

CONSTRUCCIÓN DEL GBS PARA EL PROYECTO ADRIATIC LNG TERMINAL

Sr. D. Antonio Arcas Cubero, Ingeniero de Caminos. Canales y Puertos

En enero de 2005 se acometió la ejecución de una innovadora superplataforma de gas natural en la Bahía de Algeciras, que entró en servicio en 2008 en la costa de Venecia (Italia). El Proyecto global involucró a algunas de las mayores empresas del mundo y supuso la apertura y coordinación de centros de trabajo y producción en España, Italia, Qatar, Corea del Norte, Noruega y Estados Unidos.

La base de San Roque, en la Bahía de Algeciras en Andalucía, se convirtió durante más de tres años en el centro neurálgico donde confluyeron materiales, módulos y equipos para construir la espectacular estructura de la plataforma, que desplazó una vez flotada, más de 280.000 t, lo que la convirtió en la estructura más pesada jamás flotada desde un dique seco hasta ese momento, y que a posteriori, se remolcó hasta su emplazamiento definitivo, 13 km mar adentro en el Adriático. Por su tipología, dimensiones (180 m de largo por 88 m de ancho y 47 m de alto) y métodos constructivos se trató de una obra de gran singularidad, introduciendo para la historia el concepto hecho realidad, construir en dique seco la primera plataforma *off-shore* de GNL.

El proyecto fue encargado por un consorcio Qatarí-Italo-Americano, elaborado por una ingeniería y Dirección de obra Noruega, y ejecutado por una empresa española, Acciona Infraestructuras, como subcontratista de la obra civil. Las exigencias fueron extremas en cuanto a la prevención de riesgos y accidentes laborales, al igual que los requisitos de calidad, más allá de los habituales en los proyectos *off-shore*.

El impacto social de esta obra fue de gran relevancia y muy positivo, en una zona deprimida y azotada por el paro como la Bahía de Algeciras, con un pasado y presente industriales, en los que subyace la presencia de mano de obra especializada. Durante más de tres años se contrató a miles de trabajadores. De gentes del sur, ávidas

por tener una oportunidad de demostrar al mundo que son capaces de construir cualquier obra de ingeniería, por complicada que sea, en tiempo y sin bajas.

Además, en una de las zonas más contaminadas de España, se consiguió que el impacto sobre el medio ambiente, en un área como indicamos ya degradada y muy industrializada, fuera mínimo, aportando la bandera de la sostenibilidad como diferenciadora de los grandes proyectos de ingeniería del siglo XXI. En su emplazamiento frente a Venecia, mar adentro, se alza la impresionante mole de la Terminal, y se ha eliminado prácticamente el impacto sobre el territorio y el medio natural y humano, de este tipo de complejos industriales, cuya repercusión sobre la opinión pública y contestación social están hoy a la orden del día en España.

1. INTRODUCCIÓN. CENTRAR EL TEMA. UNA DECISIÓN DIFÍCIL

La decisión sobre qué tema versar esta comunicación acerca del proyecto ADRIATIC LNG ha sido una tarea muy difícil, puesto que se trata de una obra en que concurrieron, y de forma sobresaliente, muchos temas técnicos, que podrían haberse abordado desde la perspectiva propuesta por la Organización de la Jornada. Y además, como se pudo cotejar con las numerosas publicaciones en prensa en las semanas previas a la realización de la misma, el tema energético y en particular sobre el almacenamiento de gas o prospecciones para su obtención, es de máxima actualidad y no está exento de grandes controversias y corrientes de opinión.

La experiencia que he tratado de resumir, la construcción del GBS, creo merece la pena ser escuchada. Todos los que tuvimos la suerte de pasar por ella (o desgracia, como me contaba un compañero recordando nuestra participación en el Proyecto, que unos días antes me decía: *No estoy preparado*

psicológicamente para otra obra así), coincidimos en que marcó nuestras vidas. Hablo de muchos ingenieros, hombres y mujeres, gente de ciencia de las más diversas ramas. Preparar esta ponencia me ha supuesto un ejercicio de memoria que he agradecido (la obra se ejecutó entre los años 2005 y 2007) pues en un momento muy crítico profesionalmente, me ha permitido revisar vivencias que me enriquecieron y formaron, y creo hoy tienen más validez e interés que nunca.

Y de esa experiencia creo se extraen valiosas lecciones aprendidas que pienso deberían ser la clave para la transformación de parte del sector de la construcción hacia un nuevo modelo, moderno, más técnico, sostenible y enfocado al desarrollo del país, por ejemplo en el sector ligado al desarrollo de fuentes energéticas, de las que de momento al menos, adolecemos, y que condicionan el progreso y futuro de nuestro país, que está en una situación que demanda encontrar fuentes que ayuden a aumentar la riqueza, disminuir los gastos y la dependencia exterior equilibrando nuestra balanza comercial, y ayudando a crear puestos de trabajo.

La pretensión de esta ponencia no podía ser enfocada como una alternativa a los interesantes temas que de manera tan magistral se trataron por parte de los otros ponentes. Se trataba de buscar complementariedad, con estas y/o probablemente con otras alternativas. Y de que los sabios en estas materias conocieran en detalle que existen muy diversas soluciones técnicas viables, y que puedan pensar en elegir las que más convengan al país.

Con ella trato de darles argumentos para evidenciar algo que lleva bastante tiempo inventado, puede revisarse, mejorarse, adaptarse y reinventarse para convertirse bajo ciertos supuestos en una alternativa/complemento viable y medio ambientalmente muy interesante.

Porque la idea de almacenar el GNL y suministrarlo vía gaseoductos es algo poco novedoso. Es una tecnología que ya se encontraba desarrollada a mediados del siglo pasado. En España contamos con numerosos complejos industriales de almacenamiento, regasificación y distribución de GNL, pero sin duda, tenemos capacidad para poner en valor lo ya existente, que según datos del

sector se encuentra infrautilizado, y por qué no, convertirnos en una potencia que exporte tecnología y capacidad de construcción a nuestro entorno.

2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

En noviembre de 2005, Aker Kvaerner adjudicó a Acciona Infraestructuras S.A. la ejecución de la obra civil de la estructura de hormigón base de la plataforma de regasificación para el Adriático (GBS-Gravity Based Structure), de las instalaciones y de todas las de infraestructuras auxiliares y de apoyo al Proyecto, a ser ejecutado en el Recinto Portuario CRINAVIS en la localidad de Campamento-San Roque, Cádiz.

Asimismo, el contrato adjudicado incluyó la construcción de las contenciones secundarias del gas natural licuado y las del aislamiento interior de los recintos que albergarán a los tanques contenedores del mismo. Entre los criterios aplicados para la selección del emplazamiento, primó su situación geográfica estratégica en la entrada de mediterráneo, las buenas condiciones de accesibilidad y climáticas y el más que suficiente calado existente en la bahía de Algeciras, lo que permitió la construcción en dique seco y posterior flotación de una estructura de las dimensiones del GBS.

2.1. GBS - Gravity Based Structure

El GBS se puede asociar a la idea de una isla artificial y/o de un buque de doble casco, dado que también navegó en la última fase del Proyecto, o a una plataforma de forma prismática, fabricada con hormigón fuertemente armado y postesado, al que se han conferido características especiales, en particular de mejora de su durabilidad en medio agresivo marino, y que cumple dos funciones básicas en su fase final, posicionado y lastrado frente a la costa:

1. Servir de depósito de almacenamiento y distribución del gas natural licuado mediante dos tanques interiores a la estructura de hormigón y a la mencionada contención secundaria o barrera de vapor, fabricados en acero al carbono con 9% de níquel, y con una capacidad total de 250.000 m³. El reabastecimiento periódico de dichos tanques se lleva a cabo mediante buques

gaseros de hasta 145.000 m³ de capacidad, que se construyeron también ex-profeso como parte de este Proyecto por otro de los consorcios participantes.

2. Proporcionar soporte estructural de las instalaciones industriales necesarias para el proceso de regasificación del gas natural licuado, con una potencia regasificadora de 1,1 millones de m³/hora. Desde la propia plataforma parte un gran gaseoducto para la distribución a la región del Norte de Italia.

El GBS mide 180 m de largo, 88 m de ancho y 47 m de alto hasta la coronación de la estructura de hormigón, y 80 m de altura hasta las estructuras de los Top Sides, o módulos industriales, sin incluir la antorcha. Está diseñado para soportar importantes cargas estructurales que incluyen las propias de construcción, las de apoyo de los diversos módulos industriales y de alojamiento, y fundamentalmente la necesidad de flotación de un peso propio superior a las 280.000 toneladas (Tabla 1).

En servicio se consideran fenómenos climatológicos y ambientales adversos, esencialmente cargas de viento, oleaje y sísmicas, por encontrarse en una zona sensible del Adriático norte, además de las derivadas de las operaciones marítimas a su alrededor (posible impacto de buques) y de las temporales que superó con éxito durante el transporte remolcado desde las Bahía de Algeciras hasta las costas venecianas.

Ello junto con los lastres necesarios, convirtieron a esta estructura prototipo según los datos que manejó la ingeniería del proyecto, en la más pesada flotada hasta la fecha desde un dique seco (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Resumen de los pesos generales de la estructura.

Resumen de los pesos generales de la estructura	GBS	t	241.544
	Tanques	t	241.544
	Top Sides (Módulos Industriales)	t	18.315
	Peso total a flotar sin lastre	t	280.929

Tabla 2. Desglose de datos y unidades principales de Obra Civil del GBS.

Resumen de las unidades de Obra civil del GBS	Encofrado	m ²	215.000
	Acero Pasivo BS 500 SD	t	27.000
	Acero criogénico		2.000
	Hormigón	m ³	90.000
	Acero Activo (PT Horizontal)	t	2.050
	Acero Activo (PT Vertical)	t	2.050
	Anclajes de Postesado	uds.	3.900

En el hormigón del GBS se encuentran embebidos un gran número de elementos, placas, tuberías, conducciones de todo tipo, que forman parte de un complejo entramado mecánico, eléctrico e instrumental que discurre por el interior de los compartimentos de los que consta la estructura. No se trata, por tanto, de una estructura monolítica, y la colocación de esta ingente cantidad de embebidos con diferentes tolerancias según el uso de los mismos, supuso otro reto para los equipos de producción, topografía y calidad.

Estos sistemas parcialmente embebidos sirven para muy diversos usos, que van desde aquellos sistemas electromecánicos que ayudaron a la flotación y navegación, los propios del sistema de interconexión entre tanques y Terminal, los del complejo industrial de regasificación, y varios para el suministro de servicios básicos como por ejemplo el agua potable para el personal que en un futuro operará la plataforma, instalaciones eléctricas, etc.

Como cifras generales que dan idea de la magnitud del proyecto, y la complejidad del control en el montaje, cumpliendo con las muy estrictas tolerancias durante los procesos de deslizado de los embebidos en el hormigón, podemos relatar que se colocaron más de 60.000 placas de acero especial para fijaciones

a la estructura con pesos de hasta 100 t, algunas de ellas, más de 1 km de tuberías de titanio, 28 km de tuberías de acero al carbono y 1,3 km de tubería de polietileno, además de pasamuros y sistemas de drenaje y lastrado. La tabla 3 refleja algunas de las cifras generales de todos los sistemas principales mecánicos.

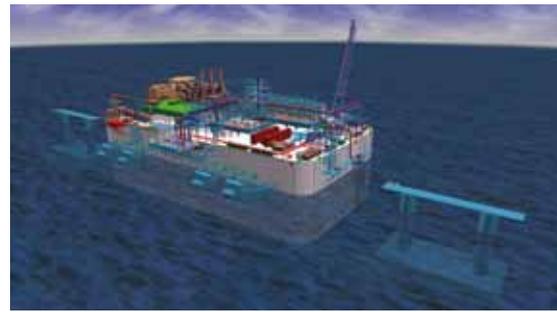


Figura 1. Idealización del GBS en su ubicación final.

Tabla 3. Resumen de las instalaciones mecánicas del GBS.

Resumen de las instalaciones mecánicas del GBS	Acero estructural	t	3.500
	Tuberías	t	115
	Instalaciones eléctricas	m	10.000
	Instrumentación y comunicaciones	m	2.000
	Protección contra la corrosión	m ²	7.000
	Tuberías de calefacción	m	43.000
	Barrera de vapor	t	610

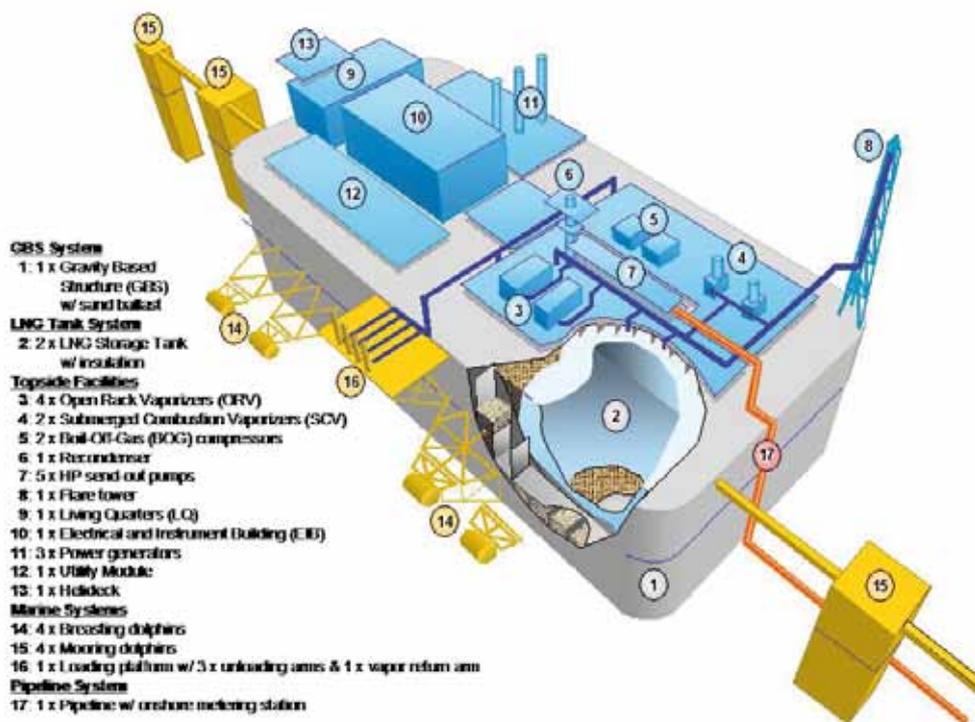


Figura 2. Esquema del GBS y sus estructuras.

2.2. Infraestructuras de apoyo al proyecto (Site Operations)

Esta unidad de obra consistió en el aprovisionamiento y acondicionamiento de espacios y en la ejecución de las instalaciones, oficinas, equipos y servicios en la obra y su perfecto mantenimiento durante la duración del proyecto, así como la desmovilización de la infraestructura primaria que a continuación describiremos y de la propia infraestructura secundaria o de apoyo.

Aunque en principio todas estas actividades se consideraban secundarias o de apoyo al GBS; de su buena planificación, ejecución y gestión dependió, en gran medida, el éxito del resto del proyecto en numerosas fases del mismo. Ya desde su propia concepción supusieron todo un reto por cuanto se gestionaron, durante más de tres años, unas instalaciones asimilables a un moderno complejo industrial sobre una superficie de 31 ha pertenecientes a la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (A.P.B.A.).

La Infraestructura Primaria incluyó la profundización de la base del dique seco existente, ejecutado previamente por Acciona Infraestructuras, incluyendo movimientos

de tierras, vallado y seguridad de la cimentación para el GBS. El dique, una vez terminado, cuenta con unas dimensiones de 355 m de largo, por 215 m de ancho y 21 m de profundo. Esta inmensa superficie se mantuvo completamente seca los 365 días del año, no importa lo adversa que fuera la climatología, en una zona especialmente lluviosa, en algunas estaciones del año, gracias a un sistema de canalización, drenaje y bombeo de las aguas de filtración y lluvia. Los diques que protegían y evitaban la entrada del mar, durante la fase de construcción, estaban monitorizados con piezómetros e inclinómetros que se verificaban periódicamente para comprobar la ausencia de movimiento y el riesgo de inundación del dique.

La Infraestructura Secundaria incluyó la instalación de la red de servicios (agua potable, saneamiento, gestión de residuos de obra y urbanos, telecomunicaciones, alumbrado, electricidad, seguridad y control de accesos 24 h), carreteras, vías de servicio y aparcamiento, almacenes y zonas de acopio, talleres de prefabricación de piezas de acero y elaboración de T-heads, embebidos y vigas, dos plantas de hormigón con sistema de refrigeración mediante nitrógeno líquido, dos laboratorios de



Figura 3. Vista general de las instalaciones en Campamento, San Roque.

ensayos de hormigones, instalación de 6 grúas torre fijas de gran altura y 2 grúas torre móviles en las zonas de almacenamiento y parques de ferralla. Asimismo, adquisición y operación de una cantera de áridos en Gerena que aseguró el suministro a las plantas de hormigón, la cual además acreditó, entre otros, con el entonces obligatorio certificado CE.

Mención especial hemos de hacer a la construcción y mantenimiento de más de 5.000 m² de oficinas, totalmente equipadas con despachos, salas de reuniones y usos comunes, contando con los más modernos servicios de ofimática y telecomunicaciones. Estas oficinas se encontraban conectadas permanentemente con centros de trabajo e Ingeniería en Noruega, Houston, Texas USA, Italia, Corea,...

También cabe resaltar la ejecución, explotación e inspección de un comedor que dio servicio en dos turnos a más de 800 personas al día. La correcta gestión y coordinación del personal y de los servicios necesarios para que una población estable, en torno 1.000 personas/día durante muchas fases de la obra, se sintiese en un entorno de trabajo agradable, saludable y sobre todo seguro, fueron otro de los haberes que cuentan entre los méritos de este proyecto del todo singular, reconocido en los numerosos galardones recibidos.

3. ¿QUÉ SE ENTENDÍA POR CALIDAD EN EL ADRIATIC LNG PROJECT?

Realizar una obra de estas dimensiones y complejidad, en un plazo tan ajustado y sujeto a penalizaciones de gran importancia por demora, siendo capaces de gestionar con éxito recursos humanos (hasta 1500 personas en turno punta en obra civil), materiales (hasta 3.600 toneladas sólo de material mecánico de entrada) y económicos, fue un perfecto ejercicio que demandó grandes dosis de trabajo en equipo. Gran coordinación. Un sistema de calidad avanzado, integrado y compartido por todo el personal, que establecía criterios y acciones en las distintas fases del proyecto, unido a grandes dosis de formación, aprendizaje y disciplina.

Los métodos y sistemas de calidad que para la industria son habituales, no son ni mucho menos comunes ni utilizados cuando se trata de obras de construcción, civiles o de edificación. El tópico de "no hay dos obras iguales" es en cierta forma cierto. Sistematizar

procesos es una tarea ardua cuando ni el personal, ni su formación y cualificación, ni los medios disponibles, ni la definición del propio proyecto y técnicas disponibles son iguales o similares de un proyecto a otro, y lo que priman son condicionantes de plazo y puramente económicos.

El gran logro de este proyecto, fue la implantación, no sin dificultades, de un sistema similar al de una gran factoría industrial en el que los procesos y actividades se pensaron y analizaron desde la fase de estudio, implantado y ejecutado fielmente, siguiendo los procedimientos establecidos, buscando un cierto grado de automatización durante la ejecución, para aprender de los errores o detectar mejoras que se introducían en la revisión del sistema y de los procedimientos revisados, con estas *lessons learned* de forma previa al inicio de la siguiente fase o secuencia constructiva.

Siendo poco pretenciosos, podríamos pensar que no había gran novedad en esta propuesta de sistematización, pero analizando en detalle lo que este sistema realmente implicó, vamos a demostrar donde reside la diferencia, y en qué se tradujo la misma.

4. FASES DEL PROYECTO E IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA

Cuestionar las grandes verdades con humildad, muchas veces asumidas sin la más mínima crítica, y replantearse cada acción y cada actividad, tratando de llegar hasta los más mínimos detalles para de esta forma asegurarse de que aún sin llegar a la certeza absoluta, se asumen riesgos controlados, es un ejercicio de filosofía y por qué no de ingeniería.

El Sistema de Calidad implantado para la realización del GBS precisamente partió de la construcción desde cero del esquema prototípico de una empresa o factoría.

4.1. Fase de selección del subcontratista principal y sus subcontratas

Tras la fase de diseño del proyecto, se seleccionó, mediante un reñido concurso, la empresa más capacitada para ejecutarlo con éxito. Se auditó a todos los ofertantes entre los que estaban las mayores constructoras españolas y algunas de las más importantes extranjeras en este tipo de proyectos. Estas

auditorías incluían obras destacadas en ejecución y los equipos humanos propuestos por cada empresa. Este proceso duró 5 meses en los que fueron numerosas las visitas y entrevistas con todos los participantes. En la adjudicación primaron, no sólo la oferta económica y el plazo, sino la experiencia, solvencia, grupos de trabajo propuestos y la eficacia de los sistemas de Calidad, Prevención y Medioambiente implantados en las empresas. La oferta exigía la presentación de una voluminosa documentación inicial que incluía ya los borradores del Plan de Calidad y otros documentos principales necesarios para arrancar la obra con un limitadísimo espacio de tiempo entre la licitación y el comienzo efectivo de los trabajos de campo.

4.2. Implantación en obra

Una vez tomada la decisión de la elección de ACCIONA como Subcontratista Principal, se pasó a la fase de implantación del Plan de Calidad para la obra. El Plan de calidad adoptado era típico en su contenido y debía describir:

- a. El alcance de los trabajos.
- b. La organización que los acomete incluyendo sus responsabilidades y funciones.
- c. Los documentos (Procedimientos) que se han de seguir para ejecutar la obra.
- d. Cómo se seleccionan, adjudican y auditan los proveedores y subcontratistas así como la transferencia de documentación y responsabilidades recíprocas.
- e. Revisión y cambios al proyecto, y su tratamiento.
- f. Recursos y rutinas en la ejecución de los trabajos.
- g. El tratamiento de las no conformidades.
- h. Entrega y finalización de actividades.
- i. La revisión del sistema.
- j. Entrega de documentación y registros.

Sin embargo todos y cada uno de estos aspectos fueron revisados para adaptarlos a las necesidades y especificaciones del proyecto, y auditados en su momento por el cliente.

En función del dimensionamiento inicial del equipo de obra, fue tomando cuerpo la

organización que hubo pronto de ser ampliada, dado lo ajustado de los plazos y la complejidad en la ejecución y seguimiento simultáneo de gran cantidad de actividades complejas. Sirva esta referencia, para llamar la atención sobre las dificultades entonces, para conseguir dotar algunos de los puestos del organigrama, debido a la carencia de profesionales españoles con experiencia en obras similares y conocimiento y manejo fluido del inglés, como idioma oficial del proyecto.

Sin duda, hoy, por ejemplo, debido a que un gran número de profesionales, ingenieros y científicos, se han visto obligados a emigrar, por la situación de crisis, falta de inversión en infraestructuras y en investigación, estaríamos en disposición de contar con más personal, con más experiencia, mejor formado y con conocimiento de idiomas, que entonces seguía siendo un hándicap para nuestros profesionales.

Esta fase discurrió lógicamente en paralelo a la generación de buena parte de los procedimientos y documentos de control para la ejecución del GBS a la vez que se recibía de la ingeniería la documentación necesaria para ejecutar la obra (planos, revisión de especificaciones, manuales,...).

Desde un principio se hizo indispensable la programación de una base de datos personalizada, capaz de gestionar de forma eficaz y eficiente la ingente cantidad de documentos recibidos del cliente y los generados por Contratista y sus subcontratistas, y de producir informes detallados sobre el estado e interrelaciones de los mismos.

Todo ello se hacía imprescindible si tenemos en cuenta que era necesario llevar a cabo una gestión eficaz y sencilla para el usuario de tan elevado número de documentos sometidos a constantes procesos de revisión y aprobación, muchos de ellos de carácter contractual. La base de datos debía permitir la interrelación y vinculación de unos documentos con otros. Así por ejemplo entre planos y órdenes de cambio o no conformidades o de éstas con las cartas.

Sin esta potente herramienta habría sido inmanejable el flujo de información generada. La obra contó con personal del Departamento de Calidad ligada únicamente al control documental y actualización de las bases de

datos y distribución de documentos. En la tabla 4 se recogen algunas cifras significativas sobre la tipología y cuantía de los documentos gestionados.

Tabla 4. Datos sobre documentos gestionados en el proyecto. Agosto 2007.

Planes de Calidad aprobados	19	Cartas comerciales cruzadas	2.231
Workpacks aprobados	382	Dossiers finales de obra (DFO)	2.835
Procedimientos específicos aprobados	552	Documentos Técnicos gestionados	16.698
Órdenes de cambio	590	Total aprox. de documentos gestionados	25.000
Consultas por indefiniciones o cambios al proyecto	1.280		

De igual forma, en esta fase inicial de la obra se pusieron en marcha los mecanismos de selección de materiales y materias primas, los proveedores y subcontratistas. Estos incluían para los materiales la revisión del cumplimiento de unas estrictas y extensas especificaciones, compendio en numerosas ocasiones de normativas de varios países.

Para cada subcontratista y proveedor se estableció su "criticalidad"; basada en factores como el grado de especialización, tipo de suministro, impacto del mismo en la calidad del GBS o en el plazo, en caso de demora en la entrega,... En función del valor obtenido se exigían distintos tipos de documentos y rutinas de control.

Para los proveedores y subcontratistas principales se auditaban los sistemas de calidad implantados en sus empresas, al objeto de dilucidar su aptitud y capacidad para cumplir con las exigencias técnicas, de calidad, medioambientales y de seguridad del proyecto. Una vez decidida su aprobación para participar en el proyecto, se trataba de compatibilizar sistemas, procedimientos y bases de datos con los del proyecto, de forma que se evitasen errores por mala comunicación o interpretación errónea de los requisitos del proyecto.

Para aquellas actividades más críticas se exigió la elaboración de un sistema completo específico, partiendo de un Plan de Calidad adaptado al proyecto, que de primera instancia incluía todos los registros necesarios para el control en obra. Este punto requirió un gran esfuerzo al tener que involucrar y formar a las empresas locales, con estándares de las grandes empresas nacionales e internacionales, con un estricto control que supuso, en muchos casos, el incremento y la formación específica de su personal.

Para las No Conformidades del proyecto, se estableció un sistema único de seguimiento de, en torno a un procedimiento específico. El seguimiento de las acciones correctivas y preventivas y el cierre de las mismas se analizaban semanalmente estando directamente involucrada la alta dirección del proyecto desde un primer momento.

Tras cada secuencia constructiva, se retroalimentaba el sistema, a partir de las observaciones de los distintos equipos técnicos de obra y de las propias no conformidades, para la mejora del sistema cara a la siguiente fase de ejecución.

Por último, se establecieron exhaustivas listas de repaso para cada secuencia constructiva, que eran sistemáticamente barridas y firmadas por todos los agentes involucrados tras la verificación de la resolución de los aspectos pendientes, cara a la entrega final al cliente.

4.3. Control de Calidad: evidencias de la aplicación real e integración de la calidad en obra

El seguimiento de la calidad en este proyecto se encontraba totalmente integrado en el sistema de producción: desde antes del inicio de los trabajos hasta la organización y archivo de toda la documentación generada en cada actividad o secuencia constructiva.

A continuación se describe cual era el proceso, los hitos importantes y los documentos que se siguieron en este proyecto.

Antes

Antes de comenzar cualquier trabajo se elaboraron de forma sistemática los procedimientos descriptivos que determinaron los pasos a seguir para cada proceso

constructivo. Dichos procedimientos estaban basados en las especificaciones del riguroso contrato y eran sometidos a aprobación por parte del cliente.

Basándose en estos procedimientos se elaboraron los "Work Packages" o Documentación de trabajo que condensaban toda la información necesaria para la ejecución del trabajo en la obra y de forma específica para cada tajo; así, por ejemplo, existía un procedimiento general de proyecto para el hormigonado, pero para cada secuencia se elaboró su correspondiente "Work Package" particular. Un "Work Package" típico contenía los procesos constructivos, los planos necesarios y otros documentos de referencia, lista del personal responsable, equipos y maquinaria necesaria, procedimientos y documentación para el control de la actividad, análisis de riesgos y medidas de prevención.

Tanto los procedimientos como los "Work-Packages" eran distribuidos a todos los departamentos de la obra en el momento en el que eran aprobados, para que el personal involucrado pudiera conocer previamente a su comienzo como se iban a desarrollar los trabajos en la obra y los requisitos de calidad que se exigían.

Previo al comienzo de cada actividad y, si se requería, durante la ejecución de la misma por cambios en el personal o del propio proyecto para resolver problemas o mejoras en la ejecución, se impartió formación a todo el personal involucrado: ingenieros de producción, inspectores de calidad, encargados, capataces de obra y operarios.

Dicha formación se impartió de diversas formas: a través de charlas informativas "Tool Box" o bien mediante la realización de "Mock ups" (maquetas a escala real), en las que se identificaban los problemas reales que podían surgir durante la ejecución en obra y también sirvieron para realizar ensayos previos y poder corregir las variables de todo tipo que los condicionaban. Algunas actividades que se modelaron previamente fueron: deslizado, enfilado, tesado e inyección de conductos verticales y horizontales, aplicación de morteros y resinas epoxy para reparación y terminación, la losa intermedia del tanque, cabezas de las vigas prefabricadas y todas y cada una de las capas de asilamiento sobre la losa de intermedia.

La documentación de calidad incluida en los "Work Packages" era verificada y firmada (en los puntos que corresponde) por el cliente antes del inicio de la actividad. En este punto, a veces, era necesaria la aprobación de la documentación final de obra que igualmente debía ser aprobada por la propiedad.

Otro paso previo que se verificó puntualmente, era la firma del "Mechanical Completion" o comisionado, en el que se aseguraba que todos los pasos previos habían sido comprobados y verificados por el cliente; además se incluyeron las posibles "tareas pendientes" si es que quedaba algún punto abierto, pero que no condicionaba el éxito del tajo y que se retomaron cuando el avance de la obra lo permitió, para su cierre definitivo. Así el "Mechanical Completion" de una secuencia condicionaba la continuación de la siguiente, es decir, que era su punto de partida.

Todos estos asuntos se trataron en reuniones de responsables conjuntas con el cliente ("Count Down Meeting") en los días previos al inicio de las actividades y es en estas reuniones era donde se daba el pistoletazo de salida para poder iniciar el trabajo.

Durante

La presencia en obra del personal de calidad, era continua y constante durante toda la ejecución de cualquier tajo de obra. De esta manera todos eran supervisados, y se verificaba que se generaban todos los registros que reflejaban fielmente todo lo acontecido en obra. Con estas medidas se detectaban y corregían todos los incidentes salvables que surgieron como parte inherente a la construcción, en las distintas actividades, y se documentaron las no conformidades, analizando y gestionando su resolución de forma conjunta con el cliente en reuniones semanales al más alto nivel.

La colaboración en obra con el cliente y sus supervisores llegó a ser tan estrecha, y se generó tal confianza, hasta el punto que muchos documentos de control de calidad se rellenaban de forma conjunta de forma consensuada entre ambas partes.

Después

Tras finalizar cualquier actividad, toda la documentación era revisada y sometida para aprobación como documentación final de

obra. Asimismo se estudiaban los rendimientos productivos y se comenzaba con el cierre y resolución de las no conformidades acontecidas. Todos estos puntos se trataban en una reunión conjunta con los responsables de cada empresa (Lessons Learned Meeting) donde se hacía una valoración de los mismos que servía de retroalimentación para la siguiente fase del proyecto y sentaba las bases para la próxima actividad.

Si importancia tuvo la ejecución de la obra civil en la obra, no menos tuvo la parte mecánica y como consecuencia su control de calidad en obra ya que la construcción del GBS incluyó un complejo entramado electromecánico dentro de los compartimentos de los que constaba la estructura, siendo su utilidad en procesos de lastrado, conducciones de calefacción, instrumentación, tratamiento del agua potable, sistemas de refrigeración del agua, conducciones eléctricas, etc.

Dichos elementos electromecánicos variaban el tipo y calidad de los materiales así como en espesores y diámetros de tuberías instaladas. Los materiales usados para dichos elementos electromecánicos eran acero al carbono, acero inoxidable, acero inoxidable dúplex y titanio.

En cuanto a estos elementos, las cifras generales de soldadura desglosada por materiales y metros lineales fueron las siguientes: 928 m en tuberías de acero inoxidable, 4.085 m en tuberías de titanio, 18.903 m en tuberías de acero carbono, 35.750 m en soldadura estructural realizada en acero carbono.

Para poder realizar cada milímetro de dichas soldaduras fue necesario un proceso previo para poder asegurar la integridad y calidad de las mismas y cumplir con los objetivos marcados en las especificaciones de este peculiar proyecto.

El paso previo a la soldadura era la elaboración de los procedimientos de soldadura (WPS) bajo cuyos requisitos técnicos, adecuados a cada material, espesor, material de aporte y posición de soldeo se homologaron a los soldadores (WPQR). Se realizaron más de 57 WPS estructurales de acuerdo a norma EN-287-1 y 6 WPS para tubería de acuerdo ASME Sect. IX.

Las homologaciones de soldadura (WPQR) fueron realizadas a través de probetas

las cuales tras ensayos no destructivos (E. N. D.) certificaron la aptitud de los soldadores para realizar la soldadura delimitada por cada WPS.

Los E. N. D. realizados a las probetas incluyeron: Ensayo Visual (VT), Ensayo Líquidos Penetrantes (LP), Ensayo Radiográfico (RX), Ensayo Macrográfico y Ensayo de Producción y/o Dureza.

Así que podemos afirmar que bajo tales exigentes criterios de aceptación fueron homologados un total de 437 soldadores para soldadura estructural y 43 soldadores para tuberías y conductos. Todos ellos al amparo de un total 1.085 homologaciones (WPQR) para los 63 procedimientos (WPS) y cada uno de ellos revisados minuciosamente y aceptados por el cliente, que desplazó Ingenieros de Soldadura para esta labor.

De acuerdo a especificaciones de proyecto se realizaron Ensayos No Destructivos a todas las soldaduras del proyecto, tanto en prefabricación como en montaje:

- Ensayo Visual (VT). 100% de las uniones soldadas.
- Ensayo Partículas Magnéticas (MT). 20% de las uniones soldadas.
- Ensayo Líquidos Penetrantes (LP). 20% de las uniones soldadas.
- Ensayo Caja Vacío (LP). 100% o 20% de las uniones soldadas (dependiendo de lo crítico de la pieza: elementos de izado, soportes vigas, encofrados perdidos, etc.).
- Ensayo Radiográfico (RX). 10% de las uniones soldadas.
- Ensayo Ultrasonidos (UT). 10% de las uniones soldadas.

Para llevar a cabo tal cantidad de ensayos y poder garantizar/certificar las uniones soldadas se contrató más de 30 inspectores repartidos entre montaje y prefabricación. Todos los inspectores estaban certificados por el organismo de control de soldadura CERTIAEND con Niveles II y III.

4.4. Algunos datos sobre innovación tecnológica en el GBS

A estas alturas es fácil adivinar la complejidad que suponía poner en marcha cualquier actividad en la obra, pero una vez

lanzados los tajos pusieron a disposición de los técnicos los más modernos sistemas constructivos y equipos de control.

El propio sistema de hormigonado (mediante encofrado deslizante) permitió el vertido en continuo de hasta 6.900 m³. Los propios moldes sirvieron de plataformas de trabajo y tránsito, e iban siendo izados gracias a la fuerza de gatos hidráulicos que se apoyaban sobre el propio muro de hormigón una vez endurecido. El sistema requería de gran coordinación entre los equipos de fabricación de hormigón y los de control de izado. En poco espacio y tiempo se iban conformando los muros con todos sus componentes e instalaciones, teniendo en cuenta las elevaciones en que transcurrían y con la referencia constante a los distintos planos y secciones del proyecto. En cada tramo se generaban informes con los volúmenes de hormigón vertidos, rendimientos, cota alcanzada sobre la teórica, etc., que daban información a tiempo real a la ingeniería para la toma de decisiones en función de la climatología, posibles paradas por avería de los componentes, etc.



Figura 4. Vista del hormigonado en turno de noche.

Por destacar otra actividad que tuvo gran importancia, el montaje de talleres de soldadura por fricción fue uno de los retos del proyecto. Dichos talleres se utilizaron para la fabricación de “T-heads” y “Couplers” que describimos a continuación:



Figura 5: Vista del hormigonado en turno de día.

Debido a lo complejo del diseño estructural del GBS se precisaba la utilización de un acero elaborado bajo una patente Noruega que consistía en soldar mediante fricción acero pasivo B5000SD a una placa (T-head) o a un acoplador (Couplers). Las T-heads suponen una reducción del acero a usar en obra y los Couplers reducen la longitud de solape necesaria para los diámetros usados principalmente en esta obra (32 o 25 mm).

Este sistema estaba diseñado para exceder la capacidad de tensión/deformación del acero y mantener las propiedades mecánicas del acero con un límite elástico de 500 Mpa.

Por supuesto todas las piezas, desde que llegaban a obra (placas y acopladores), el acero, la propia fabricación y su compleja colocación en obra, fueron objeto de una sistemática trazabilidad y un completo plan de ensayos.

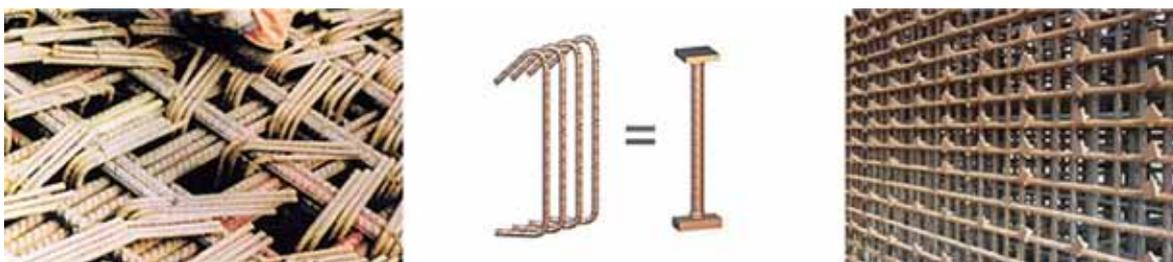


Figura 6. Representación de la reducción de solape.

Otra de las innovaciones del proyecto tuvo que ver con las labores de postesado. En ellas se modelizaron a escala real todas y cada una de las secuencias, para verificar sobre todo que el relleno con mortero o lechada, rellenaba perfectamente los tendones, luchando en algunos casos contra la fuerza de la gravedad. Del éxito conseguido, hablan las cifras. Se instalaron más de 4.100 t de acero activo, el equivalente a lo que se instalaba a nivel nacional en un año en grandes obras civiles en España en la época del boom de la construcción. Esto supuso ejecutar unos 1.900 tendones y más de 3.500 km de cable.



Figura 7. Pórtico de tesado sobre plataformas.

Tan sólo hubo obstrucción en 4 de los 1.900 tendones, y de ellos sólo dos fueron irre recuperables, sin que supusiera una merma de las capacidades portantes de la estructura, puesto que se recuperaron los valores de tensión con los adyacentes. Se utilizó una cámara de control remoto para detectar las irregularidades y obstrucciones en los tendones; además se diseñó un pórtico de acero fabricado para poder tesar sobre plataformas en zonas de difícil acceso y reducida movilidad, lo que aumentó el rendimiento y facilitó las labores a los operarios y las técnicas de tesado.

5. ADRIATIC LNG PROJECT Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

El objetivo número uno del proyecto fue la seguridad de todos los trabajadores, conseguido con éxito pues después de más de tres años de obra, con puntas de miles de trabajadores al día en turnos de 24 horas, no hubo que lamentar ningún accidente mortal. El segundo objetivo fue la protección de los factores ambientales y la

repercusión social en todas las infraestructuras de la obra y sus alrededores.

La gestión de aspectos ambientales tuvo especial importancia en esta obra ya que las Infraestructuras Portuarias sobre las que se ubicaba estaban sometidas a Declaración de Impacto Ambiental, pero además de seguir el Plan de Vigilancia Ambiental que dictaba la DIA, se llevaron a cabo medidas preventivas y correctoras que afectaron a todos y cada uno de los trabajos del proyecto, involucrando a todo el personal de obra.

Uno de los aspectos más significativos de la obra fue el seguimiento y control de los parámetros ambientales de agua, ruido y calidad del aire. Dicho seguimiento se basó en fijar los límites de referencia de estos parámetros, en las condiciones previas a la ejecución de cualquier trabajo en las instalaciones portuarias. Es decir, antes que empezara cualquier tarea se hicieron mediciones de los parámetros ambientales indicados y los valores obtenidos sirvieron de límite de referencia durante toda la ejecución del proyecto.

Así, si se detectaba cualquier incremento en las mediciones, se podía identificar rápidamente el proceso que lo había ocasionado y determinar si estaba ligado directa o indirectamente con las actividades de la obra; cuando esto ocurría inmediatamente se elaboraba un análisis de la situación y se determinaba la medida o medidas correctivas, a fin de que la anomalía se corrigiese en la mayor brevedad posible. De esta manera no solo se estaba cumpliendo estrictamente la legislación sino que se obligaba internamente a que los parámetros ambientales se mantuviesen en los mismos niveles antes, durante y después de la ejecución del proyecto.

El documento de referencia titulado “Estado Medioambiental de las instalaciones de Campamento previo a los trabajos”, recogía no solo estos valores de referencia, sino también las condiciones de las carreteras de acceso y las condiciones marinas del perímetro de las instalaciones (batimetría y ecología marina).

Para poder conseguir este ambicioso objetivo, el plan de vigilancia ambiental era muy exhaustivo y se centraba en el control de polvo, ruido y calidad de las aguas de filtración. La tabla 5 señala los parámetros que se controlaban y la frecuencia de muestreo. Los

muestreos se llevaban a cabo por un laboratorio externo acreditado por ENAC y reconocido por la Consejería de Medio Ambiente de Cádiz.

Todos estos trabajos se hacían en estrecha colaboración con el cliente que, por requisitos del contrato, se encargaba de las mediciones de otros parámetros como control de tráfico rodado y calidad del agua del mar. Los registros generados se aunaban y se remitían a la APBA y a la Consejería de Medio Ambiente de Cádiz.

A fin de alcanzar el objetivo de no afectar los factores ambientales, se implementó un completo Programa de Puntos de Inspección (PPI) por el que se realizaban controles rutinarios de aspectos cotidianos de la obra. De estos PPI se desgranaban las Fichas de Inspección, cumplimentadas diariamente por el personal de Medio Ambiente en obra que corregían de la manera más rápida posible, aquellos aspectos que se podían mejorar o no aseguraban el equilibrio entre producción y respeto por el medioambiente.



Figura 8. Control trimestral de calidad del aire.

Además de manera semanal, se realizaba una inspección conjunta con el cliente para comprobar el estado general de la obra y la efectividad de las inspecciones diarias.



Figura 9. Mantenimiento rutinario de los canales de drenaje.

Al igual que ocurría con el sistema de calidad, toda tarea en obra era sometida a una evaluación de riesgos ambientales. Por tanto antes de que empezase cualquier actividad se identificaban cuales eran los puntos críticos que

Tabla 5. Seguimiento y control de lo parámetros medioambientales.

	Parámetro	Total puntos de muestreo	Duración del muestreo	Periodicidad
Ruido	Ruido en día laborable	8	8 lecturas de 15 min.	Trimestral
	Ruido en día festivo	8	8 lecturas de 15 min.	Trimestral
Calidad del aire	Partículas en suspensión	4	2 periodos de 24 horas	Trimestral
	Partículas sedimentables	4	32 días	Trimestral
	PM10	1	2 periodos de 24 horas	Trimestral
Calidad del agua	T ^a , Ph, conductividad, salinidad, hidrocarburos	2		Trimestral

podían modificar en alguna medida cualquier aspecto ambiental. Tras esta evaluación se pasaba a la formación del personal involucrado (se contabilizaron más de 7.000 horas en formación medioambiental) para evitar posibles incidentes y se hacía un seguimiento de la actividad.

De la misma manera, cuando se producía algún incidente puntual se realizaban charlas formativas a los supervisores de las subcontratas e incluso a los operarios en obra. Sirva como ejemplo las tareas de postesado: el mortero de inyección en algunas ocasiones debía ser desechado por no cumplir con los parámetros de calidad, además las operaciones de limpieza de esta maquinaria de inyección generaba un volumen considerable de efluente. Para evitar su vertido incontrolado y que pudiera afectar a la calidad de las aguas de vertido, se incluyó, dentro de los procedimientos de producción, la gestión de este residuo.

Junto con la máquina de inyección se preparaba un contenedor cubierto en su fondo por un plástico, en este contenedor se dejaba endurecer el mortero y así posteriormente se podía llevar al vertedero de inertes. Todo el personal involucrado, además de la subcontrata gestora de residuos, fueron formados para que siguieran esta rutina y así se evitó cualquier vertido a las redes de drenaje.

Otra tarea importante, objeto de mejora durante la obra, fue el lavado de camiones hormigonera dentro de las instalaciones. Al hormigonarse en continuo muchos metros cúbicos, en periodo punta se tenían hasta 20 camiones al mismo tiempo, necesitándose un gran espacio donde albergar el volumen de lavado. En principio se disponía de una balsa de lavado que no era suficiente para este volumen por lo que se redimensionó y se adaptó a las necesidades reales del proyecto.

La balsa se amplió en más del 50% y de esta manera la decantación del agua de lavado comenzó a ser efectiva y el agua se pudo reutilizar en tareas de compactación y control de polvo. Además de esta operación se acondicionó una zona de obligatoria parada para que las hormigoneras vertieran previamente los restos de hormigón que pudieran quedar en su interior; de esta manera se prolongaba el tiempo de colmatación de la balsa y se optimizaba la utilización de la misma.



Figura 10. Operaciones de gestión del líquido de inyección.

Todo esto fue recogido en un procedimiento elaborado exclusivamente para esta tarea y fue distribuido a todo el personal involucrado incluyendo encargados y conductores. A este procedimiento se sumó la creación de unas fichas explicativas que se entregaban a todos los conductores y las charlas informativas acerca de la rutina de mantenimiento y lavado de hormigoneras, involucrando así a toda la cadena de mando.



Figura 11. Vista general de la balsa de lavado tras la ampliación.

También es necesario resaltar la importancia de la gestión de residuos tanto los asimilables a urbanos, los de obra (madera, escombros y hierro) y los peligrosos. De hecho la gestión de residuos se contempló ya desde el momento de hacer la operación de compra, ya que primero se hacía una previsión real de las necesidades de producción y si existían las condiciones de almacenamiento apropiadas (productos perecederos como

las resinas); en algunos casos se sustituyeron productos peligrosos por otros inocuos con el medioambiente.

Posteriormente se llevó a cabo un plan de formación para todo el personal de obra a fin de informar sobre la separación de residuos; asimismo se dio formación específica a el personal de mantenimiento y al de obra destinado a controlar este aspecto haciendo especial hincapié en el manejo y gestión de residuos peligrosos y los pasos a seguir ante una situación de emergencia por vertidos incontrolados

Otro de los hitos importantes de la obra fue la consecución de la prueba de estanqueidad. Por requisitos del proyecto se tenía que probar la estanqueidad de los muros interiores de las paredes superiores (las que tocaran con la futura ubicación de los tanques de gas). Para ello se llenaron con agua hasta una cota de 20 metros todas las celdas que estuvieran en dicha ubicación. Esto supuso el empleo de aproximadamente 42.000 m³.

En un principio se pensó en utilizar agua potable, lo que en esta zona, y en época de sequía, era un auténtico derroche. Desde el departamento de Medioambiente en obra se hizo una propuesta alternativa con la utilización de agua de mar.

A las instalaciones de Campamento llegaba una filtración directa del agua de mar. Se hicieron los cálculos pertinentes para determinar el flujo de la misma y asegurar el suministro en continuo de agua según requería la prueba.

De esta manera se demostró que el caudal que entraba en nuestras instalaciones era más que suficiente al solicitado (90 m³/h) y por tanto se pasó a la fase de diseño del sistema de tuberías de llenado y vaciado de las celdas. Este planteamiento fue presentado al cliente el cual aceptó la mejora por el gran ahorro de agua que suponía esta alternativa. De manera preventiva se programó un muestreo durante una de las fases de vaciado, para asegurar que el agua de vertido no llevaba ningún resto de contaminación.

6. CONCLUSIÓN

El gran logro del proyecto "Adriatic LNG Project" ha sido aunar y compatibilizar en la ejecución de un gran proyecto global, unas premisas muy exigentes en la prevención de riesgos y de seguridad de los trabajadores siguiendo la máxima "Que nadie se haga daño", con unos estrictos y extensos requisitos de calidad, sin comprometer las capacidades futuras de producción en la zona debido al firme compromiso de evitar a cualquier precio el más mínimo impacto en el medio.

Con los recientes acontecimientos que estamos viviendo en Ucrania y Crimea, que han puesto de manifiesto la debilidad y dependencia de las fuentes de suministro energético poniendo en riesgo la viabilidad e independencia del modelo de estado europeo, ahora más que nunca se hace necesario plantear alternativas viables de generación y suministro de fuentes energéticas.

Y eso lo digo como ciudadano, para nada experto en energías, pero con gran preocupación por preservar el modelo occidental de sociedad, amenazado entre otros, por las materias primas y las energías, y pienso que ha de inspirar un mundo más justo, sostenible y civilizado.

Dicho esto creo que mi objetivo era divulgar esta experiencia enriquecedora al público, entre el que a buen seguro habrá expertos y materia gris más capacitada para enriquecer un debate sobre temas energéticos, por ejemplo de almacenamiento o explotación a gran escala de fuentes de energía. Algo que a buen seguro habrá de abordarse también desde la política para conseguir encontrar alternativas al modelo energético actual.

En España contamos con el "know how", con los profesionales y científicos necesarios, con la experiencia y tecnologías constructivas y de los materiales, con las materias primas y enclaves estratégicos para convertirnos en el puente y en una potencia que exporte modelos de desarrollo más sostenibles, también en su acepción económica.