



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

Presentado por

Ros Marti, Pablo

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2022/2023

Fecha: Diciembre 2022

Tutor: Juan J. Moragues Terrades

Tabla de contenido.

1.	Introducción.....	3
2.	Que es un arrecife artificial.....	4
3.	Que funcionalidad tiene un arrecife artificial.....	4
4.	Materiales de construcción y tratamiento previsto de nuestro módulo arrecifal.....	8
4.1.	Consideraciones a tener en cuenta para la elección del material adecuado.....	8
4.2.	Conclusión obtenida mediante la investigación del anejo para la elección del material.....	9
4.3.	Materiales.....	9
4.4.	Nueva tecnología.....	11
I.	Estudio de la habitabilidad de las especies.....	12
-	Posible aplicación de esta tecnología sobre el medio.....	12
-	Aplicación tecnológica.....	13
II.	Estudio de la pintura de plata.....	14
5.	Diseño de nuestro módulo arrecifal.....	14
-	Características generales del módulo.....	16
-	Diseño general del módulo.....	17
III.	Estudio de las Cavidades naturales.....	17
	Justificación.....	18
-	Diseño del módulo.....	18
3.1.	Cavidad Interna.....	18
3.2.	Diseño exterior.....	25
IV.	Estudio del campo visual de los peces.....	26
-	Contexto.....	27
-	Funcionalidad.....	27
-	Objetivo.....	27
6.	Diseño de la infraestructura o cúmulo arrecifal.....	31
7.	Proceso constructivo del módulo.....	36
7.1.	Peculiaridades externas a tener en cuenta:.....	37
1.	Tres hendiduras del voladizo.....	37
2.	Rail exterior.....	37
3.	Hendidura inferior.....	38
4.	Gancho exterior.....	39
5.	Orificios.....	39



7.2.	Particularidades internas a tener en cuenta.....	40
6.	Cámara principal.	40
7.	Paneles interiores.....	43
-	Circuito eléctrico de los paneles.	43
-	Encofrado.	44
-	Encofrado con material granular.....	45
-	Encofrado con poliestireno expandido.	47
-	Comparación de los encofrados.....	47
-	Solución adoptada.....	48
8.	Anclajes del módulo.	49
8.	Cálculo de la longitud de anclaje.....	52
9.	Comprobación de los esfuerzos en el voladizo.	59
10.	Valoración económica del módulo arrecifal.	63
11.	Bibliografía.	66
12.	Planos.	67
13.	Anejo: Estudio físico y subacuático de los arrecifes artificiales.	67

1. Introducción.

Gracias a la elaboración de un documento de investigación previo, se ha adquirido los conocimientos necesarios para poder desarrollar el trabajo fin de grado, de una manera más simplificada y funcional, para la realización y creación de un módulo prefabricado de hormigón para el medio subacuático.

Este proyecto tiene un carácter aplicado, por lo que se ha desarrollado el diseño y el proceso constructivo del módulo.

Debemos de destacar la terminología que vamos a emplear referente a los elementos que constituye o forman un arrecife artificial para así tener los conceptos claros antes de abordar la creación y desarrollo de nuestra infraestructura creada mediante nuestro modulo prefabricado de hormigón.

Después de la historia de los inicios de la nomenclatura referenciada a los arrecifes artificiales de Grove and Sonu 1983 como, poco después, de Seaman en 1991 ^[1], damos importancia a la nomenclatura actual proporcionada por el Ministerio del Medio Ambiente en el documento de la "Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales 2008" ^[1], donde establece el concepto del módulo arrecifal al bloque individual y cumulo arrecifal a la reunión más o menos ordenada de varias unidades o módulos arrecifales.

Una vez referenciada la nomenclatura que se ve a utilizar a lo largo del proyecto procedemos a realizar la elaboración del trabajo fin de grado del desarrollo de un módulo prefabricado de hormigón para el medio subacuático.

2. Que es un arrecife artificial.

Analizando la historia y la evolución que ha experimentado la creación de infraestructuras para el medio subacuático, se ha ido proporcionando una multitud de definiciones involucradas por la evolución del mismo.

A la vista de las diferentes organizaciones sobre arrecifes artificiales como:

1. "Guidelines for the Management of Artificial Reefs in the Great Barrier Reef Marine Park" <http://hdl.handle.net/11017/1132>
2. "OSPAR" <https://www.ospar.org>
3. "European Artificial Reef Research Network (EARRN)" https://www.researchgate.net/publication/313157411_European_artificial_reefs

Se ha podido crear una definición propia que refleja claro el concepto.

Definimos arrecife artificial como una estructura o forma sumergida, pensada y diseñada para proporcionar una interacción con la biodiversidad marina creando impactos sociales, ambientales y económicos positivos.

3. Que funcionalidad tiene un arrecife artificial.

Debido a la interacción que se produce cuando cualquier objeto es sumergido en el mar, se intenta utilizar este fenómeno para poder crear impactos sociales, ambientales y económicos positivos para la sociedad.

Normalmente los arrecifes son diseñados y pensados para buscar una finalidad en concreto Por ello, recalamos que nuestro diseño del módulo intentara buscar las tres finalidades anteriores para poder aprovechar la totalidad de sus funciones con la creación de un mismo modulo y su consiguiente cumulo o infraestructura arrecifal.

A continuación, describiremos de una forma esquemática los fenómenos que se producen en los arrecifes para poder buscar la finalidad de crear impactos sociales, ambientales y económicos positivos para la sociedad.

a. Beneficios sociales.

- Mayores oportunidades al sector turístico.

El empleo de estas infraestructuras sumergidas beneficia la actividad deportiva, recreativa creando un aliciente al sector turístico de la localidad.

Actividades recreativas como la pesca deportiva a caña junto con todo tipo de actividades de buceo o deportes acuáticos que crea el aumento del interés de la zona por la adecuada practica de estos deportes.



Al margen de beneficios económicos de toda esta actividad, que se indican en el correspondiente apartado, no cabe duda la mejora de calidad de vida y del bienestar que el deporte produce.

- Oportunidades educativas y de investigación.

Gran atractivo a diferentes grupos escolares y estudiantiles que estén interesados por el ámbito de la biodiversidad marina.

Interés de investigar las repercusiones físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas de los arrecifes artificiales.

Nuevos estudios sobre la eficacia del proyecto de la implementación del arrecife artificial, como también, la aceptabilidad ecológica de los materiales utilizados.

Estudiar los elementos biológicos, químicos o físicos del sistema de arrecifes artificiales.

Aumento del interés social por el mundo subacuático y genera un gran aliciente a la forma de ver y cuidar nuestros mares y océanos, como también, la importancia que tiene para el planeta.

En el futuro desencadenar una continuidad de las investigaciones producidas por la implementación de estas infraestructuras, creando un gran interés para los biólogos marinos y, generará nuevos métodos de investigación.

- Aumento de la sedimentación de la costa.

Si se coloca cerca de la línea de costa, en aguas poco profundas, produce un aumento de la sedimentación producida por la interacción entre la deriva litoral y la infraestructura colocada.

La pérdida de energía, producida cuando un oleaje de cierta magnitud pasa por el lugar de colocación de la infraestructura, disminuye la magnitud erosiva repercutida en la costa donde genera el acopio de la sedimentación alterando los fondos de la zona y modificando los perfiles de la costa. Podría dar lugar a playas más extensas, con el atractivo turístico que produciría, aunque es un aspecto que estudiar por las características litográficas propias de cada lugar de implementación del arrecife artificial.

Posible generación de nuevas áreas de sedimentación en la costa dando lugar a la creación de playas, aunque es un aspecto a estudiar del arrecife artificial y del lugar de implementación.

b. Beneficios económicos.

Viene influenciada por el impacto social, como también por el beneficio al ecosistema marino.

- Ingresos económicos turísticos.



Incrementa los ingresos económicos en el lugar de implementación del arrecife provocado por la atracción turística que se hospedarán en la zona generando una gran interacción social.

- Ingresos económicos pesqueros.

Aumenta la actividad pesquera, ya que estas infraestructuras provocan indirectamente un mayor grado de capturas que se traduce en un aumento de los beneficios para los pescadores. La mayoría de los arrecifes implementados en el mundo busca este objetivo, siendo el objetivo principal de construcción.

c. Beneficios ambientales y del ecosistema marino.

- Protección.

Estas infraestructuras, al disponerse en el fondo, crean una protección de los recursos marinos de cualquier técnica de pesca destructiva e ilegal, como podría ser la pesca de arrastre, creando una protección de los ecosistemas marinos.

Se ha de generar y adaptar una adecuada gestión pesquera como turística de la zona, ya que la colocación de estas infraestructuras, debido al aumento de la riqueza biológica, como la atracción y concentración de las especies en el lugar, facilita la pesca llegando a perjudicar el ecosistema.

Por otro lado, se modifica el tipo de turismo enfocándolo hacia uno más medioambientalmente consciente donde proteja la infraestructura y alrededores de factores perjudiciales provocados por el ser humano.

Destacamos que, al aumentar la riqueza biológica, y la atracción de especies puede suponer una trampa para estos si no se genera una adecuada gestión de la pesca.

- Producción.

Indirectamente se crea una mejora y concentración de los recursos marinos vivos produciendo así, un aumento y una alteración positiva en la biodiversidad de la zona de instalación del arrecife.

- Compensación.

Las pérdidas de hábitas provocadas por la influencia de las actividades del ser humano en el mar se contrarrestan al generar una mejora y crear un impacto positivo para el medio ambiente mediante la colocación del arrecife artificial.

- Mitigación.

Alguno de los impactos negativos provocado por las actividades de interés desarrolladas en el mar, como puede ser la acuicultura de peces enjaulados, producen exceso de materia orgánica repercutiendo en el ecosistema.

La colocación de un arrecife artificial bajo de estas infraestructuras genera la absorción del exceso de materia orgánica mejorando la calidad del agua

desencadenando la restauración de las comunidades biológicas que se instalan en el arrecife.

Se ha comprobado que la colocación de arrecifes artificiales en estos lugares, al producirse grandes cantidades de materia, ofrece un sustrato para el establecimiento de especies bentónicas.

Las especies bentónicas filtran el agua y retiene e ingieren las partículas que se encuentren en suspensión, mejorando así la calidad del agua y descomponiendo la materia.

Por otro lado, las comunidades bentónicas se establecen de forma natural, pero en determinados casos, se puede implementar la plantación de especies de valor comercial que se alimentan de este material mejorando las tasas de filtración, comúnmente conocido como biofiltros intensivos.

- Desviación del hábitat.

La sobreexplotación de la actividad pesquera causa el deterioro del ecosistema en los espacios naturales. Mediante la colocación de un arrecife artificial crea la regeneración del ecosistema destruido en estos espacios influenciado por la desviación de la pesca a las zonas próximas al lugar de colocación del arrecife.

La interacción social que provoca la colocación de un cumulo arrecifal desvía la presión de zonas naturales turísticas dando un respiro al ecosistema y produciendo la regeneración del hábitat degradado. Además, modifica el tipo de turismo, enfocándolo hacia uno más medioambientalmente consciente.

Una vez visto los beneficios positivos que generan la colocación de los arrecifes artificiales, describiremos de una forma esquemática los fenómenos negativos que se producen.

Los impactos negativos, vendrán determinados dependiendo del punto de vista que le demos, ya que podría repercutir positivamente careciendo de la denominación de impacto negativo.

De esta forma obtendremos:

A. Problemas litorales.

- Alteración de las corrientes.

Los arrecifes artificiales, al ser una infraestructura colocada en el fondo del mar, provocan una alteración de las corrientes que induce a crear una erosión y una sedimentación en la línea de costa.

B. Problemas ambientales.

- Alteración de las comunidades biológicas.

El cambio de las corrientes provoca la alteración de las comunidades biológicas. Este fenómeno influye en el desplazamiento o cambio de las comunidades desencadenando consecuencias como la aparición de especies invasoras o la exposición a contaminantes.

- Concentración de impactos ambientales.

Se establecen impactos negativos indirectos influenciados por la concentración de impactos ocasionados por las actividades humanas que se desencadenan cuando se instalan estos arrecifes.

Después de analizar los impactos sociales, económicos y medioambientales de los arrecifes artificiales, concluimos en la conveniencia de desarrollar este tipo de infraestructura subacuática.

4. Materiales de construcción y tratamiento previsto de nuestro módulo arrecifal.

Realizado previamente una labor de investigación de la evolución que ha habido a lo largo de la historia y vistos, en la actualidad, el uso que ha habido de los diferentes materiales procedemos a exponer los materiales más adecuados para la construcción de nuestro módulo arrecifal.

Antes de todo recalcamos que la elección del material viene directamente influenciada por los objetivos que queremos que se establezcan. Por ello, su correcta elección nos proporcionará una crucial labor de encaminar la evolución que se desarrolle en el arrecife para buscar el cumplimiento de los objetivos.

4.1. Consideraciones a tener en cuenta para la elección del material adecuado.

La elección de los materiales debe ser compatible con los usos que se van a implementar y seleccionar aquellos materiales que cumplan su cometido de una forma segura y sin riesgo alguno para el medio ambiente. Por ello, para la elección del material, nos basaremos en la guía, *Apecific Guidelines for Assessment of Inert Inorganic Geological Material* ^[2] desarrolladas en el Convenio de Londres, donde se establece las principales directrices que tienen que cumplir los materiales a la hora de proceder a su utilización para la instalación en el medio marino, como también las ventajas y desventajas de cada material.

Para mantener las características funcionales de un arrecife es necesario que los materiales sean durables al igual que deben de ser químicamente estables en el agua de mar. A continuación, exponemos algunos de los parámetros a tener en cuenta por la influencia sobre las características funcionales que produce en el arrecife:

- El peso, es determinante a la hora de evitar que se produzca ligeros movimientos entre los módulos provocados por las corrientes u oleaje que provocaría la degradación de los módulos por el roce entre ellos.
- La porosidad y la permeabilidad son parámetros directamente relacionados con la estabilidad química del material al agua de mar. Tendremos que evitar la penetración de sulfatos y otras sustancias químicas agresivas provenientes del agua de mar que produzcan su deterioro generando un proceso en cadena de degradación.

- La propiedad física de los módulos debe ser lo suficientemente resistente para caracterizar una homogeneidad estructural sin provocar derrumbamientos no deseados que perjudiquen el cumplimiento de los objetivos buscados.
- El material elegido no ha de generar la liberación de productos tóxicos que alteren la calidad biológica del ecosistema y la cualidad fisicoquímica del agua o de los sedimentos.
- Han de ser resistentes a lo largo del tiempo, no perder sus propiedades y han de tener en cuenta los posibles efectos que pueden generar las actividades de pesca, como también, el anclaje del traslado u otra actividad física.

4.2. Conclusión obtenida mediante la investigación del anejo para la elección del material.

La investigación previa realizada en el anejo nos ha determinado que el uso de un mismo material para la construcción del módulo no favorece la implementación y desarrollo de un ecosistema maduro. Esto significa que, si empleamos únicamente un material, por tener unas características físicas, como texturas, y aspectos visuales concretos, solo influyen y benefician a una parte del grupo de las especies marinas. Solo nos estamos dirigiendo a un grupo reducido y no a la totalidad que forma el ecosistema marino que tenemos que dirigirnos con la implementación de nuestro cumulo arrecifal.

Por ello, el uso de varios materiales, con diferentes características de degradación y de aportación al medio, obtendremos unas características más amplias que benefician la instalación de un mayor grupo de especies, pudiendo albergar la totalidad que se puede llegar a instalar en un ecosistema maduro de una forma natural en nuestros mares. De esta forma desencadenaremos una mejor adaptabilidad al medio a corto plazo, junto con un aumento de los beneficios económicos y sociales.

Se ha tenido en cuenta el uso nuevas tecnologías de materiales para implementarlas en nuestro modulo para así poder crear, de una forma natural, una adaptación e integridad rápida al medio donde se instale.

Una vez visto todos los conocimientos y expuesto las ideas principales adquiridas mediante el estudio previo reflejado en el anejo, indicamos a continuación los materiales utilizados para la creación de nuestro modulo.

4.3. Materiales.

Se ha utilizado el hormigón como elemento principal, junto con la madera. Por otro lado, se aplica la tecnología de electrolisis para la disposición de los minerales disueltos, principalmente carbonato cálcico, sobre la superficie. Es por ello, que a continuación, iremos describiendo, paso a paso la disposición de los materiales en nuestro modulo.

La estructura principal estará constituida por un hormigón en masa HM 40/B/20/IIIb.

La elección de este hormigón viene dada por las características físicas resistentes como la facilidad constructiva en el moldeo. Por ello, y gracias al estudio realizado de los hormigones visto en el anejo, elegimos un hormigón con una resistencia característica a compresión de 40 N/mm² junto con la consistencia blanda para facilitar la construcción del módulo mediante el encofrado. Un tamaño máximo del árido de 20 mm y con un



ambiente resistente a elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar.

Incluiremos en la dosificación del hormigón el cemento Admix, creado por ECONCRETE, donde lo añadiremos un porcentaje del 40% en peso al cemento. De esta forma podremos crear un cemento estable, para poder albergar un hormigón con un pH entorno al 8 y así no producir la acidificación de las aguas.

Agregando ECONCRETE^[4] al cemento normal, se aborda la composición química del hormigón, como su micro superficie promoviendo el crecimiento de organismos como ostras, corales que se fijan como pegamento biológico en la superficie mejorando la dureza y la durabilidad de las fisuras y aumentando su capacidad de longevidad.

EL cemento a utilizar es el CEM II/ B-P 32.5 N SR

La elección de este cemento viene dada por las características físicas y químicamente resistentes buscadas para hacer frente a los aspectos importantes de durabilidad y gracias al estudio realizado de los cementos vistos en el anejo.

Se ha elegido un cemento con adicciones entre el 21% y 35% de puzolanas naturales consiguiendo ser más estable y menos atacable a los compuestos de magnesio presentes en agua de mar. Tendrá una resistencia de 32.5 N/mm² a los 28 días con una resistencia inicial normal siendo resistentes a sulfatos y al agua de mar.

De esta forma hacemos frente a los problemas que tiene el hormigón respecto a su alcalinidad cuando es introducida en el medio subacuático y de cómo puede llegar a afectar negativamente al ambiente marino y la creación del ecosistema.

Se utilizará la madera de las traviesas del tren altamente degradadas, por presentar unas características físicas positivas como grietas o intersticios. Por otro lado, respecto a sus tratamientos iniciales, no deben de interactuar con el medio subacuático negativamente. Por ello deberemos de tratarlas para descontaminar la madera y dejarla natural. Si en este proceso se repercute negativamente en los tiempos de creación y entrega, como también en el económico, podemos emplear madera de pino o robles natural, o aquella que se disponga en el lugar de implementación.

La madera tiene una buena adaptación al medio y produce multitud de beneficios. Es por ello, la utilización de este material en nuestro modulo. Su disposición en el módulo vendrá motivada por el lugar con las mejores condiciones de luminosidad y de corriente por desencadenar el desarrollo positivo de los organismos que se instalen en él.

Por otro lado, se dispondrá en el lugar más protegido y de difícil acceso para los seres vivos que se alimenten de los organismos instalados, produciendo al mismo tiempo, una gran facilidad y desarrollo de los niveles inferiores, y por otro, una fuente de alimento para los niveles superiores.

A medida que se vaya desintegrando la madera, se irá produciendo mejores accesos y nuevos orificios beneficiando el acceso e instalación de organismos más grandes.

Esto produce un aumento de la complejidad del arrecife y ofrece nuevos lugares de refugio para otros organismos que serán presa de los peces aumentando así la complejidad del ecosistema.

4.4. Nueva tecnología.

Recalamos que la acidez del agua del mar provoca la bajada de la alcalinidad del hormigón repercutiendo negativamente a su resistencia característica. Por ello acidificando el hormigón mediante cementos compuestos por fosfatos de magnesio se hace frente a este problema por producir un hormigón muy cercano al pH del agua del mar.

Deseamos disponer de carbonato cálcico sobre la superficie de algunas partes del arrecife introduciendo una nueva tecnología que produce la electro acumulación de minerales llamado Biorock ^[3]. Esta tecnología consiste en la electrodeposición de minerales, generalmente de carbonato cálcico, sobre la superficie de un material conductor provocado por el paso de una ínfima corriente eléctrica que produce la precipitación del mineral por poseer iones negativos.

Esto genera una mayor facilidad de obtención de esta materia por parte de los organismos beneficiándoles positivamente en su desarrollo y supervivencia siendo un objetivo muy buscado por el problema que desencadena la acidificación de los mares y océanos.

Hasta el momento, solo se ha implementado esta tecnología sobre estructuras metálicas conductoras. Es por ello, la necesidad de crear un cemento conductor para poder albergar esta tecnología sobre el micro hormigón y poner disponer de carbonato cálcico, mineral principal que queremos que se introduzca sobre la superficie de la misma.

La existencia de investigaciones por parte de del Centro de Sostenibilidad del Hormigón del MIT (CSHub) ^[5] y el Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (CRNS) ^[6] nos han permitido saber, que los hormigones compuestos por materiales de nano carbono altamente conductores (nanofibras de carbono, nanotubos, negro de nano carbono y óxido de grafeno) presentan unas características de conductividad alta. En España, por parte de la Universidad de Alicante ^[7], poco después, desarrollaron un cemento con nano fibras de carbono convirtiendo el cemento en un excelente conductor de la electricidad.

Es por ello, que podemos decir, que se puede crear un cemento altamente conductor añadiendo nano fibras de carbono y así poder introducir esta tecnología.

Debemos recalcar, que el paso de corriente eléctrica por un conductor produce una pérdida de energía que se transforma en calor, lo que se conoce como el efecto Joule. Este calor viene dado por la intensidad de corriente que pase por el conductor. Por ello, es un parámetro que debemos de considerar porque podría producir el calentamiento de las aguas alrededor de los paneles. Con las intensidades de corriente que vamos a usar podríamos despreciar este fenómeno, pero viendo la característica que puede producir, se puede considerar para buscar posibles beneficios en la implementación en el módulo.

Este calentamiento puede provocar el descontento de las especies de los eslabones más altos de la cadena trófica, produciendo un inconveniente para su instalación en nuestro arrecife artificial. Se debe a que el calentamiento del agua va disminuyendo los niveles de oxígeno

comunes y al presentar una mayor densidad, dificultaría el descenso del agua fría rica en oxígeno.

También nos podría producir la acidificación de las aguas, perjudicando al beneficio que queríamos obtener por el calentamiento, pero al ser tan despreciable, no es lo suficientemente significativa para que se produzca en nuestro módulo.

Debemos de tener en cuenta este posible proceso puntual que se nos situó en nuestro arrecife, y por ello, la buena circulación diseñada de las corrientes en nuestro interior refrigeraría estas aguas, solucionando este proceso.

En contrapartida, puede ser beneficioso para los primeros eslabones de la cadena trófica, produciendo unas condiciones ideales para que se desarrollen con mayor rapidez, ya que necesitan el aporte de energía, normalmente la del sol, para realizar sus procesos de descomposición de la materia o desarrollo alimenticio.

I. Estudio de la habitabilidad de las especies.

Un proceso habitual de las especies es la emigración. Esta se debe influenciada por las corrientes y temperaturas del agua. Las especies van en busca de temperaturas ideales para su confort. No todas las especies tienen un predilecto por la misma temperatura, si no que varía en función de esta.

Mencionamos que las aguas más cálidas aumentan el metabolismo de las especies y por tanto se desarrollan más rápidamente ya que la mayoría de las especies son de sangre fría.

Nuestro lugar de implementación de nuestro arrecife es cerca de la costa, lugar donde es más propensa a sufrir los cambios de temperatura. Estos cambios son graduales en el tiempo e influenciados por las estaciones del año. Es por ello, que las especies no siempre se establecen en el mismo lugar.

Los meses de mayo, primavera, las especies emigran de las profundidades a la costa provocado por la recuperación de la temperatura óptima del agua. Condiciones ideales para el proceso reproductivo y desove.

Posteriormente, estas aguas se sobren calientan, época de verano, produciendo la emigración a las profundidades en busca de la temperatura óptima. Cuando bajan de nuevo las temperaturas, meses de septiembre, octubre, se produce de nuevo el mismo proceso hasta albergar el invierno donde la temperatura del agua es muy fría y emigran a las profundidades.

- Posible aplicación de esta tecnología sobre el medio.

Mediante el estudio hemos visto que hay un cambio gradual natural de las temperaturas del agua que influencia directamente a la instalación de las especies. Mediante el calor que desprende los paneles por el paso de una alta corriente podríamos conseguir periodos de tiempo más largos para que albergaran una mayor actividad e interacción ya que podríamos adelantar y atrasar los procesos anteriores creando un pequeño microclima en nuestro arrecife. Por ello, aumentaríamos significativamente el proceso de adaptación al medio de nuestro

modulo y crearía zonas de gran interés a las especies por poder albergar periodos de tiempo más grandes beneficiando considerablemente los procesos reproductores, generando una mayor diversidad de especies, albergando así, un ecosistema maduro.

Recalamos que es despreciable el proceso que se produce de calentamiento porque se introducen voltajes muy pequeños. Pero estudiado este fenómeno y la implicación repercutida se puede aplicar una mayor intensidad de corriente para producir una mayor pérdida de energía, transformándola en calor y poder calentar la zona del arrecife, principalmente la zona interior, en busca de los factores positivos descritos anteriores. Visto la complejidad que resulta aplicar este nuevo método de calentamiento y la necesidad de realizar un estudio donde se pueda ver la eficacia beneficiosa de aplicación, no aplicaremos intensidades de corrientes mayores en busca de este objetivo y dejaremos esta idea como un posible desarrollo en investigaciones futuras para la aplicación en las construcciones de nuevos arrecifes artificiales.

– Aplicación tecnológica.

Las implementaciones, hasta el momento, de la tecnología de Biorock se han introducido corrientes muy ínfimas y de bajo voltaje en torno a 1 voltio, siendo despreciable la radiación de calor de esta. Esto se debe a que el material empleado es altamente conductor. Ahora bien, no se ha podido determinar la resistencia que ejerce este tipo hormigón por estar en fase experimental y en contrapartida con la realización del micro hormigón, pero obviamente va a ser un mayor voltaje que dependerá de la distancia a la que se disponga los polos. Se considera que esta en torno a los 2 voltios dado que la separación será de 1 metro entre polos.

Respecto al cemento, tal como nos ha proporcionado la información de *"Efecto de la adición de nano fibras de carbono en las propiedades mecánicas y de durabilidad de materiales cementantes"* de O. Galao , E. Zornoza , F. J. Baeza , A. Bernabeu , P. Garcés^[9] Añadiremos 1,75% de NFC(nano fibras de carbono) respecto a la masa de cemento , para albergar de esta forma, el mayor rango de poros de 10nm-100nm, obteniendo así un 75% de porosidad aumentando así la superficie de adaptación para albergar la mayor disposición, entre otros minerales, de carbonato cálcico sobre la superficie. De esta forma conseguimos crear un cemento con un alto grado de conductividad junto con la creación de la porosidad deseada.

Emplearemos el cemento CEM II/ LL 32.5 N, junto con las NFC, para albergar la composición principal para la realización del micro hormigón. Un cemento con molida de piedras calizas con una resistencia a los 28 días de 32.5 N/mm² de resistencia normal.

La conexión se realizará mediante la realización de la instalación previa mediante la colocación del cableado eléctrico descartando el uso de la pintura de plata para la conexión evitándonos los problemas de mantenimiento. Realizaremos la conexión de varios módulos y la toma eléctrica se dispondrá en la superficie mediante una boya que dispondrá una placa solar en su superficie. De esta forma obtendremos dos ventajas comunes. Por un lado, dispondremos de una corriente eléctrica continua sin la necesidad de transportar la corriente hasta el lugar de implementación, como también, la no necesidad de no sumergirse para cambiar unas posibles baterías que alimentarían cada módulo. Y por el otro lado, la señalización de nuestro modulo arrecifal para el tráfico marítimo.

La placa solar establecida será de 12 voltios siendo la más baja que se establece en el mercado. Es un voltaje muy por encima del que queremos disponer en nuestros paneles. Por ello deberemos de disponer de un circuito con unas resistencias para disminuir este voltaje.

II. Estudio de la pintura de plata.

Mediante la utilización de la pintura de plata se evita realizar la instalación eléctrica previa en su interior evitando los costes económicos y temporales que conlleva la instalación en el momento de encofrado. Pero en contrapartida provoca una subida de costes temporales y económicos una vez construido el módulo donde a continuación nombramos.

Una vez creado el módulo, deberemos de realizar el circuito eléctrico mediante la colocación de la pintura sobre la superficie del hormigón generando una minuciosidad de colocación, debido a la complejidad que conlleva conservar los grosores y secados de la pintura. Por otro lado, para albergar el pintado para la conexión de los paneles interiores, nos produce un inconveniente debido al pequeño espacio disponible. Después de toda la realización minuciosa de la ejecución, podrían aparecer fallos de adherencia de la pintura, errores de conexión u otros. Todos estos factores se traducen en contratiempos y en subidas económica.

Debido a las condiciones subacuáticas que debe de hacer frente cualquier material, se debe hacer un excesivo mantenimiento sobre la pintura con la complejidad de ejecución que conlleva, junto con los problemas añadidos de colocar una pintura en el medio acuático por las características que tiene este tipo de pintura.

Hay que pensar que la ejecución de este método se realiza sobre el hormigón, reduciendo la superficie de interacción con el medio subacuático, disminuyendo así, las características de adherencia sobre la superficie. Otra contrapartida más para la implementación de la pintura de plata.

5. Diseño de nuestro módulo arrecifal.

Mostraremos el diseño general del módulo, junto a la infraestructura que se crea mediante la unión de los módulos. Mediante la elaboración y estudio realizado mediante el anejo y el que a continuación nombramos, tenemos los conocimientos previos para poder elaborar y justificar el motivo del diseño creado y la importancia que tiene sus diferentes formas para poder conseguir los objetivos marcados.

Destacamos que el uso de las cavidades y recovecos por parte de los seres subacuáticos viene dado por la necesidad de resguardarse ante los depredadores comparable el proceso habitual terrestre de supervivencia. Por otro lado, viene dado por la funcionalidad de resguardo ante acciones climáticas adversas donde se utilizará como cobijo.

Para el diseño de nuestro módulo se ha tenido en cuenta como se ha ido implementando los diferentes diseños naturales en el fondo de nuestros mares, viendo todas las fases que se

producen en la naturaleza, para llegar a determinadas formas y como ha habido una evolución positiva para la instalación de las diferentes especies.

Recalcamos que no es solo distribuir unos huecos en su superficie de manera aleatoria, si no debemos pensar más allá a la hora de crear la distribución y su correspondiente diseño.

No hemos visto ningún diseño que se asemeje al nuestro mediante el estudio previo realizado y no se ha podido encontrar y estudiar ningún arrecife donde justificara la utilización de los huecos en la superficie del módulo para conseguir determinados objetivos, ni tampoco del impacto o el motivo por el cual se ha distribuido los huecos y sus respectivas formas.

Siempre se ha hablado en términos generales la idea que se quería desarrollar en el módulo, sin una justificación previa de su diseño, dejando a la merced del tiempo el resultado beneficioso para el medio subacuático. Por ello, para diferenciarnos y poder crear un diseño único vamos a ir viendo poco a poco los elementos que se han dispuesto y el motivo por el cual se ha ido implantando y diseñando.

A continuación, mostramos en la imagen el diseño general del módulo creado.

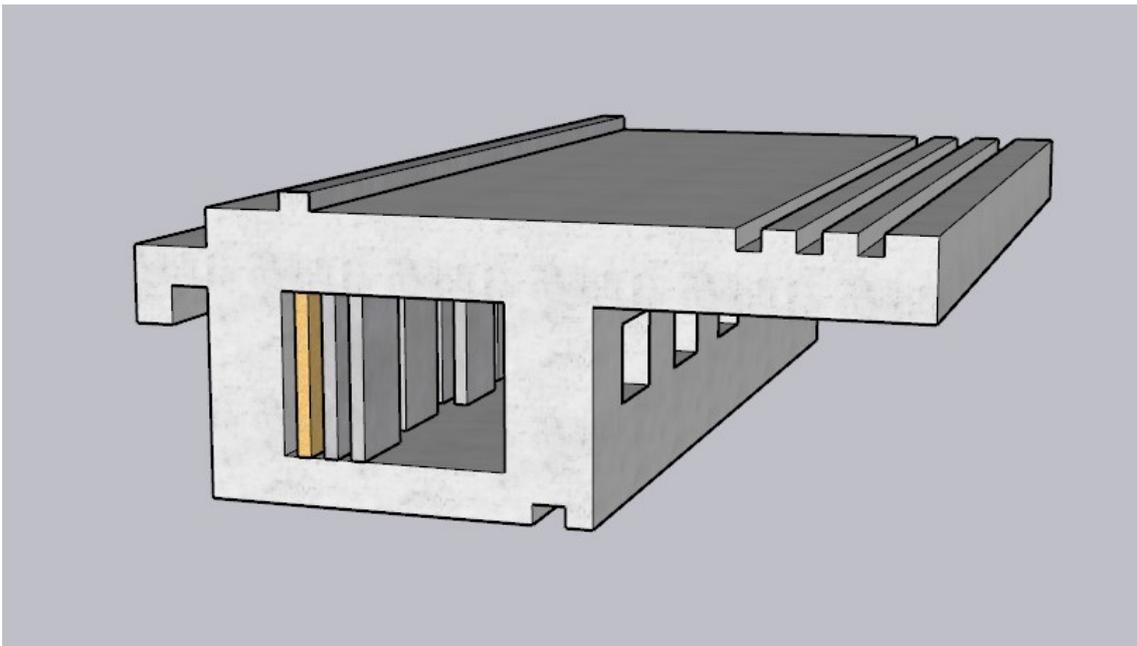


Ilustración 1. Diseño General.

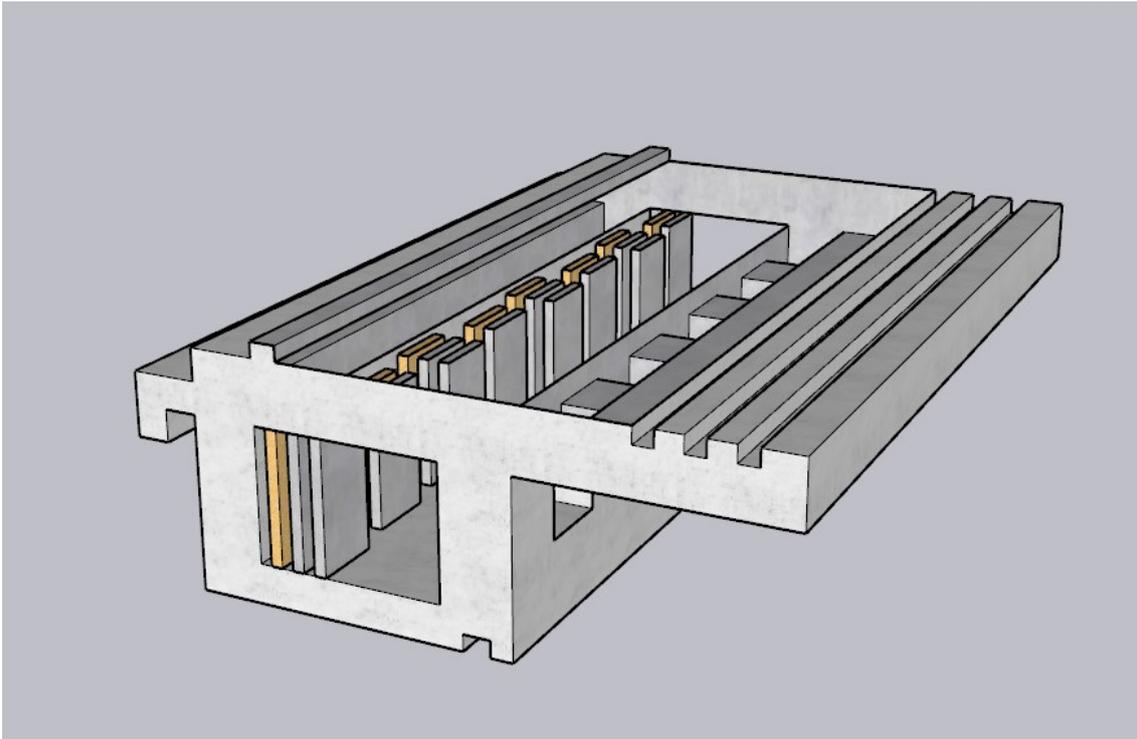


Ilustración 2. Diseño General

- Características generales del módulo.

Se ha podido diseñar un módulo sencillo y compacto para poder albergar una construcción e instalación sin presentar ninguna dificultad.

- La unicidad creada por la unión de los módulos se ha podido obtener una infraestructura compacta presentando poco impacto visual.
- En todo momento se ha pensado en la repercusión social que produce este diseño para que no produzca ningún peligro y dificultad para la realización de actividades deportivas que puedan causar el desagrado por parte de estos usuarios.
- Cumple los objetivos buscados por crear una gran adaptación al medio a corto plazo creando biodiversidad marina y conformando un ecosistema maduro.
- Presenta la propiedad física de conformar un módulo alveolar de peso medio.
- El gran diseño junto con el uso de nuevas tecnologías, le confieren el mejor modulo diseñado hasta el momento.
- Las dimensiones ocupacionales del módulo son de 5m*6.6m*1.97m.
- Volumen del módulo 28.4218m³
- Peso del módulo 65,37014Tm.
- Centro de gravedad del módulo: x:1.6205 y:1.1257 z: -3.3
- Momentos de inercia x: 458.925 y:533.2179 z:166.2211
- Productos de inercia xy: -58.1745 yz. 105.5049 zx: 151.9106

- Radios de giro x: 4.0183 y: 4.3314 z: 2.4183

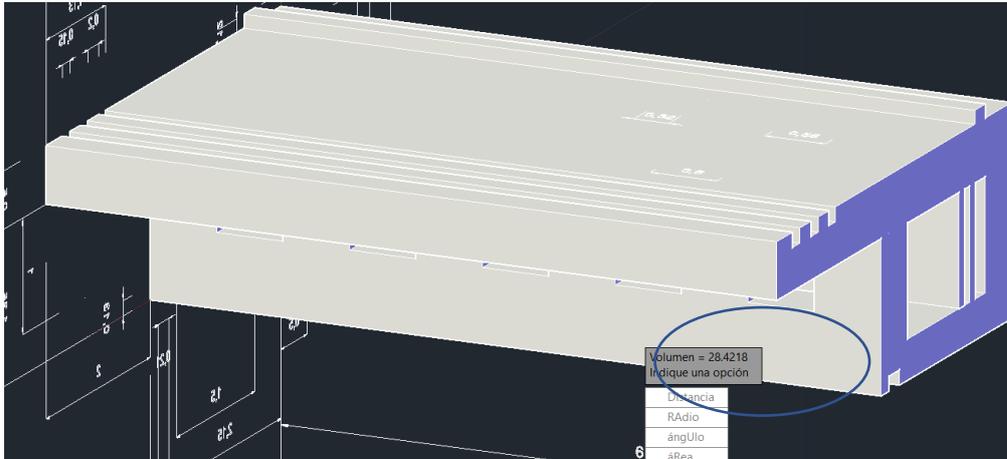


Ilustración 3. Volumen del módulo

- Diseño general del módulo.

El diseño del módulo viene dado por un cubo rectangular procedido de un voladizo longitudinalmente. Se ha pensado en esta distribución motivada por el estudio de la distribución habitual de las cavidades naturales aprovechadas por los seres marinos que a continuación explicamos.

En su interior se dispondrán tres filas de columnas en la parte más interna de la cavidad.

III. Estudio de las Cavidades naturales.

Las cavidades marinas vienen dadas por la intersección de estratos de roca en el lecho marino creando un lugar resguardado, aprovechado por las especies ya que presentan unas características optimas.

Las cavidades se generan gracias a las características erosivas de cada material debido a que los estratos presentan diferentes durezas y por tanto diferentes grados erosivos. Esta erosividad es generada por las corrientes marinas provocadas por el flujo del agua.

A medida que va erosionando la cavidad, esta va reduciendo su poder erosivo debido a la profundidad generada por la disminución de la intensidad de la corriente en su interior.

El crecimiento de la cavidad se va desarrollando a lo largo del tiempo hasta llegar a un cierto punto donde las corrientes no tienen la suficiente fuerza erosiva debido a la profundidad creada en la cavidad.

En ese momento se produce una erosión mucho menor y más prolongada en el tiempo donde, al ser más lenta, se produce unas ramificaciones o pilares verticales que se unen entre estrato y estrato rocoso. Esto se debe a que la erosividad es más lenta y prolongada en el tiempo

consiguiendo diferenciar las diferencias de dureza del mismo material generando estas ramificaciones.

Al paso del tiempo se producen unas cavidades muy grandes entre estrato y estrato aprovechadas por los seres vivos marinos, pero se pueden llegar a desmoronar. Esta caída provocará unas cavidades más pequeñas, pero igual aprovechables y funcionales que las cavidades anteriores. Estas nuevas cavidades estarán enfocadas a otros tipos de seres vivos más pequeños donde estas placas colapsadas, poco a poco, se irán rompiendo y disgregando para formar fragmentos más pequeños.

Justificación.

Este fenómeno, descrito anteriormente, se ha tenido en cuenta para la creación y diseño del módulo arrecifal. Hemos abarcado todos los procesos descritos anteriormente, pero provocando un paso en el tiempo significativo para llegar a la forma más compleja que naturalmente se puede formar. Así podremos albergar una adaptación al medio más rápidamente y formar unos espacios internos parecidos a la naturalidad del fondo subacuático beneficiando a la instalación de todos los niveles de la cadena trófica.

- Diseño del módulo

Se ha estructurado para la obtención de la información de las partes diseñadas del módulo con el motivo y la justificación correspondiente. La primera parte, la zona interior denominada cavidad interna, y la segunda, la zona exterior.

3.1. Cavidad Interna.

La formación de las cavidades naturales que se forman en los mares presenta diferentes rangos de corrientes internas que influyen y benefician a las diferentes especies motivados por las características propias buscadas por cada especie marina.

La cavidad junto con las entradas diseñadas del módulo viene influenciado y pensado por el sistema de corrientes que se genera.

3.1.1. Entradas rectangulares.

Las entradas rectangulares a la cavidad han sido diseñadas y pensadas a nivel estructural junto con las intensidades de luz y el sistema de corrientes que genera en su interior.

Los orificios vendrán dispuestos de una manera lineal y equitativamente a la misma longitud y con el mismo tamaño. La línea de orificios se ha dispuesto un poco más alta que la mitad de la altura donde más adelante comentaremos su justificación.

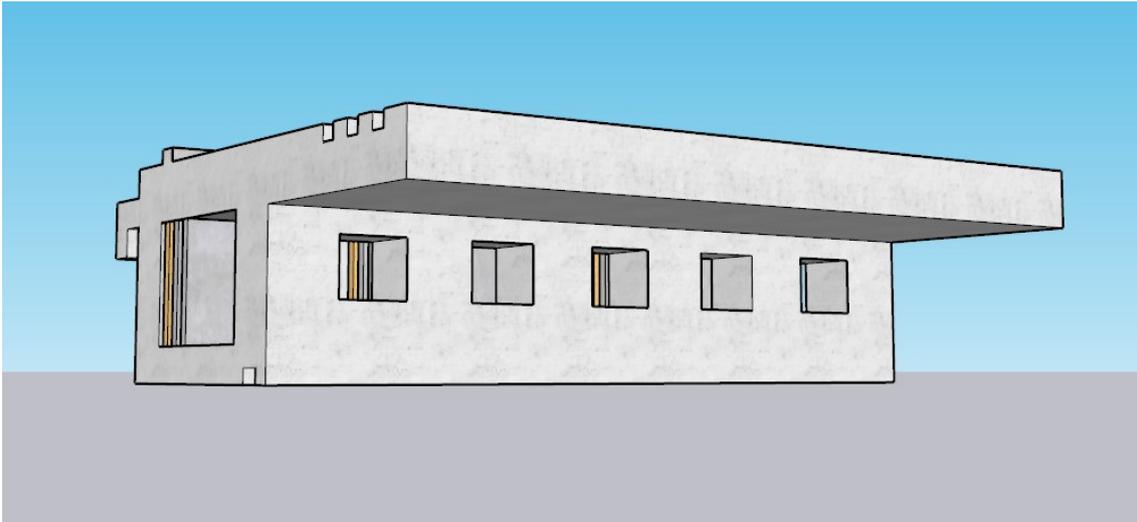


Ilustración 4. Entradas rectangulares.

3.1.1.1. Nivel estructural.

La zona donde se ha dispuesto los orificios ha de resistir las compresiones generadas por el voladizo. Es por ello, no debilitar mucho esta zona donde recoja las tensiones de compresión, mediante la disposición desmesurada de orificios para la entrada a la cavidad interna del módulo. Mediante la elección de los 5 orificios hacemos frente a este problema sin llegar a debilitar esa cara del módulo.

3.1.1.2. Intensidad de luz.

La intensidad de entrada de luz dentro del módulo ha de ser gradual a medida que se va profundizando en su interior. Se ha buscado que, en la primera zona de la cavidad interna, cámara principal, entrara una luz tenue y no intensa; y en la zona más profunda, cámara secundaria, llegar a perder la luminosidad.

Conseguimos asemejar, lo máximo posible, a las condiciones que presentan las cavidades naturales para poder albergar la luminosidad característica de habitabilidad de cada especie.

3.1.1.3. Corrientes generadas.

La entrada de flujo en nuestro interior del módulo presentará un nivel alto de renovación de las aguas que beneficiará positivamente la instalación y desarrollo del ecosistema. Por otro lado, el tamaño de las entradas viene influenciadas en relación con la intensidad de flujo dentro de la cavidad junto con el diseño interior creado para la distribución interna de estas corrientes.

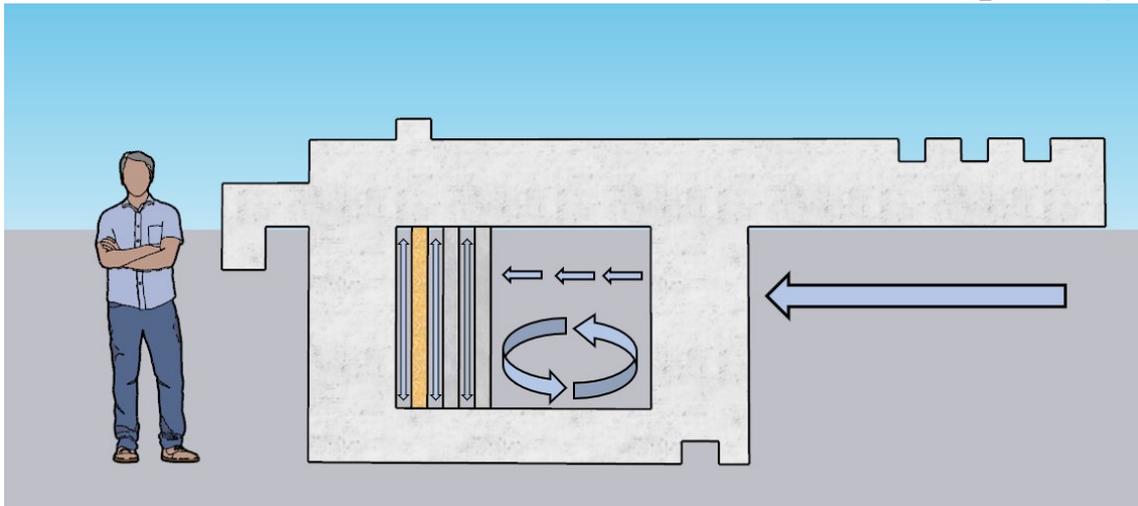


Ilustración 5. Distribución general de corrientes.

La cavidad interna está distribuida en dos zonas que dispondrá de un rango de corrientes para albergar a las diferentes especies influenciado por las características de habitabilidad propia.

En estas zonas se distribuirá las corrientes en diferentes direcciones y con diferentes intensidades.

Se ha clasificado en cámara principal y secundaria.

Cámara principal.

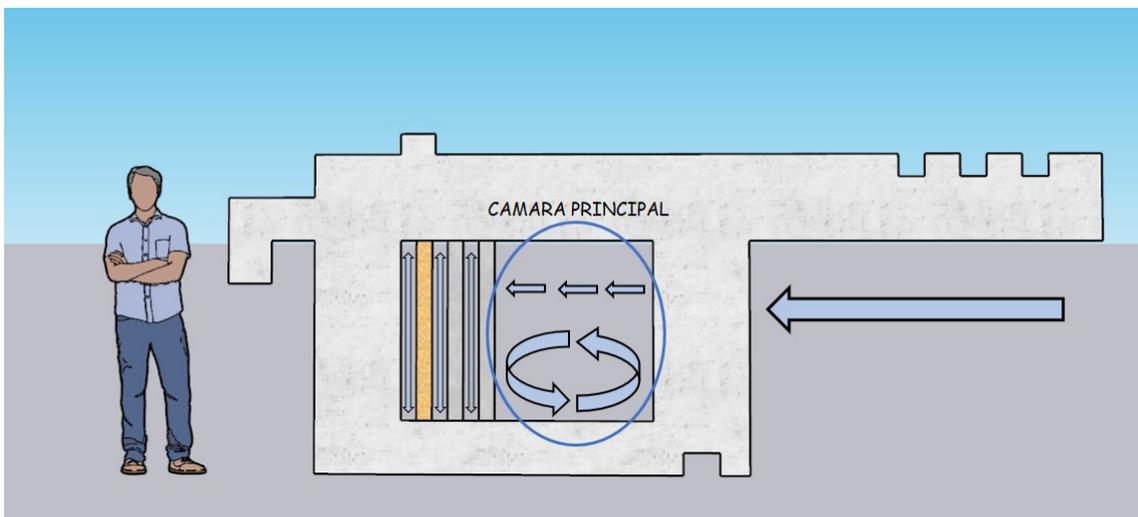


Ilustración 6. Cámara principal

La cámara principal es el lugar interno más grande del módulo, donde se producirá la mayor actividad de las especies marinas debida a las características de luminosidad y de corriente que presentan facilitando su interacción.

Albergará la mayor disposición de las especies dentro del módulo, siendo el espacio previo de resguardo a la salida al exterior del módulo. La cámara principal se dispone dos zonas diferenciadas, la superior e la inferior.

En la zona inferior se producirá un reflujo continuo de corriente involucrado por la entrada continua de corriente de la zona superior por la disposición de los orificios creando un lugar con aguas semiestancas y recirculantes del flujo.

En la parte inferior de la zona más baja se depositará los diferentes materiales orgánicos y sedimentos que puedan entrar en el módulo o que el propio modulo produce por la degradación de sus elementos. En ella se producirá la mayor actividad de las especies por la interacción que supone la concentración de alimento recogido en este lugar.

La zona superior se concentrará la mayor intensidad de flujo por ser la zona donde recoge la entrada y salida de las corrientes del interior del módulo. Estas se desplazarán linealmente hacia el interior o cámara secundaria. Se producirá la entrada y salida del módulo siendo un lugar de tránsito para las especies. Debido a la corriente que se concentrara no se espera que las especies se dispongan en este lugar para largos plazos de tiempo, si no de manera puntual para la entrada y salida.

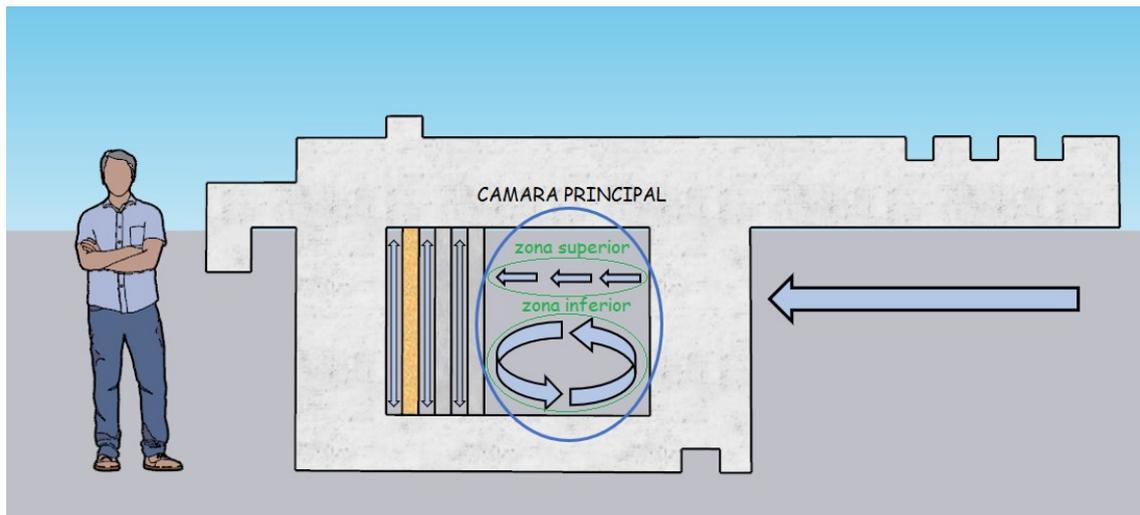


Ilustración 7. Detalle de las zonas de la cámara principal.

Cámara secundaria.

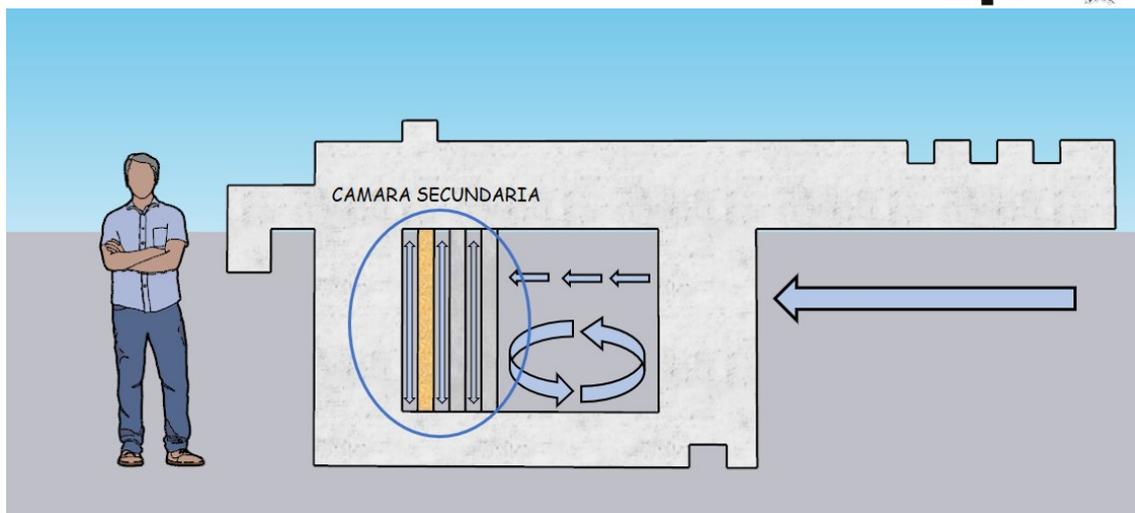


Ilustración 8. Cámara secundaria

Esta zona viene dada por la alternancia de columnas verticales linealmente en tres filas, paneles, generando el acceso a las diferentes filas por parte de las especies. Se ha creado esta cámara o zona secundaria motivada por dos objetivos buscados. Uno de ellos es producir la similitud del espacio de nuestro modulo a las cavidades naturales producidas en el lecho marino.

Es esta zona se producirá el hospedaje de las especies para el resguardo y descanso que genera por ser el lugar con las condiciones óptimas para la realización de estas funciones debido a dos características.

Al ser un lugar con una intensidad de luz muy baja, incluso en las últimas filas de los paneles nulas, crea las condiciones óptimas para albergar todas las características lumínicas para las diferentes especies posibles para su respectivo hospedaje y descanso.

Por otro lado, las intensidades de corriente muy bajas y en direcciones ascendentes, descendentes, facilita el descanso debido a la tipología habitual de los peces. En esta zona no se generará corrientes que desplacen transversalmente, siendo el principal inconveniente que repercute en la instalación de las especies en un determinado lugar.

3.1.1.4. Justificación entradas rectangulares.

La colocación de las entradas en la parte superior viene motivada por cumplir los objetivos simultáneos de disponer un lugar donde se produzca el estancamiento de aguas y, al mismo tiempo, el lugar de sedimentación de la cavidad principal.

Si la colocación de la línea de orificios se hubiera dispuesto más abajo, se hubieran producido los dos fenómenos por separado, perjudicando por un lado el objetivo buscado y por el otro la eficacia de nuestro modulo.

a) La sedimentación

La intensidad media de corriente dentro del módulo produce la sedimentación del material en el fondo. La posible cantidad excesiva de material no es levantada ya que las partículas más finas no se dispondrían en el interior del módulo y la corriente no tendría la suficiente intensidad para poder levantarlas.

Si se produjera un pico de intensidad por encima de la intensidad media diaria se provocaría el levantamiento de la sedimentación afectando a la turbidez y perjudicando la instalación de las especies. Es por ello, que la colocación de la línea de orificios no se ha dispuesto justo donde se produzca la sedimentación, zona más baja del módulo.

En definitiva, la zona de sedimentación viene alterada por la entrada de corriente que arrastra la sedimentación y provoca la turbidez del agua por la disposición equivocada de los orificios en la parte inferior. Dificultaría la instalación de las especies marinas por un periodo de tiempo largo hasta que se decantara, de nuevo, la sedimentación.

b) Estanqueidad del agua

La zona superior de la cavidad se produciría la estanqueidad del agua perjudicando el descanso y la interacción de las especies debido a la dificultad de nado que tienen.

En un espacio de pequeñas dimensiones, las especies tienen una facilidad de nado mayor en dirección ascendente, por el contrario, les cuesta nadar en dirección descendente. Es por ello, si el orificio de salida se dispone más abajo de la zona donde se resguardan y descansan, para la entrada y salida del módulo tendrán un gran impedimento y le influenciará negativamente a la instalación de las especies en dicho lugar dentro del módulo.

3.1.2. Paneles verticales.

Anteriormente veíamos la fase final de la formación de la cavidad venía influenciada por la profundidad de la misma. Tal como hemos explicado anteriormente se producía unas ramificaciones o pilares verticales que se unían entre los estratos rocosos. Por ello hemos asemejado este proceso complejo producido naturalmente a nuestro diseño del módulo mediante la colocación de las tres filas de paneles, para albergar la forma más compleja que se puede desarrollar en la naturaleza.

Indirectamente otorga al módulo de grandes superficies para la instalación de diferentes especies que se coloquen sobre la superficie como moluscos, crustáceos o algún anélido. Estos al disponerse dentro del módulo y estar dispuestos en tres filas provocan grandes superficies donde proporcionen alimento a las cadenas tróficas superiores. Esto beneficiaría considerablemente la instalación de las especies en nuestro módulo y así generar un ecosistema maduro.

Entre las columnas verticales se produciría dos líneas de corriente, un ascendente y otro descendente generando unos flujos muy reducidos beneficiosos para la captación de nutrientes suspendidos en el agua proporcionando alimento a las especies que se dispongan en la superficie de los paneles.

El otro objetivo buscado, viene relacionado con la adaptación de los materiales y las tecnologías empleadas para favorecer el desarrollo y obtención de características positivas para la instalación de especies en el módulo.

Mediante la disposición de la última fila de paneles de madera degradada junto con las características ambientales que conlleva la instalación es esta zona del módulo, facilita el desarrollo de los organismos más pequeños, microorganismos, que alimente a los organismos

que se instalen en las dos filas de paneles posteriores y facilitando la incrustación de organismos más grandes que se alimenten de ellos, desarrollando la cadena trófica y por consiguiente el ecosistema. Estas dos filas de paneles se dispondrán mediante el uso del micro hormigón con la tecnología del electro acumulación comentada anteriormente, Biorock.

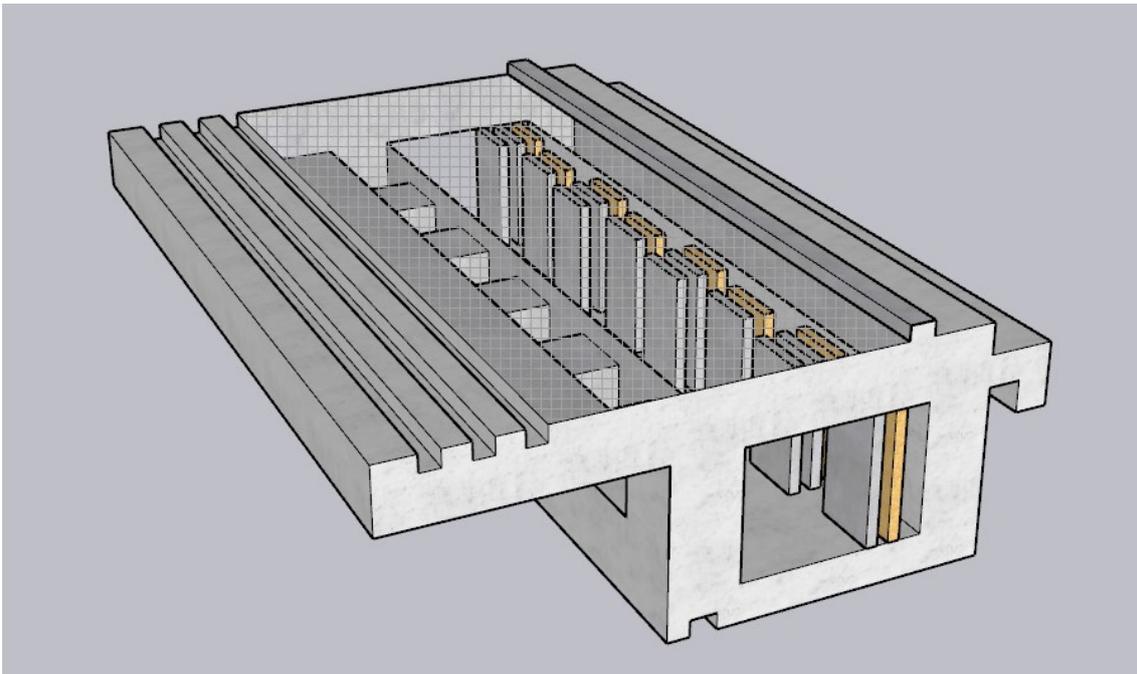


Ilustración 9. Paneles interiores vista externa.

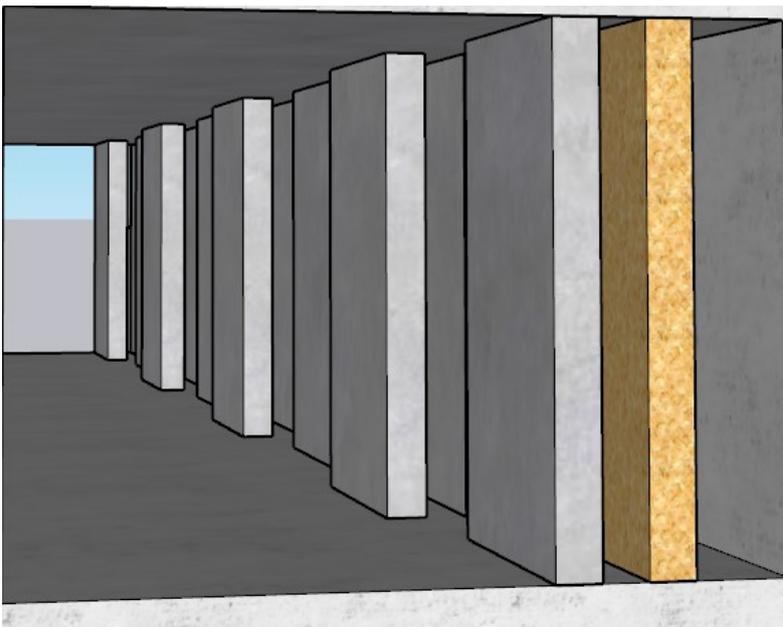


Ilustración 10. Paneles interiores vista interna.

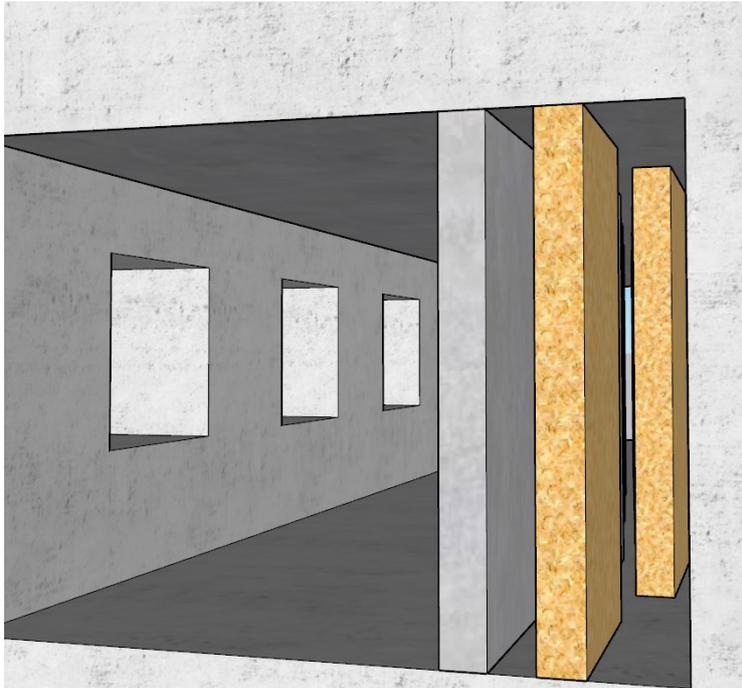


Ilustración 11. Paneles verticales vista interna.

Podemos ver la disposición que tienen los paneles dentro del módulo, y el diseño generado mediante su disposición, albergando el acceso por todas las caras del panel. Mediante la disposición generada crea los espacios necesarios para albergar las diferentes tipologías de especies, junto con la adecuada disposición de los materiales que beneficiara la correcta instalación del ecosistema por el desencadenamiento que produce sus propiedades.

3.2. Diseño exterior.

3.2.1. El voladizo.

Se ha elaborado un voladizo que se asemeja a la disposición habitual del estrato rocoso que conforma el estrato superior de las cavidades naturales. De esta forma creamos un resguardo aprovechable por los peces debido a la seguridad que les genera motivada por la peculiaridad del campo visual que tiene los seres marinos. De esta forma conformarán la instalación de las especies a corto plazo produciendo el ecosistema de la infraestructura y generando su instalación a largo plazo.

A continuación, describiremos el problema que tienen los peces con relación al campo visual y como afecta este voladizo positivamente en su utilización para el diseño del módulo.

IV. Estudio del campo visual de los peces.

Los peces se van distribuyendo por profundidades, provocado por la alimentación y capacidades físicas del medio, esto quiere decir que dependiendo de la especie habitarán lugares más profundos y otras especies a menos profundidad.

La instalación en diferentes profundidades por parte de los peces influye también a los depredadores, ya que se irán instalando en aquellos lugares donde habitan los tamaños de especies que puedan alimentarse y, por tanto, se ven condicionados indirectamente por la profundidad.

Los depredadores de las profundidades más altas pueden avistar presas de profundidades más bajas. Esto provoca una facilidad de detección y de depredación de las especies que habitan en las zonas más profundas, afectando negativamente a la supervivencia de las especies que no puedan detectar y avistar la presencia de estos depredadores por la peculiaridad de su campo visual.

Los peces, al tener los ojos lateralmente, disponen un campo visual amplio, pero en contrapartida no visualizan aquello que está por encima de ellos, si no se alabean expresamente para ello. Solo pueden ver aquello que está en su cota de profundidad o cotas inferiores debido a su tipología visual.

Es por ello, que las especies donde no tenga espacios donde se puedan resguardar y protegerse de las inmediaciones superiores, no se llegan a instalar con facilidad en el lugar, ya que se sienten vulnerables e indefensas.

Anteriormente se ha descrito como se generan las cavidades en los fondos de los mares, y justo estas tipologías de diseño son las que expresamente hay que buscar, por reflejar, por un lado, los entornos naturales del fondo y, por otro, proteger a las especies marinas de las inmediaciones superiores otorgándoles un resguardo y una seguridad sobre los depredadores de las cotas superiores. EL voladizo del diseño del módulo nos otorgará los objetivos marcados por producir el resguardo de las especies marinas por otorgar de la seguridad necesaria para la supervivencia producido por la opacidad generada del campo visual superior.

3.2.2. Rendijas de la zona superior.

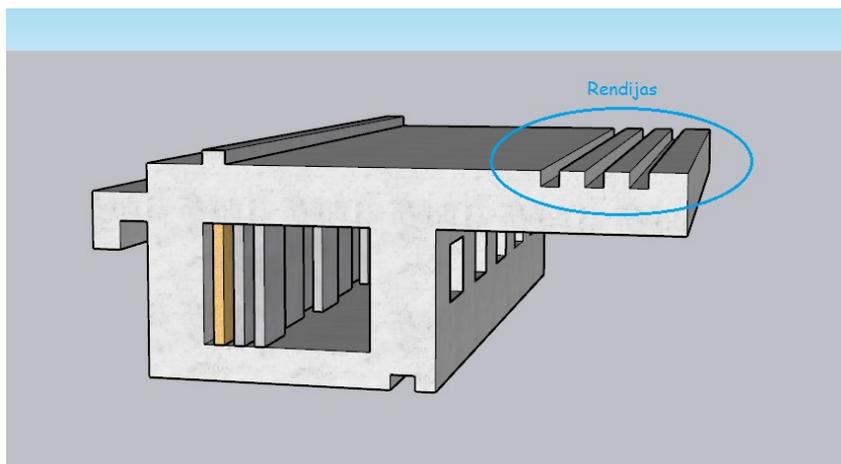


Ilustración 12.Rendijas del módulo.

Se ha diseñado unas rendijas en la parte superior del voladizo con una funcionalidad individual y sobre el conjunto estructural.

– Contexto.

En la actualidad hemos visto infinidad de diseños en los cuales las superficies de los módulos eran totalmente lisas. Esto no presenta una interacción eficaz con el medio ya que no puede recoger material en suspensión e instalarse en él. Esto viene dado por la facilidad constructiva que presenta construir estos módulos ya que no se necesita una minuciosidad a la hora de encofrar para la realización de las formas de la superficie del módulo. Es cierto que ahora mismo se están dando más cuenta de la importancia que presenta la superficie para el medio y se están realizando módulos con impresoras 3d que pueden albergar un nivel alto de detalle para la elaboración de superficies altamente rugosas.

– Funcionalidad.

Nuestro modulo ha pensado más allá y ha tenido en cuenta la posibilidad de albergar materia en la superficie para facilitar y albergar una gran cantidad de flora marina en nuestros módulos. No se ha pensado en la superficie como tal, como hemos visto en los diseños generales de los arrecifes, si no que se ha pensado en pequeños recovecos para que puedan albergar material para facilitar la instalación y crecimiento de las algas. A su vez, se ha pensado que el crecimiento de la flora provocara una barrera natural para las entradas y salidas de los seres vivos en el módulo. Hemos planteado esta idea por la siguiente razón.

– Objetivo.

Las especies depredadoras están al acecho en las entradas y salidas de los recovecos para aprovechar estas situaciones de distracción para poder alimentarse. Es por ello, que las especies vulnerables necesitan una zona donde puedan instalarse y observar al alrededor para ver si hay la presencia de los depredadores. Son los sitios de vegetación, las zonas naturales que utilizan las especies para resguardarse de la presencia de depredadores. Por ello, hemos querido aprovechar, este beneficio natural que crea la vegetación en relación con la protección de las especies por la facilidad que presentar avistar y observar a los depredadores de una manera segura.

Por ello hemos instalado estos recovecos o intersticios para que se pueda afianzar materia para el crecimiento de vegetación y producir así grandes comunidades bentónicas, un objetivo positivo más, para que se puedan instalar las especies y producir un ecosistema maduro.

El lugar de instalación de estas hendiduras está pensado de forma que el crecimiento de la vegetación se sitúe, inmediatamente en la entrada al módulo que se disponga por encima. De esta forma conseguimos el resguardo de las especies inmediatamente después de la salida del módulo.

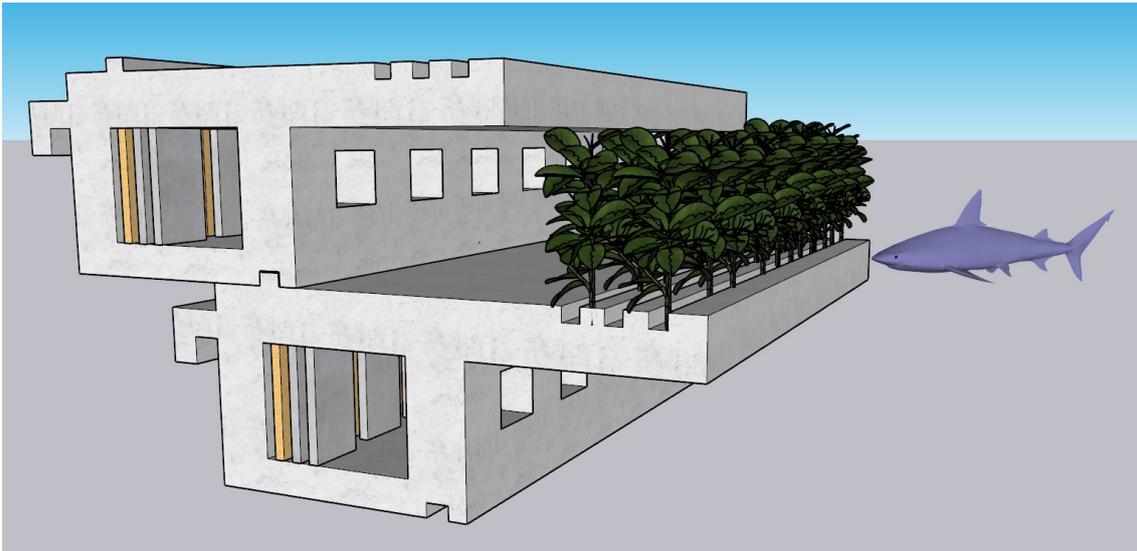


Ilustración 13. Crecimiento de la vegetación.

Podemos observar mediante la imagen, la finalidad buscada y el impedimento que ejerce la vegetación sobre depredadores de más tamaño.

3.2.3. Anclajes del diseño.

Procedemos a explicar el motivo del diseño de los anclajes del módulo, para así realizar nuestro cumulo arrecifal.

En el diseño del módulo se ha creado unas hendiduras en la parte inferior del módulo junto con unos raíles en la parte superior del módulo.

Buscamos poder encajar tantos módulos como queramos, conservando la unión entre ellos para poder soportar el conjunto de esfuerzos físicos que puede albergar. De esta forma podemos crear y adaptar el tamaño de la infraestructura al medio deseado con las mismas características resistentes.

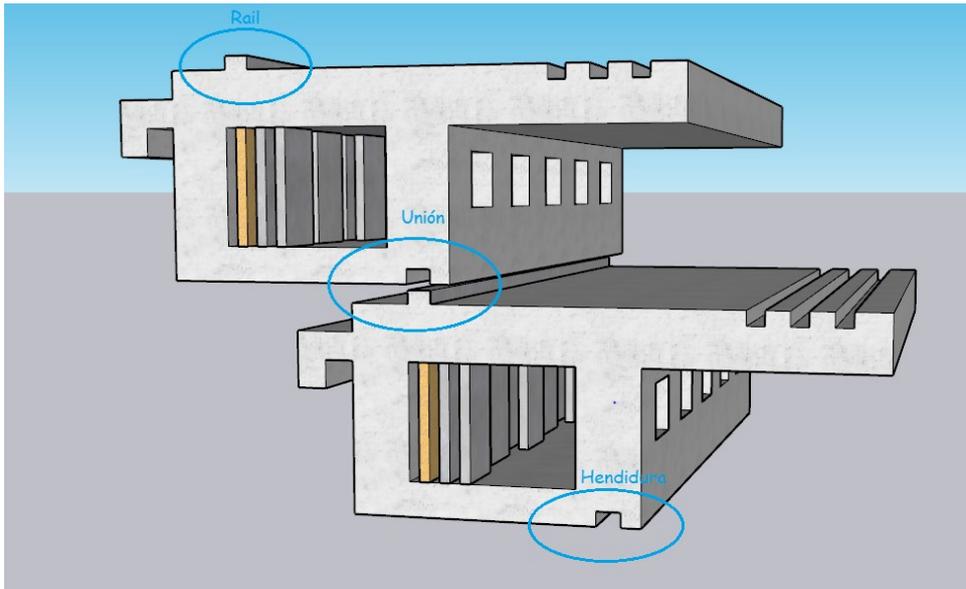


Ilustración 14. Detalle del rail y hendiduras del módulo.

3.2.4. Anclajes para el movimiento del módulo.

Se ha tenido que pensar en cómo proceder al levantamiento y movimiento del módulo. Por ello se ha optado por la utilización de un sistema de anclajes que presentan unas características muy positivas.

Los anclajes consisten en unos pernos embebidos en el interior del módulo que no sobresalen sobre la superficie confiriéndoles un gran beneficio por la no alteración geométrica del diseño principal del módulo. Es un sistema de anclaje fácil que facilita los procesos de transporte e implementación disminuyendo los tiempos de colocación de los ganchos debido a la facilidad diseñada del anclaje.

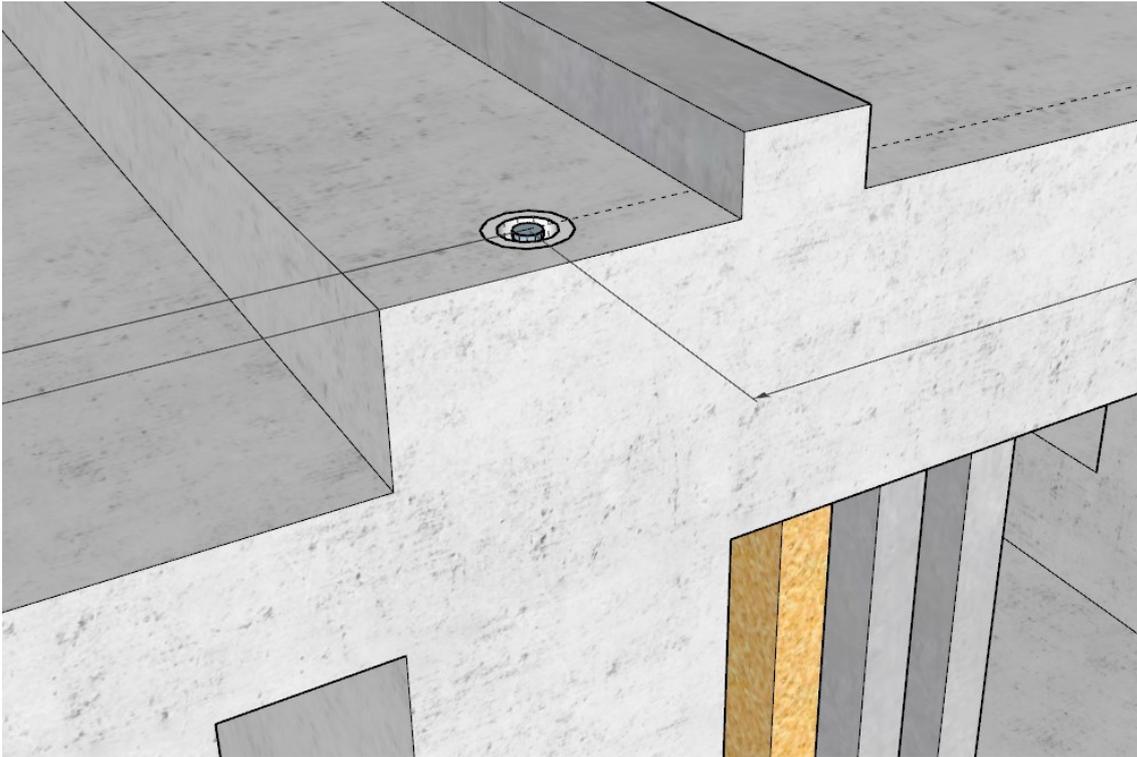


Ilustración 15. Disposición del perno de anclaje sobre la superficie del módulo.

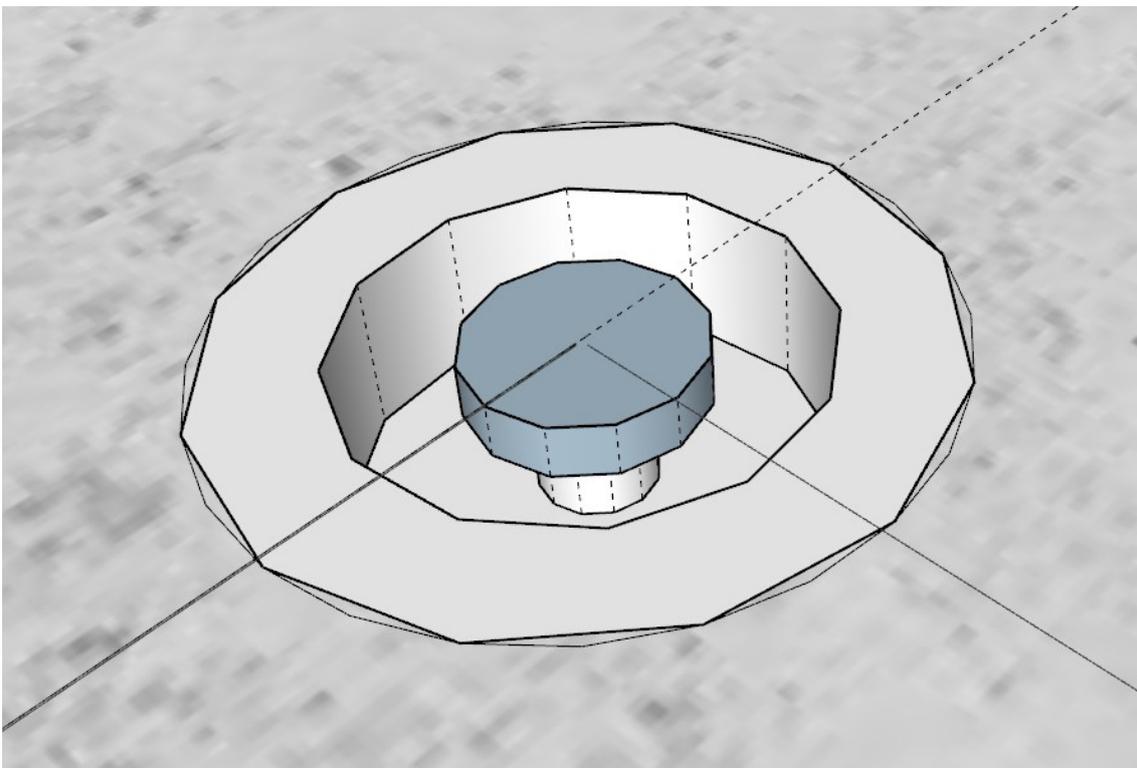


Ilustración 16. Detalle del diseño del perno.

Se ha utilizado 6 anclajes que vienen dispuestos repartidos en toda la superficie del módulo.

Los bulones se han distribuido de la forma que a continuación se muestra en la imagen para poder generar un equilibrio estable a la hora de proceder el posterior levantamiento y traslado.

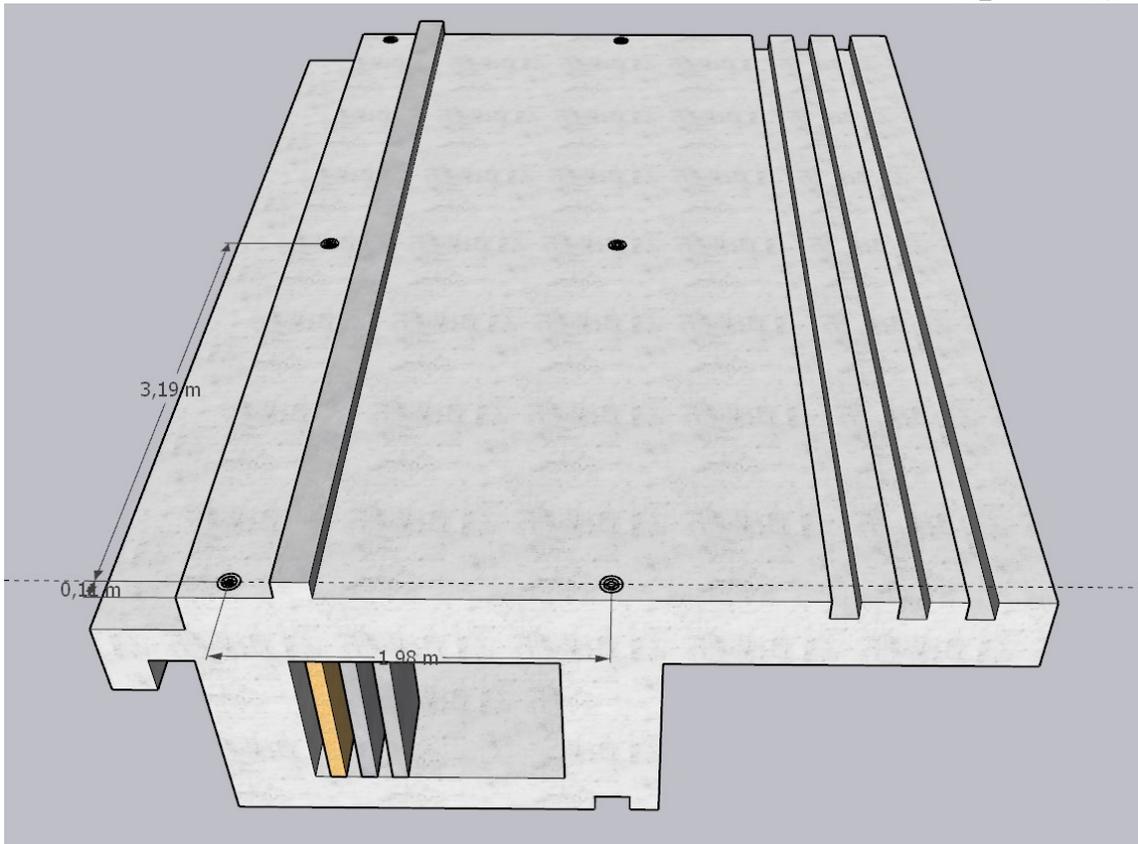


Ilustración 17. Detalle del diseño geométrico de los anclajes.

6. Diseño de la infraestructura o cúmulo arrecifal.

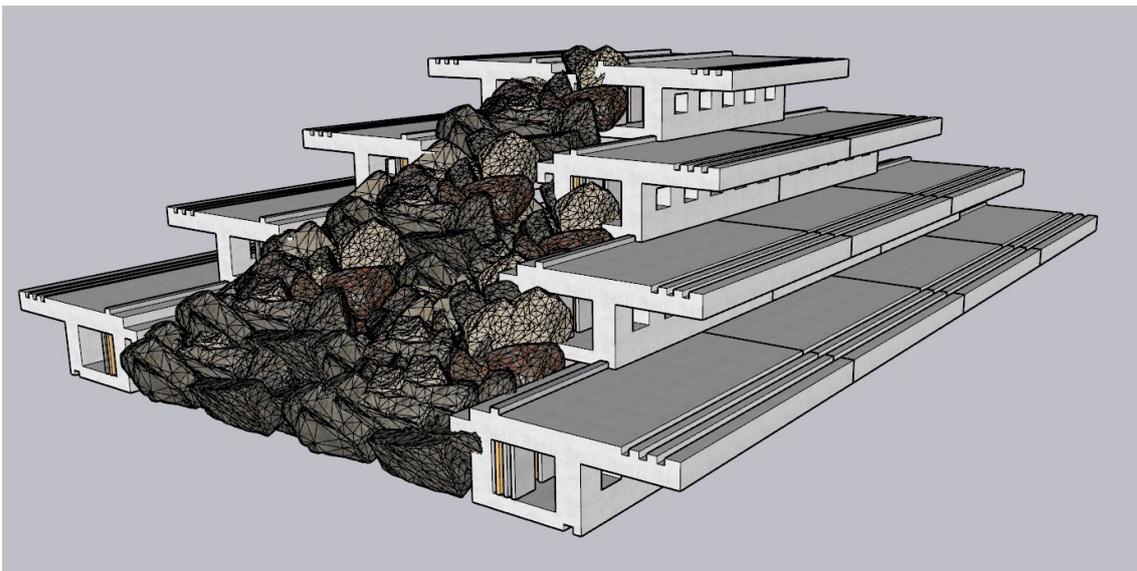


Ilustración 18. Módulos arrecifales instalados.

El diseño geométrico del cumulo arrecifal es un prisma triangular generada mediante la unión de los módulos. De esta forma obtenemos una geometría estable del cumulo arrecifal junto con la distribución del centro de gravedad justo en la mitad de la sección transversal.

Su interior, núcleo, estará relleno de material todo uno de cantera de diferente diámetro tal como se realiza los diques de escollera.

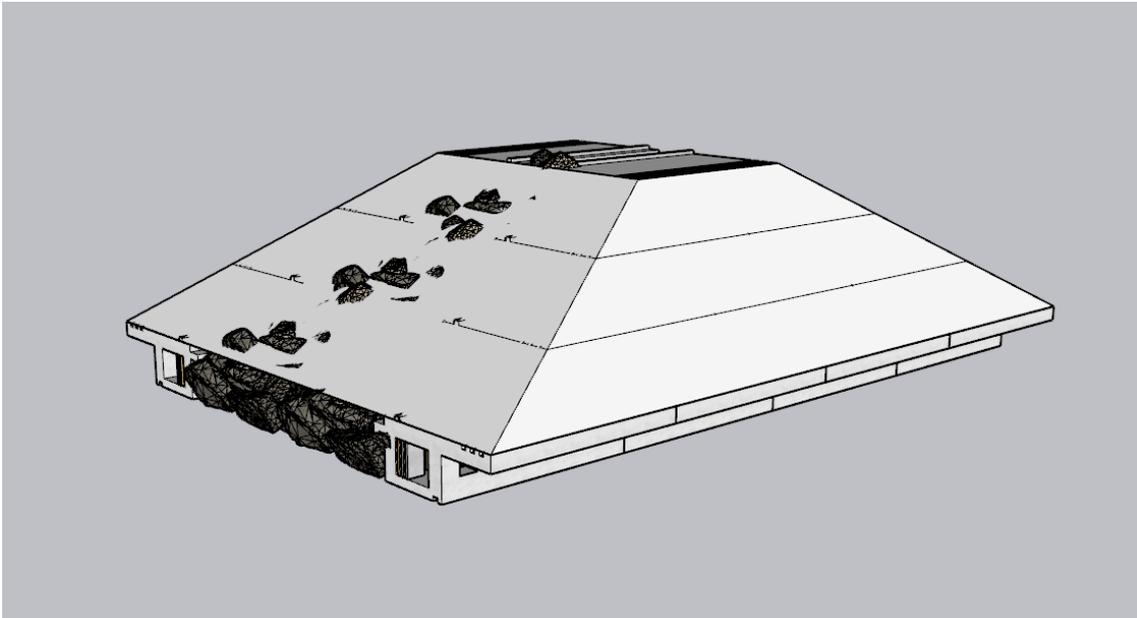


Ilustración 19. Forma geométrica prisma rectangular.

Se crea una polivalencia de tamaños de la infraestructura arrecifal resistente a los esfuerzos físicos exteriores debido a sus características físicas individuales y de conjunto que se obtiene por la forma creada y diseñada. De esta forma podremos adaptar cualquier proyecto de construcción a la zona a implementar, cumpliendo las características dimensionales deseadas.

Destacamos que la utilización de rocas de cantera en nuestra infraestructura producirá cavidades heterogéneas que puede ser aprovechada por las especies marinas tal como se ha podido experimentar y observar en el uso de espigones de control de la deriva litoral.



Ilustración 20. Distribución de las rocas en núcleo de nuestra infraestructura arrecifal con un gran conjunto de módulos.

Mediante el diseño de la infraestructura conseguimos crear una unicidad física y visual generando una cumulo arrecifal compacto, donde en poco espacio, podemos albergar grandes dimensiones y espacios para la instalación del ecosistema.

Se ha seleccionado el prisma triangular por ser la forma geométrica en la cual menos esfuerzo ejerce el mar sobre ella y la adaptación que tiene sobre los diferentes esfuerzos tal como habíamos estudiado y demostrado en el anejo.

Por otro lado, el diseño general viene involucrado por el posible impedimento de las redes. Mediante la infraestructura completa se ha pretendido no generar un diseño con elementos punzantes ni aristas que sobresalgan de la forma general y geométrica de la infraestructura. La finalidad buscada es no crear zonas donde, cuando involuntariamente se realicen artes de pesca ilegales mediante redes, no queden atrapadas en la infraestructura y produzca el acopio de redes abandonadas. De esta forma creamos dos impactos positivos, uno social y el otro medioambiental. Social porque no producirá el desagrado de los pescadores, que por posible equivocación estén faenando por la zona y se vean involucrados en un enganchón donde no puedan retirar sus redes. Por otro lado, el medioambiental, porque no producirá barreras significativas que producen estas redes abandonadas para la implementación de la formación de ecosistemas en la infraestructura.

Sobre el impacto visual se obtendría una buena mimetización en todas las direcciones, ya que con la vegetación que queremos que se implemente camufla notablemente los módulos realizando una buena adaptación al medio y asemejándolo a un espacio natural.

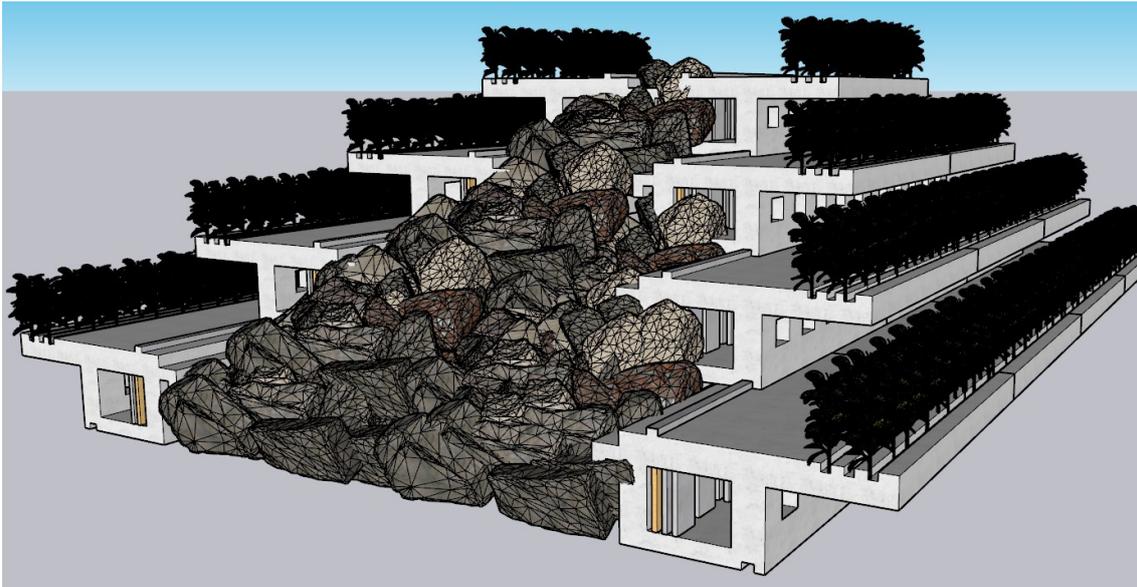


Ilustración 21. Detalle visual del módulo.

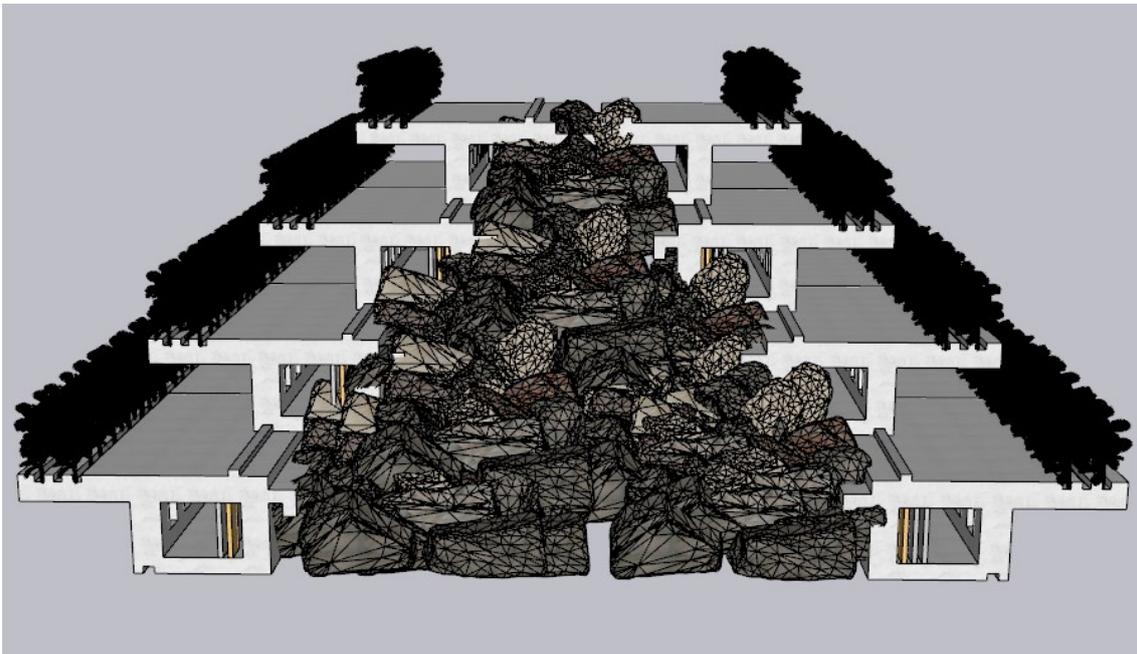


Ilustración 22. Detalle visual del módulo.



Ilustración 23. Vista lateral de la mimetización de la infraestructura arrecifal.



Ilustración 24. Vista superior de la mimetización de la infraestructura arrecifal.

En definitiva, con el diseño establecido, incrementamos el volumen de materia en el hábitad produciendo un mayor desarrollo de la productividad del ecosistema debido al aumento de la diversidad específica, la biomasa que se establecerá en nuestra infraestructura y la captación y enriquecimiento biológico producido por la interacción de los nuevos flujos de corrientes de agua. Esto provocará el desarrollo de los primeros eslabones de la cadena trófica y provocará el desarrollo de muchas especies de interés comercial, que encontrarán refugio y facilidad para alimentarse y reproducirse en nuestra infraestructura.

Como hemos conseguido establecer grandes superficies junto con los diferentes tamaños de los intersticios diseñados proporcionan suficientes enclaves biológicos que favorecerán el asentamiento de organismos y comunidades con afinidades distintas, desarrollando así un ecosistema maduro.

Mediante la infraestructura diseñada albergamos condiciones heterogéneas de habitabilidad adecuadas para aumentar la producción biológica y contribuir a la maduración y estabilidad de

las especies y comunidades asentadas para crear impactos medioambientales, económicos y sociales positivos.

Por ello conseguiremos una atracción, concentración y aumento de la biodiversidad marina aprovechable por los aspectos sociales, económicos y medioambientales.

Para que, la implementación de un ecosistema se desarrolle a corto plazo, se ha desarrollado el uso de mejores materiales y tecnologías descubiertas para la creación de nuestro módulo. De esta forma, en un periodo de tiempo corto, se establecerán los mismos objetivos, que los que han tardado 14 años en conseguirlos.

De esta forma hemos encontrado la unicidad del diseño creado junto con el empleo de novedosas técnicas y materiales para crear así un módulo con unas características únicas e inmejorables para la elaboración y creación de impactos económicos, sociales y medioambientales altamente positivos.

7. Proceso constructivo del módulo.

En la construcción del módulo emplearemos los materiales seleccionados para su construcción tal como hemos nombrado en el apartado anterior y que su selección se ha estudiado mediante el anejo.

El diseño del módulo creado presenta gran dificultad a la hora de construir, por ello procederemos a explicar el método de encofrado correspondiente y le daremos mayor importancia a la construcción interna del diseño del módulo debido a su complejidad.

El material del encofrado se realizará mediante placas metálicas, perfiles de madera y, por último, en el diseño más difícil del módulo se obtendrá dos opciones nuevas de encofrado a utilizar donde decidiremos y explicaremos cuales son las facilidades y ventajas que nos pueden ofrecer. Se ha hecho un desglose de toda la superficie y elementos necesarios, de forma visual, para realizar el encofrado completo del módulo para su construcción.

Iremos explicando, de la mejor forma posible, los inconvenientes que nos ha surgido a la hora de diseñar el encofrado, con las soluciones encontradas respectivamente.

Describiremos a continuación las superficies necesarias para encofrar nuestro módulo.

Primeramente, empezamos con los elementos principales de mayor superficie compuesto por placas metálicas junto con el desmoldante para encofrar. Se realizará y empleará por el método general de encofrado con sus respectivos puntales.

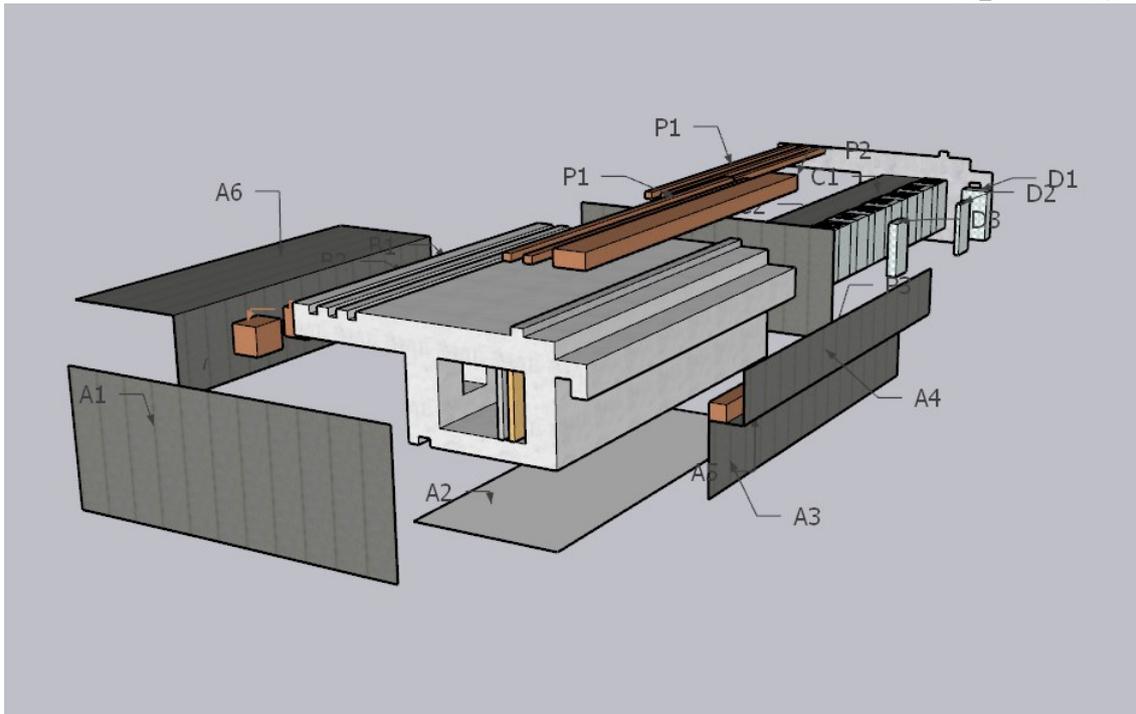


Ilustración 25. Encofrados.

Para la realización del encofrado exterior: Dimensiones

- A1= 1.97*5m
- A2= 2.5*6.6m
- A3=1.35*6.6 m
- A4= 0.75*6.6m
- A5= 0.5*6.6m
- A6=2*6.6m
- A7= 1.35*6.6m

7.1. Peculiaridades externas a tener en cuenta:

Debido a la complejidad del diseño creado procedemos a explicar la solución adoptada para poder realizar, de una manera fácil y cómoda, las siguientes peculiaridades.

1. Tres hendiduras del voladizo.

Para la realización de las tres hendiduras sobre la superficie del módulo añadiremos tres perfiles de madera **P1** atornillados sobre la superficie del encofrado **A1** con dimensiones de 0.15*0.13*6.6m. Se ha propuesto este procedimiento de encofrado debido a la complejidad constructiva por ser de dimensiones pequeñas.

2. Rail exterior.

Para realizar el saliente exterior, elemento muy importante para guiar los módulos y entrelazarlos entre ellos, se instalarán los perfiles de madera **P1** con las mismas

dimensiones, para agilizar el proceso, atornillados sobre el encofrado en los bordes donde se necesite realizar el saliente tal como podemos ver en la ilustración.

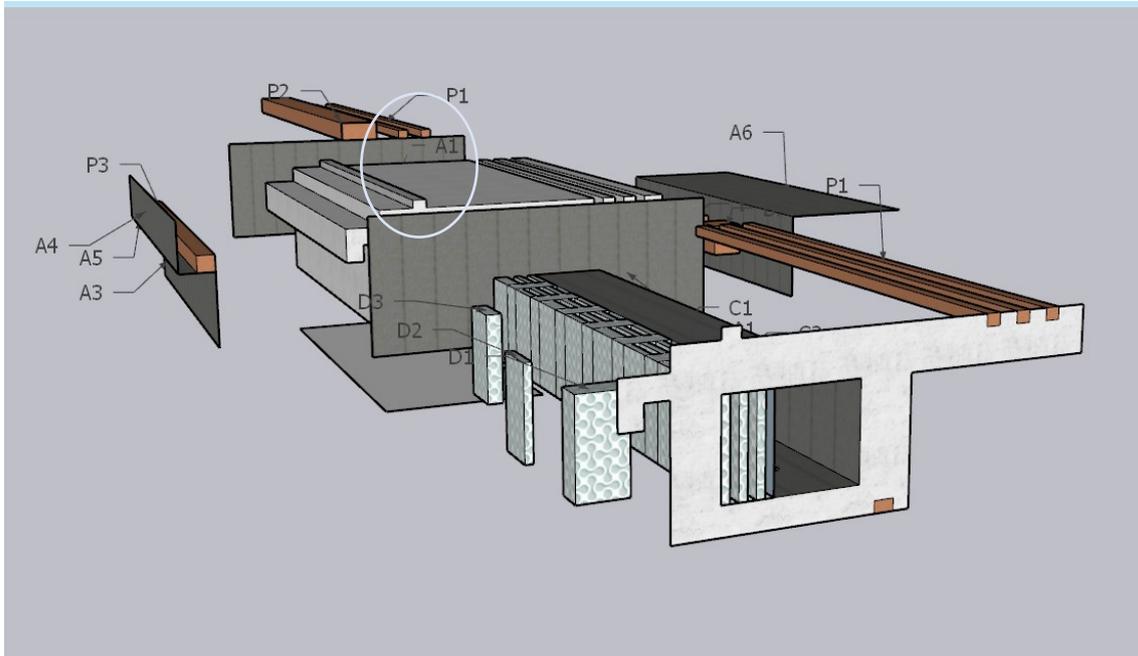


Ilustración 26. Encofrado A4

3. Hendidura inferior.

La parte inferior del módulo presenta una hendidura que su forma geométrica se implementara mediante la colocación de un perfil de madera **P3** de dimensiones 0.21*013m. Emplearemos la misma forma constructiva de colocación de los perfiles sobre el encofrado **A2**.

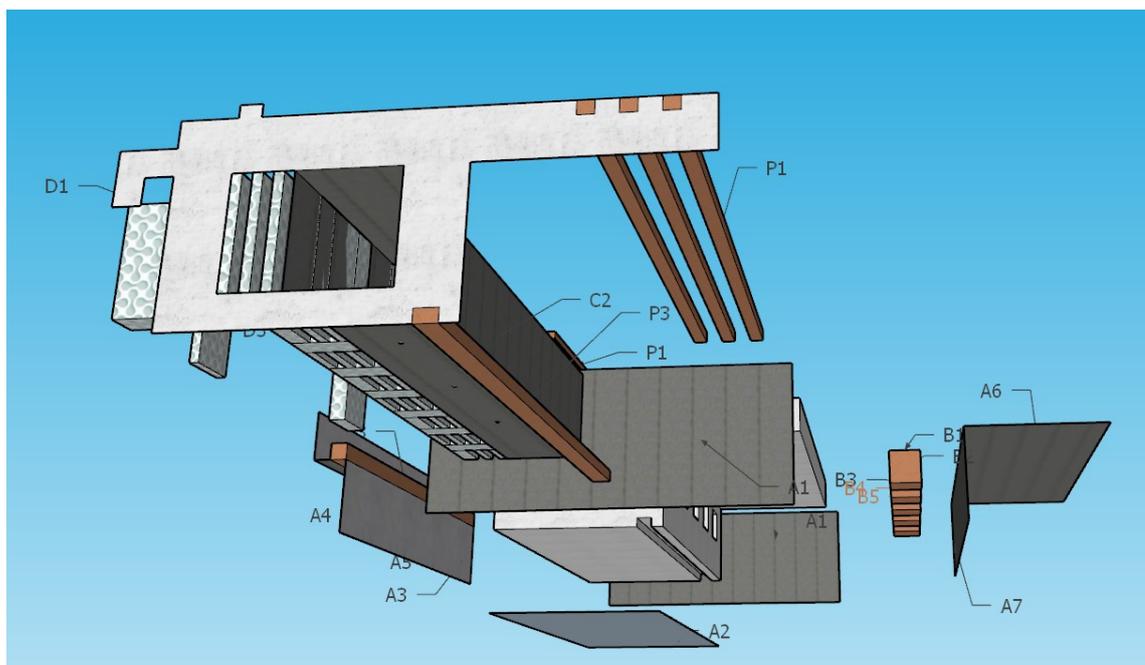


Ilustración 27. Detalle de encofrado de la hendidura inferior

4. Gancho exterior.

La forma geométrica saliente en forma de gancho construida especialmente para el proceso de colocación del módulo se realizará mediante el proceso que hemos utilizado de los listones de madera **P2**, atornillando a **A4** un listo de 0,25*0.5m y a **A3** un listón **P4** de 0.25*0.25m para generar la forma geométrica deseada.

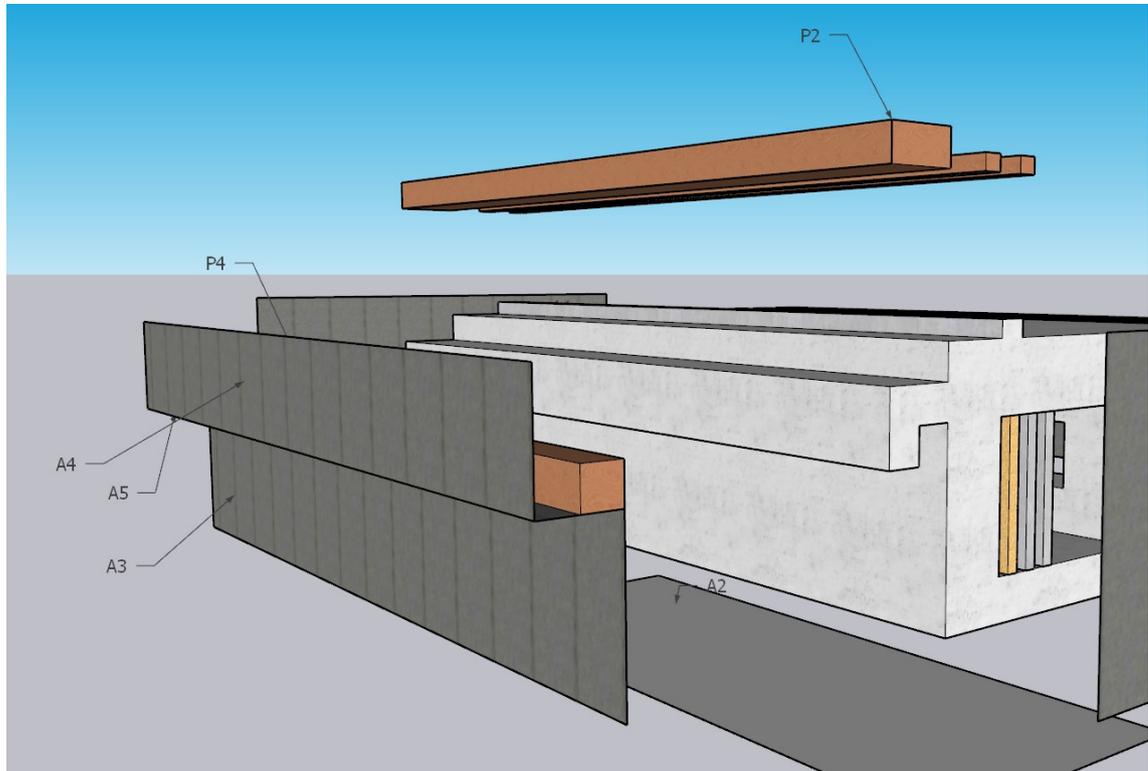


Ilustración 28. Detalle de encofrado del gancho

5. Orificios.

Se realizarán los 5 orificios hechos sobre la cara de debajo del voladizo serán de 0.5*0.6*0.5m. Motivado por la misma razón anterior, debido a las pequeñas dimensiones, se emplearán cubos de madera con las medidas anteriores para crear **B1 B2, B3, B4, B5**. Se atornillarán sobre el encofrado **A7**, en las distancias correspondientes para producir así los orificios sobre la cara.

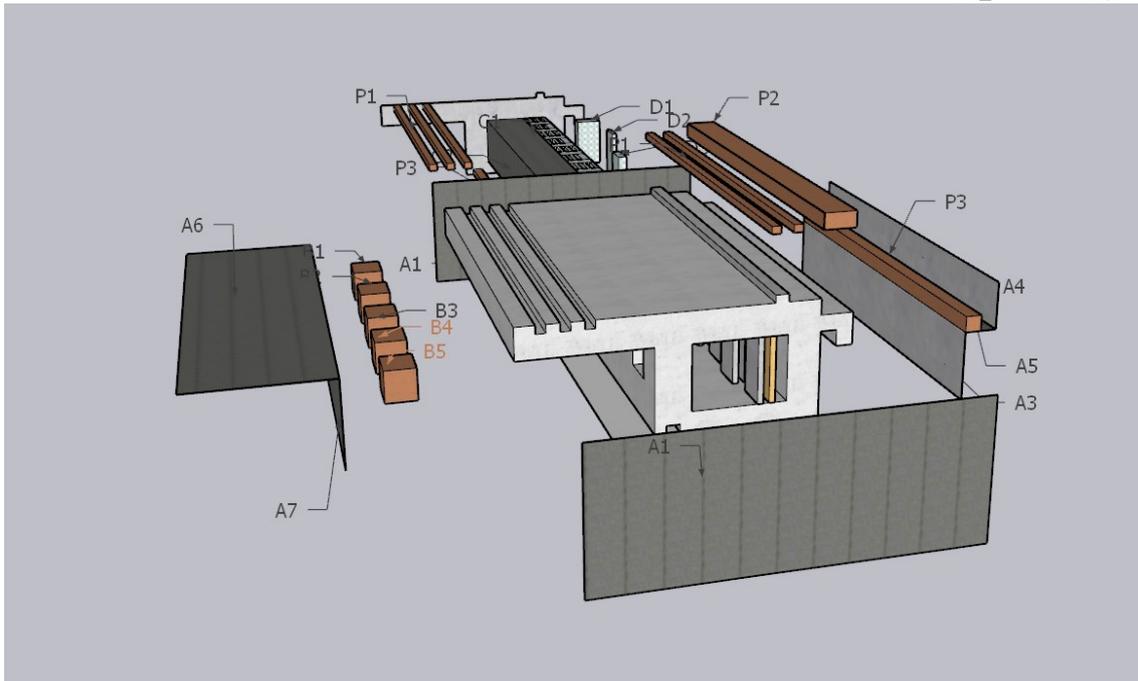


Ilustración 29. Encofrados de B1, B2, B3, B4, B5.

7.2. Particularidades internas a tener en cuenta.

Una vez realizado y solucionado, los elementos constructivos particulares externos, debido al diseño creado, procederemos a realizar el encofrado interior de nuestro módulo. Este debemos de darle mayor importancia debido a la complejidad que conlleva. Por ello se ha pensado en diferentes formas de poder enfrentar esta complejidad para poder albergar, de la forma más sencilla y fácil, la forma deseada.

6. Cámara principal.

Por un lado, tenemos la cámara principal, que se procederá a encofrar para realizar la cavidad. Las superficies se crearán mediante el encofrado de **C1, C2**, que se realizarán mediante placas metálicas.

Estas placas, mediante la unión entre sí y anclados a los paneles A1 conformaran la forma geométrica cubica interior del módulo para la realización de la cavidad principal interna.

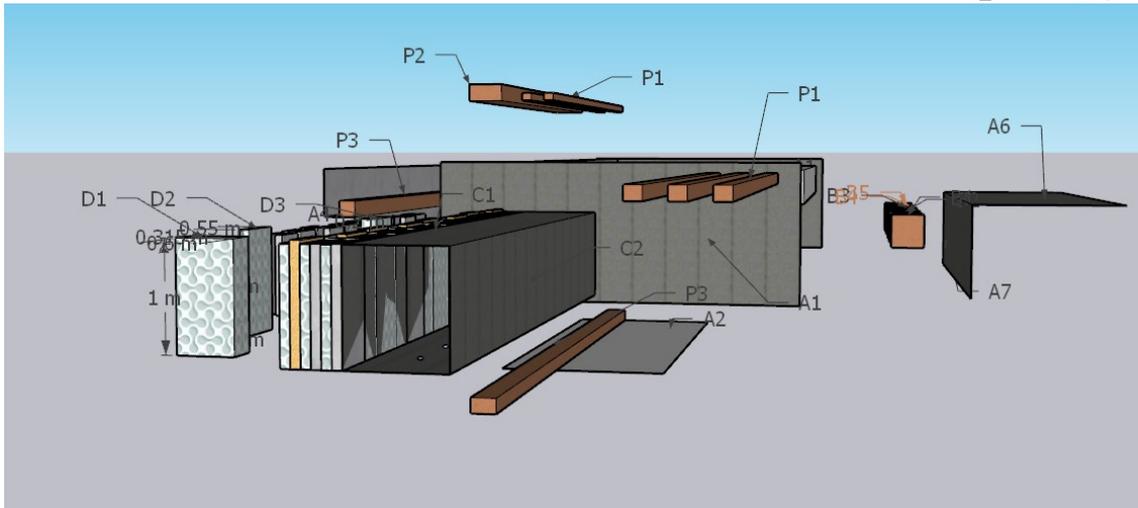


Ilustración 30. Encofrados C1, C2

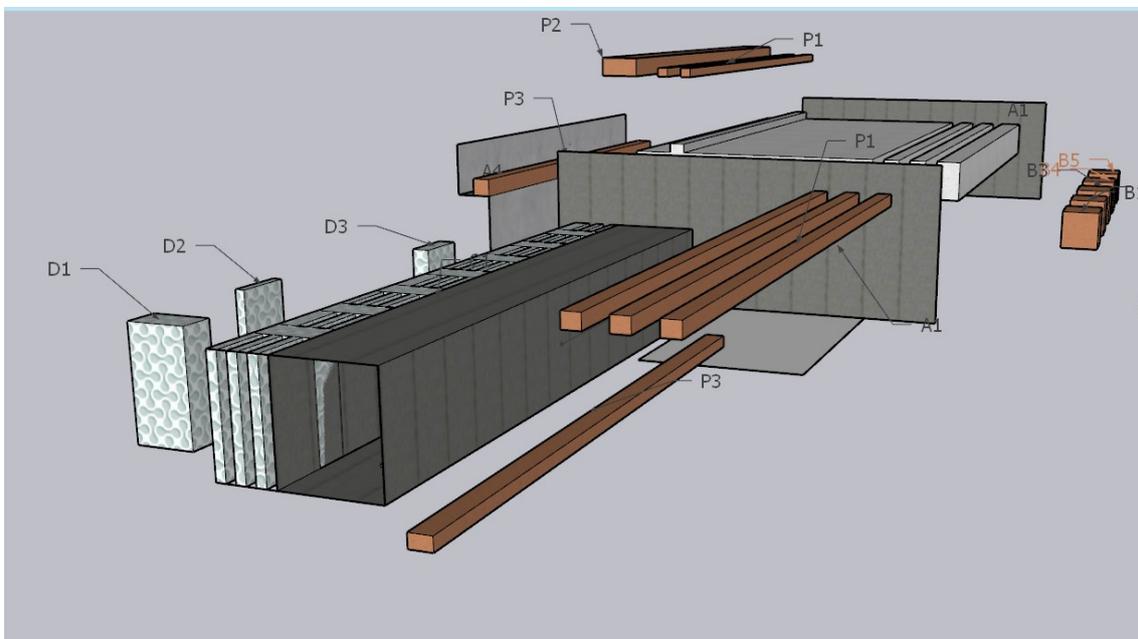


Ilustración 31. Encofrados C1, C2

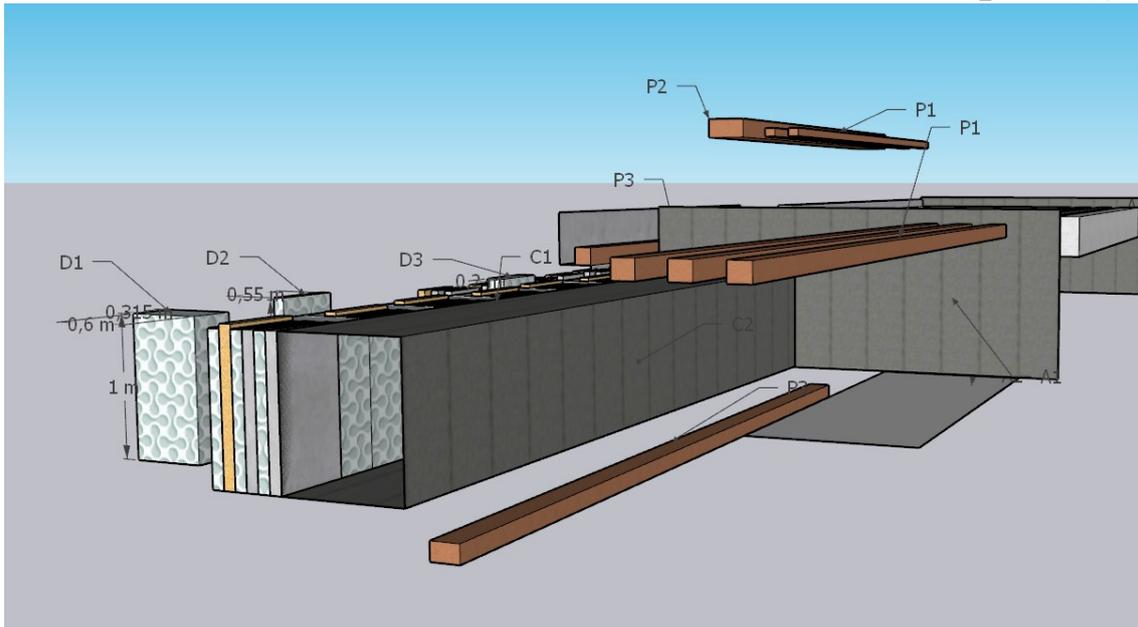


Ilustración 32. Encofrados C1, C2.

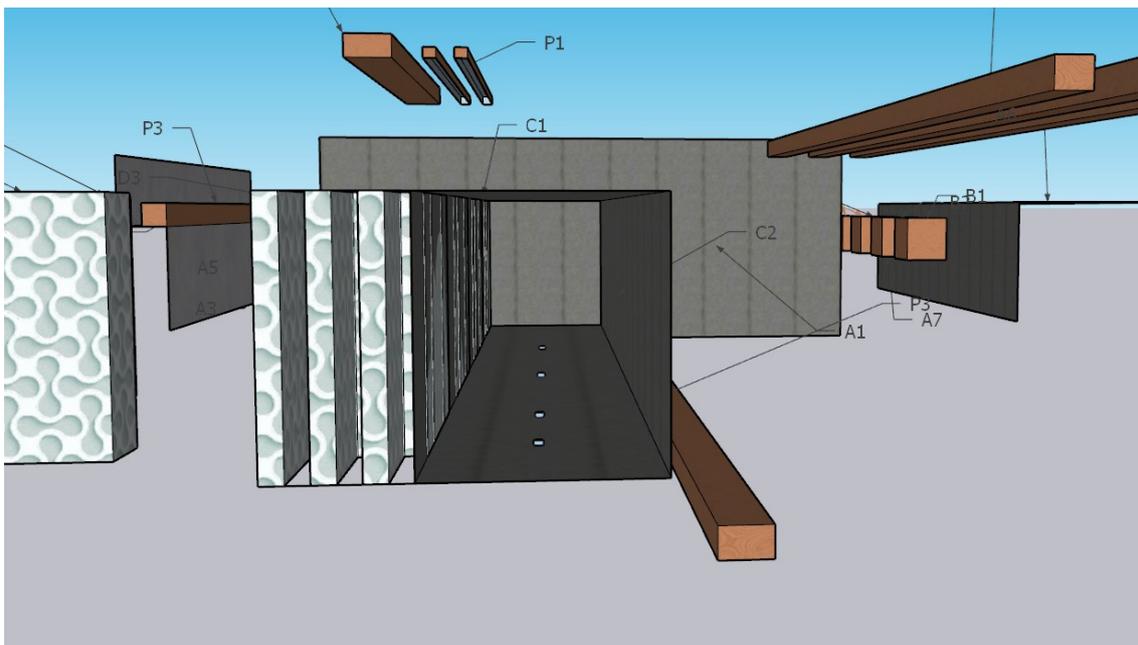


Ilustración 33. Orificios interiores del encofrado.

Presenta la peculiaridad, que debido a la complejidad que resulta hormigonar en la parte inferior de la cavidad, establecemos 4 orificios a lo largo de la longitud para poder establecer la salida de aire de la parte inferior junto con la opción de entrada de hormigonado para establecer su correcta ejecución y que no nos queden ninguna burbuja de aire que nos haga desechar el módulo. Estos orificios se tapanán en el momento en el que la lechada del hormigón comience a salir por ellos, disponiendo el encofrado de la rosca adecuada para ello.

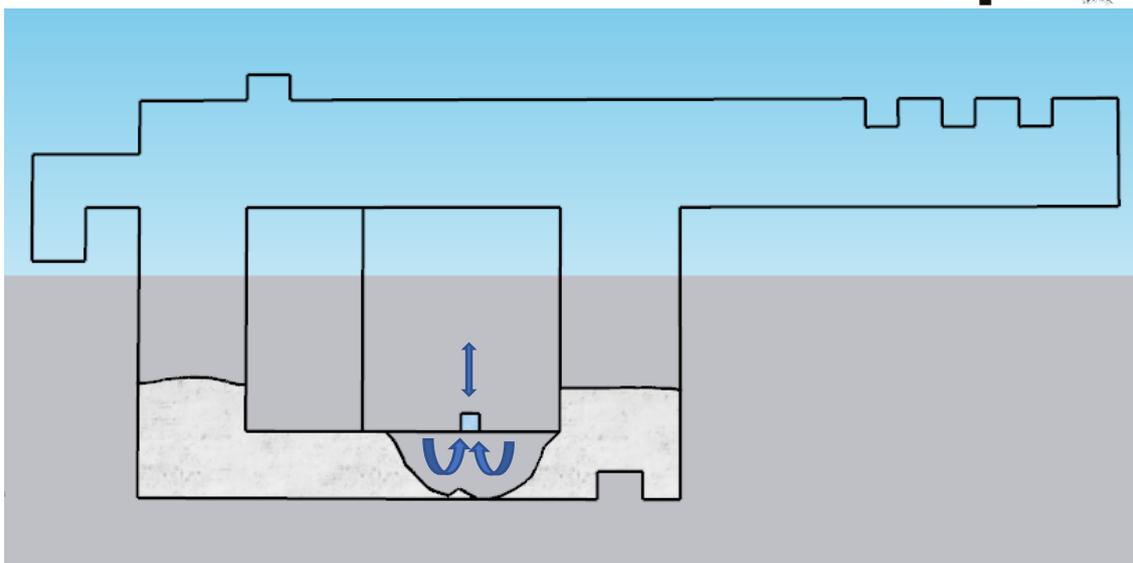


Ilustración 34. Detalle del proceso.

Para el desencofrado, presentara la peculiaridad que tendremos que proceder a la entrada de un operario, con las posibles dificultades que conlleva. Con ello puede parecer un cierto nivel de riesgo si no se procede a realizar de una manera pautada y segura.

7. Paneles interiores.

Estos elementos presentaran una gran dificultad constructiva por la complejidad de diseño que tiene, ya que obliga a realizar los paneles con una colocación específica en un espacio pequeño.

El detalle constructivo de los paneles interiores viene dado de la siguiente forma constructiva.

- Circuito eléctrico de los paneles.

Destacamos que las dos primeras líneas de paneles se realizaran mediante el empleo de un micro hormigón con cemento CEMII/LL 32.5 N+ 1,75% de nano fibras de carbono. Estos paneles debemos de prever la conexión entre ellos para poder introducir de corriente eléctrica por su interior. La metodología que se ha seleccionado para la implementación de la conexión de los paneles es mediante la instalación eléctrica de un circuito eléctrico previo al encofrado.

La realización mediante la instalación eléctrica, debemos de proveer su lugar de colocación para poder albergar la instalación en el interior del hormigón conectando, mediante los polos + y -, en la parte superior e inferior de los paneles.

La conexión entre los módulos debe de aparecer la toma externa para poder conectarlos entre ellos. De esta forma conseguimos una correcta ejecución y unión de los paneles. Su rendimiento será mayor junto con un manteniendo muy bajo debido a las condiciones positivas que presentará la instalación eléctrica dentro del hormigón.

Una vez realizado la colocación de la instalación eléctrica procederemos al encofrado y hormigonado correspondiente mediante el método general, con la peculiaridad de encofrado de los paneles interiores.

- Encofrado.

Se ha pensado en cómo realizar el encofrado de los paneles, de una forma rápida, eficaz y segura, teniendo en cuenta el proceso constructivo para poder albergar alguna forma de añadir algún impacto positivo al medio.

Por ello procederemos a explicar el uso de dos tipos de materiales para la generación del encofrado de los paneles, en el cual, uno de ellos nos producirá grandes impactos medioambientales y constructivos positivos, y por el otro lado, solo impactos constructivos.

Dada la dificultad constructiva que nos puede generar la construcción de los paneles interiores, hemos procedido a pensar y estudiar, las diferentes características de los materiales, para albergar la construcción de los paneles de una manera ingeniosa y eficaz, sin perder de vista la finalidad constructiva.

Se realizarán las diferentes primas rectangulares necesarios que conformarán el encofrado para la realización de los paneles interiores. Se procederá a la construcción, por un lado, con material granular húmedo y compactado como primera opción, y por otro, con poliestireno expandido como segunda opción.

El método constructivo consiste en generar el encofrado de los paneles interiores mediante la colocación de prismas en los lugares donde después se hace la cavidad. De esta forma, se añadirá el micro hormigón en los huecos generados, generando así el encofrado para la construcción de los paneles. Una vez fraguado, se realizará la retirada de los prismas, quedando así construido los paneles interiores.

Por otro lado, en la última línea de paneles serán construidos por los perfiles de madera. Estos no necesitarían de un encofrado si presentaban las condiciones de estanqueidad. Pero al presentar unos centímetros de separación entre los perfiles de madera para la realización de un panel, debemos de proveer también del correspondiente encofrado para albergar así la buena estanqueidad de la misma. También nos produciría un reparto del esfuerzo físico generado sobre el encofrado metálico, aportando así, el reparto de las cargas equitativamente.

En la fase de retirada de los prismas viene dada la importancia de las características del material para facilitar el proceso.

Los prismas rectangulares necesarios para la construcción de los paneles son:

- 7 prismas D1, 0.315*0.55*1m
- 4 primas D2, 0.2*0.55*1m
- 20 primas D3 0.1*0.55*1m

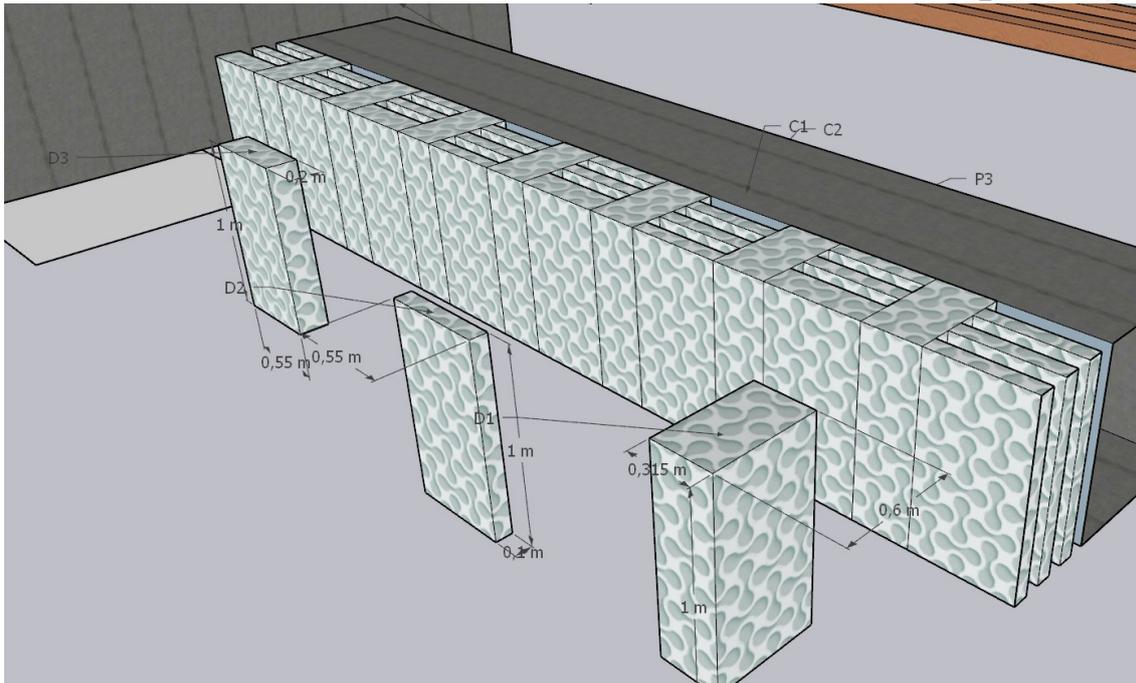


Ilustración 35. Prismas rectangulares D1, D2, D3.

Vamos a explicar la utilidad de los diferentes materiales que se ha pensado para la construcción de los prismas rectangulares. Hemos tenido en cuenta las características que presentan a nivel económico, de facilidad constructiva e implementación, como también, la superficie rugosa generada sobre el cemento.

Por otro lado, los beneficios que presenta el material sobre el medio acuático, sin dejar de perder las características físicas del material para el encofrado de los paneles.

- Encofrado con material granular.

La primera opción adoptada es la construcción de los prismas rectangulares mediante un material granular, con unas condiciones de humedad y de compactación previa. De esta forma aportamos las condiciones físicas necesarias para poder utilizarse como encofrado. Destacamos que no es necesario grandes capacidades físicas, ya que estarán embebidas sobre el encofrado metálico generado A3 y C2.

Principalmente, daremos más importancia a la porosidad de la superficie generada de los prismas rectangulares por estar en contacto con el cemento.

Destacamos que debemos de proveer, que, al ser un material poroso, absorberá el agua que tenga la pasta de cemento disminuyendo la consistencia del misma y cambiando las condiciones estudiadas. Por ello, se deberá de tener en cuenta a la hora de determinar la cantidad de agua, y si es necesario, de pensar alguna forma de reducir este proceso, como podría ser adaptar la superficie del misma para que se produzca la disminución de la porosidad.

La idea de la utilización de este material es la disminución temporal de desencofrado generando una reducción de los tiempos de producción. Esto se debe al proceso físico buscado por la degradación de este material granular cuando se instale sobre el medio subacuático. Al estar en continuo contacto con medio acuático, se producirá una absorción debido a la porosidad del material perjudicando a la característica de consistencia del misma, produciendo la expansión y la disgregación del estado físico del material.

De esta forma generamos un aporte de material sobre el interior del módulo, que se depositara en el fondo, transformando el problema del desencofrado como un posible beneficio medioambiental.

Crearemos un nuevo espacio en el interior de modulo, generando y abarcando nuevamente, la instalación de nuevos organismos y especies propios de estas condiciones generadas por el acopio del material sobre la superficie del fondo del interior del módulo. De esta forma produciremos una mayor adaptabilidad al medio, produciendo un nuevo rango de especies que se instalen en su interior y generando un ecosistema más complejo.

Se podría pensar que este material granular estuviera compuesto por algún tipo de materia alimenticio, de aporte a largo tiempo, que produjera un aliciente a la instalación de las especies en el módulo. De esta forma, el alimento que tuviera ese material granular, crearía una atracción de las especies.

El uso compartido del material granular y alimenticio disminuiría los tiempos de adaptación al medio subacuático y facilitaríamos la creación del ecosistema.

Finalmente, la textura generada nos aportará una rugosidad sobre el cemento altamente buscada ya que nos producirá una mayor adaptabilidad de la superficie de los paneles para la instalación de los organismos creando un gran beneficio positivo temporal para la instalación de un ecosistema maduro.

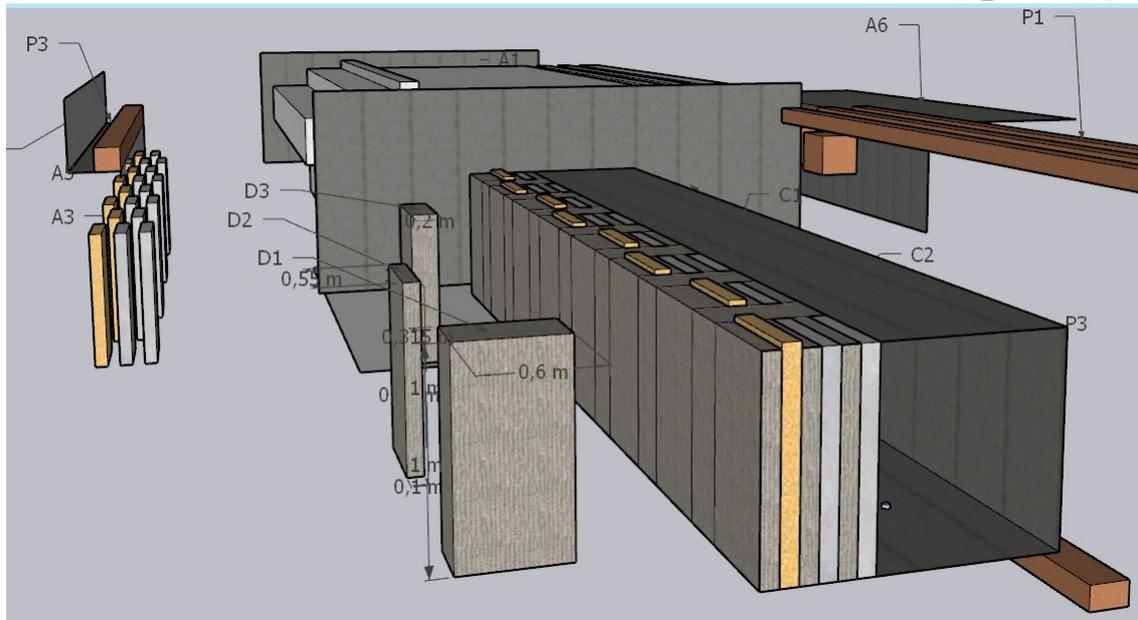


Ilustración 36. Detalle de encofrado con material granular

- Encofrado con poliestireno expandido.

La segunda opción que se puede adoptar para el encofrado de los paneles interiores es el uso del material de poliestireno expandido. La finalidad buscada del uso del poliestireno expandido es solo a nivel constructivo, ya que la retirada del mismo sobre el módulo no nos produciría ningún impacto medioambiental positivo.

La idea de la utilización de este material es nuevamente, la disminución temporal de desencofrado generando una reducción de los tiempos de producción. Esto se debe al proceso químico buscado de este material cuando se expone a la acetona. Al contactar la superficie del poliestireno expandido con la acetona se produce una reacción química donde, el volumen presente del poliestireno expandido se reduce drásticamente hasta la obtención de una materia de pequeñas dimensiones de consistencia viscosa. Cuando se produce la evaporación de la acetona, esta consistencia pasa a ser dura, donde presenta una facilidad de extracción del interior del módulo.

La finalidad buscada, es la de reducir la complejidad de encofrado de los paneles interiores mediante el uso de esta propiedad química del material, para la retirada de esta de una forma fácil y eficaz.

Finalmente, la textura que genera el poliestireno expandido, al ser altamente rugoso, por la propiedad física del mismo, generara un aporte de rugosidad sobre el micro hormigón altamente buscada generando así la misma finalidad anterior.

- Comparación de los encofrados.

En comparación del uso de los dos materiales, vienen influenciados por la textura generada, y por los tiempos de desencofrado que se generan a nivel constructivo.

El uso del poliestireno expandido presentaría un tiempo de desencofrado mayor que el material granular, ya que el desencofrado se produce en el periodo temporal constructivo. En contra partida, el uso del material granular se produciría a lo largo del tiempo de implementación, pero con el posible beneficio que conlleva el aporte del material al módulo.

Por otro lado, la textura generada por el poliestireno expandido sería de mayor calidad que el del material granular dado la superficie que genera.

- Solución adoptada.

Dado la investigación y estudio que conlleva el uso del material granular que aporte alimento al medio como el uso de encofrado para la construcción de los paneles interiores, damos como solución adoptada el uso del poliestireno expandido dado las características constructivas y de sus propiedades físicas que habilitan y facilitan la implementación de esta solución.

+

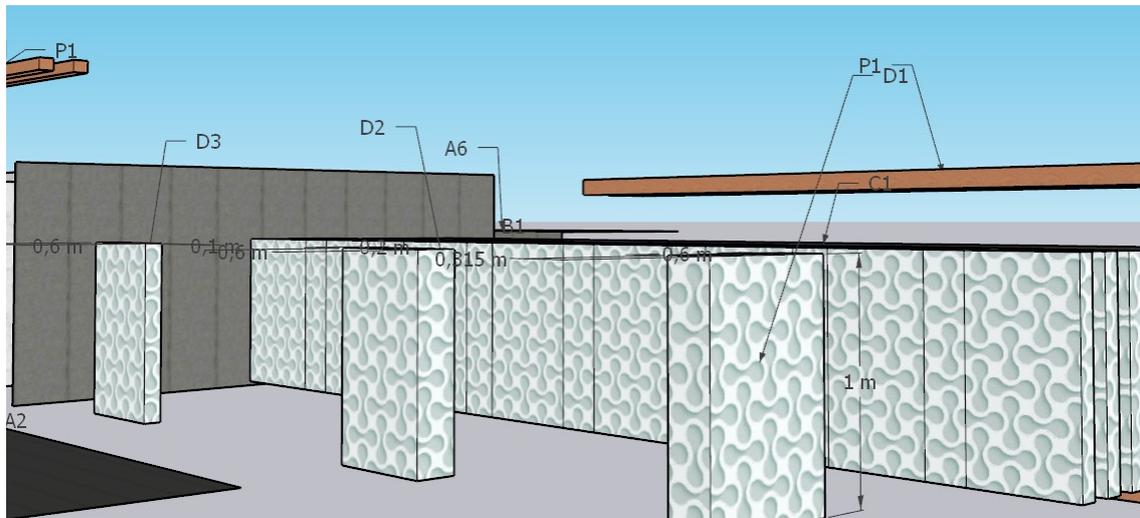


Ilustración 37. Prismas rectangulares de poliestireno expandido.

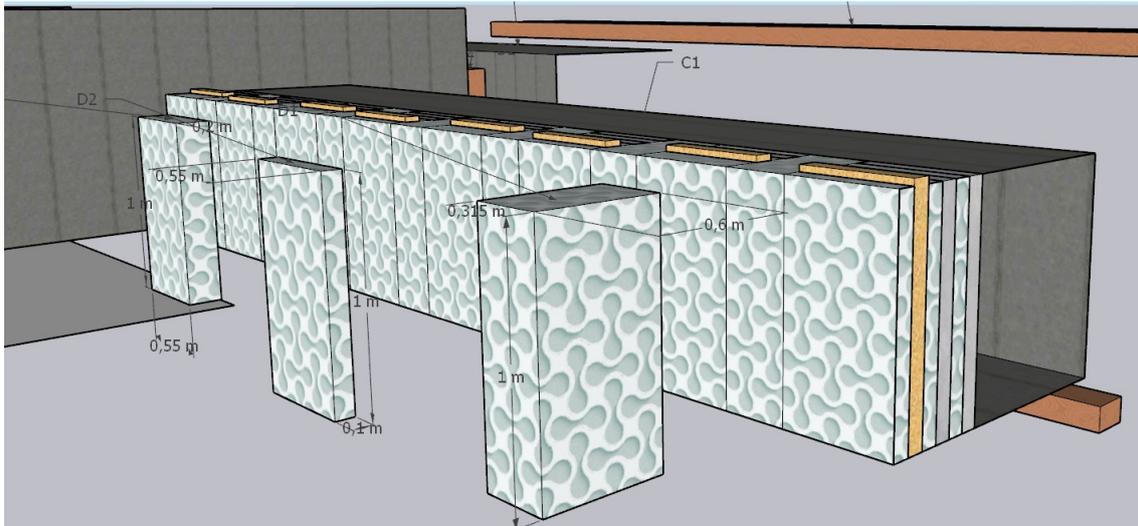


Ilustración 38 . Detalle constructivo del encofrado con los paneles

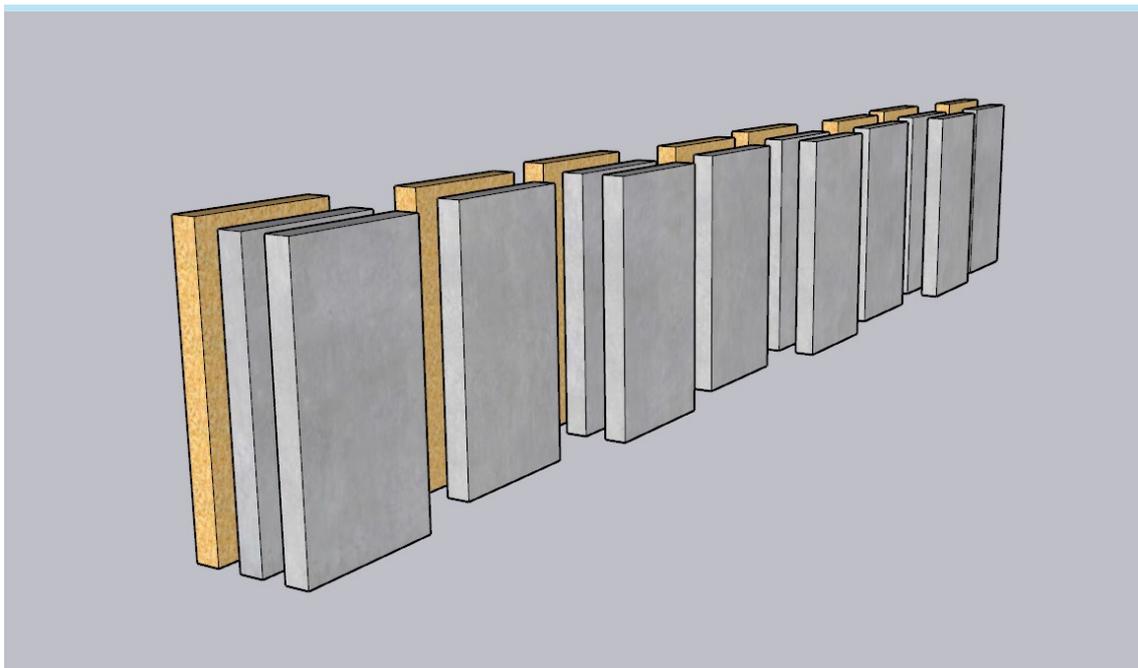


Ilustración 39. La disposición de los paneles final

8. Anclajes del módulo.

Los pernos se colocarán en su correspondiente lugar una vez realizado el hormigonado del módulo. Dado la complejidad de acceso que conlleva realizar esta operación se realizara una plataforma destinada para dicho fin.

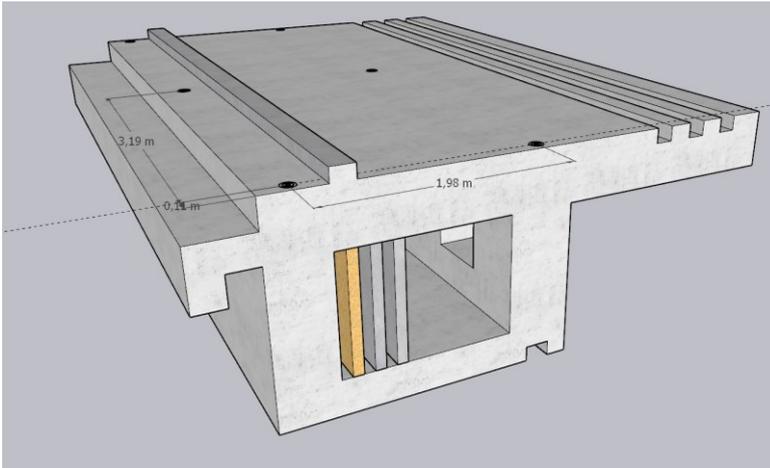


Ilustración 40. Disposición de los pernos.

Para el posterior movimiento del módulo viene las características del dispositivo de anclaje que nos facilitara su implementación

Mediante el dispositivo diseñado para anclar el bulón del perno para el movimiento del módulo le confiere una facilidad de colocación que otro sistema no le puede dar ofreciéndoles una gran seguridad y disminuyendo los tiempos de colocación. El sistema es necesario que enrosque al perno y que cree presión, una vez colocado, sobre la superficie que levanta proporcionando una gran inmovilidad ofreciendo así la seguridad del dispositivo.



Ilustración 41. Dispositivo de anclaje para el bulón.

La cadena que se utilizará para el levantamiento del módulo vendrá dada en sus extremos por los dispositivos de unión. Estos serán anclados a los pernos y, mediante un gancho, se dispondrán libres la cadena en él para albergar el equilibrio estable adjuntado se las distancias necesarias.

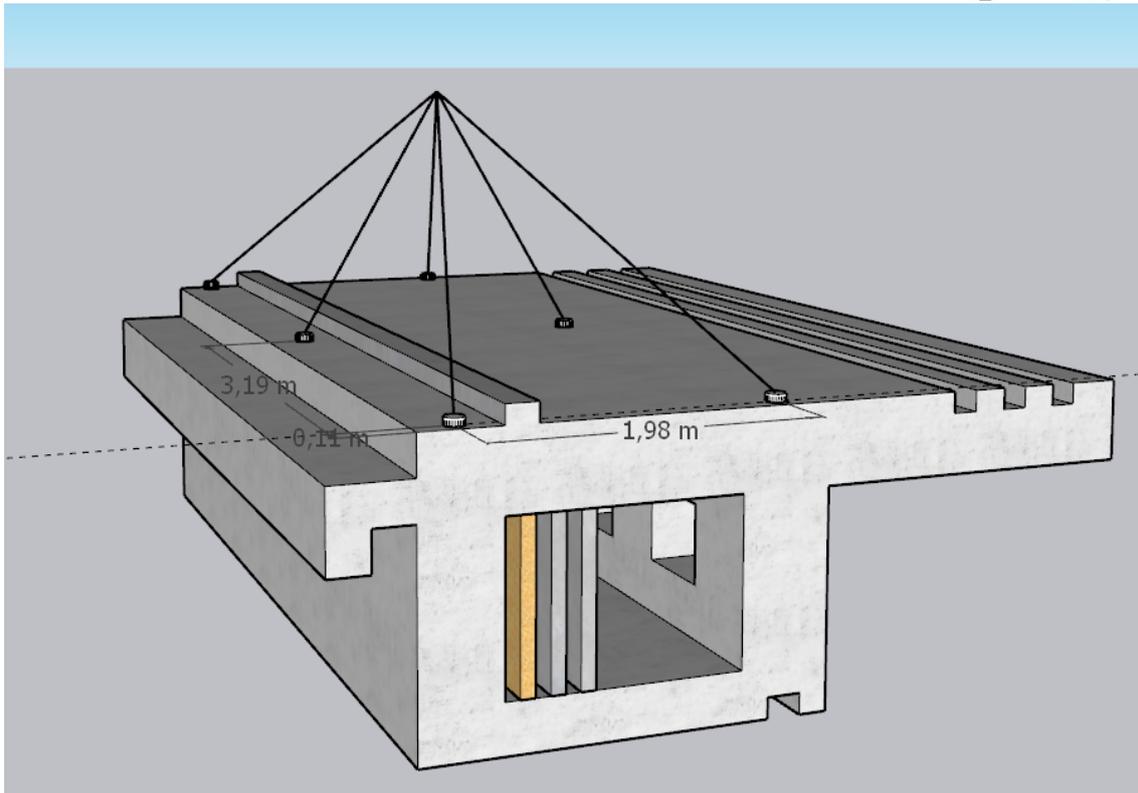


Ilustración 42. Levantamiento del módulo

Pensamos ahora en las características de la grúa para la elevación del módulo, dado que es un aspecto importante debido a la complejidad que resulta el traslado del módulo. El lugar de construcción y creación de nuestro módulo, al presentarse en el propio puerto reúne unas características muy específicas que nos condiciona la elección de la grúa. Debido al poco espacio que se dispone en los puertos debemos de seleccionar una grúa de dimensiones moderadas y que presenten gran capacidad de carga. Por otro lado, la longitud de colocación de la grúa respecto al módulo no ha de ser muy grande, ya que nos afectaría al brazo necesario de la grúa y nos bajaría la capacidad de carga a medida que el brazo se va haciendo más grande. Finalmente, se estudiará las condiciones del terreno y el área donde se hará el montaje para que no presente ningún inconveniente a la hora de la colocación de la grúa.

En general las grúas portuarias presentan unas características de elevación entre 42 y 208 toneladas que dependerá de la separación del objeto a mover y la grúa. Hay una infinidad de modelos y que ofrecen cualquier solución a las diversas necesidades en cualquier ámbito como el manejo de contenedores a granel, operaciones de cargas pesadas o la manipulación de carga general. En el mercado hay infinidad de grúas, como ejemplo la grúa móvil Gottwald HMK 260 E, Grúa Liebherr Harbour Mobile Crane Lhm 250 entre muchas otras más.

Dadas las características de nuestro módulo, damos como recomendación, la Grúa New Model 2 harbour, siendo una pequeña grúa de Terex Port Solutions que se adapta correctamente a las necesidades y características del lugar de implementación como también del traslado del módulo. Este modelo 2 ofrece la posibilidad de configurarse como una grúa móvil mediante neumáticos o railes facilitando el movimiento de la grúa por la dársena; o una grúa flotante que nos facilite el traslado del módulo a el transporte marítimo.

A continuación, se muestra las características del módulo.

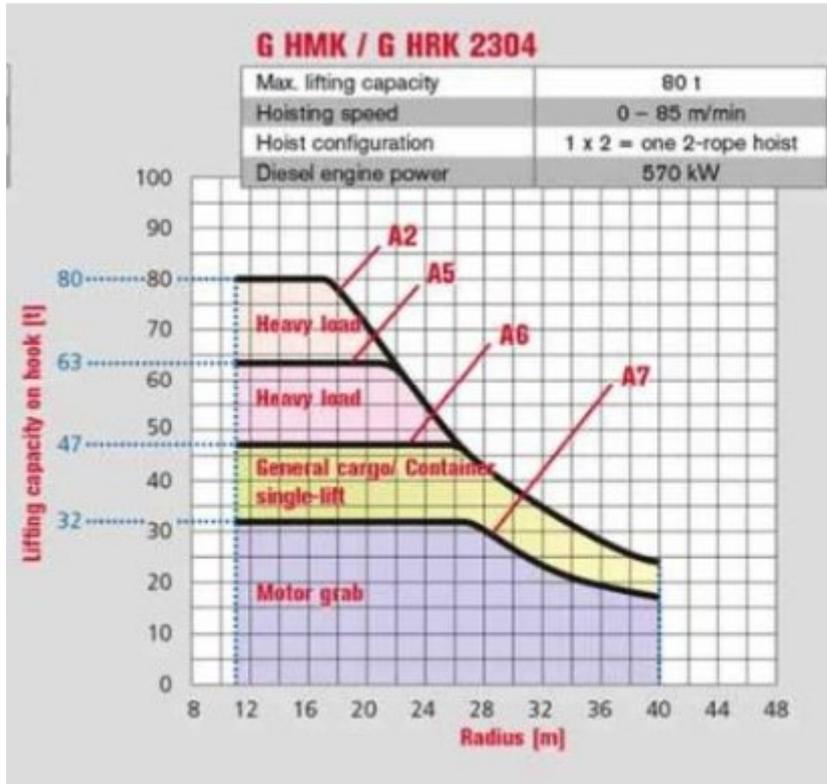


Ilustración 43. La Grúa New Model 2 harbour 2304.^[11]

Nuestro modulo pesa cerca de las 66 toneladas, cerca de la máxima capacidad de elevación de la grúa, clasificándola como una carga pesada. La grúa traslada, para esta carga del módulo, un radio de 22m más que suficiente para el anclaje y desplazamiento del módulo.

8. Cálculo de la longitud de anclaje.

A continuación, exponemos el cálculo y las recomendaciones para proceder a la implementación de la longitud necesaria de anclaje en el módulo.

Por ello calculamos los esfuerzos necesarios que deben resistir los anclajes debido al peso propio del módulo. Por ello sabiendo el centro de gravedad del módulo junto con el volumen y peso correspondiente calculamos las reacciones y leyes de momento en los puntos de anclaje.

Los puntos de anclaje de la sección se han elegido en el lugar donde se dispone el mayor canto y profundidad para proceder a realizar la ejecución de los anclajes por ser el lugar con las mejores características físicas.

Por otro lado, los factores que nos influenciarán en el cálculo son:

- Diámetro de la barra.
- Resistencia de hormigón.
- Límite elástico de la barra.
- Calidad de ejecución de hormigón.
- Posición de la barra durante el hormigonado.
- Geometría de las corrugas.

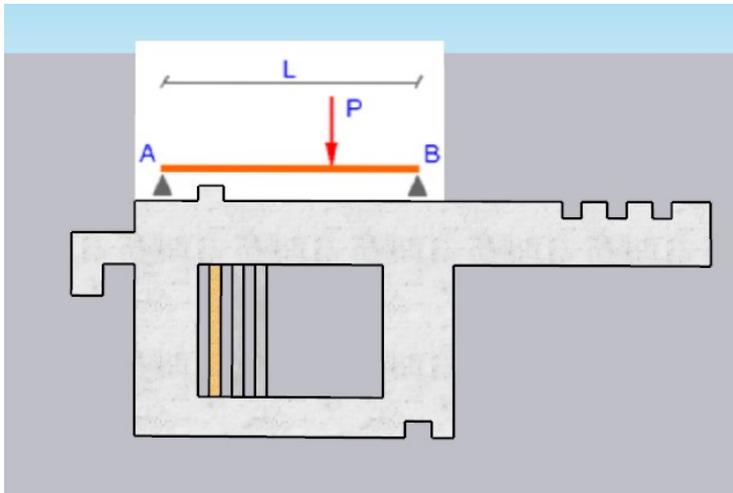


Ilustración 44. Esfuerzos del módulo para el cálculo de la longitud de anclaje.

Siendo:

- $L = 2\text{m}$
- $P = 65,37 \text{ Tm}$
- $a = 1,375\text{m}$
- $b = 0,625\text{m}$

Nos produce las reacciones:

$$R_A = 20.428 \text{ Kg}$$

$$R_B = 44.942 \text{ kg}$$

Mayoramos las reacciones ELU:

$$R_A = 1,35 * 20.428 = 27.577,8\text{kg} \approx 27.578\text{kg}$$

$$R_B = 1,35 * 44.942 = 60.671,7\text{kg} \approx 60.672\text{kg}$$

Como en cada reacción vendrá distribuido en tres anclajes, los esfuerzos que han de resistir son:

- Los 3 anclajes en A han de resistir $9.192,6\text{Kg} \approx 9.193\text{kg}$ cada uno.
- Los 3 anclajes en B han de resistir 20.224Kg cada uno.

Como no podemos garantizar que trabajen por igual los tres puntos de anclaje de cada alineación, a modo de prevención y de mayoración, vamos a utilizar la carga resistente para el uso de 2 anclajes en vez de 3.

Los esfuerzos que han de resistir son:

- Los 2 anclajes en A han de resistir 13.789kg cada uno.
- Los 2 anclajes en B han de resistir 30.336Kg cada uno.

Según la normativa 69.5.1 de la EHE nos determina la tipología de como ocupa la barra en la pieza, y viendo nuestro caso nos determina que estamos en Posición I. Solo nos vamos a fijar en sollicitación de tracción, ya que es nuestro caso de anclaje.

Utilizamos un acero S 275JR con barra de 30 mm e B500S

La posición I nos determina lo siguiente:

Adherencia buena, para las armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 45º y 90º o que en el caso de formar un ángulo inferior a 45º, están situadas en la mitad inferior de la sección o a una distancia igual o mayor a 30 cm de la cara superior de una capa de hormigonado.

Por otro lado, la EHE nos determina que la longitud neta de anclaje definida en 69.5.1.2 y 69.5.1.4 no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

- a) 10ϕ
- b) 150 mm
- c) La tercera parte de la longitud básica de anclaje.

Estos valores serán comprobados posteriormente para ver la validez de los cálculos realizados.

Según el Artículo 32º. La longitud básica de anclaje en prolongación recta en posición I, es la necesaria para anclar una fuerza $A_s \cdot f_{yd}$ de una barra suponiendo una tensión de adherencia constante τ_{bd} , de tal manera que se satisfaga la siguiente ecuación de equilibrio:

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot \tau_{bd}}$$

Para el cálculo de las características de adherencia del acero podrán comprobarse mediante el método general del ensayo de la viga descrito en el anejo C de la UNE EN 10080 o, alternativamente, mediante la geometría de corrugas conforme a lo establecido en el método general definido en el apartado 7.4 de la UNE EN 10080.

Si las características de adherencia de la barra están certificadas a partir del ensayo de la viga, descrito en el anejo C de la UNE EN 10080 deberán cumplirse simultáneamente las siguientes condiciones:

- Diámetros inferiores a 8 mm:

$$T_{bm} \geq 6,88$$

$$\tau_{bu} \geq 11,22$$

- Diámetros de 8 mm a 32 mm, ambos inclusive:

$$\tau_{bm} \geq 7,84 - 0,12\phi$$

$$\tau_{bu} \geq 12,74 - 0,19\phi$$

- Diámetros superiores a 32 mm:

$$\tau_{bm} \geq 4,00 \tau_{bu} \geq 6,66$$

donde τ_{bm} y τ_{bu} se expresan en N/mm^2 y ϕ en mm.

El valor de τ_{bd} es el que consta en las expresiones del apartado 32.2 de Instrucción de la EHE, y la longitud básica de anclaje resultante, obtenida de forma simplificada es:

- Para barras en posición I:

$$l_{bl} = m \phi^2 \frac{f_{yk}}{20} \phi$$

- Para barras en posición II:

$$l_{bil} = 1,4 m \phi^2 \frac{f_{yk}}{14} \phi$$

donde:

ϕ Diámetro de la barra, en mm.

m Coeficiente numérico, con los valores indicados en la tabla 69.5.1.2.a en función del tipo de acero, obtenido a partir de los resultados experimentales realizados con motivo del ensayo de adherencia de las barras.

f_{yk} Límite elástico garantizado del acero, en N/mm^2 .

l_{bl} y l_{bil} Longitudes básicas de anclaje en posiciones I y II, respectivamente, en mm.

Tabla 69.5.1.2.a

Resistencia característica del hormigón (N/mm^2)	m	
	B 400 S	B 500 S
	B400SD	B 500SD
25	1,2	1,5
30	1,0	1,3
35	0,9	1,2
40	0,8	1,1
45	0,7	1,0
≥ 50	0,7	1,0

Ilustración 45. Artículo 69.5.1.2. de la EHE Anclaje de barras corrugadas

Para barras en posición I:

$$l_{bl} = m * \theta^2 < \frac{f_{yk}}{20} * \theta$$

$$m * \theta^2 = 1,3 * 30^2 = 1.170mm.$$

$$f_{yk} * \frac{\theta}{20} = 500 * \frac{30}{20} = 500 * 1,5 = 750mm$$

$$l_{bl} = 750mm$$

- En el caso de que las características de adherencia de las barras se comprueben a partir de la geometría de corrugas conforme a lo establecido en el método general definido en el apartado 2.7.4 de la UNE EN 10080, el valor de τ_{bd} es:

$$\tau_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

donde:

f_{ctd} Resistencia a tracción de cálculo de acuerdo con el apartado 39.4. A efectos de cálculo no se adoptará un valor superior al asociado a un hormigón de resistencia característica 60 N/mm^2 excepto si se demuestra mediante ensayos que la resistencia media de adherencia puede resultar mayor que la obtenida con esta limitación.

η_1 Coeficiente relacionado con la calidad de la adherencia y la posición de la barra durante el hormigonado.

$\eta_1 = 1,0$ para adherencia buena

$\eta_1 = 0,7$ para cualquier otro caso.

η_2 Coeficiente relacionado con el diámetro de la barra:

$\eta_2 = 1$ para barras de diámetro $\phi \leq 32 \text{ mm}$

$\eta_2 = \frac{132 - \phi}{100}$ para barras de diámetro $\phi > 32 \text{ mm}$.

15°.

Se considerará como resistencia de cálculo a tracción del hormigón, el valor:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ct,k}}{\gamma_c}$$

donde:

α_{ct} Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de tracción debido a cargas de larga duración. A falta de justificación experimental específica, en esta Instrucción se adopta $\alpha_{ct} = 1$.

$f_{ct,k}$ Resistencia característica a tracción.





la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se denomina también resistencia característica especificada o resistencia de proyecto.

Resistencia característica real de obra, $f_{c,real}$, es el valor que corresponde al cuantil del 5 por 100 en la distribución de resistencia a compresión del hormigón suministrado a la obra.

Resistencia característica estimada, $f_{c,est}$, es el valor que estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra. Abreviadamente se puede denominar resistencia característica.

El valor de la resistencia media a tracción, $f_{ct,m}$, puede estimarse, a falta de resultados de ensayos, mediante:

$$f_{ct,m} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ct,m} = 0,58 f_{ck}^{1/2} \text{ para } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

Si no se dispone de resultados de ensayos, podrá admitirse que la resistencia característica inferior a tracción, $f_{ct,k}$, (correspondiente al cuantil del 5 por 100) viene dada, en función de la resistencia media a tracción, $f_{ct,m}$, por la fórmula:

$$f_{ct,k} = 0,70 f_{ct,m}$$

Ilustración 47. Artículo 39 de la EHE, características del hormigón.

$$f_{ctm} = 0,3 * 40^{2/3} = 3,51 \text{Mpa } f_{ck} < 50 \text{Mpa}$$

$$f_{ctk} = 0,7 * 3,51 = 2,457 \text{Mpa}$$

$$f_{ctd} = 1 * \frac{2,457}{1,5} = 1,698 \text{Mpa}$$

Tabla 15.3 Coeficientes parciales de seguridad de los materiales para Estados Límite Últimos

Situación de proyecto	Hormigón γ_c	Acero pasivo y activo γ_s
Persistente o transitoria	1,5	1,15
Accidental	1,3	1,0

Ilustración 48. Artículo 15.2

Sustituyendo, la tensión de adherencia es:

$$\tau_{bd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,698 = 3,82 \text{Mpa}$$

Longitud bruta necesaria para resistir la resistencia máxima de la barra de acero será:



$$l_b = \frac{\emptyset * f_{yd}}{4 * \tau_{bd}} = \frac{30 * 434,8}{4 * 3,82} = 853,66mm$$

Área de una barra de 30mm=706,86mm²

Los 2 anclajes en A han de resistir 13.789 Kg cada uno.

$$\sigma = F * g = 13.789 \text{ kg} * 9,81m/s^2 = 135.270,1N$$

Los 2 anclajes en B han de resistir 30.336 Kg cada uno.

$$\sigma = F * g = 30.336 \text{ kg} * 9,81m/s^2 = 297.596,16N$$

Tensión por unidad de superficie=135.270,1N/706,86mm²=191,37Mpa

Tensión por unidad de superficie=297.596,16N/706,86mm²=421,02Mpa

La longitud bruta necesaria para resistir la resistencia de los anclajes será:

- Anclaje en A

$$l_b = \frac{\emptyset * f_{yd}}{4 * \tau_{bd}} = \frac{30 * 191,37}{4 * 3,82} = 375,73mm$$

- Anclaje en B

$$l_b = \frac{\emptyset * f_{yd}}{4 * \tau_{bd}} = \frac{30 * 421,02}{4 * 3,82} = 826,61mm$$

La longitud neta de anclaje se define como:

$$l_{b,neto} = l_b \beta \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} \cong l_b \beta \frac{A_s}{A_{s,real}}$$

donde:

β Factor de reducción definido en la tabla 69.5.1.2.b.

σ_{sd} Tensión de trabajo de la armadura que se desea anclar, en la hipótesis de carga más desfavorable, en la sección desde la que se determinará la longitud de anclaje.

A_s Armadura necesaria por cálculo en la sección a partir de la cual se ancla la armadura

$A_{s,real}$ Armadura realmente existente en la sección a partir de la cual se ancla la armadura

Tabla 69.5.1.2.b. Valores de β

Tipo de anclaje	Tracción	Compresión
Prolongación recta	- 1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0,7 (*)	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ Mpa} = \frac{N}{\text{mm}^2}$$

La longitud neta necesaria para resistir la resistencia de los anclajes será:

- Anclaje en A

$$l_{b,neto} = 750 * 1 * \frac{191,37}{434,8} = 330,1 \text{ mm}$$

- Anclaje en B

$$l_{b,neto} = 750 * 1 * \frac{421,02}{434,8} = 726,231 \text{ mm}$$

Comprobamos:

- a) 10 ϕ =300mm
- b) 150 mm
- c) La tercera parte de la longitud básica de anclaje. $750/3=250\text{mm}$

Las longitudes netas necesarias de anclaje serán:

- La longitud de A de 330,1mm
- La longitud de B de 726,231mm

9. Comprobación de los esfuerzos en el voladizo.

A continuación, estudiaremos y realizaremos los cálculos necesarios para ver la resistencia del módulo por los esfuerzos que provoca el voladizo sobre la sección.

Calcularemos las reacciones que ejerce el voladizo viendo la resistencia a cortante y momento flector correspondiente.

Primeramente, calculamos las reacciones.

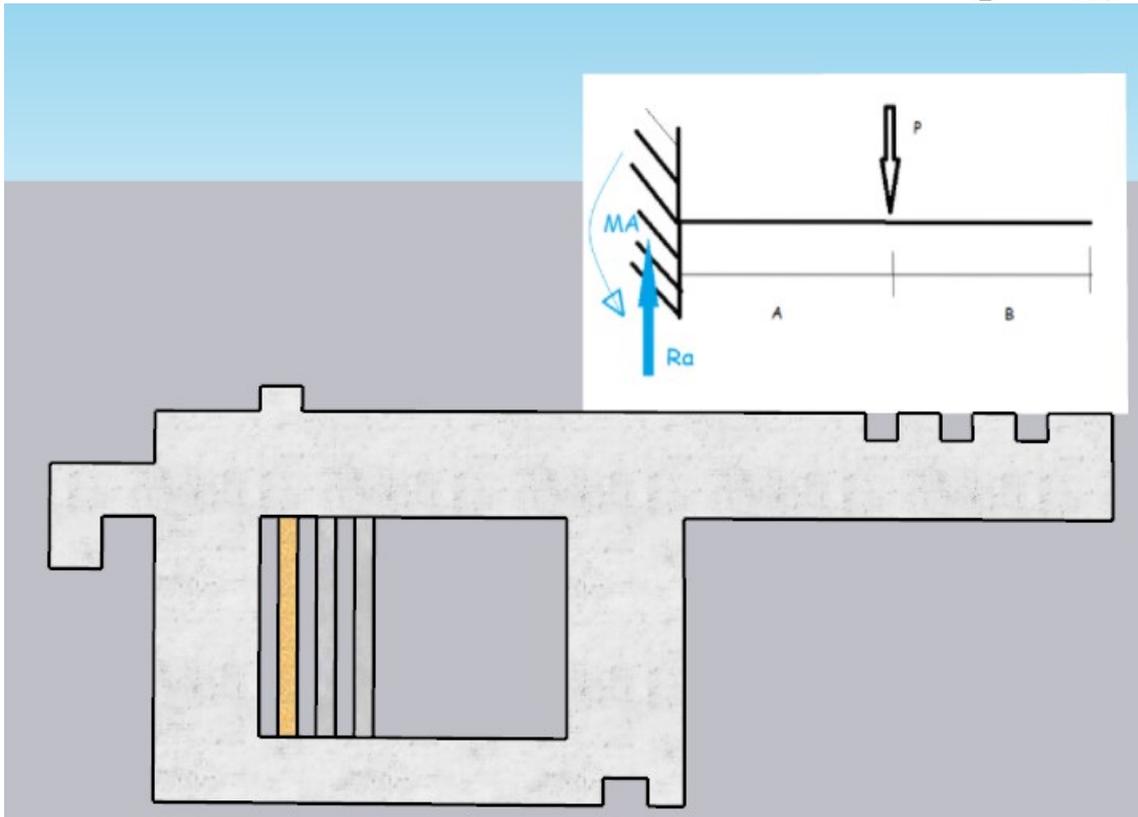


Ilustración 49. Reacciones que provoca el voladizo

Siendo los valores:

$L=2m$

A y $b=1m$

Peso propio por unidad de longitud $p = 1m * 0.5m * 2 * 2,3T/m^3 = 2,3 T$

Sobrecarga de uso provocado por construcción= $100kg/m^2$

$Ra=2,3$ Toneladas

$M_f=2,3*1=2,3 T*m$

Peso Propio

$Ra=0,1t*2=0,2t$

$M_f=0,1*2*1=0,2 t*m$

Sobrecarga de uso

$$Ra = 2,3T * \frac{1000KG}{1T} * \frac{9,81N}{1KG} * \frac{1KN}{1000N} = 22,563kn$$

$$Ra = 0.2T * \frac{1000KG}{1T} * \frac{9,81N}{1KG} * \frac{1KN}{1000N} = 1,962kn$$

$$Mf = 2,3Tm * \frac{1000KG}{1T} * \frac{9,81N}{1KG} * \frac{1KN}{1000N} = 22,563kn * m$$



$$M_f = 0,2Tm * \frac{1000KG}{1T} * \frac{9,81N}{1KG} * \frac{1KN}{1000N} = 1,962kn * m$$

$$R_a = 22,563kn$$

$$M_r = 22,563 kn * m$$

$$R_a = 1,962kn$$

$$M_r = 1,962kn * m$$

} Peso Propio

} Sobrecarga de uso

13.2 Estados Límite Últimos

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones permanentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Ilustración 50. Artículo 13.2 de la EHE

ELU

$$V_{max} = 2.3 * 1.35 + 0.2 * 1.5 = 3.405T$$

$$V_{max} = 4.405T * \frac{1000KG}{1T} * \frac{9.81N}{1KG} * \frac{1KN}{1000N} = 43.21KN_{43213.05N}$$

$$M_{max} = 1.35 * 2.3 + 1.5 * 0.2 = 3.405T * m$$

$$M_{max} = 3.405Tm * \frac{1000KG}{1T} * \frac{9.81N}{1KG} * \frac{1KN}{1000N} * \frac{100cm}{1m} = 3340.305KN * cm_{3340305 N * cm}$$

La comprobación de tensiones en el hormigón en masa, tanto a compresión, que no es nuestro caso, como las de tracción y las debidas al esfuerzo cortante, se realizan según lo indicado en el artículo 52.5 de la EHE, que se adjunta a continuación.

52.5. Cálculo de secciones a compresión y esfuerzo cortante

En una sección de un elemento de hormigón en masa en la que actúa un esfuerzo oblicuo de compresión, con componentes en valor de cálculo N_d y V_d (positivas) aplicado en el punto G, se determina el punto de aplicación virtual G_t , y el área eficaz A_e , como en 52.4. Las condiciones de seguridad son:

$$\frac{N_d}{A_e} \leq 0,85 f_{cd} \quad \frac{V_d}{A_e} \leq f_{ct,d}$$

Ilustración 51. Artículo 52.5 de la EHE.

la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se denomina también resistencia característica especificada o resistencia de proyecto.

Resistencia característica real de obra, $f_{c,real}$, es el valor que corresponde al cuantil del 5 por 100 en la distribución de resistencia a compresión del hormigón suministrado a la obra.

Resistencia característica estimada, $f_{c,est}$, es el valor que estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra. Abreviadamente se puede denominar resistencia característica.

El valor de la resistencia media a tracción, $f_{ct,m}$, puede estimarse, a falta de resultados de ensayos, mediante:

$$f_{ct,m} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ct,m} = 0,58 f_{ck}^{1/2} \text{ para } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

Si no se dispone de resultados de ensayos, podrá admitirse que la resistencia característica inferior a tracción, $f_{ct,k}$, (correspondiente al cuantil del 5 por 100) viene dada, en función de la resistencia media a tracción, $f_{ct,m}$, por la fórmula:

$$f_{ct,k} = 0,70 f_{ct,m}$$

Ilustración 52. Artículo 39 de la EHE, características del hormigón.

$$f_{ctm} = 0,3 * 40^{\frac{2}{3}} = 3,51 \text{Mpa} \quad f_{ck} < 50 \text{Mpa}$$

$$f_{ctk} = 0,7 * 3,51 = 2,457 \text{Mpa}$$

$$f_{ctd} = 1 * \frac{2,457}{1,5} = 1,698 \text{Mpa}$$

$$\frac{V_d}{A_c} \leq f_{ctd}$$

Sustituyendo:

$$\frac{43213.05 \text{N}}{500 \text{mm} * 1000 \text{mm}} < 1.6987$$

$$0.08642 \text{Mpa} < 1.6987 \text{Mpa}$$

Verificamos que el cortante del voladizo produce tensiones inferiores a las admisibles.

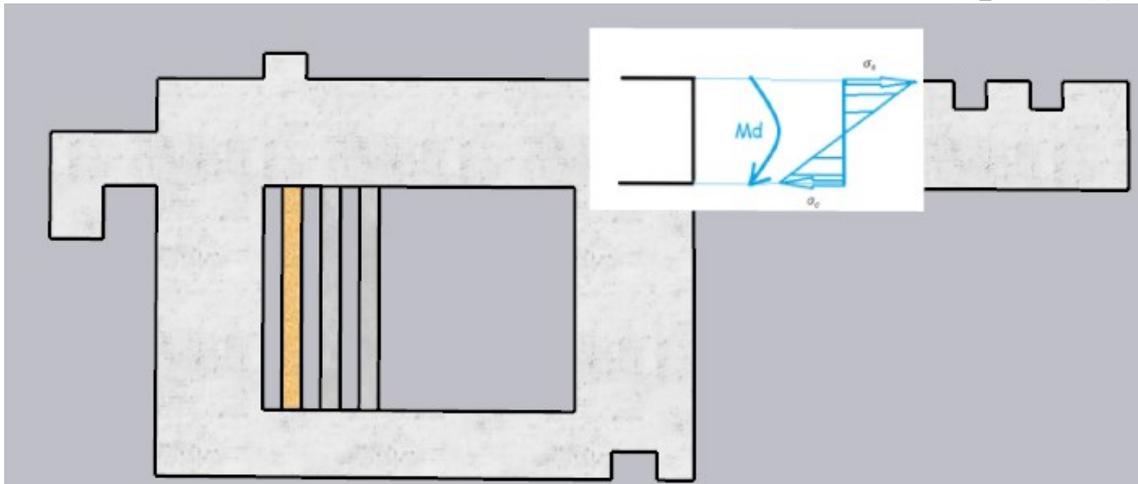


Ilustración 53. Diagrama de esfuerzos sobre la sección

$$\sigma_t = \frac{Md}{\frac{1}{3} * b * h^2} = \frac{3340305 \text{ N} * \text{cm}}{\frac{1}{3} * 100 \text{ cm} * 25^2 \text{ cm}} = 160.33464 \text{ N/cm}^2$$

$$160.33464 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} * \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ mm}^2} = 1.6033 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{Mpa}$$

$$\sigma_t \leq f_{ctd}$$

$$1.6033 \text{ Mpa} \leq 1.6987 \text{ Mpa}$$

Verificamos que las tensiones de tracción en el voladizo son inferiores a las admisibles en el hormigón.

10. Valoración económica del módulo arrecifal.

Para la realización de la valoración económica del módulo artificial nos basaremos en los datos proporcionados por el instituto valenciano de la edificación.

- m³. Suministro de hormigón HM 40/B/20/IIIb vertido mediante bomba, elaborado, transportado, incluido vibrado y curado del hormigón según código estructural, DB SE-C del CTE y NTE-CS

Código	Unidad	Resumen	Precio Unitario	Rendimiento	Importe
MOOA.8a	h	Oficial construcción 1ª	22.26€	0.070	1.56€
MooA11a	h	Peón especializado construcción	19.64€	0.280	5.5€
PBPC35cbbaa	m ³	HM 40/B/20/IIIb	119.50€	1.050	125.48€



MMH15a	h	Vibrador gasolina aguja ø30-50mm	3.20€	0.070	0.22€
MMH.3a	h	Bomba H sob cmn 1065l	254,03€	0.070	17.78€
%		Costes directos complementarios	150.54€	0.020	3.01€
	m ³				153,55€
	m ³ totales	27.3218		TOTAL	4195.27€

- m³. Suministro de micro hormigón con cemento CEM II/ LL 32.5 N+NFC vertido mediante bomba, elaborado, transportado, incluido vibrado y curado del hormigón según código estructural, DB SE-C del CTE y NTE-CS

Código	Unidad	Resumen	Precio Unitario	Rendimiento	Importe
MOOA.8a	h	Oficial 1 ^a construcción	22.26€	0.090	2.00€
MOOA10a	h	Ayudante construcción	19.85€	0.144	2.86€
MOOA12a	h	Peón ordinario construcción	18.68€	0.144	2.69€
NMMH.3a	h	Bomba H sob cmn 1065l	254.03€	0.100	25.40€
NMMH15a	h	Vibrador gasolina aguja ø30-50mm	3.20€	0.100	0.32€
PBPC26acaaaa	m ³	Micro hormigón de CEM II/ LL 32.5 N+NFC	120.8€	1.050	126.84€
%		Costes directos complementarios	139.11€	0.035	4.87€
	m ³				164.98€
	m ³ totales	1.1		TOTAL	181.478€

- m². Encofrado metálico horizontales y verticales con alturas entre 1,5 y 2,6 m, incluso desencofrado, limpieza y almacenamiento de material.

Código	Unidad	Resumen	Precio Unitario	Rendimiento	Importe
MOOA.8a	h	Oficial 1 ^a construcción	22.26€	0.070	1.56€



MooA11a	h	Peón especializado construcción	19.64€	0.270	5.3€
PBAD 8a	l	Desenconfante liquido	2.97€	0.120	0.36€
MMET23c	u	Amtz puntal met p/pan encf 50 us	8.14€	0.675	5.49€
MMET 24c	u	Amtz mens met p/pan encf 50 us	4.39€	0.300	1.32€
MMET25cd	u	Amtz pantalla encf 0.65m 75us	7.70€	2.304	17.74€
%		Costes directos complementarios	36.22€	0.002	0.72€
	m ²				36.94€
	m ² Totales	99.86 m ²			3.688,83€

- m³. Perfil contrachapado de madera de calabó de Clase 3(fenólico para ambiente marino) de clasificación E1(bajo contenido en formaldehido), atornillado a placas metálicas para formar el encofrado, con cintas de sellado entre perfiles, incluidos anclajes y uniones de montaje

Código	Unidad	Resumen	Precio Unitario	Rendimiento	Importe
PBMA.4ccbba	m ³	Perfil contrachapado CL3	0.72€	1.05	21.756€
PFPP20b	m	Cinta p/juntas madera	1.07€	0.8	0.86€
PBUT31a	cu	Pequeños elementos fijación madera	38.87€	0.060	2.33€
MOOC.8a	h	Oficial 1 ^a carpintería	21.03€	0.060	1.26€
MOOC. 10a	h	Ayudante carpintería	16.49€	0.080	1.32€
%		Costes directos complementarios	17.03€	0.020	0.34€
	m ³				27.866€
	m ³ Totales	2.812			78,3592€

- U. Bulón de anclaje de acero S 275JR con barras de B500S, soldadas o atornilladas, incluso taladro central, nivelación, relleno con mortero autonivelante expansivo, parte proporcional de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes. Según SE-A del CTE y código Estructural.



Código	Unidad	Resumen	Precio Unitario	Rendimiento	Importe
MOOM.8a	h	Oficial 1 ^º metal	19.28€	0.223	4.30€
MOOM 11a	h	Especialista metal	16.37€	0.223	3.65€
PEAC 16ba	kg	Acero S275JR	2.91€	6.182	17.99€
PEAA.3cf	kg	Acero corru B500	1.62€	4.977	8.06€
PBPM 18db	m ³	Mcto M-5 exp alta r mec	172.39€	0.003	0.52€
PEAW. 7a	u	Repercusión soldadura kg/est	0.12€	6.182	0.74€
%		Costes directos complementarios	35.26€	0.020	0.71€
	u				35.97€
	u totales	6			215.82€

Resumen final de precios para la construcción del módulo.			
Unidad de obra	Cantidad	Precio individual	TOTAL
HM 40/B/20/IIIb	27.3218 m ³	153.55€/m ³	4195.27€
Micro hormigón con cemento CEM II/ LL 32.5 N+NFC	1.1 m ³	164.98€/m ³	181.478€
Encofrado metálico	99.86 m ²	36.94€/m ²	3688,83€
Perfil contrachapado	2.812 m ³	27.866€/m ³	78.3592€
Bulón de anclaje	6u	35.97€/u	215.82€
		Precio módulo.	8.359,76€

El precio final de la construcción del módulo son 8.359,76€

11. Bibliografía.

1. Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales. Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20instalaci%C3%B3n%20de%20arrecifes%20artificiales_tcm30-157012.pdf
2. Specific guidelines for assessment of inert, inorganic geological material. https://www.gc.noaa.gov/documents/gcil_imo_iigmwag.pdf



3. Biorock <https://arquitectura-sostenible.es/biorock-el-material-de-construccion-que-se-fortalece-con-los-anos/> <https://atlasofthefuture.org/es/project/biorock-indonesia/>
4. EConcrete. <https://econcretetech.com/econcrete-solution/>
5. Centro de Sostenibilidad del Hormigón del MIT (CSHub) [Home](#) | [Concrete Sustainability Hub \(mit.edu\)](#)
6. Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (CNRS) [The CNRS](#) | [CNRS](#)
7. Nano fibras de carbono. Universidad de Alicante [La UA crea un material de cemento con nano fibras para permitir la conducción de electricidad - Alicante plaza](#)
8. Nano fibras de carbono. Ensayos de calentamiento en función del voltaje [WO2013068615A1.pdf \(storage.googleapis.com\)](#)
9. Efecto de la adición de nano fibras de carbono en las propiedades mecánicas y de durabilidad de materiales cementante. [Efecto de la adición de nano fibras de carbono en las propiedades mecánicas y de durabilidad de materiales cementantes; Effect of carbon nanofiber addition in the mechanical properties and durability of cementitious materials \(ua.es\)](#)
[Análisis previos](#)
10. Instituto valenciano de la edificación <https://bdc.f-ive.es/BDC22/1/EEHF>
11. Grúas Sarlin. [Tabla y capacidad de carga de camiones grúa y grúas móviles \(gruasarlin.com\)](#)

12. Planos.

13. Anejo: Estudio físico y subacuático de los arrecifes artificiales.



TRABAJO FIN DE GRADO

Anejo: Estudio físico y subacuático de los arrecifes artificiales.

Presentado por

Ros Marti, Pablo

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2022/2023

Fecha: Diciembre 2022

*Tutor: Juan J. Moragues
Terrades*



Tabla de contenido.

1	Introducción.	3
2	Arrecife artificial.....	4
2.1	Que se entiende por arrecife artificial y cuáles son los orígenes.	4
2.2	Qué utilidad tienen estos arrecifes a nivel global y donde se emplean.....	6
2.3	Fenómeno que se genera en los arrecifes artificiales. Sucesión ecológica.....	9
2.4	Características físicas, químicas y de diseño de los módulos arrecifales y el porqué de sus formas.	11
2.4.1	Módulos arrecifales de protección.....	13
2.4.2	Módulos o elementos arrecifales alveolares o de producción	14
2.5	Aspectos importantes que debemos de tener en consideración para nuestro Arrecife.....	29
2.5.1	Nombramos primero los aspectos físicos importantes que debemos de considerar.....	30
2.5.2	Por otro lado, referido al ambiente biológico, debemos de considerar los siguientes factores.	32
2.5.3	Por último, referido a los factores socioeconómicos, consideraremos los siguientes factores.	33
2.6	Materiales de construcción de arrecifes.	34
3	Estudio previo del Hormigón.	41
3.1	Ambiente marino en el que se dispondrán los módulos.....	41
3.2	Deterioro de las estructuras de hormigón en ambiente marino.	42
3.3	Proceso químico de degradación del hormigón al ambiente marino.	43
3.3.1	Acidificación de las aguas.	43
3.4	Consideraciones a tener en cuenta en el cálculo de la vida útil del hormigón. 47	
3.5	Medidas y recomendaciones para alargar la durabilidad del hormigón.....	47
3.5.1	Con relación al cemento.....	47
3.5.2	Con relación al Hormigón	53
3.5.3	Recomendaciones.....	57
3.6	Consideraciones en la dosificación.	57
3.7	Efectos de los organismos en el hormigón.	58
3.8	Nuevas hormigones y cementos que potencian el objetivo de la biodiversidad. 60	



4	Estudio de la interacción física del diseño geométrico con el medio acuático.	62
4.1.1	Efecto de la profundidad	63
4.1.2	Efecto de la geometría	64
4.1.3	Campos de velocidad y esfuerzo cortante	65
5	Bibliografía.	68

1 Introducción.

En el presente documento se resume la información que se ha adquirido con el estudio y la investigación de los diferentes arrecifes artificiales que se han implementado a lo largo del tiempo.

Procederemos a un estudio y evaluación de los diferentes aspectos que definen o son de gran interés para la creación y desarrollo de los arrecifes artificiales. De esta forma se obtendrá las ventajas e inconvenientes para poder desarrollar, posteriormente y de la mejor forma, la creación de nuestro módulo mediante el aprendizaje obtenido.

Describiremos una primera aproximación de la utilidad y funcionalidad de los arrecifes, en relación a su impacto con el medio ambiente y su impacto con la actividad humana. Esto se traduce a evaluar y estudiar los impactos económicos, sociales y medioambientales que generan estos arrecifes artificiales.

Analizaremos las características físicas, el diseño de los arrecifes artificiales implementados hasta el momento, la evolución que han experimentado y el desarrollo de estos, con relación a la adaptabilidad y la durabilidad. La utilización a lo largo del tiempo de estos arrecifes nos aportará consideraciones para tener en cuenta a la hora de realizar el diseño del módulo y de la infraestructura a crear.

Procederemos al estudio de la forma geométrica de los arrecifes, la relación de adaptabilidad al medio marino junto con aspectos importantes como la profundidad a la que se sitúan o la disposición en el mar.

Estos aspectos son factores importantes a la hora del desarrollo de nuestro módulo arrecifal y los condicionantes importantes que nos influenciara en la funcionalidad del mismo.

De esta forma podremos definir posteriormente las dimensiones, el tamaño, el peso, la heterogeneidad espacial, la disposición y elección del punto de fondeo, para la correcta ejecución y diseño de nuestro modulo artificial, para conseguir encontrar la funcionalidad deseada.

Daremos gran importancia a las propiedades físicas que presentan los arrecifes implementados, como también, la actividad acuática que se ha desarrollado en el mismo y el periodo de tiempo que ha tardado en implementarse los objetivos buscados.

Analizaremos, mediante varias investigaciones realizadas, cómo se llega a desarrollar la vida en los arrecifes artificiales, viendo las consideraciones que debemos de emplear para que se pueda desarrollar a corto plazo un ecosistema maduro.

Con todo ello, seleccionaremos los materiales a emplear para la construcción de nuestro arrecife, para obtener las mejores características físicas y medioambientales y, por otro lado, estudiar las nuevas tecnologías que se han ido desarrollando y aplicando.

Seguidamente procederemos a realizar un estudio completo del hormigón, material mayormente utilizado, donde se verá las consideraciones necesarias que debemos de tener en cuenta para la construcción de nuestros módulos en un ambiente marino, y emplearemos las diversas normativas establecidas.

Por último, se estudiarán las formas geométricas que tienen relación con los modelos implementados hasta el momento y la integración que tienen de estas sobre el medio marino, como las corrientes o las fuerzas ejercidas.

Aunque actualmente ya está en vigor el nuevo código estructural debido, a que estaba en vigor cuando empecé el estudio, nos referenciamos en la EHE-08.

2 Arrecife artificial.

2.1 Que se entiende por arrecife artificial y cuáles son los orígenes.

Para dar una correcta definición del concepto de arrecife artificial, procedemos a nombrar diferentes definiciones que se han ido proporcionando a lo largo de la historia.

No está claramente establecido el origen del concepto de arrecife artificial, ya que el ser humano ha estado continuamente modificando el fondo marino para el aprovechamiento propio que esto conlleva, ya que la experiencia de los pescadores determinó, que, los alrededores de los fondos heterogéneos y complejos presentaban un rendimiento de pesca mayor.

Podemos leer, concretamente en los escritos de Plinio el Viejo ^[3], menciones de los romanos desarrollando el transporte e instalación de rocas con el objetivo de regenerar y recolectar moluscos. Pero el concepto, en sí, de arrecife artificial se le atribuye a Japón en el siglo XVIII ^[1], donde se implementaban grandes estructuras artificiales de bambú, como también de troncos, sumergidos en el mar, para la proliferación de la actividad marina generando zonas de pesca alternativas a los fondos naturales para los pescadores. Actualmente se encuentran a la cabeza del mundo del desarrollo

tecnológico y volumen de inversiones destinadas a la construcción de arrecifes artificiales.

En estados unidos aparecen referencias desde el siglo XIX, concretamente en Carolina del Norte ^[1], donde se utilizaban troncos de árboles para crear estructuras artificiales, siendo este material proveniente de la tala de árboles causadas por el cultivo del algodón.

En el mediterráneo, concretamente durante la civilización helénica ^[1], utilizaban estructuras flotantes para la atracción de especies pelágicas para su posterior pesca, como también el conocimiento que se tenía por el incremento de la densidad de los recursos explotables donde se producía el hundimiento accidental de alguna embarcación.

Este concepto se ha ido expandiendo a lo largo del mundo, ya que ha sido un objetivo global la importancia de los recursos de nuestros mares y océanos. La abrumadora mayoría se ha construido en las últimas décadas en todas las regiones del mundo, exceptuando el océano atlántico. Por ello podemos tener una gran variedad de definiciones desarrolladas por las diferentes organizaciones de todo el mundo. A continuación, nombramos las más importantes para tener una definición clara y concisa.

En Australia, concretamente la "Guidelines for the Management of Artificial Reefs in the Great Barrier Reef Marine Park" ^[21], define como arrecife artificial a cualquier estructura que las personas construyen y colocan en el lecho marino, en columna o flotando en la superficie del mar con el propósito de crear una nueva atracción para buceadores o para concentrar o atraer plantas y animales con el fin de pescar.

Destacamos también la definición que crea el convenio OSPAR ^[19]. Este convenio realizado en Oslo y París intenta conseguir la protección del medio marino del atlántico nororiental, donde España está presente en dicho convenio. Define como arrecife artificial a **es** "una estructura sumergida colocada de manera deliberada sobre el suelo marino para imitar alguna de las características de un arrecife natural. Pueden estar expuestos parcialmente en algunos estados de marea".

La organización "European Artificial Reef Research Network (EARRN)" ^[22] lo define como una estructura deliberadamente sumergida sobre el sustrato (fondo), para imitar algunas características de los arrecifes naturales (Jensen, 1998) ".

La definición que nos proporciona la legislación española, concretamente en el artículo 39 del Real Decreto 798/1995, de 19 de mayo" ^[29], es "conjunto de elementos, constituidos por diversos materiales inertes y con diversas formas, o bien, los cascos de buques pesqueros de madera específicamente adaptados para este fin, que se distribuyen sobre una superficie delimitada del lecho marino con objeto de proteger, regenerar y desarrollar las poblaciones de especies de interés pesquero".

Una vez estudiada las definiciones que se han ido proporcionando por las diferentes regiones y organizaciones, optamos por redefinir la definición de arrecife artificial de manera propia.

Definimos arrecife artificial como una estructura o forma sumergida, pensada y diseñada para proporcionar una interacción con la biodiversidad marina creando impactos sociales, ambientales y económicos positivos.

Por tanto, hemos definido en si lo que se entiende como arrecife artificial, con las diferentes definiciones proporcionadas y creando una definición propia.

2.2 Qué utilidad tienen estos arrecifes a nivel global y donde se emplean.

A continuación, vamos a citar y describir los objetivos generales que se persiguen en los arrecifes artificiales que se han ido desarrollando y construyendo, como también, los inconvenientes o impactos negativos que pueden llegar a proporcionar. Cabe destacar que no todos los arrecifes persiguen el mismo objetivo, y que dependiendo de la funcionalidad buscada cumplen unas ciertas características específicas para poder desarrollarla. Por tanto, creamos una clasificación que dependerá de la funcionalidad y de los objetivos a desarrollar.

Dicha clasificación consiste en diferenciar 3 tipos de beneficios. Beneficios sociales, beneficios económicos, beneficios para el ecosistema marino, ambientales.

Empezamos con los beneficios sociales. Destacamos que estas infraestructuras proporcionan mayores oportunidades al sector turístico, ya que el empleo de estas infraestructuras sumergidas beneficia la actividad deportiva, recreativa, creando así una atracción más al sector turístico de la localidad. Esta actividad recreativa, podría ser la pesca deportiva a caña como también todo tipo de actividades de buceo o deportes acuáticos. Actualmente se están buscando nuevas formas de incrementar nuevas actividades deportivas.

Otro beneficio de ámbito social, serían las oportunidades educativas y de investigación. Sería capaz de crear un gran atractivo a diferentes grupos escolares y estudiantiles que estén interesados por el ámbito de la biodiversidad marina. Generaría el interés de investigar las repercusiones físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas de los arrecifes artificiales. A su vez, se podría estudiar la evaluación de la eficacia del proyecto de la implementación de arrecife como también la aceptabilidad ecológica de los materiales utilizados. Por otro lado, estudiar los elementos biológicos, químicos o físicos del sistema de arrecifes artificiales. En definitiva, todo estudio que se pueda generar con la colocación del arrecife.

Podría generar un aumento del interés social por el mundo subacuático y generar un gran aliciente a la forma de ver y cuidar nuestros mares y océanos, como también, la

importancia que tiene para el planeta. En un futuro, aportará continuidad de las investigaciones producidas por la implementación de estas infraestructuras. Crearan un gran interés para los biólogos marinos y, en un futuro, nuevas formas de investigación.

Por último, mencionamos otro objetivo importante en el ámbito social. Hay ciertas infraestructuras que se pueden colocar cerca de la línea de costa, aguas poco profundas, que puedan producir una cierta interacción con la deriva litoral, creando una alteración de la misma, cerca de donde se sitúen. Puede generar un gran impacto positivo ya que provocará un aumento de la sedimentación de la costa dando lugar a playas con áreas más grandes donde puede interactuar la actividad humana, función buscada por muchas localidades para así incrementar la actividad turística. Aunque este efecto debe analizarse con cuidado, dentro de la dinámica litoral de la zona en la que se instalen, pues lo que pueden ser aspectos positivos en una zona, pueden convertirse en negativos en lugares próximos.

El fenómeno del aumento del cumulo de sedimentación se produce por la interacción entre la deriva litoral y la infraestructura colocada. Viene relacionada con la pérdida de energía producida cuando un oleaje de cierta magnitud pasa por el lugar de colocación de la infraestructura. En este momento, debido a la pérdida energía producida, disminuye la magnitud erosiva generada repercutida en la costa. Este fenómeno provoca el acopio de la sedimentación en la línea de costa alterando los fondos de la zona y modificando los perfiles de la costa.

Seguidamente, los beneficios económicos.

La creación de turismo provocado por estas infraestructuras producirá el incremento de ingresos, ya que atraerá a turistas que se hospedarán en la zona y generaran una gran interacción social. Puede concluirse que un turismo sostenible aporta tanto beneficios sociales como económicos.

Un beneficio económico de gran interés es el aumento de la actividad pesquera, ya que estas infraestructuras provocan un mayor grado de capturas que se traduce en beneficio para los pesqueros. La mayoría de los arrecifes implementados en el mundo busca este objetivo, siendo el objetivo principal de construcción.

Por último, los beneficios ambientales y del ecosistema marino.

Hemos creado la siguiente clasificación: protección, producción, compensación y desviación del hábitat.

a) Protección.

Estas infraestructuras, al disponerse en el fondo, crean una protección de los recursos marinos ante cualquier técnica de pesca destructiva e ilegal, como podría ser la pesca de arrastre. Por tanto, estamos creando una protección de los ecosistemas marinos. Destacamos que, al aumentar la riqueza biológica, la atracción de especies puede suponer una trampa para estas, si no se genera una adecuada gestión de la pesca.

b) Producción.

Indirectamente estamos creando una mejora y concentración de los recursos marinos vivos, produciendo así un aumento y una alteración positiva en la biodiversidad de la zona.

c) Compensación

Se está compensando las pérdidas de hábitats ocasionadas por la influencia de ser humano en el mar, generando una mejora y creando un impacto positivo para el medio ambiente.

También mitigan alguno de los impactos producidos de las actividades desarrolladas en el mar, como podría ser la acuicultura de peces enjaulados, ya que estas zonas absorben el exceso de materia orgánica mejorando así la calidad del agua. Este fenómeno se produce por la restauración de comunidades biológicas que consumen esta materia para desarrollarse.

Por ejemplo, lugares como Hong Kong, Finlandia, Chile, Israel y Canadá,^[2] donde se establecen en el sector de la acuicultura de peces de aletas, se produce grandes cantidades de material orgánico debajo de las jaulas. Es conocido a los peces aletas como aquellas especies de especial interés económico para la obtención del cartílago de las aletas para el consumo.

Se ha comprobado que la colocación de arrecifes artificiales en estos lugares, al introducir grandes cantidades de materia, ofrece un sustrato para el establecimiento de especies bentónicas. De esta forma se genera filtros bentónicos que filtran el agua y retienen e ingieren las partículas que se encuentren en suspensión, mejorando así la calidad del agua. Destacamos que en estas estructuras establecen comunidades bentónicas naturales o se puede implementar la plantación de especies de valor comercial que se alimentan de este material mejorando las tasas de filtración, comúnmente conocido como biofiltros intensivos.

d) Desviación del hábitat.

Estas infraestructuras desvían la presión de la pesca en aquellos ecosistemas naturales sensibles, dando un respiro a estos espacios naturales altamente explotados que necesitan que se regeneren la biodiversidad.

También se reducirá la presión turística que altera zonas con ecosistemas naturales ya que desviará el interés hacia estas infraestructuras debido a la interacción social que produce.

Una vez visto los beneficios que producen los arrecifes artificiales, también debemos de analizarlos impactos negativos debido a la influencia que puede repercutir en nuestro desarrollo del módulo arrecifal.

- a) Los arrecifes artificiales, al ser una infraestructura colocada en el fondo del mar, provocan una alteración de las corrientes que inducen a crear una erosión en otra zona, ya que crea una sedimentación en la línea de costa donde se coloque.

Por tanto, desde el punto de vista de la localidad donde se sitúe, tendrá un impacto positivo, pero donde se produzca una erosión, un impacto negativo. Este proceso influirá en las comunidades biológicas, ya que pueden inducir el desplazamiento o cambio de estas comunidades, con las consecuencias que pueden desencadenar como la aparición de especies invasoras o la exposición a contaminantes.

- b) Podemos establecer impactos negativos indirectos influenciados por estas infraestructuras, ya que la colocación de los módulos arrecifales provocara una concentración de impactos ocasionados por las actividades humanas.

Después de ver todos los factores que producen la instalación de los arrecifes artificiales, hemos podido obtener la información necesaria para poder realizar una planificación cuidadosa que minimizara los impactos ocasionados por los módulos. Podremos analizar y seleccionar, de esta forma, factores como son el lugar de implementación, el diseño o los materiales de la construcción.

2.3 Fenómeno que se genera en los arrecifes artificiales. Sucesión ecológica.

Destacamos el fenómeno, que se produce desde un punto de vista general, conocido como la sucesión ecológica que determinó Magalef en 1980^[1]. Este fenómeno biológico es el que se produce en nuestros arrecifes, donde podemos describirlo como un proceso o fenómeno temporal que va interactuando y modificando la composición y las relaciones de abundancia entre las especies de una comunidad. Por tanto, en sí, no es un fenómeno que solo se les atribuye a los factores abióticos, sino también a las propias especies que van dirigiendo el proceso de interacción entre ambos. De esta forma, los primeros organismos modifican y adaptan el medio generando una mayor heterogeneidad, desencadenando la aparición de nuevos recursos que sean beneficiosos para nuevos organismos estableciéndose así nuevos colonizadores. Este fenómeno se va desarrollando y repitiendo, formándose así la complejidad estructural del ecosistema que al cabo del tiempo llegará a los límites que permita el lugar, desarrollando así una capacidad amortiguadora según se avance este proceso.

Este fenómeno desencadenante solo puede desaparecer y llevar a la comunidad al punto de partida cuando se produzca una perturbación que altere este proceso, siendo un continuo cambio entre sucesiones y perturbaciones que nos determinará la historia de ese ecosistema, donde forma parte la especie humana como elemento clave. Por tanto, en aquellos lugares donde no ha influido considerablemente o han sido menos intensas la actividad humana a lo largo del tiempo, aparecerán ecosistemas más maduros y diversos, objetivo que tenemos que buscar.

Más enfocado al proceso biológico que genera los arrecifes artificiales, focalizado con la sucesión ecológica que determino Magalef, aparecen los estudios de Bombace en 1997

[1], que determinó el funcionamiento de un arrecife artificial como el hecho de que cualquier estructura introducida en el medio aporta superficie nueva al medio, lo que favorecerá un incremento de la biomasa del sistema y desencadenando un incremento de la capacidad productiva.

La implementación en el medio acuático aumentaría la complejidad espacial del medio creando un hábitat más diverso, donde se producirá la colonización del sustrato nuevo por organismos bentónicos pioneros desencadenando un proceso de sucesión de organismos y creando una comunidad bentónica más estructurada. Esta nueva comunidad bentónica favorecería el reciclado de nutrientes y aprovecharía la biomasa fitoplactónica para producir nueva biomasa bentónica. Esto desencadenaría la producción de biomasa bentónica sésil y posteriormente el incremento de biomasa demersal vágil que encontraría refugio y alimento en las estructuras artificiales. Estas especies serían los que irían a engrosar a los efectivos de las poblaciones de interés comercial que se encuentran en un nivel superior de la cadena trófica.

Entendemos como biomasa bentónica sésil a aquellos organismos vivos que necesitan una estructura fija para vivir, como una concha o una roca y frecuentan la región ecológica más baja del mar, en el lecho marino. Por otro lado, la biomasa demersal vágil son aquellos organismos que se disponen únicamente en el lecho marino y disponen la capacidad de desplazarse por la superficie.

Una vez determinado el proceso que genera un arrecife artificial, y comentado como se genera el proceso biológico determinado tanto por Magalef como por Bombace [1], procederemos a explicar de nuevo, de forma propia, el proceso que se genera de una forma más sencilla.

Una estructura sólida en el medio marino permite la maduración del ecosistema mediante un enriquecimiento cualitativo y cuantitativo de la vegetación y fauna del lugar de implementación. Esto viene provocado por el incremento de la productividad primaria, el aumento de la biomasa, el alargamiento de la cadena trófica y en sí, el crecimiento de la producción del sistema.

Por tanto, la estructura sumergida crea una zona de fijación y abrigo que interactúa con el medio acuático, desencadenando que los organismos sésiles que circulan con las corrientes en su fase larvaria plantónica encuentren una superficie para fijarse y desarrollarse.

Primeramente, se instalan las algas e invertebrados sésiles que se fijan en el sustrato sólido aumentando la posibilidad de desarrollo de estos organismos porque los arrecifes artificiales les proporcionan un medio adecuado para su fijación. Podemos decir que la base de la cadena trófica está constituida por las algas bentónicas, son las primeras en desarrollarse y ser visibles en la zona. Por ello aparece un aumento de la biomasa para aquellos organismos consumidores, creando así una atracción para que se implementen en la zona, dejando los ecosistemas donde aparezca una exagerada disputa por el escaso recurso.

Posteriormente se incorporarán otros elementos faunísticos vágiles como crustáceos y peces de roca, que junto con otros organismos realizarán allí sus puestas. Estos se encargarán de consumir la biomasa que se haya establecido, generando un salto más en la cadena trófica que se llegara a establecer y desarrollar.

Por último, los grandes peces encontraran en la zona, un lugar donde protegerse, alimentarse de la fauna vágil, y con el tiempo, reproducirse en la zona.

Entendemos así, cómo se desencadena un ecosistema en el lecho marino y el desarrollo natural que se produce con la implementación de un arrecife artificial. De esta forma podremos determinar cuáles son los factores importantes que debemos de considerar en nuestro arrecife para que se pueda producir y desarrollar un ecosistema marino o como pensar nuevas formas para agilizar este proceso.

Como factor puntual, la implementación de nuestra colmena estará pensada para instalarse en profundidades bajas, y, por tanto, la luz solar será un factor importante que debemos de controlar. Esta luz nos acelerará y maximizará el crecimiento de las algas bentónicas acelerando el proceso de desarrollo del ecosistema.

2.4 Características físicas, químicas y de diseño de los módulos arrecifales y el porqué de sus formas.

A continuación, procedemos al estudio de cuáles son los factores físicos, químicos y de diseño para determinar las características de un arrecife artificial y la relación que tienen estos factores con el medio ambiente.

Posteriormente estableceremos varias clasificaciones que vendrán influenciadas por los factores que determinan el módulo. Por ejemplo, la densidad del módulo junto con el diseño nos establecerá la clasificación del propio uso del módulo. En esta clasificación analizaremos la funcionalidad, la disposición en el fondo y las características que presenta de diseño de cada tipo.

Por otro lado, la disposición en el fondo junto con la distribución y el tipo de material que se disponga para la implementación nos influenciará en la instalación dando lugar a otro tipo de clasificación.

Finalmente realizaremos un estudio de diferentes módulos implementados, viendo los parámetros que definen el módulo junto con las características de diseño que presentan.

En definitiva, conoceremos los factores importantes que debemos de tener en cuenta para la construcción, diseño y disposición en el lecho marino.

Las características físicas para definir un módulo arrecifal vienen dadas por la altura y el perfil del módulo, la diversidad de formas, las paredes verticales y horizontales que

aparezcan, la disposición de los huecos, el número y su tamaño. De esta forma conseguimos definir cuáles son los aspectos físicos que debemos de tener en cuenta a la hora de realizar el diseño del módulo. A continuación, describiremos qué relación hay entre estos aspectos con la finalidad que pueden desempeñar.

Referido a las oquedades en el módulo, debemos de crear cavidades para proporcionar la protección de las especies residentes, favorecer así, el reclutamiento de nuevas especies y producir mayores cantidades de seres marinos. Es por ello, determinar el número total y su disposición en el módulo como también el diseño de estos agujeros son factores que pueden desempeñar una agilidad de desarrollo de la instalación de las especies.

Debemos de pensar en contribuir eficazmente el aumento estable de la producción del sistema mediante un correcto diseño. Un correcto diseño, no solamente para que produzca una correcta atracción y concentración de peces, si no que favorezcan al asentamiento de estas especies en el módulo por largos periodos de tiempo. Por ello las características físicas nombradas anteriormente, deben de estar pensadas en buscar esta finalidad.

Por otro lado, debemos de ser conscientes que, no por más cavidades y formas extrañas, va a aparecer una atracción mayor o una correcta adaptación al medio. Debemos de evitar la formación de estructuras esqueleto, que debido a la sobre colocación de huecos, junto con grandes dimensiones, son contrarias a la finalidad buscada por el inconveniente que supone la adaptación del ecosistema al medio mal diseñado.

El diseño de los módulos debe favorecer la atracción de especies de inferior orden en la cadena trófica que sirvan de alimento a las especies residentes de mayor rango, generando así la atracción de las especies de mayor interés comercial. Tenemos que considerar la diversidad de formas que se pueden instalar en el módulo para poder beneficiar específicamente a determinadas especies.

Los módulos no deben de crear o perjudicar gravemente la hidrología de la zona cuando se implemente la instalación de los módulos, por ello hay que prevenir los posibles fenómenos no deseados que desencadenase una pérdida de efectividad de las características propias del litoral. El correcto estudio del diseño nos proporcionara la relación de las formas geométricas generales diseñadas y sus respectivos impactos, obteniendo así, la forma geométrica que mayor se adapte al lugar de implementación.

Deberemos de considerar, por otro lado, las características físicas del fondo donde se instale, proporcionar una gran estabilidad frente al arrastre y al oleaje, y adecuar la distribución de las estructuras al medio y objetivo buscado.

La facilidad de construcción, transporte e instalación son los aspectos más importantes con relación a la evaluación económica de nuestro modulo ya que dependiendo de los tiempos e infraestructuras nos vendrá influenciado en el precio. También la necesidad de no tener que realizar un mantenimiento supone una premisa importante. Las

características químicas y físicas de estos módulos han de tener una buena resistencia a los agentes externos y presentar un bajo riesgo de polución de aguas.

La seguridad de la infraestructura construida no debe provocar peligro alguno cuando se realice actividades subacuáticas ni crear un impedimento a la navegación.

Otro aspecto por considerar es proporcionar pequeñas derivas de corrientes existentes que transcurran por el interior del módulo para permitir el enriquecimiento biológico. De esta forma se atrae gran número de especies plantónicas, al menos en alguna fase de su ciclo vital, proporcionando alimento a las cadenas tróficas de mayor rango generando un impacto positivo para la madurez del ecosistema. Será necesario la realización de un estudio previo que nos proporcione la interacción del diseño geométrico interior con las corrientes que se pueden desarrollar en él. Es recomendable desarrollar varias velocidades de corrientes en su interior debido a las comodidades características de las diferentes especies.

Con relación al diseño, debemos de pensar en la creación de grandes superficies para la fijación de organismos sésiles y favorecer las existencias de numerosos lugares de puesta. Hay que proporcionar un alto grado de superficie activa para que se pueda desarrollar esta finalidad, por ello, debe haber una relación elevada entre la superficie dada y el volumen del módulo.

A continuación, se ha establecido la clasificación general de los módulos, proporcionada por diferentes fuentes ^[3] ^[5], junto con un resumen característico donde se establecerá el diseño, la disposición en el fondo, así como su funcionalidad.

2.4.1 Módulos arrecifales de protección.

Estos módulos se caracterizan por tener una baja relación entre el volumen aparente respecto a su peso, lo que le proporciona un gran peso respecto a su volumen, ya que deben de disponer físicamente de peso suficiente para impedir el paso de las redes por la zona donde se disponga. En relación a la disposición en el fondo, puede ser homogéneo o heterogéneo, pero debe de ocupar una superficie lo suficientemente grande para cumplir una amplia ocupación del fondo marino, albergando una gran superficie de interacción para así hacer más efectivo el objetivo buscado. Por otro lado, pueden alterar alguna característica física del ecosistema, como podría ser el oleaje y la morfología litoral, siendo algo positivo o negativo, dependiendo de la funcionalidad buscada. Referente a la forma de estos elementos disuasorios, emplean el uso de perfiles metálicos de acero entrelazados entre sí por hormigón, creando formas muy ariscas y de formas muy punzantes. La finalidad buscada respecto a su forma es desencadenar problemas con el uso redes ilegales por provocar el impedimento y enrolle de las redes en estos módulos generando así un proceso disuasorio de los entes de pesca. Podemos decir que estos elementos ariscos son contraproducentes por

producir el abandono de miles de redes en estos elementos que no son retirados en el futuro. Esto provoca el continuo impacto pesquero dejando atrapados miles de peces y seres vivos marinos. Por tanto, estamos creando la disuasión de los pesqueros para evitar la pesca de estas zonas, pero dejando a su merced redes que interactúan negativamente a corto plazo, dejando atrapados a miles de peces. A muy largo plazo estas redes pueden llegar a ser beneficiosas para el ecosistema ya que las continuas interacciones de los seres vivos marinos con la disposición de objetos externos pueden crear nuevos espacios de implementación. Se llegan a implementar diferentes tipos de algas en las redes que crean los primeros eslabones de la cadena trófica creando un nuevo inicio de un ecosistema donde posteriormente, por la verticalidad de las redes en el fondo, generan la aparición de moluscos que se alimentan de los organismos de las corrientes.

Como opinión personal, en relación a lo último descrito, el proceso generado provoca más muerte que vida y altera negativamente el ecosistema.

2.4.2 Módulos o elementos arrecifales alveolares o de producción

Se caracterizan por tener una relación alta entre el volumen aparente respecto a su peso, por lo que les proporciona muy poco peso respecto a su volumen, generando así módulos ligeros. Esto ocurre porque el diseño en sí del módulo presenta unas cavidades internas pensadas para mejorar la función biológica. La disposición en el fondo se dispone de manera próxima entre sí, pudiendo ser amontonada entre sí. Los materiales que se emplean para su construcción son el hormigón, y materiales cerámicos o de una matriz de PVC. Se han realizado también con la combinación de materiales de desecho como podría ser las cenizas de carbón junto con cemento.

Una vez clasificado en el sentido amplio del concepto tipológico, vamos a estudiar, en términos generales, los diferentes módulos implementados, teniendo en cuenta los materiales y sus diseños.

Vamos a descartar el estudio de los diseños de los módulos clasificados como módulos de protección o mixtos, ya que nuestro módulo se dispondrá en profundidades bajas y no cometerá dicho fin.

A lo largo de la historia se han instalado e implementado arrecifes dependiendo de los diferentes objetivos buscados, y se han obtenido varios diseños para poder llegar a estos objetivos. Pero en España no se han buscado más objetivos que el de la gestión pesquera o producción biológica, por tanto, no se han implementado una gran variedad de diseños en nuestra costa. En otros países, al buscarse más objetivos, se han llegado a obtener una gran variedad de diseños y de composiciones entre ellos.

Realizaremos el estudio de los diseños en la costa de Andalucía debido a la facilidad que se ha podido encontrar en relación a la información proporcionada por sus diseños. Esta información viene dada en el libro titulado "Los Arrecifes artificiales de Andalucía" [5].

El diseño de los módulos se ha implementado por primera vez en aquellos lugares que se nombran al principio. Posteriormente se han implementado en más lugares utilizando el mismo diseño.

Implantación en la costa de Conil:

2.4.2.1 Nombre: Conil II

Año: diciembre de 1991

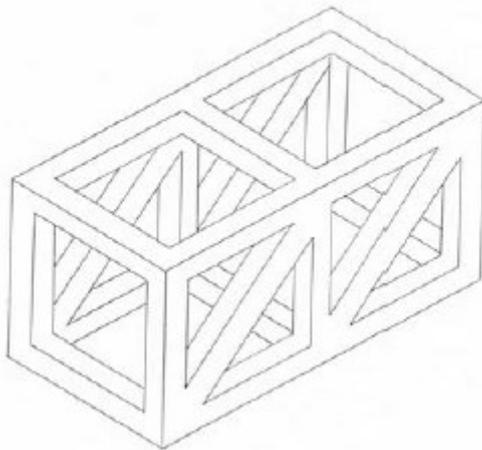


Ilustración 1. Diseño modular Conil II ^[5]

- 30 módulos de producción de forma rectangular.
- 7 Tm de peso seco cada una.
- Vigas de hormigón armado de sección cuadrada de 0,25 m de lado y 2 m de longitud que conforma una estructura de base rectangular de 4 x 2 m y 2 m de altura.
- Entre las caras cuadradas, de 2 m de lado, se dispone una viga de hormigón orientada en diagonal.
- Inversión de 96.844,53€.

Observación de los estudios: Los estudios determinaron una tendencia del aumento de nivel de madurez del ecosistema y su diversidad. No se proporciona información por parte de los pescadores ni los tiempos de que se efectuó el estudio. Por tanto, no podemos contrastar información sobre la eficacia de este tipo de módulo. Se pudo observar en la totalidad de los módulos, sin signos de deterioro y estabilidad. Viendo a forma general del módulo podemos opinar que este puede tener una gran eficacia en sentido del acopio entre ellos por la forma de prisma rectangular de su diseño. No se describe las utilidades que tiene el diseño en relación a los objetivos

de diversidad buscados. Por tanto, no podemos decir que es un diseño eficiente al 100%.

2.4.2.2 Nombre: P1

Año: Julio de 2002



Ilustración 2. Diseño modular P1. ^[5]

- 50 módulos de producción de forma de prisma horizontal.
- Su proyección en planta ocupa 1,5x 3,15 m
- su altura es de 2,51 m
- van dotados de 4 tubos pasantes, 3 de 0,6 m y 1 de 0,3 m de diámetro.
- Su peso seco total aproximado es de 10,95 Tm.
- Inversión de 253.058,00€

Observación de los estudios:

Las estructuras están totalmente colonizadas, excepto en los tubos que las atraviesan, en los que ésta es menor. Podemos concluir que estas cavidades no han sido bien pensadas y diseñadas para que se lleguen a instalar las especies en su interior. Podría ser debido a la entrada y salida continuada de flujo por la cavidad, o por su luminosidad.

Los estudios del 2004 establecen que ha habido una significación baja en el medio. Como no se ha proporcionado información posterior a este año, y debido a que solo llevaba dos años implementado, podemos decir que en el 2016 puede haberse desarrollado un ecosistema con madurez significativa debido al aumento de las capturas por parte de los pescadores.

En relación a la conservación del módulo, se pudo determinar la localización de todos los módulos y no se apreciaron símbolos de deterioro. Los materiales utilizados, a nivel de resistencia al ambiente marino, fueron los adecuados.

Implementación en la desembocadura del Guadalquivir

2.4.2.3 Nombre: A1

Año: diciembre de 1992

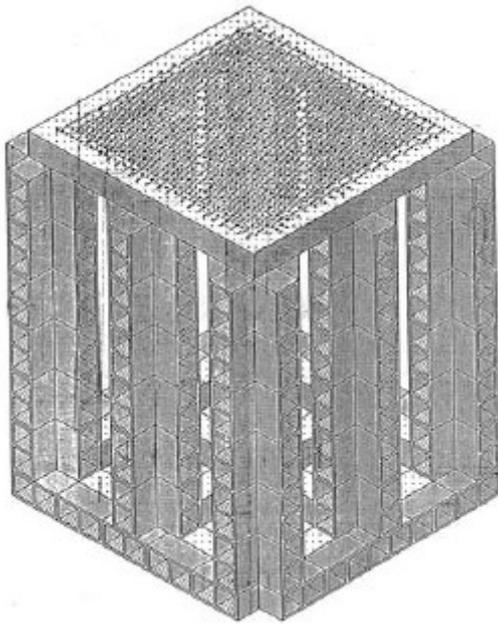


Ilustración 3. Diseño modular alveolar A1. [5]

- 4 módulos de producción de estructuras cúbicas.
- Construcción mediante elementos prefabricados de hormigón.
- Dimensiones 2,6 x 2,6 m de base y 2m de altura.
- Peso seco de 5,94Tm cada una.

Observaciones de los estudios: Se ha visto un incremento de las especies de roca, pero en las demás especies no se ha obtenido muchas diferencias. Se puede decir que las condiciones de instalación en el lugar han sido poco productivas a nivel medioambiental. Podemos pensar que el diseño de este módulo es demasiado aireado, con muchos recovecos donde se pueden instalar espontáneamente

especies pelágicas, pero sin obtener una zona de captación de especies a largo plazo. Por tanto, podemos determinar que no se puede establecer un ecosistema estable en el lugar de instalación de los módulos.

Se ha podido determinar que algún módulo presentaba símbolos de debilidad estructural, pero sin llegar al colapso de la estructura. Esto puede ser debido al mal diseño que se ha generado ya que no se ha pensado correctamente en relación a este ámbito. Se han proporcionado elementos de bajas dimensiones para resistir estructuralmente el módulo.

Implementación en Barbate (Cádiz)

- 312 módulos de producción
- Inversión de 186.313,18€.

2.4.2.4 Nombre: Tipo A

Año: 1995

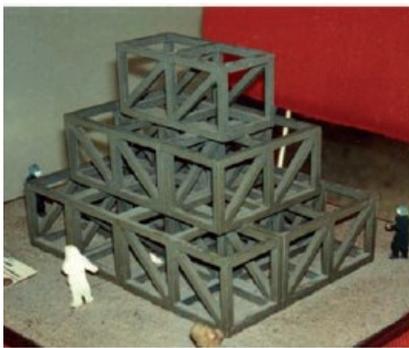


Ilustración 4. Diseño modular A. ^[5]

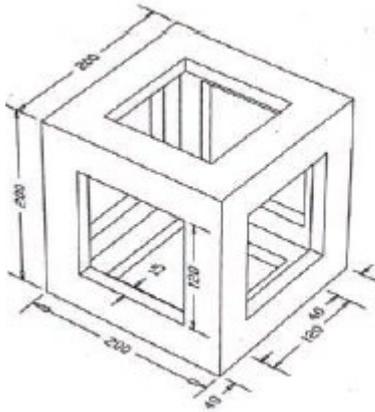


Ilustración 5. Diseño modular A. [5]

- Cubo hueco de 200 cm de lado.
- Elementos lineales de hormigón armado.
- Peso aparente (en el agua) próximo a 2.700 Kg.
- Se dispusieron 118 de ellos a modo de elementos anti-arrastre.
- 20 formando cuatro pirámides de cinco bloques, según proyecto.

Observaciones de los estudios: No hay constatación de información producida por científicos, pero las consideraciones de los pescadores determinaron una bajada de la productividad en los primeros años. Se dice que podría deberse a que hubo periodos de mal tiempo o de malas condiciones, o, por otro lado, provocadas por la propia instalación de los módulos. Transcurridos 6 años detectaron un nivel normal de productividad, llegando a aceptar, por parte de los pescadores, la utilidad de este diseño.

2.4.2.5 Nombre: Tipo B

Año: 1995

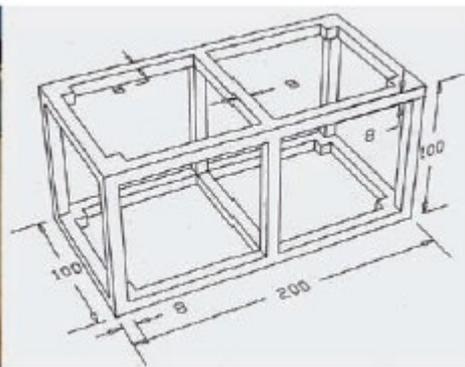


Ilustración 6. Diseño modular B. [5]

- Dimensiones 200x100x100 cm.
- Peso aparente (en el agua) es de 180 Kg.
- Se fundieron 27 unidades, dispuestas en el interior de 6 corrales.

Observaciones de los estudios: Al instalarse conjuntamente con el diseño de tipo A, entrarán las mismas consideraciones anteriores descritas.

2.4.2.6 Nombre: Tipo C

Año: 1995

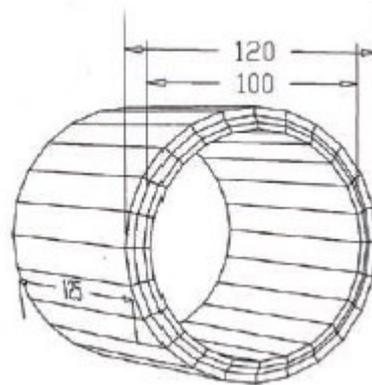


Ilustración 7. Diseño modular C. [5]

- Cilindro hueco de hormigón.
- Diámetro de 120 cm y una longitud de 125 cm.
- Los extremos del cilindro presentan un perfil machihembrado pudiendo unirse varias piezas.
- Su peso aparente (en el agua) es de 562 Kg.
- Se instalaron 52 unidades repartidas en el interior de 6 corrales.

Observaciones de los estudios: Al establecerse conjuntamente con los diseños del Tipo A, B, D, E no se puede determinar si ha habido un beneficio importante ni los tiempos de instalación de la biodiversidad. Viendo el diseño y la forma pensada de unión, podemos establecer que es un diseño poco correcto tal como lo habíamos establecido en el diseño P1. Generan grandes cavidades con condiciones de luminosidad interior muy oscuras donde puede establecerse el continuo flujo de corriente de agua produciendo un aspecto negativo para la instalación de las especies. Ya que, sin luz, no puede adaptarse cualquier ser que se alimente de la materia en suspensión que pase por el interior debido a la corriente producida. Por tanto, no desencadenaremos la instalación de los primeros niveles de la cadena trófica, provocando así la no instalación de los niveles superiores de la misma.

2.4.2.7 Nombre: Tipo D

Año: 1995

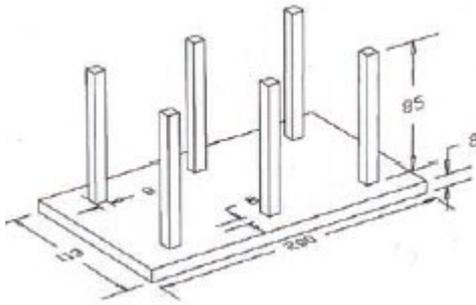


Ilustración 8. Diseño modular D. [5]

- Pieza plana de hormigón armado
- Dimensiones 200x113x8 cm
- Sobresalen perpendicularmente por una de sus caras 6 prismas de 85x8x8 cm
- Peso aparente (en el agua) total es de 320Kg.
- Se dispusieron 40 unidades repartidas en el interior de 6 corrales.

Observaciones de los estudios: Se instalaron conjuntamente con los modelos A, B, C y E al no poder disponer de un estudio específico a lo largo del tiempo, consideraremos las mismas características que los anteriores.

2.4.2.8 Nombre: Tipo E

Año: 1995

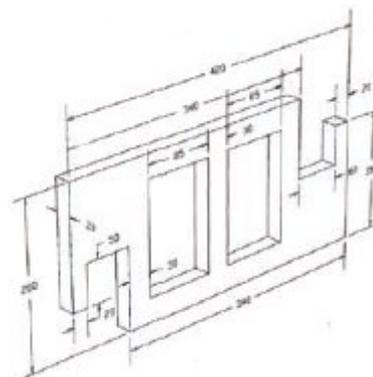


Ilustración 9. Diseño modular E. [5]

- Piezas planas de hormigón de forma casi rectangular.
- Dimensiones 420x200x20 cm.

- Las esquinas presentan un orificio dentado que permite la inserción de varias piezas entre sí.
- Su peso aparente (en el agua) es de 1386 Kg.
- Utilización de 55 unidades dispuestas formando las paredes laterales de 6 corrales.

Observaciones de los estudios: Este diseño produjo una subida de los costes debido a la existencia de notables diferencias entre la instalación y el proyecto original. Precisó de la intervención de buzos para el establecimiento de los módulos y su unión, produciendo un gran coste temporal por la complejidad que conlleva la instalación. Su complejidad estructural no presentaba una relación directa con la productividad del ecosistema. Por otro lado, cuando se realizó el conjunto mediante la unión de los módulos, precisó de otros módulos anteriores para su correcta ejecución, provocando mayores costes temporales y de producción. No se obtuvo buena resistencia física ante los elementos externos, produciéndose derrumbes de las estructuras, como también roturas y colapsos internos debidos al mal diseño, afectando a los módulos internos, provocando una alteración del diseño general que se quería implementar.

Implementación en Punta Melonar-Torre Melisena (Granada)

2.4.2.9 Nombre: P3

Año: Septiembre del 2003

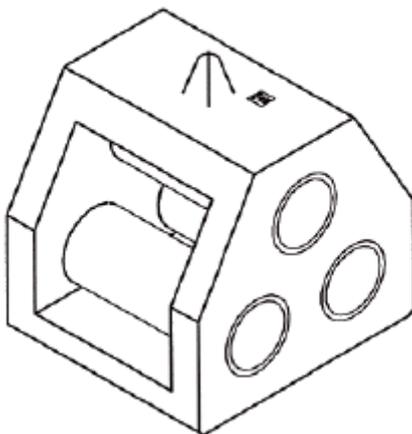


Ilustración 10. Diseño modular P3. ^[5]

- Bases triangulares truncadas en sus vértices.
- Su proyección en planta ocupa 2,10 x 2,37 x 2,22 m.
- 3 tubos pasantes de 0,7 m de diámetro exterior.

- Su peso seco aproximado es de 13,26 Tm.
- Para favorecer su caída vertical en el fondeo, dispone de un hueco en la base de 0,7 x 0,7 m.
- 50 módulos que constituyen dos áreas de 250 x 250 m

Observaciones de los estudios: Se obtuvo una buena adaptabilidad al medio conservando las características físicas. Mediante su diseño, se comprobó que el 100% de las instalaciones de los módulos había sido correcto, conservando la caída de forma erecta cuando se produjo la instalación. Por otro lado, la información proporcionada por los pescadores ha sido positiva y beneficiosa, habiendo una buena producción transcurridos 12 años. Se ha confirmado a lo largo de 14 años la mayor productividad, conservando la uniformidad de producción transcurridos los 19 años actuales. Se ha podido observar una tendencia de la disminución de la biodiversidad a medida que se ha ido aumentando la profundidad de colocación. Se ha podido constatar que la mayor diversidad se ha apreciado en los módulos situados a profundidades entorno a los 15-20 m. Por otro lado, en aquellos lugares donde se han establecido más módulos en menos espacio también se ha observado una tendencia más alta a la complejidad del ecosistema.

No se ha podido constatar por falta de información si el interior de los tubos presentaba alguna evidencia de instalación de alguna especie.

No se aprecian anomalías estructurales ni enterramientos de los módulos.

Implementación en Maro- Cerro Gordo (Malga-Granda)

Nuevos diseños aun no establecidos que fueron instalados en 2006

2.4.2.10 Nombre: T

Año: 2006



Ilustración 11. Diseño modular T. ^[5]

- Elemento construido en hormigón armado HA-25.
- Instalación de 31 paralelepípedos huecos.
- Dimensiones exteriores: 1,50 x 1,60 x 1,12 m.
- Dimensiones interiores: 1,10 x 1,60 x 0,72 m.
- Presenta el orificio en cada una de sus caras.
- Se introducen tubos de hormigón armado con diámetro interior de 30 cm y 60 cm de longitud
- Se rellena el hueco general con 6 tubos.
- Los tubos se embuten en un dado de hormigón de dimensiones: 1,10 x 0,72 x 0,40 m.
- Peso seco 5,50 Tm.
- Peso sumergido 3,76 Tm.
- Volumen aparente 2,68 m³.

2.4.2.11 Nombre: U

Año: 2006

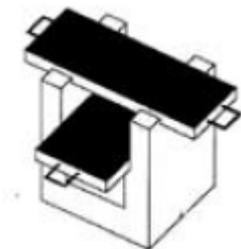


Ilustración 12. Diseño modular U. ^[5]

- Elemento construido en hormigón armado HA-25.
- Instalación de 41 módulos.
- Sección rectangular, de 1.80 x 0,80 m y 0,15 m de espesor
- La base cuadrada, de 1,20 m de lado y 0,30 m de espesor.
- Peso en seco de 3.50 Tm.
- Peso sumergido de 2.14 Tm.
- Volumen aparente de 0,67 m³.

2.4.2.12 Nombre: C3-P1

Año: 2006



Ilustración 13. Diseño modular C3-P1. ^[5]

- Paralelepípedo de dimensiones 3.70 x 1.50 x 1.60 m.
- 6 salientes de 0.5 x 0.25 x 0.25 m.
- Hormigón armado HA-25.
- Su peso total en seco es de: 11,63 Tm.
- El peso sumergido es de 6,97 Tm.
- El volumen aparente es de 8,88 m³.

2.4.2.13 Nombre: C3-P2

Año: 2006



Ilustración 14. Diseño modular C3-P2. ^[5]

- Placa de hormigón.
- Dimensiones 3,70 x 1,50x 0,25 m.
- 6 salientes de 0,50 x 0,25 x 0,25 m.
- Hormigón armado HA-25.
- Peso total en seco es de 3,95 Tm.
- Peso sumergido es de 2,37 Tm.

2.4.2.14 Nombre: C3

Año: 2006



Ilustración 15. Diseño modular C3. [5]

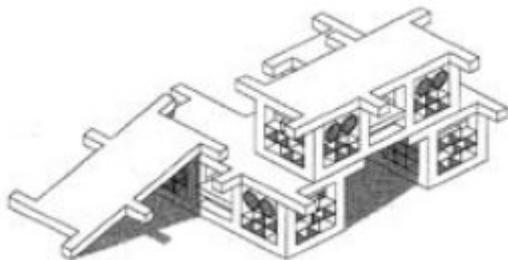


Ilustración 16. Diseño modular C3. [5]

- Unión de 3 bloques P1 y un bloque P2.

Observación de los estudios: Se ha determinado una gran efectividad con los estudios desarrollados durante los 16 años que lleva implantado. No se pudo acceder a la información detallada, por ser privada. Podemos decir que se ha empezado a ver un desarrollo en cuanto al diseño de los módulos a medida que se han implementado más recientemente. Por ello podemos constatar la evolución que ha experimentado el diseño de los módulos pensando ya en formas de unión entre

ellos y poder realizar infraestructuras más complejas, en función de los diferentes ámbitos buscados. Este es el caso de cómo se pueden unir los dos diseños creados para la construcción de un módulo general. En él se han entrelazado perfiles rectangulares y tubulares en su interior para la variedad de tamaño de los espacios y así albergar más rango de especies. Se observa también cierta graduación de la altura, pensado en las posibles repercusiones de las entradas y salidas de las especies en el módulo. En contrapartida, el diseño y la introducción de estos perfiles produce el mismo problema que los módulos P3, P1, de la intensidad de la luz que puede entrar, afectando negativamente a la instalación de las especies que pueda albergar el módulo en su interior.

A nivel estructural, observamos un diseño compacto mediante la unión de los diferentes módulos, produciendo una mayor resistencia a los diferentes factores externos que puedan influenciar sobre el conjunto.

Implementación en Adra (Almería)

2.4.2.15 Nombre: P4

Año: 1994



Ilustración 17. Diseño modular P4. [5]

- Hormigón armado HA-25.
- Instalación de 100 módulos.
- Prisma cúbico de 0,4 x 0,4 x 1,20 m.
- Losa inferior de 2 x 2 x 0,45 m.
- Losa superior de 2 x 2 x 0,35 m.
- Cuatro pilares de 0,20 x 0,20 x 1,2 m que sujetan ambas losas.
- Celosías en las caras de 0,40 x 0,40.
- Tienen un peso aproximado de 10 Tn.

Observación de los estudios: No se proporciona información de seguimiento del módulo. No podemos constatar la eficacia que presenta. En relación al diseño presenta una facilidad de colocación en el fondo. No tiene presente el objetivo de albergar diferentes especies en su interior ya que los agujeros que presenta no son de diferentes tamaños. La superficie que presenta es baja. La luminosidad que ejerce sobre el interior del cubo es alta, provocando así la instalación de los primeros eslabones de la cadena trófica, pudiendo desarrollar el ecosistema.

Las corrientes que puedan ejercer sobre su interior pueden llegar a ser altas, por encima de la comodidad de las especies para resguardarse, por ello podemos establecer como este módulo un lugar de paso de las especies, no llegando a producir la instalación continuada en el módulo.

A nivel estructural podemos decir que presenta una gran estabilidad y resistencia a los factores externos dado su peso y dimensiones.

Implementación en Salobreña (Granada)

2.4.2.16 Nombre: P4

Año: 2000

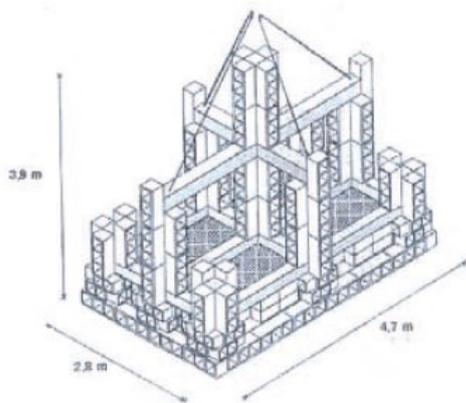


Ilustración 18. Diseño modular P4. [5]

- La base es un zuncho perimetral formado por cuatro vigas armadas.
- **Dispone de** dos vigas en cruz en el centro empotradas en las vigas del zuncho perimetral.
- Se levantan nueve pilares.
- Cuatro pilares de las esquinas de 110 cm.
- Cuatro pilares del centro de 205 cm.
- El pilar del centro es de 390 cm.
- El peso del conjunto de la estructura es de 11,2 Tm.



Observación de los estudios: Se ha podido constatar una evolución favorable a lo largo del estudio, pasando por todas las etapas para llegar, después de 14 años, a un ecosistema de nivel medio. Al tener una significativa superficie de fijación de organismos, pueden desarrollarse las especies que estén por encima en la cadena trófica

Se ha constatado algún deterioro de la estructura protagonizada principalmente por los seres vivos instalados. Presenta una buena estabilidad, pero de laboriosa construcción.

Los factores de luminosidad y de corrientes cumplen con las características deseadas para su instalación por parte de los seres vivos, pero, aun así, han tenido que pasar más de 14 años para que se pueda desarrollar el ecosistema.

En definitiva, hemos visto que los tiempos de implementación para que se desarrolle un ecosistema maduro están en torno a los 13 años. Hemos visto infinidad de formas, en las cuales, por un lado, había formas más beneficiosas para el hábitat marino, y en otras, la facilidad de construcción e instalación, teniendo en cuenta también factores económicos. Por ello debemos de pensar en crear y diseñar un módulo que tenga presente estos aspectos.

Por otro lado, no se ha podido encontrar información relacionada con el motivo por el cual se ha creado cada uno de los diseños. En relación al hábitat creado por el diseño, no se ha justificado ninguna forma. Se ha tenido en cuenta la superficie aportada al medio y la instalación de los organismos en ella, pero de una forma poco detallada y productiva. Sí que es verdad que hemos visto alguna utilidad del diseño para el transporte del mismo y su colocación, pero en definitiva no se ha podido encontrar más información referida al aspecto medioambiental.

Es por ello que hemos querido elaborar la investigación de los diferentes módulos para realizar un diseño que vaya más allá y poder diferenciarnos de los demás para poder crear un diseño novedoso y de corta implementación del ecosistema. Por ello, continuaremos con la investigación de todos los aspectos que conforman la creación de un módulo para poder albergar el mejor diseño y construcción posible.

2.5 Aspectos importantes que debemos de tener en consideración para nuestro Arrecife.

Mediante el estudio anterior y la labor de investigación ejercida sobre este tema se ha podido establecer que los seres vivos tienen predilección por determinados tipos de proyectos donde, en cada uno de ellos, se definen una serie de características como peso, tamaño, heterogeneidad espacial, disposición etc.

Por todo ello, se ha podido establecer unas conclusiones para así poder determinar, de la mejor forma, estos parámetros, para realizar la creación de nuestro módulo.

Resumimos los aspectos físicos, biológicos y el socioeconómico a tener en cuenta.

2.5.1 Nombramos primero los aspectos físicos importantes que debemos de considerar.

Primeramente, podemos determinar una relación directa entre la complejidad de un arrecife y la diversidad de las especies que pueden ser atraídas. Por ello, podemos concluir que la forma y las dimensiones, tamaño del arrecife, influenciará sobre el total de individuos y especies, como también sobre la biomasa. Puede crear una referencia espacial para determinadas especies y ser visualmente atractivo.

Con relación al perfil del arrecife, concretamente las profundidades de coronación vendrán influenciadas por el establecimiento de especies en la zona, ya que la profundidad nos determinara el elemento estructurador de las comunidades biológicas. Podemos decir que no todos los tipos de especies tienen predilección por determinadas profundidades. Por ello en los perfiles bajos se establecerán especies demersales, ya que estas especies viven sobre la superficie sólida. Sin embargo, para que se establezcan el máximo número de especies diferentes se requiere una combinación de arrecifes altos y bajos para poder favorecer a los diferentes tipos de comunidades.

Por otro lado, damos gran atención a la distancia que se disponga el arrecife con relación a la costa, ya que nos condicionará el tipo de especies que se establezcan. Aunque, a corto plazo se pueden llegar a establecer las especies comunes que se establezcan en la línea de costa, tendremos que buscar que a largo plazo vengan las especies de aguas interiores. Que vean un sitio clave de alimentación y descanso en la peregrinación de especies pelágicas y demersales. Este factor influenciará a la rentabilidad de la explotación que se puede desarrollar alrededor de los arrecifes.

Recordamos que las especies pelágicas son aquellas que viven en aguas medias y cercanas a la superficie, siendo los demersales las especies que viven cerca del lecho marino.

La distribución y el número de módulos tendrán influencia sobre la diversidad y la biomasa de las comunidades de un arrecife. Por tanto, aquel arrecife dividido en módulos, en vez de uno compacto, al albergar más área, puede atraer una mayor cantidad de especies e individuos como también diferentes zonas de usos recreativos como el submarinismo y la pesca. Sin embargo, puede ser contraproducente ya que, para que se genere una funcionalidad efectiva, se tarda mucho más tiempo que en aquellos arrecifes que se encuentran compactos.

Otro factor importante que nos determinará la diversidad de organismos que se establezcan en el arrecife vendrá dado por la cantidad y carácter de los intersticios. Hay una relación directa entre la apertura y la especie. Decimos que se puede determinar las especies que queremos que se establezca dependiendo de los intersticios. Hay que considerar también las edades de las diferentes especies para garantizar la supervivencia, por ello hay que considerar aperturas de pequeño tamaño para tener en cuenta las primeras edades, como también las especies pequeñas y otros más grandes para las edades superiores o especies grandes.

La forma del intersticio junto con los tamaños interiores es básica para poder albergar la mayor diversidad de especies, objetivo clave perseguido para poder desarrollar ecosistemas complejos y duraderos.

Podemos decir que la complejidad de un arrecife está directamente relacionada con la diversidad de comunidades que pueden llegarse a establecer.

Deberemos tener en cuenta la sedimentología que producirá el arrecife a su alrededor. Este factor viene directamente relacionado por las características del ecosistema que se puede llegar a establecer. También damos gran interés a la integridad de las estructuras, ya que nos influenciará en la sedimentación que se produzca alrededor, determinando así el impacto visual y su integridad paisajística.

La disposición de las aperturas, como también la relación entre ellas, es importante ya que los peces prefieren cavidades conectadas entre sí para poder escapar de sus depredadores. También consideraremos las corrientes externas que estarán en contacto con nuestro arrecife, ya que podremos determinar en cierto grado, los organismos que se pueden asentar en el arrecife y por consiguiente la productividad de biomasa, aspecto importante para el desencadenamiento del ecosistema en nuestro arrecife. Por otro lado, hay que garantizar la correcta llegada de luz, aunque puede ser contraproducente ya que no todas las especies son iguales y presentan las mismas características de habitabilidad. Por ello, para las especies que necesiten menos luz solar no se establecerán en aquellos sitios donde se introduzca gran luminosidad. Por ello debemos de pensar en todos los aspectos importantes de la habitabilidad de las especies y tener en consideración la luminosidad para el diseño.

La orientación de las cavidades, como también el número, vendrán influenciadas en los hitos de apareo y reproducción junto con su desove. También provocará la influencia del tipo de especie territorial como gregarias. Se sabe que las especies territoriales prefieren las cavidades más pequeñas y las más grandes para las especies gregarias.

Se conocen como especies territoriales aquellas especies individuales o por pareja que discurren habitualmente por los mismos espacios, sin intenciones de desplazarse a otros lugares. Por otro lado, las especies gregarias son aquellas que

frecuentan en grupos muy grandes para la obtención colectiva de beneficios que discurren y viajan a otros lugares sin intenciones de hospedarse.

Otro punto a tener en cuenta es la estanqueidad de las aguas ya que tiene gran influencia sobre la productividad. Hay que proporcionar un buen diseño de las aguas para que no se produzcan aguas estancadas por largos periodos de tiempo. Mencionamos que no todas las especies tienen predilección por la correcta circulación de las aguas, induciendo negativamente a que no se establezcan en nuestro arrecife. Estas especies son importantes y debemos de considerarlas en la implementación de nuestro arrecife ya que cierran la cadena trófica que se puede establecer y deberemos de tener en cuenta este parámetro para la realización de nuestro diseño. Destacamos que debe haber una regeneración y recirculación de las aguas a largo plazo. Por tanto, el parámetro de la hidrología de nuestro arrecife hay que tenerlo en cuenta y hacer su respectivo estudio incluyendo el comportamiento de las masas de agua en cuanto la variación de los parámetros fisicoquímicos y los movimientos verticales para así tener un estudio para poder ver la influencia y las consideraciones necesarias para el establecimiento de todas las especies, como también para el diseño.

Para determinar la biomasa que se pueda establecer en nuestro arrecife nos fijaremos en la superficie total disponible. Por ello, cuando mayor sea la superficie disponible para el establecimiento de algas e invertebrados, mayor será la fuente de alimentos para otros niveles de la comunidad y por consiguiente aumentaremos la capacidad de producción. Por ello tendremos que realizar el diseño para que haya un alto grado de adaptación a la biomasa para acelerar este proceso.

Debemos pensar que los arrecifes artificiales deben de intentar alcanzar los objetivos buscados y su implementación debe de ocasionar una interferencia mínima con los ecosistemas naturales marinos establecidos en el lugar de implementación. Por ello concluimos que, nuestra infraestructura, debe de ocupar el mínimo espacio posible para no producir impactos negativos sobre el ecosistema establecido. También destacamos que, gracias a esos ecosistemas naturales y maduros, nos acelerará el proceso de adaptación de nuestro arrecife al medio natural, objetivo que debemos de buscar y perseguir para disminuir los tiempos de instalación de un ecosistema maduro.

2.5.2 Por otro lado, referido al ambiente biológico, debemos de considerar los siguientes factores.

Primeramente, nos dirigimos a las especies depredadores. Son claves en nuestro mar, y su presencia está directamente relacionada con el diseño de nuestros arrecifes. Sin la presencia de depredadores en nuestro arrecife, las especies no se asentarían en nuestro módulo, ya que no tendrían la necesidad de protegerse y refugiarse. Por ello, debemos de facilitar la entrada y salida en nuestras

cavidades, una correcta supervivencia y crear un confort que en otros lugares no pueden encontrar.

Seguidamente nos fijamos en las comunidades bentónicas que van directamente relacionadas con la presencia y existencia de recursos alimenticios como también de refugio. Destacamos el flujo de producción desde la columna de agua hacia las especies consumidoras, dando así lugar al inicio de los ecosistemas. Por ello debemos de pensar y realizar un correcto diseño para que se establezcan y desencadenen el proceso con la mayor rapidez, generando zonas donde se produzcan cúmulos de materia y facilitando el establecimiento de especies en las superficies de los módulos.

Damos importancia a la presencia de los recursos pesqueros y su respectiva explotación que se establezca en la zona. Debemos pensar que hay que favorecer su incremento para conseguir los objetivos buscados y por ello hay que realizar el diseño correcto para que se pueda conseguir. Destacamos que debemos de facilitar la regeneración de estos recursos en un plazo menor al plazo habitual de las especies. De esta forma agilizamos el proceso y beneficiamos a los pescadores pero que, sin una planificación y gestión previa de la explotación de los recursos, este aspecto podría inhibirse

Ahora objetivamos los poblamientos cercanos tanto terrestres como marinos que nos afectarán positiva o negativamente en el arrecife, y que entra dentro del proceso para que se constituya el ecosistema. Mamíferos, como también especies invasoras, incluso aves, podrían desestabilizar y crear modificaciones en el hábitat, creando impactos negativos perjudicando los tiempos de desarrollo de la implementación del ecosistema. Por otro lado, las poblaciones cercanas que constituyen un ecosistema maduro podrían acelerar el proceso de la colonización del arrecife y crear, a corto plazo una diversidad positiva en la comunidad asentada.

2.5.3 Por último, referido a los factores socioeconómicos, consideraremos los siguientes factores.

Deberemos de dar interés a los volúmenes de pesca donde se instale el cúmulo arrecifal, como también su tipo. Por otro lado, la función de impedimento de las artes de pescas ilegales y perjudiciales para el medio ambiente. Tenemos que pensar cuál es el volumen necesario para hacer frente a estos factores, como también, su diseño. Debemos generar formas que creen un impedimento, pero no un inconveniente para las artes de pesca. Hay que pensar que multitud de redes de pesca se quedan atrapadas en los módulos de protección, siendo esta causa un error fatal a corto plazo. Por un lado, el impacto económico negativo que crea para los pescadores por la pérdida de aparejos, y por otro, la pesca fantasma creada disminuyendo la población natural de especies. Por ello debemos pensar en crear formas no ariscas para que queden atrapadas redes, y que, si se encuentran con el impedimento, puedan retirarlas sin ningún problema.

Nos fijamos en las actividades recreativas que queremos que se desarrollen como también que no interfieran en otras. En nuestro caso al estar en zonas poco profundas, y como queremos que sea un complemento a los deportes submarinos y acuáticos debemos de pensar en la facilidad y mejora para crear un aliciente a estos deportes donde aquí entra su diseño, forma y no la creación de zonas peligrosas.

Cuando pensemos en zonas de instalación de las infraestructuras tendremos en cuenta las acuiculturas próximas, ya que no debemos de interferir ni entrar en conflicto. Debe de haber una complementación entre ambas. Por tanto, si queremos crear nuestra infraestructura acuática cerca de zonas de acuicultura debemos de hacer un estudio de los posibles impactos causados. Ciertamente es, que no se sabe con exactitud si estos estudios son fiables al cien por cien. Por ello hasta que no se implemente, y pase un transcurso de tiempo no podemos garantizar conclusiones correctas. Estos estudios nos darán una aproximación, pero no afirmaciones concluyentes.

Nos fijaremos en las actividades industriales cercanas que pueden suponer fuentes de contaminación y llegar a afectar y perturbar la zona donde se instale el arrecife. Tendremos también en cuenta las infraestructuras civiles, como podrían ser las conducciones, cables, los emisarios, para no interferir estas infraestructuras a nivel físico y biológico en nuestra implementación e instalación.

A los vertidos de la zona les daremos gran interés, y deberemos de concienciar a los ciudadanos de la zona la importancia de la preservación del ecosistema, ya que pueden afectar gravísimamente a las comunidades bentónicas, y, por consiguiente, al ecosistema, atrasando los tiempos de instalación de las especies para que se forme un ecosistema maduro.

Hay que pensar en la construcción y la instalación del arrecife artificial. Por ello nos fijaremos en la industria complementaria para poder desarrollar nuestro arrecife para que se optimicen al máximo los costes. Daremos gran importancia a la disponibilidad de materiales, las facilidades de transporte y colocación por ser los principales factores que nos influenciarán en el aspecto económico.

2.6 Materiales de construcción de arrecifes.

La elección del material viene directamente influenciada por los objetivos que queremos que se establezcan. Por otro lado, deben ser compatibles con los usos que se van a implementar y deben ser construidos únicamente considerando aquellos materiales que cumplan su cometido de una forma segura y sin riesgo alguno para el medio ambiente.

En este apartado tendremos una introducción en el mundo de los materiales y una opinión personal. Por ellos veremos la evolución que ha habido y nos referenciaremos al convenio de Londres, cómo también, en el convenio de OSPAR ^[19] como guía. El convenio de Londres se trata de un convenio realizado en 1972 dedicado a proteger el medio marino de las actividades de los seres humanos.

Por otro lado, el convenio de OSPAR se trata de un convenio realizado el 22 de septiembre de 1998 en Oslo y París dedicado a la protección del medio marino del atlántico nororiental.

Recalamos que la elección del material debe de minimizar los riesgos para el medio ambiente y, por otro lado, no crear un peligro o conflicto entre usuarios. Está demostrado que la combinación de varios materiales puede aportar una mayor variedad tanto para las comunidades biológicas como para los usuarios. Por ello deberemos de crear un módulo donde se disponga varios materiales para una mayor rapidez de adaptación en el medio.

En el desarrollo del módulo debemos de intentar llevar a cabo un proyecto donde se produzca el menor impacto ambiental y económico posible, teniendo en cuenta todos los factores logísticos como la preparación, el transporte, la colocación y el mantenimiento de la estructura. El coste ambiental viene dado por la artificialidad de las estructuras prefabricadas en el medio subacuático creando espacios visualmente poco atractivos tanto para las especies marinas como para los usuarios de estas infraestructuras

A lo largo de la historia ha habido una evolución de los usos de los materiales en la construcción de los arrecifes. De la utilización de recursos naturales como la madera y rocas, al uso de diferentes agregados de residuos y residuos, materiales cerámicos, el hormigón y el acero como también el uso complementario con plásticos. Esta evolución ha venido por las características de durabilidad que presentan estos materiales y las características físicas. También se ha producido una evolución de la elección de los materiales por la experiencia y una continua evaluación de los impactos positivos y negativos generados por los resultados y conclusiones obtenidos.

En el mundo ha habido una evolución continua del uso de diferentes materiales, tendiendo a la reutilización de materiales. Estos materiales han sido desde barcos y otros vehículos hasta plataformas petrolíferas, escombros de la construcción, productos de desecho del hormigón, neumáticos y cenizas y fangos fijados en cemento. En definitiva, la reutilización de materiales de desecho donde en el medio terrestre crean un gran impedimento para su gestión y disposición. Pero, algunos de estos materiales, a lo largo del tiempo se ha demostrado que son perjudiciales para el medio subacuático, descartándolos y prohibiendo su uso como arrecifes artificiales. Estos materiales son: La fibra de vidrio, el plástico, neumáticos, cuerpos de vehículos ligeros, barcos de fibra de vidrio y moldes de barcos, vagones y chatarra metálica de bajo peso como secadoras, lavadoras, frigoríficos etc.

Para mantener las características funcionales de un arrecife es necesario que los materiales sean de larga duración al igual que deben de ser químicamente estables en el agua de mar. Destacamos que es esencial el parámetro del peso para la conservación del arrecife, ya que, si hay ligeros movimientos entre los módulos provocados por las corrientes u oleaje, provocara la degradación de los módulos por el roce entre ellos. Por ello, actualmente, el material predominante es el hormigón. No solo por la facilidad que presenta de crear las diferentes formas y ser estables, si no por las características físicas (peso) que tiene, la durabilidad y disponibilidad.

Hay otros aspectos importantes que nos influyen en la durabilidad de los arrecifes artificiales, como la porosidad y la permeabilidad, ya que son parámetros directamente relacionados con la estabilidad química del material al agua de mar. Destacamos que el principal problema de durabilidad que presenta los materiales es la penetración de sulfatos y otras sustancias químicas agresivas provenientes del agua de mar. Tenemos que buscar materiales que presenten una alta resistencia a la penetración de sulfatos generando un impedimento a la descomposición química en el medio marino, y por consiguiente, no generar una liberación de productos tóxicos que alteren la calidad biológica del ecosistema y la calidad fisicoquímica del agua y los sedimentos. También debemos de pensar que estos materiales han de ser resistentes a lo largo del tiempo, no perder sus propiedades y tener en cuenta los posibles efectos que pueden generar las actividades de pesca o colocación.

En cualquier caso, resaltamos que cualquier material inerte que se desee utilizar para la realización y creación de un arrecife artificial deberá de ser evaluado previamente con los criterios de las Apecific Guidelines for Assessment of Inert Inorganic Geological Material desarrolladas en el Convenio de Londres^[30].

En relación a la biota que se puede generar en nuestro arrecife dependerá de la superficie del material. Está comprobado que en superficies planas y lisas se crea un mayor impedimento para el establecimiento de los organismos. Por otro lado, en superficies rugosas hay una mayor colonización de organismos. Destacamos la importancia de esta característica dependiendo del tipo de arrecife, ya que en los arrecifes situados en regiones profundas no es un factor importante, pero las de aguas poco profundas, sí.

Por otro lado, destacamos el uso del acero. No todos los arrecifes artificiales utilizan los perfiles metálicos que conforman el diseño externo del módulo, como lo son los arrecifes alveolares o de producción, pero en aquellos que se utilizan, como los de protección, tienen el problema de que los iones del cloruro del agua marina afectan a los iones del acero generando un proceso químico y degradando el acero.

A continuación, hacemos referencia al convenio de Londres^[30] donde se establece las principales directrices que tienen que cumplir los materiales, como también las ventajas y desventajas de cada material. El convenio nos indica que los arrecifes se pueden construir con materiales naturales, reciclados o prefabricados y que una combinación de estos materiales puede alojar una mayor variedad de comunidades biológicas.

Tal como nos dice el convenio de Londres^[30], los objetivos buscados para elegir el mejor material serán aquellos que cumplan la finalidad buscada del arrecife y que se ajusten a los criterios de seguridad y protección del medio ambiente. Por ello diremos que hay una predilección por la construcción de materiales naturales e inertes, ya que son aquellos que no provocan contaminación por lixiviación, erosión física o química, y, por otro lado, tener una resistencia al deterioro del agua del mar. La importancia de que el tipo de material utilizado puede influir sobre el tipo de especie que colonice el arrecife, nos determinará y afectará a los factores biológicos, pudiendo determinar el tipo de alimento que se establecerá para las especies seleccionadas. Destacamos la elección de materiales pesados como rocas, hormigón y acero en zonas con mucha energía.

A continuación, analizaremos la información generada por la vigilancia y estudio de la implementación de arrecifes en los últimos años, construidos con diferentes materiales, así como, las ventajas e inconvenientes de la construcción con cada material. Descartamos aquellos arrecifes construidos con materiales reciclados de usos diferentes, como plataformas marinas, los buques y embarcaciones fuera de uso, ya que no son objeto de nuestro estudio.

El hormigón es el material más empleado hasta el momento para la construcción de módulos arrecifales ya que es compatible con el medio marino. Esta propiedad, junto con las características de durabilidad y la facilidad que tiene para adoptar fácilmente cualquier forma cuando se fabriquen unidades prefabricadas, les da una clara ventaja sobre los demás materiales. Destacamos que, este material, puede ofrecer superficies y crear habitas adecuados para el crecimiento y establecimiento de organismos. Al mismo tiempo generará un sustrato y alimento, como también refugio para otros invertebrados y peces. Actualmente se están generando una base de estudios que buscan nuevas formas de incrementar este proceso.

Por otro lado, al ser un recurso abundante y fácil de utilizar, junto con su peso, que le aporta estabilidad, proporciona unas características muy positivas a la hora de elegir cualquier otro material. Pero por el contrario puede ser una desventaja porque requerirán el empleo de equipos pesados para su manipulación produciendo un aumento de los costes de transporte marítimo como terrestre.

El peso de los módulos puede producir una subducción produciendo un hundimiento de los módulos, por ello hay que tener un buen estudio de la zona y preparación para contrarrestar este fenómeno.

Hay que pensar en la instalación adecuada de los bloques de hormigón y por ello la infraestructura necesaria de maquinaria marina. Esto provoca un aumento de los costes y por otro lado un alto grado de peligrosidad ya que el medio marino no es un lugar estable generando así una desventaja.

Otra posible elección del tipo de material a utilizar es la madera. La madera es el material más abundante y de mayor accesibilidad que aparece generalmente en cualquier zona.

Es un material natural y con unas características físicas muy apreciadas. Destacamos que su uso en el medio subacuático recibe un gran recibimiento por parte de organismos que se adaptan y colonizan con rapidez su superficie y materia.

Shinn y Wicklund en 1989^[3], descubrieron la existencia de unos moluscos bivalvos perforadores de madera, llamados teredos. Se les conoce coloquialmente como gusano de barco. De cuerpo alargado (cuerpo vermiforme), y aspecto de gusano, disponen de dos pequeñas valvas de pequeño tamaño encargadas de erosionar y perforar la madera para alimentarse, perdiendo la función de autoprotección. Otro ejemplo sería las tiñuelas, otro teredinidae, que crean una red de túneles perforando la madera para vivir.

Esto produce un aumento de la complejidad del arrecife y ofrece nuevos lugares de refugio para otros organismos que serán presa de los peces aumentando así la complejidad del ecosistema.

Por otro lado, al ser un material degradable, se produce un fenómeno complejo positivo provocado por el deterioro de la materia. Este fenómeno de degradación crea una mayor actividad subacuática provocada por el consumo, por parte de organismos, de esta materia para alimentarse y, consecuentemente producir grandes concentraciones de peces que se alimentan de estos organismos. Gracias al empleo de la madera como elementos en los arrecifes artificiales se ha podido demostrar que aquellos elementos situados a grandes profundidades presentan una mayor actividad por parte de organismos y mayor variedad de especies que en aquellos que se dispondrían en aguas poco profundas construidas con otro material. Esto viene influenciado por la atracción que presenta la madera, ya que tal como experimentaron Shinn y Wicklund^[3] en 1989 aquellos arrecifes artificiales de madera situados en aguas más profundas y frías presentaban un mayor grado de especies no comunes de esas condiciones ambientales provocadas por el poder de atracción de la madera. Estas conclusiones vienen dadas por el continuo estudio que realizaron sobre los arrecifes formados por barcos de madera hundidos.

Mencionamos la utilización de la madera de las raíces de los cocoteros (tocones) en Kerala (India) ya que presentan mayor peso y no flotan creando un hábitat complejo para los peces jóvenes.

Pero, por otro lado, la ventaja descrita anteriormente es una desventaja en cuanto a durabilidad, ya que, por el proceso de perforación por parte de los microorganismos y organismos perforadores generan una vida corta. Este deterioro puede provocar la rotura en sí de la estructura o que se rompan algunas de sus partes, generando el flote de las mismas, produciendo un malestar e interferir en otros usos de mar, como la navegación.

Destacamos que la colocación de arrecifes con este material presenta el inconveniente, que al ser un material ligero y de poca densidad, flotará, generando la necesidad del anclaje para mantener la estabilidad y no flote de la misma.

No todas las maderas son adecuadas para el uso como arrecife artificial, ya que normalmente las maderas van tratadas para evitar procesos de degradación y pudrimiento que pueden generar las condiciones ambientales y de los seres vivos. Por ello es necesario que estas maderas no tengan estos compuestos químicos que son utilizados para combatir la degradación.

Por otro lado, otro material utilizado son las rocas, normalmente compuestas mayoritariamente por cuarzo. El dióxido de silicio es un componente presente en numerosos arrecifes naturales y por tanto compatibles con el medio marino, generando así unas condiciones químicas propias en los arrecifes. Hemos de pensar la facilidad de disposición de este recurso, proveniente de las canteras y que sus diferentes tamaños, la heterogeneidad de su disposición y sus superficies ariscas crean una atracción de diferentes especies y organismos en sus diferentes edades de evolución.

Como desventajas presentan las mismas que las del hormigón, ya que el coste de transportar y colocar el arrecife requiere el empleo de equipo pesado y generando un mayor coste.

Mencionamos la importancia de tener en cuenta la posible existencia de metales pesados en nuestras rocas. Se sabe que aparece el proceso de lixiviación de los metales al mar, provocando un grave impacto negativo en el ecosistema, alterándolo y contaminándolo, ya que produce una variación del pH en el agua, creando una acidez o una alcalinidad de las aguas.

A continuación, vamos a describir un método de disposición de un tipo de material mediante electrolisis. Este método llamado electrodeposición consiste en depositar un material compuesto sobre una superficie artificial. Este material está compuesto a base de calcio, generando un marco sobre la superficie imitando la piedra caliza que aparece en los arrecifes.

El proceso físico de la electrodeposición consiste en el electro acumulación de los minerales presentes en el agua sobre la superficie mediante una corriente eléctrica continua de bajo voltaje, que fluye por una estructura conductora, adhiriéndose así minerales de calcio o magnesio y favoreciendo al fitoplancton, ya que descompone el agua en oxígeno e hidrógeno, liberando al medio sustancias químicas inocuas para el hábitat y produciendo una fijación del CO₂ sobre la estructura.

Estos minerales, gracias a la corriente eléctrica, se integran a las barras de acero o hierro generando un recubrimiento de piedra caliza que recubre la totalidad de la estructura. Este método presenta una gran ventaja en relación a la protección de la corrosión de estas estructuras. Al disponer una capa protectora de carbonato de calcio y disponer la corriente eléctrica, protege y repara la superficie como también el núcleo de la corrosión provocadas por el efecto del tiempo y el mar. Podemos decir que frena el desgaste y aumenta la longevidad de las estructuras.

Hemos de destacar que este método está en fase experimental y que poco a poco se está demostrando la gran eficacia y viabilidad. La importancia de este método viene

dada porque sobre cualquier otro material, ya sea natural o artificial, podemos crear un compuesto a base de calcio propio de las zonas donde están los arrecifes naturales, generando así, una mayor rapidez de adaptación en el ecosistema, generando el crecimiento y fortalecimiento de corales y organismos marinos alrededor de estas estructuras electrificadas. Se ha demostrado que en un periodo de tiempo de un año puede crear un arrecife de coral significativo.



Ilustración 19. Biorock Indonesia ^[31].

Este método fue inventado y desarrollado por el profesor Wolf Hilbertz y perfeccionado con el Dr. Tom Goreau. El nombre comercial del material o sustancia formado por un proceso de electro acumulación de minerales en el agua marina es conocido como Biorock ^[7].

Posteriormente, en España, por parte de la Universidad de Alicante ^[4], se aplicó esta tecnología y patentó este método. Se realizó la implementación de estas estructuras metálicas en el puerto de Alicante, obteniendo unos resultados muy favorables y positivos mediante el estudio realizado. Se vio que claramente favoreció la instalación y adhesión de organismos sobre esta superficie como larvas de invertebrados marinos y esporas de algas. Por otro lado, favoreció la restauración de hábitats marinos degradados como también la purificación de aguas en las inmediaciones de las explotaciones de acuicultura.

Como resumen vamos a citar las ventajas y desventajas proporcionadas por los promotores de Biorock ^[7]:

- Ventajas

- La instalación no requiere maquinaria pesada de elevación, ya que son estructuras metálicas simples, por tanto, su instalación presenta ventajas logísticas.
- Su versatilidad y adaptabilidad permite crear estructuras submarinas de cualquier tamaño y forma.
- Las estructuras se sueldan rápidamente al arrecife natural, integrándose a él.

- El campo eléctrico puede atraer fauna marina y fomentar el crecimiento de corales y zosteras.
- Permite crear arrecifes de coral de tamaño considerable en periodos relativamente cortos (un año).
- Desventajas
 - Su coste puede ser muy elevado en algunos lugares, normalmente los países con poco avance tecnológico.
 - La necesidad de suministro eléctrico puede descartar ciertos lugares de implementación.
 - Esta técnica no está totalmente desarrollada y se desconoce su comportamiento a lo largo del tiempo.
 - Su consistencia lo inhabilita para determinados usos como el de protección.

3 Estudio previo del Hormigón.

3.1 Ambiente marino en el que se dispondrán los módulos.

Primeramente, vamos a describir las características químicas que tiene el agua de mar para tenerlas en consideración y ver cómo afecta y reacciona con los materiales que se empleen para la creación de los módulos.

La mayoría de las aguas de mar presentan una composición química uniforme, donde los principales elementos que están presentes en el agua de mar son las siguientes sales: Cloruro sódico y magnésico ($NaCl$, $MgCl_2$), sulfatos de magnesio y cálcico ($MgSO_4$, $CaSO_4$) y por último cloruro y sulfato potásico (KCl , K_2SO_4). La cantidad de sales presente en el agua marina por litro es normalmente en torno a 35 g, lo que supone el 3,5% de sales solubles en peso, pero dependerá del mar u océano donde se estudie. En el mediterráneo variará, dependiendo de la estación del año, siendo de 36-39 gramos por litro.

Las concentraciones iónicas más significativas de cada elemento son Na^+ y del Cl^- , que son 11 y 20 g por litro respectivamente. Por otro lado, el magnesio Mg^{2+} y los sulfatos SO_4^{2-} , presentan 1,4 y 2,1 g por litro.

Damos importancia de estos valores ya que la subida y bajada del pH del agua de mar nos puede producir aguas más ácidas o más alcalinas. Este pH dependerá principalmente por las cantidades disueltas de dióxido de carbono CO_2 y sulfuro de Hidrogeno (H_2S), siendo los elementos más importantes para su control. El valor normal del pH del agua de mar está entorno a los valores de 8.2-8.4 a 7.0, o pudiendo ser menores. Estas variaciones crearan aguas más ácidas que influyen negativamente en el hormigón, ya

que el pH este entorno a los 12.5-13, siendo su alcalinidad alta. Esta diferencia del pH producirá la reducción de la resistencia del hormigón por el proceso de la carbonatación que provoca la bajada el pH del hormigón por ello concluimos que el agua del mar reduce la alcalinidad y resistencia del hormigón. Hemos de crear una alcalinidad baja para que el efecto se reduzca, pero con la contrapartida de la pasivación de las armaduras si se utiliza hormigón armado. Por ello, para disminuir el pH del hormigón, se ha de acidificar añadiendo a la masa aditivos, el uso de cementos compuestos por fosfato de magnesio, como también el uso de posos de café para la corrección de pH para hormigones alcalinos y así acidificar el hormigón para tener un pH entorno a los 8. Recalamos que esta posibilidad reductora del Ph es utilizada para el hormigón en masa para contrarrestar los problemas generados, ya que si aplicamos este proceso al hormigón armado crearíamos la oxidación de las armaduras en contrapartida del beneficio. Más adelante nos referiremos, en un apartado, las consideraciones necesarias para tener en cuenta este impedimento

Tendremos en cuenta el oxígeno y dióxido de carbono disueltos que tiene el agua de mar que dependerá de las condiciones locales donde se estudie, ya que son los encargados de acelerar el proceso o no.

3.2 Deterioro de las estructuras de hormigón en ambiente marino.

La construcción de los módulos de hormigón debe resistir las características físicas y químicas donde se sitúen. Como se situarán en el fondo del mar, han de ser resistentes a las condiciones ambientales marinas. Por ello han de cumplir una serie de características para que no se produzca la reacción con los elementos presentes en el agua. El cemento y los agregados que se utilicen para la creación del hormigón deben de ser inertes y no desencadenar reacciones. Por otro lado, la impermeabilidad del módulo debe de cumplir un cierto grado de eficacia para que no se produzca el fenómeno de la corrosión.

Todas estas características junto con la resistencia requerida son las que debemos de pensar y hacer frente para así conformar el armado y una dosificación del hormigón correcta y eficaz para la construcción del módulo.

Hacemos hincapié a la importancia de la impermeabilidad del hormigón ya que es la principal característica que debemos buscar para hacer frente a la degradación y deterioro producido por el ambiente marino en las estructuras de hormigón. Este deterioro puede deberse a los efectos combinados de la acción química de los constituyentes del agua de mar sobre los productos de hidratación del cemento como también la reacción álcali-árido cuando se han utilizado áridos no correctos y reactivos.

Por otro lado, acciones como, la posible cristalización de sales en la estructura cuando se produzca la construcción, el cumulo de los módulos y su transporte o la erosión física

debida a las energías producidas por las olas y partículas en suspensión son factores a tener en cuenta ya que provocan un aumento del grado de permeabilidad del hormigón desencadenando el ataque más significativo y agravando la situación de durabilidad de las piezas.

Vamos a ver cuáles son los desencadenantes de que no se produzca un cierto grado de impermeabilidad por parte del hormigón, para tenerlas en consideración y así hacer un correcto diseño.

Uno de los principales problemas que aparecen es la incorrecta dosificación tanto en diseño como en su elaboración.

Por otro lado, una incorrecta duración de los tiempos de curado y de la compactación puede ser otras causas importantes a la hora de bajar la permeabilidad del hormigón.

Hemos de tener en cuenta las micro fisuras del hormigón producidas por la retracción térmica o de secado, que generan vías de acceso a los agentes químicos. Por ello debemos realizar un correcto curado, para contrarrestar los efectos que pueden llegar a producir. Hemos de ejecutar un correcto diseño en tanto a sus formas (por las causas de sus juntas mal diseñadas o construidas) como al recubrimiento de las armaduras.

3.3 Proceso químico de degradación del hormigón al ambiente marino.

Vamos a describir cuales son los procesos que se generan en la superficie del hormigón debido al ambiente marino y como va evolucionando el proceso químico hacia su interior. Debemos de saber qué tipo de problemas nos pueden surgir en el hormigón y la repercusión que tiene en el ecosistema marino, para poder realizar los aspectos convenientes para contrarrestar dichos procesos cuando diseñemos nuestro modulo.

Destacamos que en todo momento estamos pensando la aplicación de este estudio, donde la finalidad buscada es el desarrollo y diseño de un módulo prefabricado de hormigón para el medio subacuático, donde las principales características a tener en cuenta es la de albergar a corto plazo un ecosistema maduro. Por ello debemos de dar importancia a todas las características físicas y químicas que influyan en los organismos, de la misma forma que al hormigón, por ser el material común de creación de los módulos arrecifales.

3.3.1 Acidificación de las aguas.

3.3.1.1 Proceso químico que se genera en nuestros mares.

Las moléculas de agua presentes en el mar reaccionan con el CO_2 interviniendo en una serie de equilibrios químicos con varias moléculas inorgánicas involucradas, como el CO_2 disuelto, e iones como el carbonato (CO_3^{2-}) y el bicarbonato (HCO_3^-). Estos elementos son captados por calificadores marinos, como corales, crustáceos y moluscos, que utilizan los iones de carbonato para construir sus conchas y esqueletos, generando la precipitación en la superficie de cualquier elemento que se introduzca en el mar, en este caso el hormigón, de carbonato de calcio principalmente.

3.3.1.2 Problema que se desencadena y la repercusión en los seres vivos.

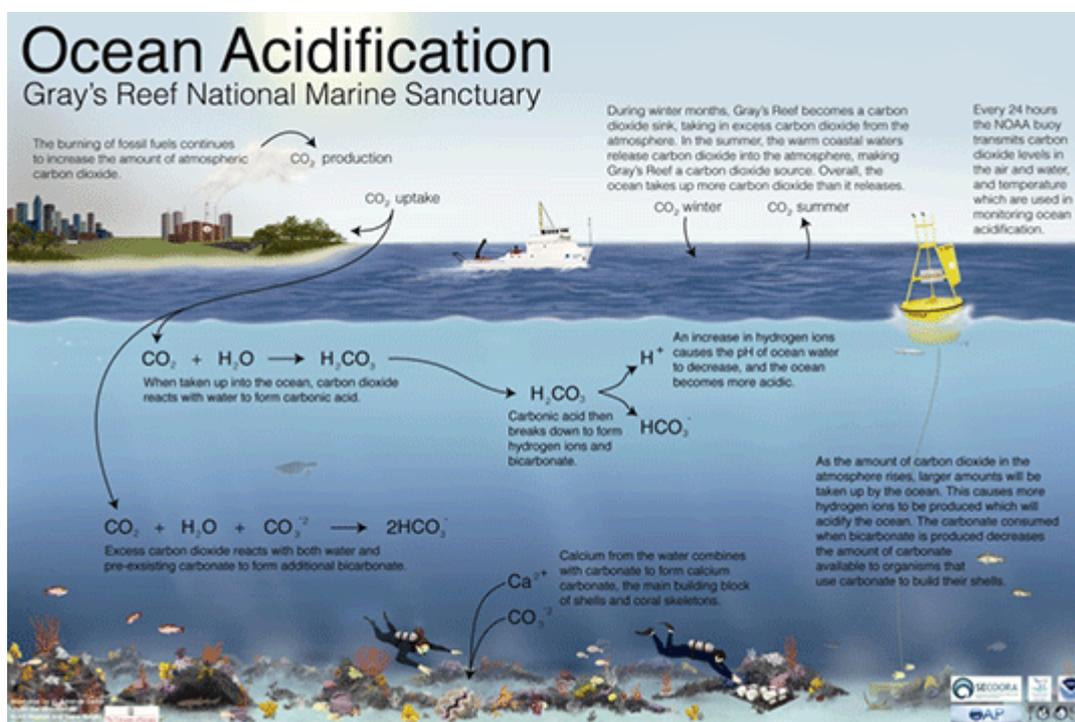


Ilustración 20. Acidificación oceánica [33].

El mar está continuamente absorbiendo el CO_2 que se produce en el planeta por la solubilidad de este gas, mitigando el calentamiento global. Esto produce una desestabilidad en el mar debido al incremento de reacción del CO_2 con las moléculas de agua, desencadenando así CO_2 acuoso y generando más bicarbonato y ácido carbónico (H_2CO_3).

La disociación de estos elementos químicos cerca de los módulos produce el incremento y la concentración de iones de hidrógeno o protones (H^+), disminuyendo el pH del agua y acidificando la zona, perjudicando al hormigón y a los seres marinos que conformen el ecosistema creado por los módulos.

Para mantener el equilibrio químico, algunos de los iones de carbonato, que ya están en el océano, se combinan con algunos de los iones de hidrógeno para formar más bicarbonato. Por lo tanto, mientras se produce un aumento de bicarbonato, la concentración de iones de carbonato ($[\text{CO}_3^{2-}]$) en el océano se reduce perjudicando a los seres vivos que necesitan el carbonato de calcio (CaCO_3) para formar sus esqueletos.

Si se produce una acidificación del agua, aumenta la corrosividad del agua favoreciendo la disolución de las estructuras inorgánicas, que son aquellas que conforman las estructuras sólidas de carbonato cálcico que cumplen funciones de protección y sostén, como caparazones o esqueletos internos de algunos invertebrados marinos, siendo los primeros eslabones de la cadena trófica.

Por otro lado, una menor disponibilidad del ion de carbonato ($[\text{CO}_3^{2-}]$) dificulta la calcificación de sus exoesqueletos o biomineralización. Es entendible como el proceso mediante el cual los organismos sintetizan minerales junto con otras sustancias orgánicas para formar sus estructuras.

Esto afecta a un gran número de invertebrados marinos, desde autótrofos o productores primarios como los cocolitofóridos (algas unicelulares), o heterótrofos como los foraminíferos (protistas ameboides), equinodermos, los crustáceos, los moluscos y ciertos cnidarios extendiendo los efectos de la acidificación oceánica a toda la red trófica marina

A continuación, por debajo de la superficie del hormigón se forma brucita (41,68% de Mg), un mineral de hidróxido de magnesio. Esto es debido al ataque de los iones de magnesio. Por otro lado, si vemos la existencia de ettringita en el interior, podemos concluir que los iones sulfato pueden penetrar a mayor profundidad. Mencionamos que el comportamiento expansivo de la ettringita está inhibido o reducido por la presencia de cloruros en el agua de mar.

Por un lado, salvo que el hormigón sea muy permeable la acción química del agua de mar, no produce daño alguno, ya que estos elementos no se disuelven y por tanto reducen la permeabilidad del hormigón, y, por consiguiente, el impedimento de la progresión de la reacción hacia el interior del hormigón.

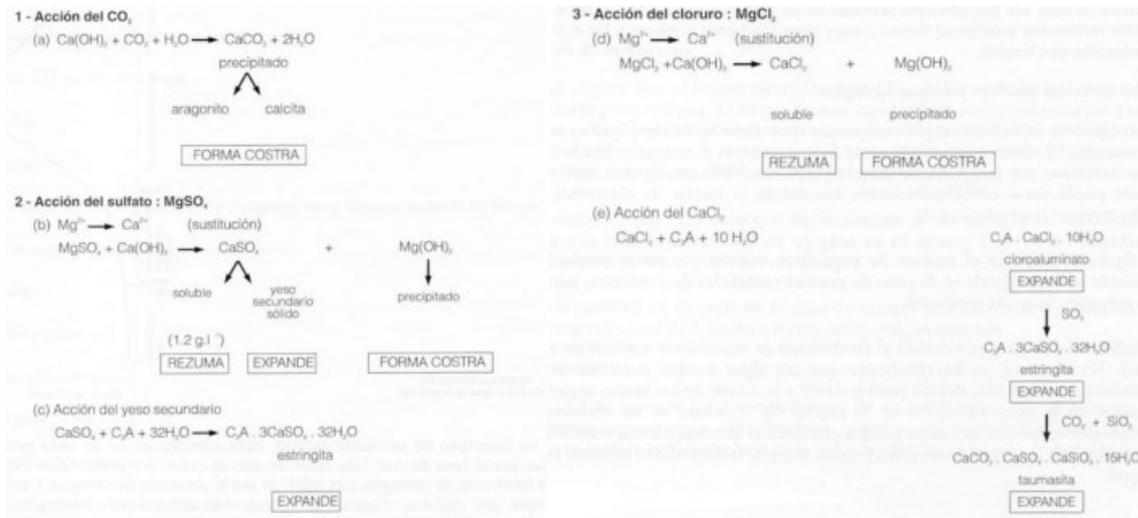


Ilustración 21. Reacciones químicas del hormigón.⁶

1-Acciones del CO₂

El hidróxido de calcio junto con una molécula de dióxido de carbono y con una molécula de agua forma carbonato cálcico más dos moléculas de agua. Si se produce la precipitación del carbonato cálcico, llega a producirse aragonito y calcita.

En definitiva, sobre la superficie del hormigón se forma aragonito y calcita debido al ataque del CO₂, siendo minerales buenos para que se produzca una mayor adaptabilidad a los seres marinos.

2-Acciones con el sulfato de magnesio Mg SO₄

El sulfato de magnesio junto con el hidróxido de calcio forma sulfato de calcio e hidróxido de magnesio, donde una parte se disuelve, y por otra, forma la expansión del hormigón por crease yeso sólido. El magnesio precipita por debajo de la superficie del hormigón formando brucita Mg (OH)₂ debido al ataque de los iones de magnesio, tal como se ha explicado.

El yeso solido junto con el aluminato tricálcico más 32 moléculas de agua, forma ettringita. Por tanto, si aparece la formación de ettringita en su interior, demuestra que los iones sulfatos pueden penetrar a mayor profundidad, tal como se ha explicado anteriormente.

3-Accion del cloruro de magnesio Mg Cl₂

Es comparable con la reacción anterior, pero con el cloruro de magnesio, desencadenándose cloruro cálcico, a aparte del hidróxido de magnesio.

3.4 Consideraciones a tener en cuenta en el cálculo de la vida útil del hormigón.

Para el cálculo de la vida útil de una estructura marina de hormigón armado, la cual va a estar sometida al ambiente marino, debemos de contar periodo de iniciación y el periodo de propagación ^{[32][14]}.

Se conoce cómo periodo de iniciación el intervalo de tiempo en el cual los cloruros presentes en el agua alcanzan los niveles de las armaduras. Por consiguiente, el periodo de propagación es el tiempo que tarda en producirse la fisuración del recubrimiento.

Para controlar estos efectos debemos de controlar la calidad del hormigón, ya que está directamente relacionada con la velocidad de penetración de los cloruros. Por otro lado, dependiendo de la disponibilidad del oxígeno en el interior del hormigón y por tanto directamente relacionado con la calidad, dependerán los periodos de propagación. Por ello debemos de tener muy en cuenta la permeabilidad al oxígeno y la resistencia a los agentes químicos externos.

Cabe mencionar que nuestros módulos estarán siempre sumergidos y en este medio, la concentración de oxígeno disuelto en agua de mar es mucho menor que en aquellos situados en zonas terrestres. Esto nos producirá una disminución considerable de la corrosión, y le daremos mayor importancia a los ataques químicos producidos por el agua de mar.

3.5 Medidas y recomendaciones para alargar la durabilidad del hormigón.

3.5.1 Con relación al cemento.

A continuación, vamos a analizar los diferentes usos de cementos para poder asegurar y realizar hormigones de calidad que sean resistentes al ambiente marino. Tendremos en cuenta todas las consideraciones descritas anteriormente para realizar una buena elección de los cementos para buscar una correcta durabilidad del hormigón.

Recalcamos que el agua de mar contiene elementos agresivos para las armaduras y el hormigón, por lo que debemos de considerar necesario el empleo de los cementos correctos para resistir la acción del agua del mar en las estructuras marítimas. Como el ambiente general de exposición, tal como nos determina la EHE-08 será del tipo III, "ataque de cloruros de origen marino", usaremos un cemento que proporcione al hormigón la resistencia suficiente contra los sulfatos, cloruros y otros iones.

Debemos emplear cementos con puzolanas naturales, cenizas volantes y escorias de alto horno, ya que confieren cementos con elevada resistencia a los cloruros porque contienen adiciones activas que dan lugar a pastas hidratadas, cuyos geles reducen el avance penetrante de los cloruros por difusión. Por ello podemos decir que presentan un buen resultado el uso de estos cementos al ambiente marino.

También se puede emplear el humo de sílice como adición al hormigón, sustituyendo parte del cemento, ya que, dado su tamaño de grano, se consigue una mayor compacidad de la mezcla, mejorando así la impermeabilidad ante la entrada de elementos externos.

Destacamos que la aparición de poros internos del hormigón viene dada por la naturaleza de cada hormigón. La porosidad viene directamente relacionada por el proceso de hidratación que tienen el agua y el cemento cuando reaccionan. Si una vez endurecido hay un exceso de agua provocado por una mala dosificación estos provocan una diversidad de poros de diferentes tamaños produciendo poros capilares interconectados entre ellos y provocando así una permeabilidad del exterior hacia el interior, efecto que debemos de evitar.

Aquellos casos que se utilice cemento portland deberemos de controlar el contenido de portlandita, gel C-S-H (silicato cálcico hidratado) y aluminato tricálcico, ya que son los componentes más fácilmente atacables por sulfatos. De esta forma creamos pastas hidratadas resistentes al ataque por sulfatos.

Para contrarrestar el ataque de sales magnésicas presentes en el agua de mar debemos de realizar cementos resistentes a dicho ataque. Por ello los cementos más adecuados serán aquellos que den lugar a pastas hidratadas con un menor contenido de portlandita y gel de silicato cálcico hidratado C-S-H. El objetivo de controlar estos elementos se debe a que no se produzca la formación de brucita expansiva y de gel C-S-H magnesiano. Por un lado, por el inconveniente en relación a las presiones internas que provocan una fisuración y un deterioro de la adherencia de la pasta con el árido del hormigón, y por el otro el inconveniente por la caída de la resistencia mecánica ya que el magnesio no es hidráulico.

Tal como nos dice en la EHE-08, en el artículo 37.3.6, en relación a la resistencia del hormigón frente al agua de mar (ambiente marino), todo cemento a emplear deberá de tener la característica adicional de resistencia al agua de mar, según la vigente instrucción para la recepción de cementos. La instrucción de la recepción de cemento RC16 exige que todo cemento que será resistente a los sulfatos va a ser resistente al agua de mar, pero no recíproco, ya que podemos decir que no todo cemento resistente al agua de mar, es resistente a sulfatos.

La EHE-08, mediante el Anejo 4, nos proporciona las recomendaciones para la elección del tipo de cemento a emplear dependiendo de la aplicación del hormigón, las

circunstancias de hormigonado y las condiciones de agresividad ambiental a las que va a estar sometido el elemento de hormigón.

TABLA A.4.2 Tipos de cementos en función de la aplicación del hormigón

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Hormigón en masa	Todos los cementos comunes, excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C
Hormigón en masa y armado en grandes volúmenes	Resultan muy adecuados los cementos comunes CEM III/B y CEM IV/B y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A, Cementos para usos especiales ESP VI-1 (*) Es muy recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH) y de muy bajo calor de hidratación (VLH), según los casos

Ilustración 22. Anejo 4. Tipo de cemento en función de la aplicación del hormigón.

(Fuente: EHE)²⁵

TABLA A4.3.2

APLICACIÓN	TIPO DE HORMIGÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Obras portuarias y marítimas	En masa	Cementos comunes, excepto los tipos CEM III/C, CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T,
	Armado	Cementos comunes, excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C y CEM V/B
	Pretensado	Cementos comunes(*) de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-P, CEM II/A-V y CEM II/A-M(V-P)

Ilustración 23. Anejo 4. Tipo de cemento en función de la aplicación estructural.

(Fuente: EHE)²⁵

III (*)	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen marino	Muy adecuados los cementos CEM II/S, CEM II/V (preferentemente los CEM II/B-V), CEM II/P (preferentemente los CEM II/B-P), CEM II/A-D, CEM III, CEM IV (preferentemente los CEM IV/A) y CEM V/A
IV	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen no marino	Preferentemente, los CEM I y CEM II/A y, además, los mismos que para la clase de exposición III.
Q (**)	Ataque al hormigón por sulfatos	Los mismos que para la exposición III

Ilustración 24. Anejo 4. Tipo de cemento en función de la clase de exposición.

(Fuente: EHE)²⁵

En la siguiente tabla podemos establecer la relación de los cementos más adecuados para resistir el ataque de sulfatos y magnesio del agua del mar de forma resumida. Esta ordenada por las recomendaciones de su uso, por ello podemos ver cuales tipos de cemento presentan una mayor aptitud resistente. Esta tabla fue proporcionada por Sanjuan Barbudo, Miguel Ángel en 2006 basándose en la norma UNE-EN 197-1:2000.

Cementos resistentes a los sulfatos del agua de mar		Cementos resistentes al magnesio del agua de mar	
TIPOS	CEMENTOS	TIPOS	CEMENTOS
III DE HORNO ALTO	CEM III/C CEM III/B CEM III/A	IV PUZOLÁNICOS	CEM IV/B CEM IV/A
V COMPUESTOS	CEM V/B CEM V/A	V COMPUESTOS	CEM V/B CEM V/A
IV PUZOLÁNICOS	CEM IV/B CEM IV/A	III DE HORNO ALTO	CEM III/C CEM III/B CEM III/A
II PORTLAND CON ADICIONES	II/B CEM II/B-S CEM II/B-P CEM II/B-V	II PORTLAND CON ADICIONES	CEM II/B-P CEM II/B-V CEM II/B-S
	II/A CEM II/A-S CEM II/A-P CEM II/A-V CEM II/A-D		CEM II/A-P CEM II/A-V CEM II/A-S CEM II/A-D
I PORTLAND	CEM I	I PORTLAND	CEM I

Ilustración 25. Clasificación.

(Fuente: Sanjuan Barbudo, Miguel Ángel en 2006 basándose en la norma UNE-EN 197-1:2000)²⁶

Viendo la tabla, podemos ver que los cementos más adecuados en relación con la resistencia de los sulfatos son los de escorias de horno alto (CEM III). Estos cementos presentan una mayor resistencia mecánica a medio y largo plazo ya que las escorias de horno alto tienen la capacidad de fraguar y endurecer por sí mismas. Dan productos de

hidratación menos vulnerables a los ataques del agua de mar, por los que le dan una mayor resistencia que los demás.

Por otro lado, los cementos más adecuados en relación a la resistencia del ataque de las sales de magnesio del agua de mar son los puzolánicos (CEM IV). Estos cementos tienen la capacidad de producir un gel secundario de silicato cálcico hidratado donde presenta una menor relación cal/sílice que los geles primarios, por tanto, al ser más estable y ser menos atacable a los compuestos de magnesio del agua de mar le confiere una mayor resistencia que los demás cementos. Los cementos puzolánicos son aquellos que, además de clínker, incluyen un cierto porcentaje de humo de sílice, cenizas volantes o puzolanas naturales.

A continuación, estableceremos las limitaciones que ejerce la nueva normativa UNE-EN197-1:2011 con relación al aluminato tricálcico y la composición de los compuestos en masa.

Cementos comunes resistentes a los sulfatos	C ₃ A (%) en el clínker
CEM I-SR 0	≈0%
CEM I-SR 3	≤ 3%
CEM I-SR 5	≤ 5%
CEM III/B-SR	Sin requisito
CEM III/C-SR	Sin requisito
CEM IV/A-SR	≤ 9%
CEM IV/B-SR	≤ 9%

Ilustración 26. Limitaciones.

(Fuente: normativa UNE-EN197-1:2011)²⁶

Tipos principales	Designación de los 7 productos (tipos de cementos comunes)		Composición (proporción en masa ¹⁾)				
			Componentes principales				Constit. Minorit.
			Clínker K	Escorias de Horno Alto S	Puzolana Natural P	Cenizas Volantes Silíceas V	
CEM I	Cemento Portland resistente a los sulfatos	CEM I-SR 0	95-100				0-5
		CEM I-SR 3					
		CEM I-SR 5					
CEM III	Cemento de horno alto resistente a los sulfatos	CEM III/B-SR	20-34	66-80	-	-	0-5
		CEM III/C-SR	5-19	81-95	-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico resistente a los sulfatos ²⁾	CEM IV/A-SR	65-79		21-35		0-5
		CEM IV/B-SR	45-64		36-55		0-5

Ilustración 27. Proporción en masa.

(Fuente: normativa UNE-EN197-1:2011)²⁶

Los cementos CEM IV/A-SR deben contener del 65% al 79% de clínker, por lo que el límite superior es diez puntos porcentuales menor que el clínker (K=65-89%) de los CEM IV/A, que no son resistentes a los sulfatos.

La ilustración 27 indica las exigencias adicionales de contenido de los cementos comunes resistentes a los sulfatos.

Propiedades	Ensayo de referencia	Tipo de cemento	Clase de resistencia	Requisitos ^{a)}
Contenido de sulfatos (expresado como SO ₃)	EN 196-2	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 ^{b)} CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤3.0%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤3.5%
C ₃ A en el Clínter	EN 196-2	CEM I-SR 0	Todas	=0 ^{d)}
		CEM I-SR 3		≤3% ^{d)}
		CEM I-SR 5		≤5% ^{d)}
		CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR		≤9% ^{d)}
Puzolanidad	EN 196-5	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	Todas	Cumplir con el Ensayo a los 8 días

Ilustración 28. Exigencias adicionales.

(Normativa UNE-EN197-1:2011)²⁶

Con relación al ambiente de exposición, consideraremos un ambiente IIIa, IIIb, y IIIc ya que nuestros módulos son estructuras marinas permanentemente sumergidas por debajo del nivel mínimo de baja mar. Por otro lado, en relación a su construcción y transporte, estarán dispuestas a la zona de salpicaduras y ambiente marino. Por ello vamos a resumir los cementos más adecuados para cada tipo de ambiente.

La EHE-08 define los ambientes anteriores de la siguiente forma:

IIIa: Elementos de estructura marina por encima del nivel de pleamar. Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)

IIIb: Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar

IIIc: Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas.

Para un ambiente IIIa, los cementos más recomendables son:

- CEM I
- CEM II/A-P (donde la A indica una proporción del 21 al 35% de adiciones y la P indica puzolana natural)
- CEM II/A-V (ceniza volante)
- CEM II/A-M (mixto)

- CEM II/A-L (caliza)
- CEM II/A-LL (caliza)
- CEM II/A-S (horno alto)
- CEM II/A-D (humo de sílice).

Para un ambiente IIIb, con la condición adicional de ser MR (resistentes al agua de mar) o SR (resistentes a los sulfatos) los cementos más recomendables son:

- CEM III/A
- CEM IV/A
- CEM V/A
- CEM II/B-LL (donde la B indica una proporción del 36 al 55%% de adiciones),
CEM II/B-P
- CEM II/B-S
- CEM II/B-M
- CEM II/B-V.

Finalmente, para un ambiente IIIc, con la condición adicional de ser MR o SR, los cementos más adecuados son:

- CEM IV/A
- CEM V/A

Como nuestros elementos estructurales están en contacto con el agua de mar se encuadran en la clasificación específica de exposición de la clase química agresiva y la subclase media con designación Qb.

3.5.2 Con relación al Hormigón

Como hemos visto anteriormente hemos hecho un resumen de los cementos más adecuados para hacer frente a la agresividad del ambiente marino. Le hemos dado importancia ya que su elección puede ser crítica en relación a la durabilidad del hormigón. Por ello vamos a ver ahora los tipos de hormigones más adecuados para realizar estructuras marinas, con las ventajas e inconvenientes que puedan tener.

Debemos de recalcar, que antes de elegir los hormigones más recomendables, debemos de considerar y saber los procesos que pueden debilitar y disminuir sus características. Por ello para hacer frente a estos procesos, tenemos que asegurar unos requisitos mínimos.

Para prevenir tensiones internas debido a efectos térmicos y minimizar el desarrollo de grietas en las diferentes secciones debemos de tomar medidas al respecto cuando se



hagan cementos mayores a 415kg/m³ cantidad reflejada por la investigación de diferentes estudios realizada por Luis Agulló Fité en 2007. Tal como nos dice la EHE la cantidad máxima de cemento por metro cubico de hormigón recomendado es de 400kg, si se supera el límite deberíamos de realizar una justificación experimental y una autorización expresa de la dirección de obra.

Para asegurar la protección de las armaduras frente a la corrosión, el mínimo exigible es de 350kg/m³ según ACI, "American Concrete Institute", siendo un valor más restrictivo que 325kg/m³ que nos dice la EHE.

Por otro lado, en aquellos casos que usemos cemento con aluminato de calcio, el contenido mínimo seria de 400kg/m³ con una relación de a/c superior a 0.4.

Debemos tener en cuenta el calor de hidratación del cemento, ya que este proceso provoca el aumento de la temperatura en el hormigón. Debemos de realizar un control estricto para prevenir el agrietamiento del hormigón provocado por el gradiente térmico producido por el enfriamiento de este.

En nuestras infraestructuras se realizarán secciones considerables junto con la creación de hormigones resistentes al ambiente marino, por ello se realizan mezclas con alto contenido de cemento. Esto produce altas temperaturas en su reacción, que debemos de enfriar y reducir. Por ello, para poder controlar este fenómeno, podremos seleccionar cementos de bajo calor de hidratación, enfriar algunos elementos de la mezcla, usar agua con un porcentaje de hielo o sustituir parte del cemento por puzolanas.

Tal como hemos recalado con anterioridad, para que un hormigón mejore su resistencia al ambiente marino debe tener una baja permeabilidad. Esto se consigue con una dosificación de los materiales continua, buscando la mayor compactidad posible y con una baja relación de agua/cemento.

La porosidad capilar viene influenciada por la relación agua/cemento y por ello cuando la relación a/c exceda del valor 0.6 se produce un aumento considerable de la permeabilidad.

El efecto de la relación a/c con el contenido de cloruros se limita fundamentalmente en la capa superficial del hormigón y con duraciones de exposición pequeñas a cloruros. Como nuestros módulos se dispondrán en fondo, donde la exposición de los cloruros es alta, se producirán mayores profundidades de penetración, entre 20mm o más. Por ello, el tipo de cemento tiene una mayor influencia sobre la profundidad de penetración de cloruros que en sí, la relación a/c ^[14,32].

Deberemos tener en cuenta una correcta compactación mediante el vibrado y el correcto curado del hormigón. Por otro lado, otra medida a tener en cuenta es la posible

generación de pequeñas burbujas de aire en la mezcla de hormigón para evitar las presiones intersticiales provocadas por los organismos o cristalizaciones. Esta medida contrarrestaría la impermeabilidad siendo necesario su estudio por la complejidad que presenta para así llegar a una solución equitativa.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es la posible degradación de la superficie del hormigón debido a las corrientes provocadas por las olas. Debemos de controlar la resistencia mínima del hormigón, junto con el empleo de hormigones con mayor dureza que los materiales abrasivos transportados por las corrientes. Por ello, deberemos de usar hormigones con resistencias mínimas de 40 Mpa tal como nos dice la ACI, siendo una normativa más restrictiva que los 35 Mpa que nos dice la EHE-08.

El recubrimiento de las armaduras es muy importante para evitar la corrosión de las mismas. Para anchuras de fisura de 0.4mm o inferior, la penetración de cloruros en el hormigón viene directamente influenciada por el espesor de recubrimiento. En cambio, una vez superado este valor, no hay una relación de mejora al aumentar el espesor de recubrimiento. En general se recomiendan espesores de recubrimiento de las armaduras del orden de 40 mm.

A continuación, hacemos referencia a las especificaciones generales que nos determina la normativa EHE-08 donde nos establece las limitaciones de la máxima relación a/c junto con el mínimo contenido de cemento. Por otro lado, también nos limitara las resistencias mínimas recomendadas en función de la clase de exposición, así como los tiempos de desencofrado en función de la temperatura y del tipo de elemento estructural.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición													
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E	
Máxima relación a/c	Masa	0,65	—	—	—	—	—	—	—	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50	
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50	
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	Masa	200	—	—	—	—	—	—	275	300	325	275	300	275	
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300	
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300	

Ilustración 29. Máxima relación agua /cemento y mínimo contenido de cemento

(Fuente: Tabla 37.3.2.a EHE)²⁵

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición													
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E	
Resistencia mínima (N/mm ²)	Masa	20	—	—	—	—	—	—	30	30	35	30	30	30	
	Armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30	
	Pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30	

Ilustración 30. Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad.

(Fuente: Tabla 37.3.2.b, EHE)²⁵

Posteriormente nos establecerá las recomendaciones del tipo de árido y los porcentajes de finos, junto con los periodos de curado.

Árido	Porcentaje máximo que pasa por el tamiz 0,063 mm	Tipos de áridos
Grueso	1,5%	— Cualquiera.
Fino	6%	— Áridos redondeados. — Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E, H y F ⁽¹⁾ .
	10%	— Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E y F ⁽¹⁾ . — Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa o IIb y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E, H y F ⁽¹⁾ .
	16%	— Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa o IIb y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E, H y F ⁽¹⁾ .

Ilustración 31. Contenido máximo de finos en los áridos.

(Fuente: Tabla 28.4.1.a EHE.)²⁵

Temperatura superficial del hormigón (°C)	≥ 24°	16°	8°	2°
Encofrado vertical	9 horas	12 horas	18 horas	30 horas
Losas				
Fondos de encofrado	2 días	3 días	5 días	8 días
Puntales	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas				
Fondos de encofrado	7 días	9 días	13 días	20 días
Puntales	10 días	13 días	18 días	28 días

Ilustración 32. Periodos de desencofrado y descimbrado de elementos de hormigón armado.

(Fuente: Tabla 74 EHE.)²⁵

Estos periodos vienen influenciados por la evolución a edades jóvenes de las características mecánicas del hormigón (resistencia a compresión y tracción, adherencia a las armaduras y módulo de deformación), de las condiciones de curado, de las características de la estructura y de la fracción de la carga muerta actuante en el



momento del descimbrado. Por ello se ha podido establecer los periodos recomendables mediante la tabla anterior.

3.5.3 Recomendaciones.

Una vez estudiado y establecido las repercusiones que tiene cada elemento en la formación del hormigón procedemos a nombrar recomendaciones para la realización del hormigón para poder construir los módulos arrecifales.

Nos basaremos en diferentes normativas establecidas para determinar los datos más restrictivos, para obtener así, los parámetros recomendados enfocados para estar en el lado de la seguridad. Mediante la investigación previa llegamos a las recomendaciones proporcionadas a continuación.

El reglamento CIRSOC201, reglamento argentino de estructuras de hormigón, establece la resistencia mínima de 38 Mpa para estructuras sumergidas, siendo más restrictiva que los 35 Mpa establecidos en la EHE.

La relación a/c, tal como nos proporciona la EHE, ha de ser menos que 0.45 siendo la más restrictiva del ambiente marino.

El contenido mínimo de cemento, para la realización del hormigón será de 380 kg/m³ siendo superior a los 350kg/m³ que nos determina la EHE

El asentamiento del cono de Abrams ha de ser de consistencia blanda y fluida, en torno a los 8 cm sin aditivo y 15 cm con aditivo para poder facilitar el moldeo de la forma diseñada y su correcto vibrado.

La utilización de árido de machaqueo calizo se limitará el contenido de finos en el árido grueso de 1,5% y el árido fino de 10%.

Por otro lado, los periodos de curado, teniendo en cuenta una temperatura mayor de 24 grados, se establecerán en 9 días.

3.6 Consideraciones en la dosificación.

Los parámetros que debemos de considerar y determinar para la dosificación del hormigón serán aquellos que nos vengán directamente influenciados a la demanda de contenido de agua. La característica de los áridos, del tamaño máximo, de la consistencia deseada del hormigón, la finura y tipo de cemento condicionan notablemente la

demanda de agua. Por ello es imprescindible la realización de ensayos previos para fijar el contenido final del agua y conseguir la consistencia deseada.

Actualmente, la existencia en el mercado de aditivos reductores de agua ha permitido alcanzar consistencias cada vez más fluidas sin necesidad de aumentar el contenido en agua. Por tanto, los parámetros anteriores quedan afectados por el uso de un aditivo correcto.

Además de todas las exigencias, el agua a emplear para realizar el hormigón debe estar limpia y libre de aceites, ácidos, sales, elementos orgánicos, álcalis u otras sustancias que puedan interactuar negativamente con el hormigón o el acero.

Por otro lado, una vez presentados los requisitos anteriores, también tendremos en cuenta la ejecución y puesta en obra del hormigón, así como el proceso de curado para asegurar la calidad y durabilidad. Debemos de evitar la segregación de los componentes y compactar la mezcla de manera que se elimine el aire atrapado. En el proceso de curado se debe controlar el grado de hidratación para obtener una permeabilidad adecuada.

3.7 Efectos de los organismos en el hormigón.

A continuación, vamos a estudiar cómo influye la existencia de los organismos en las superficies de nuestros módulos con los materiales a emplear, concretamente en el hormigón. Destacamos que, para propiciar la existencia de estos organismos, el hormigón ha de tener unas ciertas características de porosidad, porosidad media, y el pH ha de ser bajo. Por ello, primeramente, ya que buscamos la instalación de estos organismos en la superficie, debemos de pensar en la mejora de la superficie de los módulos para proporcionar una rugosidad añadida para el asentamiento de los organismos primarios y de esta forma crear una mayor superficie para presentar una porosidad media.

Primeramente, vamos a establecer cuáles son los organismos que se pueden disponer en la superficie y, por otro lado, el impacto negativo en relación con el deterioro que se pueden desarrollar en nuestra superficie.

Los primeros organismos marinos que se dispondrán en la superficie del hormigón creando el biofilm serán las bacterias, cianobacterias y algas, gracias a su acelerada actividad fotosintética. Los primeros organismos generaran una base de soporte y alimento. Seguidamente, siguiendo la cadena trófica, serán los moluscos, equinoideos (erizos de mar), crustáceos. Estos son eslabones más desarrollados donde proporcionarán alimento a las cadenas tróficas superiores.

Como ventaja que pueden ejercer las algas, como los moluscos, es la bajada del pH produciendo una pérdida importante de alcalinidad de la superficie del hormigón pasando a los niveles comunes del agua y posteriormente acidificando la superficie. El

pH superficial tiene un impacto en la bioreceptividad primaria del hormigón y contribuye al metabolismo de las especies biológicas. Tal como hemos comentado en el apartado anterior, **Ambiente marino en el que se dispondrán los módulos**, es importante crear hormigones con baja alcalinidad, llegando a niveles de pH neutros mediante el uso de aditivos y aglomerantes para modificar la composición química del material y bajar la alcalinidad. Con ello conseguimos estimular la colonización natural de la superficie instalándose los microorganismos que nos protegerá la superficie del material y mejorará las condiciones para que se desarrolle el soporte de crecimiento de un ecosistema maduro. Para disminuir el pH del hormigón se realizará procesos de carbonatación acelerada añadiendo agua de cal (hidróxido cálcico en suspensión) y gas enriquecido con dióxido de carbono, o con el uso de compuestos ácidos como óxido de magnesio, sodio o potasio, adiciones que reaccionan con el cemento para desarrollar materiales con bajo pH. Descartaremos el primer y segundo métodos por la repercusión en la durabilidad del hormigón que produce.

Los crustáceos, equinoideos (erizos de mar) y los moluscos generan ácidos orgánicos para la obtención de alimentos de difícil acceso afectando a la superficie del hormigón, generando unos agujeros en la superficie que puede crear vías de entrada a la corrosión de la posible armadura. Estos agujeros serán utilizados por otros organismos que se instalaren y colonizaran, generando un impacto positivo para el ecosistema. En contrapartida, estos organismos ejercerán presiones expansivas por su crecimiento desde la etapa embrionaria hasta su madurez o la creación erosiones internas. Esto produce una erosión y un desgaste radial de la superficie agravando la durabilidad del hormigón. Este tipo de ataques se agrava más en aguas tropicales y subtropicales que en aguas frías. En los trópicos se ha demostrado que los moluscos erosionan el hormigón a una velocidad de 1 cm por año.

Es por ello, el uso de armaduras en los módulos puede producir un agravante a la durabilidad del módulo, ya que el contacto e interacción con el medio acuático debilita la superficie del hormigón provocando la entrada de agentes penetrantes externos que en consecuencia ejercerán un deterioro más eficaz en las armaduras por el contacto directo. Por ello podemos concluir que debemos evitar el uso de armaduras en los módulos.

Las algas que se instalen en la superficie del hormigón pueden mejorar la durabilidad del sellado de la superficie del hormigón, reduciendo la porosidad de esta. Por otro lado, sus raíces pueden entrar por los pequeños poros, donde a largo plazo, debido al crecimiento del alga, puede crecer en su interior y producir una expansión perjudicial de la superficie del hormigón produciendo una disgregación. Cuando se produzca la descomposición de la vegetación se generarán unos ácidos orgánicos y unos sulfatos perjudiciales que aumentara la velocidad de degradación de la superficie del hormigón. Asimismo, se debe tener en cuenta que el crecimiento de las algas marinas sobre la estructura puede aumentar la rugosidad superficial aumentando la carga hidrodinámica pudiendo influir en la estabilidad estructural.

Destacamos que esta interacción sobre la superficie de los módulos, aunque presenten problemas de durabilidad, queremos que se desencadene para generar espacios continuamente cambiantes para que se puede generar una interacción más confortable con el medio marino para poder crear un ecosistema maduro.

3.8 Nuevas hormigones y cementos que potencian el objetivo de la biodiversidad.

Recientemente están apareciendo nuevas fórmulas diseñadas y pensadas para abordar la composición química del hormigón, y las características de su micro superficie. Gracias a esto se promueve el crecimiento de organismos como ostras, corales que se fijan como pegamento biológico sobre la superficie mejorando la dureza y la durabilidad, procedimiento conocido como bioprotección.

La nueva creación del cemento Admix, un cemento patentado por ECONCRETE, que agregándose al cemento normal crea un cemento estable que, usado en la fabricación del hormigón, pueda desarrollar ecosistemas marinos sanos y diversos.



Ilustración 33. ECONCRETE¹⁰.

Esta tecnología se ha ido utilizando en diferentes lugares, como el puerto de San Diego, en Estados Unidos, cuyas protecciones están cubiertas por un ecosistema biodiverso, que incluso alberga a depredadores como langostas y pulpos. También pueden verse cangrejos en las protecciones costeras del Brooklyn Bridge Park, en Nueva York^[34], y las algas y peces han encontrado refugio en el Puerto De Fontvieille, Mónaco, y en el Puerto de Rotterdam, Países Bajos como en Sharck River Island, Neptune, New Jersey. Por tanto, podemos decir que se ha visto una mejora de su uso en el medio marino, y que poco a poco se va implementando en nuevas construcciones.



Ilustración 34. Puerto de San Diego ^[35]



Ilustración 35. Shark River Island, Neptune, New Jersey. ^[35]



Ilustración 36. Brooklyn Bridge Park, en Nueva York ^[34]

Otra nueva forma de realización de hormigones biológicos y que potencian la biodiversidad marina es el uso del cemento newtab-22^[36]. Este cemento está constituido por materiales de carbonato cálcico procedente de la industria de conchas marinas. Tras la recolección de conchas marinas desechadas de las industrias pesqueras, se procede a su trituración y molienda que, junto con la mezcla con otros minerales, arenas y aglutinantes naturales, desarrollan un cemento con las mismas características que de si un cemento normal se tratara. Estas mezclas están en continua experimentación para la obtención de maximizar los beneficios de los materiales para el medio acuático, junto la obtención de texturas y de durezas más elevadas. Destacamos que está en fase experimental y que aún no se ha procedido a su uso como elementos estructurales de ingeniería. Pero, le damos importancia ya que la degradación que pueda experimentar este hormigón es beneficiosa para el medio subacuático por presentar un porcentaje muy alto de carbonato cálcico, elemento principal de uso de los diferentes organismos para formar su esqueletos o caparazones.

newtab-22

Ilustración 37. Newtab-22^[36].

4 Estudio de la interacción física del diseño geométrico con el medio acuático.

Nos basaremos en la información de un estudio realizado por Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018) ^[11] donde veremos la interacción de fuerzas y de corrientes que presentan diferentes formas geométricas.

Mediante el estudio podremos valorar y ver cuál es la forma que mejor se podría adaptar en el medio acuático y la que menos podría producir una influencia sobre la propia forma o estructura dándole unas claras ventajas sobre las demás para así seleccionar la forma correcta y basar nuestro diseño en ella. Mediante el estudio podremos ver la interacción de sus formas según la profundidad a la que se dispone, como también a las corrientes, velocidad y esfuerzos producidos.

La metodología que se realizó en el estudio consistió en disponer cinco estructuras básicas sumergidas, prisma triangular, cubo, esfera, cono y cilindro, analizadas en un modelo CFD; "Dinámica de fluidos computacional", con el software Flow 3D para lograr

una primera aproximación de la interacción de las diferentes formas con las condiciones del medio subacuático.



Ilustración 38. Formas geométricas.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

Los datos base que se implementaron fueron, para la geometría básica, de 40m de largo, 3 m de ancho y un alto de 5 a 6 m, y en la configuración grupal de 60m de largo con 6.4 m de ancho y con la misma altura.

Se simuló un tren de olas lineal para que interaccionara con las diferentes formas, basado en la teoría de Airy en el cual se asume que estas olas provienen de un fondo plano.

Se crearon 4 casos con las variables de la profundidad 2m, 3m y dos alturas de olas con sus respectivos periodos de 13.58 s para alturas de 0.88m y 2.71m con periodos de 7.91 s. Fueron las condiciones más comunes presentes en el Caribe colombiano, donde se realizó el estudio.

Casos	Profundidad		Altura/ Periodo	
	2 m	3 m	H1(0,88) -T1(13,58)	H2 (2,71)-T2(7,91)
1	X		X	
2	X			X
3		X	X	
4		X		X

Ilustración 39. Tabla 1.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

Los puntos de medición se obtuvieron antes y después de la estructura, donde se midió la elevación de la superficie libre. Posteriormente se calculó la altura de las olas antes y después de la estructura para obtener así el coeficiente de transmisión.

Cuando las olas interactúan con una estructura, una parte de la energía se disipa, otra parte se refleja y dependiendo de la geometría de la estructura, una parte de la energía se transmite a través de ésta. Por ello la importancia del cálculo del coeficiente de transmisión.

4.1.1 Efecto de la profundidad

Se obtuvo como conclusión de que, para la disposición en una misma profundidad, cuando la altura de ola aumentaba, el coeficiente de transmisión también.

Por otro lado, los mínimos valores del coeficiente de transmisión se dan cuando la profundidad del agua es la mayor evaluada.

Por lo general, los menores coeficientes de transmisión se producían en el caso 1, donde se obtenía la menor profundidad y altura de olas, para las geometrías del prisma triangular, el cubo, la esfera y cilindro. El cono presentaba un comportamiento irregular sobre las otras geometrías.

Se realizaron unos gráficos de caja, donde la línea central presenta la mediana, los extremos de la caja los percentiles 25 y 75 y los extremos los puntos atípicos.

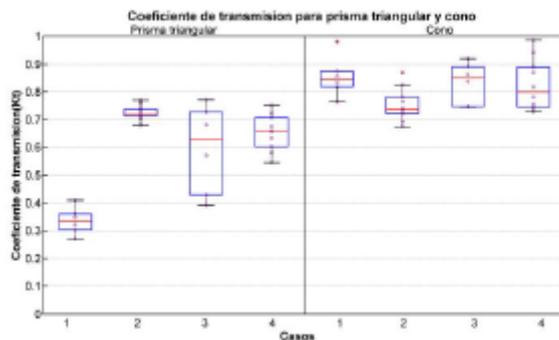


Ilustración 40. Tabla 2.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

4.1.2 Efecto de la geometría

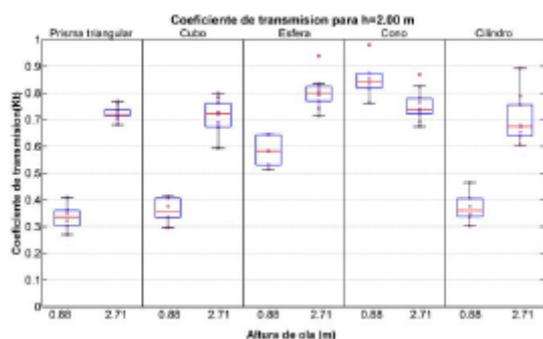


Ilustración 41. Tabla 3.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

El estudio permite obtener para una misma profundidad la relación de la forma geométrica con el coeficiente de transmisión. Así podremos ver que formas son las más correctas para la implementación en el fondo.

Mediante la gráfica podemos ver que el cono presenta el mayor coeficiente de transmisión, en relación con las demás formas. Esto se debe a que la relación entre el área proyectada ocupada y el área total para el cono es la menor de todas las estructuras, con un valor de 0.5. Podemos interpretar que el agua se desplaza entre los espacios vacíos laterales del cono generando este coeficiente de transmisión tan alto.

Las geometrías donde el área proyectada ocupada es mayor presentaban menores valores de coeficiente de transmisión, como son el prisma rectangular, cubo o cilindro.

El prisma rectangular presenta los menos valores de coeficiente de transmisión, para condiciones de menor altura de ola.

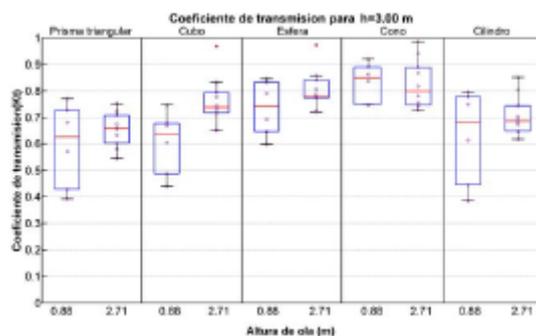


Ilustración 42. Tabla 4.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

Para una profundidad de 3 m sigue siendo el prisma el que aporta los menores valores de coeficiente de transmisión. Tal como hemos comentado anteriormente, a medida que el área proyectada aumenta, el coeficiente de transmisión disminuye, por tanto, aquellas geometrías en las cuales hay una mayor disminución de la altura del oleaje son, en orden descendente, el prisma triangular, cubo, cilindro, la esfera y el cono.

4.1.3 Campos de velocidad y esfuerzo cortante

A continuación, dispondremos el campo de velocidades, de forma visual, después del paso de la primera ola dependiendo de la forma geométrica del módulo, donde daremos mayor importancia a las zonas con mayores velocidades y los vórtices que se pueden crear. Estos sitios serán puntos de interés porque nos producirá concentración de erosiones junto con problemas futuros de socavaciones.

Cuando se produce la interacción del paso del fluido con la forma, se produce vórtices ya que el fluido se moviliza en torno a un círculo, como espiral o en forma de hélice.

Podemos ver que, en el prisma rectangular, el cubo y el cilindro, se crean vórtices laterales. En cambio, el cono no se crea vórtices significativos y en la esfera se crea un pequeño vórtice.

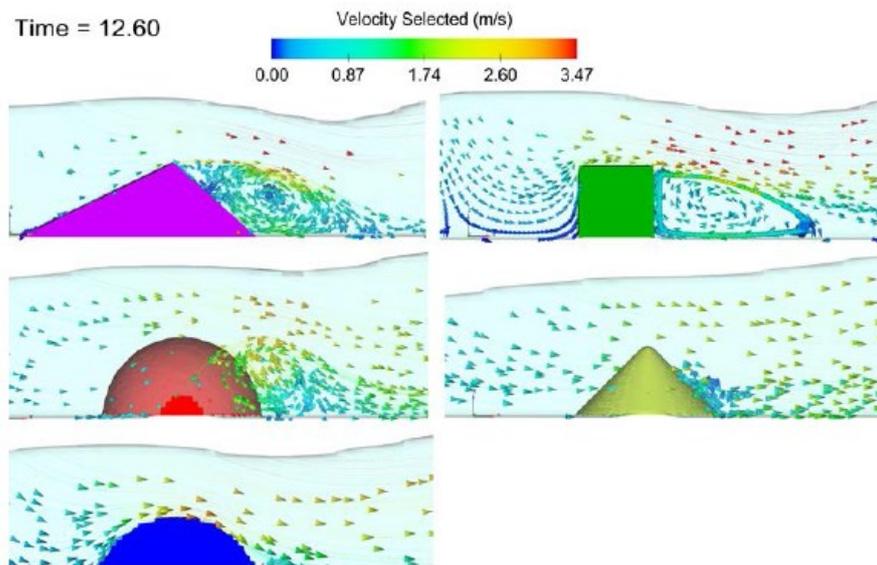


Ilustración 43. Campo de velocidades.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

A continuación, se expone el resultado de esfuerzos cortantes que se producen en las diferentes geometrías después del paso de una ola, donde podemos ver una similitud con las velocidades.

Con relación al prisma triangular, el cubo y el cilindro, muestran los esfuerzos cortantes máximos al lado opuesto a la dirección del oleaje, al nivel de la base.

La esfera y el cono se disponen en ambos lados de la estructura.

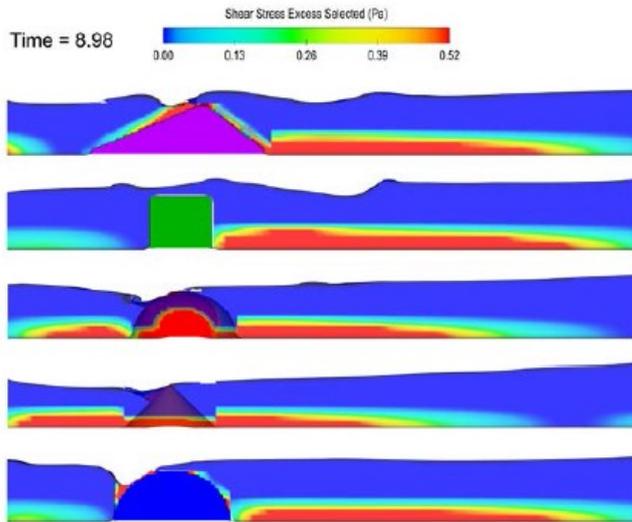


Ilustración 44. Esfuerzos cortantes.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

A continuación, vemos las líneas de flujo que interaccionan con las formas geométricas del prisma triangular, cono y la esfera.

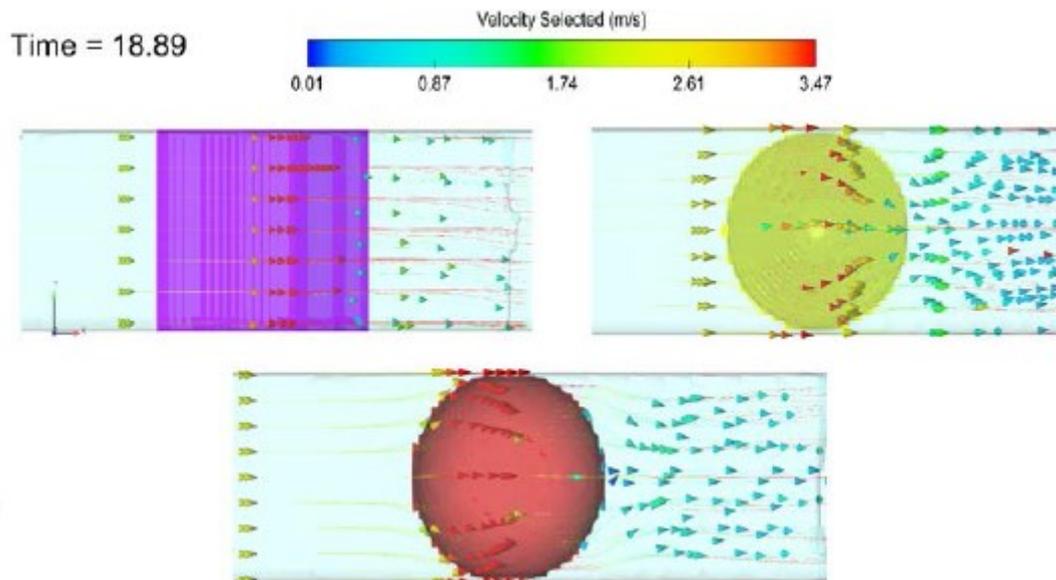


Ilustración 45. Líneas de flujo.

(Fuente: Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018))¹¹

Se observa que las geometrías que ocupan todo el espacio de la sección transversal como es el caso del prisma rectangular, las líneas de flujo son rectas. Esto se debe a que el área que recibe el impacto del flujo es mayor, y puede asociarse a un menor



coeficiente de transmisión. Este fenómeno produce que la distribución de presiones se distribuya por toda la superficie, repartiendo las cargas de forma lineal.

Para aquellas formas donde no ocupan todo el espacio de la sección transversal, las líneas de flujo rodean la estructura y los valores del coeficiente de transmisión tienden a ser mayores. Esto se debe a que aparece mayor concentración de presiones en determinadas zonas de la superficie, habiendo una distribución no uniforme generando así un mayor coeficiente de transmisión.

5 Bibliografía.

1. Fundamentos de ordenación y conservación de recursos vivos marinos, Universitat de Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/106085>
2. Directrices relativas a la colocación de arrecifes artificiales, Convenio de Londres y protocolo/PNUM. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Artificial%20Reefs%20Spanish.pdf>
3. Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales. Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20instalaci%C3%B3n%20de%20arrecifes%20artificiales_tcm30-157012.pdf
4. Electrodeposición de cal. https://www.elespanol.com/alicante/20220120/arrecife-artificial-electrolisis-patentado-alicante-permite-repoblar/643935724_0.html
5. Los Arrecifes artificiales de Andalucía. <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Arrecifes%20artificiales.pdf>
6. Hormigón en Ambiente Marino. IECA. <https://victor7yepes.blogs.upv.es/files/2018/07/HormigonenambientemarinolIECA.pdf>

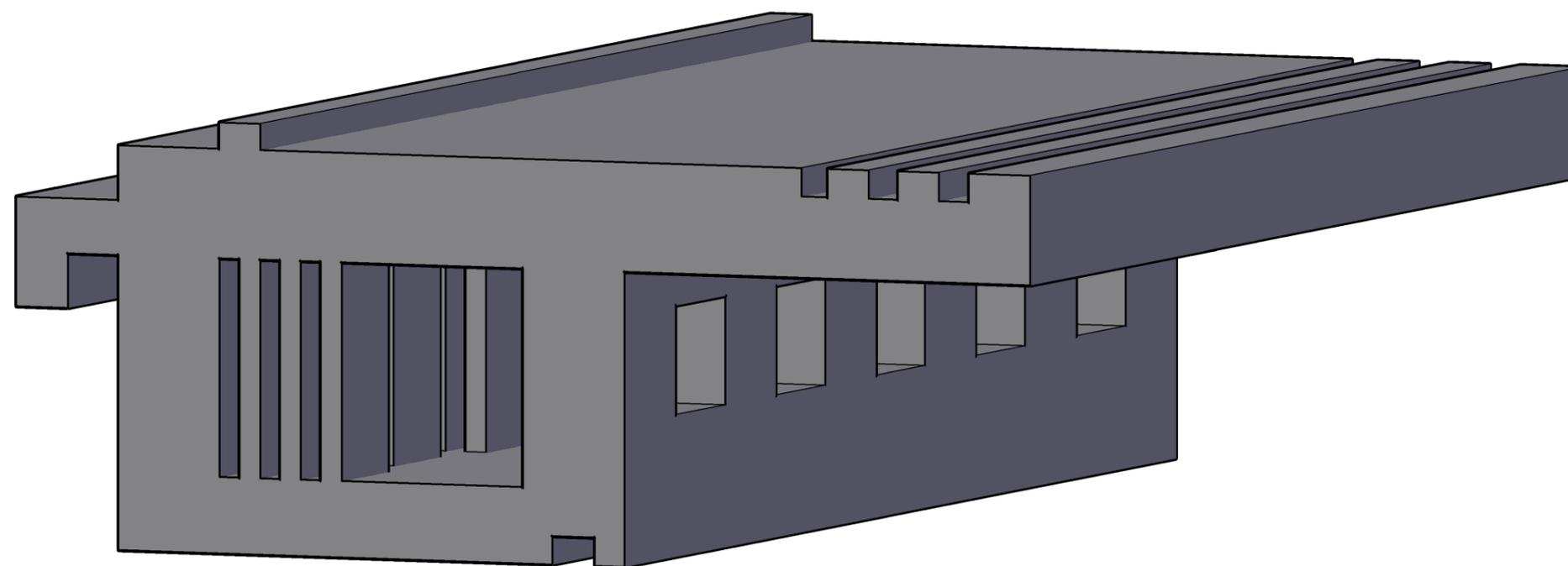
7. Biorock <https://arquitectura-sostenible.es/biorock-el-material-de-construccion-que-se-fortalece-con-los-anos/>
<https://atlasofthefuture.org/es/project/biorock-indonesia/>
8. Evaluación biológica y fisicoquímica de un mortero como sustrato para la fabricación de arrecifes artificiales; Mónica Andrea Bedoya-Gutiérrez, Jorge Iván Tobón, Tatiana Correa-Herrera & Juan Diego Correa-Rendón.
<https://doi.org/10.15446/rbct.n40.55818>
9. Hormigones biológicos, trabajo fin de máster, Autora: Federica Fiamingo, Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación Universidad Politécnica de Cartagena
<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/7033/tfe-fia-hor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. EConcrete. <https://econcretetech.com/econcrete-solution/>
11. Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018). Estimación del potencial de Disipación de energía del oleaje de estructuras sumergidas y flotantes. *Tecnura*, 22(58), 13-24. DOI:
<https://doi.org/10.14483/22487638.13387>
12. Directrices específicas para la evaluación de materiales geológicos inorgánicos inertes organización marítima internacional 2007.
https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170324/20170324102949/directrices_material_geologico.pdf
13. Estrategia marina, demarcación marina noratlántica, evaluación inicial, parte II: análisis de presiones e impactos. CEDEX Madrid 2012.
https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/II_Analisis_Presiones_Noratlantica_tcm30-130861.pdf
14. Tecnología del Hormigón armado.
<http://tecnologiadelhormigonarmado.blogspot.com/p/hormigon-armado-en-ambientes-marinos.html>
15. Acidificación Oceánica a los ojos de los corales de agua fría.
<https://www.ocean52.com/es/la-acidificacion-oceanica-a-los-ojos-de-los-corales-de-agua-fria/>
16. Influencia del pH sobre las algas edáficas. M. Hernández Marine, A. Noguero Seoane y J. Seoane Camba.
http://www.biolveg.uma.es/abm/Volumenes/vol05/5_Hernandez.pdf
17. Usos y aplicaciones de macroalgas, microalgas y cianobacterias en agricultura ecológica. G. García Reina, A. Martel Quintana. Instituto de Algología Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
<https://fci.uib.es/Servicios/libros/conferencias/seae/Usos-y-aplicaciones-de-macroalgas-microalgas-y.cid221515>
18. El hormigón y el mar, S. M. Abdelkader, A. Moragues Terrades y E. Reyes Pozo. Departamento de Ingeniería Civil. Construcción, E.T.S.I. de Caminos, Canales y



- Puertos. Universidad Politécnica de Madrid
<https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/51572-El-hormigon-y-el-mar.html>
19. Guidelines on Artificial Reefs in relation to Living Marine Resources. OSPAR
https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/OSPAR_Artificial%20Reefs%20Guidelines_tcm30-157010.pdf
 20. Assessment of construction or placement of artificial reefs. OSPAR
<https://www.ospar.org/documents?v=7143>
 21. Guidelines for the management of artificial reefs in the Great Barrier Reef Marine Park. Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2011.
<http://hdl.handle.net/11017/1132>
 22. The European Artificial Reef Research Network (EARRN).
https://www.researchgate.net/publication/313157411_European_artificial_reefs
 23. Updated Guidelines for Regulating the Placement of Artificial Reefs at Sea.
https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/arupdated_tcm30-534407.pdf
 24. Protección de los recursos pesqueros en la olla de Benicàssim, L. Belda y S. Iniesta.
<https://agroambient.gva.es/documents/163228750/167772277/La+protecci%C3%B3n+de+los+recursos+pesqueros+en+la+olla+de+benicassim.pdf/f390ba88-a91a-4f6f-a48a-799386fdbf49?t=1422956904596>
 25. Norma EHE-08. <http://www.ponderosa.es/docs/Norma-EHE-08.pdf>
 26. Norma europea de especificaciones de cementos comunes. UNE-EN 197-1:2011
<https://pdfs.semanticscholar.org/366c/bd1a72e19689a88f1cc01913bcc7edbe689e.pdf>
 27. Código de Diseño de Hormigón Armado Basado en el ACI 318-99
<https://akramhomsih.files.wordpress.com/2013/01/13-codigo-chileno-basado-en-aci-318-99.pdf>
 28. Consideraciones de diseño del hormigón en estructuras offshore/Características del hormigón en ambiente marino
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113470/capitulo3.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
 29. Agencia estatal boletín oficial del estado, Ministerio de la presidencia, relaciones con la cortes y memorias democráticas, Gobierno de España. 29 de junio de 1995. <https://www.boe.es/boe/dias/1995/06/29/pdfs/A19596-19614.pdf>
 30. Specific guidelines for assessment of inert, inorganic geological material.
https://www.gc.noaa.gov/documents/gcil_imo_iigmwag.pdf
 31. Biorock- Indonesia. <https://atlasofthefuture.org/es/project/biorock-indonesia/>
 32. Tecnología del hormigón. [Tecnología del hormigón \(monografias.com\)](http://Tecnología%20del%20hormig%C3%B3n%20(monografias.com))



33. Acidificación de los océanos, Monitoreo: Ciencia: Santuario Marino Nacional Gray's Reef. [Ocean Acidification: Monitoring: Science: Gray's Reef National Marine Sanctuary \(noaa.gov\)](https://www.noaa.gov/ocean-acidification-monitoring-science-gray-s-reef-national-marine-sanctuary)
34. Proyecto de EONcrete New York. [Brooklyn Bridge Park - EONcrete \(econcretetech.com\)](https://www.econcretetech.com/brooklyn-bridge-park)
35. Proyecto de EONcrete. San Diego. [EONcrete: hormigón para desarrollar la biodiversidad - AIVP](https://www.aivp.org/econcrete-hormigon-para-desarrollar-la-biodiversidad)
36. New tab-22. [Home | Mysite \(newtab-22.com\)](https://www.newtab-22.com)



PROYECTO:

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

PLANO:

Vista general del módulo

N° PLANO:

1/6

ESCALA:

1:25

FECHA:

29/11/2022

NOMBRE:

Pablo Ros Marti

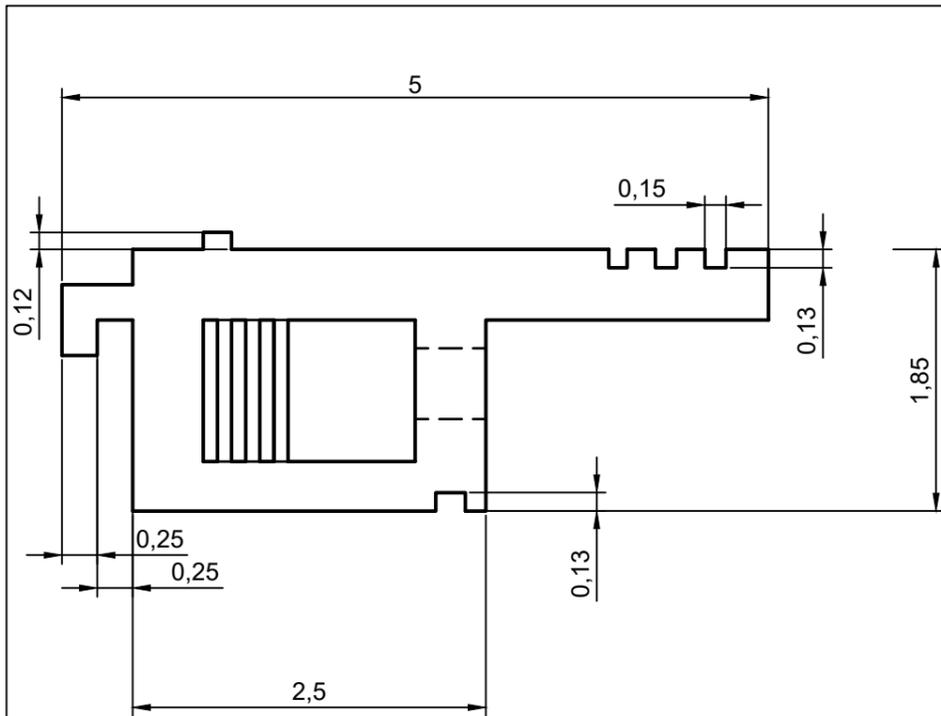
Universitat Politècnica de
Valencia.

Grado en
Ingeniería Civil.

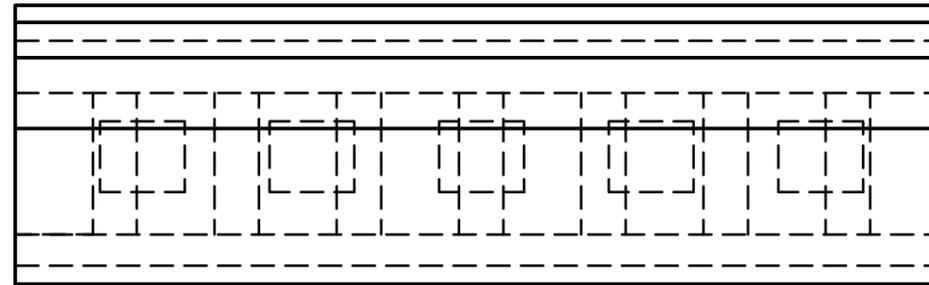


FIRMA:

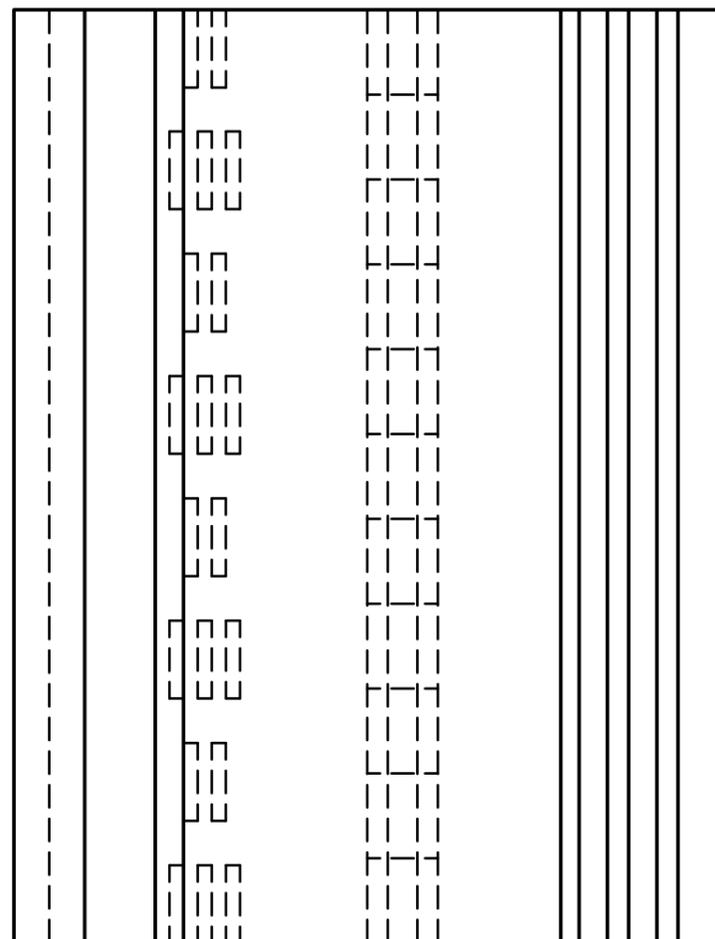
A handwritten signature in black ink, appearing to read "Pablo Ros Marti".



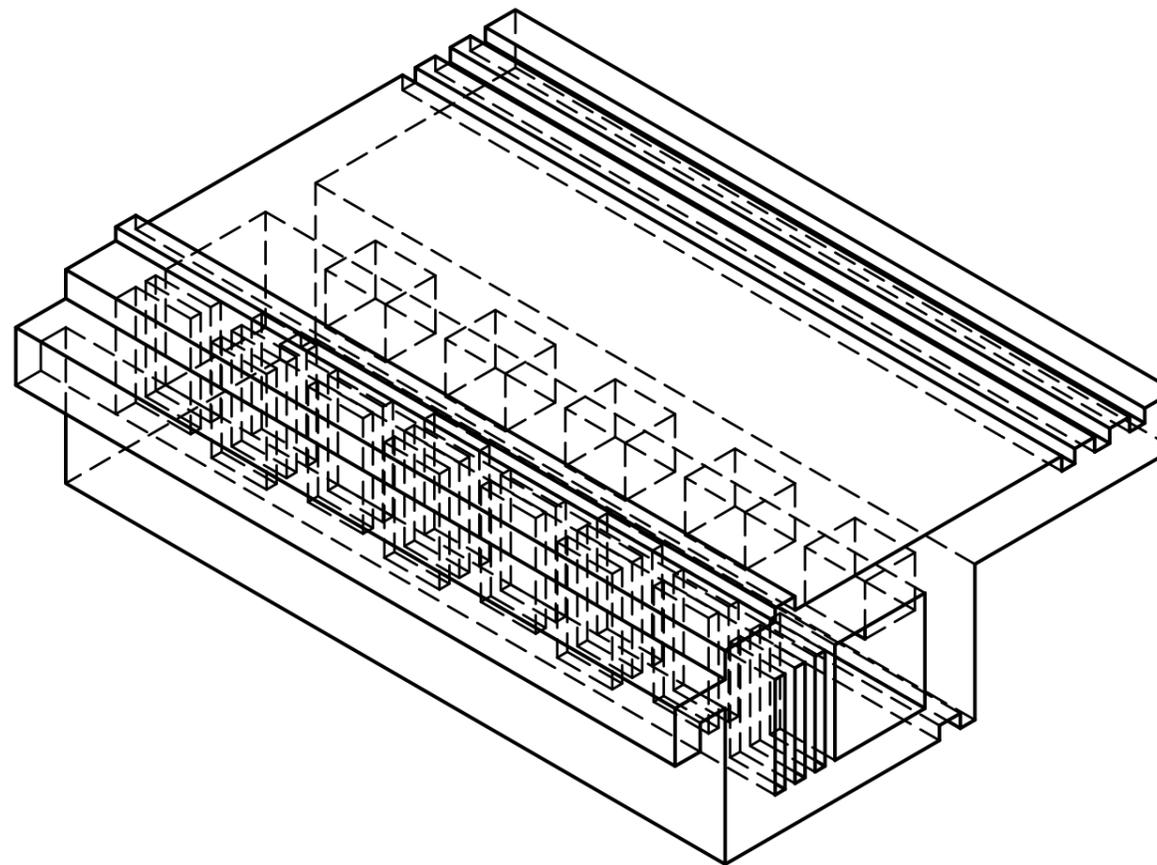
ALZADO FRONTAL



ALZADO LATERAL



PLANTA SUPERIOR



VISTA GENERAL

PROYECTO:

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

PLANO:

Perfiles Generales del módulo.

Nº PLANO:

2/6

ESCALA:

1:50

FECHA:

29/11/2022

NOMBRE:

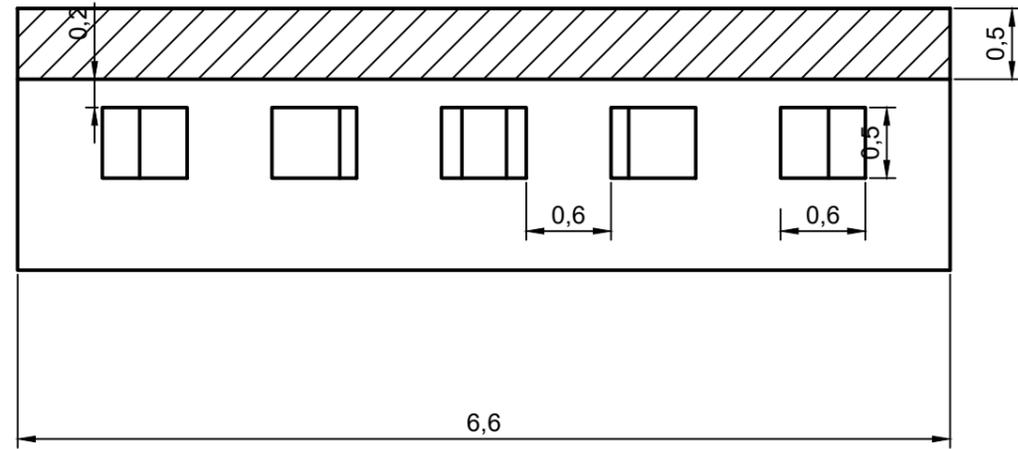
Pablo Ros Marti.

Universitat Politècnica de València.

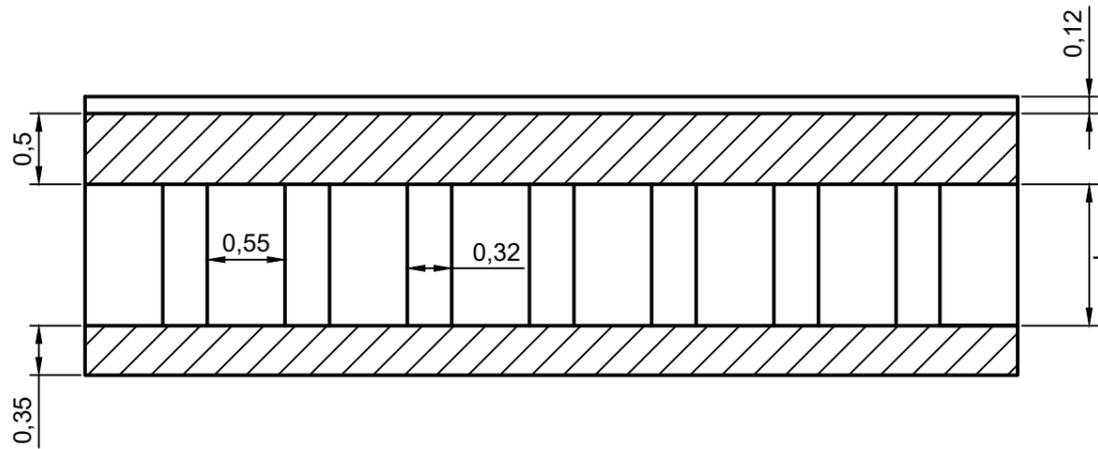
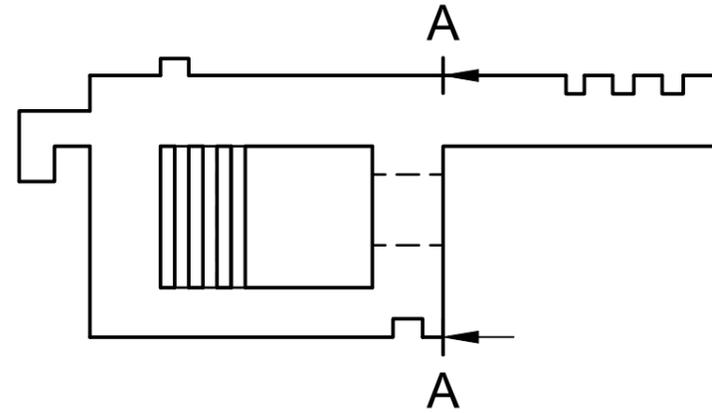
Grado en Ingeniería Civil.



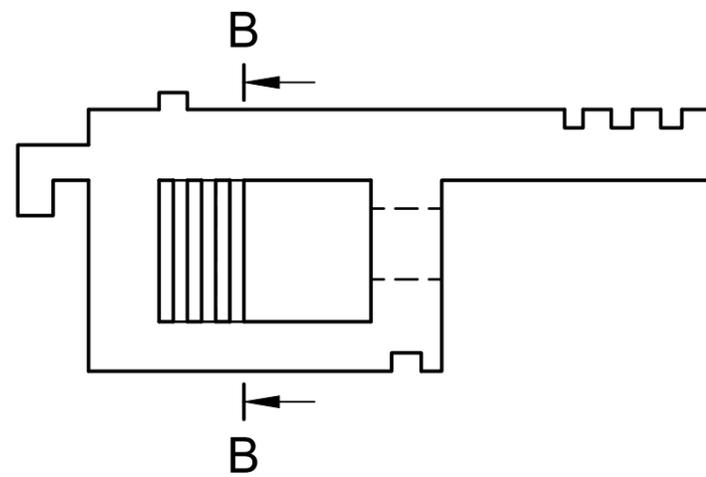
FIRMA:



SECCION A-A



SECCION B-B



PROYECTO:

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

PLANO:

Secciones frontales del módulo.

Nº PLANO:

3/6

ESCALA:

1:50

FECHA:

29/11/2022

NOMBRE:

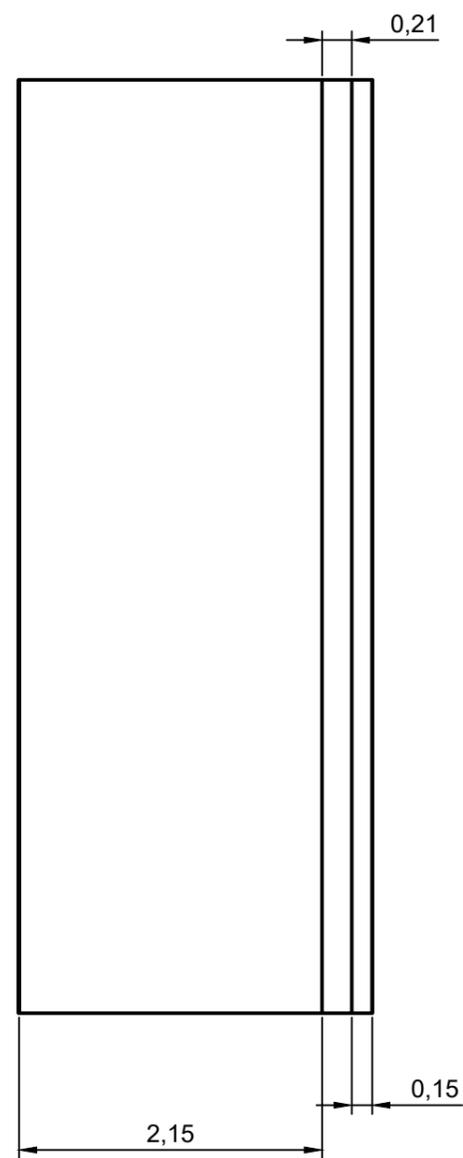
Pablo Ros Marti.

Universitat Politecnica de Valencia.

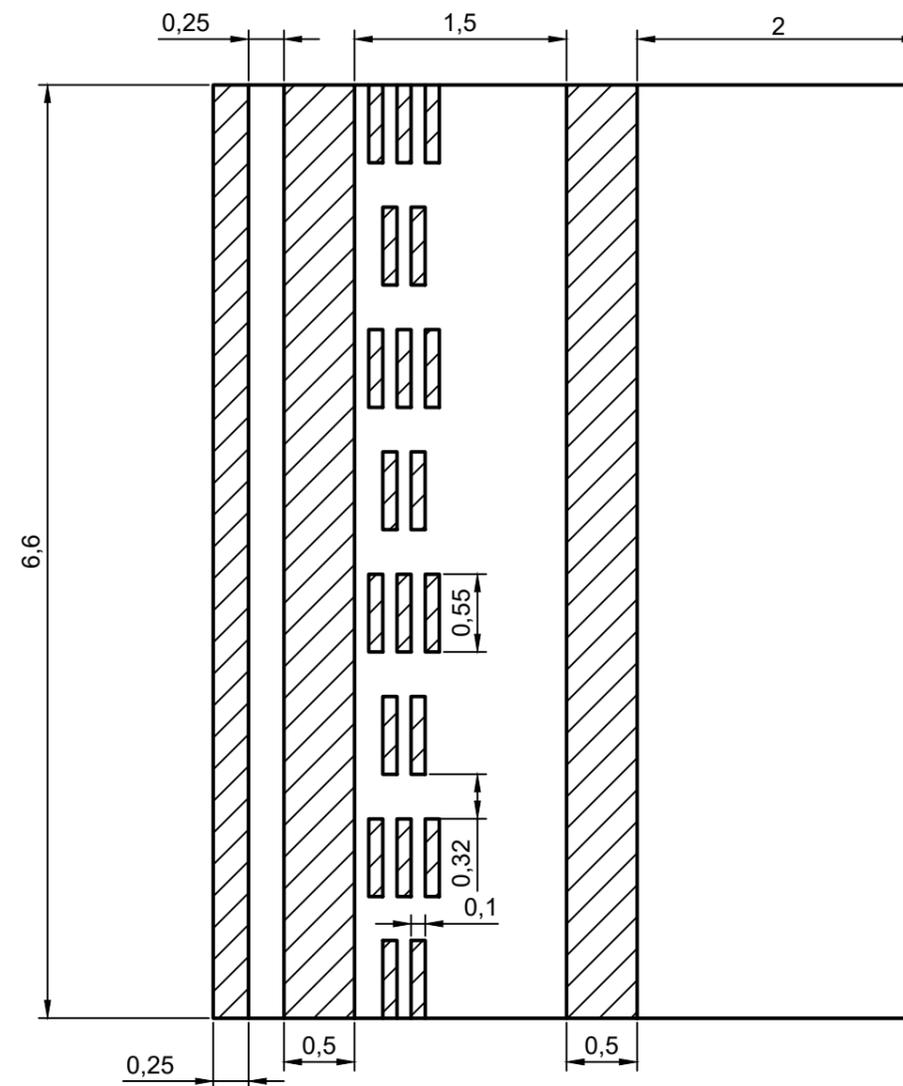
Grado en Ingeniería Civil.



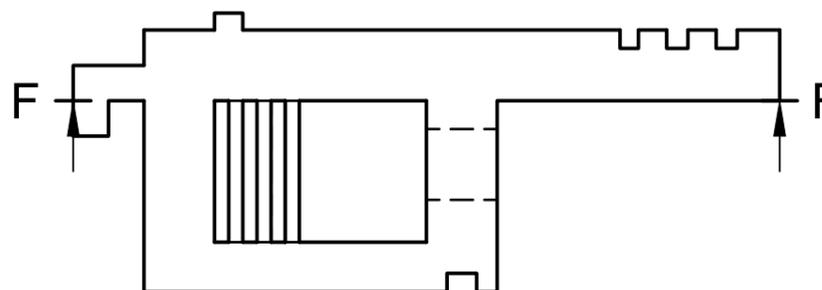
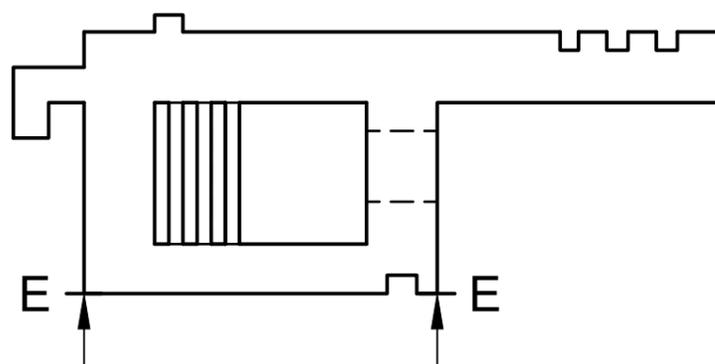
FIRMA:



VISTA E-E



SECCION F-F



PROYECTO:

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

PLANO:

Alzado inferior del módulo.

Nº PLANO:

4/6

ESCALA:

1:50

FECHA:

29/11/2022

NOMBRE:

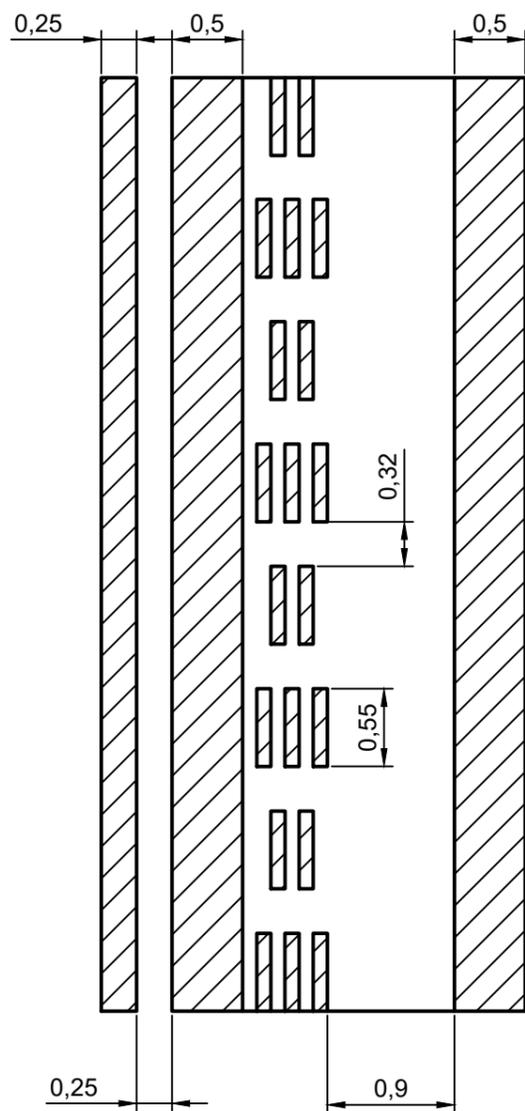
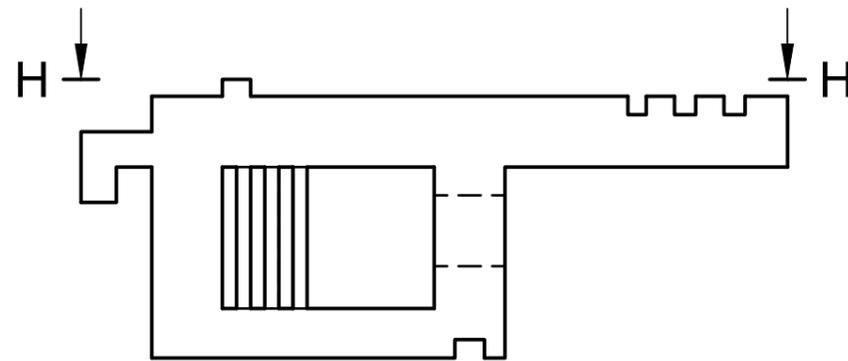
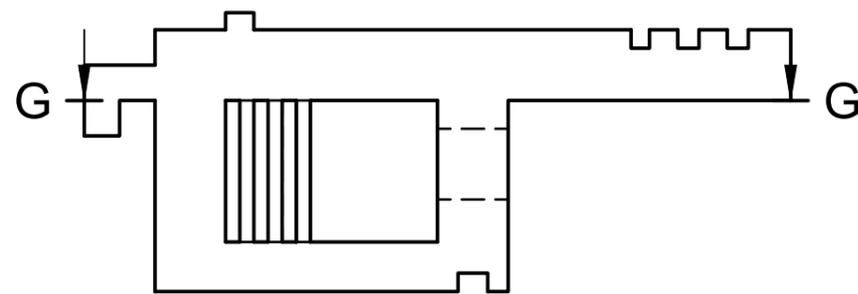
Pablo Ros Marti

Universitat Politecnica de Valencia.

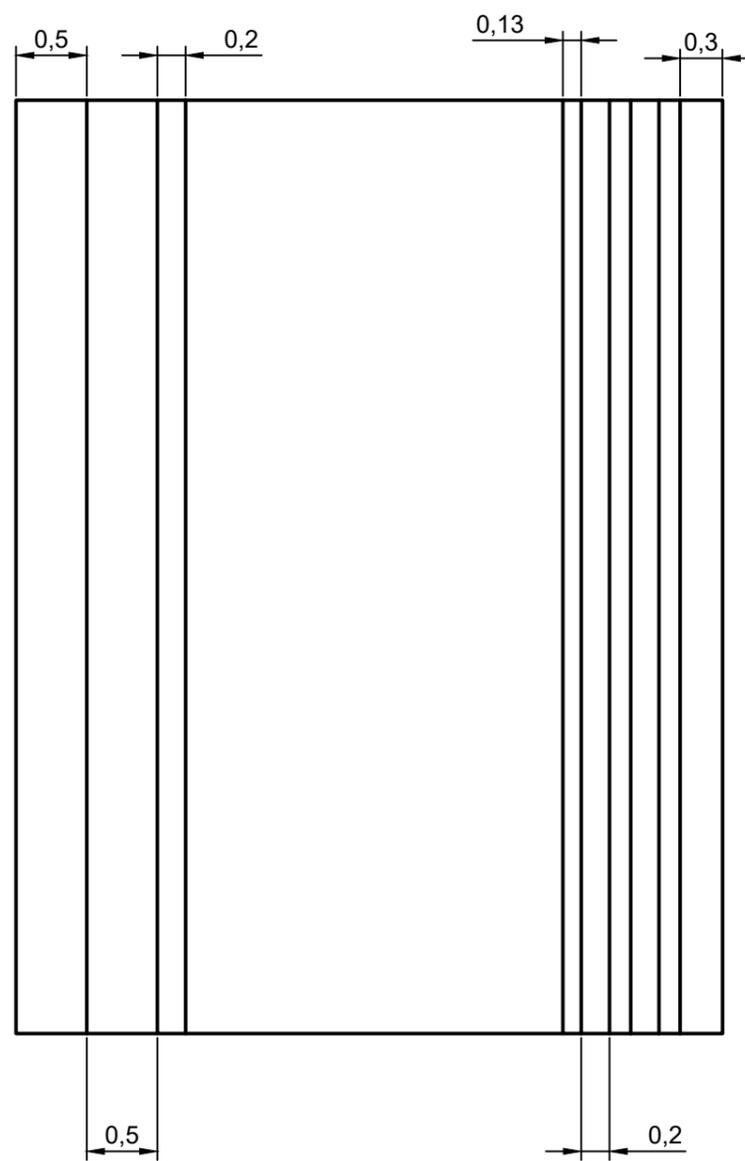
Grado en Ingeniería Civil.



FIRMA:



SECCION G-G



VISTA H-H

PROYECTO:

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

PLANO:

Alzado superior del módulo.

N° PLANO:

5/6

ESCALA:

1:50

FECHA:

29/11/2022

NOMBRE:

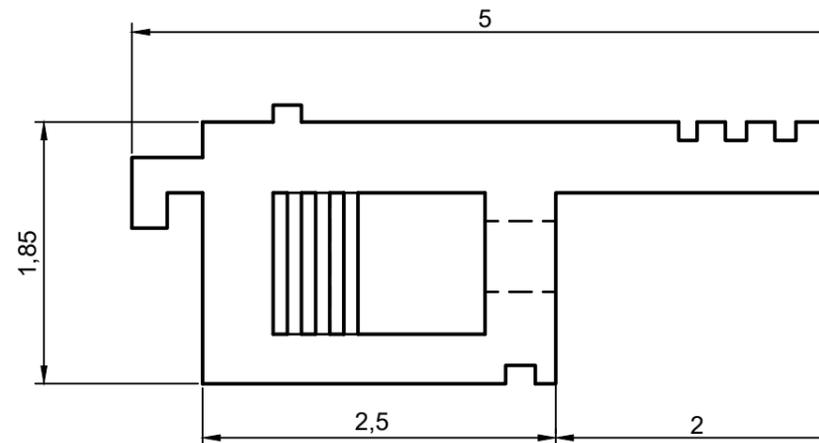
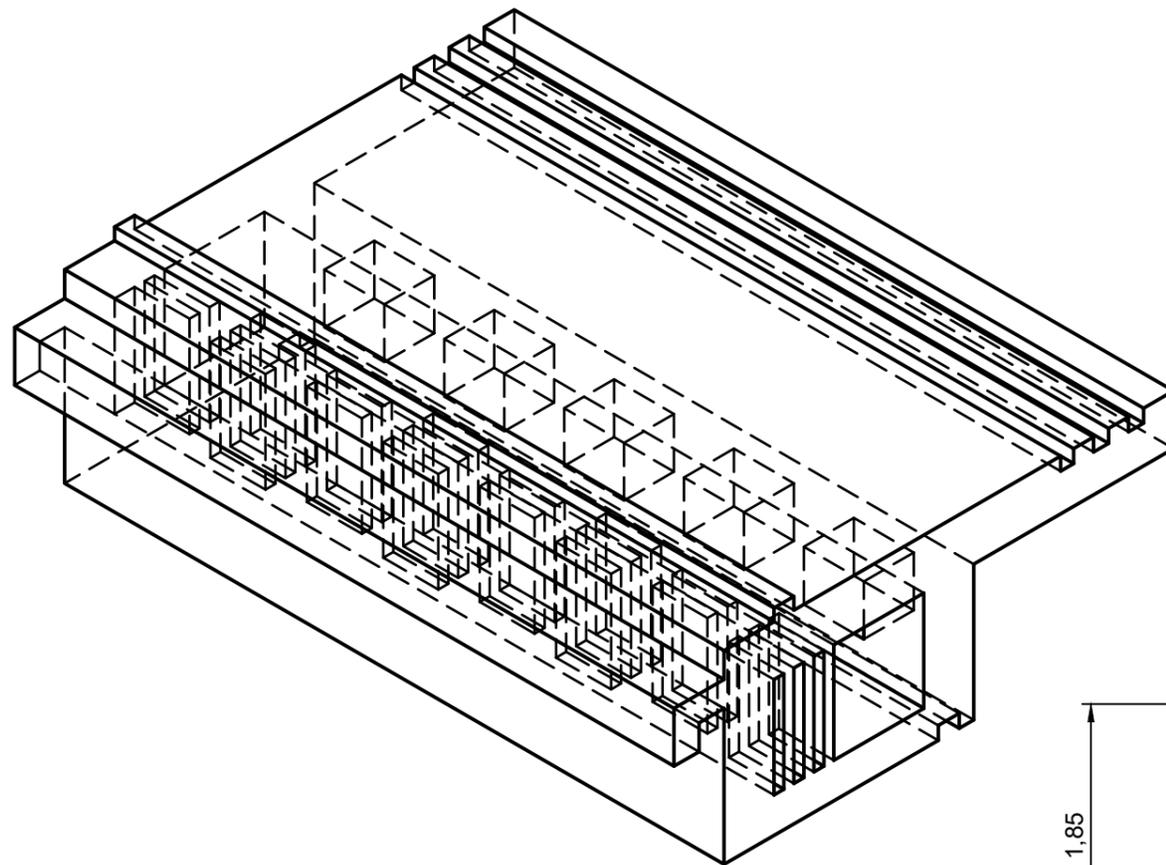
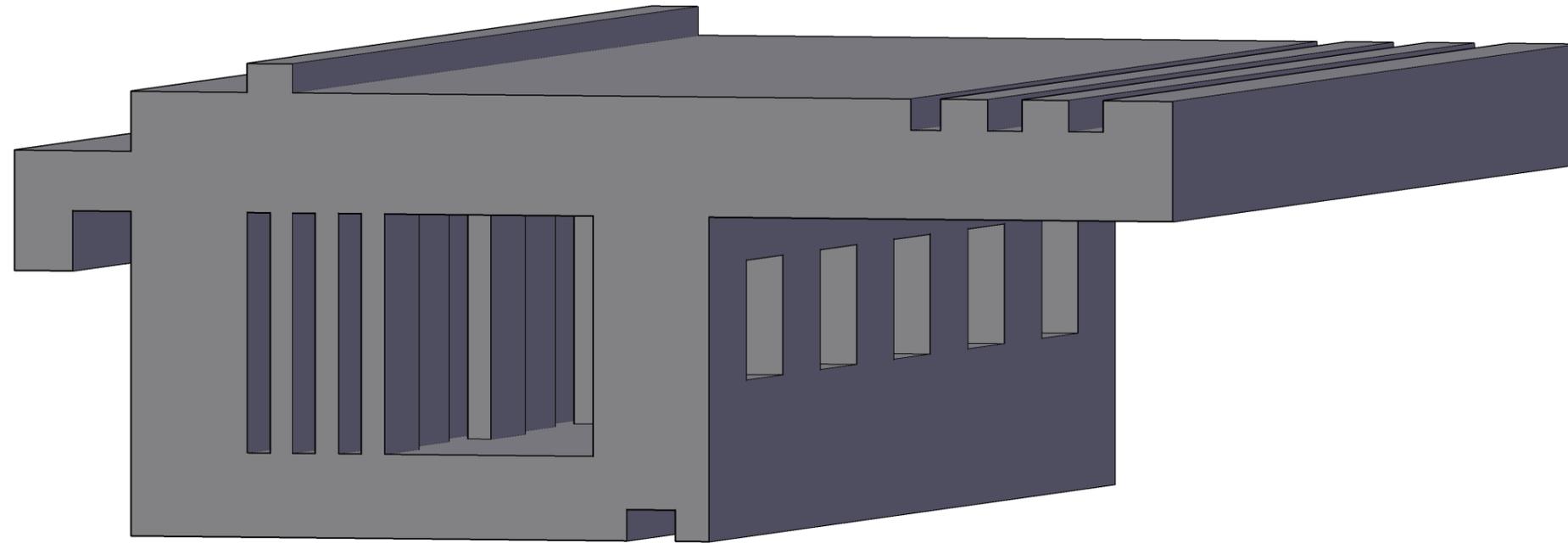
Pablo Ros Marti

Universitat Politècnica de Valencia.

Grado en Ingeniería Civil.



FIRMA:



HORMIGÓN						
LOCALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL				CONTROL	
	TIPIFICACION (art. 37.2)	RESISTENCIA DE CÁLCULO (art. 37.4)	MIN. CONTENIDO CEMENTO (art. 37.3.2)	MAXIMA RELACION A/C (art. 37.3.2)	NIVEL DE CONTROL (*) (art. 86)	COEFICIENTE γ_c (art. 18.2)
GENERAL	HM 40/B/20/IIIb	26,67Mpa	350kg/m3	0,5	NORMAL	1,5

(*) El ESTADÍSTICO verá el nivel de control a establecer en la mayor parte de las obras de edificación.

EJECUCIÓN					
COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD DE LAS ACCIONES PARA LA COMPROBACIÓN DE E.L.U.					
NIVEL DE CONTROL DE LA EJECUCIÓN (*) (art. 92.3)	TIPO DE ACCIÓN	SITUACIÓN PERMANENTE O TRANSITORIA		SITUACIÓN ACCIDENTAL	
		EFECTO FAVORABLE	EFECTO DESFAVORABLE	EFECTO FAVORABLE	EFECTO DESFAVORABLE
NORMAL	VARIABLE	$\gamma_Q=0,00$	$\gamma_Q=1,50$	$\gamma_Q=0,00$	$\gamma_Q=1,00$
	PERMANENTE	$\gamma_G=1,35$		$\gamma_G=1,00$	

(*) La nueva instrucción establece dos niveles de control para la ejecución NORMAL e INTENSO. Dado que el nivel INTENSO queda restringido a Constructores que dispongan de un sistema de calidad certificado conforme a la norma UNE-EN ISO 9001 (impacto oficial de determinar en fase de proyecto), el nivel de control recomendado para la ejecución de estructuras de edificación es el nivel NORMAL. Eto. implica disponer de un Programa de control aprobado por la Dirección facultativa, que contemple la división de la obra en lotes y establezca un listado de las operaciones de inspección y la frecuencia de éstas. El Capítulo 17 de la EHE-08 desarrolla con todo detalle la forma de llevar a cabo el control de la ejecución de las obras estructurales de hormigón armado y prefabricado.

OBSERVACIONES
 La estructura general construida con HM 40/B/20/IIIb con cemento CEM I/B 32,5 N SR al que añadiremos 40% en peso el cemento Admix. creado por ECONCRETE. La línea de paneles inferior construida con micro hormigón creado con CEM I/B 32,5 N-HPC.

PROYECTO:

Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales.

PLANO:

Aspecto general y características del hormigón.

Nº PLANO:

6/6

ESCALA:

1:25

FECHA:

29/11/2022

NOMBRE:

Pablo Ros Marti

Universitat Politecnica de Valencia.

Grado en Ingeniería Civil.



FIRMA: