cubipod

effective breakwaters made easy

SATO

SIOP
VII Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria | San Antonio | 2016
Puertos sostenibles: el gran desafío

cubipod
effective breakwaters made easy

DESARROLLO Y UTILIZACIÓN DEL BLOQUE CUBIPOD® COMO CORAZA DE DIQUES EN TALUD

Vicente Pardo de Gregorio
Santiago Povedano Marcos
Antonio Corredor Molguero

cubipod
effective breakwaters made easy

Índice

Introducción

Diques en talud, piezas de protección, diseño de la coraza y el Cubipod®

Proceso de desarrollo

Ensayos estabilidad 2D y 3D, de remonte y rebase, de resistencia estructural, de colocación y fabricación de prototipos

Proyectos realizados

Dique de San Andrés; Diques Sur, Norte y Oeste de Langosteira; Contradique de La Esfinge; y Dique Marina Bay d´Argel

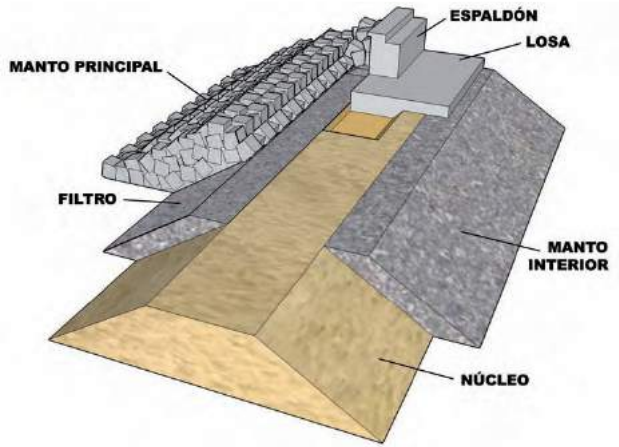
Conclusiones

Poner introducción en algún lado?

Introducción: Diques en talud

Es la tipología más empleada por:

- Experiencia.
- Facilidad constructiva.
- Disipación del oleaje.
- Baja reflexión.
- Comportamiento flexible.
- Adaptación a asientos.



Modos de fallo principales: extracción de piezas, rotura de piezas y rebase

cubipod
effective breakwaters made easy

Introducción: Piezas de Protección

Hasta s. XIX piedra natural ⟶ limitación de calado

Principio s. XIX aparición bloque

resistencia por gravedad

1950 aparece el Tetrápodo

resistencia por gravedad + trabazón

1950-1970 multitud de piezas, cada vez más esbeltas

resistencia principal por trabazón

Finales 70s Desastres en diques que frenaron el desarrollo de las piezas esbeltas

↓

Importancia resistencia estructural de las piezas

Elemento	País	Año	Imagen
Cubo	_	s. XIX	
Tetrapod	FR	1950	
Grabbelar	ZA	1957	
Tribar	USA	1958	
Hollow Tetrahedrom	JP	1959	
Modified Cube	USA	1959	
Tetrapod (Danel et al.)	FR	1960	
Stabit	UK	1961	
Akmon	NL	1962	
N-Shaped Block	JP	1962	
Ridehalgh	GB	1962	
Dolos	RSA	1963	
Hollow Square	JP	1965	
Sta-Bar	USA	1966	
Toskane	ZA	1966	
Gassho	JP	1967	
Cob	UK	1969	
Taisuke	JP	1971	
Chevalier & Alsthom	FR	1972	
Antifer Cube	FR	1976	

Elemento	País	Año	Imagen
Mexápodo	MX	1978	
Pey	BOL	1978	
Seabee	AU	1978	
Accropode	FR	1980	
Shed	UK	1982	
Haro	BE	1984	
O´Neill	USA	1986	
Tourmen	FR	1990	
Core-Loc	USA	1994	
Voisin	FR	1995	
Ecopode	FR	1996	
A-Jack	USA	1998	
Diahitis	IE	1998	
Accropode II	FR	1999	
Atamán	ES	2003	
Half-Loc	KR	2003	
Xbloc	NL	2003	
Cubipod	ES	2005	
Xbase	NL	2007	
Blacastar	ES	2012	

cubipod
effective breakwaters made easy

Introducción: Piezas de Protección

60s *cobblestone-concept* (elementos huecos)

1976-1978 Bloque Antifer (pieza sin patente)

1980 *Sogreah* presenta el Accropode™

1er elemento monocapa

1994 *US Corps of Engineers* desarrolla el Core-Loc™

2003 *Delta Marine Consultant* inventa el Xbloc®

2005 UPV/**SATO** desarrolla **Cubipod®**

masivo, monocapa y bicapa

Elemento	País	Año	Imagen
Cubo	_	s. XIX	
Tetrapod	FR	1950	
Grabbelar	ZA	1957	
Tribar	USA	1958	
Hollow Tetrahedrom	JP	1959	
Modified Cube	USA	1959	
Tetrapod (Danel et al.)	FR	1960	
Stabit	UK	1961	
Akmon	NL	1962	
N-Shaped Block	JP	1962	
Ridehalgh	GB	1962	
Dolos	RSA	1963	
Hollow Square	JP	1965	
Sta-Bar	USA	1966	
Toskane	ZA	1966	
Gassho	JP	1967	
Cob	UK	1969	
Taisuke	JP	1971	
Chevalier & Alsthom	FR	1972	
Antifer Cube	FR	1976	

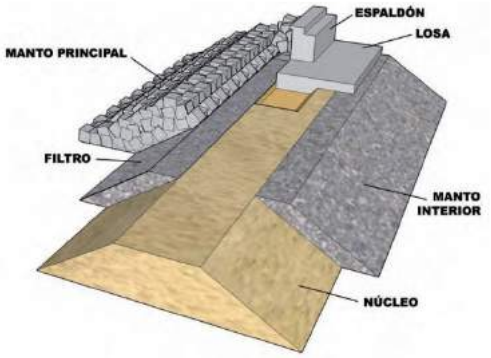
Elemento	País	Año	Imagen
Mexápodo	MX	1978	
Pey	BOL	1978	
Seabee	AU	1978	
Accropode	FR	1980	
Shed	UK	1982	
Haro	BE	1984	
O´Neill	USA	1986	
Tourmen	FR	1990	
Core-Loc	USA	1994	
Voisin	FR	1995	
Ecopode	FR	1996	
A-Jack	USA	1998	
Diahitis	IE	1998	
Accropode II	FR	1999	
Atamán	ES	2003	
Half-Loc	KR	2003	
Xbloc	NL	2003	
Cubipod	ES	2005	
Xbase	NL	2007	
Blacastar	ES	2012	

cubipod
effective breakwaters made easy

Introducción: Diseño de la coraza

Factor de diseño básico: **peso de las piezas del manto (W)**

Fórmula de diseño más conocida: **Hudson (1959)**



$$W = \frac{1}{K_D} \frac{H^3}{\left(\frac{w_r}{w_w} - 1\right)^3} \frac{w_r}{\cot\alpha}$$

Si K_D ⇧ → W ⇩

Si K_D ⇧ → fragilidad ⇧

Aparición de un nuevo elemento ⟺ **Definición de su K_D**

No-Damage Criteria and Minor Overtopping

Armor Units	n[3]	Placement	Structure Trunk K_D[2] Breaking Wave	Structure Trunk K_D[2] Nonbreaking Wave	Structure Head K_D Breaking Wave	Structure Head K_D Nonbreaking Wave	Slope Cot θ
Quarrystone							
Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 [5] [5]
Smooth rounded	>3	Random [4]	1.6 [4]	3.2	1.4 [4]	2.8	
Rough angular	1	Random		3.9		3.8	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	[5]
Rough angular	2	Special [6]	5.8	7.0	5.3	6.4	[5]
Parallelepiped[7]	2	Special [1]	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	8.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8[8]	31.8[8]	8.0	16.0	2.0[9]
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	-----	8.0	[5]
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	[5]
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	[5]
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	8.5	[5]
Quarrystone (K_{RR}) Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

cubipod
effective breakwaters made easy

Introducción: El Cubipod®

Elemento prefabricado de hormigón para coraza diques

Desarrollado en 2005 por la Universidad Politécnica de Valencia cuya patente de explotación pertenece a SATO

Elemento masivo de colocación aleatoria en una o varias capas que resiste el oleaje principalmente por gravedad

CUBO

- ✚ Fácil fabricación, almacenamiento y manipulación
- ✚ Alta resistencia estructural
- ✚ Riesgo bajo de fallo progresivo
- ▬ Baja Estabilidad Hidráulica (K_D[B2] = 6)
- ▬ Alta Compactación Heterogénea

VS

CUBIPOD®

- ✚ Ventajas del Cubo
- ✚ Reducción del rebaje
- ✚ Alta Estabilidad Hidráulica K_D[C1] = 12 y K_D[C2] = 28
- ✚ Baja Compactación Heterogénea e incremento fricción capa filtro

cubipod
effective breakwaters made easy

Proceso de desarrollo

Ensayos de Estabilidad Hidráulica 2D y 3D

Realización de numerosos ensayos de estabilidad hidráulica en distintos laboratorios

- Universidad Politécnica de Valencia (LPC-UPV)
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
- Universidad Politécnica de A Coruña (GEAMA-UPC)
- Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantabria)
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEPYC-CEDEX)
- Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA)
- Coastal engineering Laboratory de la Universidad de Aalborg, Dinamarca

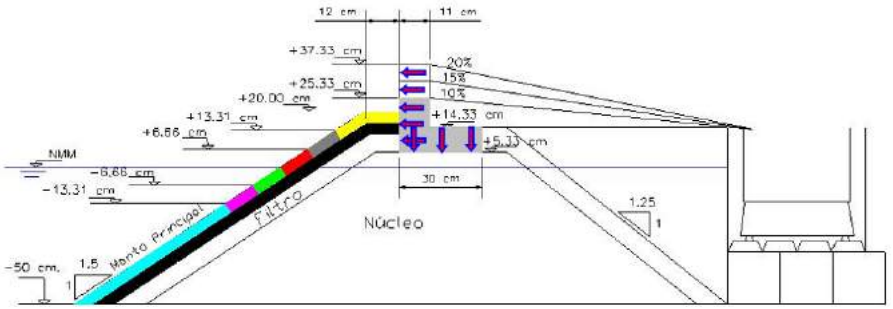
	Cubipod stability coeficients	
	head	trunk
2-layer	$K_D = 7.0$	$K_D = 28.0$
1-layer	$K_D = 5.0$	$K_D = 12.0$

cubipod
effective breakwaters made easy

Proceso de desarrollo

Ensayos de Remonte y Rebase

Realizados en el LPC-UPV



$$Q = \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2\exp\left(0.53\,Ir_p - 3.27\,\frac{A_c}{R_c} - \frac{2.16}{\gamma_f}\,\frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

Pieza	nº capas	Rougness factor γf
Cubo	2	0.50
Cubipodo	1	0.46
Cubipodo	2	0.44

Si γf ↑ → rebase ↑

γ_f del Cubipod ≈ γ_f a piezas bulky monocapa

cubipod
effective breakwaters made easy

Proceso de desarrollo

Fabricación de prototipos

- Fabricación de Cubipod con **encofrados tipo flanera** (similar al del cubo)
- Encofrado Cubipod: **base + molde superior**
- Varias bases/molde superior en función del rendimiento de fabricación

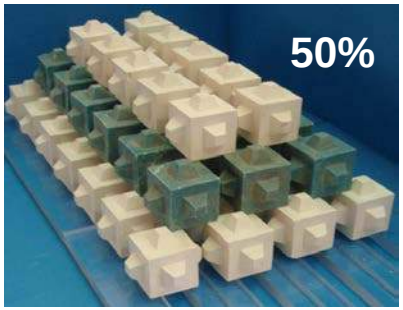
6 horas después de vibrar

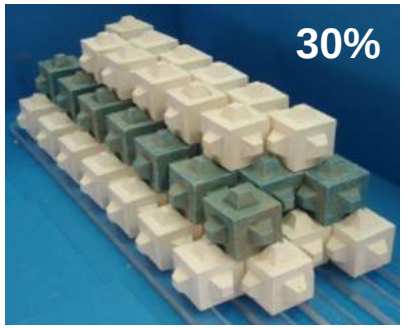
cubipod
effective breakwaters made easy

Proceso de desarrollo

Acopio y manipulación de prototipos

- Acopio de Cubipod en múltiples alturas
- Acopio abieto (P≈50%) y acopio cerrado (P≈30%)
- Parques de acopio **muy compactos**





⇩

Pinzas de presión

↑ **Rendimiento** ↑ **precisión** ↑ **seguridad** ↓ **personal**

vs eslingas

Proceso de desarrollo

Ensayos de Resistencia Estructural

Ensayos de volteo

- Parámetros característicos: **nº volteos** y **% pérdida de peso**

Pérdida peso **<2%**

Pérdida peso **<0.3%**

cubipod
effective breakwaters made easy

Proceso de desarrollo

Ensayos de Resistencia Estructural

Ensayos de caída

- Parámetros característicos:

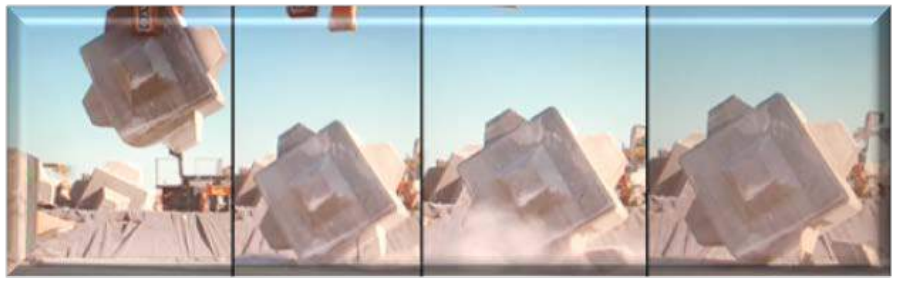
  nº caídas, altura de caída y **% pérdida de peso**

- h_c= 0.5, 1, 1.5, 2m
- $H_{c\ extrema}$= 8.5 y 9.5m

h_c=2m

n=1

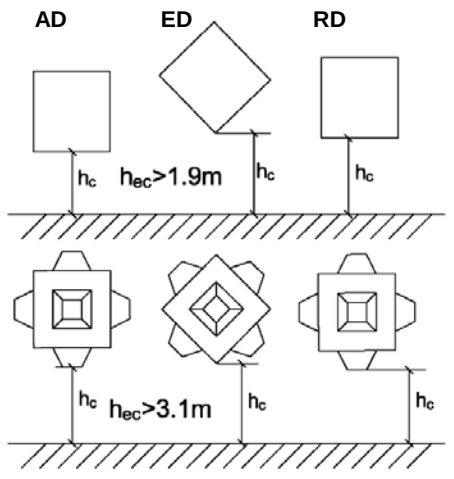
%p= 45%



h_c=2m

n=6

%p= 20.3%



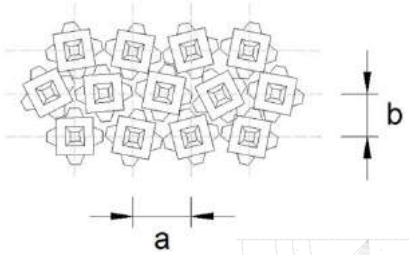
cubipod
effective breakwaters made easy

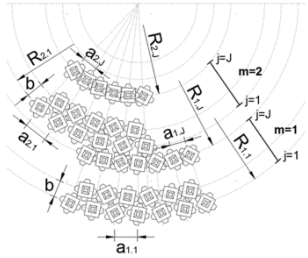
Proceso de desarrollo

Ensayos de colocación realista 3D

- Grúas y pinzas de presión a escala
- Con y sin oleaje
- **Definición de las mallas de colocación**:

  Tronco recto, tronco curvo y morro (≠R)





NO necesita buzos

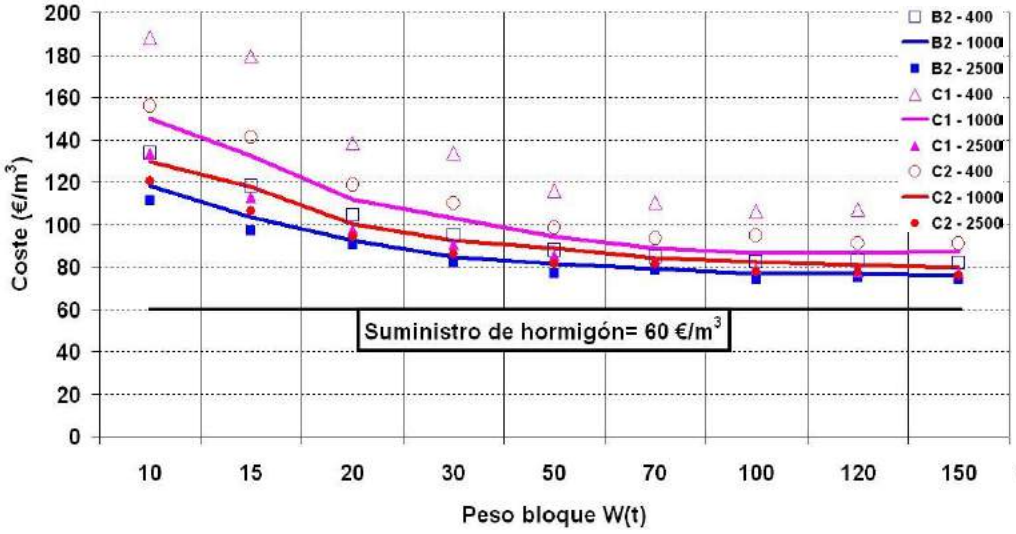
GPS

cubipod
effective breakwaters made easy

Proceso de desarrollo

Estudio de costes

Coste unitario (€/m3) según longitud dique y peso de la pieza

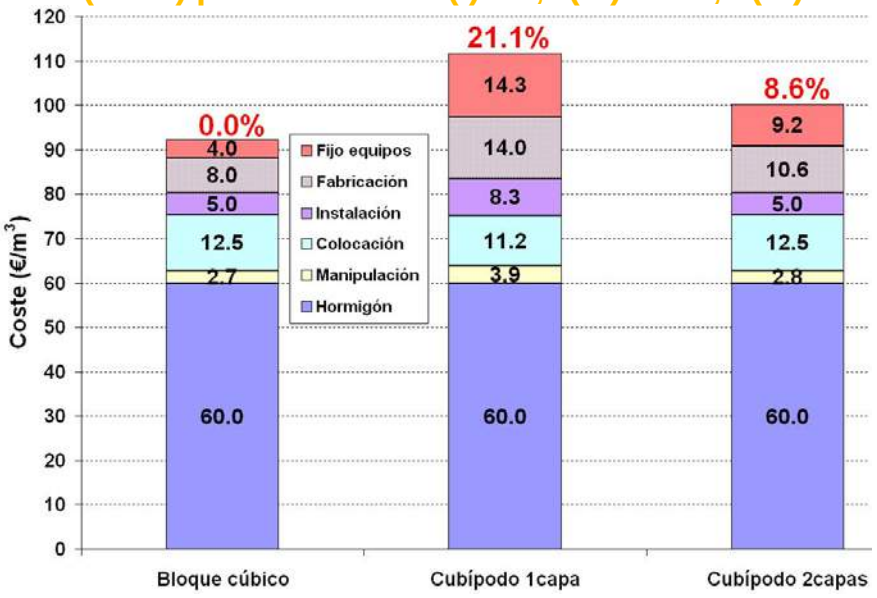


Coste unitario (€/m3) Cubipod > Coste unitario cubo

K_D Cubipod >> K_D Cubo (6)

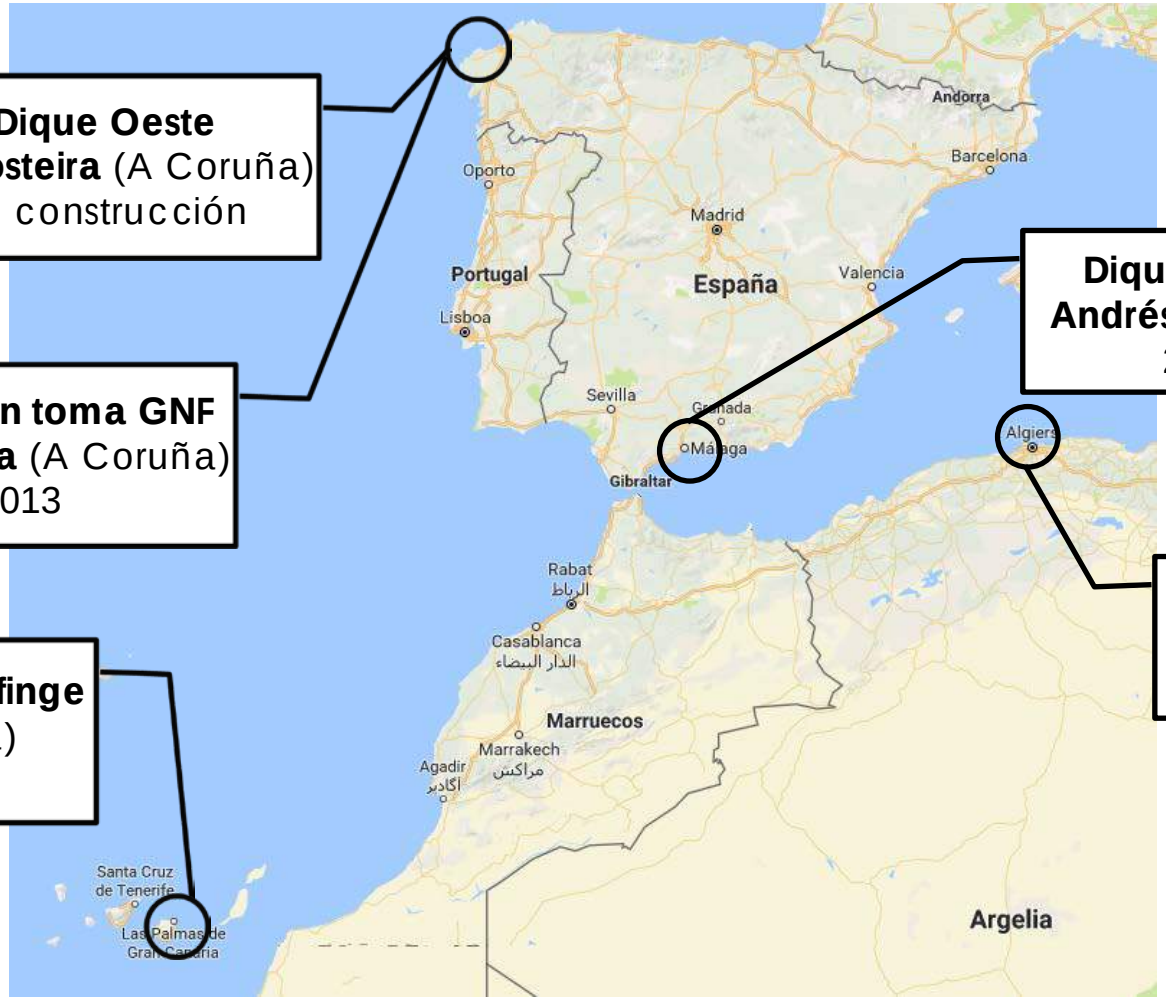
Coste Cubipod << Coste Cubo

Descomposición por factores del coste unitario (€/m3) para el caso : W(t)=20; L(m)=1000; h(m)=15



cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados



Dique Oeste Langosteira (A Coruña)
En construcción

Protección toma GNF Langosteira (A Coruña)
2013

Contradique La Esfinge
(Gran Canaria)
2016

Dique de San Andrés (Málaga)
2013

Marina Bay d´Alger (Argelia)
En construcción

cubipod
effective breakwaters made easy

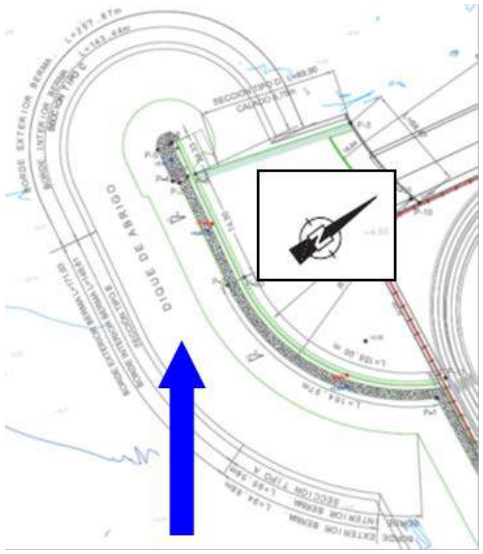
Proyectos realizados: Dique de San Andrés

Longitud 270m

h=-6.75m

PUERTO DE MÁLAGA

- Cruceros (2º España), 5M TEUs y 0.9 Mpasajeros

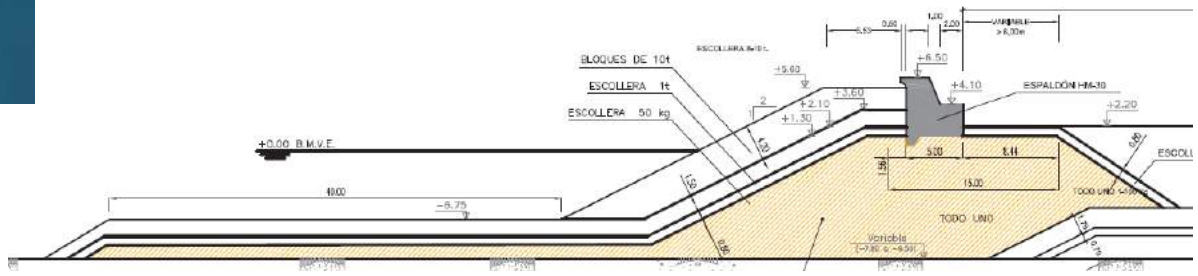


DIQUE DE SAN ANDRÉS

Proyecto Base:

- Mejorar aprovechamiento
- Hs[m]=5.1, Tp[s]=12, ESE
- **Poca capacidad portante**
- Anchura de berma= 40 m
- Coraza bicapa cubos (H/V=2/1)

W[t]=21 (morro)
W[t]=14 (tronco)



cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique de San Andrés

Pliego admitía variante en piezas coraza

Ensayos de estabilidad y rebase 2D (UPM) y 3D (CEPYC-CEDEX):

Monocapa 6t ➡ Estable

Bicapa 6t ➡ Estable

2D

3D

Solución Variante:

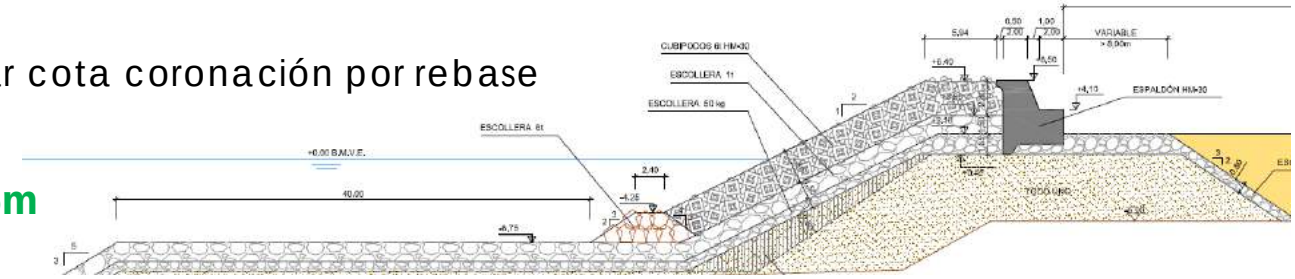
Bicapa por asientos a medio/largo plazo (asimilable a efecto sismo)

Tronco y morro de 6t

Arranque 15t para aumentar cota coronación por rebase

Rc=+6.5m

h=-6.75m



Proyectos realizados: Dique de San Andrés

Parque de fabricación y acopio

Escaso espacio disponible (más de 5.000 piezas)

Superficie parque 160mx40m

Plataforma elevada de hormigonado

Vertido directo y acopio en 5 alturas

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique de San Andrés

Parque de fabricación y acopio

2 ud./día/molde

- Grúas y pinzas
- 8 operarios (turno 10 h)
- 27 moldes de 6t y 2 moldes de 12t

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique de San Andrés

Colocación

Pinzas de presión + mallas

Grúas de orugas de 120t y 300t

Asientos importante (hasta 1m)

⇩

Adaptación Cubipod

Media 70 ud./día

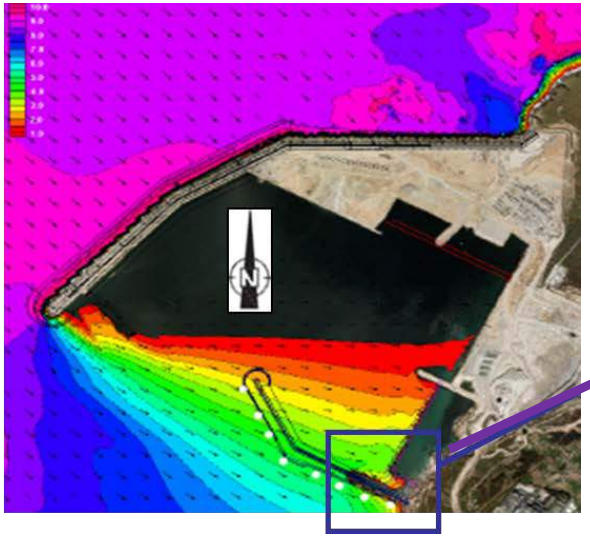
Máx. 120 ud./día

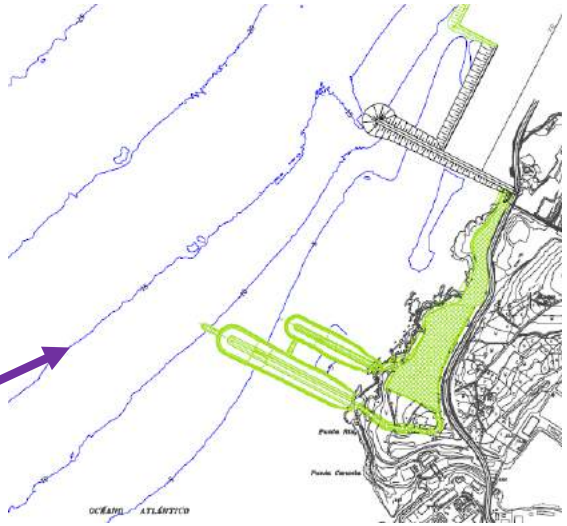
cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique de San Andrés

Obra terminada

Proyectos realizados: Protección toma GNF Langosteira



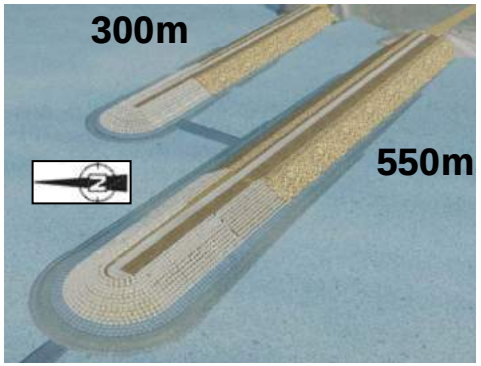


Puerto de nueva creación, terminal graneles solidos

Dique principal: L[m]=3.350, bicapa cubos 150t y 180t (alta densidad)

Proyecto Base:

- Evitar soterramiento toma GNF y 1ª fase contradique
- Hs[m]=5.85, Tp[s]=18, Δh[m]=4.5
- Roca: sin problemas geotécnicos
- Coraza bicapa cubos (H/V=1.75/1) de 20t y 35t



cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Protección toma GNF Langosteira

Pliego admitía variante en piezas coraza

3D

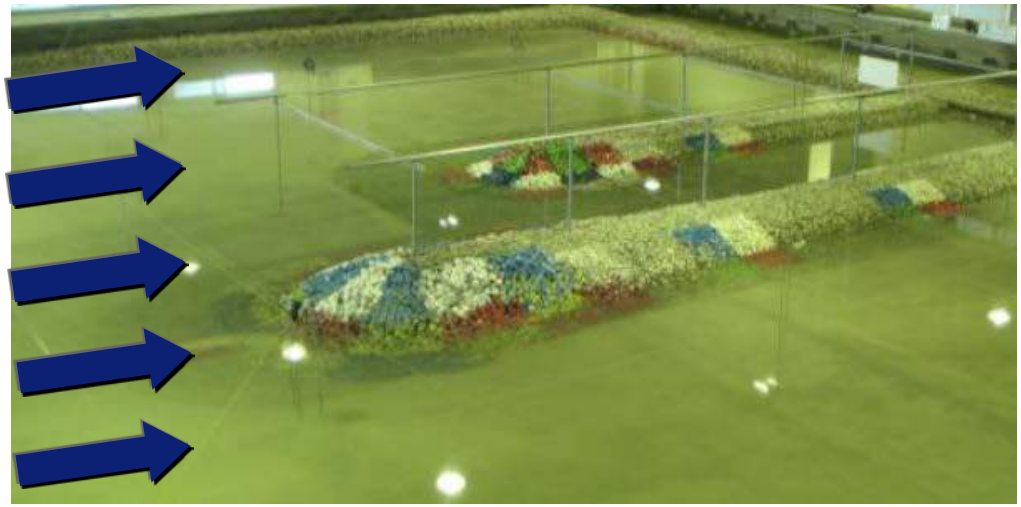
Ensayos de estabilidad hidráulica 3D (UDC):

- Diseño:

  Hs[m]=5.85, Tp[s]=18, Δh[m]=4.5

- **Destrucción**:

  Hs[m]=7.6, Tp[s]=18, Δh[m]=6.5



Solución Variante:

Monocapa talud H/V=1.5/1

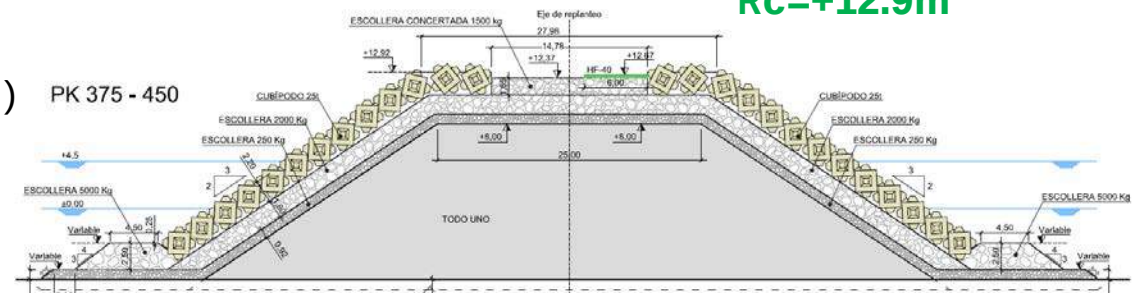
Dique Norte de 15t

Dique Sur de 15t (tronco) y 25t (morro)

Ahorro 60% hormigón

Rc=+12.9m

h=-8.3m



cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Protección toma GNF Langosteira

Parque de fabricación y acopio

Existente, sin limitación de espacio (más de 2.500 piezas)

Movimiento con pórticos de 80t

Plataforma elevada de hormigonado a ambos lados

Vertido directo y acopio en 3 alturas

Turnos de 24h

10 moldes de 25t y 14 moldes de 15t

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Protección toma GNF Langosteira

Colocación

Media 80 ud./día

Pinzas de presión

Grúas de orugas de 220t y 600t

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Protección toma GNF Langosteira

Obra terminada

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

Puerto de nueva creación, terminal graneles solidos

Dique principal: L[m]=3.350, bicapa cubos 150t y 180t (alta densidad)

Proyecto Base:

- 2ª fase contradique
- Hs[m]=8.75, Tp[s]=18, Δh[m]=4.5
- Roca: sin problemas geotécnicos
- Coraza bicapa cubos (H/V=2/1) de 25t y 50t
- Longitud total 1350m

cubipod
effective breakwaters made easy

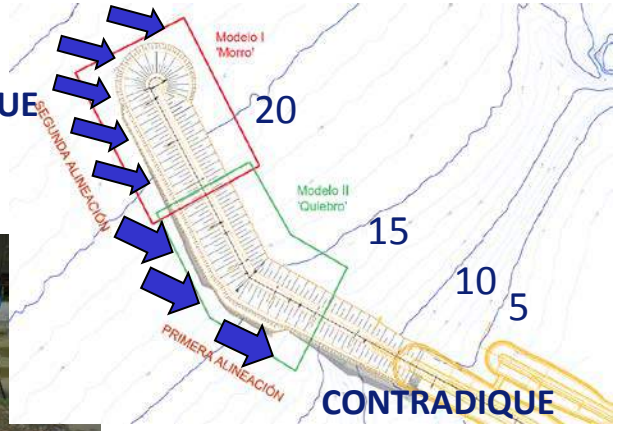
Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

Pliego admitía variante en piezas coraza

Ensayos de estabilidad hidráulica 3D (UDC):

	Hs[m]		
T_R [años]	Quiebro(1)	Tronco(2)	Morro(3)
50	6.23	5.78	4.20
689,5	7.13	6.62	4.77
4.975,5	7.76	7.20	5.16
ELU (ensayos)	8.75	8.25	5.85
Hs (ensayos):	**>9.5**	**>9.5**	**>7.1**

3D



Solución Variante:

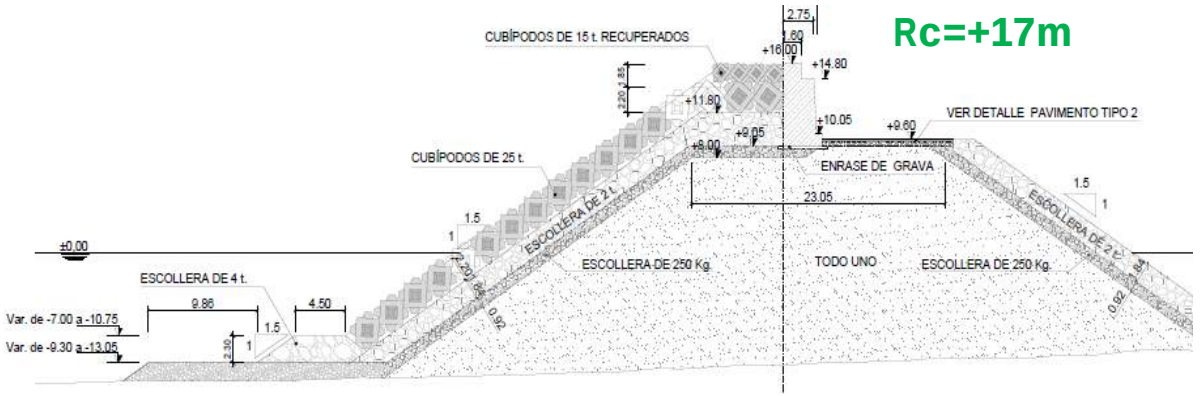
talud H/V=1.5/1

Tronco monocapa 25t

Quiebro monocapa 30t

Morro bicapa 45t

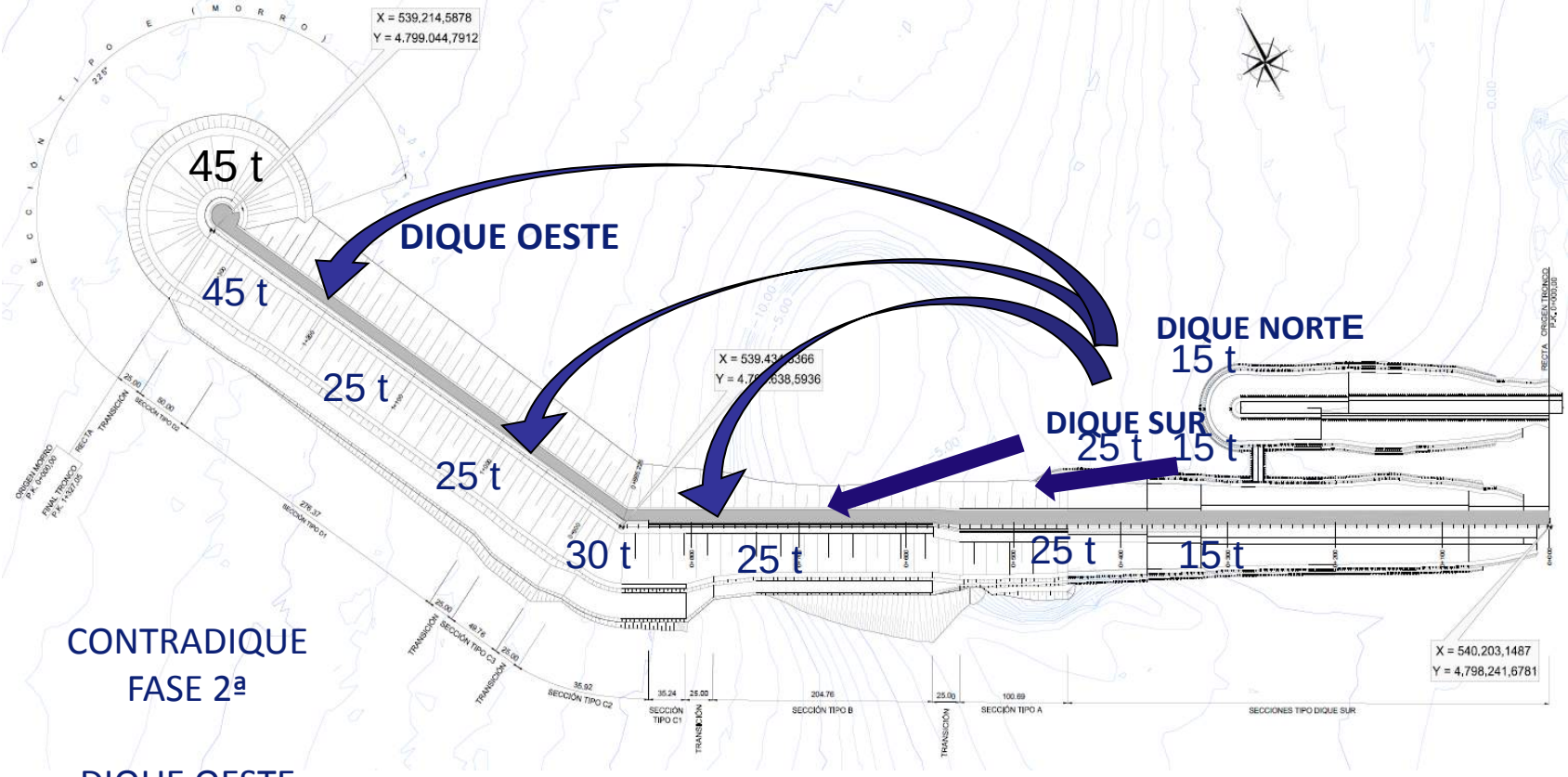
h=-22m



cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

REUTILIZACIÓN DE CUBÍPODOS DE 15 t y 25 t (865x15t y 501x25t)



CONTRADIQUE
FASE 2ª

DIQUE OESTE
(2014-2016)

Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

Parque de fabricación y acopio

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

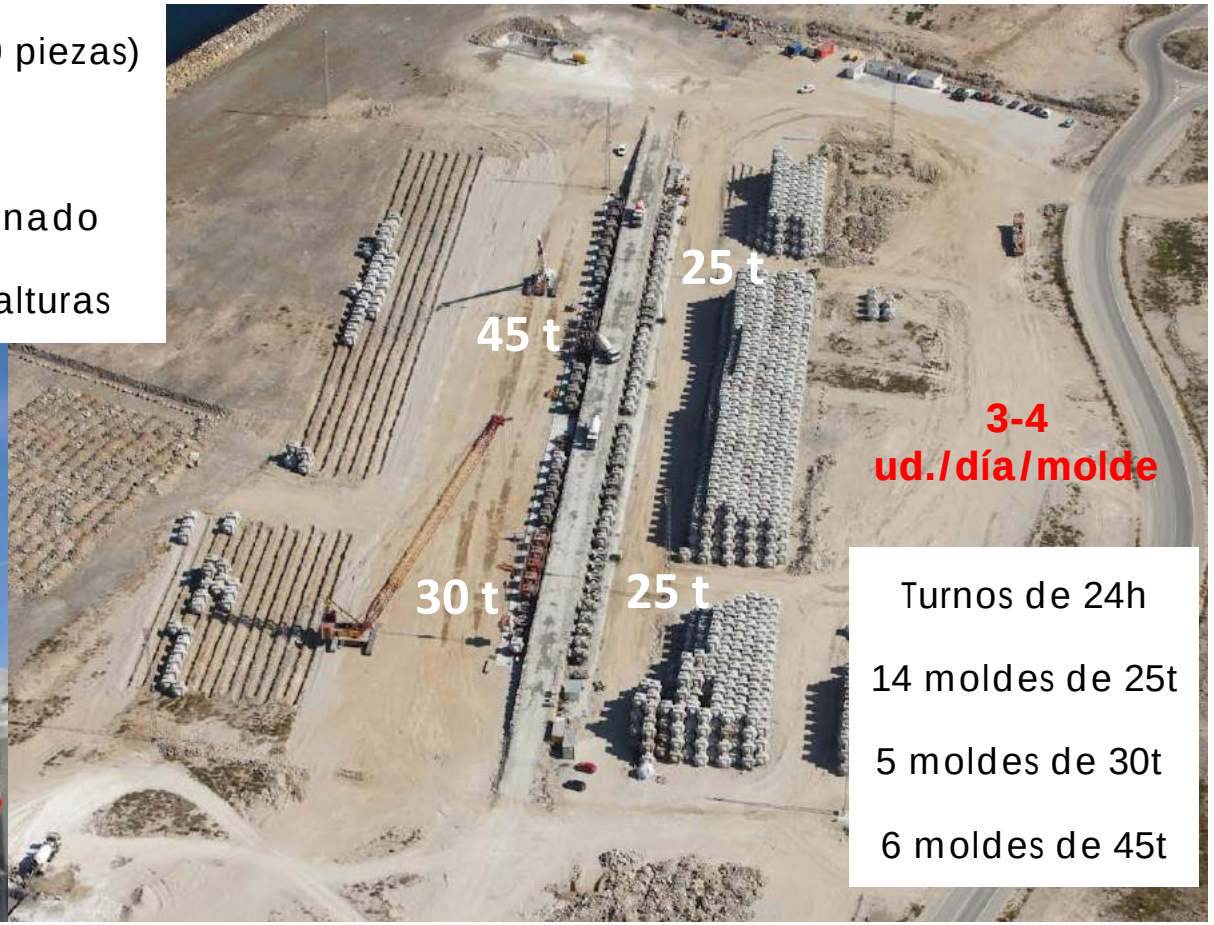
Parque de fabricación y acopio

Espacio suficiente (más de 8.000 piezas)

Movimiento con grúas

Plataforma elevada de hormigonado

Vertido directo y acopio en 4-5 alturas



Turnos de 24h

14 moldes de 25t

5 moldes de 30t

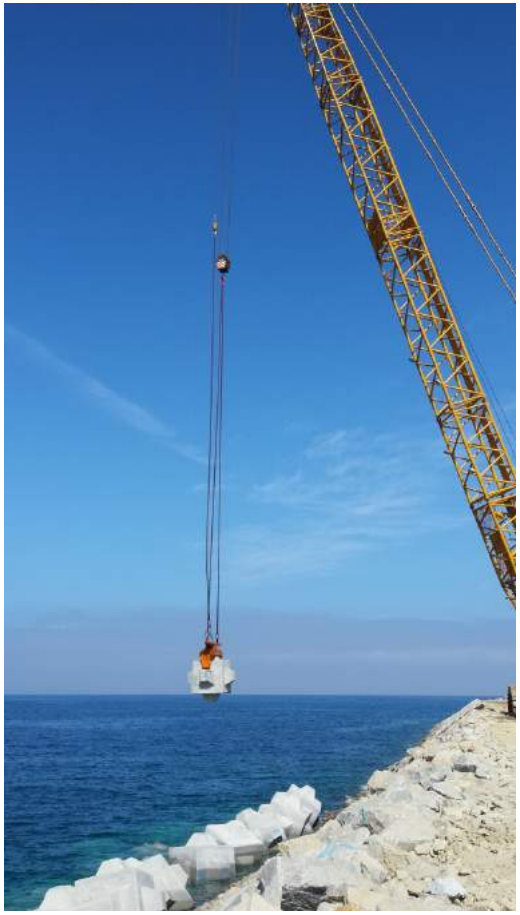
6 moldes de 45t

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

Colocación

Media 80 ud./día



Pinzas de presión

Grúas de orugas

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique Oeste Langosteira

Obra Octubre 2016

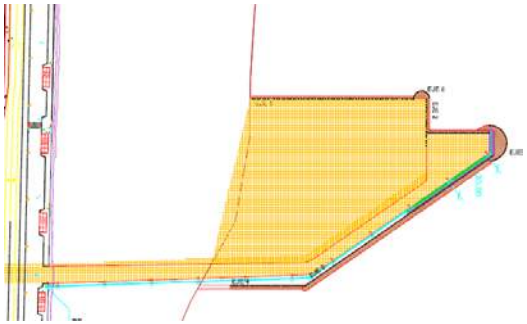
cubipod
effective breakwaters made easy

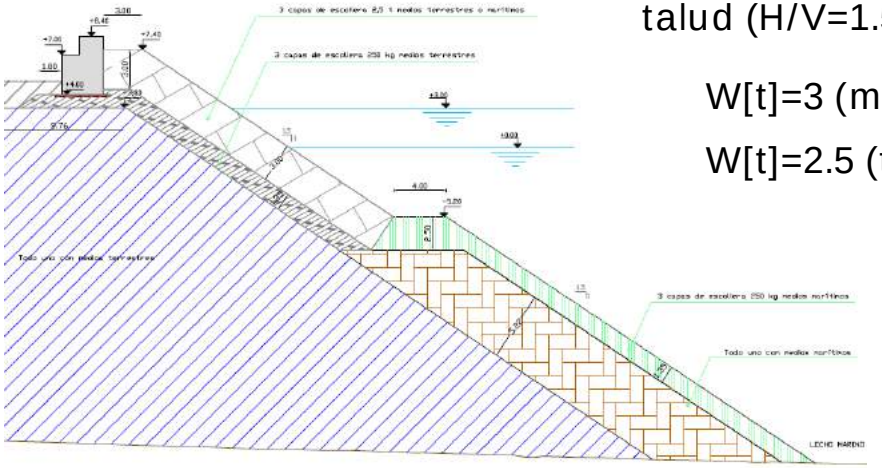
Proyectos realizados: Contradique de la Esfinge

Longitud 260m

PUERTO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

- Cruceros, contenedores, pasajeros y reparación





Proyecto Base:

- Mejorar abrigo dársena
- Hs[m]=2.7, Tp[s]=10
- **Poca disponibilidad piedra**
- Berma intermedia a la -5.2m
- Coraza tricapa escollera con talud (H/V=1.5/1)

W[t]=3 (morro)

W[t]=2.5 (tronco)

h=-23m

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Contradique de la Esfinge

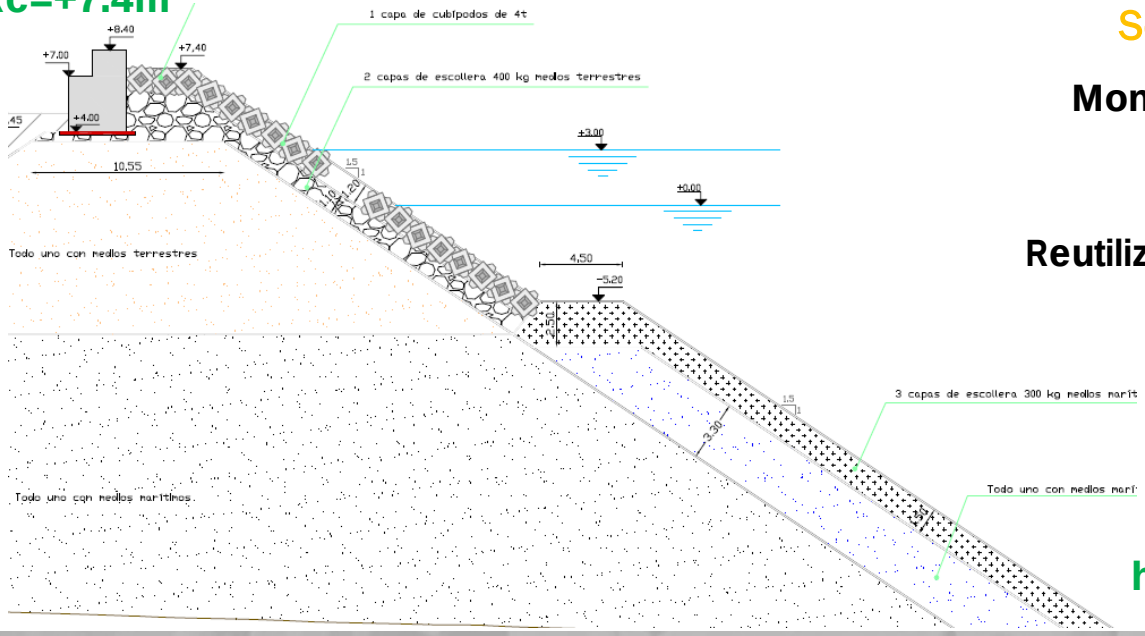
Pliego admitía variante en piezas coraza

Solución Variante:

Imposibilidad de acometer obra con escollera de la isla

Monocaca Cubipod de 4t ➡ Ahorro en plazo y en coste

Rc=+7.4m



h=-23m

Solución Construida

Monocaca Cubipod de **6t**

Reutilización encofrados San Andrés (Puerto de Málaga)

Ahorro en plazo y en coste

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Contradique de la Esfinge

Parque de fabricación y acopio

Sin restricciones de espacio disponible (más de 1.800 piezas)

Plataforma elevada de hormigonado a ambos lados

Vertido directo y acopio en 4 alturas

2 ud./día/molde

Camión pluma y pinzas

20 moldes de 6t reutilizados

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Contradique de la Esfinge

Colocación

Pinzas de presión + mallas

Grúa de neumáticos autoportante

Media 90 ud./día

cubipod
effective breakwaters made easy

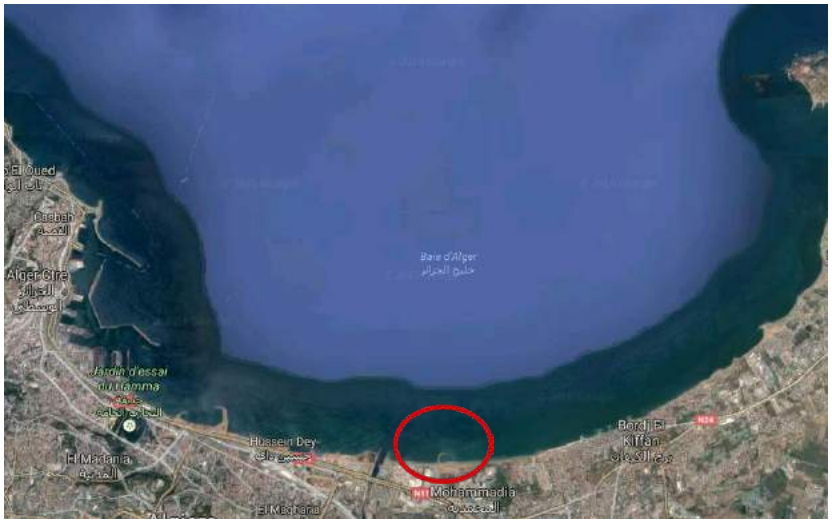
Proyectos realizados: Contradique de la Esfinge

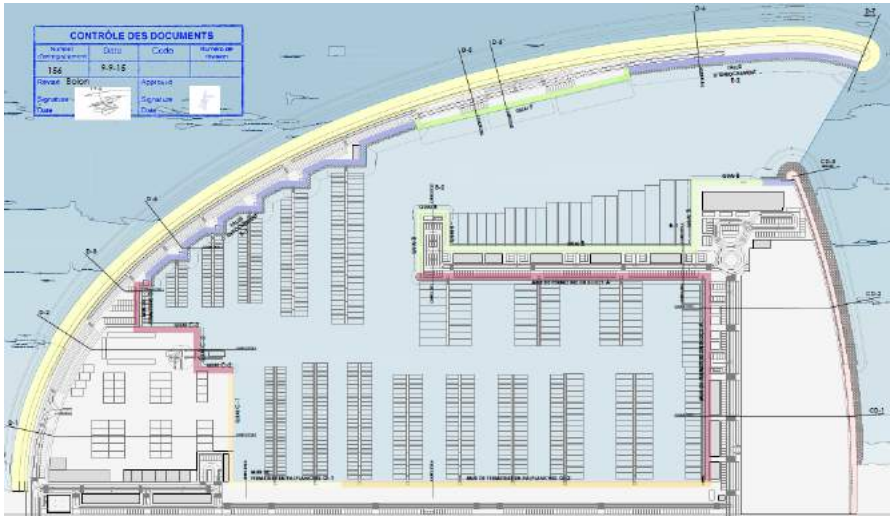
Obra terminada

h=-6.5m

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Marina Bay d´Argel





Longitud 988m

Puerto de nueva creación

Propósito: incentivar las actividades náutico-deportivas

Oleaje: Hs[m]=5, Tp[s]=12.8

Soluciones alternativas de la coraza

- Bloque Antifer
- Accropode ™
- **Cubipod**

W[t]=3 (morro)

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Dique de San Andrés

La ingeniería apostó por la alternativa de coraza con **Cubipod**

2D

Ensayos de estabilidad y rebase 2D en el Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA)

Bicapa 3t ➡ Estable

Solución Proyecto: Cubipod

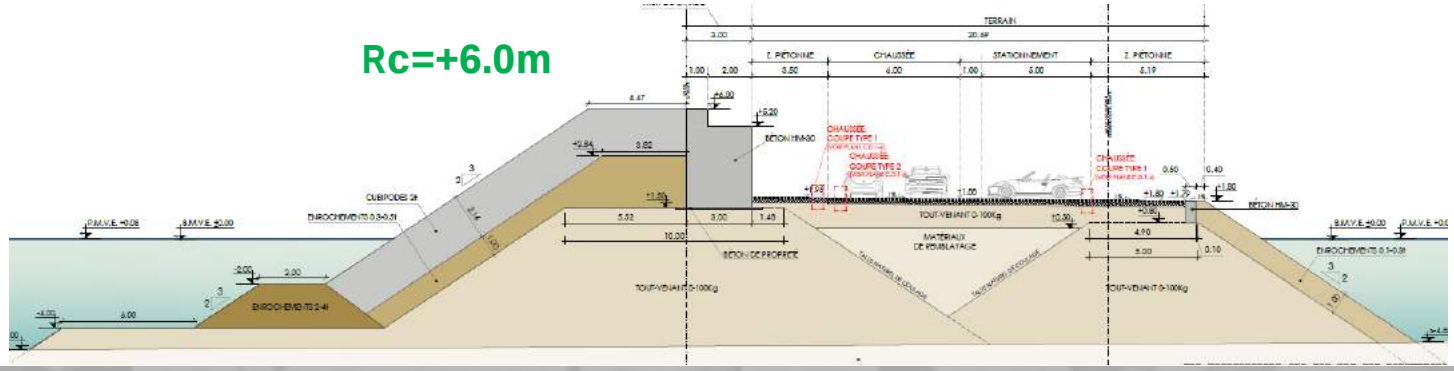
Bicapa por petición cliente/ingenieria

Tronco de 3t

Morro de 12t

Rc=+6.0m

h=-6.5m



cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Marina Bay d´Argel

Parque de fabricación y acopio

Sin restricciones de espacio disponible (más de 16.000 piezas)

Plataforma elevada de hormigonado a ambos lados

Vertido directo y acopio en 1 altura

Grúa autoportante
70 moldes de 3t
4 moldes de 12t

Carretilla frontal

Problemas constantes de suministro

2 ud./día/molde

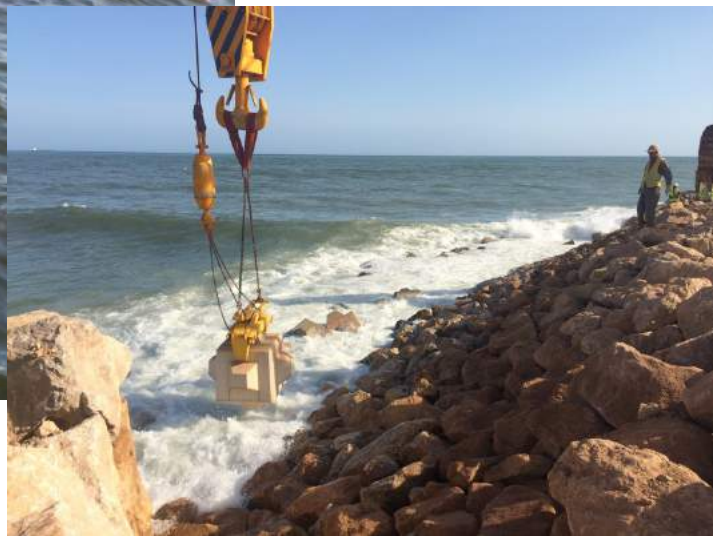
cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Marina Bay d´Argel

Colocación

Pinzas de presión + mallas

Grúa de orugas



Media 60 ud./día

Operador grúa no experto

cubipod
effective breakwaters made easy

Proyectos realizados: Marina Bay d´Argel

Obra septiembre 2016

Conclusiones

- Sólido desarrollo técnico
- Sin limitación de tamaño ni de profundidad de coraza (al contrario que piezas *bulky)*
- Alta estabilidad hidráulica ($K_{D\ monocapa} = 12$ y $K_{D\ bicapa} = 28$)
- Consumo de hormigón muy inferior al del resto de piezas masivas
- Permite taludes tendidos, ideal para condiciones sísmicas
- Se adapta a los asientos diferenciales, ideal para malas condiciones geotécnicas
- Requerimiento de calidad del hormigón poco estrictos
- Fabricación industrializada → ahorro de costes y plazo
- Medios de manipulación muy versátiles y seguros (pinzas de presión)
- Colocación rápida y fácil, sin reglas especiales de orientación entre piezas
- No requiere la presencia de personal especializado (buzos)

cubipod
effective breakwaters made easy

Gracias por su atención

- COST SAVING
- HIGH HYDRAULIC STABILITY
- HIGH STRUCTURAL STRENGTH
- SINGLE & DOUBLE-LAYER ARMORS
- RANDOM PLACEMENT: 8-12 UNITS/HOUR
- VERTICAL MOLDS: 3 UNITS/DAY/MOLD
- MULTI-LEVEL STACKING
- CLAMP HANDLING
- LOW MAINTENANCE COST

SATO

Paseo de la Castellana 259-D
28046, Madrid (Spain)
(+34) 91 348 4574
info@cubipod.com
Cubipod

www.cubipod.com