

# 150 ANYS DESPRÉS: DES DE L'ICTÍNEO (1859) A L'ICTINEU3, UN SUBMARÍ TRIPULAT PER USOS CIENTÍFICS

Pere Forès, Gian Piero Giuffré, Carme Parareda  
Ictineu Submarins S.L.  
C. Llacuna 162  
08018 Barcelona (Spain)

**Resum.** El 1859 Narcís Monturiol va avarar el seu primer submarí a Barcelona. L'*Ictíneo* (peix-vaixell en grec) era un el·lipsoide de fusta d'olivera i coure a dins d'un casc exterior. El submarí (7m de llarg , 10 tones de desplaçament) podia encabir fins a sis persones i estava dissenyat per profunditats de fins a 50 m. El 1864 es va construir un segon Ictíneo: 17m de llarg, 72 tones de desplaçament, emprant un motor anaeròbic capaç de produir vapor per a la propulsió i oxigen respirable. En els dos vaixells va introduir solucions innovadores per aquell temps i amb el tractat que va escriure, es pot dir que establia les bases per la navegació submarina moderna. Després de 150 anys l'empresa *Ictineu Submarins* està desenvolupant un submarí científic modern. Es submergirà fins a 1200m i podrà acollir un equip de 3 persones. S'anomenarà *Ictineu3*, en homenatge al seu antecessor.

**Paraules clau:** atmosfera artificial, motor químic, combinacions, doble casc, FEM, Ictíneo, Monturiol, propulsió, sensor de plataforma, esfera, acer, cúpula.

## NARCÍS MONTURIOL

Narcís Monturiol (Figueres, 1819–Barcelona, 1885) va ser un inventor que va contribuir profundament al desenvolupament de la navegació submarina, construint dos submarins. Gairabé oblidat per l'història , va aconseguir un gran resultat fa 150 anys (segle XIX), quan no existia internet, no hi havia comunicació instantània i la tecnologia disponible era molt més pobra que avui en dia. L'única informació a la qual va tenir accés van ser uns quants articles del francès Montgéry sobre la navegació submarina i l'anàlisi del "*Nautilus*" de Fulton. Monturiol no va ser el primer de tenir l'idea ni el primer de construir un habitacle submarí. A causa de la manca d'informació ell no va poder evolucionar a partir d'altres submarins anteriors, tan sols va agafar idees. Gairebé havia de començar de zero desenvolupant solucions noves per construir els seus submarins. Des d'aquest punt de vista podem dir que ell va ser l'inventor del submarí, en el sentit modern que pretenem avui. Durant la seva vida Monturiol va escriure el primer tractat de navegació submarina, deixant-nos un document escrit per a nosaltres.

## EL TRACTAT

El 1891, sis anys després de la seva mort, es va publicar finalment el llibre "l'Art de Navegar per Dessota de l'Aigua".

L'obra de l'inventor va ser el punt de partida de molts altres inventors: Isaac Peral ho reconeix publicament ("*mai no hauria pogut construir el*

*meu submarí sense l'aportació de Monturiol*"); o l'Alemanya de 1905 que utilitza aquest tractat com document tècnic clau per crear la seva força submarina que fou tant important en les dues grans guerres, i fins i tot anomenen "l'atmosfera ictinea" a la solució que va aportar Monturiol a la respiració i purificació de l'aire dins la cambra submarina. Altres no ho reconeixen mai, però és a partir de la publicació d'aquest llibre que s'activa de veritat la construcció de submarins i la operativitat real dels aparells com el "*Gymnote*" de Gustve Zedée (1888) o bé el submarins de John Holland's (1898), tots amb finalitats militars.

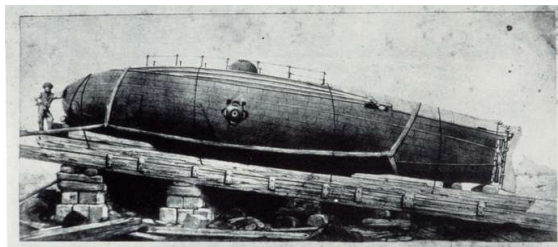


## LES APORTACIONS DE MONTURIOL

Mirat des d'un vessant tècnic, les aportacions de Monturiol són vitals i decisives per a la navegació

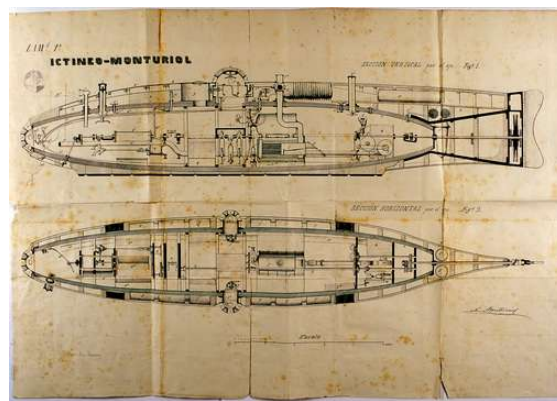
submarina. Ell és el primer que planteja com s'ha de comportar l'aparell submarí, el primer en treballar en equip, amb diferents tècnics de diferents especialitats, fent infinitat de proves per a conèixer el medi en el que s'ha de desenvolupar, i per operar sempre amb plena seguretat i no córrer riscos. És pioner en la construcció en doble casc, l'atmosfera artificial, producció d'oxigen i purificació de l'aire absorbint el gas carbònic (el mateix principi que s'utilitza actualment); pioner en operativitat, moviments en tots els eixos i àmplies mesures de seguretat, des d'extensos càlculs, assajos i mesures d'emergència, pioner en la propulsió mecànica. Un projecte de 10 anys, dos submarins construïts, plànols d'altres submarins, un tractat i el corresponent a 6 milions d'euros actuals gastats en el transcurs d'aquests anys i sense finançament públic.

L'Ictíneu va ser el primer submarí civil amb finalitats no bèl·liques del món, d'exploració i recollecció, amb 19 ulls de bou, llum oxhídrica per il·luminar el fons i ginyos per recol·lectar corall i objectes del fons. És el primer en superar els 8-10 metres de profunditat, baixant a entre 30 i 70 metres (segons les fonts) amb capacitat d'operar continuadament. El primer Íctineu (7m de llarg, 10 tones de desplaçament) era un el·lipsoide de fusta d'olivera i coure a dins d'un casc exterior, que podia encabir fins a sis persones i estava dissenyat per profunditats de fins a 50 m. Es van fer 69 immersions sense cap accident. El segon (17m de llarg, 72 tones de desplaçament) va dur a terme 19 immersions, totes elles amb condicions segures.



Monturiol va dedicar molts anys a la millora de la propulsió submarina, sempre amb el mateix objectiu de no posar en risc a cap membre del seu equip. Alhora que es creia que el fons del mar era un lloc quiet i desèrtic, ell pensava que hi podien haver forts corrents, i que es necessitava superar un mínim de velocitat, sense això no s'atrevia a sortir a recol·lectar corall. Tant amb propulsió animal com mecànica va arribar a una velocitat màxima de 2 nusos en immersió. La majoria dels submergibles d'avui en dia no superen els 2 nusos de velocitat. Els segon Ictíneu tenia dos motors de vapor: un per la navegació de superfície, cremant carbó i que podia emetre gasos tòxics; i un altre en immersió, un motor químic que produïa calor per la propulsió i emetia oxigen com a gas resultant. Monturiol va solucionar tots els problemes tècnics amb els que es

trobava però una crisi econòmica el va forçar a anul·lar el projecte sencer. Ell havia planejat de construir un tercer submarí, desenvolupat al voltant d'un nou motor doble: amb un casc de ferro i amb una sala de màquines aïllada i separada per la propulsió mecànica. Monturiol i les seves solucions es van avançar almenys 30 anys a la seva època. Després de Monturiol es van necessitar 30 anys per tornar a instal·lar dos motors en un submarí. No va ser fins 65 anys més tard que es tornar a utilitzar un motor químic submarí (el motor "Walter" l'any 1932) i almenys 100 anys més fins que s'instal·lava una altra màquina de vapor. Hem d'esperar 89 anys per la represa de la construcció de submarins civils, que ens situa al 1948, quan Auguste Piccard baixa del seu globus (FNRS), després de batre el record d'alçada, per fer el seu submergible batiscaf FNRS-2.



### L'any Monturiol

L'any 2009 serà el 150è aniversari del primer Ictíneu. Durant el 2009 es celebraran diversos esdeveniments per commemorar els dos primers Ictíneus i el seu inventor, entre els quals hi ha una exposició sobre la història dels submergibles ubicada al Museu Marítim de Barcelona.

### EL PROJECTE ICTINEU 3

L'ICTINEU 3 està concebut com un submergible modern el qual incorporarà materials innovadors i tècniques de fabricació avançades, eficients i respectables per al medi ambient, sistemes de control intel·ligents i la tecnologia més avançada en seguretat, posicionament, navegació, comunicació, sensors i enregistadors de dades. Serà una eina altament versàtil concebuda per ser adaptada i modificada a mesura que les noves tecnologies ho permetin. Un submergible que jugarà un paper central en qualsevol feina científica que es pot imaginar sota el mar. S'avararà el primer semestre del 2010.

Per realçar les capacitats de l'ICTINEU 3, també es construirà un vaixell de suport. Serà un catamarà de 20m de llarg dissenyat al voltant del submarí. El seu propòsit principal serà transportar el submarí al

del lloc de la missió i ajudar-lo en tots els aspectes necessaris durant la campanya sencera: comunicacions, seguretat, posicionament, assistència a la tripulació, càtering i allotjament. A més de cabines i cuina, el vaixell oferirà un taller, un laboratori petit i una cabina de control amb les últimes tecnologies en comunicació, posicionament i sistemes de control.

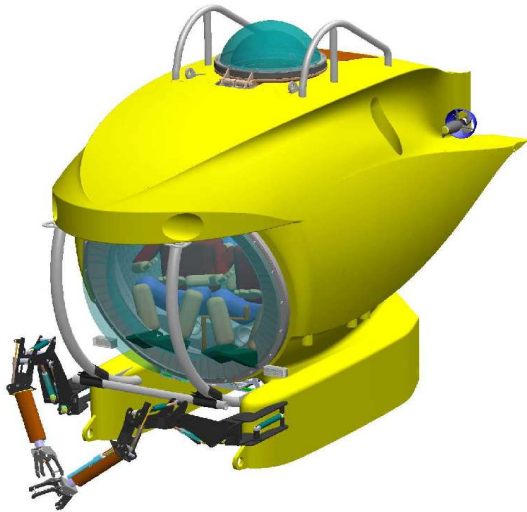
### L'ICTINEU 3, DISSENY I CAPACITATS

L'ICTINEU 3 és un submarí petit i lleuger amb altes capacitats. És segur, versàtil i una bona eina per realitzar una àmplia quantitat de tasques com recerca científica i intervenció submarina. Es capbussarà 1200 metres, fent-lo un dels deu submarins més profunds en funcionament actualment.

Serà capaç de portar 2 membres de tripulació i un passatger, amb una autonomia operativa de 10 hores, encara que una missió estàndard pot durar entre 3 i 6 hores. Tindrà reserves de tancs d'oxigen i una autonomia d'emergència de 12 dies.

Al davant, una cúpula de PMMA (Ø1200 mm) proporcionarà a la tripulació un excepcional i ampli camp de visió, excel·lent per l'alta definició de fotografies i vídeo captura. Avui en dia els submarins profunds (per sota dels 1000m) no tenen cúpules amples sinó portells petits (Ø 200 mm).

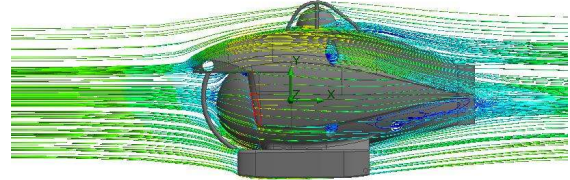
El casc de pressió principal estarà compost per una esfera de diàmetre interior de 1700mm connectat al capdamunt a una esfera de diàmetre de 800mm. L'esfera petita serà l'accés que permetrà entrar i sortir del submarí.



Des del punt de vista operacional s'ha superat unes quantes fites. La mida reduïda i l'àmplia cúpula frontal proporcionaran operacions fàcils i confortables, com aproximar-se molt a prop de la zona de treball.

La forma hidrodinàmica ha estat dissenyada tant per obtenir una navegació òptima com per raons de seguretat (p.e. evitar quedar enganxat a les xarxes). La capacitat per buidar totalment els tancs a la

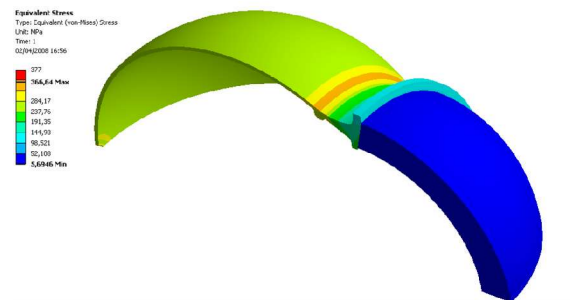
superfície proporcionarà 600 mm entre el disseny de la línia de l'aigua (dwl) i la cúpula superior. Aquesta alçada juntament amb el disseny de la forma externa permetrà als passatgers d'entrar i sortir del submergible una vegada aquest és a l'aigua, en bones condicions del temps. Dos tancs interns flotants, situats al fons del casc de pressió, permetran aconseguir la flotabilitat neutra i economitzar la potència elèctrica per maniobrar.



Les dimensions màximes (4,9x2x3m) permetran carregar-lo en un contenidor estàndard superior obert de manera que sigui possible transportar-lo per carretera en un camió convencional, amb tren o amb vaixell sense exigir transport especial. Donat el seu pes reduït (5 tones) es pot alçar amb grues estàndards en ports i a bord de vaixells oceanogràfics.

Un dels principals desafiaments és integrar les etapes d'enginyeria i disseny per obtenir un submarí petit, compacte i lleuger amb alts rendiments (seguretat, eines, autonomia). Durant els càlculs analítics i FEM, el propòsit era reduir la proporció entre el volum interior i el pes, mantenint el gruix de la paret a un mínim, sempre sota les condicions de seguretat imposades per la certificadora. La forma ideal per aconseguir aquest resultat és l'esfera. El diàmetre intern del casc de pressió va ser escollit per aconseguir un volum específic, evitant l'ús d'escuma de densitat alta, que hauria augmentat el nivell de flotabilitat però també el pes.

El casc de pressió d'acer serà d'alt nivell, combinant altes propietats mecàniques i gran resistència de corrosió en el medi marí, reduint les operacions de manteniment i evitant l'ús de capes de protecció especials.



L'ús de materials compostos permetrà reduir el pes, encara reunint els requeriments de la certificadora: tot el casc exterior, els tancs d'aigua i molts suports/reforços seran de fibra de carboni/resina epoxi.

Un altre objectiu és l'eficiència: per realçar el rendiment i reduir el consum, s'usarà l'alta eficiència de les bateries de Polímer d'Ió de Liti amb una potència de 40kW. Estaran al bloc exterior per raons de seguretat. Aquesta nova generació de bateries determinarà també una reducció de pes al voltant d'un 85% comparat amb les bateries estàndards d'àcid/plom.

S'usaran les bombones d'alta pressió (700bar=10,000PSI) per emmagatzemar aire comprimit. El nucli és una línia d'alumini al voltant del qual s'enrotlla un filament de fibra de carboni, permetent donar una alta pressió interna i reduir el pes (57%). Aquestes bombones s'utilitzen àmpliament en el sector de l'automoció (CNG, H<sub>2</sub>), però mai s'han provat per a un submarí tripulat: es realitzaran extenses proves per garantir la seguretat.

El submarí anirà equipat amb propulsors *brushless* DC: quatre per la propulsió i quatre per maniobrar. La proporció potència-pes és altament favorable comparada a la resta de submergibles. Tenint més d'un propulsor permetrà al pilot conduir utilitzant només els motors. A la velocitat de navegació el timó vertical i els plans ajudaran a maniobrar.

Com a resultat final, el disseny del concepte portarà a una proporció volum-pes (v/p) del voltant del 0,6, que és un volum dins del casc del 60% del total del sub volum. Aquesta proporció és comparable a la d'un submarí superficial (400m). Altres submarins amb la mateixa profunditat que l'Ictineu3 tenen un v/p=0,23÷0,46. Això permetrà a l'Ictineu3 augmentar la càrrega neta: això significa més seguretat (més pes de caiguda per ser alliberat en cas d'emergència), i més capacitat per augmentar nous equipaments a bord.

Entre l'espai dels casc de pressió i l'exterior es trobarà la plataforma de sensors. Està pensada com una eina molt habitual que es pot proveir amb qualsevol sensor específic per complir els requisits de cada missió. El propòsit és tenir una instal·lació fàcil i ràpida per a instruments nous.

El disseny del Sistema de Navegació és crucial. Incorporarà els instruments actualment disponibles com Sistemes de Posicionament Acústics (LBL, SBL, USBL), Sistemes de Navegació Inercial (INS) i Doppler Velocity Log (DVL), sensors de pressió, etc. S'ha de dissenyar un sistema de direcció a bord, que permetrà la optimització de les operacions: llista de control, adaptació, programació de la missió, començament/final.

## Seguretat

Per aconseguir una seguretat excel·lent en el procés de disseny i construcció del submarí serà certificat i classificat per la certificadora Germanischer Lloyd. El Mar Mediterrani pot ésser un medi perillós a causa de tots els residus dipositats en ell. Per mantenir la seguretat més alta possible i permetre al submarí d'escapar de possibles embolics (xarxes, naufragis, ruïnes), es poden emprendre diverses accions.

El llast tou (submarinisme) tancs (6001) es poden buidar ràpidament injectant aire a pressió (700bar), determinant una pujada ràpida. Si això no és suficient, un pes de caiguda (500kg) es pot deixar anar gradualment i augmentar la flotabilitat. Es pot alliberar manualment una boia de seguretat des de dins, arribant a la superfície amb una corda llarga d'espectres de 1800m. Els dos braços robòtics poden ser expulsats en el cas que s'encallin.

El sistema de suport vital, l'ascens i tots els mecanismes de seguretat tindran un mode d'operació manual utilitzant les bombes d'alta pressió i les bombes mecàniques. Per això, en cas d'emergència, totes els funcions bàsiques seran operatives.

## CONSTRUCCIÓ

L' ICTINEU 3 es construirà a les Reials Drassanes de Barcelona, un edifici del segle XIII-XIV que és la seu del Museu Marítim de Barcelona. La construcció començarà a principis del 2009 i les proves de mar estan previstes per principis del 2010.

Més informació a [www.ictineu.net](http://www.ictineu.net)

## AGRAÏMENTS

Al Museu Marítim de Barcelona, Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, CDTI, Obra social de la Caixa, Caja Navarra, Caixa Terrassa.

## BIBLIOGRAFIA:

[1] Monturiol N., 1891. Assaig sobre l'art de navegar per dessota de l'aigua. Edicions Científiques Catalanes, 1986.

[2] Stewart M., "Monturiol's Dream", 2003, Pantheon Books.

[3] [www.submarines-history.com](http://www.submarines-history.com)

[4] Busby R.F., 1976. Manned Submersibles.  
Office of the oceanographer of the navy.

[5] Base de dades d'ICTINEU Submarins SL

[6] Arxiu de l'“INSTITUT ICTINEU Centre Català  
de Recerca Submarina”