ÍNDICE

MOTIVACIÓN……45

OBJETIVOS……49

PLAN DE TRABAJO……53

CAPÍTULO 1. EL BRONCE COMO ALEACIÓN……...56

1.1. PRIMEROS USOS DEL COBRE……...57

1.2. LAS ALEACIONES DEL COBRE……..61

1.2.1. Bronce (cobre) arsenical……61

1.2.2. Bronce estañado……..62

1.2.3. Bronce plomado……...63

1.2.4. Latón y *gunmetal* o *leaded gunmetal*……64

1.2.5. Cuproníquel……..……65

1.2.6. Aleaciones de cobre con plata y oro……..65

1.3. MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS……..70

1.3.1. El Cobre……70

1.3.1.1. Definición……..…..…70

1.3.1.2. Formación geológica……71

1.3.2. El Estaño……...72

1.3.2.1. Definición……72

1.3.2.2. Formación geológica……73

1.3.3. El Plomo……74

1.3.3.1. Definición…….....74

1.3.3.2. Formación geológica……75

1.3.4. La Plata……..76

1.3.4.1. Definición……76

1.3.4.2. Formación geológica……77

1.4. MICROESTRUCTURA DE LAS ALEACIONES……..80

1.4.1. Bronces binarios Cu-Sn……82

1.4.2. Aleación Cu-Ag……...85

1.4.2. Bronces ternarios Cu-Sn-Pb……86

1.5. BIBLIOGRAFÍA……87

CAPÍTULO 2. LA NUMISMÁTICA……...94

2.1. DEFINICIÓN……..95

2.2. TERMINOLOGÍA NUMISMÁTICA……...…..98

2.3. ORÍGENES Y EVOLUCIÓN DE LAS MONEDAS……..101

2.3.1. El trueque o sistema premonetal……101

2.3.2. Las primeras monedas……..102

2.3.3. La moneda en Grecia y de época Helenística……103

2.3.4. La moneda en Roma……105

2.3.5. La moneda en el Península Ibérica……106

2.3.5.1. Edad Antigua……109

2.3.5.2. Transición Germánica……111

2.3.5.3. Edad Media……113

2.3.5.4. Edad Moderna……..124

2.3.5.5. Edad Contemporánea…….127

2.4. LA FABRICACIÓN DE LAS MONEDAS……136

2.4.1. El metal y su aprovisionamiento……..137

2.4.2. Las cecas……137

2.4.3. Los cospeles……...138

2.4.4. Los cuños……139

2.4.5. La acuñación……..140

2.4.5.1. La acuñación a martillo. ……..140

2.4.5.2. La acuñación por fundición……141

2.4.5.3. La acuñación con prensa de rodillos……142

2.4.5.4. La acuñación con prensa de volante……143

2.4.5.5. La acuñación con prensas automáticas……144

2.5. BIBLIOGRAFÍA……..146

CAPÍTULO 3. LA CORROSIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS EN COBRE Y BRONCE……153

3.1. LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA……..156

3.1.1 Condicionantes climáticos……157

3.1.2. Partículas, gases y contaminación atmosférica……158

3.1.2.1. Hidrocarburos pesados y partículas de carbono……159

3.1.2.2. Dióxido de carbono (CO_2)……...159

3.1.2.3. Cloruro de sodio (NaCl)……...……159

3.1.2.4. Óxidos de nitrógeno (NO_x)……..…160

3.1.2.5. Compuestos de azufre……161

3.1.3. Atmósferas de interior y compuestos orgánicos……163

3.2. LA CORROSIÓN EN AMBIENTE TERRESTRE O DE ENTERRAMIENTO…….164

3.2.1. Porosidad y aireación……164

3.2.2. Conductividad eléctrica y sales disueltas……...165

3.2.3. Humedad……166

3.2.4. pH. ……...……166

3.2.5. Actividad biológica. ……...…167

3.3. LA CORROSIÓN EN AMBIENTE SUBACUÁTICO……..169

3.3.1. Condicionantes químicos……170

3.3.1.1. Iones……..170

3.3.1.2. Gases atmosféricos……171

3.3.1.3. Materia orgánica disuelta……172

3.3.2. Condicionantes físicos……..172

3.3.2.1. Movimiento de las aguas……173

3.3.2.2. Temperatura……..…173

3.3.2.3. pH……...173

3.3.2.4. Fondo marino……174

3.3.3. Condicionantes biológicos……175

3.3.3.1. Bacterias sulforreductoras……..175

3.3.3.2. Organismos marinos……175

3.4. LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN DE COBRE Y BRONCE……..177

3.4.1. Óxidos……177

3.4.1.1. Cuprita……...177

3.4.1.2. Tenorita……178

3.4.1.3. Spertiniita……..179

3.4.2. Carbonatos…….179

3.4.2.1. Malaquita……...180

3.4.2.2. Azurita……181

3.4.3. Cloruros……..181

3.4.3.1. Nantoquita……182

3.4.3.2. Atacamita……...…182

3.4.3.3. Paratacamita……182

3.4.4. Sulfatos……...183

3.4.4.1. Brochantita……183

3.4.4.2. Antlerita……184

3.4.5. Sulfuros……...184

3.4.6. Fosfatos……..185

3.4.7. Nitratos……185

3.4.8. Sales orgánicas……..186

3.5. BIBLIOGRAFÍA……..189

CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE ÁNALISIS Y CARACTERIZACIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS EN BRONCE……196

4.1. TÉCNICAS DE EXAMEN BASADAS EN IMÁGENES……..201

4.1.1. Rayos Gamma……202

4.1.2. Rayos X……...202

4.1.2.1. Radiografía……203

4.1.2.2. Tomografía axial computarizada……204

4.1.3. Radiación ultravioleta……204

4.1.4. Radiación visible……205

4.1.5. Rayos infrarrojos……205

4.1.5.1. Reflectografía infrarroja……..205

4.1.5.2. Termografía infrarroja……206

4.2. TÉCNICAS DE MICROSCOPÍA……...207

4.2.1. Microscopía óptica……207

4.2.2. Microscopía electrónica……212

4.2.2.1. Microscopía electrónica de barrido……213

4.2.2.2. Microscopía electrónica de barrido por emisión de campo-haz de iones focalizados……214

4.2.2.3. Microscopía electrónica de transmisión……217

4.2.3. Microscopía de fuerza atómica……219

4.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE SUPERFICIE……..……221

4.3.1. Espectroscopia de fotoelectrones emitidos por rayos X……...221

4.3.2. Espectrometría de retrodispersión Rutherford……..221

4.4. TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS……...223

4.4.1. Voltamperometría de micropartículas inmovilizadas……223

4.4.2. Espectroscopia de impedancia electroquímica……225

4.4.3. Microscopía electroquímica de barrido……..227

4.4.4. Microscopía de fuerza atómica-voltamperometría de micropartículas inmovilizadas……..228

4.5. TÉCNICAS BASADAS EN MÉTODOS ÓPTICOS……...230

4.5.1. Difracción de rayos X……230

4.5.2. Colorimetría……231

4.5.3. Espectrometría de rayos X……...……232

4.5.3.1. Fluorescencia de rayos X……233

4.5.3.2. Espectrometría de rayos X inducida por electrones……234

4.5.3.3. Espectrometría de rayos X inducida por partículas……236

4.5.4. Espectrometría de rayos gamma inducida por partículas……236

4.5.5. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier……237

4.5.6. Espectroscopia Raman……238

4.5.7. Espectroscopia de plasma inducido por láser……240

4.5.8. Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente……..……..241

4.6. TÉCNICAS TERMOANALÍTICAS……242

4.7. TÉCNICAS BASADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN MASA/CARGA……..243

4.7.1. Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente……...243

4.8. TÉCNICAS NEUTRÓNICAS……244

4.8.1. Activación neutrónica……244

4.8.2. Difracción neutrónica……245

4.8.3. Resonancia magnética nuclear……245

4.8.4. Radiografía neutrónica y tomografía neutrónica……...246

4.9. TÉCNICAS ISOTÓPICAS……247

4.9.1. Análisis de isótopos de plomo……..……..247

4.9.2. Análisis de isótopos de estaño y cobre……...249

4.10. BIBLIOGRAFÍA……250

CAPÍTULO 5. ESTUDIOS DE CORROSIÓN E INTERVENCIONES PREVIAS….281

5.1. INSTRUMENTACIÓN……282

5.1.1. Microscopía óptica…….283

5.1.2. Microscopía electrónica de barrido-microanálisis de rayos X……..283

5.1.3. Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo con haz de iones focalizados y microanálisis de rayos X……283

5.1.3.1. Condiciones operativas……...284

5.1.4. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier……288

5.1.5. Espectrofotometría de absorción en el ultravioleta y en el visible……...288

5.1.6. Voltamperometría de micropartículas inmovilizadas……289

5.2. AMBIENTE AÉREO: LA COLECCIÓN DOMÉNECH-FRANCÉS……..290

5.2.1. Descripción del material arqueológico estudiado……..290

5.2.2. Resultados y discusión…….299

5.2.2.1. Composición química de las aleaciones metálicas…….299

.

5.2.2.1.1. Condiciones operativas específicas……299
5.2.2.1.2. Clasificación composicional……..302
5.2.2.1.3. Tipo 1……303
5.2.2.1.4. Tipo 2……304
5.2.2.1.5. Tipo 3……305
5.2.2.1.6. Tipo 4……306

5.2.2.2. Procesos de alteración……307

5.2.2.2.1. Tipo 1……307

5.2.2.2.1.1. FIB-FESEM-EDX……..307
5.2.2.2.1.2. SEM-EDX……314
5.2.2.2.1.3. Espectroscopia FTIR……315

5.2.2.2.2. Tipo 2……319

5.2.2.2.2.1. FIB-FESEM-EDX……..319
5.2.2.2.2.2. SEM-EDX……321
5.2.2.2.2.3. Espectroscopia FTIR……322

5.2.2.2.3. Tipo 3…….....324

5.2.2.2.3.1. FIB-FESEM-EDX……..324
5.2.2.2.3.2. SEM-EDX……..334
5.2.2.2.3.3. Espectroscopia FTIR……335

5.2.2.2.3. Tipo 4……338

5.2.2.2.4.1. FIB-FESEM-EDX……..……338
5.2.2.2.4.2. SEM-EDX……..341
5.2.2.2.4.3. Espectroscopia FTIR……342

5.2.2.3. Aspecto visual y percepción psicofísica……343

5.2.2.3.1. Tipo 1……343

5.2.2.3.1.1. Microscopía óptica……343
5.2.2.3.1.2. Colorimetría……...344

5.2.2.3.2. Tipo 2……347

5.2.2.3.2.1. Microscopía óptica……347
5.2.2.3.2.2. Colorimetría……...347

5.2.2.3.3. Tipo 3……349

5.2.2.3.3.1. Microscopía óptica……...349
5.2.2.3.3.2. Colorimetría……...351

5.2.2.3.4. Tipo 4……365

5.2.2.3.4.1. Microscopía óptica……353
5.2.2.3.4.2. Colorimetría……...354

5.3. AMBIENTE TERRESTRE: LA COLECCIÓN DEL MUSEU DE PREHISTÒRIA DE VALÈNCIA……357

5.3.1. Descripción del material arqueológico estudiado……357

5.3.2. Resultados y discusión……..362

5.3.2.1. Composición química de las aleaciones metálicas……362

5.3.2.1.1. Clasificación composicional……..362

5.3.2.1.1.1. Tipo 1……..362
5.3.2.1.1.2. Tipo 2……..364
5.3.2.1.1.3. Tipo 3……..365
5.3.2.1.1.4. Tipo 4……..366

5.3.2.2. Procesos de alteración……367

5.3.2.2.1. Tipo 1……367

5.3.2.2.1.1. FIB-FESEM-EDX……..367
5.3.2.2.1.2. Espectroscopia FTIR……...373

5.3.2.2.2. Tipo 2……378

5.3.2.2.2.1. FIB-FESEM-EDX……..378
5.3.2.2.2.2. Espectroscopia FTIR……..……380

5.3.2.2.3. Tipo 3……382

5.3.2.2.3.1. FIB-FESEM-EDX……..382
5.3.2.2.3.2. Espectroscopia FTIR……388

5.3.2.2.4. Tipo 4……390

5.3.2.2.4.1. FIB-FESEM-EDX……..390
5.3.2.2.4.2. Espectroscopia FTIR……393

5.3.2.3. Aspecto visual y percepción psicofísica……394

5.3.2.3.1. Tipo 1……394

5.3.2.3.2. Tipo 2……396

5.3.2.3.3. Tipo 3……397

5.3.2.3.4. Tipo 4……398

5.4. AMBIENTE SUBACUÁTICO: LA COLECCIÓN DEL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA……399

5.4.1. Descripción del material arqueológico estudiado……..399

5.4.2. Resultados y discusión……404

5.4.2.1. Clasificación……..404

5.4.2.1.1. Tipo 1……405
5.4.2.1.2. Tipo 2……405
5.4.2.1.3. Tipo 3……405
5.4.2.1.4. Tipo 4……405

5.4.2.2. Procesos de alteración……406

5.4.2.2.1. Voltamperometría de micropartículas inmovilizadas……406

5.4.2.2.2. FIB-FESEM-EDX……415

5.4.2.2.2.1. Tipo 1.1. MNAS7……..416
5.4.2.2.2.2. Tipo 2.2. MNAS15……419

5.4.2.2.3. Espectroscopia FTIR……421

5.4.2.3. Aspecto visual y percepción psicofísica……429

5.4.2.3.1. Tipo 1……429

5.4.2.3.2. Tipo 2……431

5.4.2.3.3. Tipo 3……431

5.4.2.3.4. Tipo 4……432

5.5. BIBLIOGRAFÍA……434

CAPÍTULO 6. ESTUDIOS DE DISCRIMINACIÓN DE CECAS Y TÉCNICAS DE ACUÑACIÓN……..……..441

6.1. INSTRUMENTACIÓN……442

6.1.1. Espectroscopia Raman……443

6.2. LOS MARAVEDÍS DE FELIPE IV (1660-1664)……..444

6.2.1. Descripción del material arqueológico estudiado……..444

6.2.1.1. Contexto histórico……444

6.2.1.2. Clasificación del material numismático……445

6.2.2. Resultados y discusión……449

6.2.2.1. Espectroscopia FTIR……...449

6.2.2.2. Espectroscopia Raman……...450

6.2.2.3. VIMP……..451

6.2.2.3.1. Modelo teórico……451

6.2.2.3.2. Caracterización de las emisiones monetarias……458

6.2.2.4. FIB-FESEM-EDX……462

6.3. LAS MONEDAS ÍBERAS……..466

6.3.1. Descripción del material arqueológico estudiado……..466

6.3.1.1. Cástulo……..468

6.3.1.2. Obulco……473

6.2.1.3. Iltirta……476

6.3.2. Resultados y discusión……478

6.2.2.1. Voltamperometría de micropartículas inmovilizadas……..478

6.2.2.2. FIB-FESEM-EDX……489

6.2.2.3. Agrupamiento de las monedas……..490

6.4. BIBLIOGRAFÍA……497

CONCLUSIONS……...……507

ANEXOS……514

PUBLICACIONES INDEXADAS……...515

PUBLICACIONES NO INDEXADAS……561

PUBLICACIONES EN CONGRESOS……..583

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. EL BRONCE COMO ALEACIÓN

Figura 1.1. Secuencia de las innovaciones tecnológicas metalúrgicas (Montero Ruiz, 2014)…….58

Figura 1.2. Pendiente oval de la Cueva de Shanidar, primer objeto de cobre conocido (Smith, 1975: 608)……59

Figura 1.3. Maza de Can Hassan, pieza metalúrgica de Cu considerada más antigua hasta la actualidad (Yalçin, 1996)……60

Figura 1.4. Sestercio de Trajano fechado en el año 114-116 (Acsearch, 2010)……65

Figura 1.5. Tsuba o guardamanos de *katana* fabricado en cobre y oro (*shakudo*) (Victoria & Albert Museum, 2015)……....67

Figura 1.6. Fotografía de un fragmento de cobre con forma arborescente (Lafuente *et al.*, 2015)..71

Figura 1.7. Fotografía de un fragmento de casiterita *(*Lafuente *et al.,* 2015)……...73

Figura 1.8. Fotografía de fragmentos de galena *(*Lafuente *et al.,* 2015)……..75

Figura 1.9. Fotografía de un fragmento de plata *(*Lafuente *et al.,* 2015)……..77

Figura 1.10. Microestructuctura dendrítica de un pasador de bronce arqueológico hallado en Irán y obtenido a partir de molde con un contenido de un 37% de estaño y 1,3% de arsénico (Scott, 1991: 27)……...82

Figura 1.11. Microestructura de bronce en fase eutectoide y dendrita (Scott, 1991:13)……83

Figura 1.12. Diagrama de fases del sistema Cu-Sn (Shim *et al*., 1996)……...83

Figura 1.13. Imagen de microestructura de una moneda de cobre y plata emitida por Felipe IV en 1663 obtenida mediante FESEM-FIB-EDX en la que se pueden apreciar granos aplanados al haber sido acuñada……84

Figura 1.14. Diagrama de fases del sistema Cu-Ag (Hayes *et al.,* 1986)……85

Figura 1.15. Diagrama de fases del sistema Cu-Sn-Pb (Medieval Foundry, 2016)……86

CAPÍTULO 2. LA NUMISMÁTICA

Figura 2.1. Tesoros valencianos. Sala Història dels diners del Museu de Prehistòria de València (Museu de Prehistòria de València)……..95

Figura 2.2. Maravedí emitido por Felipe IV estudiado en la tesis, con las partes que componen la moneda……...……100

Figura 2.3. Dinero piedra de Togo. Cuarcita blanca frotada con tierra roja. (Museu de Prehistòria de València)……101

Figura 2.4. Monedas en forma de azada acuñadas en bronce de China por el emperador Wang Mang (Museu de Prehistòria de València)……102

Figura 2.5. Vasija con monedas de electro encontradas en las excavaciones del Artemision de Éfeso (Veltri, 2015)……103

Figura 2.6. Dracma de plata acuñada en la isla de Egina en cuyo anverso se representa una tortuga y en el reverso la marca del punzón (Museu de Prehistòria de València)……..104

Figura 2.7. Dracma de plata acuñado por Alejandro Magno. En el anverso se representa la cara del monarca con los atributos de Hércules y en el anverso a Zeus (Museu de Prehistòria de València)……...……..104

Figura 2.8. As de bronce acuñado durante el periodo Republicano en cuyo anverso se representa la cabeza del dios Jano y en el reverso la proa de un barco (Museu de Prehistòria de València).....105

Figura 2.9. Moneda acuñada en *Emporion* en cuyo anverso se representa una cabeza femenina y en el anverso un jinete con pegaso. (Museu de Prehistòria de València)……..110

Figura 2.10. Moneda hispano-cartaginesa. Anverso con retrato masculino a izquierdas y reverso con caballo (Museu de Prehistòria de València)……...……110

Figura 2.11. Moneda con retrato de Augusto en Carthago Nova (Museu de Prehistòria de València)……111

Figura 2.12. Moneda vándala acuñada por el rey vándalo Trasamundo (Museu de Prehistòria de València)……112

Figura 2.13. Moneda acuñada por el rey visigodo Sisebuto. (Museu de Prehistòria de València)……112

Figura 2.14. Moneda de plata acuñada por Abd Al Rahman II (Museu de Prehistòria de València)……115

Figura 2.15. Moneda de plata acuñada por Al Hakam II (Museu de Prehistòria de València)……115

Figura 2.16. Moneda de plata acuñada por Abd Al Mumin (Museu de Prehistòria de València)…116

Figura 2.17. Dirham almohade (Museu de Prehistòria de València)……..117

Figura 2.18. Moneda de plata acuñada por Al Hakim I (Museu de Prehistòria de València)……...118

Figura 2.19. Moneda acuñada por Enrique II (Museu de Prehistòria de València)……..121

Figura 2.20. Moneda de Alfonso V el Magnánimo acuñada en la ciudad de Valencia. (Museu de Prehistòria de València)……123

Figura 2.21. Moneda de oro acuñada por los reyes Católicos. En el anverso el retrato de Isabel y Fernando y el reverso la heráldica de los reyes (Museu de Prehistòria de València)……..125

Figura 2.22. Moneda de bronce acuñada por Carlos I en la ceca de Valencia (Museu de Prehistòria de València)……125

Figura 2.23. Moneda de plata acuñada por Carlos III en la ceca de México. En el anverso el retrato del monarca a derechas y en el reverso el escudo de armas (Museu de Prehistòria de València)……127

Figura 2.24. Moneda acuñada por Fernando VII (Museu de Prehistòria de València)……128

Figura 2.25. Moneda acuñada por Isabel II en 1858 en la ceca de Sevilla. (Museu de Prehistòria de València)……128

Figura 2.26. Moneda acuñada por el Gobierno Provisional con fecha 1870. En el anverso la matrona y en el reverso el escudo de armas. (Museu de Prehistòria de València)……..129

Figura 2.27. Moneda acuñada por Amadeo de Saboya en 1871 (Museu de Prehistòria de València)…….130

Figura 2.28. Moneda acuñada por el bando republicano durante la Guerra Civil. (Museu de Prehistòria de València)……132

Figura 2.29. Moneda de plata acuñada por Francisco Franco en 1966 (Museu de Prehistòria de València)……..……..133

Figura 2.30. Fresco de la casa de los Vetti, Pompeya, donde se representan los diferentes procesos del trabajo de metales nobles. No se sabe con seguridad si se trata de un taller de acuñación de moneda o un taller de orfebrería (Gozalbes, 2017: 20)……..……136

Figura 2.31. Reproducción de una ceca de acuñación a martillo. Sala Història dels diners del Museu de Prehistòria de València (Museu de Prehistòria de València)……138

Figura 2.32. Tira de dos cospeles unidos (Museu de Prehistòria de València)……..139

Figura 2.33. Cuño del denario RRC 386/1 encontrado en la provincia de Zaragoza……139

Figura 2.34. Esquema de acuñación de moneda a martillo (Gozalbes y Ripollés, 2003)……141

Figura 2.35. Molde para acuñar feluses (Museu de Prehistòria de València)……...142

Figura 2.36. Juego de rodillos usados para acuñar moneda en el Real Ingenio de Segovia (Asociación amigos de la Casa de la moneda, 2018)……...143

Figura 2.37. Operarios accionando una prensa de volante para acuñar moneda (Real Casa de la moneda de Segovia, 2017)……..144

Figura 2.38. Prensa automática fabricada en 1856 por la Compañía Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona (Estrada-Rius, 2015)……145

CAPÍTULO 3. LA CORROSIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS EN COBRE Y BRONCE

Figura 3.1. Ciclo de vida de un objeto metálico (Álvarez Romero, 2013, 2014 y 2015: 219)……..154

Figura 3.2. Tabla de corrosión galvánica en medio marino (Universitat Politècnica de València, 2008)……155

Figura 3.3. Escultura de bronce ubicada en el Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València con productos de corrosión. "Homenaje al vicerrector J. Manuel Benet", Nassio Bayarri, 1989……156

Figura 3.4. Vitrina con objetos de bronce. Sala III del Museu de Prehistòria de València. Cultura ibérica (Museu de Prehistòria de València)……163

Figura 3.5. Crótalos de bronce aparecidos dentro del desagüe de una fuente romana. Excavación de la plaza de la Morería de Sagunto, 2002 (José Manuel Melchor)……164

Figura 3.6. Madrigueras de conejos en las inmediaciones del yacimiento romano de Almenara Puras, Valladolid. (Trinidad Pasíes)……168

Figura 3.7. Cañón del pecio de La Juliana, Armada Invencible española. (Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht/PA)……169

Figura 3.8. Excavación subacuática del Bajo de la Campana, Murcia sobre fondo sedimentario. Fotografía de Patrick E. Baker (Polzer, 2010: 23-24)……174

Figura 3.9. Capas de cuprita con algunos focos de cloruros. (Trinidad Pasíes)……178

Figura 3.10. Imagen de un jarrón de bronce del Museo Arqueológico de Nápoles procedente de las excavaciones de Pompeya con una pátina formada por carbonatos básicos de cobre (azurita y malaquita)……180

Figura 3.11. Ataque de cloruros en un hacha de cobre de la Edad del Bronce hallada en la Lloma de Betxí, Paterna. (Museu de Prehistòria de València)……181

Figura 3.12. Sulfuros en una escultura contemporánea, en el Grao de Castellón (Trinidad Pasíes).....185

CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE ÁNALISIS Y CARACTERIZACIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS EN BRONCE

Figura 4.1. Esquema de las técnicas análisis y caracterización de objetos de cobre y bronce más frecuentemente aplicadas en los estudios arqueométricos y de conservación y restauración…..199

Figura 4.2. Espectro electromagnético (Creative Commons, 2006)……..……201

Figura 4.3. Imagen de una moneda procedente de Museo Nacional de Arqueología Subacuática (MNAS) obtenida empleando un microscopio estereoscópico de baja magnificación (X10) con iluminación episcópica oblicua, en la que se pueden identificar diferentes productos de corrosión del bronce……...207

Figura 4.4. Esquema de un microscopio electrónico de barrido (Álvarez Romero y Doménech Carbó, 2016 y 2017:67)……213

Figura 4.5. Imagen obtenida con FESEM de una moneda perteneciente a la colección Doménech-Francés……..……215

Figura 4.6. Esquema de microscopio electrónico de emisión de campo con haz de iones focalizados-microanálisis de rayos X por dispersión de energías (FIB- FESEM-EDX) (Álvarez Romero y Doménech Carbó, 2016 y 2017)……216

Figura 4.7.a.- Esquema de microscopio electrónico de transmisión (TEM). *b.*- Imagen obtenida con TEM de una micropartícula de un candelero procedente de Museo Nacional de Arqueología Subacuática (MNAS)……218

Figura 4.8. Esquema de microscopio de fuerza atómica (AFM)……219

Figura 4.9. Esquema de un analizador voltamperométrico con los tres electrodos……224

Figura 4.10. Esquema de un espectroscopio de impedancia electroquímica (EIS)……226

Figura 4.11. Esquema de microscopio electroquímico de barrido (SECM)……..228

Figura 4.12. Esquema de un dispositivo AFM-VIMP……229

Figura 4.13. Patrón de difracción de rayos X de la azurita (Lafuente *et al.,* 2015)……231

Figura 4.14. Diagrama CIE L*a*b* en el que se representan numéricamente los datos colorimétricos obtenidos para la moneda DF12……232

Figura 4.15. Espectro de rayos X de una moneda de plata perteneciente al Museo Nacional de Cracovia, analizada durante la estancia doctoral en dicho centro……..233

Figura 4.16. Espectro de rayos X de una moneda de cobre y tabla con el porcentaje en peso de cada uno de los elementos identificados obtenidos mediante microanálisis de rayos X (EDX)….235

Figura 4.17. Espectro de absorción infrarroja de la atacamita……237

Figura 4.18. Espectro Raman de dos de los maravedís estudiados en la presente tesis doctoral……...239

CAPÍTULO 5. ESTUDIOS DE CORROSIÓN E INTERVENCIONES PREVIAS

Figura 5.1. Algunas técnicas instrumentales empleadas en la determinación de la composición de aleaciones metálicas en numismática: a) XRF, b) SEM-EDX, c) XPS, d) FIB-SEM…….286

Figura 5.2. Trinchera practicada en la moneda DF7. Imagen antes del análisis (izquierda), vista de la trinchera a bajos aumentos (centro), detalle de la trinchera observada a grandes aumentos (derecha)……287

Figura 5.3. Fotografías de anverso y reverso de las monedas pertenecientes a la colección Doménech-Francés……..298

Figura 5.4. Áreas de medida utilizadas con la técnica SEM-EDX en la moneda DF3……..300

Figura 5.5. Medidas practicadas en la trinchera DF4 con la técnica FIB-FESEM-EDX: Medidas en áreas (izquierda), perfil de profundidad (derecha)……300

Figura 5.6. Medidas en la moneda DF5: área (5,4x5,4) mm mediante SEM-EDX (izquierda), área (300x300)μm mediante SEM-EDX (centro), análisis en el núcleo y la capa de corrosión en trinchera mediante FIB-FESEM-EDX (derecha)……...…301

Figura 5.7. Imágenes en electrones secundarios de las trincheras practicadas en las monedas y mapas de daños en los que se muestra la capa de alteración, microfisuras y poros identificados: A) DF1, B) DF2, C) DF4, D) DF5 y E) DF7…….309

Figura 5.8. Perfiles de profundidad realizados en las trincheras. A) DF1; B) DF2, C) DF4, D) DF5 y E) DF7……..312

Figura 5.9. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda DF1…...317

Figura 5.10. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda DF4….317

Figura 5.11. Imagen en electrones secundarios de la trinchera practicada en la moneda DF3 y mapa de daños en el que se muestran las microfisuras y los poros identificados……319

Figura 5.12. Perfil de profundidad realizado en la trinchera de la moneda DF3……321

Figura 5.13. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda DF3….323

Figura 5.14. Imágenes en electrones secundarios de las trincheras practicadas en las monedas y mapas de daños en los que se muestra la capa de alteración, microfisuras y poros identificados: A) DF6, B) DF8, C) DF9, D) DF11, E) DF12, F) DF13, G) DF14, H) DF15, I) DF16 y J) DF17……325

Figura 5.15. Perfiles de profundidad realizados en las trincheras. A) DF6; B) DF8; C) DF9; D) DF11; E) DF12; F) DF13; G) DF14; H) DF15; I) DF16 y J) DF17……330

Figura 5.16. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda DF12……337

Figura 5.17. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda DF16……337

Figura 5.18. Imagen en electrones secundarios de la trinchera practicada en la moneda DF10 y mapa de daños en el que se muestra la capa de alteración, las microfisuras y los poros identificados en la trinchera……..……339

Figura 5.19. Perfil de profundidad realizado en la trinchera DF10……..340

Figura 5.20. Microfotografías de las monedas del Tipo 1. A) DF1 (Anverso x10), B) DF2 (Anverso x10), C) DF4 (Anverso x10), D) DF5 (Anverso x10) y E) DF7 (Anverso x10)……344

Figura 5.21. Diagrama b* vs a* correspondiente a las monedas del Tipo 1……..345

Figura 5.22. Microfotografías de la moneda DF3. A) Reverso, x10, B) Reverso, x10……..……347

Figura 5.23. Diagrama b* vs a* correspondiente a la moneda del Tipo 2……..348

Figura 5.24. Microfotografías de las monedas del Tipo 3. A) DF6 (Reverso, x40), B) DF8 (Anverso, x10), C) DF9 (Anverso, x10), D) DF11 (Anverso, x32), E) DF12 (Reverso, x10), F) DF13 (Anverso, x10), G) DF14 (Reverso, x10), H) DF15 (Anverso, x25), I) DF16 (Reverso, x10), J) DF17 (Reverso, x10)……..350

Figura 5.25. Diagrama b* vs a* correspondiente a las monedas del Tipo 3……..352

Figura 5.26. Microfotografías de la moneda DF10. A) Anverso, x10, B) Reverso, x10……353

Figura 5.27. Diagrama b* vs a* correspondiente a la moneda del Tipo 4……..354

Figura 5.28. Diagrama b* vs a* de todas las monedas que componen la colección Doménech-Francés……...……355

Figura 5.29. Fotografías de anverso y reverso de las monedas pertenecientes a la colección de Museu de Prehistòria de València……..……361

Figura 5.30. Imágenes en electrones secundarios de las trincheras practicadas en las monedas y mapas de daños en los que se muestra la capa de alteración, las microfisuras y los poros identificados: A) MP1, B) MP2, C) MP4, D) MP5 y E) MP6……368

Figura 5.31. Perfiles de profundidad realizados en las trincheras. A) MP1, B) MP2, C) MP4, D) MP5 y E) MP6……371

Figura 5.32. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP1…375

Figura 5.33. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP2…375

Figura 5.34. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP4…376

Figura 5.35. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP5…376

Figura 5.36. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP6…377

Figura 5.37. Imagen en electrones secundarios de la trinchera practicada en la moneda MP3 y mapa de daños en el que se muestra la microfisura identificada en la trinchera……..378

Figura 5.38. Perfil de profundidad realizado en la trinchera de la moneda MP3……...…380

Figura 5.39. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP2…381

Figura 5.40. Imágenes en electrones secundarios de las trincheras practicadas en las monedas y mapas de daños en los que se muestran las microfisuras y los poros identificados en las trincheras: A) MP7, B) MP8, C) MP10……383

Figura 5.41. Perfiles de profundidad realizados en las trincheras. A) MP7, B) MP8 y C) MP10….386

Figura 5.42. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP7…389

Figura 5.43. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP8…389

Figura 5.44. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP10..390

Figura 5.45. Imagen en electrones secundarios de la trinchera practicada en la moneda MP9 y mapa de daños en el que se muestran las microfisuras identificadas en la trinchera……..391

Figura 5.46. Perfil de profundidad realizado en la trinchera de la moneda MP9……...392

Figura 5.47. Espectro IR de los materiales extraídos de la capa superficial de la moneda MP9…393

Figura 5.48. Microfotografías de las monedas del Tipo 1. A) MP1 (Anverso x20), B) MP2 (Anverso x10), C) MP4 (Reverso x8), D) MP5 (Reverso x16), E) MP6 (Reverso x16)…….395

Figura 5.49. Microfotografías de la moneda MP3. A) Anverso x10, B) Reverso x10……396

Figura 5.50. Microfotografías de las monedas del Tipo 3. A) MP7 (Anverso x10), B) MP8 (Anverso x8), C) MP10 (Anverso x10)…….397

Figura 5.51. Microfotografías de la moneda MP9. A) Anverso x8, B) Reverso x10……..398

Figura 5.52. Fotografías de anverso y reverso de las monedas pertenecientes a la colección del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.……..……403

Figura 5.53. Voltamperogramas de onda cuadrada de las muestras tomadas de las regiones de color verde de las monedas a y b) MNAS1 y c y d) MNAS2 ……...……406

Figura 5.54. Voltamperogramas de onda cuadrada para muestras tomadas de las regiones de color negro de las monedas a y b) MNAS2 y c y d) MNAS4…….……...408

Figura 5.55. Voltamperogramas de onda cuadrada para muestras tomadas de las regiones de color pardo uniforme de las monedas a y b) MNAS2 y c y d) MNAS3……...……409

Figura 5.56. Voltamperogramas de onda cuadrada para muestras tomadas de las regiones de a y b) verde, d y e) pardo, e y f) negro de la moneda MNAS4…….……...410

Figura 5.57. Voltamperogramas de onda cuadrada para muestras tomadas de: a y b) fragmento de la moneda MNAS5, procedente del puerto de Mazarrón; c y d) región blanca y negra de la moneda MNAS8, moneda íbera (150-101 a.C.) recuperada del yacimiento de Escombreras, Cartagena……...……411

Figura 5.58. Voltamperogramas de onda cuadrada para muestras tomadas de: a y b) región de color amarillo de la moneda MNAS11, romana, procedente de la Isla del Fraile, c y d) región de color rojo de la moneda MNAS7, fenicia, recuperada del puerto de Mazarrón.……..……..412

Figura 5.59. Variación de i(450) frente a i(200) para las monedas del Puerto de Mazarrón MNAS2, MNAS4 y MNAS5 y de Escombreras de Cartagena (monedas MNAS6 y MNAS8) que muestran depósitos negros de tenorita……..……..413

Figura 5.60. Variación de i(HER) frente a i(–250) para las monedas del Museo Nacional de Arqueología Subacuática…….415

Figura 5.61. Imagen en electrones secundarios de la trinchera practica en la moneda MNAS7 y mapa de daños en el que se muestra la capa de protección y alteración, las microfisuras y los poros identificados en la trinchera……...416

Figura 5.62. Perfil de profundidad realizado en la trinchera de la moneda MNAS7…….418

Figura 5.63. Imagen en electrones secundarios de la trinchera practica en la moneda MNAS15 y mapa de daños en el que se muestra la capa de protección y alteración y las microfisuras identificadas en la trinchera…….419

Figura 5.64. Perfil de profundidad realizado en la trinchera de la moneda MNAS15……..421

Figura 5.65. Microfotografías de las monedas del Tipo 1.1. A) MNAS1 (Anverso X10), B) MNAS2 (Reverso X10), C) MNAS3 (Anverso X10), D) MNAS4 (Reverso X20), E) MNAS5 (Reverso X10), F) MNAS7 (Anverso X10)…….430

Figura 5.66. Microfotografías de las monedas del Tipo 2.1. A) MNAS6 (Anverso X10), B) MNAS8 (Anverso X10)……...……..431

Figura 5.67. Microfotografías de las monedas del Tipo 3. A) MNAS13 (Anverso X16), B) MNAS14 (Anverso X32), C) MNAS16 (Anverso X25)……...432

Figura 5.68. Microfotografías de las monedas del Tipo 4. A) MNAS9 (Anverso X16), B) MNAS10 (Anverso X10), C) MNAS11 (Anverso X25), D) MNAS12 (Anverso X50), E) MNAS15 (Reverso X10)…….433

CAPÍTULO 6. ESTUDIOS DE DISCRIMINACIÓN DE CECAS Y TÉCNICAS DE ACUÑACIÓN

Figura 6.1. Fotografías de anverso y reverso de los maravedís estudiados…..……447

Figura 6.2. Espectro de absorción IR adquirido en la capa de depósitos superficiales de la moneda M39……..……450

Figura 6.3. Espectro Raman obtenido en varios puntos de la moneda M32. Las bandas marcadas con • corresponden a cuprita (Cu_2O) y las marcadas con ♦ corresponden a tenorita (CuO)…..…450

Figura 6.4. Voltamperograma de onda cuadrada de tres de los maravedís estudiados. A y B) M35; C y D) M31; E y F) M26. (Doménech-Carbó *et al.,* 2017c: 2011)……452

Figura 6.5. Variación de $i(C_2)/i(C_1)$ en $i(C_1)$ de los maravedís acuñados entre 1661 y 1664. (Doménech-Carbó *et al*., 2017c: 2012)……..453

Figura 6.6. Variación de $i(A_1)$ en $i(C_1)$ de los maravedís acuñados en Segovia (cuadrados), Burgos (círculos), Granada (triángulos) y Sevilla (rombos). (Doménech-Carbó *et al.,* 2017c: 2015)…….459

Figura 6.7. Variación de i(HER) con $i(C_1)$ de los maravedís acuñados en Burgos en 1661 (cuadrados blancos), y sin año (cuadrados grises), Segovia en 1661 y 1663 (círculos blancos), Sevilla 1661 (triángulos blancos) y Madrid 1661 (triángulos grises) (Doménech-Carbó *et al.,* 2017c: 2015)……...……460

Figura 6.8. Variación de $i(C_2)/i(C_1)$ en $i(C_1)$ de los maravedís acuñados en Segovia (cuadrados), Granada (triángulos) y falsificaciones (rombos) (Doménech-Carbó *et al*., 2017c: 2016)……461

Figura 6.9. Imagen en electrones secundarios y perfil de profundidad realizado en la trinchera practicada en la moneda M30……..463

Figura 6.10. Imagen en electrones secundarios y perfil de profundidad realizado en la trinchera practicada en la moneda M9……464

Figura 6.11. Imagen en electrones secundarios y perfiles de profundidad realizados en la trinchera practicada en la moneda M26……..464

Figura 6.12. Mapa con la posición de Cástulo, Obulco e Iltirta dentro de la península Ibérica y la posición relativa de los pueblos prerromanos existentes (Salinas de Frías, 2006: 4-5)……..467

Figura 6.13. Fotografías de anverso y reverso de las monedas de Cástulo estudiadas.……470

Figura 6.14. Fotografías de anverso y reverso de las monedas de Obulco estudiadas.……475

Figura 6.15. Fotografías de anverso y reverso de las monedas de Iltirta estudiadas.……..……477

Figura 6.16. Voltamperogramas de onda cuadrada de las monedas a y b) 41593 (Obulco); c y d) 41540 (Cástulo) (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……..478

Figura 6.17. Detalle de la región comprendida entre 0,0 y –1,20 V de un voltamperograma de onda cuadra con depósitos de micropartículas de a) cuprita y tenorita (50% wt); b) cuprita y litargirio (25% wt); c) cuprita (40% wt), tenorita (40% wt) y litargirio (20% wt) (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……..……..479

Figura 6.18. Esquema de la estructura y la composición de las pátinas de a) una aleación binaria Cu-Sn; b) una aleación ternaria Cu-Sn-Pb……481

Figura 6.19. Diagrama bidimensional en el que se representa el porcentaje en masa de Cu vs. Pb según los datos de la tabla 6.3. Rombos: Iltirta e Ilerda; cuadrados: Cástulo; triángulos: Obulco (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……...484

Figura 6.20. Diagrama bidimensional en el que se representa el porcentaje en masa de Sn vs. Pb en una doble escala logarítmica según los datos de la tabla 6.3. (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……...485

Figura 6.21. Representación por cecas de la relación entre los picos de corriente $i_p(C_2)/i_p(C_1)$ vs $i_p(C_2)$ (Doménech-Carbó *et al*., 2019)……486

Figura 6.22. Imágenes en electrones secundarios de las trincheras practicadas en las monedas: A) 42127 Iltirta; B) 41868 Iltirta; C) 25671 Obulco; D) 25654 Cástulo (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……...……490

Figura 6.23. Distribución de frecuencias de $i_p(A_2)/i_p(A_1)$ de las monedas de a) Iltirta y b) Cástulo y Obulco. (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……..……491

Figura 6.24. Variación de la relación del pico de corriente $i_p(C_2)/i_p(C_1)$ vs. $i_p(C_1)$ en de las monedas de Iltirta agrupadas en tres líneas de tendencia.……...493

Figura 6.25. Variación de la relación del pico de corriente $i_p(C_2)/i_p(C_1)$ vs. $i_p(C_1)$ en de las monedas de Cástulo y Obulco agrupadas en tres líneas de tendencia. (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……...……494

Figura 6.26. Posible esquema evolutivo de la acuñación de las cecas iberas de Iltirta, Cástulo y Obulco según los datos electroquímicos obtenidos (Doménech-Carbó *et al.,* 2019)……..496

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1. EL BRONCE COMO ALEACIÓN

Tabla 1.1. Nombres de las diferentes aleaciones de cobre según el elemento con el que se alee……....61

Tabla 1.2. Color según la composición de los diferentes bronces binarios Cu-Sn…….62

Tabla 1.3. Principales aleaciones de cobre, porcentaje en peso de los elementos y usos (Álvarez Romero, 2013, 2014 y 2015)……..67

Tabla 1.4. Principales características de las materias primas usadas para realizar las monedas objeto de estudio de la presente tesis doctoral……78

CAPÍTULO 2. LA NUMISMÁTICA

Tabla 2.1. Aspectos de estudio susceptibles de ser investigados a través de las monedas y la información que proporcionan……...96

Tabla 2.2. Diversidad de monedas de la Península Ibérica y sus dominios territoriales fuera de ésta según Vico Belmonte y de Francisco Olmos, 2016: 73-75……..107

CAPÍTULO 3. LA CORROSIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS EN COBRE Y BRONCE

Tabla 3.1. Composición de la normalidad atmosférica (Lalli y Lalli, 1999: 19)……..158

Tabla 3.2. Sales presentes en la composición de los suelos. (Feliu y Andrade, 1991: 15)…….165

Tabla 3.3. Cantidad relativa de los seis iones dominantes disueltos en el agua del mar según Pearson, 1987: 3……170

Tabla 3.4. Principales minerales y productos de corrosión del cobre……187

CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS EN BRONCE

Tabla 4.1. Productos de corrosión más comunes presentes en los objetos de cobre y sus aleaciones y color que presentan……208

Tabla 4.2. Examen microscópico de muestras metálicas (Adaptada de Doménech-Carbó y Osete-Cortina, 2016: 29)……..210

CAPÍTULO 5. ESTUDIOS DE CORROSIÓN E INTERVENCIONES PREVIAS

Tabla 5.1. Principales características de las monedas de la colección Doménech-Francés.....292

Tabla 5.2. Composición química obtenida en áreas de la superficie de la moneda mediante SEM-EDX y en las dos zonas discernibles en la trinchera mediante FIB-FESEM-EDX……301

Tabla 5.3. Clasificación composicional de la colección de monedas Doménech-Francés……...302

Tabla 5.4. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje de masa, de las monedas del tipo 1……303

Tabla 5.5. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje de masa, de las monedas del tipo 2……305

Tabla 5.6. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje de masa, de las monedas del tipo 3……306

Tabla 5.7. Proporción elemental relativa, expresada en porcentaje de masa, de las monedas del tipo 4……307

Tabla 5.8. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en las trincheras del tipo 1……...311

Tabla 5.9. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en la superficie de las monedas integrantes del tipo 1……..315

Tabla 5.10. Bandas IR identificadas en las monedas del tipo 1 y la correspondiente asignación a compuestos químicos……...316

Tabla 5.11. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en la trinchera de la moneda del tipo 2……320

Tabla 5.12. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en la superficie de la moneda del tipo 2……...322

Tabla 5.13. Bandas IR identificadas en la moneda del tipo 2 y la correspondiente asignación a compuestos químicos……...323

Tabla 5.14. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en las trincheras de las monedas del tipo 3……...329

Tabla 5.15. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en la superficie de las monedas del tipo 3……...335

Tabla 5.16. Bandas IR identificadas en las monedas del tipo 3 y la correspondiente asignación a compuestos químicos……...336

Tabla 5.17. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en la trinchera de la moneda del tipo 4…….339

Tabla 5.18. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en la superficie de la moneda del tipo 4…….…..341

Tabla 5.19. Coordenadas L*, a*, b* en el espacio CIE1976 de las monedas del tipo 1……345

Tabla 5.20. Coordenadas L*, a*, b* en el espacio CIE1976 de la moneda del tipo 2……348

Tabla 5.21. Coordenadas L*, a*, b* en el espacio CIE1976 de las monedas del tipo 3……351

Tabla 5.22. Coordenadas L*, a*, b* en el espacio CIE1976 de la moneda tipo 4……..354

Tabla 5.23. Principales características de las monedas de la colección del Museu de Prehistòria de València……..……..358

Tabla 5.24. Clasificación composicional de la colección de las monedas del Museu de Prehistòria de València…….…….362

Tabla 5.25. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje en masa, de las monedas del Tipo 1……..363

Tabla 5.26. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje en masa, de las monedas del Tipo 2……..365

Tabla 5.27. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje en masa, de las monedas del Tipo 3……..365

Tabla 5.28. Proporción relativa elemental, expresada en porcentaje en masa, de las monedas del Tipo 4……..366

Tabla 5.29. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en las trincheras de las monedas del Tipo 1…….370

Tabla 5.30. Bandas IR identificadas en las monedas del Tipo 1 y la correspondiente asignación a compuestos químicos……...374

Tabla 5.31. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en la trinchera de la moneda del Tipo 2…….379

Tabla 5.32. Bandas IR identificadas en la moneda del Tipo 2 y la correspondiente asignación a compuestos químicos……...381

Tabla 5.33. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en las trincheras de las monedas del Tipo 3…….385

Tabla 5.34. Bandas IR identificadas en las monedas del Tipo 3 y la correspondiente asignación a compuestos químicos…….....388

Tabla 5.35. Composiciones elementales expresadas como porcentaje en masa obtenidas en las trincheras de las monedas del Tipo 4…….391

Tabla 5.36. Bandas IR identificadas en las monedas del Tipo 3 y la correspondiente asignación a compuestos químicos…….....393

Tabla 5.37. Principales características de las monedas de la colección del Museo Nacional de Arqueología Subacuática…….400

Tabla 5.38. Clasificación de las monedas del Museo Nacional de Arqueología Subacuática en función de los resultados obtenidos mediante voltamperometría de micropartículas inmovilizadas…….404

Tabla 5.39. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en la moneda MNAS7……417

Tabla 5.40. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en la moneda MNAS15……..420

Tabla 5.41. Compuestos y bandas IR identificados en las monedas de la colección del Museo Nacional de Arqueología Subacuática……...422

Tabla 5.42. Compuestos identificados en las muestras analizadas y clasificación cuantitativa de cada uno de los compuestos ……...……426

CAPÍTULO 6. ESTUDIOS DE DISCRIMINACIÓN DE CECAS Y TÉCNICAS DE ACUÑACIÓN

Tabla 6.1. Datos de los maravedís estudiados y su clasificación por tipo electroquímico……...446

Tabla 6.2. Parámetros estadísticos empleados para el ajuste a la ley de potencia de $i(C_2)/i(C_1)$ vs. $i(C_1)$ para las series de maravedís estudiadas. N corresponde al número de toma de muestras realizadas en una, dos o tres zonas diferentes dependiendo del estado de conservación de cada moneda. (Doménech-Carbó *et al*., 2017c: 2015)……..458

Tabla 6.3. Composiciones elementales, expresadas como porcentaje en masa, obtenidas en las monedas de Iltirta, Ilerda, Cástulo y Obulco (Ripollés y Abascal, 1995; Abascal, Ripollés y Gozalbes, 1996; Ripollés y Abascal, 1998)……482

Tabla 6.4. Agrupamiento de las monedas de Iltirta……...492

Tabla 6.5. Agrupamiento de las monedas de Cástulo y Obulco…….……492