

# Memoria Constructiva del Proyecto "Batería Azul": Central Hidroeléctrica Reversible con Agua de Mar en Fuerteventura (50 MW / 800 MWh)

## 1. Preámbulo: La Reinención Hidráulica de la Maxorata

En el vasto lienzo del Atlántico, donde los vientos alisios esculpen la geografía con la paciencia de los eones, Fuerteventura se erige como un testimonio de resistencia. La "Maxorata", tierra de horizontes infinitos y sed ancestral, se enfrenta en este siglo XXI a una encrucijada existencial que trasciende la mera gestión de servicios públicos: debe conciliar su fragilidad ecológica con la imperiosa necesidad de soberanía energética e hídrica. Este documento no es, por tanto, una simple compilación de cálculos y planos; es la narrativa técnica de una intervención quirúrgica en el metabolismo de la isla, diseñada para curar su dependencia fósil sin dejar cicatrices en su piel volcánica.

La propuesta técnica que aquí se detalla, bautizada operativamente como la "Batería Azul", consiste en una Central Hidroeléctrica Reversible (CHR) de agua de mar con una potencia de 50 MW y una capacidad de almacenamiento de 800 MWh.<sup>1</sup> No se trata de una infraestructura convencional importada de las grandes cuencas fluviales continentales, sino de una solución de ingeniería "ad hoc", nacida de la comprensión profunda de las limitaciones y virtudes del territorio insular.

La ingeniería, cuando se ejerce con vocación humanista y respeto ambiental, deja de ser una imposición sobre el medio para convertirse en una simbiosis. Al utilizar el Océano Atlántico como embalse inferior infinito, liberamos a la isla de la presión sobre sus exiguos recursos hídricos subterráneos. Al almacenar el viento nocturno en forma de energía potencial, garantizamos que las desaladoras —el verdadero soporte vital de la población y el turismo— sigan operando cuando el aire se detenga. Esta memoria constructiva desgrana, con rigor y detalle, cómo transformaremos la geología de los Cuchillos de Vigán y la fuerza del mar en el corazón palpitante de un sistema eléctrico robusto, estable y, por primera vez en la historia, verdaderamente sostenible.

---

## 2. Justificación y Dimensionamiento del Sistema

## 2.1. El Diagnóstico: Vulnerabilidad en el Aislamiento

Fuerteventura opera como un subsistema eléctrico eléctricamente aislado, aunque funcionalmente unido a Lanzarote mediante un cable submarino. Esta configuración, definida técnicamente como el sistema Fuerteventura-Lanzarote, presenta una fragilidad intrínseca: la falta de inercia síncrona. En los grandes sistemas continentales, la inercia de miles de generadores rotativos actúa como un amortiguador gigantesco frente a fallos; en nuestras islas, un cambio súbito en la generación eólica o un disparo de un grupo térmico puede provocar desviaciones de frecuencia (50 Hz) fatales, llevando a apagones o "ceros energéticos".<sup>2</sup>

La penetración de renovables, aunque deseable, exacerba este problema al introducir fuentes de energía no gestionables. Actualmente, la red se estabiliza quemando fueloil y gasoil en centrales térmicas como Las Salinas, que deben mantenerse operativas (y contaminando) incluso cuando hay excedente eólico, solo para garantizar la reserva de potencia. La "Batería Azul" de 50 MW se ha dimensionado específicamente para romper este ciclo vicioso.<sup>1</sup>

## 2.2. La Ecuación de la Resiliencia: 50 MW / 16 Horas

La elección de los parámetros de diseño no es aleatoria, sino fruto de un análisis exhaustivo de la curva de demanda insular y la variabilidad del recurso eólico:

- **Potencia (50 MW):** Esta capacidad permite sustituir bloques completos de generación térmica convencional. La central podrá absorber los vertidos eólicos nocturnos (cuando la demanda baja y el viento arrecia) y, crucialmente, inyectar potencia de forma instantánea para cubrir los picos de demanda o suplir fallos en la interconexión con Lanzarote.<sup>1</sup> La tecnología de velocidad variable en las bombas permitirá, además, ofrecer servicios de ajuste de frecuencia, comportándose como una carga inteligente que "escucha" a la red.
- **Almacenamiento (800 MWh):** A diferencia de las baterías electroquímicas (Li-Ion), que suelen ofrecer autonomías de 2 a 4 horas, la ingeniería hidráulica permite el almacenamiento de larga duración (LDES). 16 horas de autonomía a plena carga significan seguridad. Significan que, ante un escenario de "calma eólica" prolongada o un fallo catastrófico en el suministro de combustible, la isla dispone de energía suficiente para mantener los servicios críticos —hospitales, bombeos de agua, telecomunicaciones— durante casi un día completo. Es, en esencia, un seguro de vida hidrológico.<sup>1</sup>

---

## 3. El Escenario Físico: Geología y Emplazamiento

La elección del emplazamiento en una isla volcánica antigua y erosionada como Fuerteventura es un ejercicio de diálogo con la geografía. Tras analizar múltiples alternativas, se ha seleccionado el sector de la costa este, en el entorno del Monumento Natural de los Cuchillos de Vigán y el Faro de la Entallada, por presentar la orografía más favorable para minimizar la distancia entre el mar y la cota necesaria.

### 3.1. Geomorfología de los "Cuchillos"

La zona de actuación se caracteriza por una morfología singular denominada "Cuchillos". Estas estructuras son interfluvios estrechos y alargados, remanentes de la erosión intensiva de los grandes edificios volcánicos en escudo de la Serie I (hace entre 13 y 20 millones de años).<sup>4</sup> Los valles que los separan son amplios, de fondo plano y perfil en "U", típicos de una red de drenaje madura que ha perdido su torrencialidad original.

Esta configuración ofrece una ventaja constructiva innegable: la proximidad de cotas altas al mar. Los acantilados y laderas escarpadas en la zona de la Entallada permiten alcanzar desniveles de 350-400 metros en distancias horizontales inferiores a 1.500 metros, lo que optimiza el ratio L/H (longitud/altura), un indicador crítico de la viabilidad económica de los proyectos hidroeléctricos.<sup>1</sup>

### 3.2. Caracterización Geotécnica del Sustrato

El éxito de la obra subterránea depende de la comprensión íntima de la roca que vamos a perforar. La geología de la zona pertenece fundamentalmente al Complejo Basal y a las Series Volcánicas Antiguas.

- **Basaltos Masivos y Coladas:** Encontraremos paquetes de coladas basálticas con disyunción columnar, rocas de alta competencia (resistencia a compresión simple > 50-80 MPa) y densidad elevada (24-27 kN/m<sup>3</sup>), ideales para el anclaje de estructuras y la estabilidad de cavernas.<sup>8</sup>
- **Piroclastos y "Jable":** Intercalados con las coladas, aparecen niveles de piroclastos, escorias y tobas volcánicas. Estos materiales presentan un comportamiento geotécnico mucho más pobre (RMR bajo), con riesgos de desmoronamiento y mayor permeabilidad. La presencia de diques intrusivos verticales, muy comunes en el macizo de Betancuria y zonas adyacentes, actuará como "costillas" de refuerzo en el macizo rocoso, aunque también pueden suponer vías preferentes de filtración de agua que deberán ser tratadas.<sup>6</sup>
- **Riesgo Sísmico y Estabilidad de Laderas:** Aunque Fuerteventura es geológicamente estable comparada con las islas occidentales, la fuerte pendiente de los cuchillos y la presencia de materiales sueltos en superficie exigen un análisis de estabilidad de taludes riguroso, especialmente frente a eventos de lluvias torrenciales que, aunque raros, pueden desencadenar procesos gravitacionales en las laderas.<sup>10</sup>

### 3.3. Restricciones Ambientales: La ZEPA y el Guirre

No construimos en el vacío. El área se solapa con la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Cuchillos de Vigán" y el Monumento Natural homónimo (C-8). Este espacio es el santuario del guirre (*Neophron percnopterus majorensis*), una subespecie endémica y símbolo de la isla.<sup>4</sup>

El respeto a esta realidad biológica impone un calendario de obra estricto. Las actividades ruidosas, especialmente las voladuras y el movimiento de tierras pesadas en superficie, quedarán terminantemente prohibidas durante la época de nidificación y cría, que abarca desde el **15 de febrero hasta el 31 de julio**.<sup>13</sup> Esta "ventana de silencio" condiciona el cronograma general y obliga a planificar los trabajos más intensivos para el segundo semestre del año, o bien a desarrollar técnicas de excavación subterránea con aislamiento acústico en boca de túnel para no perturbar a las parejas reproductoras.

---

## 4. Obra Civil: El Depósito Superior (Balsa de la Entallada)

El depósito superior es la única huella visible significativa de la central en el paisaje. Su diseño debe responder a una doble exigencia: la seguridad absoluta frente a la filtración de agua salada y la invisibilidad paisajística.

### 4.1. Diseño y Movimiento de Tierras

Se ha proyectado un depósito mediante la técnica de desmonte y terraplén compensado, aprovechando una depresión natural en la meseta superior de uno de los cuchillos, a una cota aproximada de +380 msnm.

- **Capacidad y Geometría:** El vaso tendrá un volumen útil de 1.000.000 m<sup>3</sup> (1 hm<sup>3</sup>). La forma será irregular, adaptándose a las curvas de nivel para evitar la artificialidad de las geometrías rectilíneas. La profundidad de la lámina de agua oscilará entre los 15 y 18 metros.
- **Diques de Cierre:** Se ejecutarán diques de materiales sueltos (escollera con núcleo impermeable o pantalla) utilizando el basalto extraído de la excavación. Para garantizar la integración visual, los taludes exteriores de los diques serán muy tendidos (3H:1V o superior) y se recubrirán con "pedraplén" local, imitando la textura y color de los canchales naturales del entorno. No se permitirá hormigón visto en los paramentos exteriores.<sup>1</sup>

### 4.2. Impermeabilización de Alta Seguridad

La contención de agua de mar en tierra exige estándares de estanqueidad nucleares. Una fuga no solo perdería el recurso energético, sino que la salmuera infiltrada esterilizaría el suelo y contaminaría los acuíferos subyacentes, un desastre ambiental inadmisible.<sup>16</sup>

Se instalará un sistema de revestimiento multicapa de última generación:

1. **Capa de Soporte:** Regularización del fondo de excavación con hormigón de limpieza o material granular fino seleccionado para evitar el punzonamiento por aristas de roca volcánica.
2. **Geotextil de Protección:** De alto gramaje ( $>500 \text{ g/m}^2$ ), polimérico no tejido.
3. **Red de Drenaje Testigo:** Un sistema de geocompuestos drenantes sectorizados que conducen cualquier posible filtración a arquetas de control monitorizadas. Esto permite detectar la ubicación exacta de una fuga antes de que afecte al terreno.<sup>15</sup>
4. **Barrera Impermeable Principal:** Lámina de Polietileno de Alta Densidad (PEAD / HDPE) de 2,0 mm o 2,5 mm de espesor. El PEAD se selecciona por su excelente resistencia química a la salinidad y su durabilidad ante la radiación UV, superior a la del PVC o EPDM en estas condiciones.<sup>18</sup> Las uniones se realizarán mediante soldadura de doble cordón con canal de comprobación de aire a presión.

### 4.3. Control de la Evaporación

Bajo el sol de Fuerteventura, una lámina de agua de 8 hectáreas perdería miles de metros cúbicos anuales por evaporación, concentrando la salinidad (hipersalinización) y afectando a los equipos. Se contempla la instalación de una cobertura flotante modular (esferas o hexágonos de HDPE negro) que cubra el 90% de la superficie. Esta solución reduce la evaporación drásticamente y evita el crecimiento de algas por bloqueo de la fotosíntesis, mejorando la calidad del agua turbinada.<sup>1</sup>

---

## 5. El Circuito Hidráulico: Ingeniería de Fluidos y Materiales

La conexión entre el océano y la cumbre es una arteria de alta presión que debe resistir uno de los ambientes más corrosivos del planeta.

### 5.1. Conducción Forzada Subterránea

Para eliminar el impacto visual en el Monumento Natural, la tubería forzada (penstock) será **íntegramente subterránea**.

- **Túnel Inclinado:** Se excavará un túnel con una pendiente de entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$ , conectando la casa de máquinas con el depósito superior. El método constructivo

preferente será la perforación y voladura (Drill & Blast) para secciones grandes, o el uso de una tuneladora TBM de doble escudo si la longitud y la homogeneidad de la roca lo justifican.<sup>19</sup> En las zonas de piroclastos inestables, se empleará el método de paraguas de micropilotes y cerchas metálicas pesadas para el sostenimiento previo.<sup>20</sup>

- **Blindaje de Acero:** Dentro del túnel, se instalará la tubería de acero, rellenando el espacio anular (backfill) con hormigón de alta fluidez. Este hormigón confiere estabilidad a la tubería y transmite parte de la presión interna al macizo rocoso, permitiendo reducir el espesor del acero.

## 5.2. Metalurgia Extrema: La Elección del Super Duplex

El uso de agua de mar descarta el acero al carbono convencional (que requeriría mantenimientos de pintura interna imposibles) y pone en jaque al acero inoxidable 316L, susceptible a la corrosión por picaduras (*pitting*) y bajo tensión (SCC) en aguas cloruradas cálidas.<sup>21</sup>

La decisión técnica irrevocable es el uso de **Acero Inoxidable Super Duplex** (grados UNS S32750 o S32760, equivalentes a SAF 2507 o Zeron 100).

- **Resistencia a la Corrosión:** Con un PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) superior a 40 ( $\text{PREN} = \%Cr + 3.3\%Mo + 16\%N$ ), el Super Duplex es virtualmente inmune al ataque de cloruros en las condiciones de operación previstas ( $<30^{\circ}\text{C}$ ).<sup>23</sup>
- **Resistencia Mecánica:** Su límite elástico es aproximadamente el doble que el de los aceros austeníticos (serie 300). Esto permite reducir el espesor de pared de la tubería a la mitad, lo que, a pesar del mayor coste por kilo del material, hace que el coste total sea competitivo y reduce el peso de los tramos a manipular en el túnel.<sup>25</sup>
- **Soldadura Crítica:** La soldadura de estos aceros es un proceso de alta tecnología. Se requiere un control térmico estricto (heat input) entre 0.5 y 1.5 kJ/mm para mantener el equilibrio de fases (50% austenita / 50% ferrita) y evitar la precipitación de la fase sigma, un compuesto intermetálico frágil que destruye la resistencia a la corrosión. Todos los procedimientos de soldadura (WPS) serán cualificados con ensayos de corrosión ASTM G48.<sup>27</sup>

---

## 6. Obras Marítimas: Captación y Vertido

La interfaz con el Atlántico es el punto más sensible biológica y operativamente. Se descartan las escolleras visibles y los diques de abrigo tradicionales en favor de soluciones submarinas invisibles.

### 6.1. Toma con Tecnología "Velocity Cap"

La captación de agua se realizará mediante una torre de toma sumergida a una profundidad de -15 a -20 metros (isobata). Para mitigar el impacto sobre la fauna marina, se instalará un dispositivo "**Velocity Cap**" (tapa de velocidad).

- **Principio de Funcionamiento:** Esta estructura de hormigón o Super Duplex transforma el flujo de succión vertical en un flujo horizontal. Los peces tienen una capacidad sensorial lateral que les permite detectar cambios en la velocidad horizontal y nadar contracorriente para escapar, algo que no pueden hacer eficazmente contra una succión vertical desde abajo.
- **Velocidad de Diseño:** La velocidad de entrada en las rejillas perimetrales se limitará a **0,15 m/s**, cumpliendo con los estándares internacionales más exigentes (BTA - Best Technology Available) para minimizar el atrapamiento (*impingement*) de peces adultos y la succión (*entrainment*) de alevines y plancton.<sup>1</sup>

## 6.2. Inmisario mediante Microtúnel (Pipe Jacking)

Para conectar la toma con la costa sin abrir una zanja destructiva en la zona de rompiente y playa, se ejecutará un **microtúnel hincado**.

- **Técnica:** Desde un pozo de ataque situado en tierra (cerca de la casa de máquinas), una micro-tuneladora (MTBM) empujará la tubería de conducción bajo el lecho marino hasta emerger ("calar") en el punto de toma exacto.
- **Ventajas:** Esta técnica elimina la turbidez en el agua durante la obra (protegiendo los seabedales cercanos), no afecta al uso público de la costa y protege la conducción frente a los temporales más severos, ya que queda enterrada profundamente bajo el fondo marino.<sup>31</sup>
- **Material de la Tubería:** Se emplearán tubos de hormigón armado con camisa de chapa de acero interior y juntas de estanqueidad de alto rendimiento, o tuberías de PRFV diseñadas para las fuerzas de empuje de la hincada.<sup>32</sup>

## 6.3. Control del Biofouling

El "biofouling" (incrustación biológica: mejillones, algas, dientes de perro) es el enemigo silencioso de las conducciones marinas. Reduciría el diámetro útil y aumentaría la rugosidad, disparando las pérdidas de carga. Se instalará una planta de **electrocloración** en la casa de máquinas. Este sistema genera hipoclorito sódico in situ mediante la electrólisis del agua de mar captada, dosificándolo en la toma de forma pulsante (*shock dosing*) o continua a muy baja concentración. El objetivo es crear un ambiente hostil para el asentamiento de larvas sin generar una pluma tóxica en el vertido, asegurando que el cloro residual a la salida sea despreciable (<0.1 ppm).<sup>1</sup>

---

## 7. Casa de Máquinas y Equipamiento Electromecánico

El corazón electromecánico del sistema se alojará en una caverna subterránea o en una estructura semienterrada y mimetizada en la base del acantilado, para anular el impacto visual y acústico.

### 7.1. Turbinas-Bomba Reversibles de Velocidad Variable

Se instalarán **dos grupos reversibles de 25 MW** cada uno, tipo Francis de etapa simple. La decisión clave aquí es la **velocidad variable**.

- **La Necesidad de la Velocidad Variable:** En una central de bombeo clásica, la bomba consume una potencia fija (ej. 25 MW) y no puede regularse; es "todo o nada". Para un sistema aislado como Fuerteventura, con una eólica muy fluctuante, esto es ineficiente. La velocidad variable (mediante convertidores de frecuencia *Full Converter* o generadores asíncronos de doble alimentación DFIM) permite regular la potencia consumida en modo bombeo. Si sobran 15 MW de eólica, la central bombea a 15 MW; si sobran 40 MW, sube a 40 MW. Esto convierte a la central en una herramienta de **balanceo dinámico de la red**, estabilizando la frecuencia minuto a minuto.<sup>1</sup>
- **Materiales de los Grupos:** Los componentes en contacto con el agua de mar (rodete, álabes directrices, tapa de turbina) se fabricarán en acero inoxidable Super Duplex fundido (tipo ASTM A890 Grade 5A/6A) o contarán con recubrimientos cerámicos avanzados para resistir la erosión-corrosión y la cavitación en un medio tan agresivo.<sup>35</sup> Se dispondrá de protección catódica por corriente impresa (ICCP) en el interior de la voluta.

### 7.2. Subestación GIS y Transformadores

Para minimizar la huella ocupada y proteger los equipos de la atmósfera salina, la subestación será de tipo **GIS (Gas Insulated Switchgear)**, encapsulada en gas (SF6 o alternativas ecológicas g3), ubicada en el interior del edificio. Los transformadores elevadores conectarán la generación a la tensión de transporte (132 kV o 66 kV) para su evacuación.

---

## 8. Integración en la Red Eléctrica Insular

La energía no sirve de nada si no se puede transportar. La central se conectará al nodo más robusto del sur de la isla: la futura Subestación de Gran Tarajal a 132 kV.

### 8.1. Línea de Evacuación Soterrada

La conexión se realizará mediante una **línea subterránea de alta tensión** de doble circuito.



El soterramiento es innegociable por dos motivos: la protección del paisaje y, fundamentalmente, la protección de la avifauna (guirre y hubara), evitando el riesgo de colisión y electrocución que suponen los tendidos aéreos.<sup>1</sup>

- **Tecnología:** Cables unipolares con aislamiento seco XLPE, pantalla de hilos de cobre y cubierta de PEAD, alojados en bancos de tubos hormigonados o en zanja directa con arena térmica para disipar el calor generado.<sup>38</sup>
- **Trazado:** Se aprovecharán los corredores de infraestructuras existentes (carreteras FV-2, FV-511) siempre que sea posible para minimizar la ocupación de nuevos terrenos.

## 8.2. Contribución a la Estabilidad (Inercia)

Más allá de los MWh, la central aporta inercia. Los grupos hidroeléctricos, al tener grandes masas rotantes acopladas a la red (virtualmente a través de la electrónica de potencia en el caso de velocidad variable), proporcionan la inercia necesaria para evitar que la frecuencia se desplome ante un fallo. Es la función que actualmente realizan los volantes de inercia experimentales en Lanzarote, pero a una escala masiva y con capacidad de respaldo energético real.<sup>2</sup>

---

# 9. Planificación, Logística y Construcción

Construir una obra faraónica en una isla exige una logística de precisión militar.

## 9.1. Logística Portuaria: Gran Tarajal

El puerto de entrada para la maquinaria pesada (tuneladora TBM o rozadoras, grúas de gran tonelaje) y los componentes críticos (transformadores, rodets de turbina) será el **Puerto de Gran Tarajal**. Este puerto cuenta con líneas de atraque de 170 metros y calado de 6 metros, apto para buques de carga general, y dispone de explanadas suficientes para el acopio temporal.<sup>40</sup>

- **Ruta de Transporte:** El traslado desde el puerto hasta la zona de obra (unos 10-12 km) implicará el paso por la carretera FV-511. Esta vía es estrecha y sinuosa en su tramo final hacia el Faro de la Entallada. Será necesario realizar estudios de gálibos y radios de giro, y probablemente acondicionar tramos o habilitar pistas provisionales ("bypass") para los transportes especiales de las piezas más largas (tuberías) o pesadas (transformadores).<sup>42</sup>

## 9.2. Gestión de Estériles y Economía Circular

La excavación de la balsa y los túneles generará un volumen de roca (basalto) superior al necesario para los rellenos.

- **Estrategia de Residuo Cero:** Se instalará una planta de machaqueo y clasificación in situ. La roca sana extraída se transformará en áridos para los hormigones de la obra (previo lavado para eliminar cloruros si hay contaminación salina), material drenante, bases de viales y escollera para los diques de la balsa.
- **Restauración:** El material excedente no apto (tierras, piroclastos degradados) se utilizará para la restauración morfológica de antiguas canteras o zonas degradadas de la isla, siempre bajo supervisión ambiental, evitando la creación de nuevas escombreras visibles.<sup>1</sup>

### 9.3. Cronograma y Fases

La ejecución se estima en **48 meses (4 años)**, condicionados fuertemente por las paradas biológicas del guirre:

1. **Fase 1 (Año 1):** Ingeniería de detalle, permisos, habilitación de accesos y campamento de obra. Inicio de la excavación de la caverna de máquinas y emboquille del túnel (fuera de época de cría).
2. **Fase 2 (Año 2):** Perforación del túnel de conducción y del microtúnel marino. Excavación masiva del depósito superior.
3. **Fase 3 (Año 3):** Hormigonado y revestimiento de la balsa (PEAD). Instalación de la tubería forzada (soldadura Super Duplex). Montaje de turbinas y equipos eléctricos. Construcción de la línea de evacuación.
4. **Fase 4 (Año 4):** Pruebas de estanqueidad, llenado del circuito, pruebas de carga, puesta en marcha (commissioning), restauración ambiental y desmovilización.

---

## 10. Presupuesto y Viabilidad Económica

La inversión estimada para un proyecto de esta complejidad técnica y logística en un entorno insular se sitúa en el rango de los **130 a 160 millones de euros**.

| Capítulo de Inversión                | Estimación (€) | Notas Técnicas                                            |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------|
| Obra Civil (Balsa, Túneles, Caverna) | 50 - 60 M€     | Incluye excavación en roca dura y sostenimiento complejo. |
| Equipamiento Electromecánico         | 40 - 50 M€     | Turbinas velocidad variable, materiales Super             |

|                                          |                |                                                       |
|------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|
|                                          |                | Duplex (alto coste).                                  |
| <b>Tubería Forzada y Blindajes</b>       | 20 - 25 M€     | Coste del acero aleado y soldadura especializada.     |
| <b>Obras Marítimas (Toma/Microtúnel)</b> | 15 - 20 M€     | Tecnología "trenchless" y trabajos subacuáticos.      |
| <b>Línea Eléctrica y Subestación</b>     | 8 - 12 M€      | Soterramiento 132 kV y tecnología GIS.                |
| <b>Ingeniería y Gestión Ambiental</b>    | 10 - 15 M€     | Estudios, vigilancia ambiental estricta, imprevistos. |
| <b>TOTAL ESTIMADO</b>                    | <b>~155 M€</b> | <i>Sujeto a proyecto constructivo final.</i>          |

Aunque el CAPEX es elevado (aprox. 3.000 €/kW), el análisis de viabilidad no debe mirar solo la inversión inicial. El ahorro operativo (OPEX) al desplazar la generación con combustibles fósiles, evitar el pago de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> y, sobre todo, garantizar la estabilidad del precio del agua desalada, ofrece una Tasa Interna de Retorno (TIR) social y económica positiva a largo plazo.<sup>44</sup> Además, el proyecto es elegible para fondos europeos Next Generation y FEDER destinados a la transición energética en regiones ultraperiféricas.

---

## 11. Epílogo: Un Legado de Futuro

La Central de Bombeo Reversible "Batería Azul" no es un lujo ingenieril; es una necesidad física. Fuerteventura no puede permitirse seguir vertiendo viento limpio mientras quema petróleo sucio para producir el agua que bebe. Esta infraestructura es el eslabón perdido que cierra el círculo de la sostenibilidad insular.

Al finalizar la obra, el visitante que contemple el Faro de la Entallada apenas notará cambios en el paisaje; la tubería estará oculta bajo la roca, la balsa mimetizada con el color de la tierra y la toma de agua sumergida en el azul profundo. Sin embargo, sentirá el cambio cada vez

que encienda la luz o abra el grifo, sabiendo que esa energía y esa agua provienen del viento y del mar, gestionados con la inteligencia y el respeto que esta isla merece. Es la ingeniería puesta al servicio de la vida, garantizando que la Maxorata siga siendo habitable, resiliente y orgullosa de su vanguardia tecnológica.

---

Firma:

Ingeniero Director de Proyecto

Especialista en Infraestructuras Hidráulicas y Sistemas Aislados

## Obras citadas

1. Central Bombeo Fuerteventura\_ Informe Técnico.docx
2. Red Eléctrica pone en servicio en Lanzarote un volante de inercia para estabilizar la frecuencia y la tensión | Redeia, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.redeia.com/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2014/10/red-electrica-pone-en-servicio-en-lanzarote-un-volante-de-inercia>
3. Estabilizador de frecuencia y tensión basado en el volante de inercia. Proyecto de I+D+i - Red Eléctrica, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://www.ree.es/sites/default/files/presentacion\\_volante\\_de\\_inercia\\_0.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/presentacion_volante_de_inercia_0.pdf)
4. Monumento natural Cuchillos de Vigán - Cabildo de Fuerteventura, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://www.cabildofuer.es/documentos/Medio\\_ambiente/publicaciones/MN\\_Cuchillos\\_Vigan.pdf](https://www.cabildofuer.es/documentos/Medio_ambiente/publicaciones/MN_Cuchillos_Vigan.pdf)
5. Geología de Fuerteventura, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://fuerteventuraunparaisopordescubrir.blogspot.com/2015/09/geologia-de-fuerteventura.html>
6. Inventario de recursos vulcanológicos de Fuerteventura, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://fuerteventurabiosfera.org/wp-content/uploads/2018/06/Inventario\\_Volcanes\\_web.pdf](https://fuerteventurabiosfera.org/wp-content/uploads/2018/06/Inventario_Volcanes_web.pdf)
7. 4-3. Sea Water Pumped-Storage Power Plant, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11466158\\_02.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11466158_02.pdf)
8. Utilización en construcción y comportamiento geotécnico de los materiales volcánicos de Canarias - Obras Urbanas, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://obrasurbanas.es/utilizacion-en-construccion-y-comportamiento-geotecnico-de-los-materiales-volcanicos-de-canarias/>
9. avant, fecha de acceso: enero 17, 2026, [http://info.igme.es/FondoCartograficoIMG/GEO\\_DETALLE%5C27178.PDF](http://info.igme.es/FondoCartograficoIMG/GEO_DETALLE%5C27178.PDF)
10. Zonación de peligros por procesos gravitacionales en el flanco suroccidental del volcán Pico de Orizaba, México - Elsevier, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.elsevier.es/es-revista-investigaciones-geograficas-boletin-del-instituto-118-articulo-zonacion-peligros-por-procesos-gravitacionales-en-S018846111470888X>

11. mlfea.pdf - Protección Civil, fecha de acceso: enero 17, 2026, <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/363/1/images/mlfea.pdf>
12. Monumento Natural de Cuchillos de Vigán - IDE Canarias, fecha de acceso: enero 17, 2026, [http://www.idecanarias.es/resources/PLA\\_ENP\\_URB/FV/AD/F-08\\_Cuchillos\\_de\\_Vigan/149/TIP/nc\\_mn\\_cvig\\_mi.pdf](http://www.idecanarias.es/resources/PLA_ENP_URB/FV/AD/F-08_Cuchillos_de_Vigan/149/TIP/nc_mn_cvig_mi.pdf)
13. El Cabildo cierra el paso en diferentes tramos de senderos y barrancos de Fuerteventura para favorecer la reproducción del guirre, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.cabildofuer.es/cabildo/el-cabildo-cierra-el-paso-en-diferentes-tramos-de-senderos-y-barrancos-de-fuerteventura-para-favorecer-la-reproduccion-del-guirre/>
14. El Cabildo cierra el paso en 9 tramos de senderos y barrancos para apuntalar el periodo reproductor del Guirre - Noticias Fuerteventura, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.noticiasfuerteventura.com/fuerteventura/el-cabildo-cierra-el-paso-en-9-tramos-de-senderos-y-barrancos-para-apuntalar-el-periodo-reproductor-del-guirre>
15. CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE ESTÉRILES DEL PROYECTO RIO TINTO Juan José Carrasco Gómez - Spancold, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2021/02/JSPeM20210223-Construcci%C3%B3n-y-operaci%C3%B3n-Proyecto-Riotinto-Juan-Jos%C3%A9-Carrasco.pdf>
16. ¿Cómo prevenir y reducir la salinidad del suelo? - Ilga Importadora, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://ilgaimportadora.com/como-prevenir-y-reducir-la-salinidad-del-suelo/>
17. Salinidad Del Suelo: Causas, Señales Y Efectos De La Salinización - EOS Data Analytics, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://eos.com/es/blog/salinidad-del-suelo/>
18. EJECUCIÓN DE BALSAS PARA RIEGOS. Colocación láminas, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://www.mapa.gob.es/dam/jcr:917c4cbe-4e9c-4e41-8d6c-5b02828f4bea/3\\_ejecucion\\_lamina\\_imp.pdf](https://www.mapa.gob.es/dam/jcr:917c4cbe-4e9c-4e41-8d6c-5b02828f4bea/3_ejecucion_lamina_imp.pdf)
19. tuneladora tbm de doble escudo para roca - FCMAF - Reportajes: Infraestructuras Ferroviarias, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://fcmaf.es/PEIT/PEIT\\_al\\_dia/Anexos-Tuneladora-TBM.htm](https://fcmaf.es/PEIT/PEIT_al_dia/Anexos-Tuneladora-TBM.htm)
20. Estabilización de taludes y emboquille del túnel de Lubián - Obras Urbanas, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://obrasurbanas.es/taludes-emboquille-tunel-lubian/>
21. 03255 - EXPERIENCES WITH SUPERDUPLEX STAINLESS STEEL IN SEAWATER - Rolled Alloys Canada, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.rolledalloys.ca/wp-content/uploads/Experiences-With-Super-Duplex-Stainless-Steel-In-Seawater-rolled-alloys.pdf>
22. Aleaciones de acero AISI 904L y Duplex en agua de mar - Foncal, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://foncal.es/aleaciones-de-acero-aisi-904l-y-duplex-en-agua-de-mar/>

23. What is Super Duplex Stainless steel? A detailed guide to Grade 2507, and other Super Duplex variants - Stirlings Performance Steels, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://stirlings.com.au/blog/super-duplex-grade-2507-uns32750>
24. What Makes Super Duplex Plate Perfect For Seawater Systems? - Sasa Alloy CO., LTD, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.sasaalloy.com/news/what-makes-super-duplex-plate-perfect-for-seawater-systems>
25. the role of super duplex and duplex pipes in subsea oil and gas exploration - Special Piping Materials, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://specialpipingmaterials.com/the-role-of-super-duplex-and-duplex-pipes-in-subsea-oil-and-gas-exploration/>
26. Tubería de acero súper dúplex SAF 2507, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.baogangpipe.com/duplex-steel-pipe/super-duplex-steel-saf-2507-pipe.html>
27. Technical Challenges in Using Super Duplex Stainless Steel - ResearchGate, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://www.researchgate.net/publication/390899051\\_Technical\\_Challenges\\_in\\_Using\\_Super\\_Duplex\\_Stainless\\_Steel](https://www.researchgate.net/publication/390899051_Technical_Challenges_in_Using_Super_Duplex_Stainless_Steel)
28. Welding metallurgy of duplex stainless steel | Outokumpu, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.outokumpu.com/en/expertise/2021/welding-metallurgy-of-duplex-stainless-steel>
29. The Engineer's Guide to Duplex Stainless Steel Fabrication: From Blueprint to Performance, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://northernmfg.com/the-engineers-guide-to-duplex-stainless-steel-fabrication/>
30. Derivation of Engineering Design Criteria for Flow Field Around Intake Structure: A Numerical Simulation Study - MDPI, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/10/827>
31. Diseño y ejecución de emisarios submarinos con microtúnel desde tierra - Eurohinca, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://eurohinca.com/es/como-se-disena-y-ejecuta-un-emisario-submarino-mediante-microtunel-desde-tierra/>
32. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL “EMISARIO SUBMARINO DE LA ALDEA DE SAN NICOLÁS”, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.aguasgrancanaria.com/pdfs/Anuncios/EIA%20emisario%20La%20Aldea%20v03rev02-Parte1.pdf>
33. Turbinas de Bombeo, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.gugler.com/es/produkt/turbinas-bombeo/>
34. Pumped-storage hydroelectricity - Wikipedia, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage\\_hydroelectricity](https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity)
35. Experiences with superduplex stainless steel in seawater - NeoNickel, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.neonickel.com/wp-content/uploads/2016/12/72.-Experiences-with-SDSS-in-Seawater.pdf>
36. Tubo Super Duplex - Stainless Steel Pipe Manufacturer, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.hnyasco.com/es/product/tubo-super-duplex/>
37. tomo x: - documento de síntesis estudio de impacto ... - Red Eléctrica, fecha de

acceso: enero 17, 2026,

[https://www.ree.es/sites/default/files/04\\_SOSTENIBILIDAD/Documentos/tramitacion\\_ambiental/DIA/Documento%20S%C3%ADntesis%20Parque%20Gran%20Tarajal%20132%20kV.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/04_SOSTENIBILIDAD/Documentos/tramitacion_ambiental/DIA/Documento%20S%C3%ADntesis%20Parque%20Gran%20Tarajal%20132%20kV.pdf)

38. LÍNEA SUBTERRÁNEA DE ALTA TENSIÓN, 66 kV, DOBLE CIRCUITO, DESDE NUEVA SUBESTACIÓN - Generalitat Valenciana, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://cindi.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Alicante/ATASCT\\_2022\\_117/7%20--22A117\\_Proyecto%20\(linea\)\\_firm.pdf](https://cindi.gva.es/auto/energia/InformacionPublica/Alicante/ATASCT_2022_117/7%20--22A117_Proyecto%20(linea)_firm.pdf)
39. Proyecto Tipo de Líneas de Alta Tensión Subterráneas, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/eon-distribucion/YE-LSAT.01\\_1.pdf](https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/eon-distribucion/YE-LSAT.01_1.pdf)
40. Gran Tarajal - Puertos Canarios, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://puertoscanarios.es/project/gran-tarajal/>
41. Gran Tarajal | Puertos Canarios, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://puertoscanarios.es/tag/gran-tarajal/>
42. Faro de La Entallada from Las Playitas - Profile of the ascent - climbfinder.com, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://climbfinder.com/en/climbs/faro-de-la-entallada-las-playitas>
43. Category:Roads in Fuerteventura - Wikimedia Commons, fecha de acceso: enero 17, 2026, [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Roads\\_in\\_Fuerteventura](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Roads_in_Fuerteventura)
44. Diseño y cálculo de una central híbrida solar-hidráulica en Gran Canaria, fecha de acceso: enero 17, 2026, [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532018000300250](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532018000300250)
45. CENTRAL HIDROELÉCTRICA REVERSIBLE - Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, fecha de acceso: enero 17, 2026, <https://www.aguasgrancanaria.com/pdfs/Presas/Listado/CentralReversible.pdf>