

IMPLANTACIÓN DE UNA CENTRAL UNDIMOTRIZ EN EL NUEVO DIQUE DE ABRIGO AL PUERTO DE MUTRIKU



Idoia Ortubia¹, Luis Ignacio López de Aguilera²,
y Yago Torre-Enciso³

ANTECEDENTES DEL PROYECTO DE MEJORA DEL ACCESO MARÍTIMO AL PUERTO DE MUTRIKU

El puerto de Mutriku es uno de los primeros puertos vascos de cuya actividad se tiene conocimiento, remontándose dicha actividad a los inicios del siglo XIII, cuando sus habitantes, antes incluso de la creación de la villa, pagaban ya a la corona una ballena al año en concepto de tributos. Relacionados con su puerto, Mutriku ha aportado a la historia nombres de la importancia de Antonio de Gaztañeta, (1656-1728) ilustre marino que dejó tratados sobre la construcción naval; Cosme Damián Churrucá (1761-1805), héroe de Trafalgar, y su descendiente e ingeniero Evaristo de Churrucá, proyectista de los diques del propio puerto de Mutriku de final del siglo XIX, y de la ingeniosa solución de la barra del puerto de Bilbao.

Ya en época más reciente, a mediados del siglo XX, este puerto de Mutriku fue el escenario en el que el insigne ingeniero Ramón Iribarren desarrolló diversas teorías sobre la propagación del oleaje hacia el interior del puerto, ya que según sus propias palabras: “la agitación en el interior del puerto era impresionante”. Su experimentación en este puerto le sirvió para desarrollar su *Método de cálculo de los planos de oleaje*. La disposición del puerto provocaba, a su vez, problemas de resonancia de la onda de resaca, momentos en los que la agitación de las aguas hacía imposible la estancia de las embarcaciones en el interior del puerto. Esta situación fue resuelta magistralmente por Iribarren con el dragado de la dársena interior y la colocación de escolleras en zonas concretas de la misma, de manera que actualmente la agitación interior es perfectamente compatible con el uso del puerto para atraque y fondeo de embarcaciones tanto pesqueras como de recreo.

¹ Puertos de Gipuzkoa.

² Puertos del Gobierno Vasco.

³ Ente Vasco de la Energía.



Figura 1.

El puerto en todo momento se ha ubicado en la pequeña bahía natural, (véase en la parte superior izquierda de la ortofoto adjunta), abrigada de los temporales de Noroeste por el promontorio de Burumendi y limitada al Este por Punta Alkolea. Los temporales del Cantábrico son muy importantes por la zona, ocasionando a lo largo de los años daños en los diques del puerto y provocando gran inestabilidad y agitación en la ruta de entrada del puerto y en las dársenas interiores. Lo que se ha traducido en que en no pocas ocasiones el acceso de embarcaciones al puerto sea extremadamente complicado llegando a impedirlo.

El abrigo del puerto, antes de afrontar la obra objeto de este artículo, lo conformaban dos diques Norte paralelos y un dique Sur que, junto con el dique Norte interior, configura una bocana de apenas 20 metros de anchura, muy complicada de maniobrar con un poco de agitación. Los incidentes en esta entrada, incluso con pérdidas de vidas humanas, han sido constantes afectando seriamente al negocio pesquero ante el retraimiento a entrar en puerto mostrado por las flotas foráneas.

Para resolver el problema planteado se analizaron diversas alternativas en los estudios realizados desde el inicio de los años 90, utilizando las técnicas de modelización matemática adecuadas para analizar la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la costa y la agitación interior. Singularmente, dada la peculiaridad de la batimetría de la zona, se hizo especial hincapié en el estudio en rotura del oleaje. En efecto, en cualquiera de las direcciones del oleaje la rotura comienza a producirse en la margen Oeste de la entrada de la ría, al aumentar la altura ésta se va extendiendo hacia el centro de la ría y para alturas significantes del orden de 5 metros o superiores la rotura se produce de una forma generalizada en todo el frente de la ría, aunque siempre la rotura más gradual se produce en la margen Este.

Con estas técnicas se llegaron a analizar hasta 17 alternativas o configuraciones diferentes: prolongación de los dique antiguos, dique exterior, dique sumergido, etc... Algunas de esas soluciones se reproducen en la imagen contigua. Finalmente, la solución que da unos resultados suficientemente buenos es la que plantea un gran dique de abrigo arrancando de la punta de Burumendi y alcanzando el marcado cañón submarino del eje de la Ensenada.

El Proyecto de dique de abrigo se va modelando con la realización de estudios de agitación en detalle, con la ejecución de ensayos en modelo físico de 3 dimensiones (ver imagen adjunta), con la introducción de propuestas reductoras de su impacto ambiental, etc... Significativas son las modificaciones introducidas en este último aspecto, principalmente la que supone no arrancar la traza del dique de abrigo directamente desde la punta de Burumendi, lo que a la vez que preserva el acantilado permite encajar una nueva playa y un mejor tratamiento del borde litoral. La nueva playa tiene su frente orientado al Norte, hacia la abertura localizada sobre los arrecifes de Burumendi.

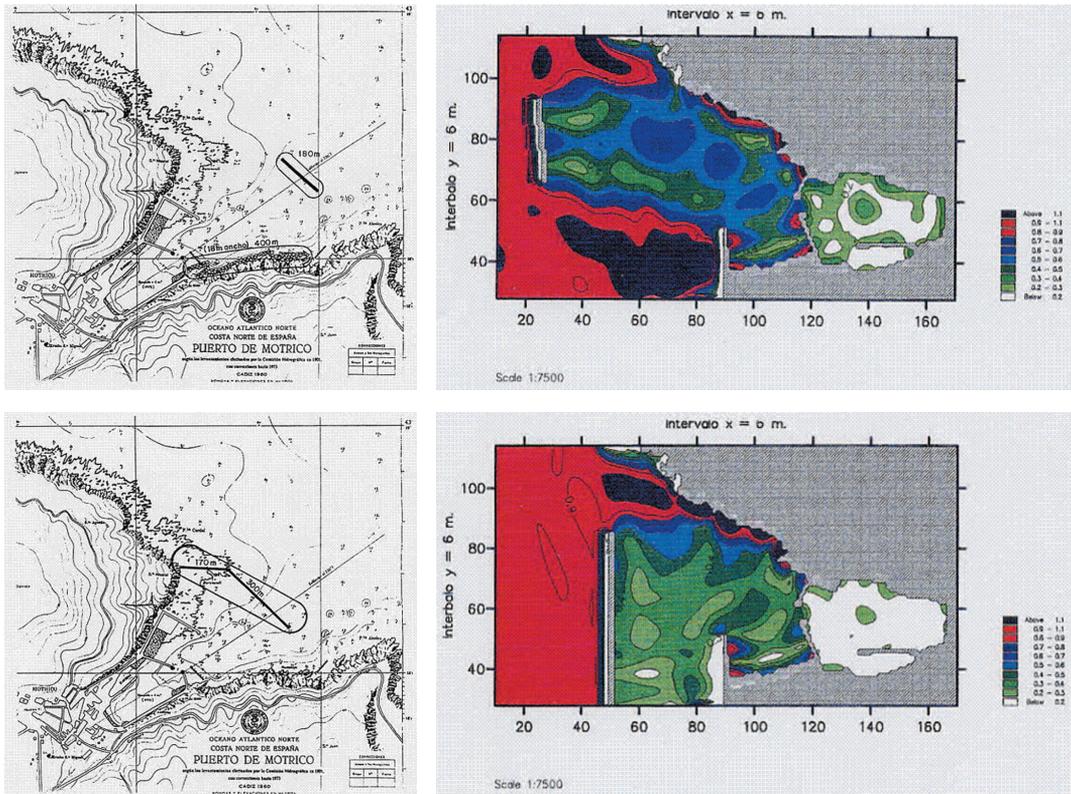


Figura 2.



Figura 3.

Finalmente, el Proyecto aprobado y licitado, que cuenta con todos los trámites administrativos preceptivos: Declaración de Impacto Ambiental favorable (BOPV de 26 de Octubre de 2.004), Informe Favorable de Adscripción de Terrenos de Dominio Público Marítimo-Terrestre, presenta las siguientes características principales:

INNOVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

- Se trata de un dique exento de aproximadamente 440 metros que se remata en sus dos extremos mediante dos morros: el morro A situado más próximo a Burumendi sobre fondos a cotas en torno a la $-2,00$ m y el morro B en el extremo opuesto a profundidades de $-17,00$ m, ambas respecto a la BMVE.
- Al dique de abrigo se llega a través de un camino de acceso de unos 370 metros de longitud, protegido por escolleras.
- Tipológicamente es un dique en talud que dispone en toda su longitud de un espaldón de hormigón con revestimiento de mampostería. La estructura del dique está formada por un núcleo de todo-uno y mantos de escolleras y bloques de piedra natural para el manto principal de tamaños variables (15Tn., 25Tn. y 45Tn.).

Se presenta a continuación un plano de planta de esta solución, así como un fotomontaje de su aspecto final.

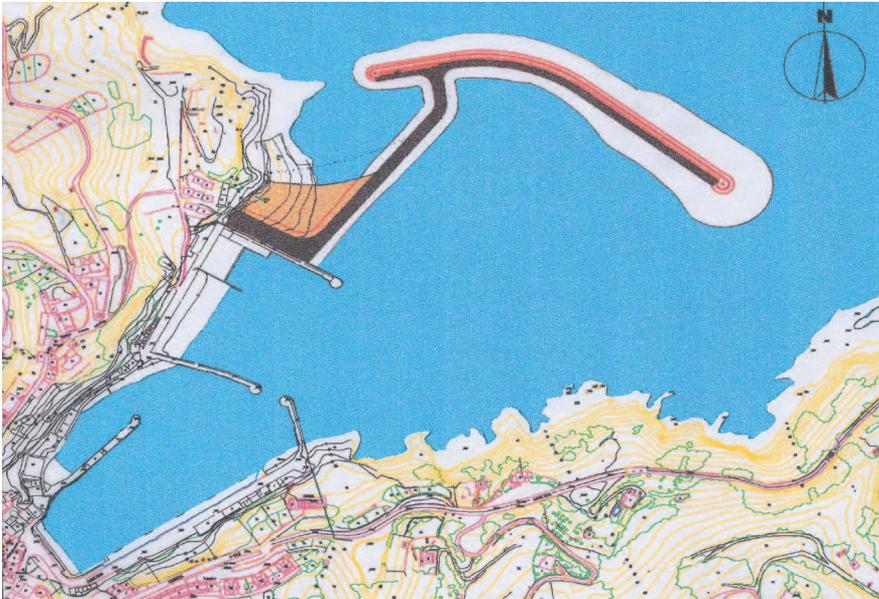


Figura 4.



Figura 5.

Con la obra así definida el Departamento de Transportes y Obras Públicas del Gobierno Vasco suscribió un Protocolo de colaboración con el Ente Vasco de la Energía, en el marco de una estrategia global del Gobierno Vasco de apuesta por el desarrollo de las energías renovables, para aprovechar la construcción de esta infraestructura para la instalación de una planta de generación de energía del mar, lo que como veremos fructificó y se plasmó en una Modificación de la sección tipo del dique en una cuarta parte de su longitud para ubicar la instalación que a continuación se explica.



Figura 6.

LA OPORTUNIDAD DE IMPLANTACIÓN DE UNA CENTRAL DE OLEAJE EN EL DIQUE

El mar como fuente de energía es un concepto que no es nuevo. El flujo de las mareas ha sido aprovechado en siglos pasados en molinos para moler el grano, e incluso, la primera patente para el aprovechamiento de la energía de las olas data del año 1799, en Francia, donde “Girard e hijo” proponen el aprovechamiento del movimiento de las olas para el accionamiento de bombas, sierras y otras maquinarias. En la actualidad, aunque no hay ninguna tecnología de la que se pueda decir que por su grado de madurez haya alcanzado la fase comercial, hay más de 1000 patentes que proponen diversos ingenios para el aprovechamiento energético de las olas, rondando la veintena los diseños que han alcanzado la etapa de prototipo a escala real.

Selección de la tecnología

Partiendo de la obra definida como solución al problema de acceso del Puerto de Mutriku se acometió el estudio de las posibilidades de aprovechar la oportunidad que suponía la construcción de un nuevo dique para incorporar en él una infraestructura de aprovechamiento de la energía de las olas para producir electricidad.

Se hizo un análisis del estado del arte de las tecnologías de aprovechamiento de la energía de las olas, buscando una solución que fuera apta para su incorporación en un dique con las mínimas modificaciones, resultando que solamente la tecnología OWC (Oscillating Water Column – Columna de Agua Oscilante) ofrecía posibilidades de incorporación al diseño del dique, respetando en lo posible tanto la línea definida del dique como la funcionalidad del mismo.

Para el aprovechamiento de la energía de las olas en tierra existen básicamente tres familias de dispositivos: dispositivos rebosantes, dispositivos basculantes y dispositivos de columna de agua oscilante.

INNOVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

En los primeros, se dispone una rampa para recibir las olas. Mediante esta rampa el agua asciende y alcanza un depósito desde el cual se turбина como en una central hidroeléctrica. Son instalaciones que a priori ocupan bastante espacio y en las que el rebase sólo se puede evitar con diques de gran altura.

En los dispositivos oscilantes se incorpora a la cara activa del dique una superficie basculante en el plano vertical, que al recibir el impacto de las olas cede a su impulso y comprime mediante un pistón un fluido, que posteriormente mueve una turbina y produce electricidad. En este caso por tener que estar necesariamente expuesta al batir de las olas gran parte de la maquinaria, no resultaba ser una opción que se integrara en el diseño del dique ni ofrecía garantías de durabilidad.

Por último, los dispositivos OWC funcionan de manera sencilla e inocua. Se basa en el movimiento oscilante de las olas aunque cabe destacar que no es el agua del mar la que realmente mueve las turbinas, ya que nunca entra en contacto con ellas. Tal y como se explica en las figuras adjuntas, consiste en una estructura hueca, abierta al mar por debajo de la lámina de agua y con un orificio en la parte superior de la cámara.

Cuando la ola llega, el agua entra en la cámara y comprime el aire del interior, que sale a presión por el orificio superior. A su paso mueve la turbina y, a su vez, hace girar el alternador que produce de esta forma energía eléctrica. Cuando la ola se retira succiona aire a través del mismo orificio y vuelve a impulsar la turbina que sigue generando energía eléctrica. El hecho de turbinar aire y no agua de mar supone en principio una clara ventaja en cuanto a la longevidad de los equipos.

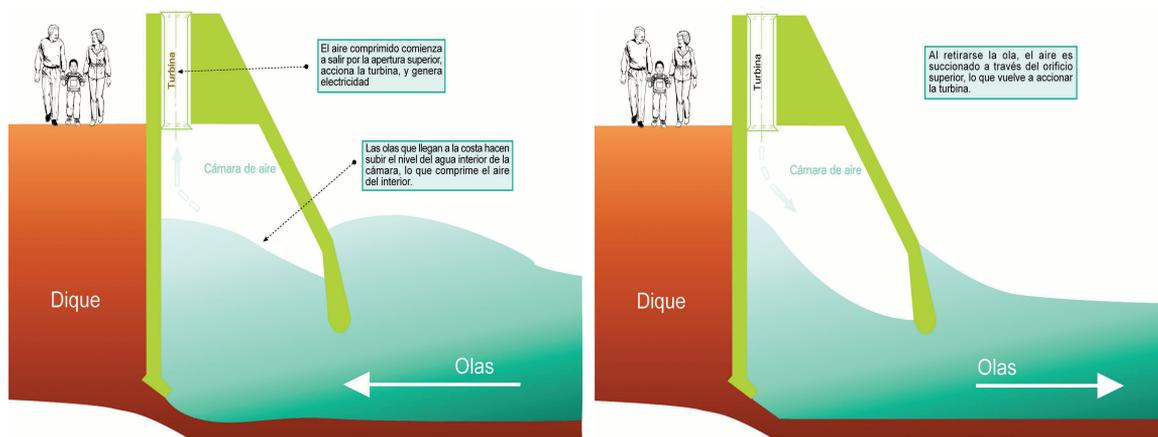


Figura 7.

Una vez escogida la tecnología, se contactó con Wavegen, la única empresa en Europa con experiencia en prototipos a escala real con tecnología OWC, habiendo participado tanto en el prototipo de LIMPET, instalación de su propiedad en la Isla de Islay, al suroeste de Escocia; como en el prototipo de la Isla de Pico, en las Azores. Actualmente Wavegen pertenece al Grupo Voith Siemens.

Prediseño y diseño de la planta

Para el prediseño de la planta fue necesario un estudio detallado del clima marítimo en el emplazamiento del dique.

A efectos del recurso energético, cabe distinguir entre invierno (noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo), verano (mayo, junio, julio agosto y septiembre) y meses de transición (abril y octubre).

A profundidades indefinidas el valor medio del recurso está en 26 kW/m y el flujo medio de energía tiene una dirección promedio de N59W (301°). Este valor se distribuye anualmente de la siguiente manera:

- Flujo medio de energía en invierno 44 kW/m
- Flujo medio de energía en verano 9 kW/m
- Flujo medio de energía en meses de transición 19 kW/m

Al aproximarse a la costa, el flujo de energía disminuye de forma variable según la orientación de la costa. Por ejemplo, en la zona frente al cabo Machichaco la energía no varía prácticamente hasta llegar a la costa, y, sin embargo, el abrigo generado por el propio cabo Machichaco genera una zona de sombra en toda la costa desde Bermeo hasta Deba. En concreto, frente a la zona de Mutriku (al abrigo del cabo Machichaco), los valores obtenidos en un punto a treinta metros de profundidad son:

- Flujo medio de energía en invierno 18 kW/m
- Flujo medio de energía en verano 4,8 kW/m
- Flujo medio de energía en meses de transición 8,8 kW/m

En este caso, la ubicación de la planta OWC no se puede elegir, dado que al estar integrada en un dique de abrigo, su ubicación viene dada por el mismo dique.

Para la definición geométrica de la planta, se realizó un estudio de propagación de las olas hasta la ubicación exacta del dique de Mutriku a cuatro puntos a lo largo del dique (cuatro posibles ubicaciones de la planta, tres en el tronco y una en el morro) y se valoró no sólo la mejor captación de las olas, sino su incidencia en las reflexiones de olas ocasionadas y los efectos del oleaje reflejado en la navegación en su entrada y salida al puerto.

De este estudio se dedujo que, si bien en cuanto a la agitación de las aguas interiores, la ubicación de la planta no tenía incidencia, sí la tenía en cuanto a la navegabilidad exterior.

Las cuatro opciones planteadas, quedaron reducidas a dos, ambas en el tronco del dique: una ubicación en la zona de aguas



Figura 8.

INNOVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

más profundas, tramo recto que tenía una orientación peor frente a las direcciones predominantes de las olas; y otra en una zona de menor profundidad (de 4 a 7 metros de profundidad), en el tramo curvo del dique con una mejor orientación frente a las olas.

Una vez obtenido el recurso en cada punto, se determinó la geometría de las cámaras: las dimensiones de la apertura de la cámara al mar, la sección recta de la cámara, la separación entre aperturas, el ratio entre las superficies de apertura al mar y superior, la altura interior de las cámaras, el grosor del muro frontal...

Con todos estos datos se ensayaron en modelo tridimensional las dos opciones pre-determinadas a efecto de corroborar todos los estudios realizados y seleccionar la mejor opción.

La ubicación final elegida (en el tramo curvo del dique, zona de poco calado) produce una zona de perturbaciones más dispersa, siendo la magnitud de las mismas menor y más alejadas de la bocana del puerto que si la planta OWC estuviera ubicada cercana al morro del dique (tramo recto y de mayor calado), con perturbaciones más concentradas en la zona de paso de los barcos.

Desde un punto de vista energético, no hay gran diferencia entre ambas ubicaciones siendo la menor perturbación en la derrota de entrada el factor determinante en este caso (como no podía ser de otra forma, en una obra de mejora de acceso a puerto).

La planta undimotriz de Mutriku consta de 16 cámaras, y en cada una de ellas, en el orificio superior, se acopla un grupo turbogenerador de 18,5 kW de potencia nominal, alcanzando una potencia total de 296 kW.

Las turbinas elegidas son de tipo Wells de paso fijo lo que les confiere gran robustez y simplicidad, y el diseño simétrico de los álabes consigue que independientemente del sentido del paso del aire a través de la turbina, ésta gire siempre en la misma dirección, sin necesidad de ningún dispositivo rectificador del flujo de aire.

Disponen de dos rotores de cinco álabes que giran solidariamente separados por el generador. Éste está refrigerado por aire. Además lleva incorporado un volante de inercia con el fin de que la curva de potencia de salida sea lo más plana posible.

El grupo turbogenerador, que en Mutriku está colocado verticalmente, a diferencia de los dos prototipos anteriormente citados, dispone en su parte inferior de una válvula de mariposa para aislar la cámara en caso de necesidad accionada eléctricamente y con cierre por gravedad, de manera que en caso de fallar la conexión con la red la válvula cierra automáticamente.

Asimismo, en la parte superior cada turbogenerador lleva incorporado un atenuador de sonido.

Hay que señalar que cada grupo turbogenerador tiene unos inyectores de agua dulce para la limpieza periódica de los álabes buscando eliminar las pequeñas incrustaciones salinas en los mismos.

Las dimensiones de la turbina, 2,83 metros de alto y 1,25 metros de anchura máxima, y su peso de aproximadamente 1.200 kg hace que las operaciones de montaje y desmontaje no sean complicadas incluso manejándola en una sola pieza.

En la configuración eléctrica de la planta, las dieciséis turbinas están separadas para su control en dos grupos de ocho turbinas. Con ello se busca una vez más la rectificación de la curva de potencia de salida. Para el control de cada turbina se tiene en cuenta la medida de la presión en cada momento dentro de la cámara para fijar la velocidad de giro de cada turbina optimizando la potencia extraída.

La tensión del generador es 400 V. Dado que la velocidad de giro de la turbina, y por tanto del generador, no es fija sino que puede variar en amplio rango de revoluciones por minuto, la señal de salida del generador es rectificadora y posteriormente se vuelve a pasar a corriente alterna, ahora sí, a 50 Hz y en fase con la red eléctrica. Solamente queda elevarla a 13,2 kV para inyectarla a la red de distribución eléctrica de la zona.

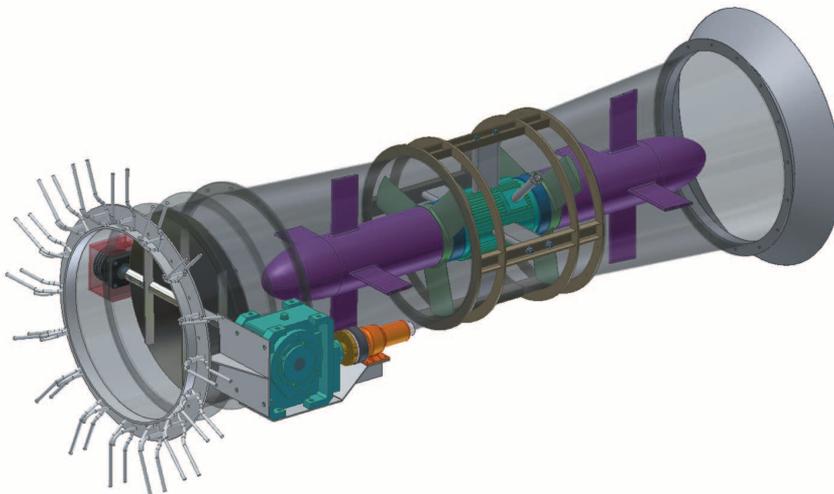


Figura 9.

El coste de los dieciséis turbogeneradores, los elementos de control y acondicionamiento de potencia, el centro de transformación y la línea de evacuación, junto con los estudios y ensayos para el diseño de la planta, y la modificación del proyecto del dique y su posterior ensayo, asciende a 1,7 millones de euros.

La instalación de aprovechamiento de la energía de las olas de Mutriku se espera que genere anualmente 600.000 kWh, evitando la emisión anual de 600 toneladas de CO₂, lo que equivale al efecto depurativo de 80 hectáreas de bosque.

Esta instalación recibe financiación parcial del VII Programa Marco de la Comisión Europea, bajo el nombre de Proyecto NEREIDA MOWC.

La fecha prevista para la entrada en funcionamiento de esta instalación de aprovechamiento de energía de las olas es marzo de 2009.

PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA CENTRAL

La obras correspondientes al Proyecto del dique de abrigo de Mutriku se adjudicaron el verano de 2005 y la finalización de todos los estudios de diseño correspondientes a la integración de la central undimotriz en el mismo, concluyeron para la primavera del año 2006. Por lo que, una vez iniciada la obra del dique hubo que redactar un *Proyecto Modificado* para poder integrar las 16 turbinas de la central OWC en la sección del mismo.

Tal y como se ha explicado en el apartado anterior, la modificación planteada no afecta al trazado del dique que sigue siendo el mismo, ni a la funcionalidad de la obra de abrigo. Lo que se cambia en líneas generales, es la sección tipo del dique en 100 metros de su longitud (algo menos de la cuarta parte) que pasa a ser una tipología de dique vertical en lugar de en talud, con la finalidad de ubicar la central OWC.

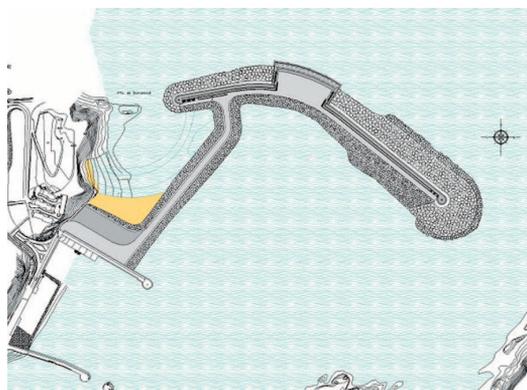


Figura 10. Planta del dique y central OWC.

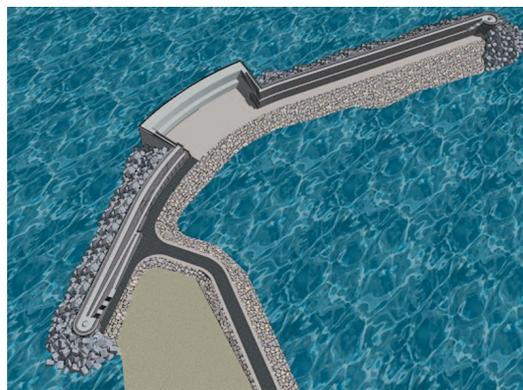


Figura 11. Simulación Vista en 3D.

Descripción del proyecto constructivo de la central

El tramo del dique vertical que aloja la central OWC se inserta en 100 metros de la planta del dique en talud, en un tramo curvo de 220 m. de radio en su lado exterior, a una profundidad de 5 m. respecto a la BMVE con respecto al 0 del puerto de Mutriku. Ello supone eliminar el manto principal de bloques de piedra caliza de 25 tn. diseñado en el proyecto del dique de abrigo, por un parapeto vertical que albergará las columnas de aire. La disposición de la sección vertical en planta de la central, coincide aproximadamente con el pie del talud del dique de escollera, por lo que la implantación de la central no supone una mayor ocupación de superficie del dominio marítimo. Sin embargo, se genera una gran explanada en su trasdós de unos 1.600 m².

El diseño del dique vertical donde se instalan las 16 columnas de aire, se proyecta con piezas prefabricadas concebidas para facilitar el proceso constructivo. La central se construye mediante la colocación de estas piezas prefabricadas, que se irán colocando unas sobre otras generando el frente vertical del dique y las columnas de aire oscilante. La apertura que transmite la oscilación de las olas a la columna de aire tiene

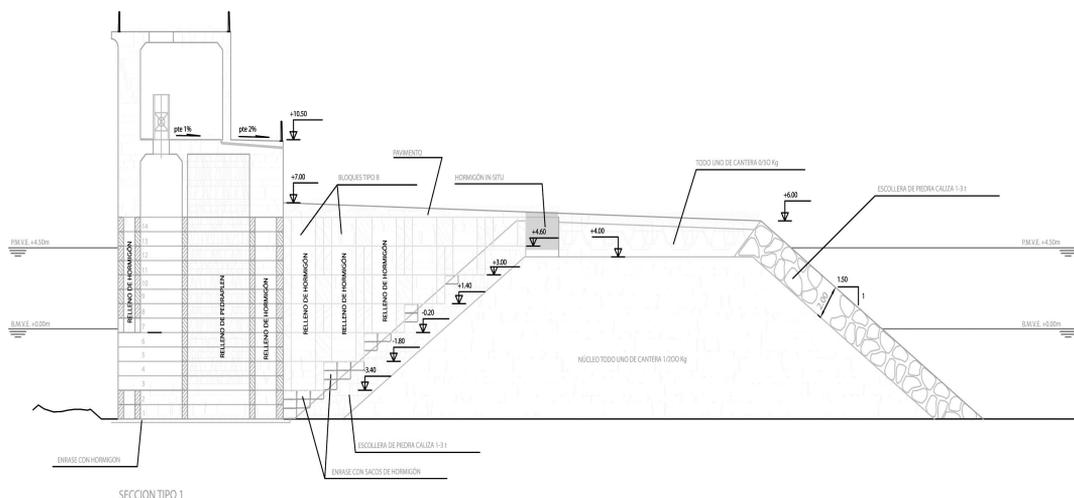


Figura 12.

unas dimensiones de 3,20 de alto y 4,00 metros de anchura, siendo la $-3,40$ m. la cota inferior, de forma que el orificio esté siempre por debajo del nivel del mar.

Estas piezas presentan una forma exterior trapecial de 12,25 m. de longitud por 6,10 m. y 5,80 m. de lados mayor y menor, respectivamente, y un canto de 0,80 m. La diferencia entre las bases mayor y menor aporta al conjunto el radio de curvatura necesario para acoplarse perfectamente a la traza del dique.

Todas las piezas consisten en un armazón de hormigón armado HA-35 con paredes de 0,40 o 0,50 m. de espesor dotado de 2 ó 3 celdas de aligeramiento, más la celda correspondiente a la formación de la columna de aire.

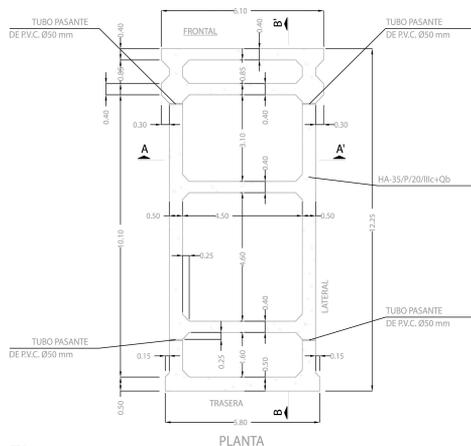


Figura 13.

En función de la localización de las piezas en la vertical del dique, no todas son iguales. Las 4 primeras piezas de cada columna, que van desde la $-3,40$ hasta la $-0,20$ m, son abiertas por el lado del mar, para poder permitir la transmisión de la oscilación de las olas a la columna interior de aire. El resto de las piezas superiores tienen contornos cerrados.

Para asegurar el comportamiento monolítico de la estructura se proyecta rellenar algunas de las celdas con hormigón y otras con pedraplén, a excepción de las 16 cámaras que formarán las columnas de aire donde se producirá la oscilación de la lámina de agua.

INNOVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

La junta vertical existente entre las diferentes columnas formadas por las piezas prefabricadas, se proyecta mediante el hormigonado de los huecos disponiendo columnas de tubos de PVC 400 en los extremos para evitar la fuga del hormigón.

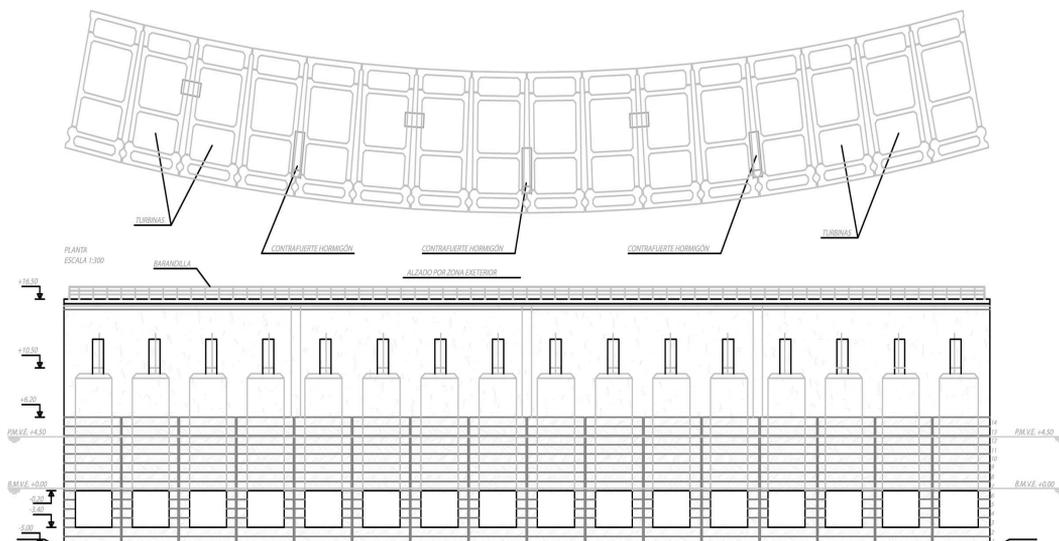


Figura 14.

Sobre las piezas prefabricadas se continúa la formación de la columna de aire y del frente del dique mediante una superestructura de hormigón armado *in situ*, que finaliza con un forjado de 80 cm de espesor, sobre el cual se instala la galería de las turbinas. Esta galería, tiene una altura libre de 5,40 m y una anchura de 6,10 m, con contrafuertes cada 25 m, alcanzando la cota de 16,50 metros, la misma que la coronación del resto del espaldón del dique.

La explanada que se genera entre el trasdós del dique-central y el núcleo del dique en talud, se cierra por sus laterales mediante la colocación de bloques prefabricados de hormigón. Estos bloques, de forma paralelepípedica de 3,00 m de anchura, 6,00 m de longitud y 1,60 m. de altura están dotados de 2 celdas que aligeran el peso del bloque y permiten un comportamiento monolítico del conjunto tras rellenarlas con hormigón. Para conectar el espaldón del dique en talud con la galería de la central y proteger totalmente la explanada de rebases, se cierra el conjunto con una sección tipo similar a la del espaldón.

Tanto los muros vistos que forman la central, excepto el frente de cara al mar, como el espaldón del resto del dique, se revisten mediante una mampostería de piedra caliza de 50 cm. de espesor, para mejorar la estética e integrar la central en el dique y en el paisaje.

Además de la obra de fábrica, se han proyectado canalizaciones de agua, electricidad y telecomunicaciones que comunican la central con los puntos de conexión correspondientes, tras llevar todas las canalizaciones a lo largo del camino de acceso al dique.

Por otra parte, para integrar la central en los recorridos peatonales del dique, se han diseñado escaleras, barandillas y rampas en el espaldón que unen la superestructura de la galería de las turbinas con el resto del dique.

Finalmente la pavimentación de la nueva explanada creada en el trasdós de la central se realizará con aglomerado asfáltico de 5 cm. de mezcla bituminosa de D-12 con 15 cm de base de zahorra artificial y 30 cm. subbase granular, que es la misma sección que la empleada en el camino de servicio del dique de abrigo.

El Presupuesto de Ejecución por Contrata del Proyecto Modificado asciende a la cantidad de 24,5 Millones de euros, de los cuales 4,4 millones de euros corresponden a la obra civil de la central y los restantes 20,1 millones de euros, al del dique de abrigo.

La realización de la central en el cuerpo del dique ha incrementado el plazo en 7 meses, siendo el plazo de ejecución total de 32 meses.

Construcción de la central undimotriz

Trabajos previos

Los trabajos correspondientes al inicio de la obra de la Central Undimotriz, dieron comienzo en el verano del 2006. Era necesario tener construido el avance del dique de abrigo en el trasdós de la central para poder alcanzar con medios terrestres el ámbito de actuación. Por lo que, cuando se iniciaron los trabajos, el camino de acceso y unos 200 metros de los 440 metros de la traza del dique, estaban ya ejecutados.

Tal y como se ha nombrado anteriormente, la central supone el cambio en la sección tipo del dique, de su inicial diseño en talud por uno en vertical, provocando la sustitución del manto de bloques de 25 Tn., por la disposición de las piezas prefabricadas que forman el frente vertical. No obstante, para poder trabajar frente al mar desde una plataforma segura, se colocaron los bloques de 25 Tn. de forma provisional como protección de la superficie del núcleo y material de filtro que componen el cuerpo de la traza del dique de abrigo. Desde esta plataforma comenzaron los trabajos propios de la central OWC.

Dragado y losa de cimentación

Para ejecutar la cimentación de la central era necesario dragar en zanja hasta regularizar la base de apoyo de la infraestructura a la cota -4,50 m. El material dragado bajo la central es de tipo rocoso, el denominado flysh negro que se refiere a formaciones detríticas de lutitas y areniscas, presente en toda la costa de la zona.

La zanja de dragado realizada, tiene unas dimensiones en planta de 14,25 m. de ancho por 102 m. de longitud y una profundidad máxima no superior a 0,50 m. Los medios utilizados para su ejecución fueron una pontona flotante, que sujeta en sus cuatro vértices, dejaba caer una peso de 3 Tn. desde un trípode de 8 metros de altura. La caída libre del peso, provocaba la rotura de la roca que posteriormente se recogía con una bivalva sujeta a una grúa desde tierra.



Figura 15.

Tras la realización de la zanja de dragado se vertió una capa de hormigón de regularización de unos 20 cm sobre la cual se construyó una losa armada de 90 cm de espesor, que sirve de base de apoyo a las piezas prefabricadas.

Además, la cimentación se completó realizando 8 anclajes con redondos de ϕ 32 empotrados 1,5 metros en roca, y 36 arranques introducidos 80 cm. en la losa que han quedado embebidos en el hormigón de relleno de las celdas.

Ejecución y colocación de las piezas prefabricadas

La ejecución de la piezas prefabricadas se realizó en el ámbito de la obra, en una explanada surgida en el arranque del camino de acceso al dique, que posteriormente será urbanizada como utilización del trasdós de la playa adjunta.

El área de prefabricados y acopio de las piezas se dispuso de forma que se pudieran ejecutar 8 unidades a la vez. El hormigón utilizado es del tipo HA-35/P/20/IIIc+Qb con cemento CEM III/B 32,5R. El tiempo de retirada de cada pieza de la zona de prefabricados a la zona de acopio era de unos 3 días. En todas ellas se dejaban 4 tubos pasantes para poder izarlas posteriormente con la grúa.

Cada columna consta de 4 piezas prefabricadas abiertas y 12 piezas cerradas. Por lo que, en total se han ejecutado 256 piezas, de las cuales 64 eran abiertas y 192 piezas cerradas.

La colocación final de cada una de las piezas se realizó desde la traza del dique, utilizando una auto grúa de celosía sobre orugas con capacidad de elevar 50 Tn. con un alcance de 40 metros. Además se utilizó la ayuda de buzos, corrigiendo pieza a pieza, las desviaciones que pudieran existir en la disposición de cada una de ellas. Se obtuvieron desviaciones máximas de 3-4 cm., regularizando dichas diferencias en la fase posterior de ejecución, esto es, con la parte de la central ejecutada con hormigón in situ.



Figura 16. Acopio de piezas.



Figura 17. Colocación de las piezas.

Relleño de las piezas y el trasdós

Una vez colocadas las piezas en su posición definitiva, se procede a rellenar con hormigón sumergido con bomba las celdas interiores con el objetivo de asegurarse un comportamiento monolítico de toda la estructura. A partir de la cota 0,00 y para ahorrar hormigón, las celdas de 4,30 x 4,50 m. se rellenan con pedraplén mientras que las celdas traseras de 0,75 m. de anchura de hueco y las delanteras de 0,85 m., se siguen rellinando con hormigón sumergido HM-30/P/20/IIIc+Qb y armadura de refuerzo.

Posteriormente se procedió a rellenar de hormigón las juntas verticales entre las diferentes columnas, utilizando a modo de encofrado perdido, tubos de PVC 400 rellenos de hormigón armado a modo de pilote.

Durante esta fase, la traza del dique y la sección vertical que se va formando con la disposición de las diferentes piezas, siguen estando separadas por el mar y por una protección de bloques de 25 tn. Pero una vez alcanzada, la cota 6,00 en la sección vertical de las columnas, se procede a retirar la protección de los bloques y a cerrar lateralmente la central mediante la disposición de las piezas prefabricadas bicelulares y unir ambos cuerpos, el de la central y el del núcleo de la traza del dique de abrigo. El material de relleno que se utiliza en el trasdós de la central es pedraplén.



Figura 18. Sección vertical y traza del dique separadas.



Figura 19. Central y dique unidas.

Realización de la galería de las turbinas

La ejecución de la galería de las turbinas se inicia con el tapado de las columnas con losas prefabricadas a modo de encofrado perdido. Encima de ellas se dispone una losa de hormigón armada de 80 cm que alberga los 16 agujeros de 0,75 metros de diámetro, donde irán las turbinas. El armado de la misma se calculó considerando las presiones de la columna de aire y el peso de las turbinas. Por otra parte, con el objeto de facilitar las conexiones de las instalaciones entre las diferentes estancias que componen la central, se han previsto pasatubos y canalizaciones que comuniquen entre sí todas las estancias.



Figura 20. Columnas previo al cierre.



Figura 21. Disposición del encofrado perdido.

Los alzados de la galería se han realizado con hormigón armado tipo HA-30/P/20/IIIa+Qb con cemento CEM III/B 32,5R vertidos con bomba utilizando encofrados de paneles fenólicos convencionales. El espesor de las paredes de la galería por el lado del mar es de 1,65 m. y de 0,80 m. del lado interior. La galería de las 16 turbinas consta interiormente de 3 contrafuertes de hormigón armado, formando 4 salas.



Figura 22. Diferentes momentos de la ejecución de la galería de las turbinas.

Realización de imposta, pretil, y barandillas

Como remate final y para integrar la central en el resto del espaldón del dique se ejecutan con una tipología similar la imposta, pretil y barandillas en los diferentes recorridos peatonales de la misma. Además el frente interior se realiza de mampostería de piedra caliza de 50 cm. de espesor, al igual que el espaldón del resto del dique. La ejecución de estos tajos de obra se realiza



Figura 23. Vista exterior de la galería con mampostería e imposta.

solapándose con el resto de los trabajos marítimos y sobre todo cuando por los diferentes estados de mar, no se pueden continuar los trabajos marítimos.

Ejecución de Servicio y Pavimentación

Se han ejecutado los servicios de agua, electricidad y telecomunicaciones que comunican la central con los puntos de conexión del término municipal, tras llevar todas las canalizaciones a lo largo del camino de acceso. Las zanjas tipo han sido: para la electricidad 2 tubos corrugados de diámetro 160 mm., para telecomunicaciones 4 tubos corrugados de diámetro 110 mm. y para el abastecimiento de agua potable un tubo de diámetro 90 mm. de polietileno.

Finalmente la obra se remata con la pavimentación de la nueva explanada de 1.600 m² generada entre el trasdós de la central y la traza del dique de abrigo, con la sección tipo descrita anteriormente.



Figura 24. Situación de la obra a junio de 2008.

