



Informe

Ensayo de la resistencia a la corrosión por ácido sulfúrico biogénico de MasterSeal 7000CR

para:

BASF plc
19 Broad Ground Road
Lakeside, Redditch,
Worcestershire B98 8YP
Reino Unido

realizado por:

**Instituto Fraunhofer de Tecnología
Medioambiental, de Seguridad y Energética
UMSICHT**
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
ALEMANIA

Dr. Holger Wack
Departamento de Sistemas de Material y Tecnología de Alta Presión
Teléfono +49 (0) 2 08/85 98-11 21

Oberhausen, 21 de julio de 2016

Índice

1	Contenido del proyecto	1
2	Banco de pruebas	2
3	Ensayo de exposición a la intemperie	5
3.1	Cronología y parámetros	5
3.2	Medición del valor de pH	6
4	Anexo	7
5	Datos de contacto	8

1 Contenido del proyecto

El propósito del proyecto era realizar un ensayo de exposición a la intemperie para MasterSeal 7000CR frente a la corrosión por ácido sulfúrico biogénico.

La cámara de ensayo utilizada da lugar a una aceleración en la exposición a la intemperie debido a las condiciones optimizadas para las bacterias en lo referente a concentración de H₂S, contenido de nutrientes, humedad y temperatura. Sobre la base de las experiencias de la Universidad de Duisburgo-Essen (Biofilm Centre, Prof. Wolfgang Sand), el factor de aceleración que afecta a las muestras de hormigón está en un rango de entre 8 y 10. Esto significa que un período de 6 meses dentro de la cámara es comparable a un período de entre 48 y 60 meses en un sistema de alcantarillado real.

La corrosión por ácido sulfúrico biogénico (BSA) es un ataque químico que afecta a superficies de diferentes materiales, como el hormigón, el hierro y los polímeros. Está provocada por bacterias que producen ácido sulfúrico, p. ej. de la especie *Thiobacillus*, entre otras. Se da fundamentalmente en sistemas de aguas residuales donde los compuestos sulfurosos son degradados por microorganismos. Los compuestos sulfurosos gaseosos se liberan y se acumulan en los espacios vacíos. La oxidación química de H₂S en azufre elemental y la subsiguiente oxidación biológica a través del tiosulfato y otros politionatos provoca una reducción del pH (< 7). Los compuestos sulfurosos reducidos se oxidan en ácido sulfúrico, lo que genera energía para el crecimiento de los *Thiobacilli* (*T. neapolitanus*, *T. intermedia*), que reducen aún más el pH. *A. thiooxidans* coloniza la superficie por debajo de un pH 5.5. En un rango de pH 2.0-3.0, este organismo encuentra sus condiciones de crecimiento óptimas. El resultado es una colonización sucesiva de las superficies por parte de diferentes *Thiobacilli*. El ácido sulfúrico se produce en forma de metabolito de estos organismos, lo que causa un ataque sobre materiales susceptibles.

El ensayo de exposición a la intemperie fue realizado entre el 8 de agosto de 2013 y el 12 de febrero de 2014.

Se examinó el crecimiento microbiano en muestras individuales. Estos exámenes se realizaron en cooperación con el Prof. Dr. Wolfgang Sand, de la Universidad de Duisburgo-Essen (Biofilm Centre de la Universidad de Duisburgo-Essen, Biotecnología Acuática).

También se examinaron muestras individuales en busca de signos de corrosión y, en la medida de lo posible, las propiedades físicas de los materiales fueron comprobadas por BASF Construction Chemicals en sus Laboratorios de Desarrollo Global de BASF Construction Solutions GmbH, Trostberg (v. Anexo 1). Este trabajo fue realizado por BASF de forma adicional al proyecto y bajo su propia responsabilidad.

2 Descripción del banco de pruebas y el proceso del ensayo

El banco de pruebas utilizado para la exposición a la intemperie está ubicado en Fraunhofer UMSICHT y es operado por Fraunhofer UMSICHT. En la figura 1 se muestra el banco de pruebas y las cámaras de ensayo conectadas con el mismo. En este proyecto, la cámara de la izquierda se utilizó para llevar a cabo el ensayo de exposición a la intemperie.



IMAGE TEXT
Cámara de ensayo

Fig. 1 Banco de pruebas en Fraunhofer UMSICHT.

El banco de pruebas simula el ataque del ácido sulfúrico biogénico en un sistema de alcantarillado. En la figura 2 se describen esquemáticamente la aparición del sulfuro de hidrógeno y la corrosión resultante provocada por el ácido sulfúrico en un sistema de alcantarillado.

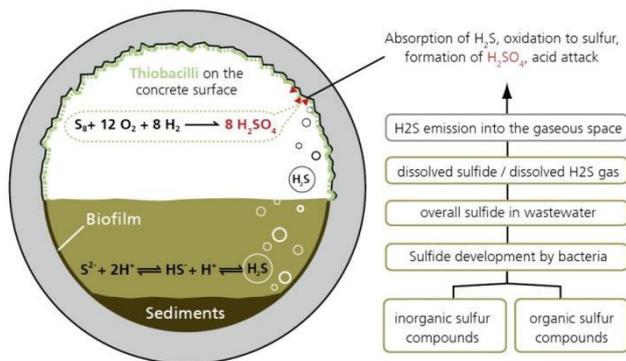


IMAGE TEXT
Thiobacilli en la superficie del hormigón
Biopelícula
Sedimentos
Absorción de H₂S, oxidación a azufre, formación de H₂SO₄, ataque ácido
Emisión de H₂S al espacio gaseoso

Sulfuro disuelto/Gas H₂S disuelto
Sulfuro en general en las aguas residuales
Desarrollo de sulfuro por parte de las bacterias
Compuestos sulfurosos inorgánicos
Compuestos sulfurosos orgánicos

Fig. 2 Desarrollo de la corrosión por ácido sulfúrico biogénico (fuente: Bock, E., Sand, W., Pohl, A., Bedeutung der Mikroorganismen bei der Korrosion von Abwasserkanälen, TIS Tiefbau – Ingenieurbau – Straßenwesen, Sonderdruck zum 4. Statusseminar »Bauforschung und -technik«, 1983, págs. 47-49).

La exposición a la intemperie se realiza utilizando el proceso descrito en la figura 3. La solución bacteriana tiene la temperatura controlada y se bombea en circuito a través del sumidero de la cámara de ensayo. Esto genera una atmósfera saturada de humedad en la cámara de ensayo. El gas de H₂S se produce en un reactor mediante una reacción de HCl con NaS₂ y se descarga de forma discontinua en la cámara de ensayo mediante un impulso de presión que utiliza aire. El gas se alimenta por encima de las muestras en el compartimento de gas de la cámara de ensayo.

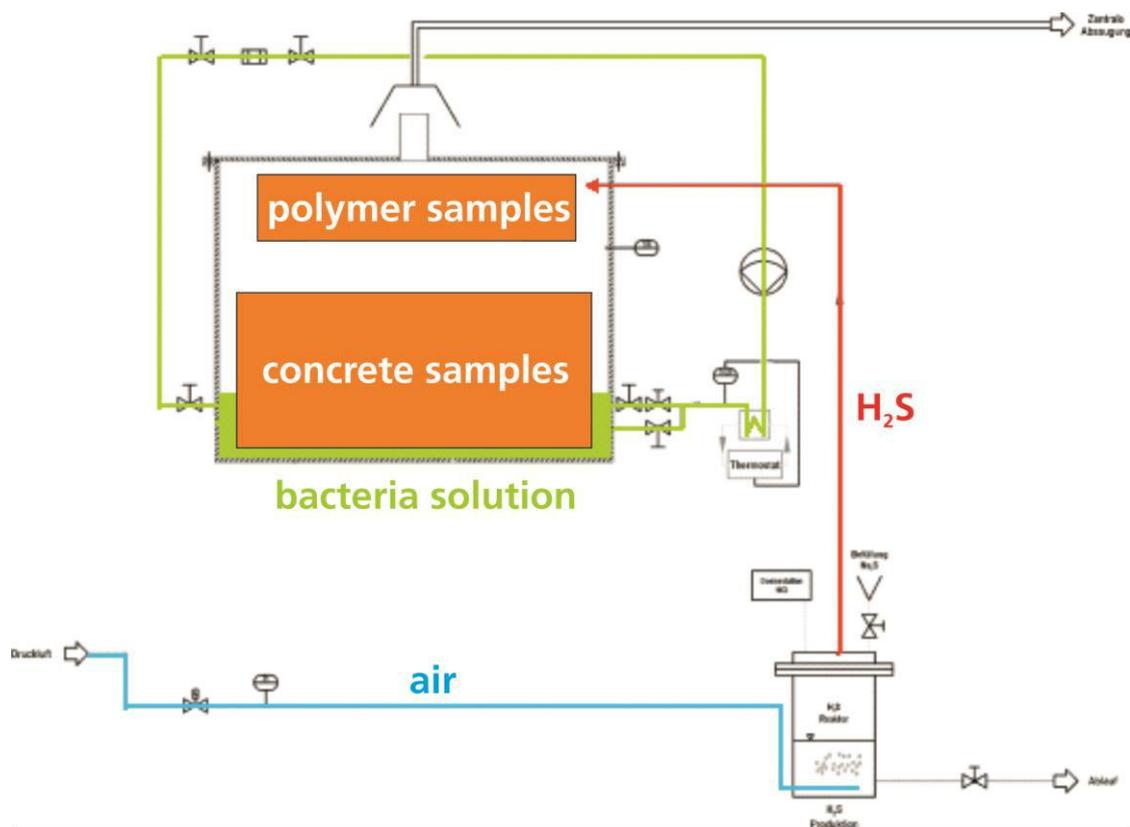


IMAGE TEXT
Muestras de polímero
Muestras de hormigón
Solución bacteriana
Aire
H₂S

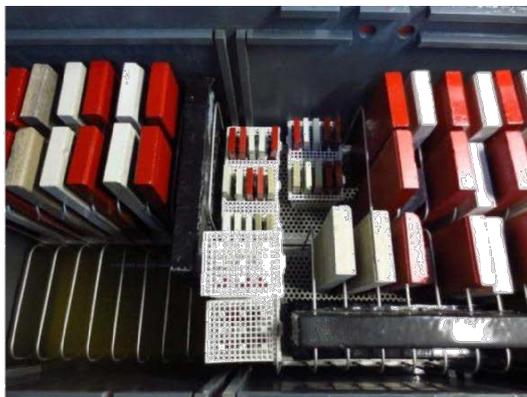
Fig. 3 Diagrama de flujo esquemático del proceso.

Las muestras de hormigón se colocaron en el fondo de la cámara utilizando un bastidor fabricado de acero inoxidable. En la figura 4 se muestra la colocación de las muestras de hormigón.

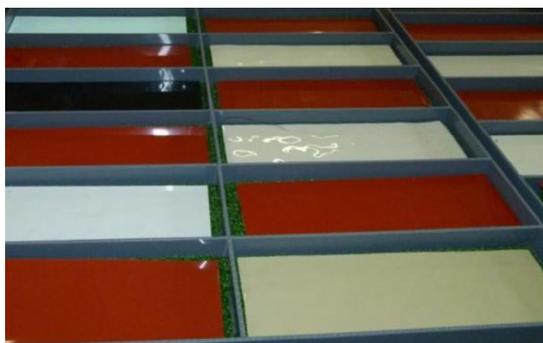
Las películas de polímero se colocaron encima de las muestras de hormigón en dos bastidores fabricados de PVC (v. figura 4). Las películas se colocaron sobre láminas de césped artificial (polipropileno) para evitar un contacto por toda la superficie con el bastidor de PVC y se cubrieron con pequeños marcos hechos de policarbonato para evitar el movimiento.



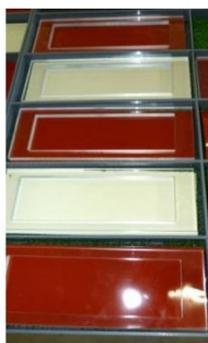
Colocación de las muestras de hormigón



Muestras de hormigón colocadas en la cámara



Plataformas con muestras de polímero



Películas de polímero con marcos de carbonato

Fig. 4 Colocación de las muestras de hormigón y las películas de polímero.

La posición de cada muestra en la cámara se documentó y figura en el anexo 1 en referencia a las muestras de hormigón y en el anexo 2 en referencia a las películas de polímero.

Las muestras de hormigón se sometieron a dos ciclos de exposición a la intemperie por separado. El primer juego de muestras se mantuvo permanentemente en la fase de gas, mientras que un segundo juego se introdujo y se extrajo de la solución bacteriana de forma cíclica en un régimen semanal, a fin de simular el efecto de la variación de la línea de agua en los entornos de alcantarillado.

3 Ensayo de exposición a la intemperie

3.1 Cronología y parámetros

La exposición a la intemperie fue realizada entre el 1 de agosto de 2013 y el 12 de febrero de 2014. El 1 de agosto de 2014 se colocaron las muestras de hormigón y las películas de polímero en la cámara junto con BASF utilizando una nomenclatura definida. El 13 de noviembre de 2014 BASF inspeccionó el ensayo y documentó las muestras tomando fotografías. El 12 de febrero de 2014, las muestras se extrajeron de la cámara junto con BASF y se le devolvieron a BASF.

La solución bacteriana se calentó a 30 °C y la temperatura se controló durante el ensayo. La concentración de H₂S estuvo entre 30 y 60 ppm. Por consiguiente, se produce continuamente H₂S y se alimenta a la cámara de ensayo cada 10 minutos mediante un impulso de presión que utiliza aire. Las inoculaciones de las muestras se efectuaron a mano utilizando una bomba pulverizadora, y comenzaron el 8 de agosto de 2014. Las muestras de hormigón se inocularon una vez a la semana durante 4 semanas, mientras que las películas de polímero se inocularon una vez a la semana durante 3 semanas.

El ensayo de exposición a la intemperie estuvo acompañado de un análisis microbiológico realizado por la Universidad de Duisburgo-Essen (Biofilm Centre, Prof. Wolfgang Sand) a fin de confirmar el crecimiento bacteriano. Los resultados se enumeran en las tablas 2 y 3.

Muestra	Bacterias	Hongos
	quimioorganotróficas [cfu/cm ²]	[cfu/cm ²]
MasterSeal 7000CR + capa de imprimación	1E+03	u.d.
MasterSeal 7000CR	u.d.	u.d.
Hormigón sin revestimiento	3E+03	1E+02

Tab. 2: Números de células de las bacterias quimioorganotróficas y los hongos microscópicos en [cfu/cm²], cfu= unidad formadora de colonia; u.d.= bajo el límite de detección de 3 células/cm², Los ensayos de oxidantes de azufre neutrofílicos y acidofílicos fueron cualitativamente positivos, pero no se pudieron cuantificar debido al nivel inferior a 1 célula por mL (comparable a cm²).

Muestra	Bacterias	Hongos	Oxidantes de	Oxidantes de
	quimioorganotrófi cas [cfu/cm ²]	[cfu/cm ²]	azufre neutrófilicos [células/cm ²]	azufre acidófilicos [células/cm ²]
MasterSeal 7000CR + capa de imprimación	8E+02	2E+04	5E+01	3E+03
MasterSeal 7000CR (a)	3E+03	5E+03	3E+02	3E+02
MasterSeal 7000CR (b)	3E+03	1E+04	3E+02	3E+02
Hormigón sin revestimiento	3E+03	2E+03	3E+02	3E+03

Tab. 3: Resumen de los resultados del muestreo tras 6 meses de incubación en el incubador de Fraunhofer UMSICHT, cfu= unidad formadora de colonia; u.d.= bajo el límite de detección de 3 células/cm².

3.2 Medición del valor de pH

Para determinar los valores de pH en las superficies se utilizaron tiras de pH. A lo largo del período de ensayo se realizaron mediciones cada 21 días. Los resultados se enumeran en la tabla 5.

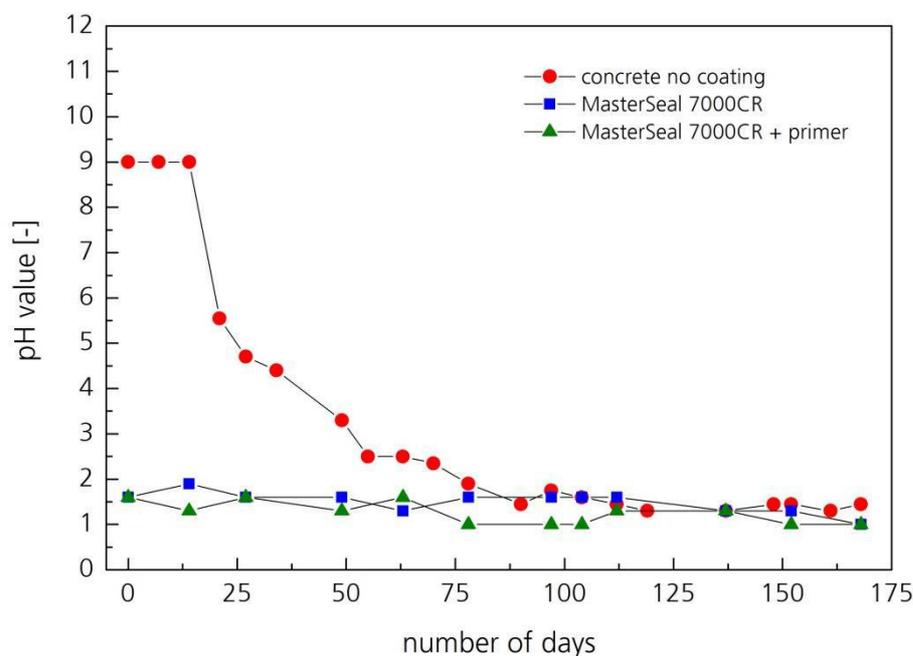


IMAGE TEXT
 Valor de pH [-]
 Hormigón sin revestimiento
 MasterSeal 7000CR
 MasterSeal 7000CR + capa de imprimación
 Número de días

Fig. 5 Valores de pH de las muestras durante el ensayo de exposición a la intemperie.

4 Anexo

Anexo 1 Resultados obtenidos tras el ensayo de exposición a la intemperie.

5 Datos de contacto

BASF Construction Chemicals GmbH

19 Broad Ground Road
Lakeside, Redditch
Worcestershire, B98 8YP
Andrew Tasker
Tel. +44 (0) 1527 / 512255
andrew.tasker@basf.com

UDE

Universität Duisburg Essen
Campus Essen – Biofilm Centre
Aquatische Biotechnologie
Universitätsstraße 5
45141 Essen
Prof. Dr. Wolfgang Sand
Tel. +49 (0) 201 / 183-7080
wolfgang.sand@uni.due.de

UMSICHT

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
Dr. Holger Wack
Tel. +49 (0) 208 / 8598-1121
holger.wack@umsicht.fraunhofer.de
Frank Pape
Tel. +49 (0) 208 / 8598-1175
frank.pape@umsicht.fraunhofer.de

Anexo 1

Resultados obtenidos tras el ensayo de exposición a la intemperie. Los ensayos fueron realizados por los Laboratorios de Desarrollo Global de BASF Construction Solutions GmbH, Trostberg.

Este trabajo fue realizado por BASF de forma adicional al proyecto y bajo su propia responsabilidad.

1. Imágenes de las muestras de MasterSeal 7000CR después del ensayo



Fig. 1 Imágenes de las muestras de MasterSeal 7000CR después del ensayo.

2. Ensayo de adherencia conforme a la norma EN1542:1999



Fig. 2 Muestras después del ensayo de adherencia.

Todos los ensayos fueron negativos en el hormigón y no mostraron reducción alguna en la adherencia ni ningún ataque al hormigón que afectara a su capacidad de adherencia.

3. Resistencia a la tracción y elongación de conformidad con la norma EN ISO 527-1b:1996

Se ensayó la resistencia a la tracción de las tres muestras de película y su elongación en comparación con materiales de referencia no expuestos a la intemperie.

	Sin exposición a la intemperie	Con exposición a la intemperie
Resistencia a la tracción [MPa]	23,1	26,6
Elongación a rotura [%]	17,1	18,7

Los resultados no muestran cambios significativos en las propiedades.

4. Permeabilidad al vapor conforme a ASTM E96

	Sin exposición a la intemperie	Con exposición a la intemperie
Permeabilidad [US Perms]	0,95	1,22
Permeabilidad [ng/s/m/Pa]	0,013	0,017

Los resultados no muestran cambios significativos en las propiedades.