

<p>ENSAYOS PARA DETERMINAR LOS MECANISMOS DE INTERACCIÓN DEL ALUMINIO EN MEDIOS BÁSICOS Y LOS PARÁMETROS A INVESTIGAR RELACIONADOS CON EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD (RBMA)</p> <p>Número de Expediente: 079-CO-IN-2019-0003</p>	<p>Clave: 079-ES-IN-0014</p> <p>Páginas: 12</p>
--	---

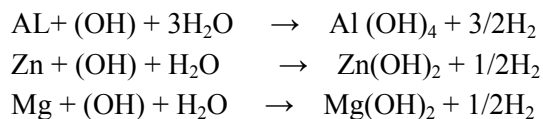
ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	2
2. OBJETIVOS	2
3. DESCRIPCIÓN DE TAREAS A REALIZAR.....	3
TAREA 0.- ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE LA CORROSIÓN DEL ALUMINIO Y OTROS METALES REACTIVOS EN UN ALMACENAMIENTO RBMA.....	3
TAREA 1.- SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES OBJETO DE ESTUDIO	4
TAREA 2.- ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DEL ALUMINIO Y METALES REACTIVOS EN H₂O CON VALORES VARIABLES DE pH	4
TAREA 3.- ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE ALUMINIO Y METALES REACTIVOS EN AGUA DE CEMENTOS TIPO CEM 1 42,5 RSR0 Y TIPO CEM 1 42,5 RSR3 ..	5
TAREA 4.- ENSAYOS DE CORROSIÓN DE ALUMINIO EN CEMENTO TIPO CEM 1 42,5 RSR0 Y TIPO CEM 1 42,5 RSR3 CON DIFERENTES GRADOS DE HUMEDAD. CUANTIFICACIÓN DEL VOLUMEN DE H₂ GENERADO	5
TAREA 5.- SELECCIÓN, APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE 1-2 PROPUESTAS DE RECUBRIMIENTO/ENVOLVENTE SOBRE ALUMINIO	6
TAREA 6.- MODELOS TEÓRICOS Y MODELOS FABRICADOS A ESCALA, QUE DETERMINEN LA PRESIÓN DE H₂ REQUERIDA PARA PRODUCIR GRIETAS EN UN CONTENEDOR.....	6
TAREA 7.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO. INFORME FINAL	7
4.- SEGUIMIENTO DEL PROYECTO.....	8
5.- PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS	8

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 2
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

1. ANTECEDENTES

Los residuos sólidos de baja y media actividad se almacenan en bidones y contenedores que se inmovilizan utilizando rellenos a base de cemento o mortero. Estos residuos pueden incluir en su composición restos de metales “activos”, entre los que se incluyen el aluminio, el zinc y el magnesio. Estos metales presenta una reacción exotérmica en presencia de agua con elevada alcalinidad debido al cemento, denominada reacción anfótera, generando productos de corrosión y gas hidrógeno (H₂), de acuerdo a las siguientes reacciones de corrosión:



La formación de H₂ podría conducir a incrementar la presión interna en el contenedor, pudiendo inducir a la potencial generación de fisuras. Es clave por lo tanto determinar el volumen de H₂ que puede ser generado, asumiendo que todo el metal existente se consume en estas reacciones. La velocidad a la que estas reacciones tienen lugar depende, principalmente, del metal, la relación superficie/masa de metal y las condiciones químicas del medio. La utilización de resinas poliméricas o recubrimientos impermeabilizantes sobre el residuo metálico, que lo aislen del cemento, puede constituir un aspecto clave.

El porcentaje de aluminio en los residuos sólidos se considera que es significativamente mayor que el del zinc y magnesio, de ahí que los estudios de corrosión se enfoquen principalmente a este metal.

2. OBJETIVOS

Esta especificación técnica recoge una propuesta de ensayos y análisis encaminados a determinar los mecanismos de corrosión del aluminio y otros metales reactivos en medios alcalinos en un almacenamiento de residuos de baja y media actividad (RBMA), con el objetivo principal de evaluar los riesgos que implica dicha corrosión, principalmente por la generación de H₂. Para el logro de este objetivo principal, se plantean otros secundarios que se enumeran a continuación

- Actualización del estado del arte sobre las implicaciones del aluminio (puro y aleado) y otros metales reactivos (zinc, magnesio, hierro) en un almacenamiento de RBMA. Identificación de las variables que influyen en el comportamiento frente a la corrosión.

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 3
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

- Evaluar los mecanismos y tasas de corrosión del aluminio y metales reactivos, en medios con diferente alcalinidad. Establecer cinéticas de corrosión en función del pH del medio, tiempo de ensayo y condiciones oxidantes o reductoras. A partir de la velocidad de corrosión determinar la velocidad a la que se produce el H₂ durante la corrosión del metal.
- Determinar la presión mínima de H₂ requerida para generar grietas en contenedores metálicos y de hormigón de El Cabril. Este análisis se realizará mediante modelos matemáticos) y/o ensayos en laboratorio sobre modelos fabricados a escala.
- A partir de los ensayos de corrosión que se realicen, establecer la cantidad/superficie mínima/aceptable de aluminio y metal reactivo por tipo de contenedor.
- Seleccionar y evaluar mediante ensayos dos o tres propuestas para el encapsulado /recubrimiento hidrofóbico de los residuos.

3. DESCRIPCIÓN DE TAREAS A REALIZAR

TAREA 0.- ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE LA CORROSIÓN DEL ALUMINIO Y OTROS METALES REACTIVOS EN UN ALMACENAMIENTO RBMA

Actualización del estado del arte sobre las implicaciones del aluminio (puro y aleado) y otros metales reactivos (zinc, magnesio, hierro) en un almacenamiento de RBMA. Identificación de las variables que influyen en el comportamiento frente a la corrosión.

Se realizará una búsqueda y seguimiento de los artículos científicos y técnicos que recojan:

- Actividades realizadas por gestores de residuos y/o centros de investigación, relacionados con la corrosión de aluminio y otros metales reactivos en presencia de compuestos base cemento.
- Fenómenos de corrosión y degradación del aluminio y sus aleaciones en medio alcalinos.
- El estado del arte incluirá una búsqueda de alternativas que eviten o minimicen la corrosión de metales activos en cementos alcalinos: empleo de materiales base cemento menos alcalinos, impermeabilización o recubrimiento de los residuos...

TAREA 1.- SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES OBJETO DE ESTUDIO

Seleccionar y caracterizar los materiales metálicos y materiales base cemento y hormigón objeto de investigación.

Se tendrá en cuenta para ello la información recogida en la Tarea 0, sobre los materiales de tipo metálico (aleaciones de aluminio, zinc, magnesio y acero) y sobre los materiales base cemento.

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 4
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

En esta tarea se definirá la formulación y forma de obtención del “agua de cementos” que se utilizará en los ensayos de corrosión. Podrá ser un agua “sintética” formulada en laboratorio, o bien un agua en “equilibrio” con masa/polvo de cemento tipo El Cabril.

TAREA 2.- ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DEL ALUMINIO Y METALES REACTIVOS EN H₂O CON VALORES VARIABLES DE pH

Determinar mediante ensayos electroquímicos la velocidad de corrosión del aluminio y otros metales reactivos en H₂O en función del pH, concentración de O₂ y tiempo de ensayo. A partir de estos datos se determinará la tasa de generación de H₂ por unidad de superficie. Se busca asimismo establecer si las cinéticas de corrosión son de tipo estacionario o disminuyen con el tiempo de ensayo, por la formación de capas de óxido protectoras. Además de con métodos electroquímicos, se proporcionarán datos de velocidad de corrosión del aluminio y metales activos, a partir de medidas de pérdida de masa y cuantificación del hidrógeno generado.

Junto a la velocidad de corrosión del metal (instantánea y promedio), se realizarán medidas del potencial de corrosión y potencial de picadura.

Todos los ensayos electroquímicos se realizarán según normativa: UNE-EN-ISO, ASTM vigente. La determinación de la velocidad de corrosión por diferencia de pesada se realizará según normativa: UNE-EN-ISO, ASTM vigente

Los ensayos se realizarán a diferentes valores de pH, concentración de O₂ y tiempos de ensayo. Sobre las probetas ensayadas se realizará una caracterización con el objeto de determinar la morfología de la corrosión generada, así como la naturaleza química y estequiometría de los productos de corrosión generados.

Asimismo, para ensayos a pH elevado, se realizará una medida de la liberación de calor generada en la reacción de corrosión de los diferentes metales.

TAREA 3.- ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE ALUMINIO Y METALES REACTIVOS EN AGUA DE CEMENTOS TIPO CEM 1 42,5 RSR0 Y TIPO CEM 1 42,5 RSR3

Determinar mediante ensayos electroquímicos la velocidad de corrosión del aluminio y metales reactivos en agua de cementos, en función de la concentración de O₂ y tiempo de ensayo. A partir de estos datos se determinará la tasa de generación de H₂ por unidad de superficie. Se busca asimismo establecer si las cinéticas de corrosión son de tipo estacionario o disminuyen con el tiempo de ensayo, por la formación de capas de óxido protectoras. Además de con métodos electroquímicos, se proporcionarán datos de velocidad de corrosión del aluminio y metales activos, a partir de medidas de pérdida de masa y cuantificación del hidrógeno generado.

Junto a la velocidad de corrosión del metal (instantánea y promedio), se realizarán medidas del potencial de corrosión y potencial de picadura.

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 5
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

Los ensayos electroquímicos se realizarán según normativa: UNE-EN-ISO, ASTM vigente. La determinación de la velocidad de corrosión por diferencia de pesada se realizará según normativa: UNE-EN-ISO, ASTM vigente

Para cada material se variará la concentración de O₂ y tiempo de ensayo.

Sobre las probetas ensayadas se realizará una caracterización con el objeto de determinar la morfología de la corrosión generada, así como la naturaleza química y estequiometría de los productos de corrosión generados.

Asimismo, se realizará una medida de la liberación de calor generada en la reacción de corrosión de los diferentes metales.

TAREA 4.- ENSAYOS DE CORROSIÓN DE ALUMINIO EN CEMENTO TIPO CEM 1 42,5 RSR0 Y TIPO CEM 1 42,5 RSR3 CON DIFERENTES GRADOS DE HUMEDAD. CUANTIFICACIÓN DEL VOLUMEN DE H₂ GENERADO

Establecer velocidades de corrosión para aluminio puro y un aluminio comercial en un medio constituido por cemento con diferente grado de humedad. Se utilizarán 2 tipos de cemento y 2 niveles de humedad. Se cuantificará asimismo la cantidad/volumen de H₂ generado en cada ensayo. Se evaluará la influencia del ratio superficie/masa de aluminio en las tasas de corrosión que se obtengan. La determinación de la velocidad de corrosión se realizará mediante dos tipos de ensayos: 1) ensayos electroquímicos (velocidad instantánea) y 2) ensayos en autoclaves o celdas estancas (velocidad promedio), por tiempos de ensayo de hasta 3 meses.

El medio de ensayo estará constituido por dos tipos de cemento: tipo CEM 1 42,5 RSR0 Y tipo CEM 1 42,5 RSR3, cada uno de los cuales se ensayará con 2 grados de saturación, uno de los cuales será del 100%. Al final de cada ensayo se determinará la humedad relativa de cada cemento.

Sobre las probetas ensayadas se determinarán, antes y después del ensayo, la velocidad de corrosión a los diferentes tiempos de ensayo y para los dos grados de humedad del cemento. Se establecerán las cinéticas de corrosión.

Se medirá el H₂ generado con el tiempo, para una superficie metálica dada. El volumen de gas generado se correlacionará con las velocidades de corrosión que se midan para el aluminio. Sobre las probetas ensayadas, se realizará una caracterización con el objeto de determinar la morfología y extensión de la corrosión generada, así como la naturaleza química y estequiometría de los productos de corrosión generados.

TAREA 5.- SELECCIÓN, APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE 1-2 PROPUESTAS DE RECUBRIMIENTO/ENVOLVENTE SOBRE ALUMINIO

A partir del estado del arte realizado, se seleccionarán 1-2 recubrimientos/envolventes que aislen (o impermeabilicen) el aluminio del medio alcalino. Una vez seleccionadas estas “soluciones”, se

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 6
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

aplicarán sobre probetas de aluminio, para evaluar a continuación la respuesta frente a la corrosión en cemento tipo El Cabril con 100% de humedad.

Se realizará una caracterización previa del recubrimiento/envolvente aplicado sobre las probetas. El medio de ensayo estará constituido por un tipo de cemento de El Cabril, con una saturación del 100%.

Se realizará un análisis para evaluar el comportamiento/integridad del recubrimiento o envolvente, así como las tasas de corrosión, si es que se produce corrosión en las probetas de aluminio. La integridad del recubrimiento se evaluará mediante ensayos electroquímicos y mediante ensayos en autoclave o celdas estancas, por tiempos de ensayo de hasta 3 meses.

Se medirá el H₂ generado con el tiempo. El volumen generado se correlacionará con las velocidades de corrosión que se midan para el aluminio.

TAREA 6.- MODELOS TEÓRICOS Y MODELOS FABRICADOS A ESCALA, QUE DETERMINEN LA PRESIÓN DE H₂ REQUERIDA PARA PRODUCIR GRIETAS EN UN CONTENEDOR

Determinar la presión mínima de hidrógeno requerida para generar grietas en contenedores metálicos y de hormigón. Este análisis se realizará mediante modelos matemáticos detallados (FEM) y mediante ensayos en laboratorio sobre modelos fabricados a escala.

En esta tarea se determinará la presión máxima admisible de H₂ en los contenedores. Este análisis se realizará mediante modelos matemáticos detallados (FEM) y mediante ensayos en laboratorio sobre modelos fabricados a escala adecuada. El criterio para el fallo será la aparición de grietas. En caso necesario, se realizarán ensayos para asegurar la validez de los modelos de cálculo. Estos ensayos se realizarán sobre probetas y modelos a la escala que se justifique como conveniente para validar las propiedades de los materiales y el comportamiento los detalles constructivos especiales, críticos o cuyo comportamiento en servicio presente alguna incertidumbre.

Este análisis se realizará sobre 3 tipos de contenedores:

- **Contenedor de hormigón armado tipo Ce-2a**
Capacidad: 18 bidones metálicos o 4 contenedores prismáticos metálicos. Relleno con mortero tipo Cabril
Dimensiones: 2,25 x 2,25 x 2,20 m
Espesor de pared (hormigón armado): 150 mm
Con y sin pared adicional de mortero tipo Cabril de 50 mm
- **Bidón metálico**
Capacidad: 220 L
Contenido: residuo inmovilizado con mortero tipo Cabril
Dimensiones: 0,9 m x 0,615m Ø

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 7
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

Espesor de pared: 1,2 mm de acero
Pared adicional de mortero Cabril de 5 cm de espesor

- **Contenedor prismático metálico**

Capacidad: 1300 L

Contenido: residuo inmovilizado con mortero tipo Cabril

Dimensiones: 1,74 x 0,87 x 0,87 m

Espesor de pared: 2 mm de acero

Con pared de mortero Cabril de 5 cm de espesor

El modelo permitirá evaluar el impacto del espesor de acero y hormigón en la resistencia al agrietamiento de los contenedores. A partir de la presión mínima de H₂, se definirá la superficie máxima aceptable de aluminio o metal reactivo, en función de la geometría del contenedor.

TAREA 7.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO. INFORME FINAL

Definición de los parámetros y límites a aplicar.

En el informe final de conclusiones se recogerá:

1. La superficie/cantidad de aluminio en base a tasas de corrosión / generación de H₂, que no genera riesgo de rotura en cada tipo de contenedor.
2. La superficie /cantidad de otro tipo de metales reactivos (zinc, magnesio) en base a tasas de corrosión / generación de H₂, que no genera riesgo de rotura en cada tipo de contenedor.
3. Análisis de la influencia del pH del medio, presencia de O₂, grado de humedad de los compuestos base cemento, ratio superficie/masa de metal reactivo, en la velocidad de corrosión de los metales del residuo.
4. Análisis de propuestas de recubrimiento /envolvente sobre los metales reactivos en el almacenamiento de RBMA.

4.- SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

Se realizarán reuniones de seguimiento de manera semestral para evaluar el estado de avance del proyecto, elaborándose un acta de resumen de la misma.

Adicionalmente, a lo largo del trabajo se realizarán los siguientes informes temáticos:

- E0. Estado del arte de la corrosión del aluminio y otros metales reactivos en un almacenamiento RBMA
- E1. Caracterización de metales reactivos y materiales base cemento objeto de estudio
- E2: Corrosión del aluminio y otros metales reactivos en H₂O a diferentes valores de pH.
- E3: Corrosión del aluminio y otros metales reactivos en agua de cementos.

Clave: 079-ES-IN-0014	Revisión: 0	Fecha: Marzo-2019	Página: 8
--------------------------	----------------	----------------------	--------------

- E4: Corrosión del aluminio en cemento tipo CEM 1 42,5 RSR0 y tipo CEM 1 42,5 RSR3 con diferentes grados de humedad
- E5: Análisis de propuestas de recubrimiento/envolvente sobre aluminio. Ensayo de corrosión en cemento tipo CEM 1 42,5 (RSR0 o RSR3) saturado
- E6: Presión máxima admisible de H₂ en los contenedores tipo El Cabril. Análisis mediante modelos matemáticos detallados (FEM) y/o mediante ensayos en laboratorio sobre modelos fabricados a escala.

Por último al término de los trabajos se elaborará el informe final.

5.- PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS

Los datos e informes obtenidos durante la realización del presente contrato, así como los resultados finales, tendrán carácter confidencial. Cuando el adjudicatario desee utilizar los resultados para su publicación, deberá solicitar la conformidad a ENRESA y con antelación de al menos un mes a la fecha de uso pretendida. Transcurrido dicho plazo sin manifestación en contra, se entenderá otorgada dicha conformidad.