

## Índice General

<b>Capítulo 1. Fundamento Teórico</b>	<b>1</b>
Introducción	1
1.1. Materias Primas para la Obtención de Resinas Tánicas	2
1.1.1. Producción de formaldehído	2
1.1.2. Producción de extractos tánicos comerciales	3
1.2. Los Taninos como Materiales de Partida para la Obtención de Resinas	6
1.2.1. Biogénesis de taninos	9
1.2.2. Taninos como intercambiadores de iones metálicos	11
1.3. Las Resinas Fenólicas	12
1.3.1. Formación y estructuración de resinas fenólicas	15
1.3.2. Resinas novolacas	16
1.3.3. Resinas resolicas	17
1.3.3.1. Formación del ión fenolato	17
1.3.3.2. Formación de los hidroximetilfenoles (HMP)	19
1.3.3.3. Oligomerización y reticulación de resinas fenólicas	21
1.4. Obtención de Partículas Poliméricas en Suspensión	28
1.4.1. Mecanismo de formación de partículas poliméricas en el medio de reacción	31
1.4.2. Modificación y funcionalización de resinas esféricas	33
1.5. Resinas de Intercambio Iónico	35
1.5.1. Clasificación de las resinas de Intercambio iónico	38
1.5.2. La adsorción como generalidad del intercambio iónico	40
1.5.3. Intercambio Iónico y adsorción de metales	42
1.5.4. Fenómenos de hinchamiento y adsorción de disolventes en el intercambio iónico	45
1.5.5. Afinidad relativa y coeficiente de selectividad	46
1.5.6. Efecto del pH y el pKa	47
1.5.7. Capacidad de intercambio iónico	48
1.5.8. Criterios de selección de una resina de intercambio iónico y sus características	48
1.6. Revisión de Algunos Modelos Importantes de Adsorción	50

1.6.1. Revisión de modelos de adsorción en batch	51
1.6.1.1. Modelo de adsorción lineal	51
1.6.1.2. Modelo de adsorción de Langmuir	51
1.6.1.3. Modelo de adsorción de Freundlich	52
1.6.1.4. Modelo de adsorción de Temkin	53
1.6.1.5. Modelo de adsorción de Toth	53
1.6.1.6. Modelo de adsorción de Dubinin-Kaganer-Radushkevich (DKR)	54
1.6.1.7. Modelo de adsorción de Brunauer Emmett Teller (BET)	55
1.6.1.8. Modelo de adsorción de IAST (Ideal Adsorbed Solution Theory)	55
1.6.1.9. Modelo de adsorción SCM (Surface Complexation Model)	55
1.6.2. Revisión de modelos de adsorción en columna	56
1.6.2.1. Modelo de adsorción de Thomas	56
1.6.2.2. Modelo de adsorción de Yoon-Nelson	57
1.7. Bibliografía	59
<b>Parte I. Desarrollo Inicial de las Resinas Tánicas</b>	71
<b>Capítulo 2. Formulación y Síntesis de Partículas</b>	73
Introducción	73
2.1. Experimental	74
2.1.1 Materiales	74
2.1.2. Métodos	74
2.1.2.1. Determinación del contenido de fenoles totales en el extracto tánico de mimosa por el método de azul de prusia modificado	74
2.1.2.2. Determinación de la humedad y las cenizas del extracto tánico	76
2.1.2.2.A. Determinación del contenido de humedad	76
2.1.2.2.B. Determinación del contenido de cenizas	77
2.1.2.3. Análisis infrarrojo de taninos	77
2.1.2.4. Determinación del peso molecular y medidas de distribución de pesos moleculares por cromatografía de exclusión molecular	78
2.1.2.5. Diseño experimental para la formulación de resinas	78
2.1.2.6. Síntesis de resinas resolicas esféricas tanino – formaldehído (TF)	

por policondensación en suspensión inversa (ISP)	85
2.1.2.6.A. Síntesis de resinas esféricas por ISP	85
2.1.2.6.B. Modificación química de resinas - Sulfonación	88
2.2. Resultados y Discusión	90
2.2.1. Características del extracto tánico de mimosa	90
2.2.1.1. Contenido de humedad y cenizas	90
2.2.1.2. Análisis infrarrojo del extracto tánico	91
2.2.1.3. Peso molecular y polidispersidad del extracto tánico	92
2.2.2. Formulación de resinas	94
2.2.3. Obtención de resinas resolicas esféricas tanino – formaldehído (TF) por policondensación en suspensión inversa (ISP)	95
2.3. Conclusiones	98
2.4. Bibliografía	99
<b>Capítulo 3. Caracterización de Resinas Tánicas en Función del Diseño Experimental</b>	103
Introducción	103
3.1 Experimental	104
3.1.1. Materiales	104
3.1.2. Métodos	104
3.1.2.1. Análisis infrarrojo de las resinas tánicas curadas	104
3.1.2.2. Determinación de formaldehído libre	105
3.1.2.3. Determinación del contenido de agua libre en resinas de intercambio iónico	106
3.1.2.4. Determinación de grupos funcionales superficiales según el método de Boehm (SFG)	106
3.1.2.5. Caracterización de morfológica de las micropartículas	108
3.1.2.6. Intercambio iónico en batch, para disoluciones de Cu <sup>2+</sup> y Cr <sup>3+</sup> a pH 2,5; 4,0 y 5,5	110
3.2. Resultados y Discusión	111
3.2.1. Espectroscopía infrarroja de las resinas tánicas	111
3.2.2. Contenido de formaldehído libre	113
3.2.3. Contenido de agua libre en las resinas	116
3.2.4. Determinación de grupos funcionales superficiales (SFG)	118

3.2.5. Estudio de las características morfológicas de las resinas tánicas formuladas.	121
3.2.6. Estudios de intercambio iónico en disoluciones de $\text{Cu}^{2+}$ y $\text{Cr}^{3+}$ para la determinación de las mejores condiciones de formulación de resinas tánicas	126
3.2.7. Extrapolación de variables de respuesta para las resinas TP1H y TP2H	133
3.2.7.1. Extrapolación formaldehído libre	134
3.2.7.2. Extrapolación grupos funcionales superficiales (SFG)	134
3.3. Conclusiones	135
3.4. Bibliografía	137
<b>Parte II. Desarrollo Final de las Resinas Tánicas</b>	141
<b>Capítulo 4. Síntesis y Caracterización de Nuevas Resinas</b>	143
Introducción	143
4.1. Experimental	144
4.1.1. Materiales	144
4.1.2. Métodos	144
4.1.2.1. Síntesis de resinas tánicas para la evaluación del hinchamiento en función de la temperatura y el pH	144
4.1.2.2. Determinación del contenido de agua en las resinas, por TGA	146
4.1.2.3. Determinación potenciométrica de grupos funcionales superficiales (SFG)	146
4.1.2.4. Medidas de variación dimensional y gravimétrica de las probetas	147
4.1.2.5. Estudio del hinchamiento de resinas en función de la temperatura y el pH	147
4.1.2.6. Análisis termogravimétrico de resina de intercambio iónico	148
4.1.2.7. Ensayo de compresión a ruptura y elasticidad	149
4.2. Resultados y Discusión	151
4.2.1. Síntesis de nuevas resinas TP1H y TP2H	151
4.2.2. Estudio morfológico y de dispersión de tamaño de partícula para las resinas TP1H y TP2H	152

4.2.3. Contenido de formaldehído libre para las resinas TP1H y TP2H	154
4.2.4. Cuantificación de grupos funcionales superficiales (SFG) para las resinas TP1H, TP1S, TP2H y TP2S	155
4.2.5. Contenido de agua y estudio del hinchamiento en función de la temperatura y el pH	157
4.2.5.1. Contenido de agua de las resinas TP1S y TP2S	157
4.2.5.2. Cambios dimensionales y gravimétricos de las resinas tánicas en función del pH	159
4.2.5.3. Cambios dimensionales y gravimétricos de las resinas tánicas en función de la temperatura	161
4.2.6. Análisis térmico de resinas de intercambio iónico TP1S y TP2S	163
4.2.7. Propiedades mecánicas	166
4.2.7.1. Resistencia a la ruptura y elasticidad	166
4.3. Conclusiones	169
4.4. Bibliografía	171
<b>Capítulo 5. Caracterización de Resinas como Intercambiadores Iónicos de Cr<sup>3+</sup> y Cu<sup>2+</sup></b>	175
Introducción	175
5.1. Experimental	176
5.1.1. Materiales	176
5.1.2. Métodos	176
5.1.2.1. Caracterización del intercambio iónico en función del pH	176
5.1.2.2. Obtención de las isothermas de intercambio iónico en batch	177
5.1.2.3. Obtención de isothermas de intercambio iónico en columna	179
5.2. Resultados y Discusión	182
5.2.1. Variación de la capacidad de intercambio iónico en función del pH	182
5.2.2. Estudios de intercambio iónico en batch	186
5.2.3. Estudios de intercambio iónico en columna	195
5.2.4. Principales características de las resinas de intercambio iónico TP1S y TP2S	202
5.3. Conclusiones	204
5.4. Bibliografía	206

Conclusiones Finales  
Anexo

211  
217