

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**

*Departament d'Enginyeria Química E.T.S.E.I.B.*

**ANÀLISI I CONTROL DE CIANURS I  
PRODUCTES RELACIONATS  
PRESENTS EN AIGÜES RESIDUALS I  
DISSOLUCIONS DE PROCESSOS  
INDUSTRIALS MITJANÇANT  
ELECTROFORESI CAPIL·LAR**

Autor: Vivenç Martí i Gregorio  
Director: Fernando Canal Bienzobas

Barcelona, novembre de 1996

Dedicada a la Montse, als familiars i als amics

# **AGRAÏMENTS**

A l'abril de 1992, amb el recent títol d'Enginyer Industrial sota el braç, vaig tenir l'oportunitat de quedar-me a la **Unitat de Química Analítica i Inorgànica** del **Departament d'Enginyeria Química** de la **UPC** a continuar fent recerca i iniciar, al gener de 1993, aquesta tesi doctoral.

Des de quatre anys enrera ençà he gaudit compartint idees de tots els àmbits amb la gent del departament i he trobat l'ajut que necessitava en moltes persones i institucions, les quals vull agrair des d'aquestes línies.

El present treball ha estat subvencionat per una beca de formació d'investigadors del **Comissionat per a Universitat i Recerca (CIRIT)** de la **Generalitat de Catalunya** i un ajut de la **CICYT** (projecte AMB 93-0484).

La direcció d'aquesta tesi ha anat a càrrec del catedràtic de la Unitat de Química Analítica i Inorgànica Dr. **Manuel Aguilar** i de la Dra. **Adriana Farran** als quals agraeixo el haver-me introduït i apadrinat en el món de la Recerca i el seu suport en les beques, ajuts rebuts així com en els projectes realitzats.

Al Dr. **Joan de Pablo** també li agraeixo el seu suport, interès i empena mostrats en els projectes que hem compartit, especialment en l'etapa prèvia a la iniciació de la tesi.

Al Dr. **José Luis Cortina** vull agrair-li el nombrosos suggeriments, contactes i ajuts realitzats en pràcticament tots els capítols de la tesi. Per sobre d'aquestes valuoses aportacions vull afegir que ha estat un excel·lent company de despatx i que sempre he rebut el seu suport incondicional, fins i tot fora d'aquest país.

Al Dr. **Besnik Baraj** vull agrair-li els suggeriments quimiomètrics del tercer capítol, així com l'interès i suport en la realització d'aquesta tesi.

La col·laboració, suggeriments, experiència i aportació de mostres de minerals del químic **Erny L. Meinhardt** en els capítols dedicats a la lixiviació i anàlisi de cianurs (especialment en el quart) ha donat una empena important i un fons realista a la tesi, sobretot al principi de la seva realització, que agraeixo molt cordialment. Vull destacar la seva amistat, els bons moments passats durant tota la tesi, i el seu suport quan estava als USA. A l'enginyer **Jordi Godayol** també vull agrair-li el treball realitzat en l'obtenció dels lixiviats del quart capítol.

El capítol cinquè ha rebut una aportació important a nivell experimental (lixiviació, ICP) i d'especiació dels metalls preciosos per part de l'enginyer

**Oscar Roijals** i del químic **Miquel Rovira**, als quals també agraeixo la seva amistat.

A la **Dra. Elena Torrero** també li agraeixo la col.laboració en les anàlisis per ICP del capítol quart i cinquè, en les mesures de potencial i en els suggeriments d'alguns muntatges de la tesi. Les anàlisis de microscòpia electrònica del capítol cinquè han estat realitzades per la **Dra. Montse Marsal** del Departament de Metal.lúrgia de la UPC.

El capítol sisè ha estat realitzat íntegrament en el **Ames Laboratory**, fruit d'una estada de sis mesos a la **Iowa State University** (Ames, Iowa, USA) finançada per la **UPC**. i l'empresa **Olivetti** a través d'un **Ajut de Curta Durada a l'Estranger**.

D'aquella època de sensacions noves i enyorances vull agrair el suport i la col.laboració del Dr. **Edward S. Yeung**, dels investigadors del seu equip i de les nombroses amistats espanyoles i internacionals que vaig fer enllà. Aquesta estada també em va permetre assistir a conferències dels "big guys" de l'electroforesi (R.N.Zare, J.W.Jorgenson, S.Hjertén, A.G.Ewing) i accedir al fons de la Parks Library de la I.S.U., amb més de dos milions de volums, fet que per mi ha constituït tot un "luxe científic".

En l'últim capítol de la tesi vull agrair la col.laboració de l'enginyer **Albert Verdier**, de la **Confederació d'Empresaris del Baix Llobregat** i de l'amic **Albert Roman** en el subministrament de mostres reals de banys cianurats i de la **Dra. Mercè Granados** i de l'enginyera **M<sup>a</sup> Angels García** en l'ajut en les anàlisis espectrofotomètriques d'aquests banys.

En aquesta tesi també he de destacar la companyia, ajut, simpatia i amistat dels químics **Carme Serra** i **Santiago Ruiz** en les anàlisis d'electroforesi capil.lar i dels químics **Fatima Aamrani** i **Abdelhay Madi** en les anàlisis per AAS.

A la resta de companys doctors-químics-professors del departament que conec des de l'inici de tesi: **Javi, Lara, Maria, Ana, Núria, Ignasi, Antonio**; enginyers que he anat coneixent: **Lluïsa, Francesc, Juanra, Susana** i la gent de la "generació de la carmanyola" **Xavier, Conxi, Ra, Elizabeth, Mireia, Marina, Abdessellam, Youssef** i **Isabel** vull agrair la seva simpatia i companyia mostrada en tot aquest temps.

Cal fer menció a tota la gent que, fora de l'àmbit del departament, m'ha ajudat a alleugerir la càrrega, sovint feixuga, de la tesi en tots aquests anys.

Del principi de la tesi recordo la simpatia i interès dels amics grallers, castellers i diables de Cornellà i Sants i dels seus simpatitzants: **Carles, Melània, Manolo, Jordi, Santi, Joan, David, Rosa, Josep, Cristina, Marta, Jordi**, dels amics "de joventut": **Pahlas, Gabi, Eva, Merche, Maite, Ruben, Neus, Olga, Marisol, Ramon i Francesc** i dels més recents **Montse, Josep, Dolors i Albert**.

Un record molt especial per la família, que m'ha recolzat en tot aquest temps i també ha patit des de que era petit els meus afanys científics i totes les seves conseqüències: al germanet **Jordi**, que m'ha fet molta companyia per Sants; a la germaneta **Mercè** i al **Ramon**, que em van escriure molt quan estava als USA; al **pare** i a la **mare**, que encara pateixen per un; al tiet **Sisco**, que ens va deixar... i al **Marçal**, que ens han alegrat a tots des del seu naixement.

També vull agrair l'amistat i simpatia dels **Manels**, de l'**Emilia**, de la **Lídia** i del **Xavier**, que amb un anyet i mig crec que ja és el meu amic perquè em riu.

... i solament quedes tú **Montse**, que ets el descobriment més meravellós que he fet durant la tesi (i que faré mai en la vida), per tant també n'has de formar part d'aquest escrit. Vull que sàpigues que t'estimo, que tots aquests anys amb tu han estat magnífics i que vull estar sempre al teu costat, perquè encara ens queden molts capítols importants per escriure junts en el llibre de la vida.

Sants, estiu de 1996.

# ÍNDEX

## **INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS**

---

<b>INTRODUCCIÓ</b>	I-1
<b>OBJECTIUS</b>	I-18
<b>REFERÈNCIES</b>	I-19

## **PRIMERA PART: FONAMENTS I METODOLOGIA**

### **CAPÍTOL 1:**

#### **FONAMENTS DE L'ANÀLISI PER ELECTROFORESI CAPIL.LAR**

---

<b>1.1. INSTRUMENTACIÓ EN ELECTROFORESI CAPIL.LAR</b>	<b>1-1</b>
<b>1.2. PARÀMETRES ANALÍTICS DE L'ELECTROFORESI CAPIL.LAR</b>	<b>1-4</b>
<b>1.3. PRINCIPIS DE SEPARACIÓ EN CZE</b>	<b>1-9</b>
1.3.1. INJECCIÓ DE LA MOSTRA	1-9
1.3.2. MIGRACIÓ DELS COMPOSTOS	1-9
1.3.3. DISPERSIÓ I CONCENTRACIÓ DEL COMPOSTOS	1-11
1.3.3.1. Dispersió deguda a la injecció	1-11
1.3.3.2. Dispersió deguda a la separació	1-12
1.3.3.3. Dispersió deguda a la detecció	1-14
1.3.3.4. Concentració deguda a l'efecte "stacking"	1-14
1.3.3.5. Dispersió total	1-16
<b>1.4. PRINCIPIS DE DETECCIÓ EN ELECTROFORESIS CAPIL.LAR</b>	<b>1-18</b>
1.4.1. DETECCIÓ DIRECTA	1-18
1.4.1.1. Àrea del pic	1-18
1.4.1.2. Soroll	1-21
1.4.1.3. Altures de pic	1-22



1.4.2. DETECCIÓ INDIRECTA	1-22
1.4.2.1. Relació de transferència (TR)	1-22
1.4.2.2. Senyal d'absorció indirecta	1-24
1.4.2.3. Senyal d'emissió fluorescent indirecta	1-24
1.4.2.4. Reserva dinàmica (DR)	1-26
1.4.2.5. Concentració límit i LOD en detecció indirecta	1-27
<b>1.5. ESCALFAMENT PER EFECTE JOULE</b>	<b>1-28</b>
<b>1.6. CONCLUSIONS</b>	<b>1-31</b>
<b>1.7. REFERÈNCIES</b>	<b>1-32</b>
 <b>CAPÍTOL 2:</b>	
<b>ESTUDIS PRELIMINARS SOBRE</b>	
<b>L'ANÀLISI DE CIANURS MITJANÇANT ELECTROFORESI CAPIL·LAR</b>	
<hr/>	
<b>2.1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>2-1</b>
2.1.1. VARIABLES QUE AFECTEN EL TEMPS DE DETECCIÓ	2-3
2.1.2. VARIABLES QUE AFECTEN L'ALTURA DELS PICS	2-5
<b>2.2. PART EXPERIMENTAL</b>	<b>2-7</b>
2.2.1. REACTIUS I DISSOLUCIONS	2-7
2.2.2. INSTRUMENTACIÓ	2-8
<b>2.3. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	<b>2-10</b>
2.3.1. ESTUDI DE LES MOBILITATS DELS CIANURS	2-10
2.3.1.1. Efecte del tampó	2-10
2.3.1.2. Efecte del tensoactius	2-12
2.3.1.3. Influència de l'efecte Joule	2-13
2.3.2. ESTUDI DE L'ALTURA DE PICS DE CIANURS	2-19
2.3.2.1. Espectres UV dels cianurs	2-19
- Grup de cianurs presents en lixiviats de minerals d'or	2-21
- Grup de cianurs i espècies relacionades presents en lixiviats de convertidors d'automòbil	2-22

- Grup de cianurs i espècies relacionades no detectables en UV	2-24
- Grup de productes d'oxidació dels cianurs	2-26
2.3.2.2. Efecte "Stacking"	2-26
<b>2.4. REFERÈNCIES</b>	<b>2-35</b>
<b>CAPÍTOL 3:</b>	
<b>DISSENYS EXPERIMENTALS APLICATS A L'OPTIMITZACIÓ</b>	
<b>DE L'ANÀLISI DE CIANURS MITJANÇANT ELECTROFORESI CAPIL·LAR</b>	
<hr/>	
<b>3.1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>3-1</b>
3.1.1. MÈTODES D'OPTIMITZACIÓ	3-2
3.1.2. SUPERFÍCIES DE RESPOSTA	3-5
3.1.3. APLICACIÓ A ELECTROFORESI CAPIL·LAR	3-8
<b>3.2. PART EXPERIMENTAL</b>	<b>3-9</b>
3.2.1. PATRONS I DISSOLUCIONS	3-9
3.2.2. INSTRUMENTACIÓ	3-9
<b>3.3. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	<b>3-10</b>
3.3.1. OPTIMITZACIÓ SIMPLEX	3-10
3.3.1.1. Optimització no restringida de l'altura de pic.	3-10
3.3.1.2. Optimització restringida de l'altura de pic.	3-12
3.3.1.3. Optimització de la relació altura/soroll amb restriccions.	3-13
3.3.2. SUPERFÍCIES DE RESPOSTA	3-15
3.3.2.1. Tampons utilitzats	3-16
3.3.2.2. Estudi del soroll	3-16
3.3.2.3. Superfície de resposta de l'altura del pic.	3-19
3.3.2.4. Superfícies de resposta de l'eficàcia i resolució.	3-23
3.3.3. CONCLUSIONS SOBRE LA METODOLOGIA D'ANÀLISI.	3-25
<b>3.4. REFERÈNCIES</b>	<b>3-28</b>

## **SEGONA PART: ANÀLISI DE CIANO-COMPLEXOS METÀLLICS MITJANÇANT ELECTROFORESI CAPIL·LAR**

### **CAPÍTOL 4:**

#### **ANÀLISI DE LIXIVIATS CIANURATS DE MINERALS D'OR**

---

<b>4.1. INTRODUCCIÓ</b>	4-1
4.1.1. CONDICIONS I NECESSITATS ANALÍTIQUES DEL PROCÉS.	4-1
4.1.2. TÈCNiques ANALÍTIQUES CLÀSSIQUES.	4-5
4.1.3. TÈCNiques ANALÍTIQUES ALTERNATIVES.	4-6
<b>4.2. PART EXPERIMENTAL.</b>	4-10
4.2.1. REACTIUS I DISSOLUCIONS.	4-10
4.2.2. MINERALS.	4-11
4.2.3. INSTRUMENTACIÓ.	4-11
<b>4.3. RESULTATS I COMENTARIS</b>	4-12
4.3.1. ANÀLISI DE PATRONS	4-12
4.3.1.1. Calibratge	4-12
4.3.1.2. Interval de linealitat del calibratge	4-14
4.3.1.3. Límits de detecció	4-15
4.3.2. COMPARACIÓ DE L'ANÀLISI DE CIANO-COMPLEXOS METAL·LICS PER DIFERENTS TÈCNiques ANALÍTIQUES	4-18
4.3.2.1. Comparació CE-AAS-ICP	4-19
- Precisió	4-20
- Sensibilitat	4-20
- Exactitud	4-23
- Altres característiques	4-26

4.3.2.2. Comparació CE-HPLC	4-26
- Precisió	4-26
- Sensibilitat	4-28
- Exactitud	4-29
- Altres característiques	4-29
4.3.3. ANÀLISI DE LIXIVIATS DE MINERALS	4-30
4.3.3.1. Caracterització dels minerals a lixiviar	4-30
4.3.3.2. Mètodes de lixiviació de les mostres	4-31
4.3.3.3. Identificació dels ciano-complexos en els lixiviats de minerals	4-33
4.3.3.4. Cinètiques de lixiviació	4-35
4.3.4. ESPECIACIÓ DE CIANO-COMPLEXOS METÀL.LICS	4-42
4.3.4.1. Mesures de pe	4-42
4.3.4.2. Ciano-complexos de l'or	4-43
4.3.4.3. Ciano-complexos de l'argent	4-43
4.3.4.4. Ciano-complexos de coure	4-44
4.3.4.5. Ciano-complexos de ferro	4-48
4.3.4.6. Ciano-complexos de níquel	4-53
<b>4.4. REFERÈNCIES</b>	<b>4-54</b>

## **CAPÍTOL 5:**

### **ANÀLISI DE LIXIVIATS**

#### **CIANURATS DE CONVERTIDORS D'AUTOMÒBILS**

---

<b>5.1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>5-1</b>
5.1.1. PROBLEMÀTICA I PROCESSOS DE RECUPERACIÓ DELS PGM	5-1
5.1.2. NECESSITATS ANALÍTIQUES DEL PROCÉS I TÈCNiques EXISTENTS	5-6

<b>5.2. PART EXPERIMENTAL</b>	5-9
5.2.1. REACTIUS I DISSOLUCIONS	5-9
5.2.2. CONVERTIDORS	5-10
5.2.3. INSTRUMENTACIÓ	5-10
<b>5.3. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	5-11
5.3.1. ANÀLISI DE PATRONS	5-11
5.3.1.1. Síntesi i anàlisi del cianur de Rh	5-11
5.3.1.2. Optimització de la resolució entre els cianurs Pt i Pd	5-12
- Assaigs previs.	5-12
- Superfície de resposta.	5-14
5.3.1.3. Optimització de les condicions de detecció.	5-18
5.3.1.4. Límits de detecció.	5-20
5.3.2. ANÀLISI DE LIXIVIATS DE CONVERTIDOR	5-23
5.3.2.1. Caracterització microscòpica i morfologia del convertidor.	5-23
5.3.2.2. Mètodes de lixiviació i obtenció de les mostres.	5-24
5.3.2.3. Identificació dels ciano-complexos en els lixiviats dels convertidors.	5-27
5.3.2.4. Optimització de les condicions de lixiviació.	5-28
5.3.2.5. Estudi cinètic de l'adsorció dels ciano-complexos dels lixiviats sobre carbó actiu i comparació dels resultats per CE i ICP.	5-31
5.3.2.6. Comparació de l'anàlisi de ciano-complexos en lixiviats de convertidors per CE i ICP.	5-36
- Precisió	5-38
- Sensibilitat	5-39
- Exactitud	5-40
5.3.2.7. Estudi de les dissolucions de lixiviació	5-41
- Mesures de conductivitat	5-41
- Estudis de degradació de les dissolucions de lixiviació	5-43

5.3.3. ESPECIACIÓ DE CIANO-COMPLEXOS METÀL.LICS I PRODUCTES DE DEGRADACIÓ A 140°C	5-46
5.3.3.1. Càlcul de constants	5-47
- Model d'un terme	5-48
- Model de dos termes	5-49
5.3.3.2. Mesures de pe i pH dels lixiviats	5-50
5.3.3.3. Ciano-complexos del platí	5-50
5.3.3.4. Ciano-complexos del pal.ladi	5-54
5.3.3.5. Ciano-complexos de rodi	5-54
5.3.3.6. Espècies relacionades amb la degradació del CN <sup>-</sup> .	5-60
<b>5.4. REFERÈNCIES</b>	<b>5-64</b>

## **TERCERA PART: ANÀLISI DE CIANUR LLIURE, FEBLEMENT LLIGAT I TOTAL MITJANÇANT ELECTROFORESI CAPIL.LAR**

### **CAPÍTOL 6: DETECCIÓ INDIRECTA DEL CIANUR LLIURE I COMPOSTOS RELACIONATS**

---

<b>6.1. INTRODUCCIÓ</b>	6-1
6.1.1. PROBLEMÀTICA I MÈTODES ANALÍTICS	6-1
6.1.2. MÈTODES DE DETECCIÓ INDIRECTA	6-3
6.1.3. OPTIMITZACIÓ DE LA DETECCIÓ INDIRECTA DE CIANURS	6-5

<b>6.2. PART EXPERIMENTAL</b>	6-9
6.2.1. REACTIUS I DISSOLUCIONS	6-9
6.2.2. INSTRUMENTACIÓ	6-9
6.2.3. CONDICIONS EXPERIMENTALS	6-10
<b>6.3. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	6-13
6.3.1. PROVES DE FUNCIONAMENT DEL SISTEMA	6-13
6.3.1.1. Detecció del cianur lliure per absorció indirecta	6-13
6.3.1.2. Proves de funcionament del detector fluorimètric	6-13
6.3.2. DETECCIÓ DE CIANUR LLIURE PER FLUORESCÈNCIA INDIRECTA	6-14
6.3.2.1. Optimització de les condicions	6-14
6.3.2.2. Soroll, LOD i temps d'anàlisi del $\text{CN}^-$ .	6-17
6.3.2.3. Valors de DR i TR pel $\text{CN}^-$ .	6-17
6.3.2.4. Calibratge del $\text{CN}^-$	6-18
6.3.3. DETECCIÓ DELS COMPOSTOS RELACIONATS AMB $\text{CN}^-$ PER FLUORESCÈNCIA INDIRECTA	6-19
6.3.3.1. Anàlisi qualitativa i estudi d'interferències.	6-19
6.3.3.2. Soroll, LOD i temps d'anàlisi dels compostos relacionats.	6-21
6.3.3.3. DR i TR dels compostos relacionats.	6-23
6.3.3.4. Calibratge dels compostos relacionats	6-23
6.3.4. ESTUDI DE L'OXIDACIÓ ALCALINA DEL $\text{CN}^-$ I $\text{SCN}^-$ AMB HIPOCLORIT	6-25
<b>6.4. REFERÈNCIES</b>	6-28

**CAPÍTOL 7:  
ANÀLISI DEL CIANUR FEBLEMENT LLIGAT I TOTAL EN  
DISSOLUCIONS DE RECOBRIMENTS ELECTROLÍTICS MITJANÇANT  
DERIVATITZACIÓ COMBINADA AMB ELECTROFORESI CAPIL·LAR**

---

<b>7.1 INTRODUCCIÓ</b>	7-1
7.1.1. PROBLEMÀTICA	7-1
7.1.2. LEGISLACIÓ I NECESSITATS ANALÍTIQUES DELS CIANURS	7-6
7.1.3. ANTECEDENTS I DESENVOLUPAMENT DE NOUS MÈTODES PER L'ANÀLISI DE CIANURS	7-8
7.1.3.1. Mètode de derivatització estàndard	7-8
7.1.3.2. Mètodes alternatius de derivatització de l'anió CN <sup>-</sup>	7-9
- Complexos orgànics	7-9
- Ciano-complexos metàl·lics	7-10
7.1.3.3. Combinació de la complexació amb mètodes de descomposició	7-12
- Destil·lació àcida	7-13
- Acidificació a temperatura ambient	7-13
- Descomposició UV	7-15
7.1.3.4. Aplicació a l'electroforesi capil·lar	7-16
<b>7.2. PART EXPERIMENTAL</b>	7-19
7.2.1. REACTIUS I DISSOLUCIONS	7-19
7.2.2. MOSTRES REALS	7-19
7.2.3. INSTRUMENTACIÓ	7-20
<b>7.3. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	7-21
7.3.1. ANÀLISI DE PATRONS	7-21
7.3.1.1. Estandarització dels patrons de NaCN i cianur de Ni(II)	7-21



7.3.1.2. Optimització de la complexació de cianurs amb solucions de níquel-amoniac	7-22
- Proves preliminars amb cianur lliure i detecció UV	7-22
- Complexació de cianur lliure i cianurs de Zn i Cd	7-23
- Optimització de l'altura del pic i temps de detecció en CE	7-24
7.3.1.3. Aplicació de la complexació directa a patrons de cianur lliure i cianurs de Zn(II) i Cd(II).	7-26
7.3.1.4. Aplicació de la complexació directa a patrons de cianurs de Cu(I), Fe(II), Fe(III) i SCN <sup>-</sup>	7-27
7.3.1.5. Optimització de la destil.lació àcida de cianurs	7-29
- Optimització d'elements calefactors i refrigerants	7-32
- Volum de mostra i cabal de refrigeració	7-35
- Altura d'absorció	7-36
7.3.1.6. Aplicació de la destil.lació més complexació a patrons de cianur lliure i cianurs de Zn(II) i Cd(II)	7-37
7.3.1.7. Aplicació de la complexació directa i destil.lació a patrons de cianurs de Cu(I).	7-40
7.3.1.8. Estudi cinètics de l'acidificació de cianurs de Fe(II), Fe(III), Ni(II) i Co(III) a temperatura ambient.	7-41
7.3.1.9. Estudi de l'oxidació de cianurs de Fe(II), Fe(III), Ni(II) i Co(III) amb hipoclorit	7-43
7.3.2. ESTUDI DE MOSTRES REALS DE BANYS ELECTROLÍTICS	7-47
7.3.2.1. Característiques de les matrius de les mostres reals	7-47
7.3.2.2. Identificació dels ciano-complexos metàl.lics dels banys electrolítics mitjançant electroforesi capil.lar	7-49
7.3.2.3. Anàlisi dels ciano-complexos metàl.lics en banys per CE i ICP	7-50
- Anàlisi CE	7-50
- Anàlisi ICP	7-53
-Comparació de precisions i sensibilitats per CE i ICP	7-54

7.3.2.4. Anàlisi de ciano-complexos metàl·lics en banys per espectrofotometria UV amb calibració multivariant	7-56
- Fonaments i metodologia del mètode	7-56
- Calibració i predicció	7-57
- Comparació de l'exactitud per CE, ICP i espectrofotometria UV-MC	7-59
7.3.2.5. Anàlisi de cianurs en banys per mètodes estàndard i CE.	7-63
- Cianur total en banys pel mètode estàndard	7-61
- Cianur no oxidable en banys pel mètode estàndard	7-65
- Cianur en banys per complexació directa i anàlisi CE	7-66
- Cianur en banys per destil·lació amb complexació i anàlisi CE	7-67
- Cianur no oxidable per destil·lació amb complexació i anàlisi CE	7-69
- Comparació del mètode estàndard i l'anàlisi CE	7-71
<b>7.3.3. ESPECIACIÓ DE CIANO-COMPLEXOS METÀL·LICS</b>	7-71
7.3.3.1. Especiació dels banys de recobriments electrolítics	7-71
- Ciano-complexos de zinc	7-72
- Ciano-complexos de cadmi	7-72
7.3.3.2. Estudi de la complexació de $CN^-$ amb níquel-amoníac	7-72
<b>7.4. REFERÈNCIES</b>	7-78
<b>CONCLUSIONS</b>	C-1