



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.**

**Laboratorio de Operaciones Unitarias e Hidrometalurgia.**

**Laboratorio de Polímeros.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE DOCTOR EN QUIMICA**

**CLAUDIO JAVIER ARANEDA BEAS**

**“DISEÑO DE NUEVAS MICROCÁPSULAS POLIMERICAS  
PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS  
DESDE SOLUCIONES ACUOSAS ACIDAS DILUIDAS  
MEDIANTE UN SISTEMA CONTINUO DE EXTRACCIÓN”.**

**DIRECTORES DE TESIS:**

**FERNANDO RAFAEL VALENZUELA LOZANO.**

**MEHRDAD YAZDANI-PEDRAM ZOBEIRI.**

**2014**

# INDICE

---

<b>CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES.</b>	<b>4</b>
1.1 INTRODUCCION.	4
1.2 PROYECTO TESIS DOCTORAL.	6
1.2.1 Resumen proyecto tesis doctoral.	6
1.2.2 Materiales y métodos.	8
1.2.3 Hipótesis.	14
1.2.4 Objetivos.	15
1.2.4.1 Objetivo general.	15
1.2.4.2 Objetivos específicos.	15
<b>CAPITULO 2. SINTESIS Y CARACTERIZACION DE MICROCAPSULAS.</b>	<b>18</b>
2.1 INTRODUCCION.	18
2.2 MICROCAPSULAS DE PC 88A.	19
2.2.1 Síntesis de microcápsulas con diferentes proporciones de monómeros.	19
2.2.2 Microcápsulas sintetizadas con diferentes concentraciones de extractante PC 88A.	26
2.3 MICROCAPSULAS DE D2EHPA.	31
2.3.1 Microcápsulas sintetizadas con Estireno y Divinil benceno.	31
2.4 MICROCAPSULAS DE LIX 860N-IC.	33
2.4.1 Microcápsulas sintetizadas con diferentes proporciones de extractante.	33
2.4.2 Síntesis de microcápsulas con una concentración fija de extractante.	35
2.5 MICROCAPSULAS DE TBP Y TOPO.	36
2.5.1 Síntesis de microcápsulas de TBP Y TOPO.	37
2.6 MICROCAPSULAS DE ALIQUAT 336, TOA Y ALAMINE 336.	39
2.6.1 Síntesis de microcápsulas con diferentes extractantes básicos.	39
2.6.2 Microcápsulas de Aliquat 336 con diferentes monómeros.	40
2.6.3 Síntesis de microcápsulas de Aliquat 336 con diferentes monómeros.	42
2.6.4 Microcápsulas de TOA.	45
2.7 MICROCAPSULAS SIN EXTRACTANTES.	46
2.8 RESUMEN.	47

<b>CAPITULO 3. EXTRACCIÓN DE METALES Y EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN DE IONES METÁLICOS CON MICROCAPSULAS.</b>	<b>50</b>
3.1 INTRODUCCION.	50
3.2 MICROCAPSULAS DE PC 88A.	51
3.2.1 Extracción de metales con microcápsulas de PC 88A. con diferentes proporciones de monómeros.	51
3.2.2 Extracción de metales con microcápsulas sintetizadas con diferentes concentraciones de extractante.	66
3.3 MICROCAPSULAS DE D2EHPA.	68
3.3.1 Extracción de metales con microcápsulas con extractante D2EHPA.	68
3.4 MICROCAPSULAS DE LIX 860N-IC.	69
3.4.1 Estudio de extracción de metales con microcápsulas sintetizadas con Diferentes proporciones de LIX 860N-IC.	69
3.5 MICROCAPSULAS DE TBP Y TOPO.	75
3.6 MICROCAPSULAS DE ALIQUAT 336 Y TOA.	79
3.6.1 Extracción de cationes con extractante Aliquat 336.	79
3.6.2 Extracción de Cromo (VI) con el extractante Aliquat 336.	81
3.6.3 Extracción de cationes con el extractante TOA.	85
3.7 MICROCÁPSULAS SIN EXTRACTANTES.	86
3.8 RESUMEN.	87
<b>CAPITULO 4. PARÁMETROS CINÉTICOS Y TERMODINÁMICOS DE ADSORCIÓN DE METALES CON MICROCÁPSULAS.</b>	<b>90</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.	90
4.2 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE METALES CON MICROCÁPSULAS DE PC 88A.	93
4.2.1 Cinética de extracción de Zn(II) con MCs-PC 88A a diferentes temperaturas.	93
4.2.2 Cinética de extracción de Cu(II) con MCs-PC88A a diferentes temperaturas.	96
4.2.3 Cinética de extracción de Cd(II) con MCs-PC88A a diferentes temperaturas.	98
4.3 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN DE METALES CON MICROCÁPSULAS DE LIX 860N IC.	101
4.3.1 Cinética de extracción de Cu(II) con MCs-LIX860N IC a diferentes temperaturas.	101

4.4 PARÁMETROS DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.	103
4.4.1 Parámetros de activación para Zn(II), Cu(II) y Cd(II) adsorbidos en MCs-PC 88A.	105
4.4.2 Parámetros de activación para Cu(II) Adsorbidos en MCs-LIX 860N IC.	106
4.5 ESTUDIO DE EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN DE METALES.	107
4.5.1 Estudio de equilibrio de adsorción de Zn(II) sobre MCs-PC88A.	109
4.5.2 Estudio de equilibrio de adsorción de Cu(II) sobre MCs-PC88A.	113
4.5.3 Estudio de equilibrio de adsorción de Cd(II) sobre MCs-PC88A.	116
4.5.4 Estudio de equilibrio de adsorción de Cu(II) sobre MCs-LIX 860N IC.	119
4.6 RESUMEN.	121
<b>CAPITULO 5. ESTUDIO TERMODINÁMICO.</b>	<b>124</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.	124
5.2 ESTUDIO TERMODINÁMICO PARA Zn(II), Cu(II) Y Cd(II) ADSORBIDO EN MCS-PC 88A.	125
5.3 RESUMEN.	128
<b>CAPITULO 6. ESTUDIO DE ADSORCIÓN DE METALES EN SISTEMAS CONTINUOS.</b>	<b>129</b>
6.1 INTRODUCCIÓN.	129
6.2 EXPERIMENTOS DE ADSORCIÓN DE METALES EN COLUMNAS CONTINUAS.	133
6.3 EXPERIMENTOS DE ADSORCIÓN CONTINUA DE Cu(II) EN MICROCÁPSULAS DE LIX 860N-IC.	134
6.4 RESUMEN.	146
<b>CAPITULO 7. CONCLUSIONES FINALES.</b>	<b>147</b>
7.1 CONCLUSIONES FINALES.	147
7.2 BIBLIOGRAFÍA.	149
7.3 PUBLICACIONES Y TRABAJOS PRESENTADOS A CONGRESOS.	155
7.4 AGRADECIMIENTOS.	167