

# ARRECIFES ARTIFICIALES PARA REGENERAR EL HÁBITAT MARINO DE FORMA SEGURA Y SOSTENIBLE

**CONTACT DETAILS:**

Relaciones con la Empresa  
Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación-OTRI  
Universidad de Alicante  
Tel.: +34 96 590 99 59  
Email: [areaempresas@ua.es](mailto:areaempresas@ua.es)  
<http://innoua.ua.es>

**ABSTRACT**

Un grupo multidisciplinar de investigadores de la Universidad de Alicante ha desarrollado un nuevo sistema para la formación de arrecifes marinos artificiales y estructuras submarinas con recubrimiento calcáreo poroso utilizando corriente eléctrica.

El sistema se caracteriza porque utiliza un soporte metálico ligero de cualquier forma geométrica (con posibilidad de ensamblaje), y la estructura final se puede transportar y colocar de forma sencilla, o bien fabricarse in-situ. Durante la etapa de fabricación, se liberan al medio sustancias que favorecen el desarrollo del fitoplancton y que son inocuas para el hábitat marino, consiguiendo así establecer una mayor diversidad de especies marinas sobre la propia estructura.

Este dispositivo permite la restauración de ecosistemas marinos, la purificación de aguas marinas en las inmediaciones de las estaciones de acuicultura, así como una explotación sostenible del ocio marino (submarinismo recreativo).

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su explotación comercial a través de acuerdos de licencia.

**INTRODUCTION**

Con el objetivo de paliar la progresiva degradación de los arrecifes marinos, se han desarrollado diferentes tecnologías. A continuación, se presentan algunas de estas tecnologías, y cuáles son sus principales inconvenientes:

**Arrecifes artificiales con formación de depósitos calcáreos mediante electrólisis:**

- Existen diversos elementos metálicos recubiertos de depósito calcáreo:
  - o No tienen la posibilidad de formar elementos apilables en forma de cilindros de malla, más ligeros y efectivos para la fijación de organismos filtradores.
  - o Tampoco permiten una gran interacción de las especies marinas en los huecos de paso de la luz de la malla, y tienen altos costes de transporte.
  - o No consideran la geometría de los ánodos, ni su relación con el depósito formado.

- o Tampoco consideran la posibilidad de evitar o minimizar el efecto de la acidificación utilizando ánodos de hierro, ni el beneficio que este tipo de ánodos tiene para el desarrollo del fitoplancton.
- o No emplean corriente externa en la electrólisis del agua de mar como método acelerador del procedimiento, lo que impide controlar o regular la intensidad de corriente, o el voltaje aplicado.
- o No tienen posibilidad de usar el mismo material para el ánodo y para el cátodo.
- o El material de los ánodos no constituye un valor añadido al proceso, pudiendo llegar a generar sustancias nocivas para el medio ambiente (iones de metales pesados).

#### Arrecifes artificiales sin utilización de electrólisis:

- *Bloques de hormigón con armaduras de acero y posibilidad de unión entre ellos*: el elevado pH de la disolución que existe en la red de poros del hormigón, hace necesaria la incorporación de sulfato de hierro para contrarrestar esta alcalinidad. Además, poseen un elevado peso (lo que complica su transporte, fondeo y colocación), tienen un elevado coste, y los tiempos de colonización son muy largos, ya que no están recubiertos por películas calcáreas (similares a las excretadas por los corales).
- *Módulos de hormigón con humo de sílice y barras de fibra de vidrio de refuerzo*: no pueden fabricarse in-situ. Tienen un gran peso, y su transporte y manipulación se hacen complejos.
- *Neumáticos usados sobre esqueletos fabricados con diversos materiales*: son elementos no naturales en el entorno marino, y no es la opción más idónea para la fijación y crecimiento de los organismos marinos.
- *Distintos materiales plásticos como el cloruro de polivinilo (PVC)*: estos materiales no presentan una superficie adecuada para la fijación de los organismos marinos, y su degradación provoca una contaminación paulatina del medio marino por microplásticos.

Existe pues, la necesidad de desarrollar un sistema que permita la formación de arrecifes marinos de forma respetuosa con el medio ambiente (tanto del hábitat, como de las propias especies).

#### TECHNICAL DESCRIPTION

Con el objetivo de reducir los problemas anteriormente descritos, se ha desarrollado un sencillo método que permite formar arrecifes marinos y estructuras submarinas con recubrimiento pétreo de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e hidróxido de magnesio ( $\text{MgOH}_2$ ), similar al excretado por los corales e inducido artificialmente por electrólisis. Esta superficie irregular y de naturaleza porosa (véase *Figura 1*) favorece la adhesión de organismos del bentos marino sésil que actúan como biofiltros.



*Figura 1: aspecto del recubrimiento calcáreo al finalizar la fase de electrólisis.*

Para llevar a cabo la electrólisis, se utiliza un electrodo metálico (cátodo) que constituirá el arrecife artificial cuando finalice el proceso electrolítico, y otro electrodo de hierro (ánodo) -aunque puede haber dos- que se sitúa en posición concéntrica o paralela, con una separación fija y equidistante que garantice un flujo óptimo de los iones entre los electrodos. Para evitar el contacto entre los electrodos, se colocan unos elementos espaciadores de material no conductor -por ejemplo, PVC- (véase *Figura 2*).

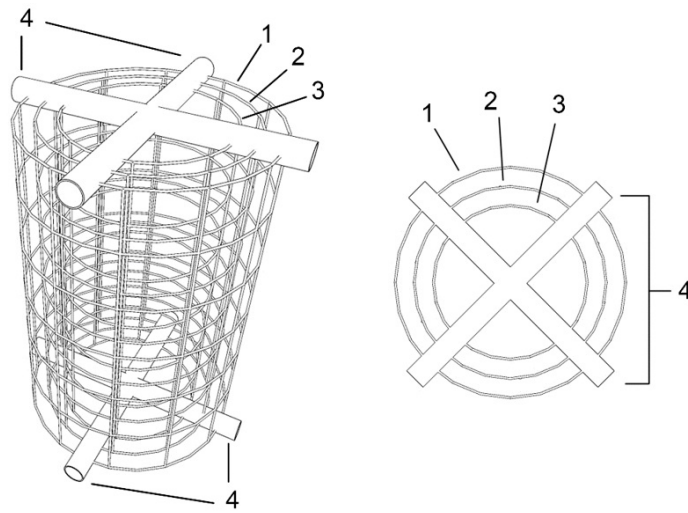


Figura 2: vista en perspectiva y en planta de la unidad electrolítica, en la que se observa el cátodo sin depósito calcáreo (2), el ánodo externo (1), el ánodo interno (3) y los elementos no conductores que mantienen separadas las estructuras concéntricas (4).

En caso de usar únicamente un solo ánodo, se prescindiría del ánodo interno (3).

El sustrato preferente para formar estos arrecifes artificiales es una malla metálica ligera –preferentemente de acero al carbono– formada por:

- Barras de pequeño diámetro.
- Láminas.
- Planchas.
- Vigas.
- Etc.

Estos elementos pueden estar agrupados mediante ensamblaje, soldadura o fijación con elementos de unión o apilamiento, y la malla puede tener cualquier geometría, forma y dimensiones (véase Figura 3).

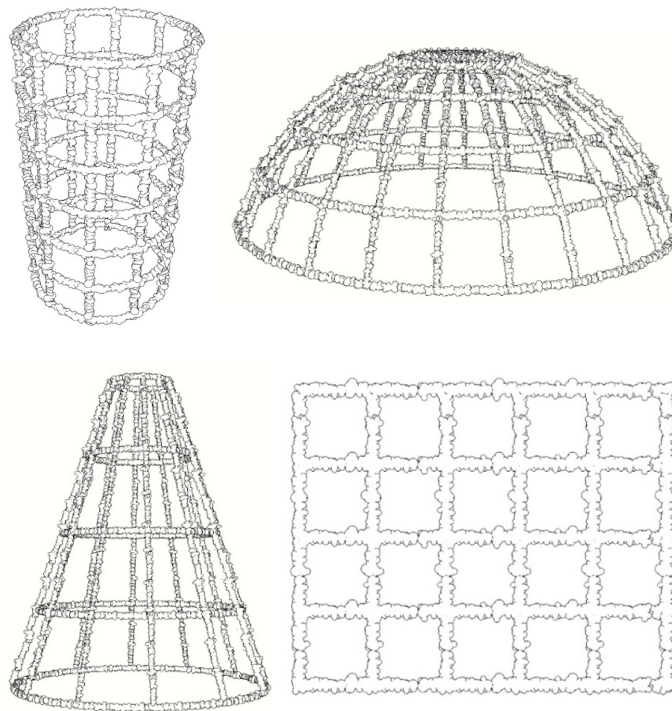


Figura 3: distintas geometrías de los arrecifes artificiales y estructuras submarinas cubiertas por depósitos calco-magnesianos (desprovistos de los ánodos externo e interno, y de los elementos no conductores).

La agrupación de varias de estas estructuras –con forma y tamaño adecuado– permite construir estructuras modulares más complejas (véase Figura 4).

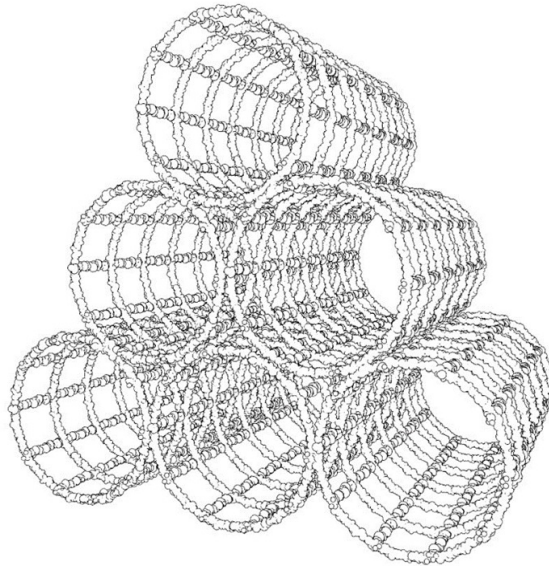


Figura 4: agrupación de seis módulos cilíndricos que podría ser utilizada como sistema de biofiltración tras ser recubierta por organismos del bentos marino sésil.

Para llevar a cabo el proceso electrofítico de depósito se emplea un cableado eléctrico –blindado y aislado– soldado de forma independiente al cátodo y al/los ánodo/s, y una fuente de alimentación externa que permite establecer un flujo de corriente eléctrica continua entre los electrodos cuando éstos se encuentran sumergidos en un medio conductor (medio líquido salino o en agua de mar) tanto en piscinas, como en grandes volúmenes de agua con movimiento y agitación continua –mar abierto, puertos, salinas, etc.– (véase Figura 5).

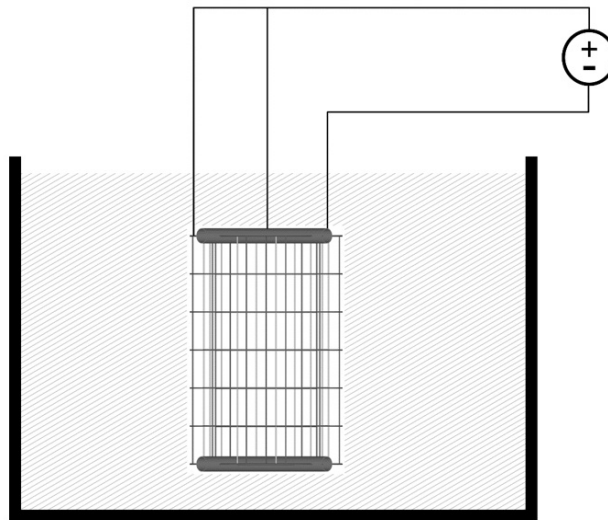


Figura 5: unidad electrofítica de tres electrodos sumergida en agua de mar o salina, durante el proceso de recubrimiento electrofítico.

El suministro de corriente continua puede ser por transformación de la red convencional, por paneles fotovoltaicos directamente, o mediante el uso de acumuladores de energía eléctrica o baterías (véase Figura 6).

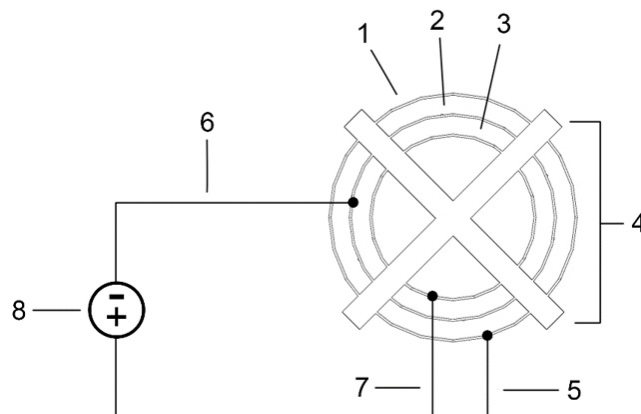


Figura 6: conexiones eléctricas de los elementos de la unidad electrofítica de tres electrodos.

El proceso de electrólisis se lleva a cabo a densidades de corriente bajas, y el espesor de la capa pétreo depositada se puede controlar según las aplicaciones que vaya a tener el sistema. La velocidad de depósito es constante, y tiene una relación lineal con el tiempo de aplicación de la corriente eléctrica (véase Figura 7).

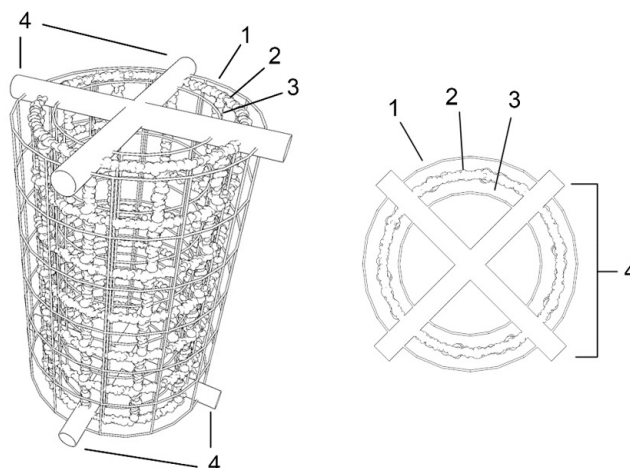


Figura 7: vista en perspectiva y en planta de la unidad electrolítica de tres electrodos con la unidad modular unitaria recubierta con el depósito calco-magnesiano.

Durante el proceso de electrólisis, el/los ánodo/s se disuelven parcialmente en forma de iones de hierro que sirven de alimento al fitoplancton y forman productos de corrosión inocuos para el medio marino.

Concluida la etapa de formación de depósito, la unidad electrolítica se extrae del medio salino, se retira el cableado, el/los ánodo/s y los elementos espaciadores, obteniendo así la estructura final lista para su utilización –bien de forma individual, bien en combinación con otras–.

## TECHNOLOGY ADVANTAGES AND INNOVATIVE ASPECTS

### VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA

Las principales **ventajas** de este método respecto a otros sistemas existentes en la actualidad con finalidades similares, son las siguientes:

- 1) Los **soportes** utilizados tienen un **peso muy bajo**, ya que están fabricados con malla metálica sobre la que se realiza la electrólisis.
- 2) Estos sistemas se pueden **transportar, colocar y fondear fácilmente** debido a su reducido peso.
- 3) Las estructuras finales pueden adoptar **cualquier forma geométrica**, pudiendo posteriormente conformar estructuras submarinas más complejas.
- 4) El proceso de fabricación puede realizarse **in-situ** en su ubicación definitiva o en **ambientes más controlados** (por ejemplo: piscinas, zonas portuarias, salinas o recintos industriales). Esta última opción, facilita un control más exhaustivo del proceso.
- 5) El **montaje** se puede realizar **in-situ** por ensamblaje, soldadura, fijación con elementos de unión o apilamiento de los elementos modulares necesarios.
- 6) El proceso electrolítico permite **evitar o reducir el impacto medioambiental sobre el hábitat**, ya que, durante este proceso, se generan especies químicas beneficiosas para los organismos vivos del medio marino. De hecho, los productos de la reacción electroquímica anódica son iones de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ), especies que favorecen el **desarrollo de fitoplancton**.
- 7) La gran luz de la malla permite una mayor homogeneidad de las líneas de corriente marina, lo que favorece el **crecimiento homogéneo del recubrimiento calco-magnesiano**.
- 8) Permite una interacción favorable con el medio marino al facilitar la **adhesión de especies**.
- 9) El libre acceso y circulación de animales acuáticos a través de la estructura genera espacios que permiten la **protección y el desarrollo de numerosas especies vivas**.

### ASPECTOS INNOVADORES DE LA TECNOLOGÍA

La principal innovación que aporta este novedoso sistema es el uso del **mismo elemento ferroso en ambos electrodos** (cátodo y ánodo). Este hecho aporta los siguientes beneficios:

- Se evita la generación de cloro en forma gaseosa.
- Se reduce parcialmente la acidificación del medio líquido en las inmediaciones de la zona de electrólisis.
- La oxidación del ánodo libera iones positivos de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ), y éstos favorecen el desarrollo del fitoplancton.
- Estos iones de hierro son inocuos y totalmente respetuosos con el ecosistema.



- Con estos sistemas, se consigue una mayor diversidad y reclutamiento de especies marinas en la estructura, ya que se permite la libre circulación de animales acuáticos a través de éste.

Además, el proceso de electrólisis se lleva a cabo utilizando **corriente eléctrica suministrada por una fuente externa**, lo que permite acelerar y controlar perfectamente el proceso de recubrimiento calcáreo del soporte estructural.

#### CURRENT STATE OF DEVELOPMENT

Se ha construido con éxito un **prototipo** (véase *Figura 8*) para estudiar la viabilidad técnica de este sistema en la **fijación de biofiltradores** (*macro-biofouling*sésil).



*Figura 8: estructura metálica con el recubrimiento calcáreo obtenido por electrólisis.*

Este prototipo (TRL=4) se colocó en un entorno real (Puerto de Alicante) durante un fondeo de tres meses, y las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- Se han encontrado 37 especies diferentes.
- El sustrato carbonatado ha presentado una **mayor biodiversidad** y un **estadio sucesional más desarrollado**.
- Las esponjas y las ascidias, y la mayoría de los bivalvos (todos son organismos filtradores) solamente han aparecido en el sustrato carbonatado, lo que lo convierte en un **material óptimo para construir biofiltros**.

Estos resultados permiten evaluar las estructuras electrolíticas carbonatadas muy positivamente como sustratos con un **gran potencial** como material para la construcción de *arrecifes artificiales* y *estructuras submarinas*.

#### MARKET APPLICATIONS

Esta tecnología encuentra su principal aplicación en los campos de:

1. La **restauración de los ecosistemas marinos** mediante la construcción de *arrecifes artificiales de coral*.
2. La **mitigación del impacto medioambiental** que suponen los desechos de las jaulas de engorde en las explotaciones industriales de acuicultura mediante el fondeo de estructuras que actúan como *biofiltros de materia orgánica* (**purificación de aguas marinas**).
3. **Ocio marino** y **explotación sostenible** de las zonas costeras y de la franja marítima cercana a la costa, mediante la construcción de estructuras para actividades de *submarinismo recreativo* (parques acuáticos submarinos).

#### COLLABORATION SOUGHT

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su **explotación comercial** mediante acuerdos de **licencia del modelo de utilidad**.

Perfil de empresa buscado:

- Fabricantes de **arrecifes marinos artificiales**.
- Fabricantes de **estructuras submarinas** para submarinismo recreativo o purificación de aguas marinas.

#### INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

La presente invención se encuentra protegida mediante **solicitud de modelo de utilidad**:

- Título: *"Sistema para la formación de arrecifes marinos artificiales y estructuras submarinas con recubrimiento calcáreo inducido por electrólisis"*.
- Número de solicitud: U202130622.
- Fecha de solicitud: 26 de marzo de 2021.

#### MARKET APPLICATION (5)

Biodiversidad y Paisaje  
Construcción y Arquitectura  
Contaminación e Impacto Ambiental  
Estudios Marinos  
Tecnología Química