

## Conjunto de tubo exterior cerámico de alta resistencia

para antorchas de ICP-OES Agilent serie 5000



### Reducción del tiempo de inactividad y menos repuestos

Agilent presenta un conjunto de tubo exterior cerámico para antorchas de ICP-OES de la serie 5000 semidesmontables y totalmente desmontables, desarrollado para abordar los desafíos que surgen al analizar muestras con altas concentraciones de sales o alto contenido de sólidos disueltos totales, especialmente muestras de baterías de iones litio con un alto contenido en metales alcalinos o muestras químicamente agresivas que atacan y degradan el tubo exterior de cuarzo.

Diseñado para sustituir directamente el conjunto de tubo exterior de cuarzo convencional, el conjunto de tubo exterior cerámico ofrece una durabilidad y una vida útil significativamente mayores, lo que permite a los laboratorios maximizar el tiempo de actividad, reducir la frecuencia de mantenimiento y disminuir los costes operativos al trabajar con matrices difíciles.

## Función del conjunto de tubo en la antorcha de ICP-OES

La antorcha de ICP-OES consta normalmente de tres tubos de cuarzo concéntricos. El tubo de menor diámetro interno (d.i.) que hay en el centro es el inyector. El conjunto de tubos, que es un componente clave de la antorcha, está formado por un tubo externo y un tubo intermedio alrededor del inyector. Se introduce un flujo relativamente alto de gas argón entre los tubos intermedio y exterior para contener el plasma y enfriar la antorcha. El gas argón se ioniza mediante energía de radiofrecuencia (RF) generada por la bobina de RF que rodea al conjunto de tubo exterior de la antorcha, lo que permite la formación de un plasma estable a alta temperatura (~9725 °C). El aerosol de la muestra generado por el nebulizador se filtra en masa en la cámara de nebulización y se envía al plasma a través del inyector para su atomización y excitación, lo que permite realizar la medición de la emisión óptica. Un flujo de argón más pequeño entre el inyector y el tubo intermedio sostiene y coloca el plasma sobre el inyector, lo que reduce la deposición en la punta del inyector.

## Desafíos clave de los conjuntos de tubos exteriores de cuarzo

En aplicaciones donde las muestras tienen un elevado contenido de sólidos disueltos totales (SDT) o metales alcalinotérreos (Li, Na, K, Ca, Cs, etc.) como, por ejemplo, materiales de baterías de iones litio, fusiones, matrices con un alto contenido en sales y digestiones con ácidos fuertes, los iones elementales generados en el plasma de la antorcha pueden difundirse hacia la superficie del tubo exterior de cuarzo.

Los conjuntos de tubos de cuarzo están formados por cuarzo fundido (o sílice fundida), que es un cristal amorfo producido a partir de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) de alta pureza. Al exponerse a los iones de metales alcalinos a altas temperaturas, el cuarzo reorganiza su estructura molecular y se rompen los enlaces Si-O. La desvitrificación se produce cuando los iones foráneos penetran en el cuarzo y “desbloquean” esa estructura al sustituir o romper los enlaces Si-O, lo que da lugar a una estructura frágil. Tras la desvitrificación, el cuarzo se vuelve de un color blanco u opaco (Figura 1), con multitud de pequeñas grietas en la capa superficial, lo que reduce drásticamente la claridad óptica, la resistencia mecánica y la vida útil. Esta degradación es en gran parte irreversible. La limpieza de la antorcha puede mejorar su aspecto, pero la desvitrificación seguirá produciéndose. Al final, el cuarzo se agrietará o se romperá, por lo que deberá sustituirse la pieza.

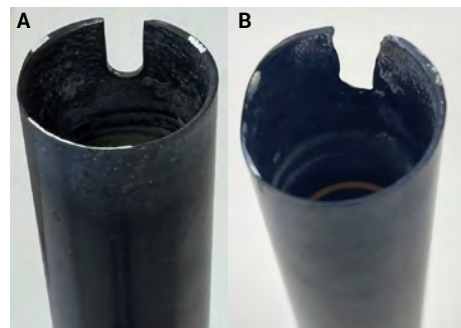


**Figura 1.** Desvitrificación del conjunto de tubo exterior de cuarzo después de 24 horas de análisis de una solución de Li, Na y Cs con un 1,5 % de SDT en  $\text{HNO}_3$  al 5 %.

La desvitrificación es el mecanismo de degradación que limita significativamente la vida útil de un conjunto de tubo exterior de cuarzo. Este es un factor clave que ha impulsado el desarrollo de materiales alternativos para evitar la desvitrificación, la solarización y el agrietamiento por choque térmico en condiciones extremas de trabajo.

## Solución de conjunto de tubo exterior cerámico de Agilent

El conjunto de tubo exterior cerámico de Agilent se ha diseñado para que tolere las condiciones extremas que aceleran la desvitrificación y la degradación del tubo exterior de cuarzo estándar. El resistente tubo exterior cerámico está fabricado con nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), que impide que los iones alcalinos penetren al interior del material. Está disponible en las configuraciones de visión dual (DV) y visión radial (RV), y es apto para su uso con las antorchas de montaje rápido de ICP-OES Agilent serie 5000, tanto para los modelos semidesmontables como para los totalmente desmontables.



**Figura 2.** Tubo exterior cerámico después de más de 900 horas (A) de análisis de una solución de Li, Na y Cs con un 1,5 % de SDT en  $\text{HNO}_3$  al 5 %, y 1792 horas (B).

A diferencia del cuarzo, las propiedades del nitruro de silicio proporcionan una mayor resistencia a la desvitrificación debida al análisis de metales alcalinos (Figura 2), ya que los iones metálicos libres no pueden desestabilizar los enlaces Si-N. El nitruro de silicio también ofrece una mayor tolerancia al choque

térmico cuando se expone a ciclos de plasma a altas temperaturas. También se recomienda para el análisis de muestras que contienen ácido fluorhídrico (HF), que puede corroer y atacar los componentes de cuarzo. Asimismo, debe utilizarse un inyector de alúmina inerte cuando se analicen muestras que contengan HF, ya que el cuarzo no es compatible.

Normalmente, un conjunto de tubo exterior cerámico durará diez veces más que un conjunto de tubo exterior de cuarzo para aplicaciones con muestras que tengan un alto contenido de SDT o muestras de baterías de iones litio.

## Aplicaciones que pueden beneficiarse del uso del conjunto de tubo exterior cerámico

La ventaja clave del conjunto de tubo exterior cerámico (nitruro de silicio) es su mayor vida útil, que reduce el tiempo de inactividad no planificado debido al mantenimiento, así como la necesidad constante de desechar y sustituir los conjuntos de tubos exteriores de cuarzo desgastados. Estas son las áreas típicas de aplicación que pueden beneficiarse de adoptar un sistema de introducción de muestras muy resistente, que incorpora el conjunto de tubo exterior cerámico para mejorar la durabilidad a largo plazo, a la vez que garantiza un funcionamiento estable que genera datos analíticos de alta calidad.

### Batería de iones litio

A medida que la fabricación de baterías de iones litio y de otro tipo se acelera en todo el mundo, la investigación continúa impulsando el desarrollo de tecnologías para baterías más seguras y duraderas. En este sector, el sistema de ICP-OES de Agilent juega un papel clave en la cadena de valor de las baterías.



Figura 3. Tecnología de baterías.

Desde la cualificación de las materias primas y el control de calidad hasta el desarrollo de productos y la investigación de la seguridad, la técnica de ICP-OES se utiliza para analizar materiales clave como, por ejemplo, salmueras, ánodos y cátodos (LCO, NMC, NCA, LFP), electrolitos ( $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiBF}_4$  y  $\text{LiTFSI}$ ), separadores, intermedios de procesos y flujos de reciclaje de “masa negra”.

Estas muestras químicamente agresivas con matriz compleja tienen un elevado contenido en metales alcalinotérreos (Li, Na, K, Rb, Cs), que se ionizan fácilmente y desvitrifican con rapidez los componentes de cuarzo de la antorcha.

La búsqueda de una mayor pureza y un control estricto de la contaminación con elementos en los materiales de las baterías son fundamentales para prevenir reacciones secundarias y la degradación, por lo que es necesario realizar el análisis por ICP en muestras puras y sin diluir, para garantizar los bajos límites de detección necesarios para fabricar baterías más seguras y duraderas.

### Fusiones y digestiones

La digestión por fusión es una técnica de preparación de muestras que implica la disolución de la muestra en un fundente fundido para descomponer materiales refractarios o geológicos que puedan resistir la digestión convencional con ácidos (p. ej., silicatos, óxidos, minerales o materiales cerámicos). La muestra se funde primero con un fundente

a altas temperaturas (normalmente de 900 a 1100 °C), lo que permite fundir y descomponer la estructura cristalina de los minerales. Los fundentes más utilizados son el metaborato de litio ( $\text{LiBO}_2$ ), el tetraborato de litio ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) o el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La perla homogénea resultante se disuelve en ácido antes del análisis. El fundente utilizado para la preparación introduce sales adicionales en la digestión final, lo que aumenta el contenido en sólidos disueltos y el potencial de interferencias durante el análisis.

### Muestras con un alto contenido en sólidos disueltos totales (SDT)

Muestras que contienen hasta un 30 % de SDT, por ejemplo, el agua de mar o las salmueras; muestras digeridas con ácidos fuertes (incluidos el ácido fluorhídrico o las muestras digeridas con 4 ácidos, que combinan ácido clorhídrico (HCl), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), ácido fluorhídrico (HF) y ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ )); aguas residuales; o alimentos y bebidas con un alto contenido en sal o azúcar.

### Análisis medioambientales

Para el análisis de muestras medioambientales, a menudo se introduce un tampón de ionización, normalmente de hasta un 2 % de cesio (Cs), con los patrones y las muestras para suprimir la interferencia de la ionización por parte de los metales alcalinos (Na, K, Ca, Rb), que se ionizan fácilmente, lo que cambia el equilibrio de ionización del plasma. El cesio (Cs) tiene un potencial de ionización muy bajo y se utiliza para inundar el plasma con electrones para estabilizar su entorno.

### Disolventes orgánicos

Cuando se analizan los disolventes orgánicos volátiles y semivolátiles, los conjuntos de tubos exteriores de cuarzo convencionales pueden sufrir los efectos de la solarización provocada por la intensa radiación ultravioleta

(UV) profunda generada por la alta temperatura del plasma. Las impurezas del cuarzo como, por ejemplo, los metales, absorben la energía UV, lo que desencadena la desvitrificación localizada. Estos efectos debilitan la superficie del cuarzo, lo que provoca un agrietamiento en forma de telaraña (Figura 4) cuando la antorcha se calienta y se enfría. Esto reduce su vida útil.

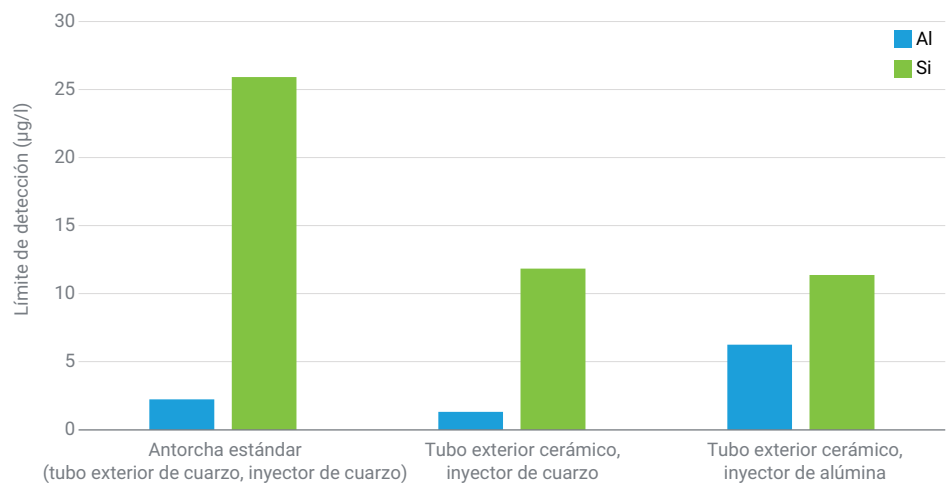


**Figura 4.** Agrietamiento en forma de telaraña en un recipiente de cuarzo.

Aunque Agilent ofrece un conjunto de tubo exterior de cuarzo de alta pureza especialmente diseñado para el análisis de disolventes orgánicos que combate el agrietamiento en forma de telaraña, el conjunto de tubo exterior cerámico ofrece una resistencia superior a la solarización y una mayor vida útil.

#### Determinación de trazas de silicio

Al determinar trazas de silicio (Si), el límite de detección se ve restringido por la lixiviación del silicio proveniente del sistema de introducción de muestras. El uso de un sistema de introducción de muestras inerte puede ayudar, pero sigue habiendo problemas con la lixiviación de Si proveniente de los componentes de la antorcha. Cambiar al conjunto de tubo



**Figura 5.** Comparación de límites de detección: cuarzo frente a cerámica.



**Figura 6.** Tubo exterior cerámico (A) y tubo interior de cuarzo (B) del conjunto de tubos de Agilent.

exterior cerámico (fabricado con nitruro de silicio) puede reducir la lixiviación de Si de la antorcha, lo que mejora el límite de detección (Figura 5).

Esta varianza puede ser mayor cuando se analizan matrices de muestra más complejas.

El inyector de alúmina inerte está fabricado con óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) y proporciona un mejor límite de detección para el aluminio (Al) en comparación con un inyector de cuarzo.

### Diseño del conjunto de tubo exterior cerámico de Agilent

El conjunto de tubo exterior cerámico de Agilent se ha diseñado con una estructura desmontable formada por un tubo exterior cerámico (nitruro de silicio) y un tubo intermedio de cuarzo (Figura 6).

Este diseño desmontable permite retirar el tubo exterior cerámico y limpiarlo separado del tubo intermedio. Esto es especialmente útil en el análisis de matrices orgánicas, donde puede producirse una acumulación de depósitos

de carbono en el tubo exterior debido a la cantidad excesiva de carbono en la muestra. El tubo exterior cerámico puede retirarse de manera individual y colocarse en un horno de mufla para quemar cualquier acumulación de carbono.

El desmontaje y montaje del conjunto de tubo exterior cerámico es muy sencillo. Escanee o haga clic en el código QR para ver un vídeo donde se ilustra el proceso, o consulte la guía de usuario de la antorcha de montaje rápido de ICP-OES (número de publicación **5994-8863ES**).

## Inyectores para la antorcha: factores que hay que tener en cuenta

Agilent ofrece una selección de inyectores de cuarzo o inyectores inertes de alúmina para su uso con la antorcha totalmente desmontable para el sistema de ICP-OES de la serie 5000 (también hay disponibles antorchas de una sola pieza y semidesmontables con distintos inyectores). Los inyectores están disponibles con cuatro diámetros internos: 0,8, 1,4, 1,8 y 2,4 mm. El inyector de cuarzo es el más económico, mientras que el inyector de alúmina ofrece una mayor vida útil y es más fácil de limpiar con la mayoría de matrices.

Cuando se utiliza un inyector de cuarzo con muestras de matriz compleja o de ácidos fuertes, la punta del inyector también puede presentar

desvitrificación debido a la exposición a la matriz. El cuarzo pierde su acabado pulido, lo que hace que las sales de las muestras de matriz compleja se adhieran a la superficie. Con el uso continuado y la limpieza constante, la acumulación se produce a un ritmo cada vez mayor, lo que se traduce en menores tiempos de funcionamiento antes de que sea necesaria la limpieza. Una mayor frecuencia de mantenimiento implica un mayor tiempo de inactividad. En el peor de los casos, habrá que reemplazar el inyector.

El inyector de alúmina inerte proporciona una excelente resistencia a la desvitrificación y la corrosión cuando se usa con muestras de matriz compleja. El inyector de alúmina inerte se recomienda para analizar matrices con un alto contenido en metales alcalinos, incluidos los materiales de las baterías de litio o las muestras digeridas con HF.

**Obtenga más información sobre la gama de inyectores.**

## Resumen

El conjunto de tubo exterior cerámico de Agilent para antorchas de montaje rápido de ICP-OES Agilent de la serie 5000 se ha desarrollado para abordar las limitaciones de los materiales fundamentales de los conjuntos de tubo exterior de cuarzo convencionales cuando se utilizan en condiciones químicamente agresivas y con matrices complejas.

Los conjuntos de tubo exterior de cuarzo son propensos a la desvitrificación, la solarización y el agrietamiento por choque térmico cuando se exponen a estas muestras de matriz compleja, lo que provoca una pérdida de integridad mecánica y fallos prematuros.

El resultado es la reducción de la vida útil de la antorcha, el aumento de la frecuencia de mantenimiento y tiempos de inactividad imprevistos de los instrumentos.

El conjunto de tubo exterior cerámico proporciona una excelente resistencia a la desvitrificación debida al ataque de metales alcalinos y el choque térmico, así como la solarización inducida por radiación UV profunda. En aplicaciones con muestras que tienen un alto contenido en sólidos disueltos totales (SDT), matrices con un alto contenido en metales alcalinos (por ejemplo, las muestras de batería de iones litio), muestras digeridas con ácidos fuertes o disolventes orgánicos, el conjunto de tubo exterior cerámico proporciona una vida útil hasta 10 mayor, junto con una mejora de la señal de fondo del silicio.

Compatible con las configuraciones de visión dual y visión radial, el conjunto de tubo exterior cerámico proporciona una solución robusta y de bajo mantenimiento que mejora el tiempo de actividad, la fiabilidad analítica y el coste total de propiedad para las exigentes aplicaciones de ICP-OES.

Obtenga más información sobre la antorcha completamente desmontable en el folleto de Agilent **5994-1572ES**.

También puede visitar las páginas de productos:

- **Antorchas para ICP-OES 5100/5110 y 5800/5900, o**
- **Tubo exterior para las antorchas de ICP-OES**

Si desea asesoramiento adicional, junto con consejos y trucos que le ayuden a alcanzar los mejores resultados, consulte el **Centro de recursos para sistemas de ICP-OES**.

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)

DE-013382

Esta información está sujeta a cambios sin previo aviso.

© Agilent Technologies, Inc. 2026  
Impreso en EE. UU., 19 de marzo de 2026  
5994-8992ES