

## Índice General

Agradecimientos

Resumen

Resum

Abstract

Símbolos

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Desarrollo de la investigación.....	3
1.4. Metodología.....	5
Capítulo 2. Estado del Conocimiento .....	7
2.1. Introducción.....	7
2.2. Antecedentes.....	8
2.3. Diseño de mantos de diques en talud.....	13
2.3.1. Introducción.....	13
2.3.2. Parámetros relativos al diseño de mantos principales.....	14
2.3.2.1. La porosidad del manto principal .....	15
2.3.2.2. El <i>placing density</i> y el <i>packing density</i> .....	16
2.3.2.3. El espesor del manto principal.....	18
2.3.2.4. La trabazón entre las piezas del manto principal .....	19
2.3.2.5. La aleatoriedad en la colocación de las piezas del manto principal .....	21
2.3.3. Mallas de colocación de piezas de protección en el manto principal..	23
2.4. Experiencias en la colocación de elementos de protección .....	25
2.4.1. Introducción.....	25
2.4.2. Escollera .....	25

2.4.3. El cubo.....	27
2.4.4. El Tetrápodo.....	30
2.4.5. El Dolo.....	33
2.4.6. El Bloque Antifer.....	35
2.4.7. El Accropode™.....	42
2.4.8. El Core-Loc™.....	43
2.4.9. El Xbloc®.....	45
2.5. Construcción de mantos principales.....	49
2.5.1. Introducción.....	49
2.5.2. Colocación de elementos de protección en el manto principal.....	52
2.5.3. Manipulación de elementos de protección.....	56
2.6. Repercusión económica del manto principal.....	60
Capítulo 3. Análisis de la Colocación del Cubípodo.....	63
3.1. Introducción.....	63
3.2. Características del elemento Cubípodo.....	64
3.3. Diseño de las mallas de colocación del Cubípodo.....	66
3.3.1. Introducción.....	66
3.3.2. Colocación en tronco recto.....	68
3.3.3. Colocación en tronco curvo de baja curvatura.....	71
3.3.4. Colocación en morros y tronco curvo de alta curvatura.....	73
3.3.5. Colocación en arranques.....	77
3.3.6. Colocación en transiciones.....	77
3.3.6.1. Transición entre mantos moncapa y bicapa de Cubípodos.....	78
3.3.6.2. Transición entre mantos bicapa de escollera y moncapa de Cubípodos.....	80
3.3.6.3. Transición entre mantos de Cubípodos de distinto tamaño.....	80
3.3.7. Relación entre primera y segunda capa de Cubípodos.....	80
Capítulo 4. Metodología Experimental.....	83
4.1. Introducción.....	83
4.2. Descripción de las instalaciones.....	84
4.2.1. Tanque de ensayos.....	84
4.2.2. Generador de oleaje.....	85

4.2.3. Control informático .....	86
4.2.4. Instrumentación .....	87
4.2.4.1. Sensores ópticos.....	87
4.2.4.2. Soporte audiovisual. ....	88
4.3. Descripción de los modelos ensayados.....	88
4.3.1. Modelo ensayado por Pardo (2009).....	88
4.3.2. Modelo ensayado dentro del Proyecto CLIOMAR.....	90
4.3.3. Modelo ensayado dentro del Proyecto del Dique de San Andrés .....	90
4.3.4. Modelos ensayados dentro del Proyecto MMONOCAPA .....	92
4.4. Sistemas de colocación empleados .....	94
4.4.1. Sistema Cartesiano de Colocación Ciega o CBPS.....	94
4.4.2. Sistema 3D de colocación realista .....	97
4.5. Análisis de los resultados.....	99
4.5.1. Aspecto general del manto.....	99
4.5.2. Cálculo de la porosidad .....	100
4.5.3. Análisis del oleaje incidente y reflejado .....	101
4.5.3.1. Método LASA. ....	102
4.5.3.2. LPCLab 1.0.....	103
Capítulo 5. Resultados Experimentales.....	105
5.1. Introducción.....	105
5.2. Rango de porosidades construibles de un manto de Cubípodos .....	106
5.3. Mallas de colocación del Cubípodo en tronco recto.....	106
5.3.1. Ensayos de colocación de Pardo (2009) .....	107
5.3.2. Ensayos de colocación del Proyecto CLIOMAR.....	109
5.3.3. Ensayos de colocación del dique de San Andrés .....	110
5.3.4. Ensayos de colocación del Proyecto MMONOCAPA.....	112
5.4. Mallas de colocación del Cubípodo en tronco curvo de baja curvatura...	113
5.4.1. Ensayos de colocación del dique de San Andrés .....	113
5.4.2. Ensayos de colocación del Proyecto MMONOCAPA.....	114
5.5. Mallas de colocación del Cubípodo en morros y tronco curvo de alta curvatura .....	117
5.5.1. Ensayos de colocación del dique de San Andrés .....	118

5.5.2. Ensayos de colocación del Proyecto MMONOCAPA .....	120
5.6. Mallas de colocación del Cubípodo en entronque.....	124
5.7. Resumen de los resultados experimentales.....	126
Capítulo 6. Resumen y Conclusiones .....	129

## Referencias

Anejo 1. Referencias del autor

Anejo 2. Modelos ensayados

Anejo 3. Resultados de los ensayos

## Índice de Figuras

### Figuras del Capítulo 2

Figura 2.1. Desarrollo cronológico de los elementos de hormigón prefabricado más conocidos para la construcción de diques en talud. (Fuente: propia).....	12
Figura 2.2. Aparato de test de extracción empleado por Wang y Peene (1990).....	20
Figura 2.3. Contacto entre unidades del talud según Oever et al. (2006).....	20
Figura 2.4. Parámetros empleados para calcular el <i>Potential Interlocking Coefficient</i> (PIC) propuesto por Oever et al. (2006).....	21
Figura 2.5. Esquema de una malla de colocación típica. (Fuente: propia).....	23
Figura 2.6. Métodos de colocación según CEM (2006). (a) Uniforme, (b) aleatoria, (c) selectiva y (d) especial. ....	27
Figura 2.7. Comportamiento frente al rebase de distintos mantos de cubos según Bruce et al. (2009). Bicapa irregular (arriba), monocapa regular (en medio) y bicapa regular (abajo). ....	28
Figura 2.8. Sistema Cartesiano de Colocación Ciega empleado por Pardo et al. (2010). ....	29
Figura 2.9. Ensayo de colocación realista 3D de cubos de Pardo et al. (2012).....	30
Figura 2.10. Ensayos de colocación llevados a cabo por Ali et al. (2014). Colocación regular (izq.) y colocación aleatoria (dcha.).....	30
Figura 2.11. Primer método de colocación para el Tetrápodo empleado por Gürer et al. (2005). ....	31
Figura 2.12. Segundo método de colocación para el Tetrápodo empleado por Gürer et al. (2005). ....	31
Figura 2.13. Primer método de colocación para el Tetrápodo definido por Fabiao (2013). ....	32
Figura 2.14. Segundo método de colocación para el Tetrápodo definido por Fabiao (2013). ....	32
Figura 2.15. Colocación específica del pie del manto de Dolos en los ensayos de Carver (1976). ....	33
Figura 2.16. Malla nº 1 de Dolos ensayada por Carver y Davidson (1978). Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.).....	34

Figura 2.17. Malla n° 2 de Dolos ensayada por Carver y Davidson (1978). Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.) .....	34
Figura 2.18. Malla n° 3 de Dolos ensayada por Carver y Davidson (1978). Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.) .....	35
Figura 2.19. Técnicas de colocación ensayadas por Yagci y Kapdasli (2003). Irregular (izq.); Adoquinada (dcha.), (a) primera y (b) segunda capa.....	36
Figura 2.20. Técnicas de colocación ensayadas por Yagci y Kapdasli (2003). Regular (izq.), Alternativa (dcha.), (a) primera y (b) segunda capa. ....	36
Figura 2.21. Métodos de colocación ensayados por Frens et al. (2008). ....	38
Figura 2.22. Métodos de colocación ensayados por Najafi-Jilani y Monshizadeh (2010). (a) Regular, (b) Irregular tipo A e (c) Irregular tipo B. ....	39
Figura 2.23. Resultados del rebase en función del talud y del método de colocación empleados en los ensayos de Najafi-Jilani y Monshizadeh (2010).....	40
Figura 2.24. Métodos de colocación ensayados por Bayram et al (2013). Aleatorio (izq.) y semi-aleatorio (dcha.) .....	40
Figura 2.25. Métodos de colocación ensayados por Freitas (2013). Primera capa (arriba izq.), semi-irregular (arriba dcha.), regular 1 (abajo izq.) y regular 2 (abajo dcha.).....	41
Figura 2.26. Malla de colocación de Accropode <sup>TM</sup> diseñada para el dique de Ballina según <i>Manly Hydraulics Laboratory</i> (1997).....	43
Figura 2.27. Método de colocación del pie del manto de Core-Loc <sup>TM</sup> recomendado por Turk y Melby (1997). Primera fila (izq.) y dos primeras filas (dcha.).....	43
Figura 2.28. Mallas de colocación de Core-Loc <sup>TM</sup> recomendadas por Turk y Melby (1997) en función del tamaño de la pieza (C).....	44
Figura 2.29. Tipos de colocación ensayados por Özkan Cevik et al. (2005) Colocación regular (izq.) y aleatoria (dcha.).....	44
Figura 2.30. Tipos de orientación y malla de colocación de Core-Loc <sup>TM</sup> definidos por Anastasaki et al. (2013).....	45
Figura 2.31. Resultados del ensayo de extracción de Muttray et al. (2005). ....	47
Figura 2.32. Formas de eslingar los Xbloc <sup>®</sup> según Oever et al. (2006). Forma I (izq.) y Forma II (dcha.) .....	47
Figura 2.33. Mecanismo para mover una pieza fuera de su posición inicial en morros según Oever et al (2006). ....	48
Figura 2.34. Elemento Xbloc <sup>®</sup> (izq.) y Xbase <sup>®</sup> (dcha.). (Fuente: Van der Bergen et al., 2007) .....	49
Figura 2.35. Esquema de avance de un dique en talud. (Fuente: empresa SATO) .....	51
Figura 2.36. Vista 3D del proceso constructivo de un dique en talud. (Fuente: Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas, 2008).....	51

Figura 2.37. Grúa de gran capacidad sobre raíles durante la construcción del dique Príncipe de Asturias (Puerto de Gijón). (Fuente: empresa SATO) .....	52
Figura 2.38. Tecnología en la colocación de piezas en el manto principal. GPS colocado en grúa (izq.) y programa informático de colocación en cabina operador (dcha.). (Fuente: propia).....	53
Figura 2.39. Grúa con transportador de ángulos durante la construcción del dique de la dársena de El Saladillo (Puerto de Algeciras), antes de la aparición del GPS. (Fuente: empresa FCC Construcción) .....	53
Figura 2.40. Accropode II con baliza registradora (izq.). Baliza registradora (dcha). (Fuente: empresa <i>Concrete Layer Innovations</i> ) .....	54
Figura 2.41. Pantalla que proporciona el <i>POSIBLOC</i> al operario de la grúa. (Fuente: empresa <i>Concrete Layer Innovations</i> ) .....	54
Figura 2.42. Sistema <i>Echoscope</i> y sistema de control de rotación para colocación de elementos de protección bajo el agua. (Fuente: Gelderen y Auld, 2009).....	55
Figura 2.43. Colocación de elementos de protección en el dique de San Andrés (Puerto de Málaga). (Fuente: propia).....	55
Figura 2.44. <i>Dumper</i> transportando escollera (izq.). Gánguil cargado (centro). Retroexcavadora (dcha.). (Fuente: Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas, 2008).....	56
Figura 2.45. Colocación de bloque mediante cadenas conectadas a asas embebidas. (Fuente: empresa SATO) .....	57
Figura 2.46. Accropode <sup>TM</sup> II (izquierda), Accropode <sup>TM</sup> I (centro) y Xbloc <sup>®</sup> (derecha) izados con eslingas. (Fuente: izq. y central <i>Concrete Layer Innovations</i> y dcha. Reedijk et al. 2005).....	57
Figura 2.47. Colocación de bloque mediante llaves con forma de T invertida. (Fuente: empresa SATO).....	58
Figura 2.48. Distintos tipos de pinzas para manipulación de bloques de hormigón cúbicos. (Fuente: Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas, 2008) .....	58
Figura 2.49. Pinzas de presión para manipulación de cubos y Cubípodos. (Fuente: empresa SATO).....	59
Figura 2.50. Pulpos para recuperación y colocación de elementos de protección. (Fuente: empresa SATO) .....	59
Figura 2.51. Distribución de costes en la construcción de diques en talud. (Fuente: propia) .....	60

### Figuras del Capítulo 3

Figura 3.1. Elemento Cubípodo. (Fuente: LPC-UPV) .....	64
Figura 3.2. Proporciones del elemento Cubípodo en relación a la dimensión del cubo central, L. (Fuente: propia) .....	65
Figura 3.3. Pinzas de colocación del Cubípodo. Pinza doble (izq.) y simple (dcha). (Fuente: empresa SATO) .....	66
Figura 3.4. Sección tipo de un dique en talud con manto principal apoyado en berma de pie sobre banquetta de protección contra la socavación. (Fuente: Manual del Cubípodo 2015) .....	67
Figura 3.5. Esquema de una malla de colocación típica para tramos rectos de mantos principales. (Fuente: Pardo et al., 2014) .....	68
Figura 3.6. Esquema de la malla de colocación progresiva para tramos rectos de mantos principales. (Fuente: Pardo et al., 2014) .....	70
Figura 3.7. Esquema de malla de colocación estática para tramos curvos de baja curvatura de mantos principales. (Fuente: Pardo et al., 2014) .....	71
Figura 3.8. Esquema de la malla de colocación progresiva para tramos curvos de baja curvatura de mantos principales. (Fuente: propia) .....	73
Figura 3.9. Esquema de malla de colocación estática para morros y tramos curvos de alta curvatura de mantos principales. (Fuente: Pardo et al., 2014) .....	74
Figura 3.10. Esquema de funcionamiento de una de las mallas encadenadas que conforman la malla de colocación estática para morros y tramos curvos de alta curvatura de mantos principales. (Fuente: propia) .....	76
Figura 3.11. Transición entre manto monocapa y bicapa de Cubípodos. (Fuente: Manual del Cubípodo 2015) .....	79
Figura 3.12. Avance de la protección monocapa sobre filtro de Cubípodos. (Fuente: Manual del Cubípodo 2015) .....	79
Figura 3.13. Relación entre la posición de los Cubípodos de la primera y la segunda capa. (Fuente: propia) .....	80

### Figuras del Capítulo 4

Figura 4.1. Vista del tanque de ensayos. (Fuente: propia) .....	84
Figura 4.2. Sistema generador de oleaje. (Fuente: propia) .....	86
Figura 4.3. Vista del programa informático generador de oleaje. (Fuente: propia) .....	87
Figura 4.4. Sensor óptico y módulo de control. (Fuente: propia) .....	87



Figura 4.5. Sección tipo tronco del dique de Cubípodos ensayada por Pardo (2009). Cotas en centímetros. ....	89
Figura 4.6. Cubípodos de $D_n= 3.82$ cm utilizados en los ensayos de colocación de Pardo (2009).....	89
Figura 4.7. Sección tipo tronco del dique de Cubípodos ensayada en el Proyecto CLIOMAR. Cotas en metros. (Fuente: Pardo, 2011).....	90
Figura 4.8. Sección tipo tronco del dique de Cubípodos ensayado para el dique de San Andrés del Puerto de Málaga. Cotas en metros. (Fuente: LPC-UPV).....	91
Figura 4.9. Cubípodos de $D_n= 3.80$ cm utilizados en los ensayos de colocación del dique de San Andrés del Puerto de Málaga. (Fuente: propia).....	91
Figura 4.10. Sección tipo tronco del dique de Cubípodos ensayada en MMONOCAPA. Cotas en metros. (Fuente: propia) .....	92
Figura 4.11. Sección tipo morro MR60 del dique de Cubípodos ensayada en MMONOCAPA. Cotas en metros. (Fuente: propia).....	93
Figura 4.12. Sección tipo morro MR70 del dique de Cubípodos ensayada en MMONOCAPA. Cotas en metros. (Fuente: propia).....	93
Figura 4.13. Sección tipo morro MR80 del dique de Cubípodos ensayada en MMONOCAPA. Cotas en metros. (Fuente: propia).....	93
Figura 4.14. Pinza empleada en el CBPS. (Fuente: propia) .....	95
Figura 4.15. Vista general del funcionamiento del CBPS. (Fuente: propia) .....	95
Figura 4.16. Operador de pinza del CBPS. (Fuente: propia).....	96
Figura 4.17. Primera capa de Cubípodos dispuestos a mano para apoyo en el CBPS. (Fuente: propia).....	97
Figura 4.18. Grúas radiales a escala empleadas en los ensayos de construcción realista de mantos. (Fuente: propia).....	97
Figura 4.19. Pinza doble de colocación de Cubípodos. A escala (izq.) y real (der.). (Fuente: propia).....	98
Figura 4.20. Transportadores de ángulos colocados en una de las grúas a escala empleada durante los ensayos. (Fuente: propia).....	99
Figura 4.21. Desplazamiento del área de referencia para el conteo de unidades. Tramo recto (izq.) y tramo curvo (dcha.). (Fuente: propia).....	101
Figura 4.22. Áreas de referencia empleada para el cálculo de la porosidad en morros. (Fuente: propia).....	101
Figura 4.23. Ventana del programa LASA-V. (Fuente: propia).....	103
Figura 4.24. Ventana del programa LPCLab.....	104

Figuras del Capítulo 5

Figura 5.1. Ensayos de obtención del rango de porosidades realmente construibles para mantos de Cubípodos en talud  $H/V=1.5/1$ . (Fuente: propia)..... 106

Figura 5.2. Manto construido con la malla de colocación estática para tronco recto  $a/D_n = 1.565$  y  $b/D_n = 1.018$  de Pardo (2009) en seco. (Fuente: propia)..... 107

Figura 5.3. Mantos construidos con la malla de colocación estática para tronco recto  $a/D_n = 1.565$  y  $b/D_n = 1.018$  de Pardo (2009) bajo distintas condiciones de oleaje. (Fuente: propia)..... 108

Figura 5.4. Manto construido con la malla de colocación progresiva para tronco recto  $a/D_n = 1.597$ ,  $b/D_n = 1.047$  y  $\Delta b = 1\%b$  del Proyecto CLIOMAR. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) ..... 109

Figura 5.5. Manto construido con la malla de colocación estática para tronco recto  $a/D_n = 1.500$  y  $b/D_n = 1.053$  del dique de San Andrés. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia)..... 111

Figura 5.6. Manto construido con la malla de colocación estática para tronco recto  $a/D_n = 1.605$  y  $b/D_n = 1.053$  del Proyecto MMONOCAPA. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) ..... 112

Figura 5.7. Manto construido con la malla de colocación estática para tronco recto  $a/D_n = 1.500$  y  $b/D_n = 1.053$  del Proyecto MMONOCAPA. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) ..... 112

Figura 5.8. Manto construido con la malla de colocación estática para tronco curvo  $a/D_n = 1.605$  y  $b/D_n = 1.053$  del dique de San Andrés. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) ..... 114

Figura 5.9. Manto construido con la malla de colocación estática para tronco curvo  $a/D_n = 1.605$  y  $b/D_n = 1.053$  del Proyecto MMONOCAPA sobre talud  $H/V=2/1$ . Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia)..... 115

Figura 5.10. Manto construido con la malla de colocación progresiva para tronco curvo  $a/D_n = 1.605$ ,  $b/D_n = 1.018$  y  $\Delta b = 1\%b$  del Proyecto MMONOCAPA sobre talud  $H/V=1.5/1$ . Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) ..... 116

Figura 5.11. Proceso constructivo del morro paso a paso mediante mallas encadenadas. (Fuente: propia)..... 118

Figura 5.12. Manto construido con la malla de colocación encadenada para morro  $a/D_n = 1.684$  y  $b/D_n = 1.053$  del dique de San Andrés. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia)..... 119

Figura 5.13. Manto construido con la malla de colocación encadenada para morro  $a/D_n = 1.684$  y  $b/D_n = 1.018$  del Proyecto MMONOCAPA sobre morro R60. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia)..... 120

Figura 5.14. Manto construido con la malla de colocación encadenada para morro $a/D_n = 1.684$ y $b/D_n = 1.018$ del Proyecto MMONOCAPA sobre morro R70. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) .....	121
Figura 5.15. Manto construido con la malla de colocación encadenada para morro $a/D_n = 1.763$ y $b/D_n = 1.018$ del Proyecto MMONOCAPA sobre morro R80. Primera capa (izq.) y segunda capa (dcha.). (Fuente: propia) .....	122
Figura 5.16. Proceso constructivo de la primera fila del entronque del dique de San Andrés. ....	125
Figura 5.17. Proceso constructivo de la sexta fila del entronque del dique de San Andrés. ....	125
Figura 5.18. Mantos ensayados en el entronque del dique de San Andrés. Primera capa de 6 t (izq.) y segunda capa de 15 t (dcha.). (Fuente: propia) .....	126
Figura 5.19. Ficha resumen de las mallas a emplear en mantos de Cubípodos en talud $H/V=1.5/1$ . (Fuente: propia) .....	127
Figura 5.20. Ficha resumen de las mallas a emplear en mantos de Cubípodos en talud $H/V=2/1$ . (Fuente: propia) .....	128



## Índice de Tablas

### Tablas del Capítulo 2

Tabla 2.1. Valores de porosidad para varias piezas de protección según el USACE (1984).....	16
Tabla 2.2. Características geométricas y parámetros del manto principal de distintos tipos de piezas según el CIRIA, CUR, CETMEF (2007).....	24
Tabla 2.3. Número de bloques empleados, porosidad y <i>packing density</i> para cada técnica de colocación según Yagci y Kapdasli (2003).....	36
Tabla 2.4. Coeficiente de reflexión y estabilidad hidráulica pala los distintos métodos de colocación y <i>packing densities</i> ensayados por Frens et al. (2008) .....	38

### Tablas del Capítulo 5

Tabla 5.1. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco recto en talud $H/V=1.5/1$ de Pardo (2009). (Fuente: propia).....	108
Tabla 5.2. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco recto en talud $H/V=2/1$ del Proyecto CLIOMAR. (Fuente: propia).....	110
Tabla 5.3. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco recto sobre talud $H/V=2/1$ del dique de San Andrés. (Fuente: propia) .....	111
Tabla 5.4. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco recto en talud $H/V=2/1$ del Proyecto MMONOCAPA. (Fuente: propia).....	113
Tabla 5.5. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco curvo sobre talud $H/V=2/1$ del dique de San Andrés. (Fuente: propia) .....	114
Tabla 5.6. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco curvo sobre talud $H/V=2/1$ del Proyecto MMONOCAPA. (Fuente: propia).....	115
Tabla 5.7. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de tronco curvo sobre talud $H/V=1.5/1$ del Proyecto MMONOCAPA. (Fuente: propia).....	116
Tabla 5.8. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de morro del dique de San Andrés. (Fuente: propia) .....	119
Tabla 5.9. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de morro del Proyecto MMONOCAPA sobre morro R60. (Fuente: propia).....	120

Tabla 5.10. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de morro del Proyecto  
MMONOCAPA sobre morro R70. (Fuente: propia) ..... 122

Tabla 5.11. Ensayos de construcción realista de mantos en zona de morro del Proyecto  
MMONOCAPA sobre morro R80. (Fuente: propia) ..... 123

## Índice de Fórmulas

### Fórmulas del Capítulo 2

Fórmula 2.1. Fórmula de Hudson (1959). .....	13
Fórmula 2.2. Fórmula de Hudson generalizada.....	13
Fórmula 2.3. Fórmula clásica de la porosidad.....	15
Fórmula 2.4. Fórmula para el cálculo del <i>placing density</i> según el USACE (1984).....	17
Fórmula 2.5. Fórmula para el cálculo del <i>packing density</i> . .....	18
Fórmula 2.6. Fórmulas para el cálculo del espesor de capa según el USACE (1984). .	18
Fórmula 2.7. Fórmula para el cálculo del <i>Potential Interlocking Coefficient</i> (PIC) propuesto por Oever et al. (2006).....	21

### Fórmulas del Capítulo 3

Fórmula 3.1. Fórmula para obtener la porosidad teórica de la malla de colocación típica para tramos rectos de mantos principales.....	69
Fórmula 3.2. Fórmula para obtener la distancia entre filas de elementos en la malla progresiva para tramos rectos de mantos principales. ....	70
Fórmula 3.3. Fórmula para obtener la porosidad teórica de la malla progresiva para tramos rectos de mantos principales.....	70
Fórmula 3.4. Fórmula para obtener el acortamiento de radios en tramos curvos de mantos principales.....	72
Fórmula 3.5. Fórmula para obtener la porosidad teórica de la malla estática para tronco curvo de baja curvatura de mantos principales.....	72
Fórmula 3.6. Fórmula para obtener la distancia entre filas de elementos en la malla progresiva para tramos curvos de baja curvatura de mantos principales.....	73
Fórmula 3.7. Fórmula para obtener el radio de la última fila de elementos a colocar utilizando la malla progresiva de tramos curvos de baja curvatura.....	73
Fórmula 3.8. Fórmula para obtener la porosidad teórica de la malla de colocación estática para morros y tramos curvos de alta curvatura de mantos principales. ....	75

Fórmula 3.9. Relación entre los c.d.g. de las piezas de la primera y última fila de cada malla encadenada que conforman la malla de colocación estática para morros y tramos curvos de alta curvatura de mantos principales..... 76

Fórmula 3.10. Máximo número de filas a colocar con cada una de las mallas encadenadas que conforman la malla de colocación estática para morros y tramos curvos de alta curvatura. .... 76

Fórmula 3.11. Fórmula para relacionar la posición de los Cubípodos de la primera y la segunda capa. .... 81

#### Fórmulas del Capítulo 4

Fórmula 4.1. Fórmula para el cálculo de la porosidad real. .... 100