

Experiencia de Areva en servicios de combustible para PWR y BWR

I. Morlaes

Areva, proveedor integrado de elementos combustibles, ha incluido en su estrategia el desarrollo de servicios y soluciones para clientes que desean mejorar el rendimiento y la seguridad de su combustible. Estos servicios van más allá de la simple asistencia "postventa" que puede esperarse de un proveedor de combustible. La cartera de Areva incluye una amplia variedad de propuestas, desde cálculos científicos a servicios de gestión de combustible en una central nuclear. Areva tiene el compromiso de colaborar y proponer soluciones únicas en su género que supongan una diferencia real para el cliente, basadas en 40 años de experiencia en el diseño y la fabricación de combustible.

AREVA being an integrated supplier of fuel assemblies has included in its strategy to develop services and solutions to customers who desire to improve the performance and safety of their fuel. These services go beyond the simple "after sale" services that can be expected from a fuel supplier: The portfolio of AREVA includes a wide variety of services, from scientific calculations to fuel handling services in a nuclear power plant. AREVA is committed to collaborate and to propose best-in-class solutions that really make the difference for the customer, based on 40 years of Fuel design and manufacturing experience.



ISABELLE MORLAES

Vicepresidenta de Desarrollo de Negocio de Servicios de Combustible, Línea de Negocio de Combustible, Grupo de Negocios de Ciclo Inicial.

AREVA

Por su larga experiencia de más de 40 años en el diseño, la fabricación y la licenciamiento de combustible, Areva ofrece a clientes de todo el mundo soluciones que les ayudan a mejorar el rendimiento de sus plantas y a resolver cualquier problema relacionado con el combustible.

UNA CARTERA COMPLETA

La cartera de Areva incluye una amplia variedad de propuestas, desde cálculos científicos a servicios de gestión de combustible en una central nuclear. Los servicios de combustible se clasifican generalmente en tres áreas principales: servicios *in situ*, como inspección, reparación y limpieza de elementos combustibles; servicios de ingeniería, como análisis de seguridad y estudios de optimización del rendimiento del combustible y del núcleo, y servicios de fabricación, como el lavado de cilindros, la recuperación de uranio de combustible nuevo o *scraps*, y muchos otros servicios que pueden prestar los equipos de ingeniería y servicios de Areva, incluyendo los cursos de formación en todas las materias relacionadas con el combustible (Tablas 1, 2 y 3).

Tradicionalmente, estas actividades se han desarrollado como soporte del negocio de suministro de combusti-

ble. Se ofrecían, y todavía se ofrecen, bajo demanda de los clientes, generalmente como "servicios postventa". El aumento de las exigencias en lo que respecta a las condiciones de funcionamiento y el rendimiento económico de las centrales nucleares y las condiciones más estrictas de las autoridades reguladoras han ido ampliando progresivamente el alcance y la complejidad de las necesidades relativas al combustible; antes esta situación, Areva ha respondido con el desarrollo continuo de una serie de soluciones adaptadas.

Los servicios de combustible son actualmente una parte integrante del negocio principal de Areva, y por ello, en ellos se presta la máxima atención a la satisfacción de los clientes.

UNA RED INTERNACIONAL DE EXPERTOS PARA AUMENTAR AL MÁXIMO EL VALOR OFRECIDO

Areva presta servicio a clientes de todo el mundo, incluida China, donde mantiene una relación duradera con las empresas nucleares chinas y ofrece desde hace muchos servicios y herramientas para sus centrales nucleares.

Los servicios de combustible corren a cargo de equipos locales en Europa (Francia y Alemania) y en Estados Unidos, con el apoyo de una

red internacional de expertos altamente cualificados. Aunque la proximidad a los clientes es una condición necesaria, la amplia experiencia mundial puede ser esencial al enfrentarse a un problema nuevo en una central. Los equipos locales de Areva comparten continuamente el conocimiento de los diversos contextos normativos, la experiencia práctica y la tecnología para proponer las soluciones más adecuadas a necesidades específicas.

Por ejemplo, los equipos estadounidenses de Areva están autorizados por EPRI para efectuar la limpieza de combustible con tecnología ultrasónica (UFC, y desde hace algunos años HE-UFC, es decir, limpieza ultrasónica de combustible de alta eficiencia). Cuentan con una larga experiencia en Estados Unidos y pueden ofrecer este servicio en cualquier otro lugar del mundo, con o sin evaluación del riesgo de *crud* o análisis de muestras, en función de la situación concreta. Otro ejemplo es la tecnología de inspección *In-Mast Sipping* de combustible desarrollada por los equipos alemanes, que se ha implantado en muchos países europeos y en Estados Unidos, y que ha sido recientemente contratada por Eskom en Sudáfrica (Figura 5).

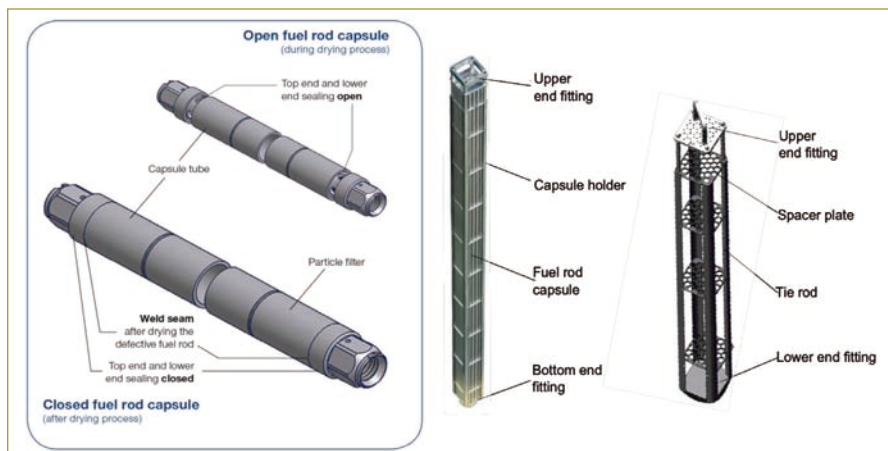


Figura 1: Las cápsulas de barras combustibles (a la izquierda) se insertan en contenedores para cápsulas (a la derecha), que tienen unas dimensiones similares a las de los elementos combustibles PWR o BWR y que pueden manipularse como éstos.

Áreas principales de servicios	Necesidad del cliente	Soluciones propuestas
Engineering services	Rendimiento económico	Estudios de duración del ciclo
		Estudios de maniobrabilidad (p. ej. modulación de potencia)
		Gestión y reducción de tiempo de parada
		Estudios de aumento de potencia
		Sistema de supervisión del núcleo ARGOS
	Cumplimiento de requisitos de seguridad	Estudios sísmicos
		Estudios de seguridad LOCA y no LOCA
		Análisis de criticidad
	Fiabilidad del combustible	Estudios de evaluación del riesgo de crud
		Gestión y mitigación del arqueamiento de elementos combustibles
		Estudios de integridad de la vaina de combustible (PCI)
	Asistencia al cliente	Asistencia en el reactor (p. ej. análisis de causa raíz)
		Soporte técnico genérico
		Soporte de ciclo final (p. ej. comportamiento del combustible gastado a largo plazo)
	Formación	Soporte de transición de productos y programas de cualificación del proveedor
		Formación relacionada con el diseño e ingeniería de combustible o el uso de códigos y métodos
	Códigos y métodos	Códigos y métodos avanzados

Tabla 1: Cartera de servicios de ingeniería del combustible de Areva clasificados por necesidades de los clientes.

INNOVACIÓN PARA PREPARAR SOLUCIONES PARA NECESIDADES Y REQUISITOS EMERGENTES

Areva está comprometida con la excelencia tecnológica e invierte en la preparación de servicios futuros: la mejora y el desarrollo continuo de técnicas y herramientas nuevas, y el desarrollo de códigos y métodos avanzados están motivados por la anticipación de los requisitos de operación y de seguridad del futuro.

Por ejemplo, es un hecho que las piscinas de combustible gastado cada

vez están más saturadas en muchos países, por no hablar de los reactores parados que están en espera de una solución de “final de vida útil” segura. Los equipos de combustible de Areva están desarrollando servicios para gestionar y eliminar todo tipo de desechos y componentes del combustible que están en espera de embalado y almacenamiento fuera de las plantas. Desde la misma perspectiva, y en colaboración con expertos en el ciclo final del combustible de Areva, los equipos de servicios de

combustible desarrollaron una solución nueva de almacenamiento a largo plazo del combustible defectuoso, que consiste en el encapsulado de barras combustibles defectuosas en recipientes soldados que se cargarán en un contenedor de doble propósito de Areva, y que es la mejor tecnología actual para el cumplimiento de los requisitos de seguridad (Figura 1). En relación con esta tecnología innovadora, Areva ha firmado un contrato en Bélgica con Synatom para efectuar el encapsulado de barras combustibles defectuosas en Doel 1 y 2, para acondicionarlas en contenedores de transporte y almacenamiento TN@24 SH, con opción a realizar operaciones similares en Doel 2 y 4 y en Tihange 1, 2 y 3. Aunque el encapsulado de barras combustibles defectuosas es un proceso bien conocido aplicado desde hace años por los servicios de combustible de Areva, la innovación -protegida por diversas patentes- consiste en el secado de las barras y en el soldado posterior de la cápsula controlados de forma precisa, lo que permite el almacenamiento a largo plazo de dichas barras en las máximas condiciones de seguridad.

Ahora que las autoridades reguladoras están revisando en algunos países los requisitos que hay que cumplir, especialmente después del accidente de Fukushima, Areva presta apoyo a los clientes que desean anticiparse a las exigencias de los nuevos criterios y de las nuevas normas mediante análisis y cálculos.

SERVICIOS DE INGENIERÍA: LA COMBINACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LAS PERSONAS Y DE LA APLICACIÓN DE CÓDIGOS Y MÉTODOS AVANZADOS

Entre las áreas de conocimiento técnico de Areva figuran las siguientes: análisis de criticidad, evaluación de riesgos químicos y de crud, análisis estructurales y sísmicos, análisis de ingeniería de núcleo, formación y soporte *in situ*, etc. (Tabla 1).

La mayor parte de estos servicios se basa en el uso de códigos y métodos avanzados. Areva ha desarrollado un nuevo sistema de códigos denominado Arcadia® que es el resultado de la convergencia de distintos métodos y de la experiencia de ingenieros especializados altamente capacitados de Europa y Estados Unidos (Figura 2). Este sistema de códigos que combina la neutrónica, la termohidráulica de núcleo y la termomecánica se aplica en los cálculos para el diseño del núcleo del reactor y de los elementos combustibles y para los análisis de seguridad. Permite una excelente creación de modelos físicos y contribuye

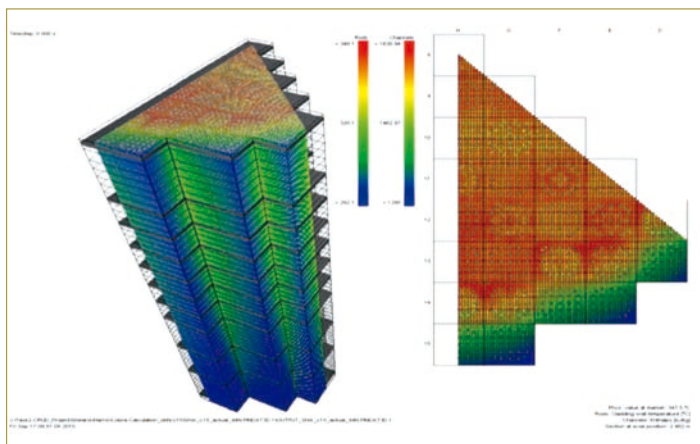


Figura 2: Ejemplos de predicción de Arcadia®: temperatura de la superficie de la barra y entalpía de subcanal.

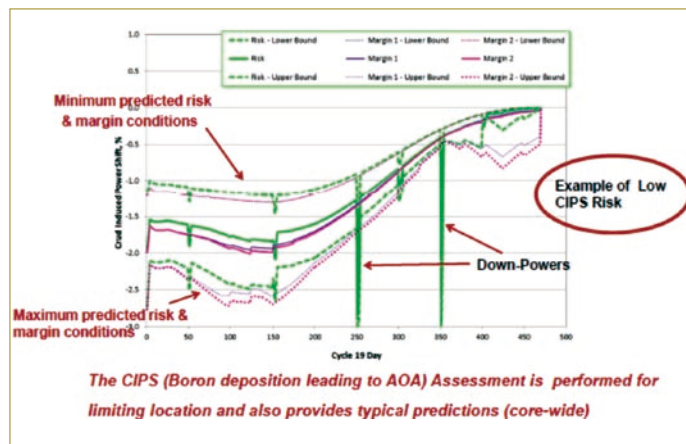


Figura 3: Ejemplo de predicción de cambio de potencia inducido por crud (CIPS) para condiciones límite del núcleo.

Áreas principales de servicios	Necesidad del cliente	Soluciones propuestas
Servicios in situ	Inspección y caracterización	Medición de elementos combustibles (longitud, arqueamiento, rotación, etc.)
		Medición de dimensiones de barras combustibles (longitud, diámetro, etc.)
		Medición del ancho de la rejilla
		Medición del grosor del óxido de la barra combustible
		Ensayos de prueba por lavado en línea y fuera de línea
		Detección y localización de fugas de barras combustibles
		Examen visual de elementos y barras combustibles
		Toma de muestras de crud
	Reparación y restauración de combustible	Extracción y sustitución de barras de combustible con fugas
		Reparación del armazón: rectificado y enderezado de aletas
	Limpieza de combustible	Sustitución del armazón
		Limpieza de combustible ultrasónica (UFC) y de alta eficiencia (UFC)
	Manipulación y acondicionamiento de combustible	Retirada de piezas sueltas
		Corte y compactación
		Encapsulado de barras de combustible defectuosas
		Manipulación y encapsulamiento
	Asistencia al cliente	Asistencia in situ durante las operaciones de carga y descarga de elementos combustibles
		Coordinación de operaciones in situ
	Formación	Desbloqueo de elementos combustibles atascados durante una parada
	Formación	Formación para los servicios de campo o para efectuar operaciones específicas in situ
	Equipamiento y herramientas	Equipamiento y herramientas para prestar servicios in situ

Tabla 2: Cartera de servicios combustible *in situ* de Areva clasificados por necesidades de los clientes.

al funcionamiento más económico y aún más seguro de los reactores.

Por ejemplo, en Estados Unidos, el código termohidráulico Cobra-FLXTM aprobado por la NRC, que forma parte del paquete de códigos Arcadia®, es uno de nuevos códigos que utiliza Areva para prestar servicios innovadores de ingeniería. Cobra-FLXTM y la tecnología de modelado de depósitos de impurezas químicas, conocida como FDIC (*Fuel Deposit Interactive with Chemistry*) constituyen la esencia del programa de evaluación de riesgos

de crud de Areva. La particularidad y la ventaja de este modelo estriban en que tiene en cuenta la temperatura, el calor y las condiciones químicas diarias y predice más eficazmente los factores limitadores localizados que un modelo de equilibrio de masas basado en proporciones. Debido a ello, Areva disfruta de una posición de liderazgo en capacidad de predicción de riesgos de crud de nivel 3 y 4. Este programa se ha aplicado en diversas ocasiones en los últimos cinco años, en los tres tipos de reactores PWR

(B&W, C-E y Westinghouse) y BWR. Recientemente, Areva ha firmado un contrato en Sudáfrica con Eskom para efectuar una evaluación de riesgo de crud en el marco del proyecto de sustitución de generadores de vapor.

SERVICIOS DE CAMPO: TÉCNICAS Y EQUIPOS CAPACITADOS Y EXPERIMENTADOS PARA OFRECER ASISTENCIA INTEGRAL

Areva dispone de un conjunto moderno y completo de técnicas y equipos (*tool box*) para servicios de combustible

PWR y BWR que pueden aplicarse in situ cuando el cliente lo solicita (Tabla 3). Para satisfacer cada una de las numerosas necesidades potenciales de caracterización y examen de combustible (elementos combustibles y RCCA), Areva ha desarrollado dis-

positivos de medición que pueden adaptarse a manipuladores o plataformas multiuso. Estos manipuladores permiten la inspección, la caracterización, el desmantelamiento, el cambio de armadura o la reparación de elementos combustibles.



Figura 4: Varias pinzas y garras para recoger piezas sueltas.

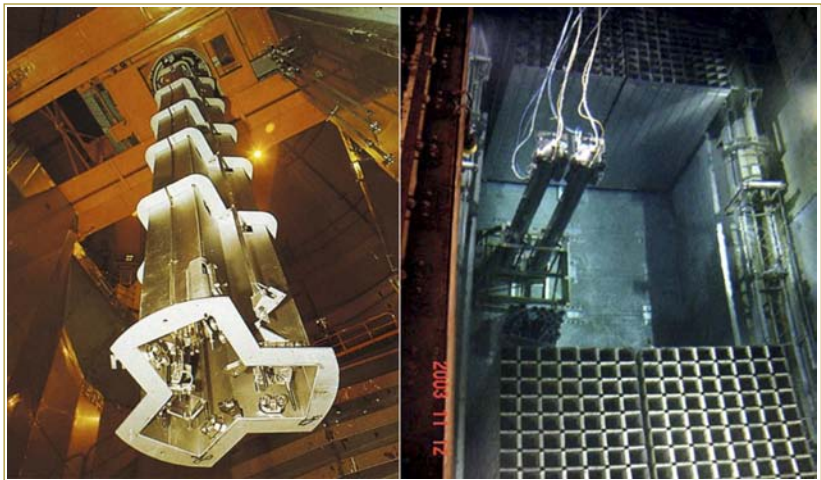


Figura 5: Detección en línea de fugas de elementos combustibles con el equipo de *In-Mast Sipping* (a la izquierda) y la detección fuera de línea con el *Vacuum Box Sipping* móvil instalado en la piscina de combustible gastado.

Areva también ha desarrollado herramientas y sistemas especiales para completar su oferta, como, por ejemplo, una máquina compactadora del esqueleto del combustible (que reduce el volumen siete veces), varias pinzas, garras, cortadores, dispositivos de absorción, etc. para recoger piezas sueltas y pastillas de combustible (Figura 4), así como sistemas de *Sipping* avanzados adaptados a distintas configuraciones.

El sistema de inspección de *In-Mast Sipping* de Areva (Figura 5) es una técnica rápida y fiable para la identificación de fugas de elementos combustibles PWR y BWR durante la descarga o recolocación del núcleo. Utiliza la diferencia de presión que se produce cuando se levanta del núcleo un elemento combustible. Se determina si los elementos combustibles están defectuosos o en buen estado en función de la medición de la concentración de productos gaseosos de fisión Kr-85 y Xe-133 en relación con una magnitud de fondo. La detección es inmediata y no ralentiza el proceso de manipulación del combustible. Su uso también es adecuado con elementos de combustibles almacenados a largo plazo (se ha experimentado con un elemento combustible almacenado más de 12 años). Esta tecnología contrastada se ha utilizado desde 1996 en más de 20 centrales nucleares con una eficacia del 100 %. Para uso en los BWR, Areva ha desarrollado una campana de *Sipping* que combinada con la técnica de *In-Mast Sipping* (denominada *Sipping 16*), permite la detección simultánea de 16 elementos combustibles.

Otra tecnología es la *Vacuum Box Sipping* para elementos combustibles PWR y BWR (Figura 5). La identificación de combustible defectuoso se realiza aislando elementos individuales en un equipo de *Sipping*, reduciendo la presión del recipiente y tomando muestras de los gases de fisión liberados. El sistema cuenta con dos celdas para aumentar la velocidad de la inspección (cuatro elementos por hora).

LA CAPACIDAD DE RESPUESTA Y PROFESIONALIDAD SON VALORES FUNDAMENTALES COMPARTIDOS POR NUESTROS EQUIPOS LOCALES

La flexibilidad y receptividad ante cualquier necesidad o requisito, y la preparación para situaciones inesperadas en el comportamiento del combustible son indispensables en este campo. Las herramientas comunes no están siempre adaptadas, y aquí es cuando juega un papel fundamental el conocimiento práctico y la experiencia.

Áreas principales de servicios	Necesidad del cliente	Soluciones propuestas
Servicios de fabricación	Recuperación de uranio	Recuperación de uranio de elementos combustibles nuevos no utilizados
		Recuperación de uranio de desechos y cenizas
		Servicios de lavado de cilindros
		Actualización de elementos combustibles nuevos no utilizados
	Servicios de almacenamiento	Almacenamiento de componentes, cilindros de uranio, etc.
	Productos de fabricación intermedia	Polvo de UO ₂ , componentes, etc.
	Asistencia al cliente	Control de calidad y supervisión de equipos de fabricación para operaciones específicas
		Estudios de ingeniería y ensayos de adaptación de procesos
		Mejora de la capacitación (seguridad) tras el accidente de Fukushima
	Formación	Formación relacionada con los procesos, operaciones y control de calidad de la fabricación
	Equipamiento	Equipamiento para plantas de fabricación

Tabla 3: Cartera de servicios de fabricación del combustible de Areva clasificados por necesidades de los clientes.

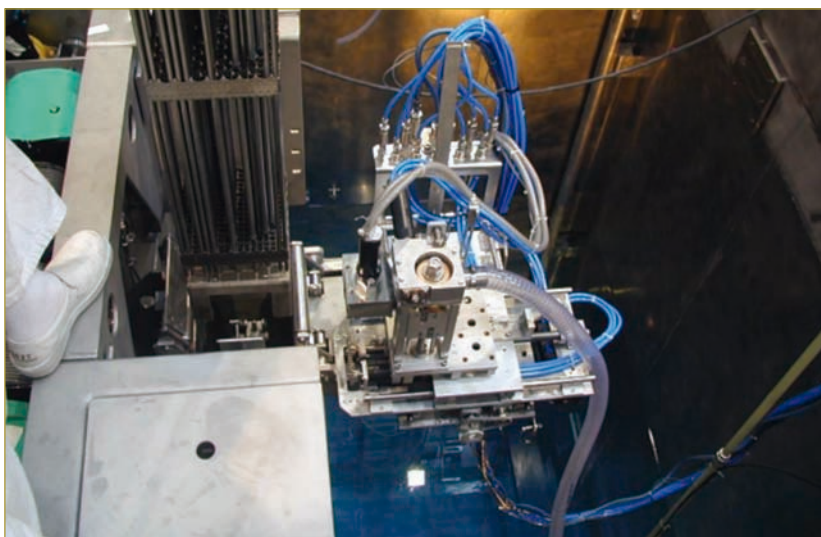


Figura 6: Piscina en Cadarache: Ensayos bajo el agua, capacitación y formación del personal para uso del equipo de rectificado de la rejilla espaciadora.

Por ejemplo, en Alemania se detectó un elemento combustible con un cabezal superior defectuoso en una central nuclear PWR (de diseño 16x16), que no podía manipularse con métodos convencionales y homologados. El equipo de servicios alemán, basándose en la experiencia de sus colegas estadounidenses en un caso similar, desarrolló en colaboración con el cliente un sistema para recuperar el elemento combustible, que se probó y fue autorizado por las autoridades encargadas de la seguridad en cuatro semanas. Tras la aprobación de la técnica, Areva recuperó satisfactoriamente el elemento combustible *in situ*.

Una cooperación similar tuvo lugar en Francia cuando un elemento combustible bloqueó la operación de recarga de una central nuclear a finales de 2013. Tras recibir la llamada por la *hotline* de Areva Fuel, los equipos se pusieron rápidamente a trabajar en el diseño de una solución adaptada, se la pusieron al cliente, recibieron la

autorización y la implantaron *in situ*. En comparación con la solución que quería aplicar inicialmente el cliente, se ahorraron aproximadamente tres días del camino crítico de la parada. El equipo francés también aprovechó la experiencia de los equipos de Alemania y Estados Unidos en cuestiones similares para desarrollar su solución específica y también fue un factor importante para convencer al cliente y a las autoridades responsables de la seguridad.

También es interesante comprobar que en diversas ocasiones, los clientes han recurrido a Areva para la inspección y reparación de conjuntos combustibles que no habían sido diseñados por Areva (por ejemplo para la retirada o sustitución de barras combustibles dañadas).

SERVICIOS DE FABRICACIÓN: UNA ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA DE LA FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE

Areva puede ofrecer servicios directamente desde sus plantas de fabrica-

ción (Tabla 3). Por ejemplo, desde hace más de 20 años, Areva ayuda a sus clientes a optimizar la recuperación de sus recursos de uranio para reutilizarlos, basándose en su experiencia de desmantelamiento de combustible de una amplia variedad de diseños en sus instalaciones homologadas americanas y europeas (Richland, WA, y Lingén, Alemania).

LABORATORIOS Y ÁREAS DE FORMACIÓN

Como complemento a muchos de los análisis y evaluaciones de ingeniería, Areva puede efectuar análisis químicos y radioquímicos en sus propios laboratorios, tanto en Estados Unidos (Lynchburg, VA) como en Europa (Erlangen, Alemania). Estos dos laboratorios están diseñados y homologados para manipular muestras radioactivas o contaminadas procedentes de centrales nucleares y de otras instalaciones comerciales. En ellos se utilizan los equipos más modernos y las tecnologías más innovadoras para efectuar análisis químicos especializados rutinarios o emergentes, ensayos metalúrgicos y de corrosión, y análisis de sólidos, líquidos y gases radioactivos y no radioactivos procedentes de todas las áreas de las plantas PWR y BWR.

Areva también gestiona zonas controladas y centros de mantenimiento (en Francia, Alemania y Estados Unidos) para mantener, mejorar, ensayar y homologar equipos y herramientas. Estas instalaciones también se utilizan para formar a los operadores antes de su desplazamiento para la intervención *in situ*. Por ejemplo, en los CETIC de Cadarache y Chalon (ambos en Francia), los operadores pueden comprobar el equipo bajo el agua en piscinas de 14 metros de profundidad que reproducen la configuración de las instalaciones reales.■