

## ANNEX 1: Aplicació al Port Olímpic de Barcelona

### A.1.1 Introducció

En el següent annex es pretén aplicar el programa de manteniment que s'ha comentat anteriorment a un cas pràctic: El Port Olímpic de Barcelona.

L'Ajuntament de Barcelona és el concessionari d'aquest port des del 20 de juny de 1990 fins el 20 de juny del 2020, és a dir, durant 30 anys. Degut a què actualment (finals del 2007) ens trobem aproximadament en el punt mig de la seva concessió es va considerar necessari realitzar una comprovació de l'estat actual del Port. Aquest estudi implicà una revisió general de l'estat de les obres de recer, d'amarrament, instal·lacions, edificis, etc. per poder donar una valoració final de les actuacions necessàries a realitzar a curt, mig i llarg termini.

Així doncs, primer de tot necessitem conèixer algunes dades bàsiques d'aquest port esportiu i algunes de les conclusions a les que es van arribar en aquest estudi i que es descriuen a continuació per tal de poder dissenyar un programa de manteniment adequat a les necessitats específiques d'aquest Port.



Fig. 1: Planta del port de Olímpic de Barcelona indicant les parts bàsiques d'aquest. En vermell està marcat el dic submergit d'escullera; en groc el dic vertical i contradic; en blau els molls de formigó, alguns amb pantanans flotants; i en verd els pantanans de lloses de formigó pretesat.

## A.1.2 Dades bàsiques de partida

### A.1.2.1 Situació i Descripció

El Port Olímpic està situat a Barcelona, davant de la Vila Olímpica, entre les platges de la Barceloneta i Nova Icària. És una estructura rectangular amb tres dics de tancament que arriben a una alçada de 7 m.s.n.m. El dic sud, també anomenat de Carles I és la continuació del carrer de la Marina. El dic nord és la continuació del carrer Pamplona. I finalment, d'aquest parteix un tercer dic cap al sud, anomenat de Poblenou o de Recer, de 500 m de longitud i amb una forma corba per tal de distribuir i minimitzar l'energia de les onades. A més disposa d'un espigó de contenció de sorres a la zona del contradic.

L'estructura bàsica és rectangular formada pel moll de Terra de 200 m aproximadament de moll (oest), pel moll Carles I de 200 m aproximadament de moll (sud), pel dic Nord de 180 m aproximadament de moll (nord) i dic de Recer de 350 m aproximadament de moll (est). A més, també hi ha el moll Intermig de 150 m aproximadament de moll amb 5 pantalans de 150 m cadascun. La superfície d'aigua portuària és de 8 ha aproximadament.

Té una capacitat de 743 amarratges de 7 a 30 m d'eslora. Disposava d'un escar de 2.900 m<sup>2</sup> al moll Intermig i una grua d'embarcacions de fins a 6 T o un Travel lift per les més grans (màxim 45 T).

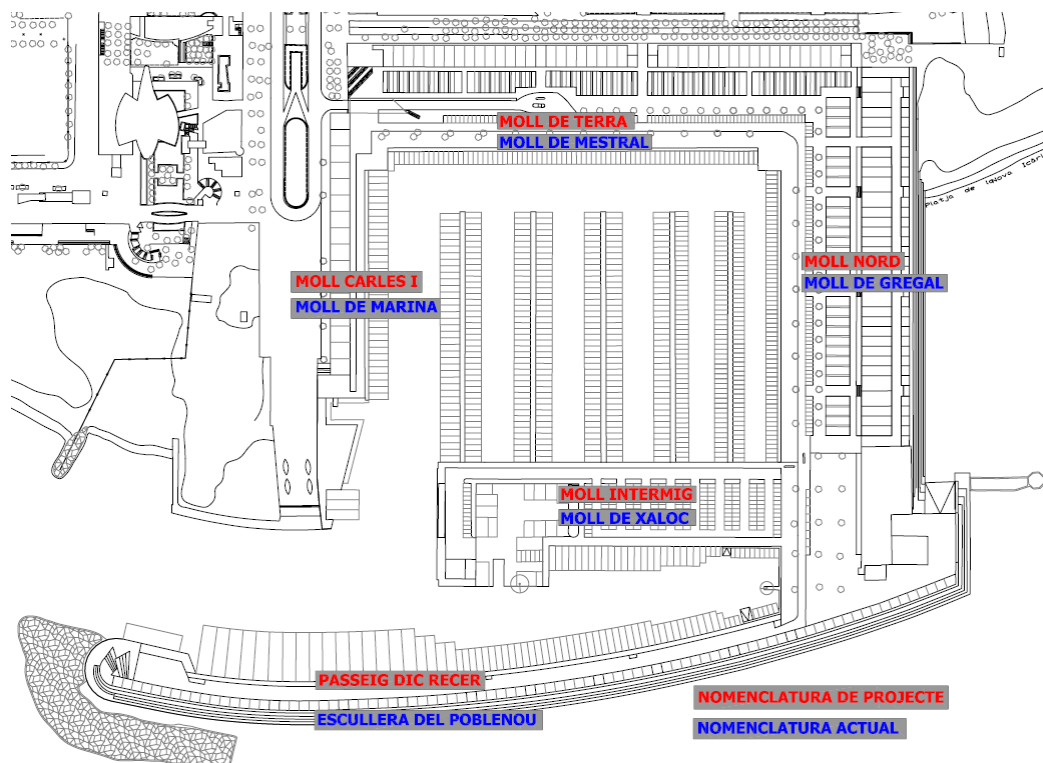
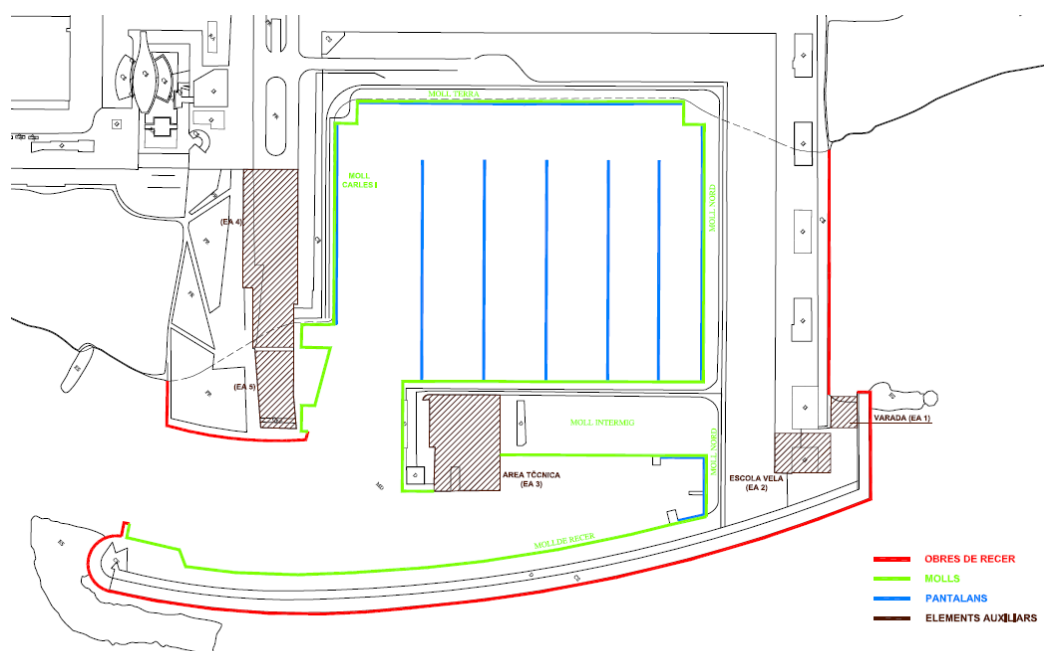


Fig. 2: Plànol de referència de la nomenclatura antiga i nova del Port Olímpic.



	AMIDAMENTS
SUPERFÍCIE PORT	75.000 m <sup>2</sup>
PANTALANS	1.400 m.l.
OBRES DE RECER	1.000 m.l.
MOLLS	1.700 m.l.

Fig. 3: Plànol de les diferents superfícies del Port Olímpic.

En el següent plànol d'identificació hi apareixen les diferents zones del port, però cal remarcar que bàsicament existeixen cinc:

1. *Passeig de Recer*, que és el format per tot el dic de recer incloent la part exterior (protecció de les onades) i interior (amarrament de vaixells).
2. *Moll Nord*, que és el format pel passeig, la zona d'amarrament de vaixells, l'Àrea de Varada i l'Edifici Nord.
3. *Moll Intermig*, que està format per la zona d'aparcament de vehicles, amarrament de vaixells, sortida de pantalans, Àrea Tècnica i Edifici de Capitania.
4. *Moll de Terra*, format pel passeig i la zona d'amarrament de vaixells.
5. i *Moll Carles I*, configurat per la zona d'amarrament de vaixells, contradic i magatzems.

Després també tenim altres zones com poden ser el contradic, l'edifici del Nord (amb el passeig i la zona de restaurants) o els accessos, que poden ser tant escales com la rampa d'accés rodant.

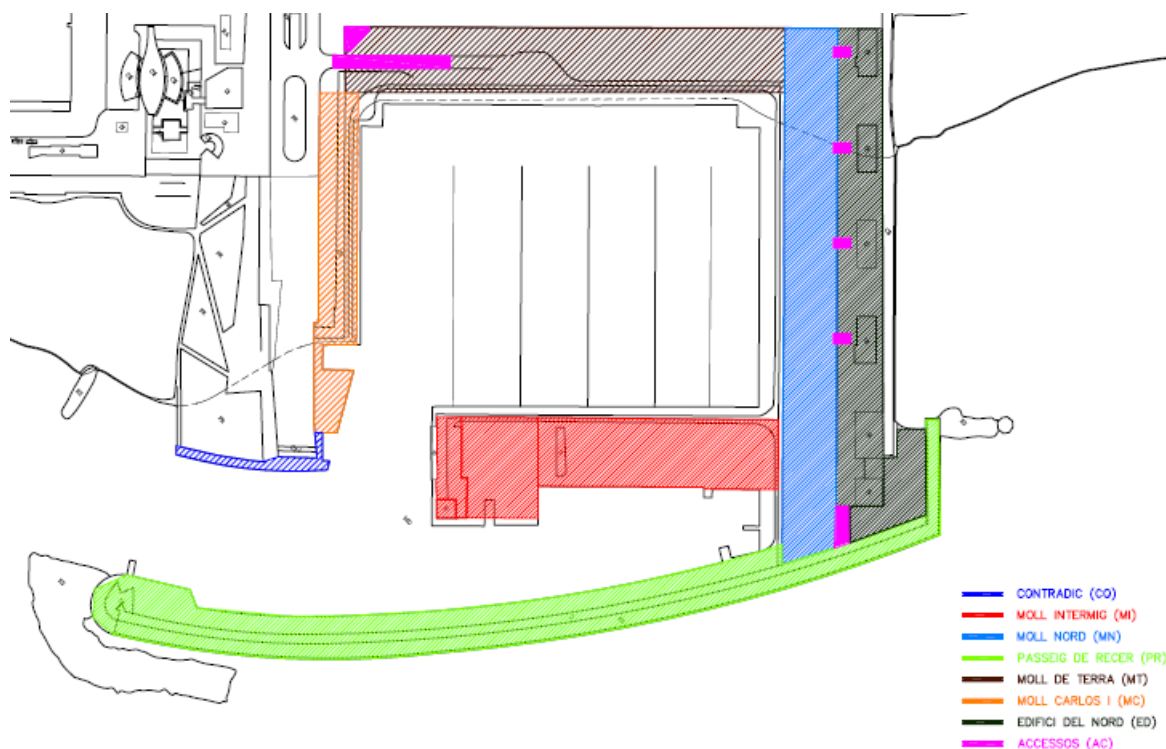


Fig. 4: Plànol d'identificació de les diferents zones del port.

### A.1.2.2 Construcció

L'any 1991 va ser construït el Port Olímpic de Barcelona amb la necessitat de construir el dic de recer amb una cota de coronació prefixada (per motius estètics) que plantejà la necessitat de disposar d'obres de defensa complementaries que reduïssin l'alçada d'ona que és susceptible d'arribar al dic.

Les obres de defensa projectades consistien en quatre dics d'escullera submergits i un dic semisubmergit de protecció del morro amb les següents característiques:

1. Els dics es construeixen amb un mantell exterior de 2 capes d'escullera de 8.000 Kg i un nucli d'escullera graduada de 500 a 5.000 Kg amb un pes mig de 1.500 Kg.
2. Els dics en planta tenen els seus eixos longitudinals formant un angle de 30° aproximadament respecte a l'eix del dic de recer i a una distància mitja de 60 m. La seva longitud és de 109 m.
3. En secció, la coronació dels dics té un ample de 16 m aproximadament. La cota de coronació està submergida 0,5 m sota el nivell mig del mar i les pendents laterals són de 1,5H/1,0V.
4. El cinquè dic, destinat a la protecció del morro té un eix paral·lel al dic de recer i una longitud igual a la dels anteriors. El mantell exterior es realitza amb blocs de 25 Tn i dues capes d'escullera de 2.000 Kg i 250 Kg respectivament. El nucli està format per escullera sense classificar.
5. La secció transversal del dic té la seva coronació a la cota 2,20 m, amb una amplada de 20 m i està directament adossat al dic de recer.

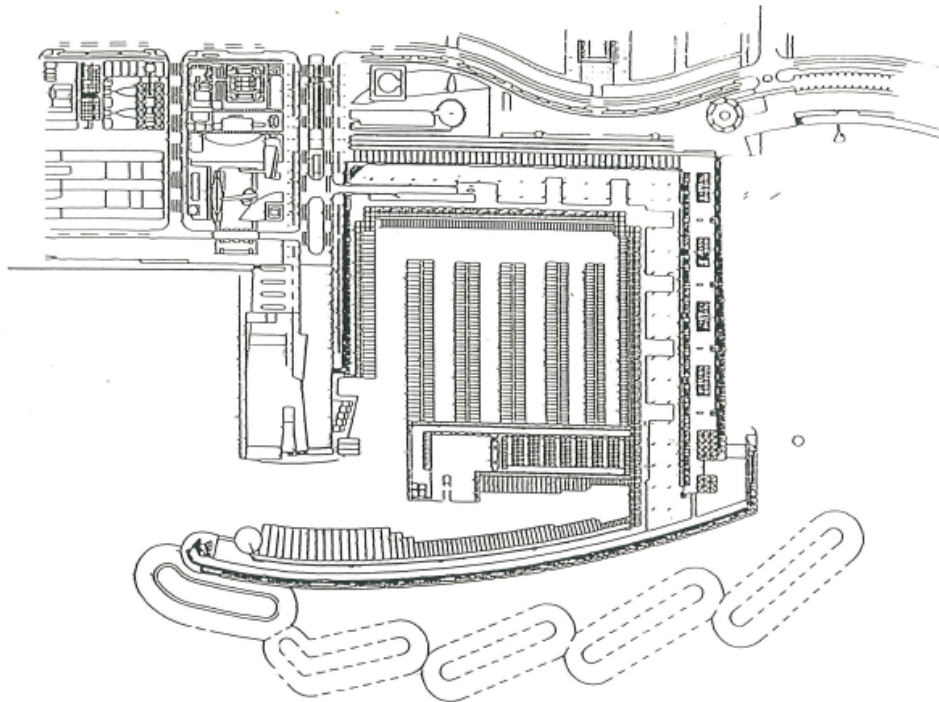


Fig. 5: Plànol de les obres de defensa projectades on apareixen els quatre dics submergits en línia discontinua i el dic semisubmergit de protecció del morro en línia contínua.

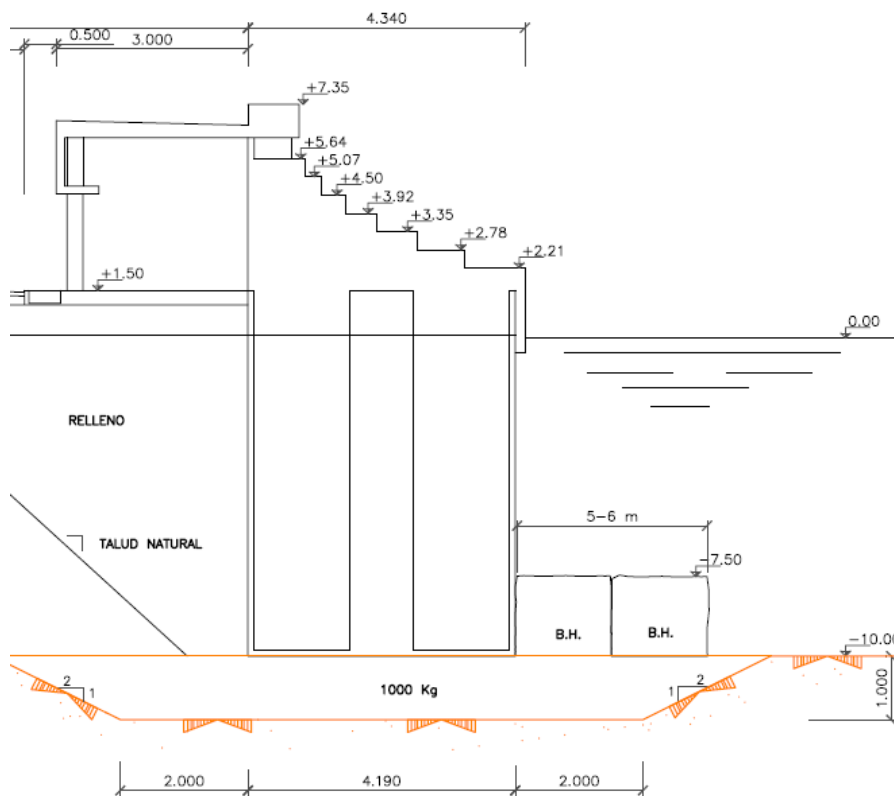


Fig. 6: Secció tipus del Dic de Recer executada.

### A.1.2.3 Reparacions

A data de juny de 2002, es va realitzar el projecte de reparació dels danys causats pel temporal dels dies 10 i 11 de Novembre al dics submergits i espigons de la zona de vela del Port Olímpic. La reparació va constar de dues fases:

1. Reompliment de 42.000 t d'escullera de 5 a 8 t als dics submergits.
2. Reompliment de 800 t d'escullera de 5 a 8 t a l'espigó de la zona de vela.

### A.1.2.4 Resultats dels assajos de l'estudi

A continuació es presenten les taules dels resultats obtinguts dels diferents assajos realitzats durant aquest estudi, adjuntant els seus valors de referència i marcant en vermell els valors obtinguts superiors als límits. També s'adjunta al final d'aquest apartat un plànol on s'indiquen els emplaçaments de les extraccions dels diferents testimonis.

REFERÈNCIA MOSTRA	POROSITAT %
<b>Valor de referència</b>	<b>&lt; 15</b>
Contradic Carles I (MZ)	<b>30.35</b>
Moll Intermiq (MX)	<b>20.85</b>
Moll de Terra (MW)	13.10
Dic de Recer (MV)	<b>17.10</b>
Moll Carles I (MY)	14.71

Taula 1: Resultats dels assajos de porositat de mostres de formigó de la part submergida.

REFERÈNCIA MOSTRA	POROSITAT %
<b>Valor de referència</b>	<b>&lt; 15</b>
Morro Dic de Recer (T1)	12.17
Passeiq Dic de Recer (T2)	<b>19.08</b>
Edifici Moll Nord (T3)	<b>15.87</b>
Passeiq Dic de Recer (M1)	<b>15.57</b>
Dic de Recer (M2)	13.89

Taula 2: Resultats dels assajos de porositat de mostres de formigó de la part emergida.

REFERÈNCIA MOSTRA	TENSIÓ TRENCAMENT N/mm <sup>2</sup>
<b>Valor de referència</b>	<b>&gt; 30</b>
Morro Dic de Recer (T1)	<b>27.49</b>
Passeig Dic de Recer (T2)	41.27
Edifici Moll Nord (T3)	32.08

Taula 3: Resultats dels assajos de resistència a compressió de formigó de la part emergida.

REFERÈNCIA MOSTRA	% CLORURS SOBRE PES MOSTRA
<b>Valor de referència</b>	<b>&lt; 0.1</b>
Passeig Dic de Recer (M1)	<b>0.23</b>
Dic de Recer (M2)	<b>0.58</b>
Edifici Moll Nord (M3)	<b>0.54</b>

Taula 4: Resultats dels assajos de contingut de clorurs de formigó de la part emergida.

REFERÈNCIA MOSTRA	RECOBRIMENTS (mm)
<b>Valor de referència</b>	<b>&gt; 35</b>
Passeig Dic de Recer (M1)	Frontal 40 / <b>30 lateral</b>
Edifici Moll Nord (M3)	Frontal 45 / <b>25 lateral</b>
Passeig Dic de Recer (C2)	<b>17</b>
Passeig Dic de Recer (C3)	Frontal 50 / 37 lateral

Taula 5: Resultats de les mesures de recobriment de formigó de la part emergida.

REFERÈNCIA MOSTRA		
<b>Valor de referència</b>	<b>Penetració</b>	<b>Recobriments</b>
Morro Dic de Recer (T1)	9	-
Passeig Dic de Recer (T2)	15	30
Edifici Moll Nord (T3)	<b>30</b>	25
Passeig Dic de Recer (C1)	<b>18</b>	17

Taula 6: Resultats dels assajos de penetració de la carbonatació amb comparació amb els recobriments de formigó corresponents. Aquests són de la part emergida.

Així doncs, aquests resultats es poden resumir en què:

- La porositat de les zones submergides és superior a la recomanada. En canvi, a les parts emergides està just al límit del 15%.
- Referent a la resistència del formigó trobem valors acceptables.

- En canvi, pel que fa al contingut de clorurs, totes les mostres obtenen valors molt per sobre del límit.
- Els recobriments són acceptables frontalment però fallen lateralment.
- I finalment, la penetració de la carbonatació és normal tenint en compte l'edat del Port. Aproximadament avança a 1 mm/any.

Com a conclusió d'aquests resultats podem dir que la carbonatació avança a un ritme normal (1 mm/any) però en alguns punts ja ha sobrepassat el recobriment de formigó de l'estructura. I com el contingut de clorurs és força elevat degut a una elevada porositat que facilita aquest procés, això facilita que el procés de corrosió de l'armadura ja s'hagi iniciat i estigui en un procés mig o avançat depenent de les zones. Tot i això, els resultats de resistència del formigó són acceptables i per tant, no hi ha risc de què col·lapsi l'estructura. Però sí de què es produeixin fissures al recobriment de formigó que facilitin el seu trencament i deixin l'armadura descoberta, amb el perill immediat que això suposa per als usuaris i futur per l'estructura.



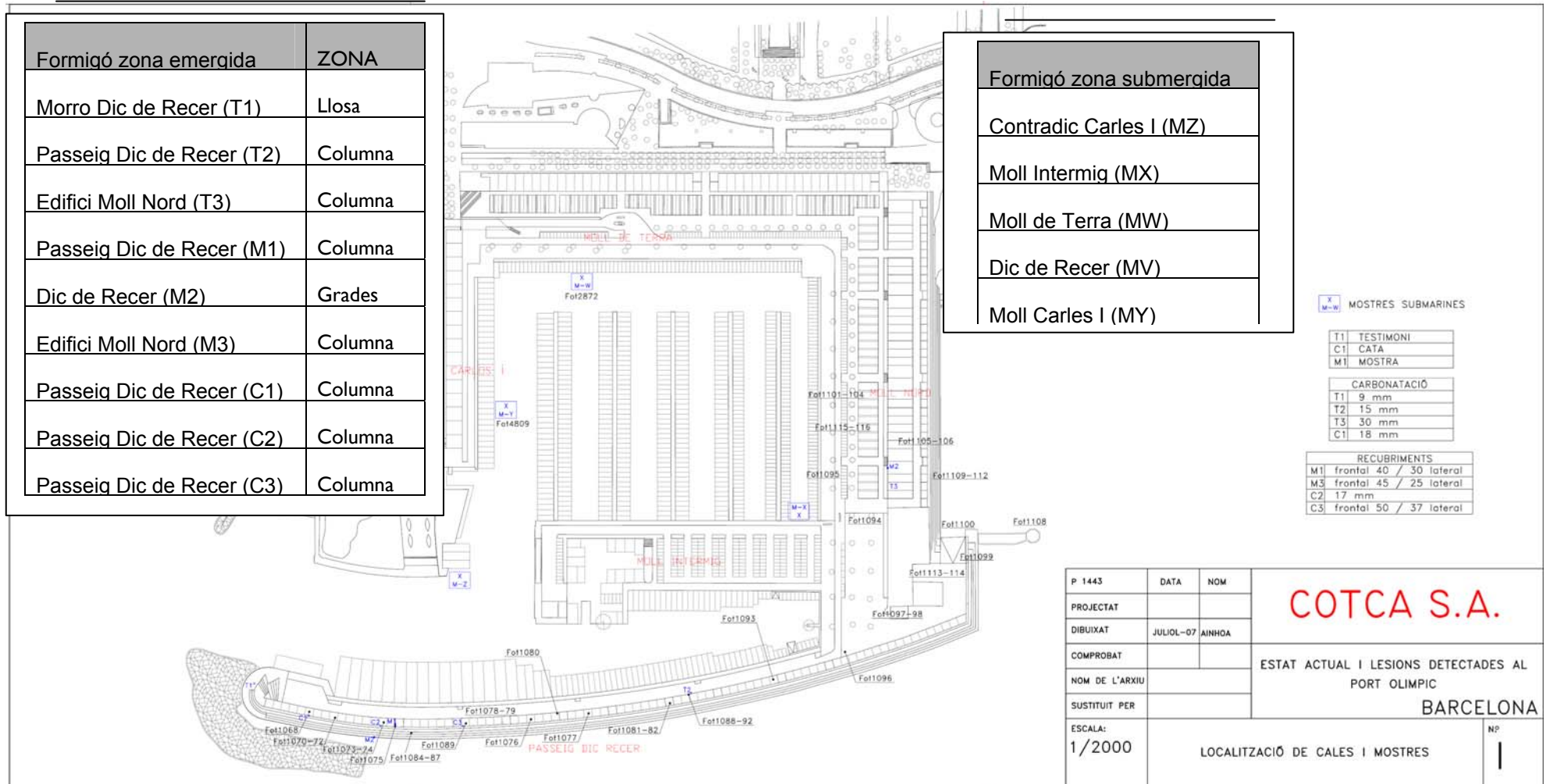


Fig. 7: Plànol de situació de les diferents mostres analitzades per COTCA.

### A.1.2.5 Conclusions de l'estudi

Així doncs, després de la realització d'aquest estudi les conclusions s'han dividit en quatre apartats: urbanització, obra civil, medi ambient i instal·lacions. Però en aquí només es resumeixen les referents a obra civil, ja que el programa de manteniment està dissenyat únicament per aquest. Les activitats que es recomanen sempre estan classificades en funció de la seva prioritat, sent aquesta:

- *Curt termini:* La patologia està en un estat de degradació avançat i la seva gravetat és alta perquè implica un risc alt d'accident greu d'alguna persona o d'inutilització parcial o total del Port. En aquest cas la seva reparació es recomana que sigui inferior als 3 anys.
- *Mitjà termini:* La patologia està en un estat de degradació avançat però la seva gravetat és baixa perquè no implica un risc d'accident de cap persona ni una inutilització parcial o total del Port. Simplement aquest tipus de patologia afecta a la correcta explotació i funcionalitat del port. En aquest cas es recomana actuar abans dels 7 anys.
- *Llarg termini:* La patologia està en un estat de degradació mitjà i no comporta un risc d'accident ni disminueix la funcionalitat del Port. Però aquest tipus de lesions, si són tractades a temps poden evitar problemes considerables en un futur. És per això que el termini màxim per a la seva realització sigui abans de la finalització de la concessió al 2020, és a dir, abans dels 13 anys.

A curt termini les principals línies d'actuació recomanades consisteixen en:

1. Sanejar i reparar el formigó i armadures de la zona emergida del Dic de Recer.
2. Reparar els descalços/buidats (zona submergida) més greus que es troben al moll Nord, moll de Terra i Àrea Tècnica.
3. Substituir el pantalà flotant del moll Nord utilitzat per l'Escola de Vela i els flotadors del pantalà de moll de Terra.
4. Reparar els elements tallants presents a la rampa de varada de l'Escola de Vela.



Fig. 8: Taques generalitzades d'òxid i falta de formigó que deixa a la vista parcialment les armadures d'acer. Les taques són una clara senyal que l'armadura s'està oxidant, per tant, està augmentant el seu diàmetre i acabarà per trencar el formigó com en la resta de casos.

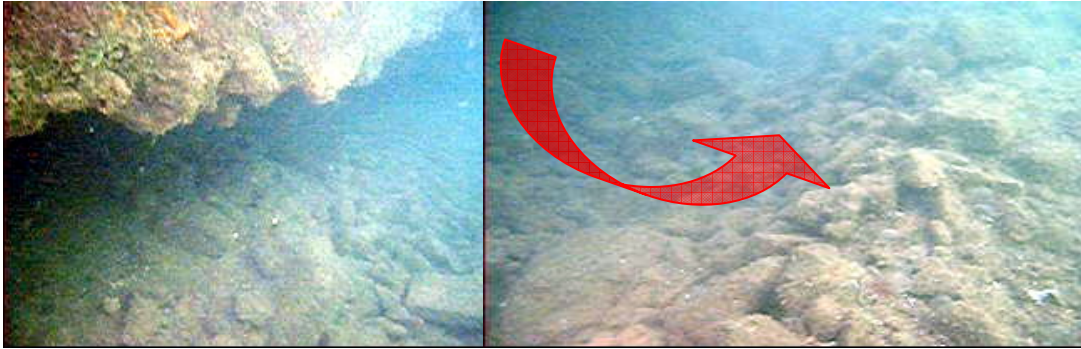


Fig. 9: Descalç de formigó d'uns 24 m aproximadament entre l'amarrament 1252 i 1260. La causa d'aquest descalç provoca una acumulació de sediments a la sortida d'aquest, tal i com es pot veure a la fotografia.



Fig. 10: Els pantalans flotants presenten clars símptomes d'oxidació i trencaments. Aquests no estan totalment horitzontals degut a un fort deteriorament de l'estructura.

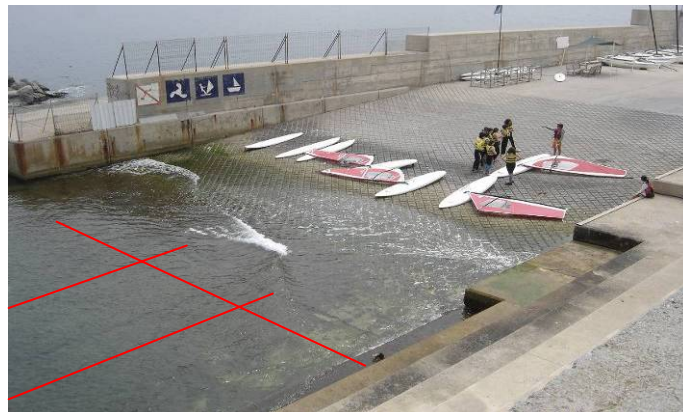


Fig. 11: Els elements metàl·lics tallants presents a la rampa de varada provenen dels carrils guia que s'utilitzen per formigonar-la. Però degut a l'erosió marina, el recobriments de formigó ha marxat i els carrils guia s'estan oxidant. Aquest fet és molt perillós perquè també s'accedeix a peu per aquesta rampa i això pot provocar talls de caràcter molt greu.

A mig termini les línies d'actuació més destacades són:

1. Reparar els descalços, buidats, juntes i pilones (zona submergida) del Dic de Recer i molls.
2. Reomplir amb escullera de 5 – 8 tones o superior (ja que aquesta es desplaça amb facilitat) el dic submergit.
3. Substituir els reforços situats a l'estació de combustible contra impactes de vaixells.
4. Realitzar un manteniment de fusteria.



Fig. 12: A l'esquerra, oxidació i trencament de les proteccions del moll per a amarraments temporals en front de Capitania i proveïment de combustible. Això és degut al seu ús intensiu. A la dreta, descalç de formigó d'aproximadament 3x0,3x0,25 m a l'amarratge 5013.

I finalment, a llarg termini es recomana principalment:

1. Reparar les planxes trencaones situades als molls per la reducció d'agitació de l'aigua de l'interior del port.
2. Reparar les canaletes de serveis en mal estat als diferents molls.
3. A l'abalisament nàutic cal col·locar alguns esglaons, repintar i revisar els ànodes de zinc.
4. Realitzar un control dels buidats/descalços i la seva evolució.



Fig. 13: El moll de recer està format per cinc planxes verticals que actuen com a trencaones, però amb el temps alguns dels suports s'han trencat i els podem trobar al fons. Però aquest tipus de lesió no té conseqüències estructurals greus sobre el moll.



Fig. 14: Dos dels ànodes de zinc en diferent estat de degradació. El de l'esquerra encara està sencer i en canvi, el de la dreta ja ha perdut la forma cilíndrica original. La fotografia de la dreta permet comprovar que l'ànode de zinc de l'esquerra encara conserva el seu color original.

### **A.1.3 Programa de manteniment**

Finalment, utilitzant com a base aquesta tesina i aplicant els comentaris resum que s'han exposat en l'anterior apartat, s'han definit els següents programes de manteniment, tant a nivell terrestre com subaquàtic per al Port Olímpic de Barcelona.

S'ha decidit tenir en compte tant qüestions estructurals com d'eficiència a l'hora d'aplicar el programa de manteniment, però sense oblidar-se de qüestions bàsiques econòmiques i polítiques.

Uns exemples de raonaments aplicats per tal millorar l'eficiència d'aplicació del programa són el fet de fer coincidir les revisions subaquàtiques amb el final dels períodes de curt i mig termini, la qual cosa ens permet acabar de definir les prioritats (recomanades a l'estudi) a executar durant els períodes de mig i llarg termini. Un altre exemple d'adaptació del cost del programa de manteniment als ingressos anuals del Port és el fet que es recomana realitzar les inspeccions subaquàtiques en diferents anys de les inspeccions terrestres, repartint així les despeses que aquestes generen. A més, el fet de fer coincidir l'última inspecció exhaustiva del Port amb la finalització de la concessió l'any 2020, permet tenir una valoració global de l'estat del Port per tal de poder optar a una renovació de la concessió i justificar les despeses futures.

#### **A.1.3.1. Programa de manteniment subaquàtic**

Les revisions subaquàtiques de soscavació del dic vertical, vist que no s'ha detectat gairebé cap avaria d'aquest tipus en l'estudi, s'ha decidit executar-les cada 3 anys. Així es fa coincidir aquestes inspeccions amb les referents a la resta d'estructures de formigó, formigó armat i estructures d'acer, on s'han mantingut les freqüències d'inspecció proposades a la tesina degut a uns resultats acceptables però sense arribar a ser positius i que permetin augmentar dites freqüències.

Només s'ha decidit retardar la segona inspecció un any per tal de fer-la coincidir amb el final del període de mig termini (any 2014) definit en l'estudi. Això ens permetrà poder tornar a fer una avaluació completa de l'estructura submergida i acabar de prioritzar les accions proposades inicialment per l'últim període de la concessió i/o trobar noves avaries que necessitin de la seva reparació.

A continuació la següent revisió seria bàsica i seria al cap de tres anys, situant-se enmig del període de llarg termini. Finalment, al 2020, any de finalització de la concessió, es realitzaria una última inspecció exhaustiva de tota la instal·lació de tal manera que es pogués entregar un informe complet de l'estat de tota l'obra submergida del Port.

Pel que fa referència al desplaçament de l'escullera submergida és un problema greu que s'ha detectat a l'informe i és per això que es recomana que es realitzin inspeccions submarines després de forts temporals. En aquest cas, partint de la Figura 100 d'aquesta tesina, com la boia més propera de la que

disposem dades al nostre port és la de Palamós ( $H_S=5m$ ), podem acceptar que per al cas del Port Olímpic de Barcelona considerarem una alçada d'ona de 5m per un període de retorn de 5 anys. Així doncs, sempre que tinguem un temporal amb ones superiors als 5m es recomana realitzar inspeccions de l'escullera. Fins i tot després de l'execució d'un reompliment amb escullera de 5 a 8 tones o superior (recomanat degut a la falta d'estabilitat durant forts temporals) es recomana continuar realitzant dites inspeccions.

TAULA RESUM D'INSPECCIONS SUBAQUÀTIQUES													
Anys	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Curt termini			Mig termini			Llarg termini						
<b>Dic vertical</b>													
Soscavació													
<b>Escullera</b>													
Desplaçament													
<b>ESTRUCTURES DE FORMIGÓ</b>													
<b>Dic vertical</b>													
<b>Molls de formigó submergit</b>													
<b>Pantalans de pilots de formigó</b>													
Formigó per ambients marins													
Calaixos no alineats													
Fort procés d'erosió													
Soscavacions degut a les hèlixs													
Rentat de juntes													
Assentaments													
Fissures													
<b>ESTRUCTURES DE FORMIGÓ ARMAT</b>													
<b>Dic vertical</b>													
<b>Pantalans de pilots de formigó</b>													
Insuficiència de recobriment													
Deteriorament de cantonades													
<b>ESTRUCTURES D'ACER</b>													
<b>Pantalans flotants</b>													
Ancoratge													
Pantalà flotant d'acer													

Taula 7: Taula resum d'inspeccions subaquàtiques recomanades al Port Olímpic de Barcelona.

### **A.1.3.2. Programa de manteniment terrestre**

Pel que fa referència al programa de manteniment terrestre, com a l'estudi no s'han detectat problemes de lliscament o esfondrament en el dic vertical, ni lesions en el mur emergent ni problemes d'agitació a l'interior del Port, s'han suprimit les inspeccions referents a aquestes qüestions.

Pel que fa a ultrapassament, caldria controlar-lo i la millor manera és afegint escullera al dic submergit, ja que la cota de coronació del dic vertical no es pot augmentar per motius estètics. Aquest valor es recomana controlar-lo especialment després del reompliment d'escullera del dic submergit, ja que això ens permetria comprovar si el reompliment ha estat l'adequat. A la vegada s'haurien de fer batimetries després de forts temporals ( $H_S=5m$ ) per tal de seguir l'evolució de l'escullera.

També es recomana fer batimetries del Port cada 3 anys, ja que no s'ha detectat que es tinguin problemes de sedimentació freqüents gràcies a la correcta actuació de l'espigó de contenció de sorres situat a la zona del contradic.

Respecte a les inspeccions visuals bàsiques terrestres de les estructures de formigó, formigó armat i estructures d'acer, s'ha decidit aplicar-les cada 2 anys, tal com recomana aquesta tesina.

Així doncs, la primera inspecció completa de l'obra emergida seria l'any 2013, just un any abans que s'acabés el període de mig termini. Això ens permetria planejar i prioritzar les accions recomanades a l'estudi a realitzar durant l'últim període de la concessió. També podríem trobar noves avaries que fossin necessàries de reparar en aquest mateix període.

Finalment, l'última inspecció exhaustiva estaria programada pel 2019 i junt amb la inspecció subaquàtica del 2020 permetria al Port presentar un informe complet de l'estat de les seves obres tant emergides com submergides. Aquest mateix informe podria servir també per valorar l'esperança de vida útil encara disponible del Port.



TAULA RESUM D'INSPECCIONS TERRESTRES													
Anys	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Curt termini			Mig termini				Llarg termini					
<b>Dic vertical</b>													
Lliscament i esfondrament													
Lesions en el mur emergent													
Ultrapassament													
Reflexió													
<b>Escullera</b>													
Desplaçament													
<b>Bocana</b>													
Sedimentació													
<b>ESTRUCTURES DE FORMIGÓ</b>													
<b>Dic vertical</b>													
<b>Molls de formigó submergit</b>													
<b>Pantalans de pilots de formigó</b>													
<b>Edificació de formigó armat</b>													
Formigó per ambients marins													
Calaixos no alineats													
Fort procés d'erosió													
Soscavacions degut a les hèlixs													
Rentat de juntes													
Assentaments													
Fissures													
<b>ESTRUCTURES DE FORMIGÓ ARMAT</b>													
<b>Molls de pilots de formigó</b>													
<b>Edificació de formigó armat</b>													
Insuficiència de recobriment													
Deteriorament de cantonades													
<b>ESTRUCTURES D'ACER</b>													
<b>Pantalans flotants</b>													
Ancoratge													
Pantalà flotant d'acer													

Taula 8: Taula resum d'inspeccions terrestres recomanades al Port Olímpic de Barcelona.

