

# S-Micro **ZVI**<sup>®</sup>

Sulfidated Zero-Valent Iron

## Instrucciones de aplicación



## Tabla resumen de la aplicación S-MicroZVI

La siguiente tabla es una guía de referencia rápida que proporciona solo la información más relevante. Revise detenidamente todo el documento, así como la ficha de datos de seguridad del producto, antes de cualquier aplicación. Póngase en contacto con el servicio de asistencia técnica de REGENESIS para obtener más asistencia.

|  |   |
|--|---|
| <b>Posibles métodos de aplicación</b>  | Empuje directo (direct push); En pozos; En puntos fijos con válvulas.<br>Rara vez se puede aplicar en excavaciones  |
| <b>Factor de dilución típico</b>   | 10% (se recomienda discutir el factor de dilución exacto con REGENESIS)<br>1 kg de S-MicroZVI en 10 litros de agua  |
| <b>Actividad de mezcla</b>   | Homogeneizar el producto concentrado antes de transferirlo.<br>Transferir el producto concentrado al tanque ya lleno de agua  |
| <b>Actividad de mezcla: aplicación conjunta con 3-D Microemulsion (3DME)</b> | Utilizar el factor de dilución proporcionado para 3DME.<br>Primero mezclar y homogeneizar 3DME con agua.<br>Agregar S-MicroZVI a la solución 3DME ya formada  |
| <b>Bomba de inyección recomendada</b>  | Bomba de diafragma  |
| <b>Presión de inyección recomendada</b>                                      | Inyección de baja presión. Normalmente de 1 a 4 bares.<br><b>NO</b> ejercer una presión excesiva sobre la matriz del subsuelo y <b>NO</b> fracturarla.<br>Ajustar la presión con el regulador de presión.<br>Anotar la presión y el caudal de cada paso   |
| <b>Inyección de empuje directo</b>   | Utilizar una punta retráctil; evitar la punta activada por presión.<br>Pasos de inyección típicos cada 30-60 cm.<br>Definir en el campo si usar la secuencia de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba  |
| <b>Aplicación en pozo</b>  | Inyección a presión; <b>NO</b> alimentar por gravedad.<br>Usar obturador inflable simple o doble.<br>Lavar bien con agua limpia después de la aplicación  |
| <b>Aplicación en puntos fijos con válvulas</b>                               | Esperar a que el cemento en los puntos madure antes de realizar inyecciones (al menos 2-4 semanas). Utilizar un obturador inflable doble para aislar grupos de válvulas individuales  |
| <b>Aplicación en excavación</b>  | Mezclar con agua antes de la aplicación (se recomienda discutir el factor de dilución con REGENESIS). Colocar en el fondo de la excavación (con cuchara o en forma spray)<br>Mezclar con el suelo del fondo de la excavación con una excavadora, para facilitar el contacto   |
| <b>Recomendaciones adicionales</b>   | Lavar y limpiar siempre los equipos con agua limpia.<br>Sellar los puntos de inyección de empuje directo después de la inyección.<br>No utilizar bombeo u otras actividades que puedan alterar el agua subterránea en el área circundante durante y después de la inyección   |
| <b>Monitoreo recomendado</b>   | Frecuencia de monitoreo típicamente mensual o trimestral.<br>Duración típicamente de 9 meses a 2 años. Parámetros: contaminantes de interés.<br>Parámetros de soporte adicionales: O <sub>2</sub> , redox, pH, conductividad eléctrica, Fe, Mn, nitratos, sulfatos, eventuales subproductos de degradación (Fe y Mn deben filtrarse y acidificarse en el campo) |

## S-Micro Zero Valent Iron®

S-Micro Zero Valent Iron® (S-MicroZVI) es un producto avanzado basado en hierro cero-valente (ZVI) con la capacidad de realizar reducción química in situ (ISCR) de contaminantes dentro del ambiente subterráneo. S-MicroZVI se suministra como una suspensión coloidal de 40% en peso de ZVI sumergido en glicerol y con un tamaño de partícula inferior a 5 micrones. S-MicroZVI se fabrica mediante un proceso de sulfuración de última generación que conduce a un recubrimiento de partículas que aumenta la activación hacia contaminantes específicos y extiende la longevidad del proceso.

La ficha de datos de seguridad (SDS) del S-MicroZVI se proporciona junto con cada envío de material; el usuario debe leerla y comprenderla detenidamente para asegurarse de que S-MicroZVI se manipule y almacene correctamente y de que se utilice el equipo de protección personal adecuado. Se asume que el usuario está adecuadamente formado y es competente en la materia y que ha realizado una evaluación completa y específica de los riesgos para la salud, seguridad y medio ambiente de las obras a realizar.

## Actividad previa a la aplicación

El S-MicroZVI se suele envasar en barriles de 227 kg; el material se entrega generalmente en palés (4 barriles por palé) a través de un vehículo pesado. Discuta cualquier restricción de acceso al área de entrega con REGENESIS, para que se utilice un vehículo del tamaño adecuado.

Antes de aplicar S-MicroZVI, se recomienda realizar una prueba de inyección preliminar en el área de inyección con agua limpia. Este procedimiento es útil para determinar la cantidad de líquido que el área de tratamiento puede aceptar y proporcionará información valiosa sobre el caudal y la presión que se utilizarán al aplicar el producto. Se recomienda que el volumen de la prueba de inyección con agua sea entre un 15 y un 20% más que el volumen previsto en un solo punto de inyección, es decir, si el proyecto especifica un volumen de S-MicroZVI de 1000 litros por punto, la inyección de prueba de agua debe apuntar a inyectar 1150-1200 litros. Generalmente, se considera adecuada una bomba capaz de suministrar hasta 30-50 litros/minuto y hasta una presión de aproximadamente 6-8 bares. La prueba de inyección con agua debe realizarse utilizando los mismos métodos de inyección que para el reactivo.

## Actividad de mezcla

S-MicroZVI se envía como una suspensión coloidal concentrada. Esta debe mezclarse completamente dentro del recipiente original antes de su dilución. Si se suministra en barriles, se recomienda utilizar una batidora de paletas manual para mezclar el producto. También es necesario asegurarse de que el mezclador entre en contacto con el fondo del recipiente para recuperar y mover adecuadamente cualquier sedimentación; esto se recomienda especialmente en condiciones de clima frío.

S-MicroZVI debe aplicarse solo después de diluirlo con agua. De esta forma permite una distribución óptima del compuesto en la porción del acuífero sujeto a intervención a partir de los puntos de inyección. Esto significa poder realizar un número mínimo de puntos de inyección para realizar la intervención, reduciendo tiempos y costes.

La producción de la mezcla S-MicroZVI lista para inyección generalmente implica la mezcla en el campo de 10 litros de agua con 1 kg de S-MicroZVI concentrado<sup>1</sup>.

La dosis de S-MicroZVI, el porcentaje de dilución recomendado y el número de puntos de inyección recomendados pueden ser evaluados en cualquier caso por REGENESIS durante la fase de evaluación. S-MicroZVI debe mezclarse en un tanque de tamaño adecuado, preferiblemente con un fondo cónico o plano para facilitar la mezcla. La mezcla se puede lograr usando una bomba de alto flujo por recirculación o mecánicamente usando un mezclador equipado con paletas. Se recomienda proceder en el siguiente orden:

1. Agregar el volumen de agua requerido al tanque de mezcla.
2. Activar el mecanismo de mezcla elegido antes de agregar el S-MicroZVI concentrado.
3. El concentrado de S-MicroZVI es una mezcla relativamente densa, especialmente a bajas temperaturas, y para el trasvase del producto del barril al tanque de mezcla se recomienda una bomba de extracción de barriles (drum pump) o similar, capaz de transferir sustancias densas. No se recomienda agregar agua al S-MicroZVI concentrado, ya que esto puede resultar en una mezcla inestable que es más difícil de bombear.
4. Una vez agregada la cantidad deseada de producto concentrado, mezclar vigorosamente hasta homogeneizar. Se requiere una mezcla suave y continua durante la actividad de inyección para evitar la sedimentación. No se recomienda depender únicamente de la recirculación para mezclar el producto, aunque este método puede ayudar al proceso de mezcla.

Dependiendo del nivel del tanque de mezcla, S-MicroZVI mezclado en el tanque de mezcla puede fluir de regreso a los contenedores del S-MicroZVI concentrado. Esto se puede evitar instalando válvulas de mariposa en el tubo de alimentación o retirando el tubo de alimentación del tanque de mezcla después de agregar S-MicroZVI.

<sup>1</sup> Tener en cuenta que S-MicroZVI tiene una densidad superior a 1 kg/L



Fig. 1: Barril con S-MicroZVI concentrado y bomba de extracción de barriles (drum pump).



Fig. 2: Tanque de mezcla con S-MicroZVI.

## Aplicación conjunta con 3-D Microemulsion (3DME)

S-MicroZVI se puede mezclar y aplicar con 3DME. En este caso, se recomienda diluir 3DME con agua como se indica en las instrucciones de aplicación de 3DME antes de agregar S-MicroZVI a la mezcla 3DME ya formada. Una vez que el 3DME esté bien mezclado con agua para formar una microemulsión diluida, se puede agregar S-MicroZVI para obtener una mezcla de color gris claro (el tono exacto depende de las proporciones de ambos productos). Como en el caso de mezclar solo S-MicroZVI, la mezcla debe mantenerse durante todo el proceso de inyección y se recomienda usar agua limpia para limpiar el sistema y los pozos después de cada punto de inyección o al final de la jornada laboral.

En algunos casos, se puede formar una pequeña capa de espuma sobre el producto combinado diluido. La mezcla continua reducirá el volumen de espuma y se debe tener cuidado para evitar inyectar tal espuma, ya que esto introducirá aire en la bomba, con el potencial de causar daños mecánicos.



Fig. 3: Adición de S-MicroZVI al tanque de mezcla con la mezcla 3DME ya formada.

## Aplicación de empuje directo

Una intervención típica de S-MicroZVI requiere solo una campaña de aplicación. Al no requerir reaplicaciones, donde las condiciones geológicas lo permiten, el método de empuje directo es generalmente la opción de aplicación preferida en comparación con la inyección en puntos fijos, ya que permite minimizar los costos de intervención.

Se recomienda el uso de puntas retráctiles perforadas o ranuradas en lugar de puntas activadas por presión, ya que permiten una mayor facilidad de inyección y una mejor distribución del reactivo que la punta activada por presión. Las varillas de inyección se deben empujar hasta la profundidad de inyección del paso específico y luego se debe inyectar la mezcla, cuidando que las presiones no aumenten excesivamente (es recomendable no superar los 4 bar) y ajustar los caudales en consecuencia. Será necesario llevar un registro de todos los caudales y presiones utilizados en cada paso de inyección. Al final de la inyección en el paso, es necesario mover las varillas de inyección y luego continuar con las inyecciones en el siguiente paso, hasta el final de las inyecciones previstas para el punto específico. Una vez que el volumen esperado de producto se ha aplicado uniformemente sobre el espesor de interés, es necesario inyectar una cantidad limitada de agua limpia para lavar la bomba, mangueras de alta presión y punta de inyección y permitir que todo el producto entre en la capa de interés. Una vez completada la inyección en un punto, se debe sellar el orificio con bentonita o cemento. El propósito de esta actividad es sellar cualquier camino preferencial potencial del producto y/o agua subterránea a la superficie.

Si la aplicación de S-MicroZVI se basa en una configuración de cuadrícula de puntos, la aplicación debe realizarse trabajando sistemáticamente desde el exterior hacia el centro del área de inyección para minimizar la sobrepresión local del agua subterránea. Siempre que sea posible, se debe mantener una distancia adecuada entre los puntos de inyección consecutivos para evitar sobrecargar la formación con el producto inyectado (por ejemplo, inyectar en un punto cada 3 puntos de la barrera o saltar al menos 1-2 puntos en una configuración de cuadrícula). Una bomba de diafragma, capaz de producir un flujo en el rango de 10-40 L/minuto y una presión de 2-6 bar, es ideal para la aplicación de S-MicroZVI.



Fig. 4: Punta perforada retráctil (izquierda); punta perforada para inyección de arriba hacia abajo © esp-shop.com (centro); punta activada por presión (derecha)

## Aplicación en pozo

S-MicroZVI se puede inyectar a través de pozos de inyección fijos en los casos en que el método de empuje directo no se considera factible o rentable.

En general, se recomienda que los pozos de inyección estén hechos de PEAD (HDPE) con un diámetro de  $\geq 50$  mm, con un tamaño de fenestración entre 0,5 y 1,0 mm y con una sección ranurada colocada exactamente en correspondencia con el nivel de tratamiento. Siempre que sea posible, el sellado del pozo a lo largo de la sección ciega debe consistir en un mínimo de 300 mm de pellets de bentonita, sobre los cuales se aplica una mezcla de arena y cemento para sellar la superficie. Antes de inyectar cualquier reactivo, se recomienda que los pozos de inyección se purguen de cualquier partícula fina presente.

S-MicroZVI debe inyectarse bajo presión. Se recomienda utilizar obturadores inflables simples o dobles para presionar el pozo.

Al inyectar el producto, los pozos de inyección y los piezómetros de monitoreo vecinos deben estar sellados herméticamente o, alternativamente, equipados con un manómetro y una válvula de seguridad. Esto reduce la posibilidad de un cortocircuito del producto con la superficie. Luego de la inyección, se debe aplicar agua limpia al pozo mediante una bomba, para lavar los equipos utilizados, las tuberías flexibles y el pozo mismo, y asegurar que todo el producto ingrese a la formación de interés.



Fig. 5: Obturador inflable simple (izquierda) (© italswiss.com) y obturador doble (derecha) (© desoi.it).

## Aplicación en puntos fijos con válvulas (tubos de manguito)

Las inyecciones de S-MicroZVI también se pueden realizar mediante puntos fijos de inyección multinivel realizados ad hoc que permiten inyectar en el subsuelo mediante válvulas de inyección y no ranuras (parecidos a los tubos de manguito). Consisten en tubos ciegos equipados con válvulas de inyección específicas colocadas a lo largo del tramo de interés; el espacio entre la tubería y el diámetro externo de la perforación se rellena con mezclas de sellado para no crear rutas de migración preferenciales para los productos durante las fases de inyección. Una vez preparada la mezcla, las inyecciones se realizan a intervalos regulares de profundidad aislados mediante obturador inflable doble. En general, se recomienda aislar las secciones de inyección que no superen los 1,5-2 m; se recomienda contactar a los técnicos de REGENESIS para definir este parámetro antes de iniciar las actividades. Al final de las operaciones, el punto de inyección debe limpiarse cuidadosamente inyectando agua limpia para eliminar cualquier mezcla residual que pueda incrustar la tubería y dificultar las inyecciones posteriores en el futuro.



Fig. 6: Tuberías para puntos fijos con válvulas (izquierda) y obturadores inflables dobles para inyección en puntos fijos con válvulas (derecha).

## Más consideraciones y precauciones

Es un conocimiento generalizado que las tecnologías in situ basadas en procesos químicos y de biodegradación tienen el potencial de modificar temporalmente las condiciones de potencial redox y el pH del agua subterránea en la que se aplican, lo que podría conducir a alteraciones temporales en las concentraciones de algunos metales y metaloides sensibles al redox y al pH. Además, en el caso de aplicación en pozos o en el caso de productos que ingresen directamente a piezómetros de monitoreo, una acumulación de residuos de producto puede permanecer dentro del pozo, especialmente en el caso de solubilización incompleta de productos sólidos, lo que puede conducir a una reducción de la permeabilidad del pozo y una pérdida de representatividad del propio pozo (limitada al período de liberación de los productos). En cualquier caso, cabe señalar que en general no se recomienda el uso de piezómetros de monitoreo como pozos de inyección, ya que consigue una pérdida de representatividad de los datos. Por favor, contacte directamente con el personal técnico de REGENESIS si necesita más información o para discutir cómo realizar una posible limpieza de los pozos de residuos de producto.