ozono .....	108
Fotocatálisis y Foto-Oxidación .....	109
Los Procesos Electroquímicos .....	109
Destrucción Térmica de Efluentes con Alta Concentración de Color .....	109
Nivel Jerárquico IV—Sistemas de Eliminación y Separación del Color .....	110
Coagulación Química .....	110
Poliamina .....	110
El Proceso Stone .....	110
Procesos para Eliminar la Lignina (PEL) .....	111
Precipitación con Cal .....	111
Coagulación con Alumbre y Precipitación .....	113
Otros Programas con Coagulantes Combinados .....	114
Procesos con Membranas—Ultrafiltración .....	114
Sistemas de Sorción—Adsorbentes Poliméricos Sintéticos (Resinas de Intercambio Iónico) .....	116
Óxido de Aluminio .....	118
Carbón Activado .....	118
Sistema ISEP .....	119
La Descarga Final—Almacenar/Liberar y Tratamiento del Suelo .....	120
Nota —Diversos Enfoques .....	120
Factores Economicos del Tratamiento del Color .....	120
Literatura Citada .....	122
<b>CAPITULO 11: Tratamiento Convencional: Remoción de Sólidos Suspendidos .....</b>	<b>127</b>
Ventajas del Tratamiento Externo .....	127
Ventajas de las Modificaciones en el Proceso Interno para el Control de la Contaminación .....	127
Sólidos Suspendidos .....	128
Clarificadores por Sedimentación .....	128
Teoría de la Sedimentación .....	130
Sedimentación de Partículas Discretas .....	130
Tanque Teórico de Sedimentación .....	131
Clarificadores por Flotación .....	133
Nuevos Desarrollos .....	135
Igualación del Flujo .....	136
Literatura Citada .....	136
<b>CAPITULO 12: Tratamiento Biológico Secundario .....</b>	<b>139</b>
Fundamentos del tratamiento biológico .....	139
Bacterias .....	140
Cinética Bacteriana .....	142
Factores que afectan el crecimiento bacte-riano .....	143
Nutrientes y oxígeno .....	143
Temperatura .....	143
pH .....	143

Tóxicos . . . . .	144
Modelos matemáticos para los sistemas de tratamiento de aguas residuales . . . . .	144
Modelo matemático simple para estanques aireados de estabilización . . . . .	145
Modelo matemático simple para un sistema de lodos activados . . . . .	147
Transferencia de oxígeno . . . . .	149
Aireadores . . . . .	150
Modelo matemático perfeccionado para plantas de tratamiento . . . . .	152
Experiencia industrial con varios sistemas de biotratamiento . . . . .	153
Oxidación en el almacenamiento . . . . .	153
Estanques de Estabilización Aireados (EEA) . . . . .	154
Lodos Activados . . . . .	157
Lodos Activados con Oxígeno Puro . . . . .	159
Sistemas de Biotratamiento en dos etapas . . . . .	160
Zanja de Oxidación . . . . .	162
Filtros de Percolación . . . . .	162
“Depósito” en suelos . . . . .	162
Resumen del Biotratamiento . . . . .	164
Literatura citada . . . . .	164

**CAPITULO 13: Tratamiento Anaerobio de Aguas residuales de Fábricas de Pulpa y Papel . . . . .169**

Aplicabilidad de los Procesos Anaerobios en Aguas Residuales de Pulpa y Papel . . . . .	170
Consideraciones Bioquímicas y Microbiológicas . . . . .	170
Características y tratabilidad de las aguas residuales . . . . .	171
Factores a Considerarse en la Aplicación de los Procesos Anaerobios para Tratar Aguas residuales de Pulpa y Papel . . . . .	172
Cinéticas de tratamiento . . . . .	174
Eliminación de sustrato . . . . .	174
Rendimiento de biomasa . . . . .	174
Temperatura . . . . .	175
Producción de Biogas y Composición . . . . .	176
Requerimientos de nutrientes . . . . .	176
pH y alcalinidad . . . . .	176
Inhibición y toxicidad . . . . .	177
Configuraciones de los Procesos de Tratamiento Anaerobio y sus Aplicaciones en la Industria de la Pulpa y el Papel . . . . .	178
Laguna Anaerobia . . . . .	178
Contacto anaerobio . . . . .	180
Manto de Lodo Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) . . . . .	183
Filtros Anaerobios . . . . .	184
Lecho Anaerobio Fluidizado . . . . .	188
Configuraciones Anaerobias Híbridas y de Dos Etapas . . . . .	189
Métodos para eliminar compuestos de azufre inorgánico . . . . .	191
Eliminación Antes del Tratamiento Anaerobio . . . . .	191
Precipitación Metálica . . . . .	191
Separación del Biogas y Recirculación . . . . .	192
Anaerobio en dos etapas . . . . .	193
Recuperación de Azufre . . . . .	193
Aplicación de los Procesos Anaerobios para Eliminar Compuestos Organoclorados . . . . .	193

Intereses regulatorios asociados con compuestos organoclorados . . . . .	193
Eliminación anaerobia de cloro . . . . .	195
Aplicación del tratamiento anaerobio/aerobio para eliminar cloro de efluentes de plantas de blanqueo . . . . .	195
Resumen . . . . .	196
Literatura Citada . . . . .	198
<b>CAPITULO 14: Estimación del Riesgo y Control Ambiental . . . . .</b>	<b>201</b>
El Proceso de la Evaluación de Riesgos . . . . .	201
Identificación de Peligros . . . . .	201
Evaluación Dosis-Respuesta . . . . .	202
La Estimación de la Exposición . . . . .	203
Caracterización de los Riesgos . . . . .	203
Ejemplo: La 2, 3, 7, 8 Tetraclorodibenzodioxina (TCDD) y los Compuestos Relacionados . . . . .	203
Crítica a la Estimación Clásica del Riesgo . . . . .	204
Administración del Riesgo . . . . .	205
Nuevas Direcciones en la Administración del Riesgo . . . . .	205
La Percepción del Riesgo y la Comunicación del Riesgo . . . . .	206
Literatura Citada . . . . .	206
<b>CAPITULO 15: El Manejo y la Disposición de los Desechos Sólidos . . . . .</b>	<b>209</b>
Naturaleza de los Lodos . . . . .	209
Agentes Condicionantes . . . . .	211
Dispositivos para la Eliminación de Agua . . . . .	211
Las Lagunas . . . . .	212
Filtros al Vacío . . . . .	213
Prensas V (Prensas Mecánicas) . . . . .	215
Centrífugas . . . . .	219
Filtros Prensa . . . . .	222
Prensas de Malla de Alambre Gemelas . . . . .	222
Prensas de Tornillo . . . . .	224
Disposición Final de los Lodos Concentrados. . . . .	225
Incineración . . . . .	226
Rellenos Sanitarios . . . . .	228
Aplicación en Tierra . . . . .	229
Legislación que Gobierna la Disposición de Desechos Sólidos no Peligrosos . . . . .	231
Literatura Citada . . . . .	232
<b>CAPITULO 16: Control de Contaminación del Agua Subterránea . . . . .</b>	<b>235</b>
Fuentes potenciales de fábrica . . . . .	235
Tanques de almacenamiento . . . . .	235
Embalses superficiales . . . . .	235
Rellenos sanitarios . . . . .	236
Areas de almacenamiento en tambos . . . . .	237
Patio de madera y pilas de almacenamiento de carbón . . . . .	237
Caracterización de Contaminantes . . . . .	239
Muestreo de Aguas Subterráneas . . . . .	239

Ejemplo del procedimiento de colección de muestras . . . . .	239
Identificación de muestras y embarque . . . . .	240
Consideraciones analíticas . . . . .	241
Conceptos de Aguas Subterráneas . . . . .	243
Acuíferos, Acuitardos y Acuicludas . . . . .	243
Zonas de Agua subsuperficial . . . . .	244
Zona Saturada . . . . .	244
Franja capilar . . . . .	245
Zona no Saturada . . . . .	245
Propiedades Hidrológicas de los Medios Geológicos . . . . .	245
Propiedades de Flujo - Permeabilidad intrínseca, conductividad hidráulica y transmisividad . . . . .	245
Gradiente hidráulico . . . . .	247
Ley de Darcy . . . . .	247
Propiedades de Almacenamiento . . . . .	248
Almacenamiento en acuíferos confinados y no confinados . . . . .	249
Coefficiente de Almacenaje . . . . .	249
Coefficiente de almacenaje específico . . . . .	250
Caracterización del acuífero . . . . .	250
Construcción de un mapa de superficie potenciométrica . . . . .	250
Construcción de una Red de Flujo . . . . .	251
Sistemas Isotrópicos Homogéneos . . . . .	252
Sistemas Heterogéneos . . . . .	253
Sistemas Complejos de Flujo Anisotrópico . . . . .	254
Estrategias de Remediación de Aguas Subterráneas . . . . .	258
Biorremediación . . . . .	258
Muros de Arcilla en Suspensión y Drenajes . . . . .	258
Bombeo y Tratamiento de Aguas Subterráneas . . . . .	258
Pozos de Extracción e Inyección . . . . .	259
Literatura Citada . . . . .	259
<b>CAPITULO 17: La Contaminación Del Aire: Un Problema Sin Límites . . . . .</b>	<b>261</b>
El Problema Sin Límites . . . . .	261
La Salud y la Amenidad . . . . .	261
La Salud . . . . .	262
Los Límites para Proteger a la Salud . . . . .	262
Consideraciones Meteorológicas . . . . .	263
Contaminantes Específicos del Aire . . . . .	264
Partículas . . . . .	264
Oxidos de Azufre . . . . .	265
Compuestos Totales de Azufre Reducido (TRS) . . . . .	265
Compuestos de cloro . . . . .	265
Compuestos Tóxicos del Aire . . . . .	265
Literatura Citada . . . . .	265
<b>CAPITULO 18: Caracterización del Problema de Contaminación del Aire en la Industria de Pulpa y Papel .267</b>	<b>267</b>
Emissiones del Pulpeo Kraft . . . . .	267

Compuestos de Azufre Reducido (TRS) .....	267
Oxidos de Azufre y Nitrógeno .....	267
Compuestos orgánicos sin azufre .....	268
Partículas .....	269
Horno de recuperación .....	271
Evaporación .....	273
Emisiones del digestor .....	275
Emisiones de los lavadores .....	275
Emisiones del Horno de Cal .....	275
Emisiones de la Planta de Blanqueo .....	278
Emisiones del Proceso de Pulpeo Semiquímico al Sulfito Neutro (NSSC) .....	278
Puntos de Emisión .....	279
Emisiones del Proceso de Pulpeo al Sulfito .....	280
Los Digestores y Fosas de Soplado .....	281
Emisiones de los Lavadores y Evaporadores .....	281
Emisiones de la Caldera de Recuperación .....	281
Preparación del Licor .....	282
Emisiones de las calderas de fuerza y las de combinación .....	282
Ingeniería de la Combustión .....	283
Características del combustible y la caldera .....	283
Calderas de combinación .....	283
Cogeneración .....	284
Literatura Citada .....	286