

Ingeniería para proyectos de nuevas centrales nucleares

A. González López

Se examinan en este artículo las oportunidades existentes en el mercado (empresas eléctricas y suministradores principales) para una empresa de ingeniería con el perfil de Empresarios Agrupados (EA) en proyectos de nuevas centrales nucleares, echando mano para ello de algunos ejemplos significativos de proyectos que EA ha venido desarrollando últimamente. El artículo concluye compartiendo con el lector algunas de las lecciones aprendidas de nuestra participación en los mismos.

This article reviews the opportunities existing in the market (electrical utilities and reactor vendors) for an engineering company with the profile of Empresarios Agrupados (EA) in new-built nuclear power plant projects. To do this, reference is made to some representative examples of projects in which EA has been participating recently. The article concludes sharing with the reader some lessons learned from this participation.



ANTONIO GONZÁLEZ LÓPEZ

es ingeniero industrial por la ETSII de Madrid. Actualmente es director adjunto al presidente de Empresarios Agrupados, en donde ha desarrollado su carrera profesional ocupando puestos de diferente responsabilidad relacionados con la ejecución de la ingeniería para proyectos de centrales nucleares y convencionales. Viene participando activamente en los principales proyectos internacionales para el desarrollo de reactores avanzados y la adquisición, licencia y construcción de nuevas centrales.

INTRODUCCIÓN

Como es sabido, están en marcha en diversos países programas de construcción de nuevas centrales nucleares que han sido anunciados hace ya algunos años en lo que ha sido conocido como "el relanzamiento nuclear". Sin embargo, diversos factores como la crisis económica existente, las dificultades de financiación, los largos procesos de certificación del diseño y licencia de las nuevas centrales, la bajada de los precios del gas, la caída de la demanda de electricidad y, últimamente, el accidente de Fukushima, etc., han hecho que solamente se haya iniciado el proceso de construcción en un número limitado de proyectos y, por tanto, el volumen de trabajo de ingeniería para proyectos en dicha fase de construcción (permiso de construcción y orden de proceder (NTP) emitidos) no sea todavía muy sustancial.

Sin embargo, en base a la experiencia de Empresarios Agrupados (EA), sí existen ya en el mercado muchas oportunidades de contratación para servicios de ingeniería en la fase de adjudicación o pre-construcción de estos proyectos en todo el conjunto de actividades que llevan a la firma del

contrato entre la empresa eléctrica y el suministrador principal de la central. Estas oportunidades están abiertas para empresas que sean capaces de suministrar servicios de consultoría e ingeniería en las áreas más tecnológicas del proceso de diseño y licencia, y en el planteamiento de estrategias para la adquisición de la central. Para estos servicios el mercado demanda empresas que:

- demuestren experiencia real en todas las fases y en las distintas disciplinas técnicas de un proyecto en las diversas tecnologías de generación nuclear (tipos de reactores) existentes en el mercado
- sean capaces de entender e integrar los requisitos de la empresa eléctrica propietaria y de las autoridades reguladoras de cada país con los diseños estándar de las centrales que ofrecen los suministradores principales, en algunos casos ya licenciados en el país de origen de la tecnología, y
- aporten experiencia y entendimiento de los nuevos modelos de contratación de centrales, utilizando sistemas colaborativos de contratación entre la empresa eléctrica y el suministrador principal, conducentes al establecimiento de unas condi-

ciones económicas y contractuales abiertamente negociadas, satisfactorias y con riesgos bien delimitados para ambas partes.

Hagamos ahora una referencia resumida de algunos proyectos significativos de EA para nuevas centrales, tanto en la fase de adquisición como en la de construcción, realizados en diversos países, para diferentes empresas eléctricas, suministradores principales, tipos de reactores y normativa aplicable, terminando con una breve reseña de algunas lecciones aprendidas en estos trabajos.

ESTUDIOS DE VIABILIDAD DE PROYECTOS

Típicamente, los estudios de viabilidad que hemos realizado en EA para nuevos proyectos de centrales comprenden varios volúmenes de información técnica, estudios y planos relativos a los siguientes aspectos: 1) objetivos de la empresa eléctrica para el proyecto, 2) análisis del sistema eléctrico, 3) selección del tamaño y número de unidades de la central, 4) estudios de refrigeración de la central y disponibilidad de agua, 5) definición de características de posibles emplazamientos, 6) evaluación de tecnologías disponibles

en el mercado, 7) evaluación de ciclos de combustible, 8) estudios de implantación en el emplazamiento, 9) planificación del proyecto, 10) legislación y normativa aplicable, 11) gestión y organización del proyecto, 12) dimensionamiento del equipo de personal requerido para el proyecto y programas de entrenamiento, 13) infraestructura industrial y oportunidades para la participación de la industria local, 14) evaluación de riesgos, 15) modelos de contratación, 16) evaluación de costes del proyecto y 17) financiación del proyecto.

EA ha desarrollado últimamente los *Estudios de Viabilidad (Feasibility Study)* para los proyectos de las centrales nucleares de Temelin, Unidades 3 y 4, y Dukovany, Unidad 3, ambas para CEZ, en la República Checa; Beznau (EKKB) en Suiza para NOK (Resun); y Bohunice, Unidad 5, en Eslovaquia para JESS. Aunque con un alcance específico para cada caso, el objetivo principal del estudio de viabilidad es proporcionar a la empresa eléctrica toda la información necesaria para poder decidir sobre la oportunidad de llevar a cabo el proyecto.

Estos estudios se están utilizando también por la empresa eléctrica como base para informar sobre el proyecto a las autoridades del país, a las instituciones de financiación, a las autoridades locales y a los medios de comunicación.

ESTUDIOS Y ACTIVIDADES PREVIAS DE LICENCIA

Otros proyectos interesantes realizados recientemente por EA, consistentes en la preparación de la información técnica necesaria para la solicitud de autorización previa del proyecto ante las autoridades del país, son los siguientes:

- *Estudios y preparación de la documentación técnica para la solicitud de dos licencias generales (General License Application) ante el Organismo Federal Suizo de la Energía para dos nuevas centrales, una en el emplazamiento de Beznau (EKKB) y la otra en el de Mühleberg (EKKM), solicitud realizada por Resun (Renaissance Suisse Nucléaire), organización constituida por las empresas eléctricas suizas Axpo, CKW y BKW para la contratación y desarrollo conjunto de dichos proyectos. Entre otros, estos trabajos incluyeron estudios de implantación de los diversos tipos de reactores en el emplazamiento, estudios de refrigeración de la central, cálculos de dosis a la población en opera-*

ción normal y accidente, planes para el futuro desmantelamiento de la central, etc.

- *Olkiluoto 4 NPP (TVO, Finlandia).* Documentación técnica relativa al reactor ESBWR de GE-Hitachi como una de las tecnologías candidatas para su incorporación a la solicitud de la empresa eléctrica TVO ante el Parlamento y el Gobierno de Finlandia de la *Decision in Principle*, autorización previa necesaria para seguir adelante con el desarrollo del proyecto de la central de Olkiluoto 4.

ESPECIFICACIONES DE PETICIÓN DE OFERTA Y EVALUACIÓN DE OFERTAS PARA NUEVAS CENTRALES

EA está participando activamente en el proceso de selección de suministradores principales para varias de las nuevas centrales nucleares planificadas por empresas eléctricas en diversos países de Europa.

Las Especificaciones de Petición de Ofertas (*Bid Invitation Specifications, BIS*) son un elemento esencial en el proceso de adquisición de una nueva central nuclear. Las BIS contienen las bases a tener en cuenta por los suministradores principales en la preparación de sus ofertas para la nueva central. En las BIS, la empresa eléctrica propietaria proporciona información sobre el proyecto, instrucciones para la preparación y presentación de ofertas, describe el proceso a seguir hasta la adjudicación del contrato, establece los criterios de evaluación de ofertas, la estructura y el contenido

de las mismas, el alcance de suministro requerido, los principales hitos del programa del proyecto, los requisitos técnicos aplicables al diseño, licencia, suministros, construcción y pruebas de la central, los requisitos de implementación del proyecto (por ejemplo, organización, gestión de calidad, gestión de suministros, documentación, etc.), así como define las condiciones comerciales, contractuales y de financiación que aplicarán al suministro de la central.

El alcance, estructura y contenido de la documentación de las BIS depende en gran medida del modelo contractual seleccionado por la empresa eléctrica para el proyecto, de la normativa, requisitos reguladores y proceso de licencia aplicables en el país y de los requisitos tanto técnicos como de otro tipo establecidos por la empresa eléctrica propietaria basados, generalmente, en su experiencia previa como operador de centrales.

Como se deduce de lo anterior, la preparación de las BIS es un trabajo de ingeniería de amplio alcance, multidisciplinar, que requiere el conocimiento de aspectos técnicos, comerciales y contractuales y que, por tanto, para su ejecución necesita de un equipo técnico con experiencia en todos estos aspectos de un proyecto nuclear.

Ejemplos de proyectos de nuevas centrales para los que Empresarios Agrupados ha venido apoyando a la empresa eléctrica en la preparación de las BIS y en los trabajos de evaluación de ofertas son los siguientes:

- *Olkiluoto 3 NPP* para la empresa eléctrica TVO en Finlandia. Para



Figura 1. C.N. de Temelin (CEZ, República Checa). En primer término se muestran las futuras nuevas Unidades 3 y 4.

este proyecto se desarrollaron las BIS y se participó en la evaluación técnica de las ofertas.

- *Fennovoima (Pyhäjoki) NPP* para la empresa eléctrica Fennovoima en Finlandia, en cuyo proyecto, además de la preparación de las BIS, se está ayudando al cliente en los trabajos de evaluación técnica de las ofertas.
- *Temelin Unidades 3 y 4 NPP* para la empresa eléctrica CEZ en la República Checa, para cuyo proyecto EA elaboró las BIS, preparó el Manual de Evaluación de Ofertas e impartió al personal de la propiedad cursos de entrenamiento sobre metodología y técnicas de evaluación de ofertas de centrales nucleares.

INGENIERÍA Y DISEÑO PARA PROYECTOS DE NUEVAS CENTRALES

En este apartado haremos referencia a cuatro importantes proyectos de nuevas centrales en diferentes fases de desarrollo, licencia, o construcción, para los que EA ha venido y continúa suministrando servicios de ingeniería y diseño, abarcando las diversas disciplinas técnicas con las que hemos venido dando servicios a nuestros clientes nucleares en el pasado. La nota diferencial muy importante es que estos nuevos proyectos han necesitado de la modernización y adaptación de EA a nuevos procesos de diseño y licencia, sistemas de gestión de calidad, organización y contenido de la documentación, renovación de los principales programas de cálculo y potenciación de los planes de entrenamiento del personal.

Estos cuatro ejemplos de participación de EA en la ingeniería y diseño de nuevas centrales, son los siguientes:

- *Lungmen Unidades 1 y 2 NPP* (ABWR, 2x1350 MWe, GE), que Taiwan Power Company (TPC) está construyendo en Taiwán. En este proyecto, bajo contrato con General Electric, suministrador principal de la Isla Nuclear, EA ha suministrado servicios de ingeniería y diseño en las distintas disciplinas técnicas del proyecto durante los últimos años. En la actualidad, con la central ya en fase de puesta en marcha, continuamos prestando apoyo de ingeniería a General Electric.
- Nuestras áreas de participación han sido numerosas, variadas y de diverso alcance. A modo de ejemplo, cabe destacar los siguientes trabajos significativos realizados por EA para este proyecto: revestimien-

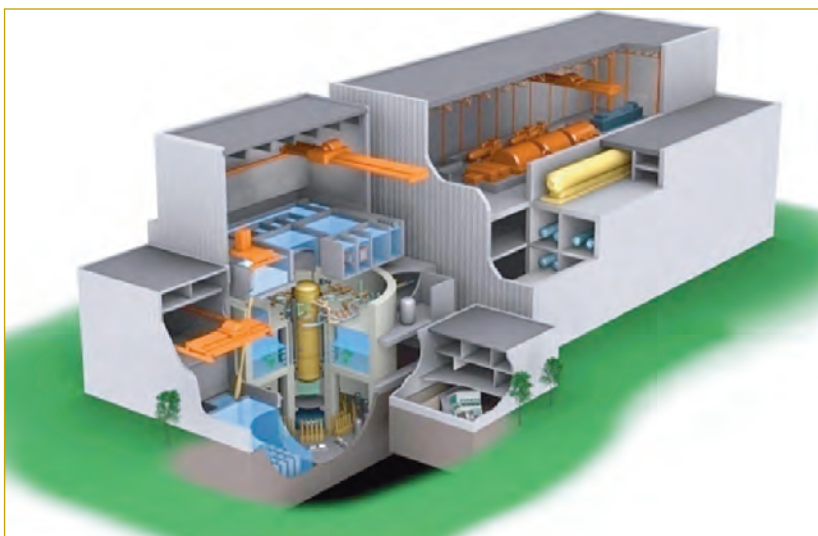


Figura 2. ESBWR, GE-Hitachi, de tipo pasivo, 1550 MWe, en proceso de Certificación del Diseño en los EEUU.

to de acero para estanqueidad de la contención, penetraciones mecánicas de la contención, revestimiento metálico de las piscinas de almacenamiento de combustible, tapa del pozo seco de la contención, diseño y análisis de tuberías y soportes para los sistemas del NSSS de GE en el edificio del reactor y en el edificio auxiliar de almacenamiento de combustible, tapa del pozo seco (DEPSS), análisis de roturas de tubería de alta energía, presurización de compartimentos, cálculos para el tarado de instrumentos, diseño de la estructura de soporte de equipos y tubería dentro del pozo seco (DEPSS), análisis termo-hidráulicos, ingeniería de factores humanos para el diseño de la sala de control (esta tarea en colaboración con Tecnatom), diagramas lógicos de los sistemas del NSSS, procedimientos de vigilancia de equipos y de respuesta en emergencia, APS de parada, etc.

- *Desarrollo y certificación del diseño del ESBWR* (BWR avanzado de tipo pasivo, 1550 MWe, GEH, USA). EA, bajo contrato con GE-Hitachi, ha participado en el desarrollo de la ingeniería del ESBWR y contribuido, creemos que de forma notable, al proceso de Certificación del Diseño de este nuevo reactor, apoyando a GEH en la preparación de varios capítulos del "Design Control Document" (DCD), así como en el desarrollo de la ingeniería necesaria para soportar el contenido de dichos capítulos, participando directamente con GEH en la defensa ante la US NRC de los trabajos por nosotros realizados, cuando así fue requerido. Aquí, de nuevo, las ta-

reas de ingeniería y diseño de EA para el ESBWR han sido multidisciplinarias, abarcando la mayor parte de las áreas y disciplinas técnicas del proyecto, y ocupándose de aspectos de la ingeniería realmente innovadores y sofisticados como corresponden al diseño de este reactor avanzado de tipo pasivo.

- *Diseño del sistema primario de refrigeración del reactor PBMR* (HTR, 175 MWe, PBMR (Pty) Ltd, Sud-Africa). El Pebble Bed Modular Reactor (PBMR) es un reactor de alta temperatura (HTR), refrigerado por gas, modular y de pequeño tamaño, que utiliza partículas de uranio embebidas en esferas de grafito como elementos combustibles. Este ha sido un proyecto muy interesante tecnológicamente para nuestra organización en cuanto al desarrollo de capacidades de ingeniería, introduciéndonos en problemas de materiales especiales, altas temperaturas, componentes singulares, etc., no conocidos en los reactores de agua ligera. El proyecto, realizado en colaboración con ENSA, ha consistido básicamente en la ingeniería y diseño completos de la vasija del reactor y de la tubería, componentes y soportes del sistema primario de refrigeración. El proyecto de desarrollo de este reactor en Sudáfrica fue cancelado recientemente por su promotor, PBMR (Pty) Ltd.
- *Diseño de una Isla de Turbina Standard con turbogenerador de MHI para nuevas centrales nucleares en Europa*. EA ha desarrollado el diseño de una Isla de Turbina Standard para el consorcio Mitsubishi Heavy Industries (MHI)/TRSA

para aplicación a futuros proyectos específicos de nuevas centrales nucleares tipo PWR en Europa con una potencia neta del orden de 1650 MWe. Basándose en este diseño standard, el consorcio MHI/TRSA ha presentado ya dos ofertas para los proyectos de Hinkley Point 1 y 2 (UK) y Penly (Francia) de EDF, en las que la Isla de Turbina se acoplará a una Isla Nuclear tipo PWR suministrada por Areva. EA ha proporcionado servicios de ingeniería a MHI/TRSA para la preparación de estas ofertas y apoyo técnico en las negociaciones con EDF durante la evaluación de ofertas.

SERVICIOS DE INGENIERÍA PARA EL PROYECTO DEL REACTOR DE FUSIÓN ITER

El proyecto del Reactor de Fusión ITER, actualmente en fase de construcción en Cadarache (Francia), tiene como objetivo demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la energía de fusión para usos pacíficos y demostrar que es viable la producción prolongada de energía de fusión en un plasma formado por deuterio y tritio en un reactor tipo Tokamak. El proyecto está promovido por la Organización ITER formada por los siguientes países: la Unión Europea, EEUU, Rusia, China, India, Japón y Corea del Sur.

Para este proyecto EA, conjuntamente con las empresas de ingeniería Atkins (UK), Assystem e IOSIS (Francia), ha formado el Consorcio Engage, que ha sido adjudicatario del Contrato de ingeniería y supervisión de construcción de 38 edificios de las instalaciones del ITER con sus sistemas auxiliares de fluidos líquidos, gases, protección contra incendios, HVAC, y sistemas de distribución eléctrica. El

proyecto se está desarrollando con todo el rigor, sistema documental, aplicación estricta de códigos y normas, gestión de la calidad y metodología propios de un proyecto nuclear como es, en definitiva, el proyecto ITER, que tiene toda la complejidad y problemática de un proyecto de una nueva central nuclear de agua ligera.

ITER es un proyecto de larga duración, de gran volumen y variedad de tareas y ofrece para EA la oportunidad de participar en un gran proyecto internacional, trabajando de forma integrada con otras empresas de ingeniería de primera línea en Europa, que nos está dando acceso a tecnologías innovadoras y que proporciona motivación profesional a nuestros ingenieros.

ALGUNAS LECCIONES APRENDIDAS EN LA PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE NUEVAS CENTRALES

Los servicios de ingeniería suministrados para proyectos de nuevas centrales nucleares han permitido a EA familiarizarse con prácticamente todas las tecnologías (tipos de reactores) y diseños de centrales disponibles actualmente en el mercado (reactores avanzados PWR y BWR, de tipo evolucionado o pasivo, con suministradores principales europeos, americanos, coreanos, japoneses y rusos, etc.), nos ha dado la oportunidad de trabajar con empresas eléctricas con gran experiencia previa en la licencia, diseño, construcción y operación de centrales nucleares y nos ha exigido aplicar códigos, normas y requisitos reguladores de diversos países. De todo ello, hemos podido extraer una valiosa experiencia. Algunas de estas lecciones aprendidas se exponen brevemente a continuación para compartirlas con el lector:

- **Modelo de contratación de la central.** Empieza a ser habitual que las empresas eléctricas, antes de la adjudicación del contrato al suministrador, decidan preseleccionar a dos (o más) de los ofertantes con los que llevar a cabo en paralelo un proceso colaborativo de negociación del contrato y una ingeniería adelantada, todo ello previo a la adjudicación definitiva y firma del contrato con el ofertante finalmente seleccionado, con cuyo diseño se procederá a la solicitud del permiso de construcción. En esta fase de ingeniería adelantada existen oportunidades de un importante volumen de trabajo para las empresas de ingeniería. La empresa eléctrica quiere llegar a la emisión de la orden de proceder (NTP) al suministrador seleccionado con un porcentaje alto (por ejemplo, >60%) de la ingeniería de detalle realizada antes del comienzo de la construcción que sirva, además, para adaptar el diseño ofertado a los requisitos del cliente y a la normativa del país y para optimizar y cerrar los precios del contrato durante la negociación colaborativa del mismo.
- **Nivel técnico de los equipos de proyecto.** Generalmente, el cliente en estos proyectos de nuevas centrales es, o bien una empresa eléctrica de un país industrializado con experiencia nuclear previa, o bien un suministrador principal. Por tanto, para la empresa de ingeniería se hace imprescindible disponer de equipos de personal con gran experiencia para poder cumplir con los altos niveles de exigencia técnica que requieren este tipo de cliente para estos proyectos.
- **Diversidad de requisitos del cliente y normativa aplicable en cada país.** La integración en las Especificaciones de Petición de Oferta (BIS) de los requisitos de cada cliente con los de la normativa y requisitos reguladores aplicables en cada país exige un gran esfuerzo y preparación técnica. Y más aún si se quiere hacer compatible todo ello con minimizar el impacto en el diseño standard certificado o ya licenciado en el país de origen de la tecnología que muchos de los suministradores están ofreciendo. Por ejemplo, llama la atención la extensiva renovación de las guías reguladoras de la US NRC en los EEUU y la emisión de nuevas guías que exigen un esfuerzo de estudio y asimilación para poderlas aplicar correctamente en los nuevos



Figura 3. Proyecto del Reactor de Fusión ITER actualmente en fase de construcción en Cadarache (Francia).

proyectos sin dejarse llevar por las guías aplicadas en los proyectos de centrales hoy en operación.

- **Variedad de los servicios requeridos.** Otro de los aspectos clave para el éxito en el suministro de servicios de ingeniería para nuevos proyectos, particularmente en la fase de adquisición de la central, es la necesidad de prestar consultoría al cliente en temas más allá de los puramente técnicos, ya complejos de por sí. El cliente demanda de la ingeniería conocimientos sobre aspectos del proceso de licencia, modelos de contratación de la central, estrategias para la implementación del proyecto, cualificación de la cadena de suministros ("supply-chain"), familiarización con nuevas técnicas de construcción, aspectos contractuales, garantías exigibles al suministrador, organización del proyecto, gestión de la calidad global del proyecto, tecnología de información, evaluación económica y financiación de proyectos, evaluación de riesgos, etc.
- **Herramientas de ingeniería y diseño.** La participación en proyecto de nuevas centrales ha significado para EA la renovación y mejora de

los procesos de diseño, la modernización de los códigos de cálculo empleados y la introducción sin reservas de procesos avanzados de diseño por ordenador, utilizando modelos 3D y bases de datos de ingeniería de uso integrado por todas las disciplinas del proyecto desde centros de trabajos distantes entre sí.

- **Modularización.** La modularización del diseño y la prefabricación de módulos de equipos y módulos estructurales en talleres dentro o fuera del emplazamiento se está convirtiendo en una técnica de construcción habitual en las nuevas centrales. El objetivo es reducir la congestión en el emplazamiento y acortar los plazos de construcción con la consiguiente reducción de los intereses intercalarios y de los recursos de personal de construcción en el emplazamiento. La modularización afecta de forma significativa al proceso de diseño y a la documentación generada en el proyecto, que ya no son los habituales en los proyectos ejecutados en el pasado.
- **Planta Standard.** Muchos suministradores proponen en sus ofertas el diseño de su Planta Standard para

el que han obtenido la Certificación de Diseño o el de una central ya construida que ha sido previamente licenciada. La experiencia está demostrando que el impacto de los requisitos de cada cliente, de la normativa de cada país y de cada emplazamiento específico sobre estos diseños standard, pone en duda su utilidad real para disminuir de forma sustancial las horas de ingeniería del proyecto, como se ha venido publicando. Por otro lado, hay que hacer notar que el nivel de desarrollo de la ingeniería de detalle necesario para soportar la Certificación del Diseño de una Planta Estándar es más bien bajo. Todo ello indica que los volúmenes de horas de ingeniería a realizar en los nuevos proyectos seguirán siendo altos, como lo fueron en los proyectos de las centrales hoy en día en operación.

Finalmente y en base a lo aquí expuesto, reiterar que las oportunidades para empresas de ingeniería en proyectos de nuevas centrales existen en un mercado exigente y son de gran interés, tanto como oportunidad de negocio como de actualización y mejora tecnológica para la empresa.■