

APLICACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS EN EL EDIFICIO DEL REACTOR TOKAMAK PARA EL PROYECTO INTERNACIONAL ITER



IVÁN MAQUEDA IGLESIAS

Director de la Unidad de Negocio de Tratamiento de Superficies.
GDES



SALVADOR PINEDA RODRÍGUEZ

Técnico de Proyecto.
GDES

INTRODUCCIÓN

Cuando llegó la licitación al departamento técnico de la Unidad de Tratamiento de Superficies de GDES, por mediación de la organización Fusion for Energy (F4E), asumimos el desafío que suponía optar a un contrato relacionado con el proyecto ITER. Nuestro grupo empresarial ha estado relacionado con proyectos ubicados dentro del sector energético con gran envergadura presupuestaria, técnica y de alto valor estratégico dentro del ámbito de la investigación y el desarrollo tecnológico. Sin duda este proyecto aúna todos los aspectos citados, lo cual suponía un reto que debíamos materializar.

Para poder dimensionar en su justa medida lo que supone el proyecto ITER dentro del desarrollo tecnológico internacional, queremos aportar unos datos clave que lo sitúan por sí solo en los primeros puestos de la escala tecnológica mundial.

El proyecto ITER que significa “el camino” en latín, está construyendo sus instalaciones en Cadarache, emplazamiento situado al sur de Francia, y cuenta con la colaboración de 34 países para fabricar el primer dispositivo de fusión nuclear, a escala industrial, para demostrar la viabilidad de la fusión como fuente de energía a gran escala y libre de emisiones de carbono, basándose en el mismo principio por el cual el sol y las estrellas generan su energía. El Proyecto ITER será crucial en el avance de la ciencia y el estudio de la fusión nuclear y preparará el camino para el diseño de las plantas de generación de energía del mañana. Por ello, ITER es considerado uno de los proyectos científicos más complejos de la historia.

La misión de GDES en este proyecto es realizar la aplicación de diferentes revestimientos específicos en 73 600 m² del interior de los edificios denominados *Tokamak building*, *Diagnostic building* y *Tritium building*; con opción a un alcance total propuesto de aproximadamente 120 000 m² (Foto 1).

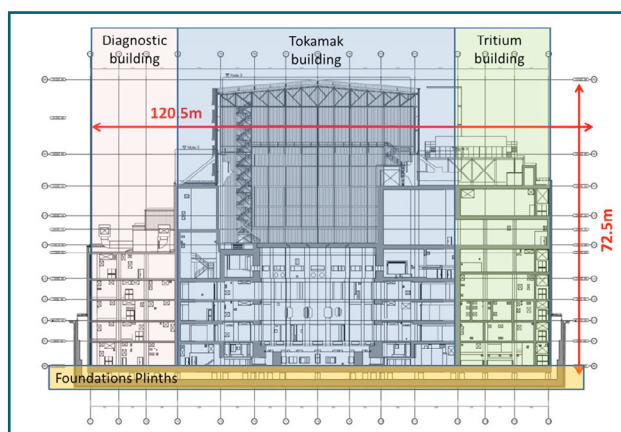


Foto 1.

Para resumir las distintas soluciones técnicas de revestimiento que GDES aplica en este proyecto, se realiza una clasificación de sistemas de revestimientos que actualmente se encuentran en proceso de ejecución y se describen los métodos de control que garantizan la correcta aplicación de los mismos.

Esta clasificación se realiza en función de los requerimientos técnicos de cada sala o cubículo de la instalación, distinguiendo siete grupos que se muestran a continuación:

- Sistema de revestimiento estándar sin requerimiento de descontaminación.
- Sistema de revestimiento estándar con requerimiento de descontaminación.
- Sistema de revestimiento no generador de polvo y anti-carbonatación.
- Sistema de revestimiento con requerimientos sobre planitud (*flatness*), alta resistencia química y apto para tráfico pesado.
- Sistemas de revestimiento con requerimiento de estanqueidad y resistente a alta irradiación.
- Sistema de revestimiento con requerimiento de conductividad electrostática.

- Sistema de revestimiento con requerimiento de resistencia a aceites minerales.
- Sistema de revestimiento sobre aceros.

Se realiza una segunda clasificación en función del tipo de superficie, distinguiendo entre suelos, paredes y techos, ya que los requerimientos en estas superficies pueden tener necesidades técnicas diferentes para una misma planta, sala o cubículo de cada edificio.

También existe un aspecto muy importante y es el que ocupa la consideración de los elementos y puntos singulares con su tratamiento particular de ejecución. Pero para exponer los diferentes sistemas de aplicación, hemos optado por agruparlos en este artículo de forma conjunta teniendo en cuenta los requerimientos técnicos y un tipo de superficie dada. De esta forma evitamos describir los sistemas de forma muy repetitiva.

SOLUCIONES TÉCNICAS Y REVESTIMIENTOS

Sistema de revestimiento con requerimiento de descontaminación sobre suelos

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP4.

Se trata de un sistema de dos capas de dos tipos de pintura epoxídica autonivelante tricomponente (sellado y acabado) con sílice incorporados y excluido de disolventes, con buena resistencia a la abrasión y un acabado adecuado para una limpieza industrial severa y frecuente. El espesor de la primera capa sirve como regulación de posibles imperfecciones y la segunda capa dota al sistema del espesor y de las cualidades técnicas requeridas que son las convencionales para un suelo destinado a la actividad industrial, como es la resistencia mecánica y moderadamente resistente a los agentes químicos y a la temperatura (Foto 2).

Sistema de revestimiento con requerimiento de descontaminación sobre techos y muros

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP2.



Foto 2.

Es un sistema de 4 capas de tipo epoxipoliámida bicomponente base agua donde la primera capa tiene la función de corregir las posibles imperfecciones que pudieran darse en la superficie de hormigón después de su preparación superficial. Presenta un acabado liso, no es absorbente de líquidos y tiene la resistencia química adecuada para soportar limpiezas industriales severas y frecuentes (Foto 3).



Foto 3.

Sistema de revestimiento sin requerimiento de descontaminación, con resistencia a la carbonatación y no generador de polvo sobre techos y muros

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP2.

Se trata de un sistema de dos capas de un tipo de pintura epoxídica bicomponente base agua. Opcionalmente puede aplicarse una capa inicial de sellado en función de las pequeñas imperfecciones que pudiera tener el hormigón a revestir después de su preparación superficial. Este caso, además de no absorber líquidos y tener resistencia química, tiene propiedades anticarbonatación y no genera polvo.

Sistema de revestimiento con requerimiento de resistencia a la carbonatación y no generador de polvo sobre suelos, techos y muros

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP4.

Es un sistema de 2 capas de tipo epoxipoliámida bicomponente base agua. Tiene propiedades anticarbonatación y no genera polvo.

Sistema de revestimiento con requerimiento sobre planitud (flatness), alta resistencia química y apto para tráfico pesado sobre suelos

Este sistema lo conforman los mismos componentes que el sistema de revestimiento con requerimiento de descontaminación sobre suelos. Se aplica en dos capas de dos tipos de pintura epoxídica autonivelante tricomponente (sellado y acabado) con sílice incorporados y excluido de disolventes. La diferencia es que la última capa es tres veces superior, porque se ha diseñado para tráfico pesado.

Adicionalmente, se exige una planitud con una desviación mínima por lo que el material debe ser autonivelante (Foto 4).

Este sistema posee unas características de resistencia a la abrasión, resistencia mecánica al desgaste, al rayado, a la compresión y al impacto así como buena estabilidad a las agresiones químicas.

Sistema de revestimiento con requerimiento de estanqueidad y resistente a alta irradiación

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP4.



Foto 4.



Foto 5.

Se trata de un sistema estratificado de capas que comienza con la aplicación de una impregnación selladora epoxídica monocomponente en fase acuosa para sellar los poros del hormigón. La segunda capa es una imprimación epoxídica bicomponente sin disolventes que además sirve como puente de unión y como capa de nivelación. Después se aplica un estratificado compuesto por dos capas de pintura epoxídica, denominadas impregnación y saturación, en la que se coloca como refuerzo una malla de fibra de vidrio en medio de las dos capas. Por último, se realiza un espolvoreado con árido de sílice y se aplica una capa final de pintura epoxídica mono-componente sin disolventes (Foto 5).

Sistema de revestimiento con requerimiento de conductividad electrostática para suelos

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP4.

El sistema se compone de una primera capa de resina ligante epoxídica bicomponente sin disolventes como imprimación. Después se deben colocar las trenzas o cintas de cobre. Se debe diseñar su colocación con antelación y en función de la geometría de la zona, de tal forma que pueda garantizarse la conexión a tierra. Cada puesta a tierra será capaz de disipar cargas estáticas en un radio de aproximadamente 50 m². Cada punto del pavimento no debe estar a más de 10 m de una conexión al suelo. Cada área deberá tener al menos dos conexiones.

También es necesario realizar una serie de mediciones de la conductividad en función de la superficie definida como zona de trabajo, tomando como mínimo dos mediciones cuando la superficie sea inferior a 10 m².

Una vez colocadas las cintas y tomadas las mediciones, se debe aplicar una capa de pintura epoxídica bicomponente antiestática con prestaciones conductivas y finalmente se debe aplicar una capa de acabado epoxídica bicomponente sin disolventes gruesa para resistir tráfico moderado e intenso.

Sistema de revestimiento con requerimiento de resistencia a aceites minerales

Este sistema es igual que el estratificado descrito para suelos con requerimiento de estanqueidad y resistente a alta irradiación pero sin la capa de estratificado.

Este sistema se aplica sobre superficies de hormigón previamente amoladas con herramientas mecánicas para eliminar restos de lechada de hormigón y homogeneizadas posteriormente mediante proyección de abrasivo, con un grado de rugosidad mínima de CSP4.

La aplicación comienza con una capa de una impregnación epoxídica monocomponente en fase acuosa para sellar los poros del hormigón. La segunda capa gruesa es una imprimación epoxídica bicomponente sin disolventes. Por último, se realiza una capa final de pintura epoxídica monocomponente sin disolventes.

Sistema de revestimiento sobre aceros

Este sistema se aplica sobre superficies de acero, previamente cepilladas con herramientas mecánicas o mediante proyección de abrasivo, hasta llegar a un grado de limpieza de St3 o Sa 2½.

La aplicación de este sistema comienza con una capa de imprimación de pintura epoxi-fenólica-poliamida bicomponente. Después también se aplica una segunda capa del mismo material. Finalmente se aplica una tercera capa de otro material con la misma base química que las dos anteriores.

Tratamiento de los elementos y puntos singulares

La ejecución de los sistemas de revestimientos descritos requiere prestar especial atención a la aplicación en el entorno de elementos y puntos singulares. Explicamos brevemente la ejecución de los revestimientos en estos elementos:

• Encuentros con placas metálicas embebidas en el hormigón:

Caso general. En primer lugar, se procede con la ejecución del revestimiento sobre la placa metálica (o, al menos, su primera capa). Posteriormente, se rellena la hendidura entre la placa y la superficie de hormigón con un material de sellado base resina epoxídica (si existe tal hendidura), enrasando a nivel de la superficie de hormigón.

Finalmente, se ejecuta el sistema de revestimiento en hormigón considerado, sin sobrepasar el perímetro de la placa metálica, que habrá sido cubierto por cinta adhesiva previamente (Foto 6).

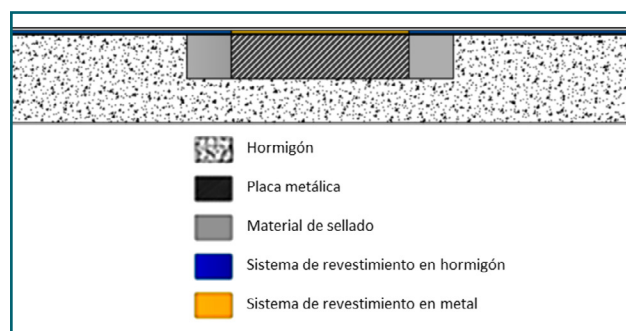


Foto 6.

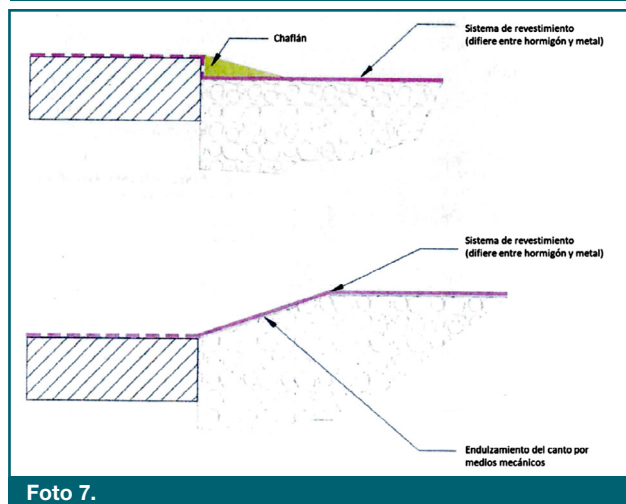


Foto 7.

Cuando las placas metálicas sobresalen de la superficie de hormigón, es necesario realizar un chaflán para endulzar el encuentro metal-hormigón. Si, por el contrario, la placa metálica se encuentra hundida respecto a la superficie de hormigón, se deben endulzar los cantos de hormigón por medios mecánicos (Foto 7).

Caso particular: ejecución de revestimientos con requerimiento de descontaminación sobre suelos, o con requerimientos especiales de planeidad. En este caso, es de gran importancia prevenir que la pintura del sistema de revestimiento sobre hormigón avance sobre la placa metálica. Para ello, entre la ejecución del sistema de revestimiento sobre la placa metálica, y sobre la superficie de hormigón, se debe cubrir perimetralmente la placa con cinta adhesiva de características especiales.

Caso particular: ejecución de sistemas de estratificación sobre suelos. Debe existir un solape de 5 centímetros entre el sistema de revestimiento sobre metal y el sistema de revestimiento sobre hormigón, existe la opción cubrir totalmente la placa metálica, ejecutando el sistema de estratificado completo sobre el sistema de revestimiento de metales (Fotos 8 y 9).

• Uniones entre sistemas de revestimiento de paredes y suelos:

Caso general. El procedimiento consiste en endulzar el encuentro suelo-pared mediante la realización de un chaflán, para posteriormente ejecutar el sistema de revestimiento en pared, cubriendo la totalidad del chaflán, y finalmente ejecutar el sistema de revestimiento en suelo, realizando un solape sobre el sistema de revestimiento ejecutado en pared (Foto 10).

Caso particular: ejecución de sistemas de estratificado. El sistema de revestimiento ejecutado en pared debe quedarse a 10-20 centímetros del suelo. El sistema de estratificado debe subir 30 centímetros en la pared, cubriendo totalmente el chaflán, y solapando sobre el sistema de revestimiento ejecutado sobre la pared entre 10 y 20 centímetros (Foto 11).

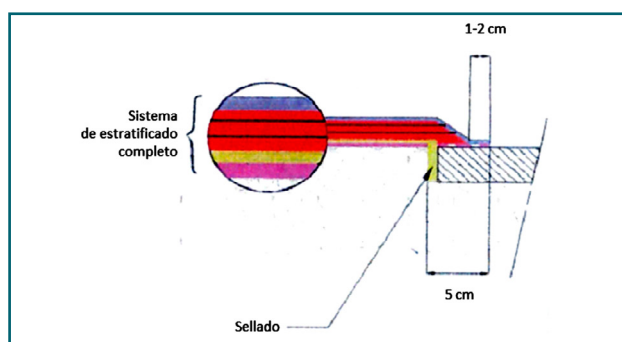


Foto 8.

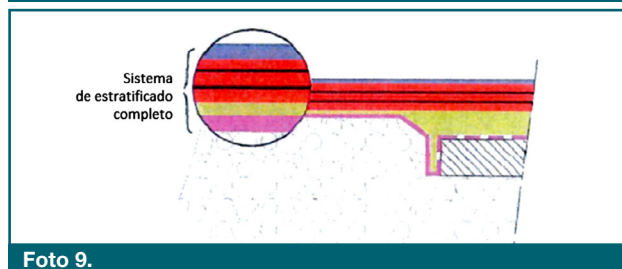


Foto 9.

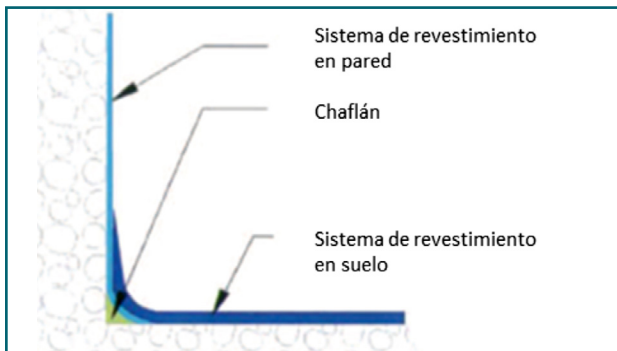


Foto 10.

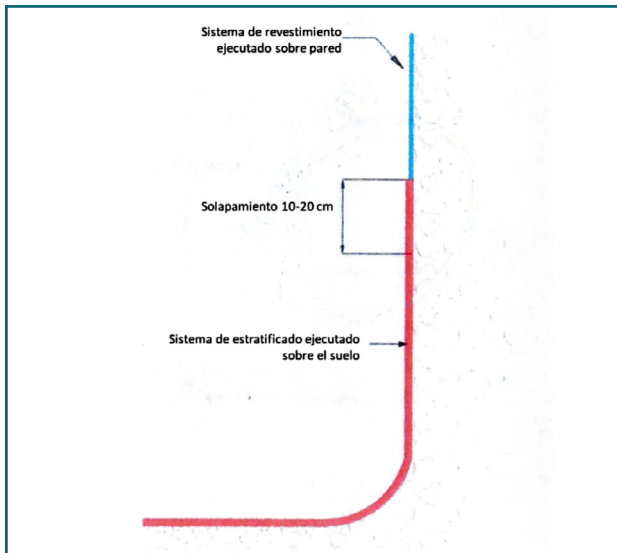


Foto 11.

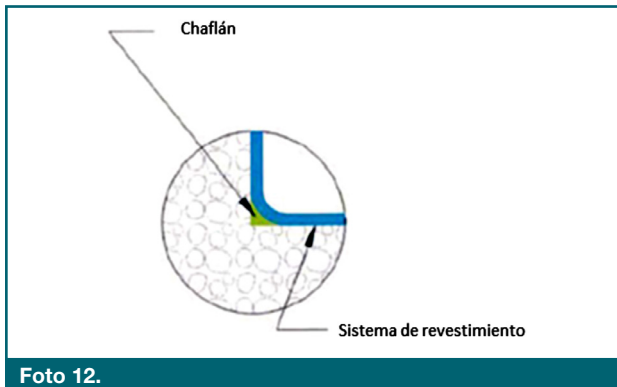


Foto 12.

- **Encuentros entre suelo y pared con el mismo sistema de revestimiento:**

Caso general. Se ejecuta un chaflán en el encuentro suelo-pared, endulzando el ángulo de 90°. Posteriormente, se ejecuta el sistema de revestimiento en suelo y pared siguiendo el procedimiento habitual (Foto 12).

Caso particular: ejecución de sistemas de estratificado. Se debe considerar adicionalmente la ejecución de una capa adicional de estratificado (capa de refuerzo) en el entorno del chaflán (Foto 13).

- **Esquinas y ejes:**

Caso general. Para la ejecución de revestimientos en esquinas y ejes, se debe realizar un endulzamiento de los ángulos mediante amolado, previo a la ejecución de dichos revestimientos (Foto 14).

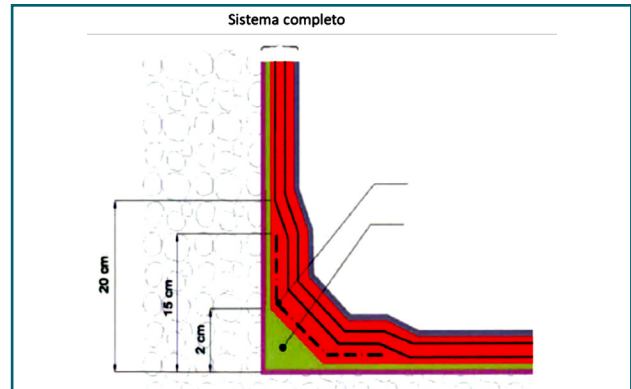


Foto 13.

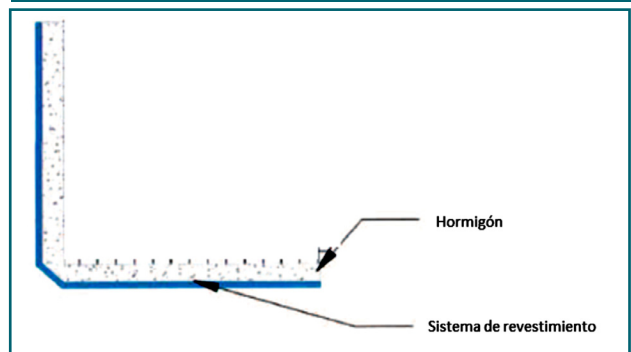


Foto 14.

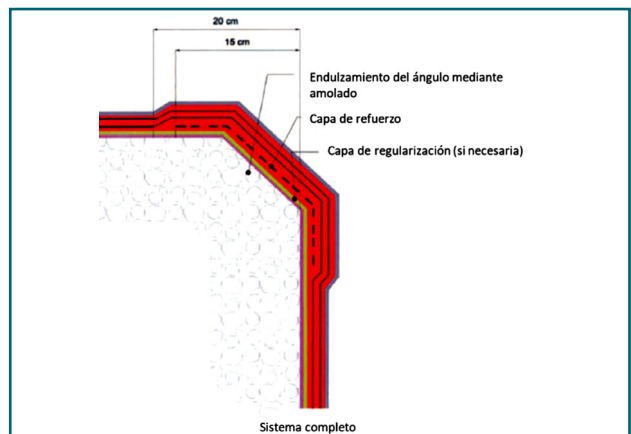


Foto 15.

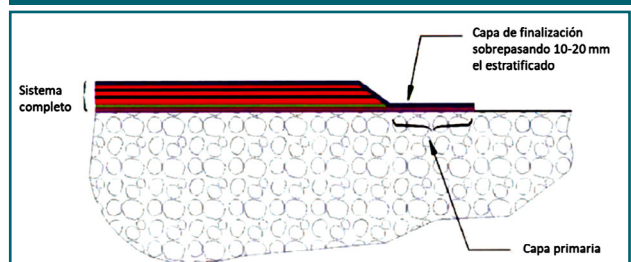


Foto 16.

Caso particular: ejecución de sistemas de estratificado. Se debe considerar una capa adicional de estratificado (capa de refuerzo) en el entorno de la esquina o eje (Foto 15).

- **Paradas en plano del sistema de revestimiento estratificado:**

Caso general. Las paradas en plano al ejecutar el sistema de estratificado se deben realizar tratando de endulzar el perímetro del sistema de revestimiento. La capa de fina-

lización debe sobrepasar 10-20 mm el estratificado, cerrando convenientemente el recubrimiento (Foto 16).

ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONTROL DE LA EJECUCIÓN

Con el fin de garantizar el cumplimiento de los más estrictos criterios de calidad, se ha desarrollado un conjunto de controles de la ejecución sobre los distintos sistemas de revestimiento en sus distintas fases:

• Controles de la preparación superficial:

• Caso de preparación superficial del hormigón. Se realizan, de forma general, los siguientes controles:

- **Control visual:** verificación de la ausencia de grietas, suciedad y partes no adheridas.
- **Control del perfil de la superficie de hormigón:** el grado de preparación de la superficie de hormigón, CSP, se evalúa mediante comparación con placas normalizadas de acuerdo con la guía ICRI nº310.2R-2013 y en relación a los mínimos establecidos para cada uno de los sistemas de revestimiento.
- **Control de la cohesión de la superficie:** se realizan ensayos de tracción directa sobre la superficie de hormigón, verificando que la cohesión superficial es superior a la requerida para cada uno de los sistemas de revestimiento.

En el caso concreto de preparación superficial del suelo, previa a la ejecución del sistema de revestimiento con requerimientos de planeidad, se realiza un control previo de planeidad con el apoyo de escáner 3D.

• Caso de preparación superficial de metales. Se realizan los siguientes controles:

- **Limitación del tiempo con el metal sin cubrir:** para evitar la corrosión del metal tras su preparación superficial se limita el tiempo de cubrimiento de éste en función de la humedad ambiental.
- **Control del grado de preparación superficial:** el grado de preparación de la superficie de metal se evalúa mediante comparación con muestras fotográficas según NF EN ISO 8501-1.
- **Grado de polvo:** se debe garantizar la ausencia de polvo, cuantificando el mismo de acuerdo con la metodología dada en el estándar NF EN ISO 8502-3.
- **Evaluación de la rugosidad:** cuando la preparación superficial se ha realizado mediante proyección de abrasivos, se debe evaluar la rugosidad de la superficie metálica de acuerdo con el estándar NF EN ISO 8503-2.

• Controles durante la fase de aplicación:

- **Control de las condiciones de aplicación:** verificación de que las condiciones ambientales (temperatura, humedad y punto de rocío) se encuentran dentro de los rangos de aceptación para la aplicación del producto considerado, así como

de la humedad del soporte cuando se aplica la primera capa del sistema de revestimiento sobre hormigón.

- **Control del tiempo de utilización de los productos (DPU):** medida de la temperatura inicial del producto (una vez batido) y establecimiento del tiempo límite de utilización según la temperatura.
- **Control de consumos:** mediante medida de espesor húmedo, y mediante control de consumo por superficie, delimitando la superficie total en superficies de menor tamaño, realizando un seguimiento exhaustivo.
- **Control de la ejecución:** control visual durante la ejecución del sistema de revestimiento y a la finalización de cada capa. Control de los tiempos de secado.

• Controles al finalizar la ejecución del sistema de revestimiento:

La tipología de controles a realizar tras la ejecución de un sistema de revestimiento es diferente para cada uno de los tipos de sistemas de revestimiento descritos anteriormente. En líneas generales se realizan los siguientes controles:

- **Control visual:** verificación de ausencia de burbujas o rebabas. Las condiciones de aceptación son la ejecución del revestimiento sin exceso de pintura, sin falta de pintura, sin defectos relacionados con golpes mecánicos y sin ángulos rectos.
- **Medida de espesor película seca:** verificación de que el espesor total del sistema aplicado se encuentra dentro de su rango de aceptación. La medida puede realizarse mediante técnicas microscópicas, o mediante ensayos destructivos (ensayos de tracción en los que la rotura se produce en el hormigón). En el caso de medida de espesor de película seca en el sistema de cubrición de aceros, esta se debe realizar por técnicas electromagnéticas, tal y como se describe en ISO 19840.
- **Ensayos de adherencia:** control de la adherencia del sistema sobre el soporte, mediante la realización de ensayos de tracción destructivos, según el estándar NF EN ISO 4624, verificando el cumplimiento de los valores mínimos de adherencia para cada uno de los sistemas de revestimiento. En el caso de ensayos de adherencia para el sistema de revestimiento sobre aceros, se sigue la metodología descrita en el estándar NF EN ISO 16276-1.
- **Control de porosidad:** en el caso concreto de algunos de los sistemas de revestimiento descritos (por ejemplo, sistema de estratificado), se realiza un control de porosidad sobre la totalidad de la superficie que ha sido objeto de revestimiento. El control se realiza mediante peine eléctrico, siguiendo las directrices de NF EN ISO 29601. Se debe garantizar la ausencia de poros.
- **Control de la planitud:** en el caso específico de ejecución del sistema de revestimiento con requerimiento de planitud, se debe realizar un nuevo control de planeidad, mediante regla fija y verificando que los desniveles medidos entre puntos se encuentran dentro de los rangos de aceptación dados.
- **Conductividad electroestática:** tras la ejecución del sistema de revestimiento con requerimientos de conductividad electroestática, se realiza un control de resistencia de tierra en el 100 % de la superficie, verificando que su valor es superior al de aceptación.

CONCLUSIONES

Las distintas soluciones técnicas y revestimientos aquí expuestos han sido seleccionados para poder satisfacer con éxito las necesidades de una instalación de esta entidad, como es el edificio que albergará el futuro reactor de fusión ITER y como sus edificios anexos destinados a la obtención de plasma de deuterio y tritio. Un hito tecnológico sin precedentes cuya máxima diferenciadora es su envergadura y futura capacidad comercial.

Finalmente, queremos concluir que el objeto de este artículo es poner de manifiesto la conveniencia que tiene la **correcta elección de cada sistema** en función de los

requerimientos técnicos de cada sala o cubículo de la instalación, teniendo en cuenta la consideración de los elementos y puntos singulares y, por descontado, cada tipo de superficie. También queremos resaltar el gran interés que nos manifiesta ITER cada día a través de F4E, por la aplicación de los sistemas de pintura propuestos bajo los más **estrictos controles de calidad** incluyendo una detallada **planificación** que nos permite minimizar la coactividad y **maximizar el rendimiento de forma óptima**. Acorde con el ritmo y exigencia que requiere el proyecto científico más complejo de nuestro siglo y, desde luego, más apasionante en el campo de la Innovación, no solo para el sector de la energía, sino a nivel global.■