

VULCAN



EL PROBLEMA DE LA CAL Y SU SOLUCIÓN

VOLUMEN I

AUTOR

Manuel Soler Méndez,
INGENIERO AGRÓNOMO, colegiado 3000579 en el COIARM



Dip. Cazalla, Ctra. La Pulgara, Panel 80, nº 520 - 30818 Lorca (Murcia)
968463804 – www.agrosolmen.es – info@agrosolmen.es
Distribuidor Vulcan antical

FECHA

abril de 2020

EDICIÓN

7

VULCAN

EL PROBLEMA DE LA CAL Y SU SOLUCIÓN

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. ¿QUÉ ES LA CAL?.....	3
1.2. INFLUENCIA DE LA CAL SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA	4
1.2.1. Carbonato Sódico Residual.....	4
1.2.2. Dureza	5
1.2.3. pH	5
1.2.4. Sólidos disueltos.....	5
1.2.5. Índice de Langelier	6
1.3. CÓMO MEDIR LA CONCENTRACIÓN DE CAL.....	8
2. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA CAL	9
2.1. Obstrucción de las tuberías.....	10
2.2. Reducción de la eficiencia energética en calefacción.....	10
2.3. Incrustaciones en elementos singulares de la instalación	11
2.4. Obstrucción de emisores	12
2.5. Reducción de la eficiencia de la fertirrigación.....	12
2.6. Reducción del desarrollo vegetal	13
2.7. Obstrucción de sistemas de refrigeración.....	13
2.7.1. FOG SYSTEM	13
2.7.2. COOLING SYSTEM	14
2.8. Obstrucción de bebederos	14
2.9. Mayores esfuerzos de limpieza	10
2.10. Deterioro de electrodomésticos, máquinas o equipos industriales	10
2.11. Incrustaciones en grifos y duchas	10
2.12. Irritación de la piel.....	10
2.13. Deterioro de la calefacción.....	10
2.14. Problemas en piscinas y fuentes.....	11
3. SOLUCIÓN VULCAN	16
3.1. Fundamento.....	16
3.2. Ventajas.....	20
3.3. Medio ambiente.....	20
3.4. Experiencia y resultados.....	21
3.4.1. OBSERVACIONES EN EQUIPOS COMERCIALES	21
Explotaciones hortícolas.....	21
Conducciones por gravedad	21
Impulsiones.....	21
Semilleros.....	22
3.4.2. ENSAYO EN PARCELA COMERCIAL	22
Materiales y métodos	22

Resultados y discusión	22
Agradecimientos.....	22
3.4.3. ENSAYO EN EL CEBAS-CSIC	22
Materiales y métodos	22
Resultados y discusión	23
Conclusiones.....	24
Agradecimientos.....	24
4. SOLUCIÓN DE FUTURO	25
5. OTRAS SOLUCIONES	26
4.1. ADICIÓN DE ÁCIDOS	26
4.1.1. Fundamento.....	26
4.1.2. Corrección de pH aproximada	26
4.1.3. Corrección basada en analítica	27
4.1.4. Corrección continua	27
4.1.5. Resultado.....	28
4.1.6. Problemas.....	28
4.2. INTERCAMBIO IÓNICO	28
4.2.1. Fundamento.....	28
4.2.2. Resultado.....	29
4.2.3. Problemas.....	29
6. CALIDAD Y GARANTÍA VULCAN	30
7. APLICACIONES	32
USO RESIDENCIAL	32
USO COMERCIAL.....	32
USO INDUSTRIAL.....	32
AGRICULTURA	32
GANADERÍA	32
8. PREGUNTAS FRECUENTES	33
8.1. ¿Para qué materiales de tubos es apto VULCAN?	33
8.2. ¿Cuánto tiempo dura el proceso de renovación de los tubos por VULCAN?	33
8.3. ¿Hasta qué grado de dureza se puede utilizar VULCAN?	33
8.4. ¿Cómo se si está funcionando el VULCAN?.....	33
8.5. ¿Cómo varía la dureza con VULCAN?	33
8.6. ¿Cómo varía el pH con VULCAN?.....	34
9. GAMA DE PRODUCTOS.....	35
10. INSTRUCCIONES DE USO E INSTALACIÓN	38
10.1. Indicaciones generales.....	38
10.2. Indicaciones de montaje	38
10.3. Instrucciones de montaje.....	38

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿QUÉ ES LA CAL?

La cal en el agua es el nombre que comúnmente se da a una serie de compuestos salinos que se muestran en la tabla 01. Estos compuestos en el agua se encuentran en disolución, con la distribución iónica que se muestra en la tabla 02. Cuando la cal disuelta en el agua recibe una determinada cantidad de energía, es capaz de precipitar formando cristales con una capacidad adherente e incrustante elevada.

TABLA 01: La cal del agua

FORMULACIÓN	NOMENCLATURA
CaCO_3	Carbonato cálcico
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Bicarbonato cálcico
MgCO_3	Carbonato magnésico
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	Bicarbonato magnésico

TABLA 02: Estado iónico de la cal disuelta en agua

ANIONES	CATIONES
CO_3^{-2}	Ca^{+2}
2HCO_3^-	Ca^{+2}
CO_3^{-2}	Mg^{+2}
2HCO_3^-	Mg^{+2}

La existencia de cal en el agua se debe principalmente a la disolución de las rocas calizas que se encuentran en el camino del ciclo del agua, muy presentes en el Sureste español.

1.2. ¿CÓMO SE FORMAN LAS INCRUSTACIONES CALCÁREAS?

La cal comienza a acumularse en cuanto el agua dura empieza a circular a través de un conducto. Las sales indicadas en la Tabla 01 disueltas en el agua cristalizan, formando estructuras adherentes (Fig. 1). Estos cristales se adhieren entre sí y a las superficies, produciendo inmediatamente incrustaciones calcáreas sólidas que tienen consecuencias destructivas.



FIGURA 01: Cristalización de la cal espontánea sin tratamiento, en estructura adherente e incrustante.

Las incrustaciones de cal se desarrollan aun más cuando la presión del agua varía. Esto ocurre cuando el agua cambia de dirección en una curva o intersección, produciéndose turbulencia, o cuando sale de la tubería por un grifo o emisor. Esta disminución de la presión aumenta la formación de cristales de calcio y magnesio, formando una estructura que se adhiere a cualquier superficie.

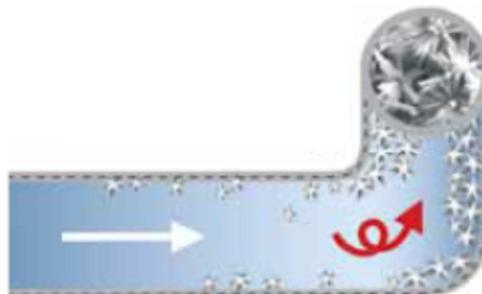


FIGURA 02: Formación de incrustaciones calcáreas propiciada por cambios de presión en la tubería.

Las incrustaciones se forman además especialmente cuando la temperatura del agua dentro del sistema sube, como ocurre en resistencias calentadoras y radiadores. Cuanto más alta sea la temperatura de la superficie, mayor será el desarrollo de las incrustaciones de cal. Estos problemas se pueden observar específicamente en resistencias, calentadores de agua e intercambiadores de calor.

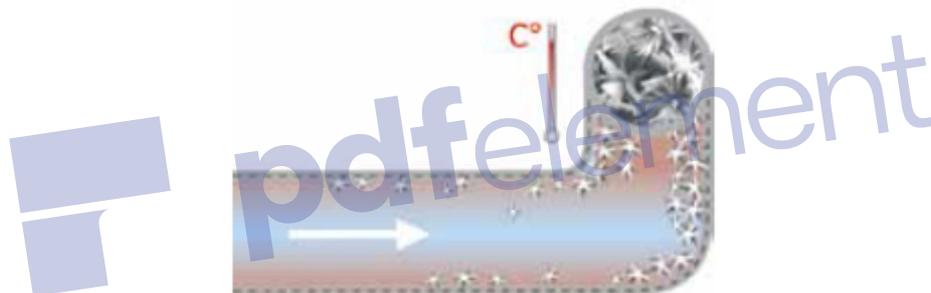


FIGURA 03: Formación de incrustaciones calcáreas propiciada por cambios de temperatura en la tubería.

1.3. INFLUENCIA DE LA CAL SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Las concentraciones de los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , CO_3^{-2} , HCO_3^- , varían mucho en función de la procedencia del agua, pero tienen una influencia decisiva en la calidad del agua, viéndose afectados los siguientes parámetros:

- Carbonato Sódico Residual
- Dureza
- pH
- Sólidos disueltos
- Índice de Langelier

1.3.1. Carbonato Sódico Residual

También llamado Índice de Eaton, y expresado por las siglas CSR, indica la acción corrosiva del agua, considerando la proporción de aniones carbonato y bicarbonato frente a los cationes calcio y magnesio.

Este índice se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CSR = ([CO_3^{-2}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{+2}] + [Mg^{+2}])$$

$[CO_3^{-2}]$: concentración de carbonatos (meq/L)

$[HCO_3^-]$: concentración de bicarbonatos (meq/L)

$[Ca^{+2}]$: concentración de calcio (meq/L)

$[Mg^{+2}]$: concentración de magnesio (meq/L)

En función del valor resultante para este índice, se puede establecer una clasificación de la calidad del agua, según la tabla 03.

TABLA 03: Clasificación del agua en función del Carbonato Sódico Residual

VALOR	CLASIFICACIÓN
CSR < 1,25	Agua recomendable
1,25 < CSR < 2,50	Agua poco recomendable
CSR > 6,25	Agua no recomendable

FUENTE: "Diagnóstico Agrícola", Antonio L. Alarcón Vera, ETSIA – UPCT año 2005.

1.3.2. Dureza

El valor que toma la dureza del agua hace referencia a la concentración de iones divalentes (calcio Ca^{+2} y magnesio Mg^{+2}) de un agua. La unidad de medida de esta magnitud es generalmente grado hidrotimétrico francés. La siguiente expresión permite el cálculo de esta magnitud.

$$Dureza = \frac{[Ca^{+2}] \cdot 2,50 + [Mg^{+2}] \cdot 4,12}{10}$$

[Ca^{+2}]: concentración de calcio (mg/L)

[Mg^{+2}]: concentración de magnesio (mg/L)

Como se observa, la dureza depende solamente de la concentración de los iones calcio y magnesio, y no de la concentración de bicarbonatos. En la tabla 04 se muestra la clasificación de las aguas según su grado de dureza.

TABLA 04: Clasificación del agua en función del grado de dureza

VALOR	CLASIFICACIÓN
< 7	Agua muy dulce
7 – 14	Agua dulce
14 – 22	Agua medianamente dulce
22 – 32	Agua medianamente dura
32 – 54	Agua dura
> 54	Agua muy dura

FUENTE: "Diagnóstico Agrícola", Antonio L. Alarcón Vera, ETSIA – UPCT año 2005.

1.3.3. pH

El pH es una medida de la concentración de protones (H^+) presentes en el agua, y ofrece una estimación de la acidez o basicidad del agua. La concentración de cal presente en el agua hace aumentar la basicidad de la misma, y por tanto su pH. En la tabla 05 se muestra la evaluación del riesgo de incrustación del agua en función de su pH.

TABLA 05: Riesgo potencial de obstrucción según el pH del agua (adaptado de Nakayama, 1982)

VALOR	EVALUACIÓN DEL RIESGO
< 7	Riesgo bajo
7 – 8	Riesgo medio
> 8	Riesgo alto

FUENTE: "Diagnóstico Agrícola", Antonio L. Alarcón Vera, ETSIA – UPCT año 2005.

1.3.4. Sólidos disueltos

Elevados niveles de algunas sales (bicarbonatos, calcio, sulfatos, etc.) constituyen un riesgo potencial de formación de precipitados. En la tabla 06 se establece una evaluación del riesgo de incrustaciones según la concentración de sólidos disueltos.

TABLA 06: Riesgo potencial de obstrucción según la concentración de sólidos disueltos en el agua (adaptado de Nakayama, 1982)

VALOR	EVALUACIÓN DEL RIESGO
< 500 ppm	Riesgo bajo
500 ppm – 3.000 ppm	Riesgo medio
> 3.000 ppm	Riesgo alto

FUENTE: "Diagnóstico Agrícola", Antonio L. Alarcón Vera, ETSIA – UPCT año 2005.

1.3.5. Índice de Langelier

Este parámetro valora el riesgo de obstrucciones por carbonato cálcico, de forma que valores positivos del mismo indican tendencia a formarse incrustaciones. Se calcula a través de la siguiente expresión.

$$Is = pHa - pHc$$

pHa: pH del agua

pHc: parámetro que se calcula con la siguiente expresión.

$$pHc = (pK2' - pKc') + p(Ca + Mg) + pAlk$$

(pK2'-pKc'): Se calcula a partir de la suma, en meq/L, de las concentraciones de calcio, magnesio y sodio.

P(Ca+Mg): Se calcula a partir de la suma, en meq/L, de las concentraciones de calcio y magnesio.

pAlk: Se calcula a partir de la suma, en meq/L, de las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos.

El cálculo de estos tres elementos se realiza a través de la tabla 07.

TABLA 07: Valores de (pK2'-pKc'), p(Ca+Mg) y pAlk, para el cálculo de pHc

Σ iones (meq/L)	(pK2'-pKc')	p(Ca+Mg)	pAlk
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

FUENTE: "Diagnóstico Agrícola", Antonio L. Alarcón Vera, ETSIA – UPCT año 2005.

En la tabla 08 se muestra la evaluación del riesgo de incrustación para cada valor del Índice de Langelier.

TABLA 08: Riesgo potencial de obstrucción según el Índice de Langelier del agua (adaptado de Nakayama, 1982)

VALOR	EVALUACIÓN DEL RIESGO
< 0,0	Riesgo bajo
0,0 – 0,5	Riesgo medio
> 0,5	Riesgo alto

FUENTE: "Diagnóstico Agrícola", Antonio L. Alarcón Vera, ETSIA – UPCT año 2005.



1.4. CÓMO MEDIR LA CONCENTRACIÓN DE CAL

Para conocer la calidad del agua en cuanto a la cal se refiere, debemos realizar la analítica oportuna, en función de los fines que se persigan. Hay tres formas de conseguir conocer el grado de cal que lleva el agua:

1. Análisis en laboratorio.



Si se encarga analizar el agua a manos de un laboratorio, éste nos dará una estimación precisa de la composición del agua disponible, apareciendo las concentraciones de los iones CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} . El inconveniente está en que no es una muestra instantánea.

2. Medición del pH.



La medición de este parámetro no ofrece directamente la concentración de cal presente en el agua, pero para valores de pH elevados por encima de 7 sí que nos advierte de su presencia.

3. Determinación del grado de dureza.



Existen en el mercado kits de análisis de dureza, mediante los cuales se puede conocer al instante la dureza del agua, obteniendo una estimación de las concentraciones conjuntas de los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , pero sin conocer la concentración exacta de cada uno.

2. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA CAL Y EL ÓXIDO

TABLA 09: Problemas ocasionados por la cal y el óxido en función de los usos.

Tipo problema	Uso residencial	Uso comercial	Uso industrial	Uso agricultura	Uso ganadería
Obstrucción tuberías	X	X	X	X	X
Pérdidas de presión por la reducción del diámetro de la tubería	X	X	X	X	X
Incrustaciones en grifos y duchas	X	X			
Acumulación de óxido y corrosión	X	X	X	X	X
Mayores esfuerzos en limpieza	X	X	X		
Irritación de la piel	X	X			
Deterioro de electrodomésticos, máquinas o equipos industriales	X	X	X		
Deterioro de calefacción	X	X			
Reducción eficiencia energética	X	X	X	X	X
Problemas en piscinas y fuentes	X				
Incrustaciones en elementos singulares de la instalación			X	X	
Obstrucción de emisores				X	
Reducción de la eficiencia de la fertirrigación				X	
Reducción del desarrollo vegetal				X	
Obstrucción de los sistemas de refrigeración				X	X
Fog System				X	X
Cooling System				X	X
Obstrucción de bebederos					X
Desarrollo de bacterias	X	X	X		X
Mayores labores de mantenimiento y reparación	X	X	X	X	X

2.1. Obstrucción de las tuberías

Las incrustaciones de cal producidas en las tuberías de conducción del agua, tanto para el agua fría como para el agua caliente, suponen un grave problema, puesto que:

- Se reduce progresivamente el diámetro efectivo de la tubería, llegando incluso a obstruirse totalmente.
- Se reducen el caudal y la presión disponibles en cada punto de la instalación con respecto a los valores de diseño, lo que puede ocasionar problemas por falta de abastecimiento o por dificultad de funcionamiento de algunos electrodomésticos.
- La cal puede dañar las tuberías, sobre todo aquellas que son de materiales metálicos, disminuyendo su resistencia.
- Genera grandes gastos de mantenimiento.

Este problema es común a todos los sectores y usos, tales como residencial, comercial, industrial, agricultura y ganadería.

2.2. Incrustaciones en grifos y duchas

Tanto en usos residenciales y comerciales, las boquillas de grifos y duchas en las viviendas, hoteles, hospitales, centros deportivos, etc., aparecen con grandes incrustaciones, de forma que:

- La estética disminuye considerablemente.
- Las obstrucciones provocan disminución del caudal ofrecido por el grifo, o desviaciones de las proyecciones de agua.
- La limpieza de estas incrustaciones es muy costosa.

2.3. Mayores esfuerzos de limpieza

La cal se incrusta fuertemente en cualquier superficie, de forma que se requiere de productos químicos agresivos y de intenso trabajo para eliminar las incrustaciones visibles.

Además, las dosis de productos empleados en la limpieza, lavado de ropa, higiene personal, etc, deben ser ampliadas debido a que la cal reacciona con éstos, disminuyendo su efecto. Por tanto, con un elevado grado de cal en el agua, el coste de los productos de limpieza aumenta considerablemente.

Este problema es común para los usos residencial, comercial e industrial.

2.4. Irritación de la piel

En la higiene personal, al emplear agua con gran cantidad de cal, queda en la piel una sensación de irritación y malestar, provocada por el contacto de la cal con la piel.

2.5. Deterioro de electrodomésticos, máquinas o equipos industriales

Todos aquellos electrodomésticos, máquina o equipos industriales que dispongan de un circuito hidráulico, o que trabajen con agua, sufrirán un fuerte deterioro cuando lo hacen con agua con cal, puesto que sus elementos, además de sufrir graves incrustaciones, sufren importantes corrosiones, de forma que su reparación sale muy cara.

2.6. Deterioro de la calefacción

Cuando el circuito de agua caliente para la calefacción trabaja con agua con cal, tiene problemas de obstrucciones y corrosiones de todos los elementos del sistema, y sobre todo de la caldera, puesto que es el punto en que más calor se intercambia. La reparación de la caldera es muy cara, y la sustitución de las tuberías de calefacción y radiadores es cara y engorrosa.

2.7. Reducción de la eficiencia energética en calefacción

De la misma manera que en el punto 2.1., la reducción de la eficiencia energética en calefacción es un problema que afecta a cualquier sector. Por ejemplo, en los meses invernales, para determinados cultivos se requiere aumentar la temperatura del interior del invernadero, o en el caso de la ganadería se necesita incrementar la temperatura del recinto de determinados animales. Así mismo, podemos mencionar el gran uso de la calefacción en edificación residencial y en el sector comercial. Para estos problemas mencionados se emplean tuberías radiantes, bien en el suelo, bien aéreas, pero por su interior circula agua caliente.

Cuando en el intercambiador de calor de la caldera de calefacción se producen incrustaciones de cal, la pared física del intercambiador aumenta su grosor, que es función del grosor de la capa de cal:

$$e_{pared\ del\ intercambiador} = e_{material} + e_{capa\ de\ cal}$$

En estos intercambiadores se produce intercambio de calor por conducción, principalmente. El calor que se transmite por conducción es directamente proporcional a la conductividad térmica del material, e inversamente proporcional al espesor de pared que tiene que atravesar. Por tanto, con una pared del material del intercambiador constante, a mayor espesor de la capa de cal, menores son las transmisiones de calor, y más energía se necesita para calentar el agua a la misma temperatura.

$$Q = k_{pared\ del\ intercambiador} \cdot A_{pared\ del\ intercambiador} \cdot \frac{T_i - T_f}{e_{pared\ del\ intercambiador}}$$

$$Q = \frac{T_i - T_f}{\frac{e_{material}}{k_{material} \cdot A_{material}} + \frac{e_{capa\ de\ cal}}{k_{capa\ de\ cal} \cdot A_{capa\ de\ cal}}}$$

Q: Calor transmitido a través de la pared del intercambiador (W)

k: Coeficiente de conductividad térmica para cada material (W/m·K)

A: Área de intercambio de calor (m²)

e: Espesor de la pared a atravesar por el calor (m)

T_i: Temperatura inicial (K)

T_f: Temperatura final (K)

Como se muestra en la expresión anterior, se confirma que a mayor espesor de cal, menor es el calor transmitido por el intercambiador, y por tanto:

- Con la misma energía en el lado inicial del intercambiador, es decir, T_i = cte, la temperatura obtenida del agua es menor (T_f), puesto que el calor transmitido es menor.
- Para que la temperatura del agua sea la misma, es decir, T_f = cte, la temperatura del lado inicial del intercambiador ha de ser mayor, puesto que el calor transmitido es menor. Esto indica que se requiere mayor energía para calentar el agua a los mismos niveles de temperatura.

Del mismo modo que ocurre con las paredes del intercambiador, ocurre con las paredes de los tubos que distribuyen el agua caliente por todo el invernadero, de forma que con grandes incrustaciones de cal en su interior, la pared es mayor, y el calor ofrecido es menor.

Es importante conseguir una eficiencia energética óptima. Entonces, si un problema como el de la cal reduce bruscamente la eficiencia energética, está incrementando los costes de explotación de forma importante, reduciendo los beneficios.

2.8. Problemas en piscinas y fuentes

La cal genera dos problemas principales en este tipo de instalaciones:

- La cal se incrusta en las paredes de piscinas y fuentes, generando problemas estéticos, y siendo necesarias costosas labores de mantenimiento.

- La cal reacciona con los productos aplicados al agua para mantener inactiva la actividad microbiana y un nivel de transparencia aceptable, de forma que se hace necesaria la sustitución y renovación periódica del agua.

2.9. Incrustaciones en elementos singulares de la instalación

Las incrustaciones calcáreas en elementos singulares de una instalación hidráulica agrícola o industrial, tales como válvulas, antirretorno, filtros, contadores, etc, pueden suponer mermas importantes en la capacidad de funcionamiento de las mismas, incluso llegar a su disfunción. Esto requiere grandes esfuerzos de mantenimiento, hasta el punto de tener que sustituir los elementos.

2.10. Obstrucción de emisores

En la agricultura existen tres sistemas de riego:

1. Riego por gravedad
2. Riego por goteo
3. Riego por aspersión

En el caso del riego por gravedad, no existen emisores que distribuyan el agua a los cultivos, sino que se trata de redes de tuberías. En cambio, en los otros dos sistemas de riego, la distribución del agua a la totalidad del cultivo se realiza mediante emisores, de caudal variable, pero que disponen de orificios de escaso diámetro, sobre todo para el riego por goteo.

Es el emisor el punto en que el agua entra en contacto con la atmósfera tras su camino por la red de tuberías. Y precisamente es uno de los puntos en que mayor energía encuentra, y por tanto, un punto de elevado riesgo de precipitaciones calcáreas.

La obstrucción de un emisor provoca la reducción del caudal ofrecido, de forma que se genera una variación de caudales importante entre todos los emisores de un sistema, variando el coeficiente de uniformidad de los emisores. Al reducir la uniformidad del riego, desciende proporcionalmente la eficiencia de aplicación del agua, dándose dos situaciones:

- Mantener constante la dosis bruta de riego: con lo que se consigue una muy baja uniformidad en el desarrollo de los cultivos, reduciendo la producción y la calidad, y por tanto, los beneficios económicos.
- Mantener constante el desarrollo de los cultivos: con lo que hay que aumentar en gran medida la dosis bruta de riego, reduciendo la eficiencia del uso del agua y de los fertilizantes, aumentando los costes de explotación, reduciendo el beneficio económico, y malgastando un recurso muy escaso como es el agua.

Además, la obturación completa de los emisores con la cal supone la necesidad de una sustitución urgente de los mismos, o la necesidad de realizar operaciones de limpieza, siendo todo muy costoso.

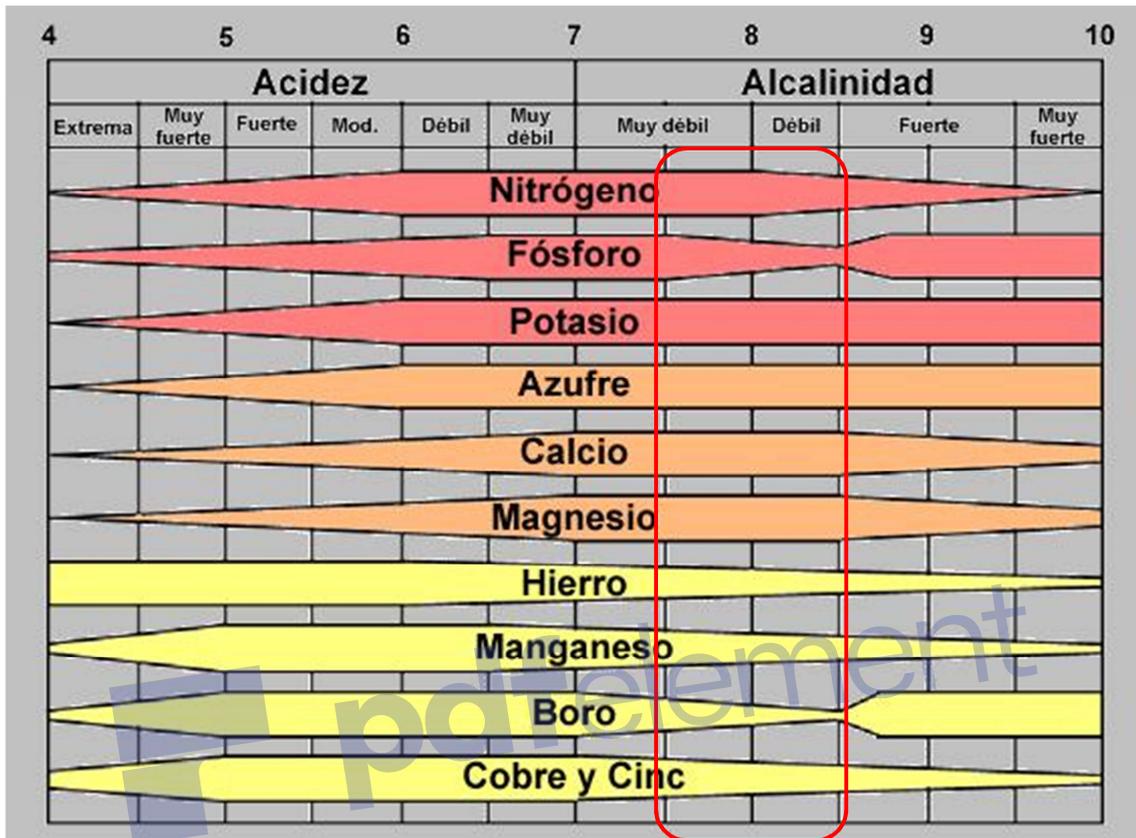
2.11. Reducción de la eficiencia de la fertirrigación

Por un lado, en el caso de producirse una disminución en la eficiencia del uso del agua por obstrucción de emisores, está directamente ligado con la reducción de la eficiencia en el empleo de fertilizantes, puesto que parte de ellos se perdería por percolación, con el problema asociado de contaminación de suelos y acuíferos.

Por otro lado, la cal reacciona con distintos compuestos químicos fertilizantes, bloqueándolos y reduciendo su disponibilidad para las plantas. Para solucionar esto, habría que aplicar mayores dosis de abonado para obtener el mismo rendimiento agrícola.

La concentración de cal en el agua influye directamente en los valores de pH de la misma, de forma que a mayores concentraciones, mayores valores de pH tiene el agua de riego.

Entonces, tal y como se muestra en la siguiente figura, a mayor valor de pH, menor disponibilidad de nutrientes hay por parte de la planta.



Umbral de pH del suelo continuamente regado con aguas muy calizas

FIGURA 04: Influencia del pH sobre la disponibilidad de los nutrientes para la planta

2.12. Reducción del desarrollo vegetal

La cal del agua interfiere con los nutrientes del suelo, inmovilizándolos e impidiendo su disponibilidad para las plantas. Es por eso que el desarrollo de los cultivos se ve reducido, viéndose los siguientes problemas:

- Reducción del crecimiento.
- Reducción del vigor.
- Disminución de la calidad de coloración de la planta.
- Menor calidad de frutos.
- Menor producción.

2.13. Obstrucción de sistemas de refrigeración

En la agricultura y ganadería intensiva se ha extendido en gran medida la instalación de sistemas de refrigeración, para evitar que en el interior se alcancen temperaturas excesivas en las épocas estivales.

Existen numerosos sistemas de refrigeración, y muchos de ellos emplean el agua como agente refrigerante, aprovechando su evaporación para disipar el exceso de calor del interior del invernadero. De los sistemas más empleados podemos señalar el sistema *fog*, y el sistema *cooling*.

2.7.1. FOG SYSTEM

Se trata de aplicar agua a presión en el interior del invernadero o granja a través de unas boquillas que consiguen pulverizarla formando gotas muy finas, de forma que sean capaces de evaporarse antes de alcanzar el dosel vegetal. En caso de que las gotas no sean lo suficientemente pequeñas para que esto ocurra, el agua caería a la superficie vegetal o los animales, generando graves problemas fúngicos para la plantación o enfermedades para los animales.

Para que el agua quede tan finamente difuminada, los orificios de los difusores han de ser de muy reducido diámetro, lo que supone el empleo de un agua con una calidad bastante elevada.

Cuando el agua contiene gran cantidad de cal, ésta precipita en los orificios de los difusores, obstruyéndolos, y generando los siguientes problemas:

- Obstrucción parcial de los orificios, y disminución del caudal ofrecido, de forma que no es suficiente para disipar todo el calor del interior del invernadero, sufriendo el cultivo fuerte estrés que, disminuirá la producción y la calidad seguro, pero que puede llegar la planta a morir.
- Obstrucción parcial de los orificios, y mala difusión del agua (lo más frecuente), de forma que las gotas formadas no son lo suficientemente pequeñas como para evaporarse antes de alcanzar el cultivo.
- Obstrucción total de los orificios, apareciendo el problema de la reducción del calor disipado, y generándose sobrepresiones en el sistema que pueden provocar la ruptura del mismo.
- Por supuesto, disminución de la vida útil del sistema.

2.7.2. COOLING SYSTEM

Se trata de un sistema de ventilación forzada, de forma que en un extremo se colocan, en las paredes, los ventiladores, que extraerán el aire del interior y lo enviarán hacia el exterior; en el otro extremo se colocan, en las paredes, unos paneles de material poroso, por los que circula una lámina de agua en sentido vertical, y en sentido horizontal, entra aire exterior, de forma que al atravesar la lámina de agua, parte de esta se evapora, reduciendo la temperatura del aire que entra.

Los paneles suelen ser de material celulósico, y se alimentan de un circuito de recirculación de agua, con alimentación para sustituir el agua evaporada en el proceso. Al estar continuamente evaporándose agua, la concentración de sales disueltas en el interior del circuito de recirculación se dispara.

Si el agua contiene mucha cal, igualmente la concentración en el circuito de recirculación aumenta bruscamente, de forma que se producen graves incrustaciones de cal tanto en el sistema de distribución como en los paneles, surgiendo los siguientes problemas:

- Deterioro de los sistemas de bombeo, con desgaste de turbinas y cierres mecánicos, e incluso problemas de agarres en periodos de baja actividad.
- Obstrucción de los orificios de los distribuidores de agua a los paneles, de forma que se produce un riego poco uniforme, quedando zonas de los paneles secos, por los que pasa el aire a mayor temperatura, y se reduce la eficiencia de disipación de calor, necesitando mayores esfuerzos para mantener una temperatura determinada, e incluso puede quedarse ésta en niveles superiores, generando estrés en el cultivo.
- Obstrucciones de los poros del material de los paneles, de forma que el agua no es retenida por el material, y está menos tiempo a exposición del aire para su evaporación, disminuyendo igualmente la eficiencia del sistema.

2.14. Obstrucción de bebederos

En la ganadería, uno de los elementos más importantes de las instalaciones es el bebedero. Dependiendo del tipo de ganado, éste es de un tamaño u otro, con mayor o menor caudal, pero todos sufren estos problemas:

- Obstrucción parcial del bebedero, de forma que no deja pasar el caudal requerido, causando estrés moderado en el ganado, al sufrir escasez de agua.
- Obstrucción parcial del bebedero, de forma que no deja de tirar agua, produciendo encharcamientos, suciedades, enfermedades, y grandes pérdidas económicas.
- Obstrucción total del bebedero, de forma que los animales quedan totalmente desabastecidos, produciendo fuerte estrés que puede llegar a la muerte de los animales.

- Deterioro de los mecanismos internos de los bebederos.

En una nave ganadera, el número de bebederos es muy grande, y el coste de mantenimiento de los mismos por problemas derivados de la cal es excesivo.

2.15. El óxido, un problema frecuente relacionado con la cal

Las incrustaciones calcáreas atraen también a otras sustancias no deseadas, que crean otros problemas y amenazas: los principales compuestos de las incrustaciones calcáreas son el calcio y el magnesio. Esto podría hacernos pensar que los depósitos calcáreos son de color blanco. Sin embargo, la mayor parte de los depósitos calcáreos son marrón. En cuanto los depósitos calcáreos se forman, todas las partículas de hierro y de hierro oxidado se fijan a las incrustaciones de cal. Lo anterior significa, además, que el óxido se adhiere con fuerza a la tubería, causando una amenaza seria debido a las picaduras de corrosión.



FIGURA 05: Incrustaciones calcáreas con inoes de hierro.

2.16. Crecimiento bacteriano, el efecto secundario de la cal

Los depósitos calcáreos son, además, un terreno fértil ideal para bacterias y otros microorganismos no deseados. Puesto que los depósitos tienen una superficie irregular y áspera, estas pequeñas cavidades son el escondite perfecto para anidar bacterias. Se trate de agua fría o caliente, usted se enfrentará al aumento de las sustancias potencialmente nocivas que persisten en el sarro calcáreo.

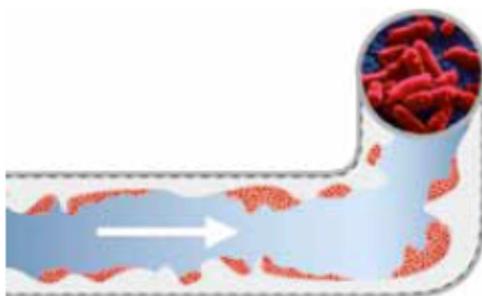


FIGURA 06: Incrustaciones calcáreas con inoes de hierro.

3. SOLUCIÓN VULCAN

3.1. Fundamento

Como se indicaba antes, la cal disuelta en el agua, cuando encuentra la energía necesaria, precipita volviendo a su estado sólido, según la reacción que se muestra en la figura 07. Generalmente esto sucede en puntos de la instalación hidráulica con mayor energía:

- Paredes de tuberías, en los que la temperatura exterior es superior a la del agua
- Resistencias para calentar el agua
- Emisores, en los que se produce una evaporación del agua.
- Puntos de cambio de presión, etc.

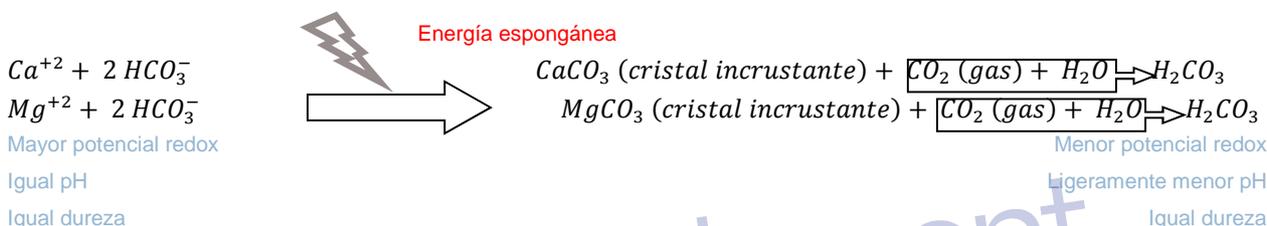


FIGURA 07: Esquema de la problemática de la cal

Estas precipitaciones calcáreas generan graves problemas de obstrucciones de elementos de cualquier instalación hidráulica. El agua presenta mayor potencial redox cuando la cal está disociada. Además, como no varía la concentración de protones presente, el pH no varía de forma importante. Cuando se añaden los reactivos necesarios para determinar el grado de dureza del agua, al estar presente el calcio o el magnesio, aunque sea en estado sólido, el valor de dureza no varía.

El equipo antical **VULCAN** está basado en la tecnología de impulsos eléctricos capacitivos con variación de frecuencia, que se emiten a través de unas bobinas instaladas alrededor de las tuberías, provocando que los iones que conforman la cal, que por un lado son los aniones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), y por otro cationes calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}), precipiten en forma de cristales.

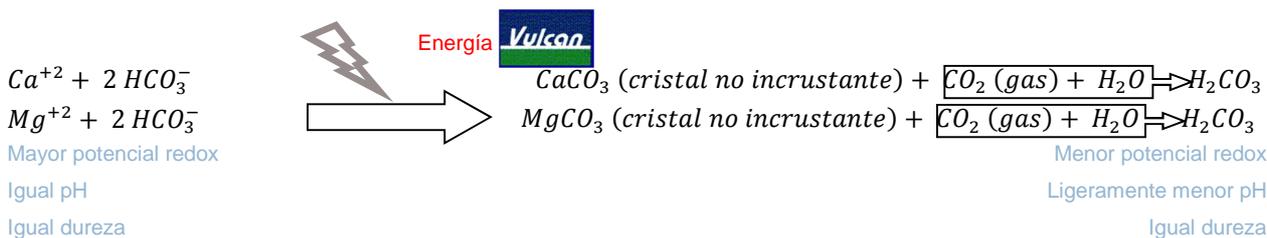


FIGURA 08: Esquema de funcionamiento del equipo antical VULCAN.



FIGURA 09: Equipo antical VULCAN instalado en una impulsión.

3.2. Tres efectos de la tecnología VULCAN

3.2.1. Primer efecto VULCAN: Detiene la sedimentación

Sin el tratamiento de agua de VULCAN, las partículas de cal contenidas en el agua crean cristales adherentes que van formando sedimentos sólidos. La Tecnología de Impulsos VULCAN modifica la manera en que el calcio y el magnesio cristalizan, utilizando un proceso natural denominado electroforesis. Los cristales, al volverse más suaves y adquirir forma de varilla, ya no pueden adherirse entre sí. Así, el sarro calcáreo es arrastrado por el agua como un polvo fino. Se detiene la formación de nuevos depósitos calcáreos. Cuantos más cristales en forma de varilla se creen, más eficaz será el efecto de prevención de las incrustaciones.

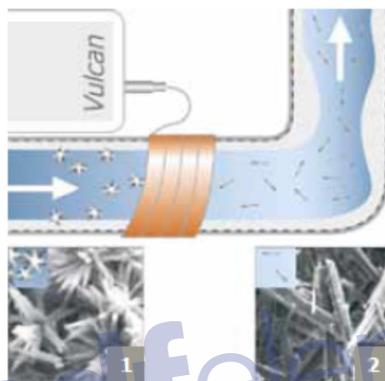


FIGURA 10: Primer efecto VULCAN: Detención de la sedimentación por cambio de estructura cristalina.

3.2.2. Segundo efecto VULCAN: Desincrustación

Dos procesos ocurren simultáneamente en las aguas duras sin tratamiento (ver figura 07):

- a. Durante el primer proceso, aparecen depósitos calcáreos al adherirse entre sí los cristales de calcio, incrustándose luego a cualquier superficie. Este primer proceso produce ácido carbónico (H_2CO_3) como producto secundario.
- b. Durante el segundo proceso, el ácido carbónico descompone simultáneamente los depósitos de cal existentes. A esto se le conoce como "proceso de disolución natural". Como el proceso de crecimiento ocurre mucho más rápidamente que el proceso de disolución natural, el diámetro de las cañerías disminuye constantemente.

El tratamiento de agua de VULCAN (ver figura 08) altera el equilibrio entre el proceso de sedimentación de las incrustaciones y el proceso de disolución natural. Los nanocristales ya no tendrán la capacidad de sedimentarse y, así, la formación de incrustaciones de cal del primer proceso se reduce. A continuación, el proceso natural de disolución de la cal sólo va a tratar los sedimentos ya existentes, pudiendo combatirlos de forma eficaz. De esta manera se puede reducir la cal con más rapidez que lo que tarda en formarse. El exceso natural de ácido carbónico disuelve la cal. Los sedimentos en los tubos serán eliminados cuidadosamente y de manera gradual.

Además, los microcristales de cal no incrustantes generan igualmente erosión en la capa de cal incrustada, y contribuye a facilitar la desincrustación.

Este proceso no tiene una duración determinada, sino que depende en gran medida del espesor de cal incrustada existente, de la velocidad de circulación del agua, y de la distancia de un punto determinado hasta el equipo antical.

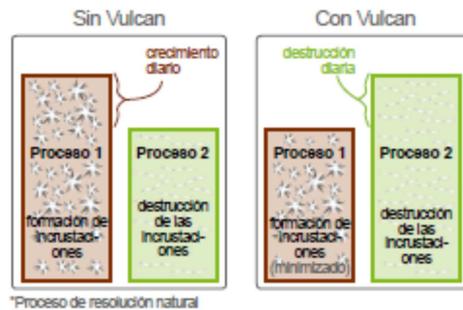


FIGURA 11: Segundo efecto VULCAN: Desincrustación progresiva de la capa de cal existente.

En cuanto los depósitos calcáreos se forman, las partículas de hierro se fijan a ellos. Así, las incrustaciones de cal y el óxido corroído se funden en un sólo material que se presenta en forma de depósitos rojizos en los tubos. Una vez que el tratamiento anticál VULCAN destruye la base de la cal, se elimina al mismo tiempo todo el óxido existente.

La eliminación de los sedimentos es un proceso suave en que se disuelven las incrustaciones, que de esta manera fluirán con el agua en forma de calcio, magnesio y hierro. No hay ningún riesgo en ingerir el agua, puesto que todos estos minerales son saludables.

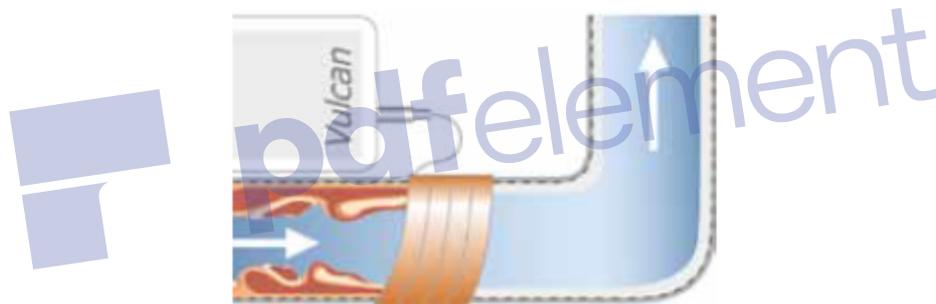


FIGURA 12: Segundo efecto VULCAN: Eliminación de la cal y el óxido.

Sabemos que las incrustaciones actúan como un terreno fértil para bacterias y otros microorganismos no deseados. En cuanto se ha instalado VULCAN y se han eliminado las incrustaciones, ese terreno apto para la reproducción de las bacterias desaparece. Así, se reduce considerablemente la contaminación bacteriana e incluso se puede eliminar por completo.

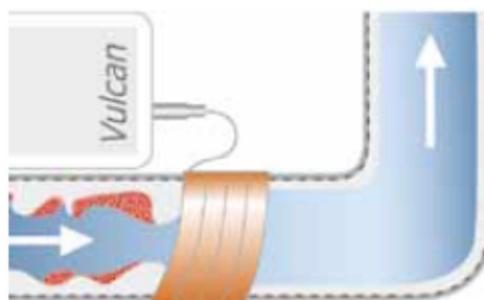


FIGURA 13: Segundo efecto VULCAN: Reducción del problema bacteriano.

3.2.3. Tercer efecto VULCAN: Protección de la instalación

La oxidación del cobre y/o del hierro se produce en tubos y elementos sometidos al contacto con aguas calcágenas (duras). Estos óxidos afectan seriamente toda la superficie de la tubería, pudiendo causar corrosión.

La Tecnología de Impulsos VULCAN crea un efecto electroforésico que fomenta la formación de una capa protectora de carbonato de metal. Según el material de la tubería, esta capa puede estar compuesta de carbonato de

cobre, carbonato de hierro, o carbonato de zinc. Esa capa se deposita en todas las superficies metálicas brillantes y protege los tubos de sustancias agresivas que podrían producir óxido.

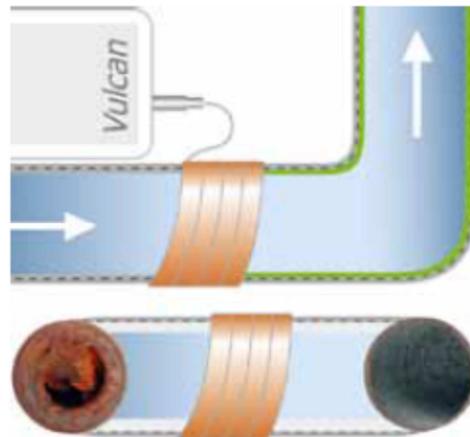


FIGURA 14: Tercer efecto VULCAN: Protección de elementos metálicos de la instalación.

3.3. Peculiaridades añadidas

La estructura molecular de la cal (CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) obtenida tras el tratamiento VULCAN no es activa químicamente, de forma que no interacciona con otras sustancias químicas, como pueden ser jabones, detergentes, suavizantes, etc en el entorno doméstico o industrial. Tampoco reacciona con los nutrientes del agua, en el ámbito agrícola y de jardinería; así, se consigue un uso más eficiente de productos de limpieza o fertilizantes.

Otras consideraciones

A diferencia de otros sistemas para reducir los problemas ocasionados por la cal, como puede ser la inyección de ácidos en la agricultura, o el empleo de descalcificadores de intercambio iónico que inyectan sal al agua, en el ámbito doméstico e industrial, el equipo VULCAN:

- No inyecta ningún tipo de sustancia química al agua
- No altera en absoluto la composición química del agua
- No consume agua durante su funcionamiento
- Apenas consume muy poca energía eléctrica
- No tiene mantenimiento alguno
- La instalación es fácil

La inversión es menor que en otros sistemas, y además no se requiere un costo de funcionamiento especial

3.4. Ventajas.

No incrustación: Cuando los impulsos de frecuencia emitidos por un equipo **VULCAN** hacen que la cal precipite con una estructura cristalina no adherente, se consigue reducir un importante problema generado por la cal, que es la incrustación generación de grandes costras calcáreas. De esta forma, una vez instalado el equipo, la cal no se volverá a adherir a ningún punto del sistema hidráulico.

Desincrustación: Por efecto de la erosión, las incrustaciones de cal existentes aguas abajo del punto de instalación del equipo antical **VULCAN** irán desapareciendo progresivamente, hasta dejar las tuberías y todos los elementos del sistema hidráulico limpios.

Sin mantenimiento: Este equipo no requiere un plan de inspección periódica para comprobar los parámetros de funcionamiento, ni requiere de calibraciones de ningún tipo. Tampoco se necesita personal cualificado durante la fase de funcionamiento. Será un piloto led el encargado de indicar el correcto funcionamiento del equipo. Esto contrasta con la necesidad de calibración y limpieza de sondas de un equipo de inyección de pH, mantenimiento de electroválvulas, sustitución de juntas, etc.

Sin gastos continuos: En un sistema de protección contra la cal mediante inyección de ácidos, es necesario el constante consumo de ácidos. En cambio, con el sistema antical **VULCAN** no se requiere gasto alguno en su funcionamiento, más que una pequeña cantidad de energía que, en el caso más desfavorable, no supera los 4,00 € anuales.

Económico: La inversión inicial de un equipo antical **VULCAN** es, por norma general, inferior a la necesaria para cualquier otro sistema de protección contra la cal.

Sin residuos: Con un equipo antical **VULCAN** no se genera ningún tipo de residuos, puesto que no hay que añadir químicos ni sales para su funcionamiento, ni se necesitan limpiezas, de forma que no surgen problemas de gestión de residuos.

Fácil instalación: Para la colocación de un equipo antical **VULCAN** no se requiere nada más que un tramo de tubería libre donde poder instalarlo. No necesita otras obras, ni sustituir tuberías. Es una instalación fácil, rápida y limpia.

Composición del agua constante: No se altera la composición química del agua, con lo que no supone problemas para el uso del agua en el riego agrícola, y resulta más fácil el establecimiento de un equilibrio nutricional, pues no se tiene en cuenta el aporte nutritivo de los ácidos.

Sin consumo de agua: A diferencia de los descalcificadores de intercambio iónico, el equipo antical **VULCAN** no genera ningún volumen de rechazo de agua, ni requiere agua para limpiezas, con lo cual, se consigue una mejor eficiencia en el uso del agua.

A diferencia de otros sistemas electrónicos antical del mercado, **VULCAN** es capaz de trabajar sobre cualquier material de tubería:

- Cobre
- Hierro
- Acero inoxidable
- PVC
- PE
- PRFV, etc.

Diez años de garantía: Los equipos **VULCAN** disponen de una garantía de 10 años.

3.5. Medio ambiente

En los últimos años, el cuidado al medio ambiente se ha convertido en un objetivo prioritario. Y por supuesto, la agricultura es una actividad directamente comprometida con él, por eso, este equipo puede suponer un futuro para las explotaciones agrarias sostenibles, y se esquematizan sus virtudes:

- No se produce residuo alguno.
- No se consume agua para su funcionamiento.

- No se consumen químicos ni sales.
- No altera la composición química del agua.
- Tiene un consumo de energía muy pequeño.
- Reduce los consumos energéticos en los procesos en los que se instala.
- Aumenta la eficiencia del uso del agua, siendo un recurso muy escaso, sobre todo en el sureste español.
- Aumenta la calidad de los cultivos, resultando una mayor calidad paisajística.
- Aumenta la eficiencia del uso de fertilizantes, con lo que se produce menos contaminación de suelos y acuíferos.
- No hay riesgo de acidificación de suelos.
- Reduce el riesgo de contaminación por nitrato.

3.6. Experiencia y resultados

3.4.1. OBSERVACIONES EN EQUIPOS COMERCIALES

Explotaciones hortícolas

El primer equipo instalado fue en una explotación hortícola, y concretamente de brócoli. El problema presentado fue la obstrucción en una sola campaña de un alto porcentaje de los emisores, con la necesidad imperiosa de tener que sustituir la totalidad de los ramales portaemisores.

Se instaló un equipo en el cabezal de riego, de forma que el agricultor no solo consiguió que los emisores se mantuvieran limpios, sino que el desarrollo del cultivo se vio aumentado.

De esta manera, se han conseguido los siguientes beneficios:

- Aumento del coeficiente de uniformidad, y por consiguiente, de la eficiencia en el uso del agua.
- Así mismo, se aumenta la eficiencia energética, puesto que se trata de una instalación con equipo de bombeo.
- Aumento de la eficiencia en la aplicación de fertilizantes.
- Aumento en el desarrollo y la producción de los cultivos.
- Disminución en el consumo de ácidos.

Conducciones por gravedad

En la primera conducción por gravedad se nos presentó un reto, puesto que el caudal conducido por la misma se había reducido desde 50 L/s a 30 L/s.

Se realizaron calicatas en distintos puntos de la tubería para comprobar el estado y espesor de las incrustaciones de cal.

Tras la instalación del equipo, en los primeros tres meses había conseguido recuperar parte del caudal perdido, y tras la investigación en las calicatas realizadas, se observó que en los puntos más cercanos al inicio, la incrustación tenía las capas más superficiales en un estado poco consistente; en los puntos más alejados se había llegado a reducir unos milímetros la capa de incrustación.

Seis meses después, el caudal estaba recuperado casi en su totalidad, y ya se había reducido el espesor de la incrustación en todas las calicatas.

En este caso, se consiguieron los siguientes resultados:

- Aumento de la calidad de servicio
- Aumento de la eficiencia de distribución, puesto que el volumen de agua necesario era transportado en menor tiempo
- Ya no era necesaria la sustitución de toda la red

Impulsiones

Realmente las aguas de riego contienen altas concentraciones de cal, y provocan graves problemas. Tal es el caso de una impulsión, que distribuye el agua a distintos puntos de consumo, que tras instalar el equipo se ha conseguido:

- Aumento del caudal impulsado hasta niveles de diseño
- Aumento de la eficiencia energética del bombeo
- Limpieza de los elementos de control (contadores, etc.)
- Reducción de los costes de mantenimiento

Semilleros

Los semilleros tienen serios problemas de uniformidad en el cultivo debido a la obstrucción de los aspersores, de forma que no se produce una buena distribución, y las plántulas no crecen con uniformidad, disminuyendo el rendimiento de la explotación.

Tras la instalación de un equipo antical, se consigue una progresiva limpieza de las tuberías, y de los aspersores, de forma que:

- Se reduce el mantenimiento de limpieza de tuberías y aspersores
- Se aumenta la eficiencia de aplicación del agua
- Se aumenta la uniformidad en el crecimiento de las plántulas

3.4.2. ENSAYO EN PARCELA COMERCIAL

Materiales y métodos

El ensayo está aún en marcha, iniciado desde septiembre de 2010.

Se trata de una plantación de alcachofa en suelo arcilloso, con acolchado plástico, en la diputación de Cazalla, término municipal de Lorca (Murcia).

El marco de plantación es de 40 cm x 200 cm.

La plantación contaba ya con un año cuando se inició el ensayo.

El objetivo de este ensayo era la de comprobar que la plantación seguía adelante sin la aplicación de ácidos para la limpieza de emisores.

Resultados y discusión

El avance de resultados es que, tras nueve meses de ensayo, sin aplicar ácido nítrico, se han observado las siguientes ventajas:

- El riego es uniforme.
- Se ha reducido la aplicación de ácidos.
- La planta responde mejor a las condiciones climáticas favorables para el desarrollo vegetal.
- Aplicando un 10% menos de fertilizantes que en otras parcelas de similares características, el desarrollo vegetativo ha sido igual o superior.

Agradecimientos

AGROSOLMEN, S.L. agradece la colaboración del Doctor Ingeniero Agrónomo D. Antonio Alcázar Sánchez prestada para conseguir examinar los resultados de un equipo antical en una explotación hortícola.

3.4.3. ENSAYO EN EL CEBAS-CSIC

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el periodo comprendido entre mediados de marzo de 2010 y mediados de diciembre de 2010.

Se trataba de un ensayo de planta ornamental (concretamente evónimo) sobre maceta de 3,5 L, con un sustrato compuesto por mezcla de turba rubia, turba negra, perlita y fibra de coco, bajo condiciones de invernadero, en la población de Santomera, en la finca experimental del CEBAS-CSIC.

El objetivo principal del ensayo era comprobar el efecto de distintas calidades de agua sobre el desarrollo de planta ornamental, empleando en este caso evónimo.

Se realizaron en todo el ensayo mediciones de estado hídrico, de crecimiento, de color, de fluorescencia, entre otros.

Se añadió el tratamiento CALMAT, que se trataba de una repetición del control con un equipo antical CALMAT, que equivale a un equipo antical VULCAN.

El objetivo de este tratamiento era determinar la evolución del coeficiente de uniformidad de los emisores, así como del desarrollo de la planta, sin entrar en detalles en lo que respecta al estado hídrico principalmente.

Entonces se tomaron medidas de crecimiento, de color, y de coeficiente de uniformidad de los emisores.

Las características del agua de riego de los tratamientos CONTROL y CALMAT eran:

pH = 7,9

CE = 1,1 dS/m

Dureza = 50°F

Hay que indicar que los emisores del ensayo estaban funcionando con este mismo tipo de agua desde dos años antes.

Resultados y discusión

De acuerdo a las figuras siguientes se muestran los resultados obtenidos en los parámetros de coeficiente de uniformidad y de altura de planta.

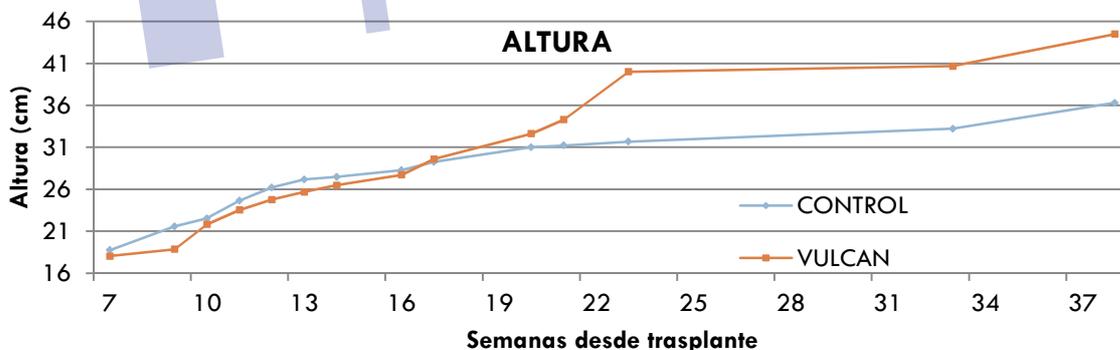


FIGURA 06: Evolución de la altura de las plantas durante el ensayo.

Las plantas del tratamiento CALMAT habían crecido al final del ensayo 8,21 cm más que las del tratamiento CONTROL, es decir, que eran un 23% más altas.

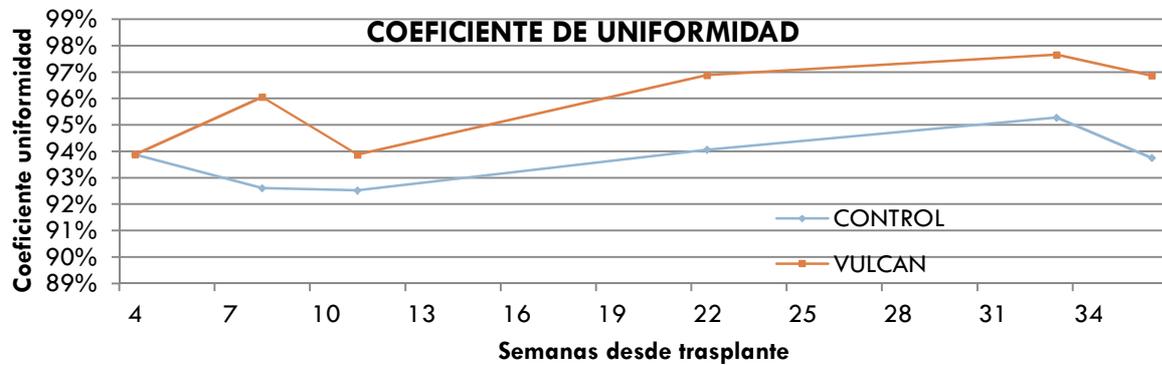


FIGURA 07: Evolución del coeficiente de uniformidad durante el ensayo.

Los emisores del tratamiento CALMAT tenían al final del ensayo un coeficiente de uniformidad del 96,86%, mientras que los del control presentaban un 93,75% de uniformidad.

En el resto de parámetros (altura y color), el tratamiento CALMAT se ha comportado igual al tratamiento control, y no ha habido diferencias significativas.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir con que tratando el agua de riego contra la cal mediante un equipo antical VULCAN se consigue un mayor desarrollo vegetal, así como un riego más uniforme por un alto coeficiente de uniformidad de los emisores.

Agradecimientos

AGROSOLMEN, S.L. agradece la colaboración de la D^{ra} D^a M^a Jesús Sánchez Blanco, directora de este ensayo, e investigadora del departamento de Riego del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



FIGURA 08: Mayor crecimiento con el tratamiento antical.

4. SOLUCIÓN DE FUTURO

En base a las características intrínsecas del equipo, y a los resultados obtenidos en las distintas experiencias y ensayos indicadas antes, podemos afirmar que el equipo antical VULCAN puede ser un avance tecnológico importante en la lucha contra la problemática planteada en relación a la agricultura. A continuación se indica exactamente cuál es la aportación de VULCAN a la solución de esos problemas.

OBTENER MAYOR PRODUCCIÓN: Mediante VULCAN conseguimos una mayor asimilación de los nutrientes por parte de las plantas.

OBTENER MAYOR CALIDAD DE PRODUCTO: Mediante VULCAN se consigue un desarrollo vegetativo más vigoroso y con menos deficiencias nutritivas, de manera que la planta está en mejores condiciones de producir calidad.

AGRICULTURA SOSTENIBLE: Se consigue un sistema de lucha contra la cal sin necesidad de aporte de sustancias químicas, sin generar residuos, sin consumir agua, sin alterar la composición química del agua, generando un ahorro importante de recursos (agua, fertilizantes, energía, sustitución de equipos de la instalación, etc.) y disminuyendo el impacto medioambiental negativo que puede conllevar la agricultura.

DISMINUIR CONTAMINACIÓN POR NITRATOS: Tal y como resulta del ensayo del CEBAS-CSIC, y del ensayo en alcachofa, si la planta crece más con menos abono, y no se requiere de aplicación de ácido nítrico para mantener limpios los emisores, podemos reducir el aporte de abonos nitrogenados fácilmente lixiviables.

DISMINUIR CONTAMINACIÓN DE SUELOS: Si reducimos la aplicación de fertilizantes, podremos reducir la contaminación de suelos en lo que respecta a fertilizantes.

OBTENER ADECUADA EFICIENCIA DE DISTRIBUCIÓN: Con VULCAN se pueden mantener los sistemas de distribución (tuberías, etc.) en buen estado, sin incrustaciones ni corrosiones, y por tanto, pueden ser más eficientes.

OBTENER UNA UNIFORMIDAD DE RIEGO EXCELENTE: Con VULCAN podemos mantener los emisores limpios (por supuesto, se ha de contar con un buen sistema de filtrado, puesto que VULCAN solo controla incrustaciones calcáreas), de forma que el coeficiente de uniformidad sea el máximo que permita el gotero.

CONSEGUIR UN CORRECTO MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES: Con VULCAN las instalaciones se mantendrán sin incrustaciones calcáreas ni corrosiones, y por tanto se reducen las labores de reparación y mantenimiento.

BUEN ESTADO DE BOMBEOS Y CONDUCCIONES PARA REDUCIR CONSUMOS ENERGÉTICOS: Con VULCAN podemos mantener bombes y conducciones limpias de incrustaciones, y por tanto evitar pérdidas energéticas por disminución de diámetros y aumento de pérdidas de carga.

5. OTRAS SOLUCIONES

5.1. ADICIÓN DE ÁCIDOS

5.1.1. Fundamento

Las incrustaciones de cal vienen dadas principalmente por la precipitación masiva de las sales con una estructura cristalina incrustante que se muestran en las tablas 01 y 02:

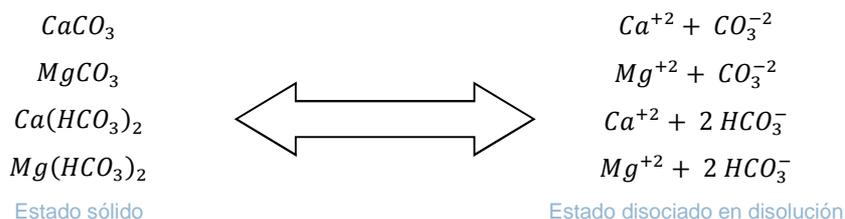


FIGURA 09: Equilibrio de disolución de la cal

Al aplicar ácido al agua, se ataca a los aniones que se muestran en la figura 09, de forma que se producen las siguientes reacciones químicas:



FIGURA 10: Neutralización de bicarbonatos con la adición de ácido (para el entorno de pH 7 – 8,5)



FIGURA 11: Neutralización de carbonatos con la adición de ácido (para el entorno de pH > 8,5)

Al neutralizar los aniones carbonato y bicarbonato, ya no se pueden producir precipitaciones calcáreas, y se reduce el problema.

Como se observa, esta solución no es válida para cualquier caso, ya que se añaden ácidos, con lo que queda destinada a fines agrícolas mayoritariamente.

Para conseguir una adecuada protección contra la cal, hay que aplicar la cantidad necesaria de ácido para neutralizar el 75 % de los bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua, obteniendo un pH en torno a 5,5 - 6. Por tanto, es muy importante conocer la analítica detallada del agua de riego disponible.

Cuando se aplica agua de riego acidificada, la solución del suelo disminuye su pH, haciendo que la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes por parte de las plantas aumente.

La aplicación de ácidos está más encaminada a sistemas de riego a presión que a sistemas de riego por gravedad, buscando solucionar el grave problema de incrustaciones calcáreas de los emisores.

5.1.2. Corrección de pH aproximada

En muchos casos, en la agricultura no se dispone de analítica del agua de riego, o bien la procedencia de la misma es variable, de forma que la calidad del agua no es estable. Entonces se aplican cantidades de ácido aproximadas, sin conocer si realmente se está solucionando el problema. Esto puede conllevar las siguientes consecuencias:

- Que la cantidad de ácido aplicada sea menor de la necesaria: no se va a conseguir neutralizar la cal suficiente, de forma que los problemas se van a desplazar algo en el tiempo, pero no se van a solucionar, debiendo así llevar a cabo grandes labores de mantenimiento.
- Que la cantidad de ácido aplicada sea aproximada a la necesaria: en este caso el problema va a estar controlado.
- Que la cantidad de ácido aplicada sea mayor a la necesaria: el pH del agua descenderá bruscamente, puesto que una vez se neutralicen todos los carbonatos y bicarbonatos, el gran poder tampón del agua se reduce, generando problemas tanto en los elementos del sistema como en el desarrollo del cultivo.

5.1.3. Corrección basada en analítica

Cuanta más información se tenga acerca de un proceso, con más precisión se podrá actuar. De esta forma, conociendo la composición del agua de riego, se podrán aplicar las dosis necesarias de ácido para reducir el problema de la obstrucción de emisores por la cal.

Pero pueden pasar varias situaciones:

- Que la calidad del agua varíe:
 - o Si la concentración de carbonatos y bicarbonatos del agua es superior a la conocida, la aplicación de ácido es insuficiente para solventar de manera eficaz el problema de la cal.
 - o Si la concentración de carbonatos y bicarbonatos del agua es inferior a la conocida, la aplicación de ácido puede ser peligrosa por una bajada brusca de pH, tanto para la instalación como para el cultivo.
- Que el caudal circulante varíe:
 - o Si el caudal aumenta, por ejemplo por una avería, o por la apertura de más número de válvulas, entonces la dosis de ácido aplicada es insuficiente para solucionar el problema de la cal.
 - o Si el caudal disminuye, por ejemplo por el cierre de una válvula, entonces se puede bajar el pH de forma brusca, ocasionando los problemas expuestos.

5.1.4. Corrección continua

Hoy día existe tecnología suficiente para conocer exactamente la calidad del agua de riego en tiempo real, en lo que respecta al pH. Así mismo, existen controladores y actuadores capaces de reconocer esa calidad del agua de entrada, y mediante un baremo de calidad establecido (es decir, un nivel de pH deseado para el agua de riego), aplicar las dosis de ácido que necesite el sistema en cada momento en función del caudal consumido.

Esto funciona muy bien, pero teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El sistema tiene un alto coste de inversión inicial.
- Para obtener un uso eficiente del mismo, se requiere personal altamente cualificado.
- El coste de mantenimiento del sistema es también muy elevado.

5.1.5. Resultado

Como ya se ha explicado, tras la aplicación de ácidos como solución contra la cal, resulta que:

- Disminuye el pH, porque aumenta la concentración de protones (H^+), ya que:

$$pH = -\log[H^+]$$

- Disminuye la concentración de carbonatos y bicarbonatos, ya que los ácidos neutralizan estos iones, tal y como se muestra en las figuras 05.02 y 05.03.
- Se mantiene constante la concentración de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , y por tanto, igualmente no varía la dureza del agua.

5.1.6. Problemas

Los problemas que podemos encontrar con el empleo de este sistema de protección contra la cal pueden ser:

- Elevado gasto en ácidos.
- Elevado coste de inversión inicial.
- Elevado gasto de mantenimiento.
- Necesidad de mano de obra muy cualificada.
- Riesgo de accidentes causados por el ácido.
- Riesgo de no solucionar el problema de la cal por una infradotación de ácido.
- Riesgo de averías en el sistema y de daños al cultivo por una sobredotación de ácido.
- Riesgo de reducir el poder tampón de los suelos.

5.2. INTERCAMBIO IÓNICO

5.2.1. Fundamento

La adición de ácido no se puede aplicar en cualquier ámbito, siendo necesaria la aplicación de otras tecnologías para el campo doméstico, de la industria, de la ganadería, etc.

Como se ha indicado, las incrustaciones de cal vienen provocadas por las precipitaciones de las sales que se muestran en las tablas 01.01 y 01.02, y en la figura 05.01 se muestra el equilibrio de disolución de la cal.

Para evitar estas incrustaciones, se puede actuar:

- Contra los aniones que se muestran en la tabla 06.02: la inyección de ácido neutraliza a los aniones.
- Contra los cationes que se muestran en la tabla 06.02: el intercambio iónico elimina los cationes

Por tanto, para evitar incrustaciones de cal podemos eliminar los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , de forma que ya no se pueden formar las sales carbonato cálcico, carbonato magnésico, bicarbonato cálcico y bicarbonato magnésico, que son las que producen las incrustaciones calcáreas.

Aprovechando las propiedades de algunas sustancias de permitir un elevado intercambio iónico entre los cationes adheridos a ellas, podemos sustituir los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} del agua por otros que no generen problemas de incrustaciones calcáreas.

Las sustancias que se emplean como intercambiadores se denominan resinas, y son polímeros artificiales. El catión encargado de sustituir al Ca^{+2} y Mg^{+2} del agua más usado es el Na^+ , procedente principalmente de la sal común (NaCl).

Los descalcificadores de intercambio iónico utilizan resinas impregnadas en el ion Na^+ , de forma que cuando circula el agua a través de la resina, el ión Na^+ es desplazado de la resina, adhiriéndose los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , de forma que el agua ya no llevará Ca^{+2} y Mg^{+2} , pero sí Na^+ .

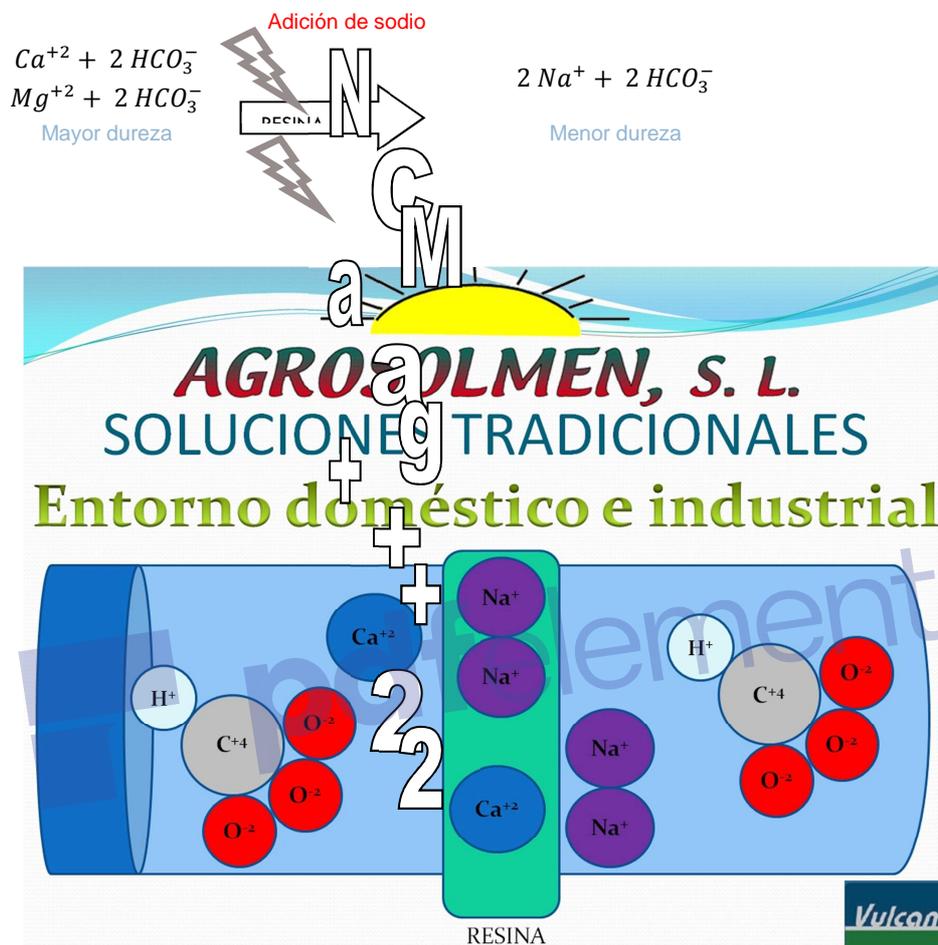


FIGURA 12: Esquemas del funcionamiento de un descalcificador de intercambio iónico

Cuando la resina no dispone de iones Na^+ adheridos, ya no es capaz de descalcificar. Por tanto, el sistema debe eliminar los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , y sustituirlos por Na^+ . Este proceso se denomina regeneración de la resina.

Los iones Na^+ generalmente proceden de una disolución de salmuera, en el que hay alta concentración de NaCl (sal común). De esta manera, se requiere un caudal determinado de salmuera, que recorra toda la resina, y desplace los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} , obteniendo un vertido de agua con altas concentraciones en Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , que puede generar un problema medioambiental ahí donde se deposite tal vertido.

Un agua sin Ca^{+2} ni Mg^{+2} puede ser corrosiva, y peligrosa para los sistemas hidráulicos, e incluso, para las personas. Por tanto, se ha de instalar un bypass que permita el paso de cierta proporción del caudal de agua sin descalcificar, con el fin de obtener una dureza en torno a 8°F .

5.2.2. Resultado

Como ya se ha explicado, tras la descalcificación por intercambio iónico como solución contra la cal, resulta que:

- No varía el pH de forma importante, porque no se inyectan protones (H^+).
- Disminuye la concentración de Ca^{+2} y Mg^{+2} , ya que la resina retiene estos cationes, sustituyéndolos por cationes Na^+ , como se muestra en la figura 06.02., y por tanto, disminuye la dureza del agua.
- Aumenta la concentración de iones Na^+ en el agua descalcificada.

5.2.3. Problemas

Esta solución contra la cal ha sido muy recurrida, pero hay que tener en cuenta que presenta una serie de inconvenientes:

- Altera la composición química del agua.
- Aumenta el riesgo de corrosión si el agua queda totalmente sin cal.
- Aumenta la salinidad del agua descalcificada, pudiendo generar problemas para la salud en caso de ser agua para el consumo humano.
- Requiere un alto nivel de mantenimiento para conseguir un rendimiento adecuado del sistema, puesto que hay que controlar el nivel de sal y su dosificación, y la correcta regeneración de las resinas.
- Gasto continuo por la necesidad de añadir sal constantemente al sistema. Además también es necesaria la sustitución periódica de la resina.
- Generación de un caudal de vertido importante de aguas con elevadas concentraciones de cloruros.
- Perjuicio al medio ambiente por el gran consumo de agua, y por generar residuos salinos.
- Es un equipo con gran volumen, y que requiere además de espacio suficiente para realizar las labores rutinarias de mantenimiento, como adición de sales, control de parámetros de funcionamiento, etc.

6. CALIDAD Y GARANTÍA VULCAN

Los equipos antical **VULCAN** están fabricados en Alemania, y disponen de una garantía de 10 años.

Además, cuentan con los siguientes certificados de calidad:

-  10 años de garantía mundial
-  Certificado de funcionamiento **VULCAN**
-  Certificado TÜV NORD **VULCAN**
-  Certificado CE **VULCAN**
 - **VULCAN** 1000
 - **VULCAN** 5000
 - **VULCAN** S25
 - **VULCAN** S100
 - **VULCAN** S250
 - **VULCAN** S500
-  Certificado VDE-EMV **VULCAN**



AGROSOLMEN

ingeniería para el agua

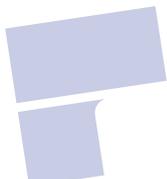
Distribuidor oficial de:



Elimina la filigrana digital ahora



- Certificado de seguridad

 pdfelement

7. APLICACIONES

USO RESIDENCIAL

- Vivienda unifamiliar
- Comunidades de vecinos
- Piscinas y fuentes

USO COMERCIAL

- Pequeños comercios (peluquerías, bares, etc.)

USO INDUSTRIAL

- Industria agroalimentaria
- Calderas e intercambiadores
- Redes de agua sanitaria
- Sistemas de refrigeración

AGRICULTURA

- Riego por goteo
- Riego por aspersión
- Campos de golf
- Viveros y semilleros
- Máquinas de riego
- Investigación
- Redes de distribución
- Jardines
- Sistemas de refrigeración en invernaderos
- Sistemas de calefacción en invernaderos

GANADERÍA

- Redes de distribución
- Bebederos
- Sistemas de refrigeración
- Sistemas de calefacción

pdfelement

8. PREGUNTAS FRECUENTES

8.1. ¿Para qué materiales de tubos es apto VULCAN?

A diferencia de otros sistemas electrónicos antical del mercado, **VULCAN** es capaz de trabajar sobre cualquier material de tubería:

- Cobre
- Hierro
- Acero inoxidable
- PVC
- PE
- PRFV, etc.

8.2. ¿Cuánto tiempo dura el proceso de renovación de los tubos por VULCAN?

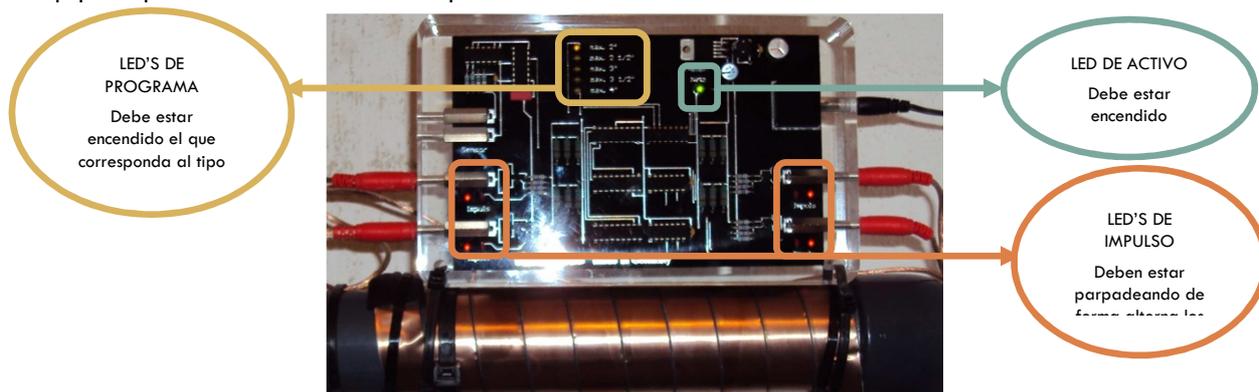
La cal y el óxido se reducen lenta y progresivamente durante el tratamiento con **VULCAN**. El proceso de saneamiento dura aproximadamente tanto tiempo como se formaron las sedimentaciones en los tubos. Una reducción más rápida conduciría a atascos en los tubos y al dañado del material del tubo.

8.3. ¿Hasta qué grado de dureza se puede utilizar VULCAN?

VULCAN trabaja con un grado de frecuencia muy eficiente, así que el uso, mismo con un grado de dureza elevado, es eficaz. Así lo demuestran nuestras experiencias, sobre todo en aguas de riego, con dureza de hasta 250 °F, y se han obtenido excelentes resultados.

8.4. ¿Cómo se si está funcionando el VULCAN?

El equipo dispone de una serie de LED's que marcan el correcto funcionamiento:



8.5. ¿Cómo varía la dureza con VULCAN?

VULCAN no cambia la composición química del agua, y por tanto, no elimina los iones calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}), que son los causantes de la dureza del agua. En cambio, el agua no es dura, pues la cal se convierte en inerte, y no reacciona con otras sustancias como jabones, suavizantes, detergentes, etc., ni se incrusta en los elementos de la instalación.

8.6. ¿Cómo varía el pH con VULCAN?

El pH es una medida de la concentración de protones (H^+) en el agua, o lo que es lo mismo, de la concentración de ácido. Como VULCAN no añade ácido al agua, no varía el pH, aunque la cal existente en el agua ya no produce incrustaciones, ni reacciona con los nutrientes, de forma que no los bloquea y quedan a disposición de la planta.



9. GAMA DE PRODUCTOS

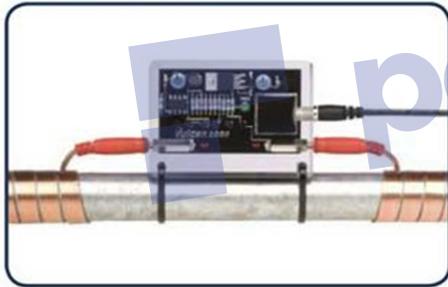


Vulcan 1000



Capacidad	1 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	25 mm
Consumo de energía	1,75 W
Cable de impulso	2 x 0,5 m (plano)
Espacio necesario mínimo	20 cm
Programas	1
Garantía	10 años

Vulcan 3000



Capacidad	3 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	40 mm
Consumo de energía	2,00 W
Cable de impulso	2 x 1,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	25 cm
Programas	1
Garantía	10 años

Vulcan 5000



Capacidad	5 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	50 mm
Consumo de energía	2,00 W
Cable de impulso	2 x 1,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	37 cm
Programas	1
Garantía	10 años



AGROSOLMEN

ingeniería para el agua

Distribuidor oficial de:



FREYTECH INC.

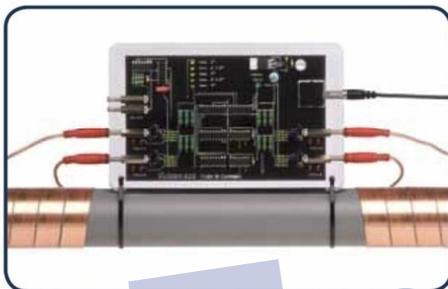
Elimina la filigrana digital ahora

Vulcan S10



Capacidad	10 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	75 mm
Consumo de energía	2,00 W
Cable de impulso	2 x 1,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	50 cm
Programas	3
Garantía	10 años

Vulcan S 25



Capacidad	25 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	100 mm
Consumo de energía	2,25 W
Cable de impulso	4 x 2,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	60 cm
Programas	5
Garantía	10 años

Vulcan S100



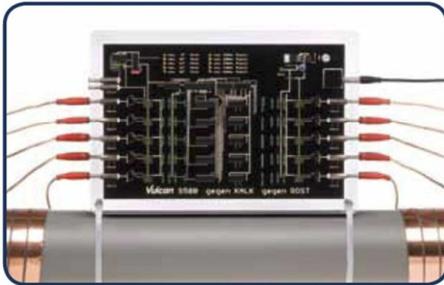
Capacidad	100 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	150 mm
Consumo de energía	2,50 W
Cable de impulso	6 x 4,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	120 cm
Programas	10
Garantía	10 años

Vulcan S 250



Capacidad	250 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	250 mm
Consumo de energía	2,75 W
Cable de impulso	8 x 10,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	250 cm
Programas	10
Garantía	10 años

Vulcan S 500



Capacidad	500 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	500 mm
Consumo de energía	3,25 W
Cable de impulso	10 x 30,0 m (plano)
Espacio necesario mínimo	500 cm
Programas	10
Garantía	10 años

CALMAT



Capacidad	3 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	40 mm
Consumo de energía	1,50 W
Cable de impulso	2 x 2,0 m
Espacio necesario mínimo	20 cm
Programas	4
Garantía	3 años

CALMAT PLUS



Capacidad	10 m ³ /h
Diámetro máximo de tubería	75 mm
Consumo de energía	1,50 W
Cable de impulso	4 x 5,0 m
Espacio necesario mínimo	60 cm
Programas	6
Garantía	3 años

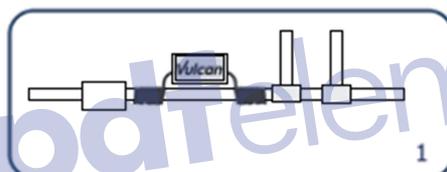
10. INSTRUCCIONES DE USO E INSTALACIÓN

10.1. Indicaciones generales

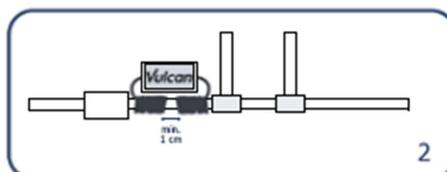
1. Proteger el enchufe eléctrico de humedad y agua.
2. Proteger el aparato y los cables de impulso de humedad y agua.
3. Utilizar solo los transformadores propios del aparato.
4. No cortar los cables de impulso ni el del transformador.
5. No quitar las tapas finales de los cables de impulso.
6. Funciona con una temperatura ambiente entre -10°C y 50°C .
7. La temperatura del agua no debería superar los 95°C .
8. Limpiar el aparato sólo con un paño húmedo.
9. Que la tubería esté limpia.
10. Que la tubería no tenga grandes incrustaciones calcáreas, para que los impulsos lleguen bien al agua.

10.2. Indicaciones de montaje

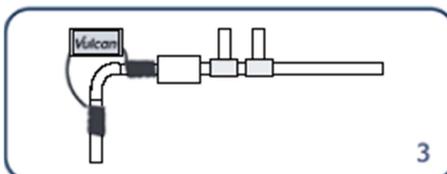
1. Para el uso efectivo, VULCAN debería ser montado en la entrada principal de agua a toda la instalación.



2. Los cables de impulso pueden ser enrollados con una distancia mínima de 1 cm entre una bobina y otra, y pueden estar colocados a los lados del aparato o debajo del aparato.

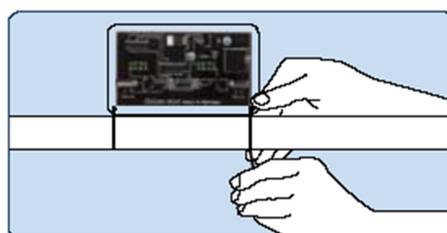


3. VULCAN puede ser montado horizontal y verticalmente, en todas las direcciones.

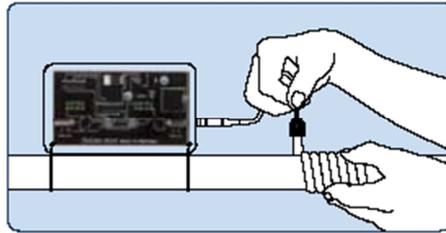


10.3. Instrucciones de montaje

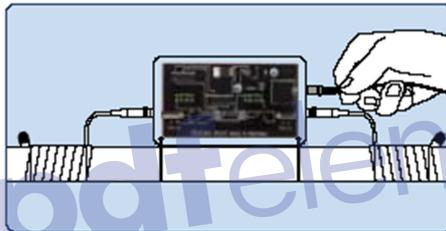
1. Meter dos bridas por los dos agujeros situados en la parte inferior del aparato. Posicionar el aparato encima del tubo y sujetarlo con las bridas.



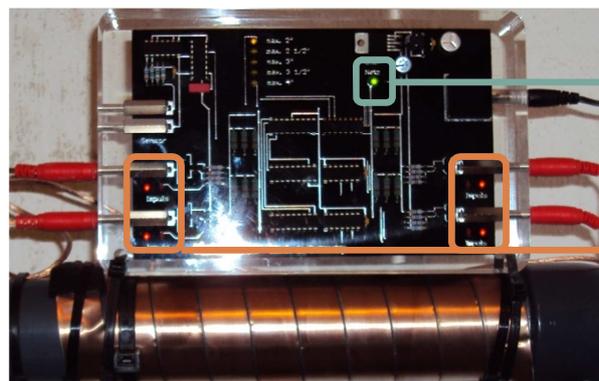
2. Conectar uno de los cables de impulso en el aparato y sujetarlo al tubo mediante una brida.
3. Enrollar el cable de impulso por el tubo hasta que se forme una bobina. Comprobar que la bobina esté firme y próxima una espira de otra. Tener la precaución de no tensar demasiado los cables para no romperlos.



4. Asegurar el extremo del cable de impulso con una brida.
5. Proceder con el segundo cable de la misma forma (pasos 2, 3 y 4).
6. Conectar un extremo del cable del transformador en su alojamiento del aparato, en la parte superior derecha, y el otro extremo del transformador en un enchufe de la red eléctrica.



7. Aparecerá un led de color verde, junto al gravado Netz, que debe estar encendido, señal de que el equipo está alimentado. Junto a cada cable de impulsos aparecen dos led's, que deben encenderse intermitente y alternativamente, de color rojo, señal de que el equipo está emitiendo los impulsos correspondientes por cada cable.



LED DE ACTIVO
 Debe estar encendido

LED'S DE IMPULSO
 Deben estar parpadeando de forma alternada

8. Si alguno de los led's no funciona tal y como se ha descrito, entonces existe un problema. Hay que desconectar la alimentación durante un minuto, y volver a conectar. Si el problema persiste, consultar con el instalador.