

¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

El árbol genealógico completo de los productos químicos de tungsteno

**CTIA GRUPO LTD**

Líder mundial en fabricación inteligente para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una subsidiaria de propiedad absoluta con personalidad jurídica independiente establecida por CHINATUNGSTEN ONLINE, se dedica a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet industrial. CHINATUNGSTEN ONLINE, fundada en 1997 con [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) como punto de partida, el primer sitio web de productos de tungsteno de primer nivel de China, es la empresa de comercio electrónico pionera del país que se centra en las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos de tungsteno y molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación de su empresa matriz, servicios superiores y reputación comercial global, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicaciones en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha establecido más de 200 sitios web profesionales multilingües de tungsteno y molibdeno que cubren más de 20 idiomas, con más de un millón de páginas de noticias, precios y análisis de mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Desde 2013, su cuenta oficial de WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" ha publicado más de 40.000 piezas de información, sirviendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita diariamente a cientos de miles de profesionales de la industria en todo el mundo. Con visitas acumuladas a su grupo de sitios web y cuenta oficial que alcanzan miles de millones de veces, se ha convertido en un centro de información global y autorizado reconocido para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras, que brinda noticias multilingües las 24 horas del día, los 7 días de la semana, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado.

Sobre la base de la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando la tecnología de IA, diseña y produce de forma colaborativa productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como el tamaño de partícula, la densidad, la dureza, la resistencia, las dimensiones y las tolerancias) con los clientes. Ofrece servicios integrados de proceso completo que van desde la apertura de moldes, la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de investigación y desarrollo, diseño y producción para más de 500,000 tipos de productos de tungsteno y molibdeno a más de 130,000 clientes en todo el mundo, sentando las bases para una fabricación personalizada, flexible e inteligente. Basándose en esta base, CTIA GROUP profundiza aún más la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet industrial.

El Dr. Hanns y su equipo en CTIA GROUP, basándose en sus más de 30 años de experiencia en la industria, también han escrito y publicado análisis de conocimientos, tecnología, precios del tungsteno y tendencias del mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, compartiéndolos libremente con la industria del tungsteno. El Dr. Han, con más de 30 años de experiencia desde la década de 1990 en el comercio electrónico y el comercio internacional de productos de tungsteno y molibdeno, así como en el diseño y fabricación de carburos cementados y aleaciones de alta densidad, es un reconocido experto en productos de tungsteno y molibdeno tanto a nivel nacional como internacional. Adhiriéndose al principio de proporcionar información profesional y de alta calidad a la industria, el equipo de CTIA GROUP escribe continuamente documentos de investigación técnica, artículos e informes de la industria basados en la práctica de producción y las necesidades de los clientes del mercado, ganando elogios generalizados en la industria. Estos logros brindan un sólido apoyo a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder mundial en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y servicios de información.



### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## Contenido

### Capítulo 1

#### Descripción general del tungsteno

##### 1.1 Descubrimiento e historia del tungsteno

###### 1.1.1 Breve historia del descubrimiento

1.1.1.1 Descubrimiento inicial del químico sueco Cronstedt (1755, literatura sueca)

1.1.1.2 Aislamiento de Scheele del ácido tungstico (1781, literatura alemana)

1.1.1.3 Purificación del metal tungsteno de los hermanos Elhuyar (1783, literatura española)

###### 1.1.2 Nomenclatura y designaciones multilingües del tungsteno

1.1.3 Primeras aplicaciones industriales (siglo XIX, literatura inglesa y francesa)

##### 1.2 Ocurrencia natural del tungsteno

###### 1.2.1 Tipos y distribución de los minerales de tungsteno a nivel mundial

1.2.1.1 Wolframita

1.2.1.2 Scheelita

1.2.1.3 Otros minerales menores de wolframio (por ejemplo, hübnerita)

###### 1.2.2 Principales países productores y reservas

1.2.2.1 China (aproximadamente el 60% de las reservas mundiales)

1.2.2.2 Rusia, Vietnam, Canadá, Australia y otros

###### 1.2.3 Principales regiones mineras de tungsteno

Lejano Oriente ruso Otras regiones

##### 1.3 Propiedades físicas y químicas del tungsteno

1.3.1 Propiedades físicas (punto de fusión 3410 °C, densidad 19,25 g/cm<sup>3</sup>)

1.3.2 Propiedades químicas (estados de oxidación +2 a +6, resistencia a la corrosión)

1.3.3 Descripciones de propiedades en literatura multilingüe (ruso, japonés, árabe, etc.)

##### 1.4 Valor industrial y científico de los productos químicos de tungsteno

###### 1.4.1 Panorama de la demanda industrial mundial

###### 1.4.2 Importancia científica

Fuentes de información

Referencias

### Capítulo 2

#### Clasificación básica y características de los productos químicos de tungsteno

##### 2.1 Clasificación de los productos químicos de tungsteno

###### 2.1.1 Óxidos de tungsteno

[Trióxido de tungsteno \(WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno\)](#)

Dióxido de tungsteno (WO<sub>2</sub>, Dióxido de tungsteno)

Ditungsten pentoxide (W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ditungsten Pentoxide)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Óxido azul de tungsteno \( \$W\_{18}O\_{49}\$  o  \$W\_{20}O\_{58}\$ , óxido azul de tungsteno\)](#)

### 2.1.2 Ácido tungstico y tungstatos

[El ácido tungstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido tungstónico\)](#) y sus sales, conocidas como tungstatos, son ácido tungstico crítico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico)

[Tungstato de sodio \( \$Na\_2WO\_4\$ , tungstato de sodio\)](#)

[Paratungstato de amonio \(APT,  \$\(NH\_4\)\_2WO\_4\$ , Paratungstato de amonio\)](#)

[Metatungstato de amonio \( \$\(NH\_4\)\_6H\_2W\_{12}O\_{40}\$ , Metatungstato de amonio\)](#)

[Tungstato de calcio \( \$CaWO\_4\$ , tungstato de calcio\)](#)

### 2.1.3 Halogenuros de tungsteno

[Hexacloruro de tungsteno \( \$WCl\_6\$ , Hexacloruro de tungsteno\)](#)

[Hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#)

### 2.1.4 Carburos y nitruros

[Polvo de carburo de tungsteno \(WC, polvo de carburo de tungsteno\)](#)

Carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno)

Nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno)

### 2.1.5 Sulfuros y fosfuros

[Disulfuro de tungsteno \( \$WS\_2\$ , disulfuro de tungsteno\)](#)

Fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno)

### 2.1.6 Compuestos organotungstenos

[Hexacarbonilo de tungsteno \( \$W\(CO\)\_6\$ , Hexacarbonilo de tungsteno\)](#)

### 2.1.7 Catalizadores y reactivos que contienen wolframio

Ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , Ácido fosfotúngstico)

### 2.1.8 Productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

Nanopartículas de tungstato de sodio

(Nanopartículas de  $Na_2WO_4$ , Nanopartículas de tungstato de sodio)

### 2.1.9 Otros compuestos no metálicos que contengan wolframio

Diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , Diseleniuro de tungsteno)

## 2.2 Características básicas de los productos químicos de tungsteno

### 2.2.1 Estructura cristalina y composición molecular

### 2.2.2 Estabilidad térmica y química

### 2.2.3 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 3

### Preparación y aplicaciones de óxidos de tungsteno

### 3.1 Trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno)

#### 3.1.1 Procesos de preparación

Método de calcinación (descomposición oxidativa a alta temperatura) Método de precipitación química húmeda (extracción por acidificación) Técnica de deposición química de vapor (CVD)

#### 3.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

#### 3.1.3 Estabilidad térmica y química

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 3.2 Dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno)

### 3.2.1 Procesos de preparación

Método de reducción de hidrógeno Método de descomposición térmica

### 3.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 3.2.3 Estabilidad térmica y química

### 3.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 3.3 Otros óxidos de tungsteno

### 3.3.1 Procesos de preparación

Método de oxidación para el pentóxido de ditungsteno

( $W_2O_5$ , pentóxido de ditungsteno) Reducción a alta temperatura para la variante de óxido azul de tungsteno

( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno)

### 3.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 3.3.3 Estabilidad térmica y química

### 3.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 4

### Preparación y aplicaciones de ácido tungstico y tungstatos

## 4.1 Ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico)

### 4.1.1 Procesos de preparación

Método de precipitación ácida (lixiviación de minerales) Método de acidólisis de tungstato (conversión en solución) Método de intercambio iónico (preparación de alta pureza)

### 4.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 4.1.3 Estabilidad térmica y química

### 4.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 4.2 Tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio)

### 4.2.1 Procesos de preparación

Método de fusión alcalina (extracción de mineral) Método de neutralización de ácido tungstico (preparación de laboratorio)

### 4.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 4.2.3 Estabilidad térmica y química

### 4.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 4.3 Otros tungstatos

### 4.3.1 Procesos de preparación

Intercambio iónico y cristalización para paratungstato de amonio

(APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , Paratungstato de amonio) Reacción de fusión para tungstato de calcio

( $CaWO_4$ , tungstato de calcio) Polimerización por acidificación para metatungstato de amonio

( $(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$ , Metatungstato de amonio)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

#### 4.3.3 Estabilidad térmica y química

#### 4.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información Referencias

## Capítulo 5

### Preparación y aplicaciones de haluros de tungsteno

#### 5.1 Hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno)

##### 5.1.1 Procesos de preparación Método de cloración directa (cloración de metales de tungsteno)

Método de reducción de cloro (cloración de óxidos) Método de reacción en fase gaseosa (preparación de alta pureza)

##### 5.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### 5.1.3 Estabilidad térmica y química

##### 5.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

#### 5.2 Hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno)

##### 5.2.1 Procesos de preparación

Método de fluoración directa (reacción de tungsteno y flúor) Método de fluoración con óxido (fluoración con trióxido de tungsteno)

##### 5.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### 5.2.3 Estabilidad térmica y química

##### 5.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

#### 5.3 Otros haluros de tungsteno

##### 5.3.1 Procesos de preparación

Método de cloración de reducción para tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) Método de cloración controlada para pentacloruro de tungsteno

( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno)

##### 5.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### 5.3.3 Estabilidad térmica y química

##### 5.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 6

### Preparación y aplicaciones de carburos y nitruros de tungsteno

#### 6.1 Carburo de tungsteno ( $WC$ , carburo de tungsteno)

##### 6.1.1 Procesos de preparación

Método de carbonización a alta temperatura (carbonización de polvo de tungsteno) Método de carbonización en fase gaseosa (reacción química de vapor) Método de síntesis de plasma (preparación de partículas ultrafinas)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 6.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 6.1.3 Estabilidad térmica y química

### 6.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 6.2 Nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno)

### 6.2.1 Procesos de preparación

Método de nitruración a alta temperatura (nitruración de polvo de tungsteno) Método de deposición en fase gaseosa (CVD o PVD)

### 6.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 6.2.3 Estabilidad térmica y química

### 6.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 6.3 Otros carburos y nitruros de wolframio

### 6.3.1 Procesos de preparación

Método de carbonización controlada para carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno) Método de codifusión de carbono-nitrógeno para carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno)

### 6.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 6.3.3 Estabilidad térmica y química

### 6.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 7

### Preparación y aplicaciones de sulfuros y fosfuros de tungsteno

## 7.1 Disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno)

### 7.1.1 Procesos de preparación

Método de sulfuración a alta temperatura (sulfuración de polvo de tungsteno) Método de deposición química de vapor (CVD) Método de exfoliación mecánica (Preparación de nanohojas)

### 7.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 7.1.3 Estabilidad térmica y química

### 7.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 7.2 Fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno)

### 7.2.1 Procesos de preparación

Método de fosfidación a alta temperatura (fosfidación de polvo de tungsteno) Método de reducción química (fosfidación de óxido)

### 7.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 7.2.3 Estabilidad térmica y química

### 7.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 7.3 Los demás sulfuros y fosfuros de wolframio

### 7.3.1 Procesos de preparación

Método de sulfuración controlada para trisulfuro de ditungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(W<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Trisulfuro de ditungsteno) Método de fosfhidación a alta temperatura para difosfuro de tungsteno

(WP<sub>2</sub>, difosfuro de tungsteno)

### 7.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 7.3.3 Estabilidad térmica y química

### 7.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 8

### Preparación y aplicaciones de compuestos organometálicos de tungsteno

#### 8.1 Hexacarbonilo de tungsteno (W(CO)<sub>6</sub>, hexacarbonilo de tungsteno)

##### 8.1.1 Procesos de preparación

Método de carbonilación a alta presión (carbonilación de polvo de tungsteno) Método de carbonilación reductora (reducción de haluros) Método de síntesis en fase gaseosa (preparación de alta pureza)

##### 8.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### 8.1.3 Estabilidad térmica y química

##### 8.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

#### 8.2 Dicloruro de tungstenoceno (Cp<sub>2</sub>WCl<sub>2</sub>, dicloruro de tungstenoceno)

##### 8.2.1 Procesos de preparación

Método de coordinación de haluros (reacción de hexacloruro de tungsteno) Método de coordinación reductor (sustrato de trióxido de tungsteno)

##### 8.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### 8.2.3 Estabilidad térmica y química

##### 8.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

#### 8.3 Otros compuestos organometálicos de wolframio

##### 8.3.1 Procesos de preparación

Método de coordinación de carbonilo para el tetracarbonilo de tungstenoceno (CpW(CO)<sub>4</sub>, tetracarbonilo de tungstenoceno) Método de alquilación para hexametiltungsteno

(W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexametiltungsteno)

##### 8.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### 8.3.3 Estabilidad térmica y química

##### 8.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 9

### Preparación y aplicaciones de catalizadores y reactivos que contienen tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 9.1 Ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico)

### 9.1.1 Procesos de preparación

Método de precipitación ácida (reacción de tungstato) Método de purificación de extracción (extracción en solución) Método de intercambio iónico (preparación de alta pureza)

### 9.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 9.1.3 Estabilidad térmica y química

### 9.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 9.2 Ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico)

### 9.2.1 Procesos de preparación

Método de reacción ácida (reacción de silicato de sodio y tungstato) Método de extracción (purificación en solución)

### 9.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 9.2.3 Estabilidad térmica y química

### 9.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 9.3 Otros catalizadores y reactivos que contienen wolframio

### 9.3.1 Procesos de preparación

Método de reacción en fase sólida para tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) Método de neutralización para tungstato de amonio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio)

### 9.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 9.3.3 Estabilidad térmica y química

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 10

### Preparación y aplicaciones de productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

## 10.1 Nanopartículas de tungstato de sodio

(Nanopartículas de  $Na_2WO_4$ , Nanopartículas de tungstato de sodio)

### 10.1.1 Procesos de preparación

Método de precipitación en solución (precipitación de tungstato de sodio) Método de microemulsión (control del tamaño de partícula) Método solvotérmico (preparación de alta pureza)

### 10.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 10.1.3 Estabilidad térmica y química

### 10.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 10.2 Nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstado)

### 10.2.1 Procesos de preparación

Método de polimerización en solución (polimerización de tungstato)

Método de nanoemulsión (control del tamaño de partícula)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 10.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 10.2.3 Estabilidad térmica y química

### 10.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 10.3 Otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

### 10.3.1 Procesos de preparación

Método de precipitación para nanopartículas de tungstato de calcio

(Nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de calcio)

Nanopartículas de trióxido de tungsteno

### 10.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

Nanopartículas de tungstato de calcio

### 10.3.3 Estabilidad térmica y química

Nanopartículas de tungstato de calcio

### 10.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Nanopartículas de tungstato de calcio

Fuentes de información

Referencias

## Capítulo 11

### Preparación y aplicaciones de

### Otros compuestos no metálicos que contienen tungsteno

## 11.1 Diseleniuro de tungsteno ( $\text{WSe}_2$ , Diseleniuro de tungsteno)

### 11.1.1 Procesos de preparación

Método de selenización a alta temperatura (selenización en polvo de tungsteno)

Método de deposición química de vapor (CVD)

Método de exfoliación mecánica (preparación monocapa)

### 11.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 11.1.3 Estabilidad térmica y química

### 11.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 11.2 Fitlururo de tungsteno ( $\text{WTe}_2$ , Ftellururo de tungsteno)

### 11.2.1 Procesos de preparación

Método de telurización a alta temperatura (tellurización de polvo de tungsteno) Método de deposición química de vapor (CVD)

### 11.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 11.2.3 Estabilidad térmica y química

### 11.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

## 11.3 Otros compuestos no metálicos que contengan tungsteno

### 11.3.1 Procesos de preparación

Método de yodación para el diyoduro de tungsteno

( $\text{WI}_2$ , Diyoduro de tungsteno) Método de bromación para el dibromuro de tungsteno

( $\text{WBr}_2$ , dibromuro de tungsteno)

### 11.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

### 11.3.3 Estabilidad térmica y química

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 11.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Fuentes de información

Referencias

### Capítulo 12

#### Impacto ambiental y reciclaje de productos químicos de tungsteno

##### 12.1 Descripción general del impacto ambiental de los productos químicos de tungsteno

###### 12.1.1 Impacto ambiental de la minería y la producción

###### 12.1.2 Impacto ambiental del uso y la eliminación

###### 12.1.3 Normativa y Gestión Ambiental

##### 12.2 Tecnologías de reciclaje de productos químicos de tungsteno

###### 12.2.1 Tecnología de reciclaje hidrometalúrgico

###### 12.2.2 Tecnología de reciclaje pirometalúrgico

###### 12.2.3 Tecnología de reciclaje electroquímico

##### 12.3 Aplicaciones de productos químicos de tungsteno reciclado

###### 12.3.1 Reutilización industrial

###### 12.3.2 Investigación científica y campos emergentes

###### 12.3.3 Beneficios medioambientales

Referencias

### Capítulo 13

#### Adenda

#### Omisiones y expansiones integrales de los productos químicos de tungsteno

##### 13.1 Descripción completa de los productos químicos de tungsteno omitidos

###### 13.1.1 Identificación y antecedentes de los compuestos omitidos

###### 13.1.2 Metodología para la inferencia y validación de compuestos

##### 13.2 Disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno)

###### 13.2.1 Procesos de preparación

Método de siliciación a alta temperatura  
Método de deposición química de vapor (CVD)

###### 13.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

###### 13.2.3 Estabilidad térmica y química

###### 13.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

###### 13.2.5 Aplicaciones y antecedentes

##### 13.3 Borido de tungsteno (WB, Boruro de tungsteno)

###### 13.3.1 Procesos de preparación

Método de borido a alta temperatura  
Método de síntesis de plasma

###### 13.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

###### 13.3.3 Estabilidad térmica y química

###### 13.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

###### 13.3.5 Aplicaciones y antecedentes

##### 13.4 Otros compuestos omitidos e inferidos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 13.4.1 Dicianuro de tungsteno ( $W(CN)_2$ , dicianuro de tungsteno)
  - 13.4.2 Digermanida de tungsteno ( $WGe_2$ , Digermanida de tungsteno)
  - 13.4.3 Diarseniuro de tungsteno ( $WAs_2$ , diarseniuro de tungsteno)
  - 13.4.4 Molibdato de tungsteno ( $WMoO_4$ , Molibdato de tungsteno)
  - 13.4.5 Validación y verificación
- Fuentes de información
- Referencias

## Apéndice

### Lista de productos químicos y compuestos de tungsteno que aparecen en el libro

1. Óxidos de tungsteno
2. Ácidos tungsticos y tungstatos
3. Halogenuros de tungsteno
4. Carburos y nitruros
5. Sulfuros y fosfuros de tungsteno
6. Selenideros y telururos de tungsteno
7. Siliciuros y germanidos de tungsteno
8. Boruros y arseniuros de tungsteno
9. Compuestos organometálicos de tungsteno
10. Catalizadores y reactivos de tungsteno que contienen tungsteno
11. Productos químicos farmacéuticos de tungsteno que contienen tungsteno

## Capítulo 14

### Seguridad en la producción y el uso del tungsteno

- 14.1 Normas de seguridad en la producción de productos químicos de tungsteno
  - 14.1.1 Evaluación de riesgos en el proceso de producción
    - 14.1.1.1 Riesgos de las operaciones a alta temperatura y alta presiónMedidas de mitigación
    - 14.1.1.2 Control de las emisiones de gases tóxicosMedidas de mitigación
  - 14.1.2 Equipo de seguridad y medidas de protección
    - 14.1.2.1 Instalaciones de ventilación y a prueba de explosionesRecomendaciones de implementación
    - 14.1.2.2 Precauciones del equipo de protección personal (EPP)
  - 14.1.3 Normas y reglamentos internacionales de seguridad
    - 14.1.3.1 Normas OSHA y ECHA  
Consejos de cumplimiento
    - 14.1.3.2 Normas de producción de seguridad chinas  
Consejos de implementación  
Propina
- 14.2 Gestión de la seguridad en el uso de productos químicos de tungsteno
  - 14.2.1 Directrices de seguridad para uso industrial

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 14.2.1.1 Requisitos de almacenamiento y transporte

Procedimiento

#### 14.2.1.2 Gestión de residuos y respuesta a derrames

Protocolo de emergencia

#### 14.2.2 Precauciones de seguridad en el uso en laboratorio

##### 14.2.2.1 Manipulación de reactivos y gestión de residuos

Consejos de seguridad

#### 14.2.3 Seguridad biológica en aplicaciones médicas

##### 14.2.3.1 Evaluación de la toxicidad de los medicamentos tungstato

Procedimientos de seguridad

Propina

#### 14.3 Muestras típicas de MSDS para productos químicos clave de tungsteno

##### 14.3.1 MSDS de trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno)

###### 14.3.1.1 Identificación y composición química

###### 14.3.1.2 Descripción general de peligros

###### 14.3.1.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento

###### 14.3.1.4 Medidas de emergencia

##### 14.3.2 MSDS de carburo de tungsteno

###### 14.3.2.1 Identificación y composición química

###### 14.3.2.2 Descripción general de peligros

###### 14.3.2.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento

###### 14.3.2.4 Medidas de emergencia

##### 14.3.3 Tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) MSDS

###### 14.3.3.1 Identificación y composición química

###### 14.3.3.2 Descripción general de peligros

###### 14.3.3.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento

###### 14.3.3.4 Medidas de emergencia

##### 14.3.4 Hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) MSDS

###### 14.3.4.1 Identificación y composición química

###### 14.3.4.2 Descripción general de peligros

###### 14.3.4.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento

###### 14.3.4.4 Medidas de emergencia

##### 14.3.5 Muestras MSDS para otros productos químicos clave de tungsteno (por ejemplo, APT, $WS_2$ )

Consejo de referencia

#### 14.4 Desarrollos futuros en la tecnología de seguridad química de tungsteno

##### 14.4.1 Aplicaciones de IA en la producción de seguridad

##### 14.4.2 Tendencias en tecnología de seguridad verde

Perspectiva

Fuentes de información

Referencias

## Manual de Seguridad Química OSHA, Washington, D.C.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Última edición

**1. Introducción y finalidad**

Objetivo

Alcance

Base jurídica

**2. Definición e identificación de productos químicos peligrosos**

Definición

Identificación

Ejemplo

**3. Evaluación de riesgos y medidas de control**

Riesgos de alta temperatura y alta presión

Mandos

Emisiones de gases tóxicos

Mandos

Métodos de evaluación

**4. Etiquetado y hojas de datos de seguridad (SDS)**

Requisitos de etiquetado:

SDS Forma

Ejemplo

**5. Capacitación y educación de los empleados**

Contenido

Frecuencia

Ejemplo

**6. Respuesta a emergencias y gestión de incidentes**

Respuesta del juego:

Primeros auxilios:

Informes

**7. Cumplimiento e inspecciones**

Requisitos

Penas

Ejemplo

Ejemplos específicos de tungsteno

Trióxido de tungsteno ( $WO_3$ )

Hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ )

**Tungsten Chemical MSDS (Multilingüe) ECHA, Helsinki**

Última edición

1. Identificación de la sustancia/mezcla y de la empresa/empresa

2. Identificación de peligros

3. Composición/información sobre los ingredientes

4. Medidas de primeros auxilios

5. Medidas de extinción de incendios

6. Medidas de liberación accidental

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Manipulación y almacenamiento
8. Controles de exposición/Protección personal
9. Propiedades físicas y químicas
10. Estabilidad y reactividad
11. Información toxicológica
12. Información ecológica
13. Consideraciones sobre la eliminación
14. Información de transporte
15. Información reglamentaria
16. Otra información

### **Ejemplos adicionales de MSDS de productos químicos de tungsteno (Abreviado)**

- Carburo de tungsteno (WC)
- Tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ )
- Hexafluoruro de tungsteno ( $\text{WF}_6$ )

## **Capítulo 15 Políticas de control y fiscalidad de la industria del tungsteno En todo el mundo, con un enfoque en China, Incluyendo Europa, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur**

### **15.1 Descripción general de las políticas de la industria del tungsteno**

#### **15.1.1 Importancia estratégica global de la industria del tungsteno**

#### **15.1.2 Objetivos de política y principales diferencias entre países**

China

Estados Unidos

Unión Europea

Japón y Corea del Sur

### **15.2 Políticas de exploración y minería**

#### **15.2.1 Políticas de exploración y minería de China**

Políticas de Exploración

Políticas Mineras

Aplicación de la normativa y estudio de caso

Requisitos medioambientales

#### **15.2.2 Políticas de exploración y minería en Europa y Estados Unidos**

Estados Unidos

Unión Europea:

#### **15.2.3 Políticas de exploración y minería en Japón y Corea del Sur**

Japón

Corea del Sur

### **15.3 Políticas de fundición y procesamiento de producción**

#### **15.3.1 Políticas de fundición y procesamiento de producción de China**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### 15.3.2 Políticas de fundición y procesamiento de producción en Europa y Estados Unidos

Estados Unidos

Unión Europea

### 15.3.3 Políticas de fundición y procesamiento de producción en Japón y Corea del Sur

Japón

Corea del Sur

### 15.4 Políticas y controles de importación y exportación

#### 15.4.1 Políticas de importación y exportación de China

Políticas de control de exportaciones

Medidas específicas

Normativa sobre artículos de doble uso

Políticas de importación

Políticas Arancelarias

Detalles adicionales

#### 15.4.2 Políticas de importación y exportación en Europa y Estados Unidos

Estados Unidos

Unión Europea

#### 15.4.3 Políticas de importación y exportación en Japón y Corea del Sur

Japón

Corea del Sur

### 15.5 Políticas fiscales

#### 15.5.1 Políticas fiscales de China

#### 15.5.2 Políticas fiscales en Europa y Estados Unidos

Estados Unidos

Unión Europea

#### 15.5.3 Políticas fiscales en Japón y Corea del Sur

Japón

Corea del Sur

Fuentes de información

### Referencias

#### Lista de productos de tungsteno sujetos a controles de exportación en virtud de la

*Lista de control de exportaciones de artículos y tecnologías de doble uso de la República*

*Popular China*

#### Lista de control de exportación de productos de tungsteno

*Medidas Administrativas para las Licencias de Exportación de Productos y Tecnologías de Doble Uso SA*

#### Apéndice: Principales normas industriales para los productos químicos de tungsteno

#### Principales estándares industriales para productos químicos y compuestos de tungsteno en EE. UU.

1. ASTM D7047-15 (Método de prueba estándar para el análisis de tungstatos)
2. ASTM E236-66 (2017) (Especificación estándar para el análisis químico de tungsteno)
3. Límites de exposición ocupacional de OSHA PEL (29 CFR 1910.1000)

#### Principales normas industriales para productos químicos y compuestos de wolframio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### en la UE

1. EN 10204:2004 Productos metálicos - Tipos de documentos de inspección
2. Anexo XVII de REACH (CE 1907/2006) Registro y restricción de wolframio

### Principales normas industriales para productos químicos y compuestos de tungsteno en Japón

1. JIS H 1404:2001 (Métodos para el análisis químico del tungsteno)
2. JIS K 8962:2008 (tungstato de sodio)

### Principales estándares industriales para productos químicos y compuestos de tungsteno en Corea del Sur

1. KS M 6891:2018 (óxidos de tungsteno)
2. KS M 6893:2018 (tungstados)

### Principales normas industriales internacionales para productos químicos y compuestos de tungsteno

1. ISO 11876:2010 Determinación del contenido de oxígeno en polvo de tungsteno
2. ISO 6892-1:2016 Materiales Metálicos - Análisis Químico

Notas complementarias

Fuentes de datos:

Perspectiva global:

### Estándares químicos y compuestos de tungsteno de China

1. GB/T 10116-2007 Trióxido de tungsteno
2. GB/T 23365-2009 Paratungstato de amonio (APT)
3. HG / T 2959-2010 Tungstato de sodio
4. HG / T 2469-2010 Ácido tungstico
5. GBZ 2.1-2019 Límites de exposición ocupacional para sustancias peligrosas en el lugar de trabajo

### Principales estándares de la industria de Japón para productos químicos y compuestos de tungsteno

1. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Métodos para el análisis químico del tungsteno)
2. JIS K 8962:2008 タングステン酸ナトリウム (tungstato de sodio)  
韓国タングステン化学および化合物主要産業基準 (Traducido al coreano)
1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Tungsten Oxides)
2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

### Lista de compuestos que contienen tungsteno: Números CAS, fórmulas químicas y propiedades

1. Óxidos de tungsteno
2. Ácidos tungsticos y tungstatos
3. Halógenuros de tungsteno
4. Sulfuros y selenidas de tungsteno
5. Telururos de tungsteno
6. Siliciuros
7. Arseniuros de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Compuestos organometálicos
9. Catalizadores y reactivos que contienen tungsteno

**Lista de equipos, especificaciones, descripciones de funciones,  
Ventajas y desventajas  
para la producción química de tungsteno**

1. Equipo de procesamiento y pretratamiento de mineral
2. Equipos de fundición y reacción química
3. Equipos de refinación y separación
4. Equipos de secado y posprocesamiento
5. Equipos auxiliares y medioambientales

**Fuentes de información**

Fuentes: *Manual de Seguridad Química* (inglés, OSHA), *Guía MSDS para Productos Químicos de Tungsteno* (Multilingüe, ECHA), *Tecnología de Producción de Seguridad* (chino, Chinatungsten Online)

Principales productores: China Minmetals, H.C. Starck (Alemania), Kennametal (EE. UU.)

ApéndiceA. Principales normas industriales para productos químicos de tungstenoB. Tabla de fórmulas químicas y propiedades de los compuestos que contienen tungstenoC. Especificaciones de equipos para la producción química de tungsteno

**Referencias**

*La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990

*Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2005

*Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998

*Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000

*Química de los tungstatos* (francés) - Instituto de Química, Universidad de París, París, 1995

*Propiedades ópticas del tungsteno* (japonés) - Informe de investigación de Toshiba Corporation, Tokio, 2010

*Estudios sobre haluros de tungsteno* (japonés) - Toshiba Chemical Research Institute, Tokio, 2008

*Aplicaciones industriales de  $WF_6$*  (coreano) - Samsung Electronics Research Institute, Seúl, 2015

*Historia industrial de WC* (alemán) - Krupp AG, Essen, 1985

*Química de organotungsteno* (inglés) - Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Boston, 2002

*Estudios sobre catalizadores de tungsteno* (ruso) - Instituto de Tecnología Química de Moscú, Moscú, 2012

*Aplicaciones farmacéuticas del tungsteno* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018

*Industria química de tungsteno* (chino) - Departamento editorial en línea de Chinatungsten, Beijing, 2020

*Aplicaciones industriales de APT* (chino) - Asociación de la Industria de Tungsteno de China (CTIA), Beijing, 2019

*Tecnologías ambientales en la industria del tungsteno* (chino) - Asociación de la Industria del tungsteno de China (CTIA), Beijing, 2021

*Reciclaje mundial de tungsteno* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2020

*Manual de Seguridad Química* (Inglés) - Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), Washington, D.C., 2015

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Guía MSDS para productos químicos de tungsteno (multilingüe) - Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA), Helsinki, 2020

Tecnología de producción de seguridad (chino) - Departamento editorial en línea de Chinatungsten, Beijing, 2022

Compuestos de tungsteno no metálicos (chino) - Chinatungsten Online, Pekín, 2021

Sitios web

Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

Asociación de la Industria de Tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsten: "Chinatungsten en línea"

Recursos minerales del USGS: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 1: Descripción general del tungsteno

#### 1.1 Descubrimiento e historia del tungsteno

El tungsteno (W, tungsteno) (símbolo del elemento W) tiene una historia de descubrimiento e investigación que abarca varios siglos, evolucionando desde el uso inconsciente temprano hasta la exploración científica sistemática, lo que refleja la comprensión gradual de la humanidad de este metal de alto punto de fusión. Los siguientes son los hitos y eventos clave en el descubrimiento y desarrollo histórico del tungsteno (W, tungsteno).

##### 1.1.1 Breve historia del descubrimiento

El descubrimiento del tungsteno (W, tungsteno) no fue instantáneo, sino que implicó un

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proceso prolongado desde el reconocimiento mineral hasta el aislamiento elemental.

#### 1.1.1.1 Descubrimiento inicial del químico sueco Cronstedt (1755, literatura sueca)

En 1755, el mineralogista sueco Axel Fredrik Cronstedt, mientras estudiaba el mineral de hierro en Bispberg, Suecia, identificó un mineral blanco inusualmente pesado. Lo llamó "tungsteno" (en sueco "piedra pesada"), más tarde conocido como [scheelita](#) ( $\text{CaWO}_4$ , [scheelita](#)). Cronstedt no aisló el elemento tungsteno (W, tungsteno), pero señaló que la densidad del mineral superaba con creces la de los minerales comunes, registrando sus propiedades por primera vez en la literatura sueca [1]. Este descubrimiento marcó el comienzo de la entrada del tungsteno (W, tungsteno) en el dominio científico.

#### Propina

En este momento, el "tungsteno" se refería únicamente al mineral y no se reconocía que contuviera un nuevo elemento, y sus propiedades químicas aún se desconocían.

#### 1.1.1.2 Aislamiento de Scheele del ácido tungstico (1781, literatura alemana)

En 1781, el renombrado químico sueco Carl Wilhelm Scheele realizó un análisis en profundidad de la scheelita ( $\text{CaWO}_4$ , scheelita). Usando un tratamiento ácido (ácido nítrico), extrajo una sustancia blanca en polvo del mineral, a la que llamó [ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstico)](ácido tungstático). Scheele detalló sus propiedades de reacción química en la literatura alemana y especuló que podría estar relacionado con un metal desconocido [2]. Su mentor, Torbern Bergman, sugirió reducir el ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Tungstic Acid) con carbón vegetal para producir el metal, pero esto no se logró debido a las limitaciones tecnológicas.

#### Figura clave

Scheele, conocido por sus excepcionales técnicas de separación química, sentó las bases para el eventual descubrimiento del tungsteno (W, tungsteno).

**Consejo** El ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstónico) se convirtió en un punto de partida crucial para la investigación química del tungsteno (W, tungsteno), y más tarde sirvió como un intermediario clave en la producción de otros productos químicos de tungsteno, como el trióxido de tungsteno.

#### 1.1.1.3 Purificación del metal tungsteno de los hermanos Elhuyar (1783, literatura española)

En 1783, los químicos españoles Juan José Elhuyar y Fausto Elhuyar completaron el aislamiento del tungsteno (W, tungsteno) en el Seminario de Vergara. Extrajeron ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstónico) de [wolframita](#) ( $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$ , [wolframita](#)) y lo

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

redujeron con éxito con carbón vegetal a altas temperaturas para producir polvo metálico de tungsteno (W, tungsteno). Lo llamaron "wolframio" en la literatura española, derivado del término alemán de los mineros "espuma de lobo" para la wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframita), debido a su interferencia con la fundición de estaño [3].

### Cifras clave

Los hermanos Elhuyar, pioneros en mineralogía y química, establecieron formalmente el tungsteno (W, tungsteno) como un elemento distinto.

### País

España ocupa un lugar importante en la historia del descubrimiento del tungsteno (W, tungsteno).

### Propina

Esto marcó el primer aislamiento de tungsteno metálico (W, tungsteno), iniciando la historia de su investigación aplicada.

### 1.1.2 Nomenclatura y designaciones multilingües del tungsteno

El nombre del tungsteno (W, tungsteno) refleja su descubrimiento multicultural. El término sueco "tungsteno" (piedra pesada) se origina a partir de la descripción de Cronstedt, enfatizando su alta densidad, mientras que el alemán y el español "wolframite" fueron acuñados por los hermanos Elhuyar, arraigados en el nombre histórico de wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframita). Hoy en día, "tungsteno" es el nombre inglés e internacionalmente aceptado (símbolo de elemento W), mientras que "wolframio" sigue siendo ampliamente utilizado en alemán, español y otros idiomas europeos. En chino, "钨" (tungsteno) combina "金" (metal) y "乌" (negro), simbolizando su naturaleza metálica y apariencia oscura [4].

### Propina

Las variaciones de nomenclatura multilingüe resaltan la naturaleza internacional del descubrimiento de tungsteno (W, tungsteno), y los gerentes de compras deben estar familiarizados con estos términos para una comunicación efectiva con los proveedores en el comercio global.

### 1.1.3 Primeras aplicaciones industriales (siglo XIX, literatura inglesa y francesa)

A principios del siglo XIX, a medida que avanzaba la Revolución Industrial, las propiedades del tungsteno (W, tungsteno) comenzaron a ganar reconocimiento. En 1841, el químico británico Robert Dickinson Oxland patentó la producción de tungstato de sodio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sodio), ácido tungstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido tungstónico) y tungsteno (W, tungsteno), marcando un primer paso hacia la

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

industrialización de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) [5]. En 1847, el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) se utilizaba para teñir telas de algodón y fabricar trajes teatrales ignífugos, convirtiéndose en una de las primeras aplicaciones industriales de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno). Estos primeros esfuerzos fueron documentados en la literatura inglesa y francesa, ilustrando la transición del tungsteno (W, tungsteno) del laboratorio a la industria [6].

## Propina

Las aplicaciones industriales del siglo XIX sentaron las bases para la comercialización del tungsteno (W, tungsteno), especialmente en el sector químico, con usos como el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) para la ignifugación que sigue siendo relevante hoy en día.

## 1.2 Ocurrencia natural del tungsteno

El tungsteno (W, tungsteno) existe principalmente en la naturaleza como minerales, y su distribución y extracción son fundamentales para la producción industrial de productos químicos de tungsteno (W, tungsteno).

### 1.2.1 Tipos y distribución de los minerales de tungsteno a nivel mundial

Los minerales de tungsteno (W, tungsteno) son diversos, incluidos principalmente los siguientes:

#### 1.2.1.1 Wolframita

La wolframita ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , wolframita) es un tungstato de hierro-manganeso con una apariencia negra o marrón oscuro, que sirve como uno de los principales minerales de tungsteno (W, tungsteno). Llamado "wolframio", se ganó el apodo de "espuma de lobo" de los mineros alemanes debido a la espuma que producía durante la fundición de estaño.

#### 1.2.1.2 Scheelita

La scheelita ( $\text{CaWO}_4$ , scheelita) es tungstato de calcio, de aspecto blanco o amarillo pálido, y fue apodada "piedra pesada" por los suecos debido a su alta densidad. Emite fluorescencia azul bajo luz ultravioleta y se usa comúnmente para extraer ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstático).

#### 1.2.1.3 Otros minerales menores de wolframio (por ejemplo, hübnerita)

Otros minerales de tungsteno (W, tungsteno) incluyen hübnerita ( $\text{MnWO}_4$ , Hübnerita) y ferberita ( $\text{FeWO}_4$ , ferberita), ambas variantes de wolframita ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , wolframita). Estos son menos comunes, pero se extraen en regiones específicas como Estados Unidos y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bolivia.

### Propina

Wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframita) y scheelita (CaWO<sub>4</sub>, scheelite) son las principales materias primas para la producción industrial de [trioxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno)](trioxido de tungsteno) y [paratungstato de amonio (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, paratungstato de amonio)](paratungstato de amonio), y la adquisición debe centrarse en su grado y contenido de impurezas.

## 1.2.2 Principales países productores y reservas

El tungsteno (W, tungsteno) es un metal raro, con sus reservas y producción concentradas en unos pocos países:

### 1.2.2.1 China (aproximadamente el 60% de las reservas mundiales)

China posee las mayores reservas de tungsteno (W, tungsteno) del mundo (aproximadamente 1,9 millones de toneladas, lo que representa alrededor del 60% del total mundial) y producción (alrededor del 80% de la producción mundial en 2023), con áreas mineras clave en la región de Nanling que producen wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, wolframita) y scheelita (CaWO<sub>4</sub>, scheelite) [7].

### 1.2.2.2 Rusia, Vietnam, Canadá, Australia y otros

Rusia (Lejano Oriente, reservas de alrededor de 250.000 toneladas), Vietnam (mina Nui Phao, una importante fuente mundial de wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframita)), Canadá (mina Cantung) y Australia (mina King Island) también son importantes productores de tungsteno (W, tungsteno), aunque su producción está muy por debajo de la de China [7].

## 1.2.3 Principales regiones mineras de tungsteno

### Nanling, China

Incluyendo Ganzhou (Jiangxi) y Zhuzhou (Hunan), este es el cinturón minero de tungsteno (W, tungsteno) más grande del mundo, que produce wolframita ((Fe, Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframita) y scheelita (CaWO<sub>4</sub>, scheelite).

**Lejano Oriente ruso Producción predominante de wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, wolframita)** para los mercados nacionales e internacionales.

**Otras regiones, como Bolivia** (mina Llallagua) y Portugal (mina Panasqueira), donde se produce la minería a menor escala.

### Propina

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El dominio de China en los recursos de tungsteno (W, tungsteno) lo convierte en el principal productor de paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , paratungstato de amonio) y trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) a nivel mundial, y las adquisiciones deben considerar políticas de control de exportaciones (por ejemplo, las restricciones de China para 2025 sobre los compuestos de tungsteno).

### 1.3 Propiedades físicas y químicas del tungsteno

Las propiedades físicas y químicas únicas del tungsteno (W, tungsteno) lo hacen muy valorado en la industria y la investigación.

#### 1.3.1 Propiedades físicas (punto de fusión 3410 °C, densidad 19,25 g/cm<sup>3</sup>)

El tungsteno (W, tungsteno) cuenta con el punto de fusión más alto (3410 °C) y una densidad extremadamente alta (19,25 g/cm<sup>3</sup>), superada solo por unos pocos metales preciosos. Su dureza (escala de Mohs aproximadamente 7,5) también supera a la de la mayoría de los metales comunes. Estas propiedades fueron confirmadas a través de experimentos por científicos de principios del siglo XIX, como Henry Cavendish en Gran Bretaña y Joseph-Louis Proust en Francia [8].

#### Propina

Su alto punto de fusión hace que el tungsteno (W, tungsteno) sea ideal para [polvo de carburo de tungsteno (WC, polvo de carburo de tungsteno)](polvo de carburo de tungsteno) y [alambre de tungsteno (W Wire, alambre de tungsteno)](alambre de tungsteno) utilizado en entornos de alta temperatura.

#### 1.3.2 Propiedades químicas (estados de oxidación +2 a +6, resistencia a la corrosión)

El tungsteno (W, tungsteno) exhibe múltiples estados de oxidación (+2 a +6), siendo +6 el más estable, como se ve en el trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno). Es muy resistente a los ácidos y bases a temperatura ambiente, pero forma fácilmente trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) en atmósferas oxidantes a alta temperatura. El químico ruso Dmitry Mendeléyev confirmó sus características de metal de transición en sus estudios de la tabla periódica [9].

#### Propina

Su resistencia a la corrosión otorga potencial al ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstático) y al tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) en aplicaciones químicas y médicas.

#### 1.3.3 Descripciones de propiedades en literatura multilingüe (ruso, japonés, árabe, etc.)

**Literatura rusa** Los eruditos rusos del siglo XIX describieron la alta dureza y resistencia al calor del tungsteno (W, tungsteno), destacando su potencial metalúrgico [10].

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Literatura japonesa** Los investigadores japoneses de principios del siglo XX se centraron en la conductividad eléctrica del tungsteno (W, tungsteno) en la electrónica, como el alambre de tungsteno (W Wire, Tungsten Wire) [11].

**Literatura árabe** Los registros mineralógicos de Oriente Medio señalaron la alta densidad de minerales de tungsteno (W, tungsteno) [12].

### Propina

Los estudios multilingües subrayan el interés mundial por el tungsteno (W, tungsteno), y las adquisiciones pueden beneficiarse de la referencia a las normas nacionales (por ejemplo, las especificaciones JIS de Japón para el alambre de tungsteno (W Wire, Tungsten Wire)).

## 1.4 Valor industrial y científico de los productos químicos de tungsteno

[Productos químicos de tungsteno (W Chemicals, Productos químicos de tungsteno)](productos químicos de tungsteno) son vitales en la industria y la investigación debido a su diversidad y alto rendimiento.

### 1.4.1 Panorama de la demanda industrial mundial

Los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno), como el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), el polvo de carburo de tungsteno (WC, polvo de carburo de tungsteno) y el paratungstato de amonio (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , paratungstato de amonio), son materias primas fundamentales en la producción industrial. Según datos de la Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el mercado mundial de productos de tungsteno (W, tungsteno) alcanzó aproximadamente los 40 mil millones de dólares en 2023. Las aleaciones duras, basadas principalmente en polvo de carburo de tungsteno (WC, Tungsten Carbide Powder), representan aproximadamente el 50% de este mercado, valorado en \$ 20 mil millones, que abarca herramientas de corte, equipos de minería y componentes resistentes al desgaste. Los materiales electrónicos, como el [hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno)](hexafluoruro de tungsteno) para la fabricación de semiconductores y las aleaciones de [tungsteno cobre (W-Cu, tungsteno cobre)](tungsteno) para disipadores de calor, constituyen alrededor del 20%, o \$ 8 mil millones. Las aleaciones de alta temperatura y las aplicaciones aeroespaciales, incluidas las aleaciones de tungsteno (W Alloy, Tungsten Alloy), los contrapesos y las boquillas de cohetes, representan aproximadamente el 15%, valoradas en 6.000 millones de dólares. El 15 restante, aproximadamente 6.000 millones de dólares, cubre aplicaciones emergentes en energía renovable (por ejemplo, [alambre de tungsteno (W Wire, Tungsten Wire)](alambre de tungsteno) para corte fotovoltaico) y otros usos industriales. En 2023, el consumo mundial de tungsteno (W, tungsteno) ascendió a unas 85.000 toneladas, de las cuales China contribuyó con aproximadamente 68.000 toneladas, Estados Unidos con unas 8.000

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

toneladas y Europa con unas 6.000 toneladas, lo que subraya el papel dominante de China en la industria del tungsteno (W, tungsteno). En particular, la demanda de energía renovable está aumentando, y el sector fotovoltaico consume alrededor de 500 toneladas de alambre de tungsteno (W Wire, Tungsten Wire) anualmente, y se prevé que aumente a 800 toneladas para 2030. Del mismo modo, la necesidad de aleación de tungsteno por parte de la industria nuclear (aleación W, aleación de tungsteno) está creciendo a un ritmo de alrededor del 10% anual, especialmente para los componentes de los reactores de fusión [13].

### Propina

El polvo de carburo de tungsteno (WC, polvo de carburo de tungsteno) es la piedra angular de las aleaciones duras, y la adquisición debe centrarse en su distribución del tamaño de partícula (por ejemplo, D50 de polvo ultrafino de 1-5  $\mu\text{m}$  mejora la dureza y la resistencia al desgaste).

### 1.4.2 Importancia científica

Los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) se utilizan en la investigación para desarrollar nuevos materiales, como [disulfuro de tungsteno ( $\text{WS}_2$ , disulfuro de tungsteno)](disulfuro de tungsteno) para estudios de materiales bidimensionales, hexafluoruro de tungsteno ( $\text{WF}_6$ , hexafluoruro de tungsteno) para aplicaciones de semiconductores y tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) para el potencial biomédico. En el proyecto del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER), el alto punto de fusión del tungsteno (W, tungsteno) se aprovecha para los materiales orientados al plasma (PFM). Además, la aleación de tungsteno (aleación W, aleación de tungsteno) encuentra un uso extensivo en aplicaciones aeroespaciales [14].

### Propina

El valor científico de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) impulsa la aplicación de trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) en fotocatalisis, y la adquisición debe priorizar su pureza y forma cristalina, como la fase monoclinica, que es más adecuada para los fotocatalizadores.

### Fuentes de información

- [1] La historia y las aplicaciones del tungsteno (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990 [2] Una breve historia de la química del tungsteno (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referencias

- [1] La historia y las aplicaciones del tungsteno (sueco) - KTH Real Institute of Technology, Estocolmo, 1990 [2] Una breve historia de la química del tungsteno (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[4] Estudios sobre la denominación del tungsteno (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica (inglés) - Real Sociedad de Química, Londres, 1985[6] Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno (inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] El tungsteno en la tabla periódica (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] Registros mineralógicos en la región árabe (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023 (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018  
[15] Industria del tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 2: Clasificación básica y características de los productos químicos de tungsteno

#### 2.1 Clasificación de los productos químicos de tungsteno

[Los productos químicos de tungsteno \(W, tungsteno\)](#) se refieren a una variedad de compuestos derivados del elemento tungsteno (W, tungsteno), valorados por sus propiedades únicas, como alto punto de fusión, alta densidad y resistencia a la corrosión, lo que los hace ampliamente aplicables en la industria y la investigación. Estos productos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

químicos se clasifican en función de su composición química y estructura, lo que refleja sus funciones en diversos dominios tecnológicos y científicos. A continuación se muestra una clasificación sistemática de [los productos químicos de tungsteno \(W Chemicals, Tungsten Chemicals\)](#).

### 2.1.1 Óxidos

Los óxidos de tungsteno (W, tungsteno) son compuestos formados por tungsteno (W, tungsteno) y oxígeno, ampliamente utilizados en catálisis, electrónica y cerámica debido a su estabilidad y propiedades ópticas. Algunos ejemplos clave son:

#### [Trióxido de tungsteno \(WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno\)](#)

Un polvo de color amarillo a verde, el óxido más estable y común, utilizado en fotocatalizadores y dispositivos electrocrómicos.

#### [Dióxido de tungsteno \(WO<sub>2</sub>, Dióxido de tungsteno\)](#)

Un compuesto cristalino marrón, menos común, que sirve como intermediario en los materiales electrónicos.

#### [Ditungsten pentoxide \(W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ditungsten Pentoxide\)](#)

Un óxido no estequiométrico, estudiado principalmente en la investigación de nanomateriales.

#### [Óxido azul de tungsteno \(W<sub>18</sub>O<sub>49</sub> o W<sub>20</sub>O<sub>58</sub>, óxido azul de tungsteno\)](#)

Un compuesto azul con propiedades fotoeléctricas, aplicado en sensores y materiales optoelectrónicos.

### 2.1.2 Ácido tungstico y tungstatos

[El ácido tungstico \(H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido tungstático\)](#) y sus sales, conocidas como tungstatos, son materiales intermedios y funcionales críticos en la síntesis química y aplicaciones industriales. Algunos ejemplos son:

#### [Ácido tungstico \(H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido tungstónico\)](#)

Polvo amarillo, ligeramente soluble, utilizado como precursor de otros compuestos de tungsteno (W, tungsteno).

#### [Tungstato de sodio \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sodio\)](#)

Un compuesto cristalino blanco soluble en agua, empleado en materiales ignífugos e investigación biomédica.

#### [Paratungstato de amonio \(APT, \(NH<sub>4</sub>\)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Paratungstato de amonio\)](#)

Un material cristalino blanco, la materia prima principal para producir polvo de tungsteno (W, tungsteno).

#### [COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)

### Metatungstato de amonio ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>H<sub>2</sub>W<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, Metatungstato de amonio)

Polioxometalato utilizado en reactivos analíticos y catalizadores.

### Tungstato de calcio (CaWO<sub>4</sub>, tungstato de calcio)

Compuesto fluorescente que se usa en pantallas de rayos X y materiales luminiscentes.

## 2.1.3 Halogenuros

Los haluros de tungsteno (W, tungsteno) son compuestos volátiles formados con halógenos, esenciales en la deposición de película delgada y la síntesis orgánica. Algunos ejemplos son:

### Hexacloruro de tungsteno (WCl<sub>6</sub>, Hexacloruro de tungsteno)

Compuesto volátil utilizado como catalizador en reacciones orgánicas.

### Hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno)

Un compuesto gaseoso ampliamente aplicado en la deposición química de vapor para la fabricación de semiconductores.

## 2.1.4 Carburos y nitruros

Los carburos y nitruros de tungsteno (W, tungsteno) son materiales duros y refractarios valorados por su durabilidad en aplicaciones industriales. Algunos ejemplos son:

### Polvo de carburo de tungsteno (WC, polvo de carburo de tungsteno)

Un compuesto de alta dureza utilizado en herramientas de corte y recubrimientos resistentes al desgaste.

### Carburo de ditungsteno (W<sub>2</sub>C, carburo de ditungsteno)

Un carburo menos común utilizado en recubrimientos especializados.

### Nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno)

Utilizado en películas resistentes al desgaste y aplicaciones electrónicas.

## 2.1.5 Sulfuros y fosfuros

Los sulfuros y fosfuros de tungsteno (W, tungsteno) destacan por su lubricidad y propiedades catalíticas. Algunos ejemplos son:

### Disulfuro de tungsteno (WS<sub>2</sub>, disulfuro de tungsteno)

Compuesto estratificado utilizado como lubricante sólido y en la investigación de materiales bidimensionales.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Fosforo de tungsteno (WP, fosforo de tungsteno)**

Un material catalizador en procesos químicos.

#### **2.1.6 Compuestos organotungstenos**

Los compuestos organotungsteno presentan tungsteno (W, tungsteno) unido a grupos orgánicos, valiosos en catálisis y química sintética. Algunos ejemplos son:

#### **Hexacarbonilo de tungsteno (W(CO)<sub>6</sub>, Hexacarbonilo de tungsteno)**

Compuesto organometálico volátil utilizado en catalizadores de síntesis orgánica.

#### **2.1.7 Catalizadores y reactivos que contienen wolframio**

Estos compuestos aprovechan las propiedades catalíticas del tungsteno (W, tungsteno) para uso industrial y de laboratorio. Algunos ejemplos son:

#### **Ácido fosfotúngstico (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, Ácido fosfotúngstico)**

Ácido heteropólico utilizado como catalizador en reacciones orgánicas.

#### **2.1.8 Productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno**

Los compuestos de tungsteno (W, tungsteno) con potencial biomédico están surgiendo en la investigación. Algunos ejemplos son:

#### **Nanopartículas de tungstato de sodio**

**(Nanopartículas de Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Nanopartículas de tungstato de sodio)**

Investigado por sus propiedades antidiabéticas en la investigación de nanomedicina.

#### **2.1.9 Otros compuestos no metálicos que contengan wolframio**

Esta categoría incluye compuestos especializados con propiedades únicas. Algunos ejemplos son:

#### **Diseleniuro de tungsteno (WSe<sub>2</sub>, Diseleniuro de tungsteno)**

Un material semiconductor utilizado en electrónica y optoelectrónica.

#### **Propina**

La clasificación de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) refleja su diversidad estructural y versatilidad funcional, abarcando aplicaciones desde aleaciones duras industriales hasta investigación científica de vanguardia.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## 2.2 Características básicas de los productos químicos de tungsteno

Los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) exhiben una variedad de propiedades físicas y químicas que respaldan su uso generalizado. A continuación se muestran sus características clave.

### 2.2.1 Estructura cristalina y composición molecular

Las estructuras cristalinas de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) varían según su composición. Por ejemplo, el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) suele adoptar una estructura cristalina monoclinica, lo que mejora su actividad fotocatalítica, como se detalla en los estudios cristalográficos alemanes [16]. El polvo de carburo de tungsteno (WC, Tungsten Carbide Powder) forma una estructura hexagonal, lo que contribuye a su excepcional dureza, mientras que el disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , Tungsten Disulfur) tiene una red hexagonal en capas, lo que permite su lubricidad [17]. Estas diferencias estructurales, analizadas a través de la literatura multilingüe, determinan sus aplicaciones específicas.

### Propina

La estructura cristalina de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno), como la naturaleza estratificada del disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno), es fundamental para su rendimiento en aplicaciones específicas como la lubricación.

### 2.2.2 Estabilidad térmica y química

Los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) son reconocidos por su estabilidad térmica y química. El trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) permanece estable hasta  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  en el aire, lo que lo hace adecuado para la catálisis a alta temperatura,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

como se explora en la investigación química rusa de alta temperatura [18]. El polvo de carburo de tungsteno (WC, polvo de carburo de tungsteno) soporta condiciones extremas de hasta 2600 °C sin descomponerse, ideal para herramientas de corte. El tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) demuestra estabilidad química en soluciones acuosas, lo que respalda su uso en materiales ignífugos [19].

### Propina

La estabilidad térmica del polvo de carburo de tungsteno (WC, Tungsten Carbide Powder) garantiza su durabilidad en entornos industriales exigentes.

### 2.2.3 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) poseen propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas distintivas. El trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) exhibe un comportamiento electrocrómico, cambiando de color bajo voltaje, y se estudia ampliamente en la investigación de materiales electrónicos japoneses y coreanos para ventanas inteligentes [20]. El disulfuro de tungsteno ( $\text{WS}_2$ , disulfuro de tungsteno) es un semiconductor con una banda prohibida de aproximadamente 1,3 eV, adecuado para dispositivos optoelectrónicos. El hexacarbonilo de tungsteno ( $\text{W}(\text{CO})_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) carece de propiedades magnéticas significativas, pero sobresale en volatilidad para aplicaciones de película delgada [21].

### Propina

Las propiedades ópticas del trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) lo convierten en un material clave en tecnologías de ahorro de energía, como las ventanas electrocrómicas.

### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referencias

- [1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sobre las propiedades físicas del tungsteno (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] Tungsteno en la tabla periódica (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] Registros mineralógicos en la región árabe (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023 (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) [16] Fundamentos de la química del tungsteno (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] Propiedades de los compuestos de tungsteno (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] Estabilidad química de los tungstatos (inglés) - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] Compuestos organometálicos de tungsteno (inglés) - Organometálicos, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno? Capítulo 3: Preparación y aplicaciones de óxidos de tungsteno

### 3.1 Trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno)

[El trióxido de tungsteno \(WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno\)](#) es uno de los óxidos más importantes y ampliamente utilizados entre los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno). Sus propiedades excepcionales, como la alta estabilidad, el comportamiento electrocromático y las capacidades fotocatalíticas, lo convierten en una piedra angular en la producción industrial, la tecnología electrónica y las aplicaciones emergentes de energía renovable. Como miembro emblemático de la familia de compuestos de tungsteno (W, tungsteno), el trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno) cuenta con una rica

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

historia que abarca siglos, evolucionando desde los primeros descubrimientos de laboratorio hasta la producción moderna a escala industrial, lo que refleja la comprensión y el dominio cada vez más profundos de la humanidad de los recursos de tungsteno (W, tungsteno).

### 3.1.1 Procesos de preparación

La preparación de trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , Trióxido de tungsteno) abarca una variedad de métodos, que van desde técnicas industriales tradicionales hasta procesos de precisión de vanguardia, diseñados para satisfacer diversas necesidades de aplicación y estándares de pureza.

#### Método de calcinación (descomposición oxidativa a alta temperatura)

El método de calcinación es uno de los enfoques más frecuentes en entornos industriales, ya que utiliza materias primas como el [paratungstato de amonio \(APT,  \$\(NH\_4\)\_2WO\_4\$ , paratungstato de amonio\)](#) o [el ácido tungstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido tungstático\)](#). El proceso consiste en calentar estos precursores en una atmósfera rica en oxígeno a temperaturas entre 600 °C y 900 °C, lo que da como resultado la descomposición y oxidación para formar polvo de trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) amarillo o verde. Este método es favorecido por su simplicidad y escalabilidad, lo que lo convierte en un elemento básico en la producción a gran escala, particularmente en las empresas de procesamiento de tungsteno de China. Durante la calcinación, el amoníaco y el vapor de agua se liberan de la materia prima, dejando atrás trióxido de tungsteno puro ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), con tamaño de partícula y forma de cristal ajustables mediante control de temperatura y atmósfera.

#### Método de precipitación química húmeda (extracción por acidificación)

El método de precipitación química húmeda consiste en acidificar una solución de tungstato, como [el tungstato de sodio \( \$Na\_2WO\_4\$ , tungstato de sodio\)](#), para precipitar ácido de tungsteno ( $H_2WO_4$ , ácido de tungsteno), que luego se filtra, se lava y se trata térmicamente (generalmente a 400-600 °C) para producir trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno). Esta técnica destaca por lograr una alta pureza química y producir partículas a nanoescala, lo que la hace ideal para fines de investigación y la industria electrónica, donde la precisión y la calidad son primordiales. En comparación con la calcinación, este método hace hincapié en el control meticuloso del proceso, que atiende a la producción en lotes pequeños de productos de alto valor con características de rendimiento mejoradas.

#### Técnica de deposición química de vapor (CVD)

La deposición química de vapor (CVD) representa una técnica de preparación avanzada, que emplea precursores volátiles como el [hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#) para depositar películas delgadas de trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) a través de reacciones en fase gaseosa a temperaturas elevadas

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(generalmente 500-800 °C). Este método se aplica ampliamente en la fabricación de componentes electrónicos de precisión, como sensores de gas y películas electrocrómicas, debido a su capacidad para producir películas delgadas uniformes y densas que cumplen con los estrictos requisitos de las aplicaciones modernas de alta tecnología.

### 3.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

La estructura cristalina del trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) sustenta sus propiedades versátiles, que generalmente se manifiestan como una forma monoclinica, aunque pueden surgir estructuras cúbicas u ortorrómbicas bajo temperaturas y condiciones variables. Los estudios cristalográficos alemanes revelan que su estructura monoclinica consiste en una red tridimensional de átomos de tungsteno y oxígeno unidos a través de esquinas compartidas, formando un marco robusto que mejora sus rasgos ópticos y eléctricos [16]. A nivel molecular, cada átomo de tungsteno se coordina con seis átomos de oxígeno para crear unidades octaédricas estables, una configuración que contribuye a su resistencia tanto en entornos térmicos como químicos.

### 3.1.3 Estabilidad térmica y química

El trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) exhibe una notable estabilidad térmica, permaneciendo intacto en el aire a temperaturas superiores a 1000 °C, un rasgo que lo hace muy adecuado para la catálisis a alta temperatura y los recubrimientos ópticos. Químicamente, demuestra una fuerte resistencia a ácidos y bases, manteniendo la integridad estructural en condiciones adversas. Sin embargo, en atmósferas reductoras (por ejemplo, hidrógeno), puede transformarse en óxidos más bajos o tungsteno metálico (W, tungsteno), una propiedad ampliamente documentada en la investigación química rusa de alta temperatura [18]. Esta versatilidad redox lo posiciona como un material valioso en aplicaciones catalíticas y electroquímicas.

### 3.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) son particularmente notables, con su comportamiento electrocrómico que permite un cambio de color de amarillo a azul profundo tras la aplicación de voltaje, impulsado por cambios en el estado de oxidación de los átomos de tungsteno. Esta característica se ha explorado a fondo en la investigación de materiales electrónicos japoneses y coreanos, lo que ha llevado a su uso generalizado en ventanas inteligentes y tecnologías de visualización [20]. Eléctricamente, funciona como un semiconductor de banda prohibida ancha (aproximadamente 2,6-3,0 eV), lo que lo hace adecuado para dispositivos optoelectrónicos. Si bien carece de propiedades magnéticas significativas, sus atributos eléctricos y ópticos soportan suficientemente una amplia gama de aplicaciones tecnológicas avanzadas.

## Propina

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los diversos métodos de preparación y las propiedades superiores del trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) lo hacen destacar en el ámbito de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno); La adquisición debe priorizar la forma y la pureza del cristal en función del uso previsto.

### 3.2 Dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno)

El dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) es un óxido de tungsteno de menor valencia (W, tungsteno), que se aplica con menos frecuencia que el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) pero que conserva una relevancia distinta en los campos electrónicos y catalíticos especializados. Sus atributos químicos y físicos únicos lo distinguen dentro de la familia del óxido de tungsteno, ofreciendo un valor de nicho a pesar de su alcance de uso más limitado.

#### 3.2.1 Procesos de preparación

La preparación del dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) se basa principalmente en técnicas de reducción, que requieren un control meticuloso de las condiciones para garantizar la pureza y la consistencia del producto.

##### Método de reducción de hidrógeno

El método de reducción de hidrógeno consiste en reducir el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) en una atmósfera de hidrógeno a temperaturas que oscilan entre  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  para producir dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno). La regulación precisa del flujo de hidrógeno y la temperatura es crucial para evitar la reducción excesiva a tungsteno metálico (W, tungsteno). Este método ampliamente adoptado tanto en entornos industriales como de laboratorio produce un producto cristalino marrón, con un tamaño de partícula ajustable a través de la duración de la reacción y los ajustes de temperatura, que se adapta a las necesidades específicas de la aplicación.

##### Método de descomposición térmica

El método de descomposición térmica consiste en calentar ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) o paratungstato de amonio (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , paratungstato de amonio) a  $650\text{-}800\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una atmósfera inerte (por ejemplo, nitrógeno o argón) para formar dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno). Este enfoque es particularmente adecuado para la producción a pequeña escala, evitando eficazmente la interferencia de oxígeno para garantizar la formación estable del óxido deseado, a menudo preferido para materiales de grado de investigación que requieren una composición controlada.

#### 3.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) generalmente adopta una estructura

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cristalina monoclinica, donde cada átomo de tungsteno se coordina con cuatro átomos de oxígeno, formando una red tetraédrica distorsionada. Esta disposición, más densa que la estructura octaédrica del trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), da como resultado una mayor densidad (aproximadamente  $10,8 \text{ g/cm}^3$ ). Los estudios químicos rusos destacan que esta estructura cristalina única imparte un grado de conductividad eléctrica, lo que la distingue de otros óxidos de tungsteno y sugiere potencial en aplicaciones electrónicas [17].

### 3.2.3 Estabilidad térmica y química

El dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) presenta una buena estabilidad térmica en entornos inertes, soportando temperaturas de hasta  $800 \text{ °C}$  sin degradación. Sin embargo, su estabilidad flaquea en presencia de oxígeno, donde se oxida fácilmente a trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), lo que limita su uso en entornos con alto contenido de oxígeno. Químicamente, muestra una resistencia más débil a los ácidos y bases en comparación con los óxidos superiores, pero mantiene la robustez en condiciones reductoras, a menudo sirviendo como intermediario en procesos redox, un comportamiento bien documentado en estudios de estabilidad [19].

### 3.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

A diferencia del trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), el dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) carece de propiedades ópticas prominentes, apareciendo como un sólido de color marrón oscuro sin un comportamiento electrocrómico significativo. Eléctricamente, actúa como un semiconductor de banda prohibida estrecha (aproximadamente  $1,0\text{-}1,3 \text{ eV}$ ), ofreciendo una conductividad moderada que lo adapta a la investigación de materiales electrónicos. Magnéticamente, no exhibe propiedades notables, y su utilidad está ligada principalmente a sus características eléctricas más que a aplicaciones ópticas o magnéticas.

### Propina

La preparación de dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) exige un control preciso de la reducción, y su potencial en materiales electrónicos y catálisis merece una mayor exploración.

### 3.3 Otros óxidos de tungsteno

Más allá del trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) y el dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno), el tungsteno ( $W$ , tungsteno) forma óxidos adicionales como el pentóxido de ditungsteno ( $W_2O_5$ , pentóxido de ditungsteno) y la variante de óxido azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno). Estos óxidos no estequiométricos, aunque menos comunes, ofrecen un valor único en aplicaciones

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

especializadas, particularmente en nanotecnología y optoelectrónica.

### 3.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros óxidos de tungsteno generalmente ocurre a escala de laboratorio, involucrando procesos complejos adaptados a sus composiciones específicas.

**Método de oxidación para pentóxido de tungsteno ( $W_2O_5$ , pentóxido de ditungsten)El pentóxido de tungsteno ( $W_2O_5$ , pentóxido de tungsteno) se prepara oxidando dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) o reduciendo parcialmente el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) en condiciones controladas (400-600 °C) con una baja presión parcial de oxígeno. Este método requiere una calibración cuidadosa para mantener su naturaleza no estequiométrica, equilibrando el estado de oxidación entre  $WO_2$  y  $WO_3$ , y a menudo se emplea en entornos de investigación para explorar sus propiedades de transición.**

### Reducción a alta temperatura para la variante de óxido azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno)

La variante de óxido azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno) se sintetiza reduciendo el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) a 700-900 °C en una atmósfera ligeramente reductora (por ejemplo, una mezcla de hidrógeno y gas inerte). Este proceso está optimizado para producir nanoestructuras en forma de aguja, mejorando sus propiedades fotoeléctricas, y es una técnica preferida para crear materiales adecuados para aplicaciones tecnológicas avanzadas.

### 3.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El pentóxido de tungsteno ( $W_2O_5$ , pentóxido de tungsteno), un óxido no estequiométrico, presenta una estructura cristalina intermedia entre el dióxido de tungsteno ( $WO_2$ , dióxido de tungsteno) y el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), con un entorno de coordinación transicional que refleja su estado de oxidación mixto. La variante de óxido azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno) adopta una estructura monoclinica en forma de aguja, caracterizada por vacantes de oxígeno que contribuyen a su conductividad y rasgos ópticos, lo que la convierte en un tema de amplia investigación en nanotecnología.

### 3.3.3 Estabilidad térmica y química

El pentóxido de ditungsteno ( $W_2O_5$ , pentóxido de tungsteno) es térmicamente inestable en el aire, oxidándose fácilmente a trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), pero puede persistir hasta 600 °C en condiciones inertes. La variante de óxido de azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno) ofrece una estabilidad térmica ligeramente mejor, soportando hasta 800 °C, aunque también se oxida en ambientes ricos en oxígeno. Ambos exhiben una estabilidad química limitada contra ácidos y bases,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

prosperando mejor en entornos no oxidantes donde se pueden aprovechar sus propiedades únicas.

### 3.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El pentóxido de ditungsteno ( $W_2O_5$ , pentóxido de ditungsten) posee una conductividad moderada pero carece de características ópticas significativas, lo que limita su utilidad a aplicaciones eléctricas específicas. Por el contrario, la variante de óxido de azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno) brilla por su aspecto azul y sus excelentes propiedades fotoeléctricas, con una banda prohibida de aproximadamente 2,4 eV, ideal para fotodetectores y sensores. Ninguno de los dos compuestos muestra un comportamiento magnético notable, con su valor arraigado en los dominios eléctricos y ópticos.

#### Propina

Otros óxidos de tungsteno, como la variante de óxido azul de tungsteno ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungsteno), están ganando terreno por su potencial en nanotecnología y optoelectrónica, lo que merece una mayor atención.

#### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 4: Preparación y aplicaciones del ácido tungstico y los tungstatos

#### 4.1 Ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico)

[El ácido tungstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido tungstónico\)](#) es un miembro fundamental de la familia química del tungsteno (W, tungsteno), que sirve como precursor crucial de numerosos compuestos de tungsteno, incluidos tungstatos y óxidos. Reconocido por su baja solubilidad, reactividad química y estabilidad en ambientes ácidos, el ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) desempeña un papel esencial tanto en la producción industrial como en la investigación científica. Más allá de su utilidad como intermediario para sintetizar óxidos de tungsteno de alta pureza, encuentra aplicaciones en catalizadores, pigmentos y química analítica, lo que demuestra su valor versátil. Los procesos de preparación y los estudios de propiedades del ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) abarcan siglos, evolucionando desde la extracción de minerales rudimentaria hasta la sofisticada ingeniería química moderna, lo que refleja el dominio progresivo de la química del tungsteno (W, tungsteno).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4.1.1 Procesos de preparación

La preparación de ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) abarca una variedad de métodos, desde la precipitación ácida tradicional hasta técnicas de laboratorio avanzadas, que se adaptan a diversos niveles de pureza y requisitos de aplicación.

##### Método de precipitación ácida (lixiviación de minerales)

El método de precipitación ácida es la técnica industrial más empleada, generalmente comenzando con minerales como [wolframita \(\(Fe,Mn\)WO<sub>4</sub>, Wolframita\)](#) o [scheelita \(CaWO<sub>4</sub>, scheelita\)](#). Se utilizan ácidos fuertes (por ejemplo, ácido clorhídrico o nítrico) para lixiviar el tungsteno del mineral, formando precipitado de ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico). El proceso consiste en mezclar mineral finamente molido con ácido, reaccionando a 50-80 °C con agitación continua, durante la cual el ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) precipita como un sólido amarillo. A esto le sigue la filtración y el lavado para producir un producto crudo. Debido a su dependencia de abundantes materias primas y madurez de proceso establecida, este método es ampliamente utilizado por las empresas de procesamiento de tungsteno en China, como las de Ganzhou, Jiangxi, donde el control preciso de la concentración de ácido y la duración de la reacción minimiza las impurezas como el hierro y el manganeso.

##### Método de acidólisis de tungstato (conversión en solución)

El método de acidólisis de tungstato produce ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstático) mediante la acidificación de una solución soluble de tungstato, como [el tungstato de sodio \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sodio\)](#). Por lo general, la solución de tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) se mezcla con ácido clorhídrico y el pH se ajusta a 2-3, lo que provoca que el ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstático) precipite. Después de la filtración, el lavado y el secado a baja temperatura (aproximadamente 100-150 °C), se obtiene un producto de alta pureza. Esta técnica destaca en el control de los niveles de impurezas y en la producción de partículas a nanoescala, lo que la hace ideal para las industrias de química fina y la investigación de laboratorio, como la preparación de precursores de catalizadores u óxidos de alta pureza, donde la calidad y la precisión son primordiales.

##### Método de intercambio iónico (preparación de alta pureza)

El método de intercambio iónico es una técnica moderna y de alta precisión que hace pasar una solución que contiene tungsteno (por ejemplo, una solución de tungstato) a través de una resina de intercambio iónico para aislar iones de tungstato ( $WO_4^{2-}$ ), seguido de acidificación (generalmente con ácido sulfúrico) para precipitar ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico). Este método es particularmente eficaz para eliminar trazas de impurezas (por ejemplo, iones de metales pesados), produciendo ácido tungstico de ultra alta pureza ( $H_2WO_4$ , ácido tungstico) adecuado para materiales electrónicos, catalizadores especializados y reactivos analíticos de alta precisión. La elección y la regeneración de la resina son fundamentales, ya que repercuten directamente en la pureza del producto y en los costes de producción.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

El ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstático) generalmente exhibe una estructura cristalina ortorrómbica, con sus moléculas compuestas por un átomo de tungsteno coordinado con cuatro átomos de oxígeno en una disposición tetraédrica, donde dos átomos de oxígeno están unidos a átomos de hidrógeno a través de enlaces de hidrógeno. Los estudios cristalográficos alemanes indican que esta estructura explica su baja solubilidad en agua (aproximadamente 0,02 g/100 mL) y su tendencia a descomponerse en [trióxido de tungsteno \( \$WO\_3\$ , Trióxido de tungsteno\)](#) al calentarse [16]. Los enlaces de hidrógeno dentro de su marco molecular confieren una acidez débil (pKa alrededor de 2,2), lo que le permite reaccionar con las bases para formar tungstatos, una propiedad ampliamente explotada en la síntesis industrial.

#### 4.1.3 Estabilidad térmica y química

El ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) demuestra una excelente estabilidad química a temperatura ambiente, resistiendo la corrosión de la mayoría de los ácidos y bases. Sin embargo, en soluciones fuertemente alcalinas (por ejemplo, hidróxido de sodio), se disuelve para formar tungstatos como el tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio). Térmicamente, comienza a perder agua cristalina a 100-200 °C, transformándose en trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), con una descomposición completa que ocurre alrededor de 250 °C. Este comportamiento de descomposición térmica lo convierte en una materia prima vital para la producción de óxidos de tungsteno de alta pureza, como se ha señalado en investigaciones químicas rusas que destacan su estabilidad en ambientes ácidos como una ventaja clave en hidrometalurgia [17].

#### 4.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) son relativamente modestas, con su apariencia amarilla resultante de transiciones electrónicas dentro de su estructura cristalina, aunque carece de actividad óptica significativa como el electrocromismo o la fluorescencia, lo que limita su uso directo en aplicaciones ópticas. Eléctricamente, es un aislante con una conductividad insignificante, que depende de su producto de descomposición, el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), para aplicaciones eléctricas. Magnéticamente, el ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) no exhibe propiedades notables, y su valor principal radica en su reactividad química y su papel como precursor más que en sus características físicas intrínsecas.

#### Propina

Los versátiles métodos de preparación y el papel fundamental del ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) como precursor en la química del tungsteno (W, tungsteno) subrayan

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

su importancia; Las adquisiciones deben centrarse en la pureza y las características de las partículas adaptadas a las aplicaciones posteriores.

## 4.2 Tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio)

[El tungstato de sodio \( \$\text{Na}\_2\text{WO}\_4\$ , tungstato de sodio\)](#) es el tungstato más frecuente y versátil, apreciado por su excelente solubilidad en agua, estabilidad química y multifuncionalidad, lo que garantiza su uso generalizado en la producción industrial, la investigación médica y la química analítica. Como tungstato soluble representativo, el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) sobresale en aplicaciones que van desde materiales ignífugos hasta estudios bioactivos y la síntesis de otros compuestos de tungsteno, con una larga historia que ha cimentado su estatus como un eslabón vital en la cadena de la industria química del tungsteno.

### 4.2.1 Procesos de preparación

La preparación de tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) integra la extracción de mineral con técnicas de reacción basadas en soluciones, abordando las diversas necesidades de la producción a escala industrial y la precisión del laboratorio.

#### Método de fusión alcalina (extracción de mineral)

El método de fusión alcalina consiste en hacer reaccionar wolframita ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , wolframita) o scheelita ( $\text{CaWO}_4$ , scheelita) con hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) a altas temperaturas (600-800 °C) para formar una solución de tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio). El proceso consiste en mezclar mineral en polvo con hidróxido de sodio y calentarlo en un horno de fusión hasta que se funde, donde el tungsteno reacciona con el sodio para producir tungstato de sodio soluble ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio). Después de enfriarse, las impurezas se filtran y la solución se evapora y cristaliza para producir cristales blancos. Este método, favorecido por su uso eficiente de los recursos minerales y su operación sencilla, es la técnica predominante en la industria de procesamiento de tungsteno de China, particularmente en los principales centros como Jiangxi y Hunan.

#### Método de neutralización de ácido tungstico (preparación de laboratorio)

El método de neutralización de ácido tungstico prepara tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) neutralizando el ácido de tungsteno ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido de tungsteno) con una solución de hidróxido de sodio a temperatura ambiente (20-40 °C), siguiendo la reacción:  $\text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ . La solución resultante se concentra por evaporación y se enfría para cristalizar cristales dihidratados de tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio). Este método simple es ideal para la producción a pequeña escala y de alta pureza en laboratorios, comúnmente utilizado para preparar soluciones estándar o reactivos en investigación científica y química analítica.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 4.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) suele existir como un dihidrato ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) con una estructura cristalina ortorrómbica. Dentro de esta estructura, un átomo de tungsteno se coordina con cuatro átomos de oxígeno para formar una unidad tetraédrica estable ( $\text{WO}_4^{2-}$ ), mientras que dos átomos de sodio se unen iónicamente al ion tungstato y las moléculas de agua se incorporan a través de enlaces de hidrógeno. Los estudios cristalográficos confirman que esta disposición explica su alta solubilidad en agua (aproximadamente 730 g/L a 20 °C), lo que facilita su uso en aplicaciones acuosas al tiempo que mantiene la estabilidad del cristal [19].

#### 4.2.3 Estabilidad térmica y química

El tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) exhibe una sólida estabilidad térmica en condiciones secas, soportando hasta 300 °C sin descomposición. Por encima de esta temperatura, pierde agua cristalina, transformándose en tungstato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ), con una descomposición completa que requiere temperaturas de alrededor de 700 °C. Químicamente, su solución acuosa es ligeramente alcalina (pH 8-9) y sensible a los ácidos, convirtiéndose fácilmente en ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstico) en condiciones ácidas, pero resiste la corrosión en ambientes neutros y ligeramente alcalinos, lo que la hace adaptable a una variedad de configuraciones de reacción [19].

#### 4.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) son poco notables, y sus cristales blancos carecen de actividad óptica significativa, como la fluorescencia o el electrocromismo, lo que limita sus aplicaciones ópticas. Eléctricamente, actúa como un conductor iónico en solución debido a la movilidad de los iones de sodio y tungstato, pero es un aislante en forma sólida con una conductividad insignificante. Magnéticamente, el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) no muestra propiedades notables, y su utilidad se deriva principalmente de sus atributos químicos, como la solubilidad y la reactividad, más que de las características físicas.

#### Propina

La solubilidad en agua y la estabilidad química del tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) lo hacen invaluable en aplicaciones biomédicas y de protección contra incendios; la adquisición debe considerar el contenido de agua cristalina y los niveles de impurezas para un rendimiento óptimo.

#### 4.3 Otros tungstatos

Más allá del ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstático) y el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio), la familia del tungstato incluye compuestos importantes como el

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[paratungstato de amonio \(APT,  \$\(\text{NH}\_4\)\_2\text{WO}\_4\$ , paratungstato de amonio\)](#), [el tungstato de calcio \( \$\text{CaWO}\_4\$ , tungstato de calcio\)](#) y [el metatungstato de amonio \( \$\(\text{NH}\_4\)\_6\text{H}\_2\text{W}\_{12}\text{O}\_{40}\$ , metatungstato de amonio\)](#). Estos tungstatos sobresalen en la producción industrial, la investigación científica y las aplicaciones especializadas, enriqueciendo el alcance de la química del tungsteno.

#### 4.3.1 Procesos de preparación

Los procesos de preparación de estos otros tungstatos varían en función de sus propiedades químicas y usos previstos, desde la extracción de mineral hasta las técnicas de síntesis en solución.

##### **Intercambio iónico y cristalización para paratungstato de amonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amonio)**

El paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amonio) se prepara típicamente a partir de soluciones de tungstato extraídas de minerales de tungsteno, pasadas a través de resinas de intercambio iónico para aislar iones de tungstato ( $\text{WO}_4^{2-}$ ). A continuación, se añade amoníaco para ajustar el pH de la solución a 7-8, lo que desencadena la precipitación de paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , paratungstato de amonio), que se filtra, lava y seca (alrededor de 100-150 °C) para producir cristales blancos. Este método es una piedra angular de la industria de tungsteno de China, ampliamente utilizado en la producción de polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder), con producciones anuales que alcanzan decenas de miles de toneladas en regiones como Jiangxi y Hunan.

##### **Reacción de fusión para tungstato de calcio**

El tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de calcio) se sintetiza fusionando tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) a altas temperaturas (aproximadamente 800-1000 °C), siguiendo la reacción:  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaWO}_4 + 2\text{NaCl}$ . El producto resultante se enfría en cristales blancos, que se muelen y tamizan para su uso. Este sencillo proceso se emplea comúnmente para producir materiales fluorescentes y componentes ópticos, aprovechando su alta estabilidad térmica para la escalabilidad industrial.

##### **Polimerización por acidificación para metatungstato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amonio)**

Metatungstato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amonio) se prepara acidificando una solución de paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amonio) y controlando el pH a 3-4, lo que hace que los iones de tungstato se polimericen en iones de politungstato ( $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$ ). Luego se agrega amoníaco para estabilizar la solución, seguido de la cristalización para producir el producto final. Este método está diseñado para la producción de catalizadores y reactivos analíticos de alta pureza,

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aprovechando su estructura única de polioxometalato.

#### 4.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , paratungstato de amonio) presenta una estructura cristalina monoclinica compleja con múltiples unidades octaédricas de tungsteno-oxígeno estabilizadas por iones de amonio a través de enlaces de hidrógeno, formando un marco compuesto robusto. El tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de calcio) adopta una estructura cristalina tetragonal similar a la scheelita natural, con átomos de tungsteno coordinando cuatro átomos de oxígeno en una disposición tetraédrica, apoyados por iones de calcio a través de enlaces iónicos. El metatungstato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , metatungstato de amonio) exhibe una estructura de polioxometalato, que comprende un grupo de 12 octaedros de tungsteno-oxígeno rodeados de iones de amonio, lo que confiere una complejidad molecular distintiva adecuada para aplicaciones catalíticas.

#### 4.3.3 Estabilidad térmica y química

El paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , paratungstato de amonio) tiene una estabilidad térmica moderada, descomponiéndose a trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) a 250-300 °C con la liberación de amoníaco y vapor de agua, y su estabilidad química es susceptible a condiciones ácidas. El tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de calcio) cuenta con una estabilidad térmica excepcional, soportando temperaturas superiores a 1000 °C y una excelente estabilidad química, siendo casi insoluble en agua y resistente a la mayoría de los ácidos y bases, lo que lo hace ideal para aplicaciones de alta temperatura. El metatungstato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , metatungstato de amonio) pierde agua cristalina alrededor de 200 °C y se descompone aún más a temperaturas más altas, con una estabilidad química más débil que requiere protección contra ácidos o bases fuertes para preservar su estructura de polioxometalato.

#### 4.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El paratungstato de amonio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , paratungstato de amonio) carece de propiedades ópticas notables, apareciendo como cristales blancos con una actividad óptica mínima, y es un aislante eléctrica y magnéticamente inerte. El tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de calcio) es conocido por su fluorescencia, emitiendo luz azul bajo excitación UV (banda prohibida ~ 4,2 eV), lo que lo hace valioso en detectores de rayos X y materiales fluorescentes, aunque sigue siendo un aislante sin propiedades magnéticas. El metatungstato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , metatungstato de amonio) no muestra rasgos ópticos o magnéticos significativos, pero exhibe conductividad iónica en solución, sin dejar de ser un aislante en forma sólida, con sus aplicaciones impulsadas principalmente por sus capacidades catalíticas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Propina

Otros tungstatos como el tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de calcio) y el metatungstato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , metatungstato de amonio) ofrecen ventajas únicas en fluorescencia y catálisis, respectivamente; la adquisición debe alinearse con las necesidades específicas de la aplicación en cuanto al método de preparación y la pureza.

## Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referencias

- [1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900
- [13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria del tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno? Capítulo 5: Preparación y aplicaciones de haluros de tungsteno

### 5.1 Hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno)

[El hexacloruro de tungsteno \( \$WCl\_6\$ , hexacloruro de tungsteno\)](#) es un miembro destacado de la familia de haluros de tungsteno (W, tungsteno), muy apreciado tanto en entornos industriales como de investigación por su volatilidad, alta reactividad y capacidades catalíticas en diversas reacciones químicas. Como compuesto volátil de tungsteno, el hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) destaca por su distintiva apariencia cristalina de color azul oscuro y sus excepcionales propiedades químicas, lo que lo hace invaluable en la síntesis orgánica, la deposición de película delgada y la preparación de catalizadores. Su viaje desde la síntesis inicial en el laboratorio hasta las aplicaciones industriales contemporáneas refleja la evolución continua y la comprensión cada vez más profunda de la química de los haluros de tungsteno, lo que la posiciona como un contribuyente único en el campo más amplio de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno).

#### 5.1.1 Procesos de preparación

La preparación de hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) abarca una variedad de métodos, incluidas la cloración directa y las técnicas de reducción de cloro, adaptados para cumplir con diversos requisitos de pureza y aplicación.

##### Método de cloración directa

###### (Cloración de metales de tungsteno)

El método de cloración directa consiste en hacer reaccionar metal de tungsteno (W, tungsteno) de alta pureza, como polvo de [tungsteno \(W Powder, polvo de tungsteno\)](#), con gas cloro ( $Cl_2$ ) a temperaturas elevadas (normalmente 600-800 °C) para producir hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno). La reacción,  $W + 3Cl_2 \rightarrow$

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$WCl_6$ , se produce en un reactor de cuarzo sellado para excluir el oxígeno y la humedad, y los cristales azules oscuros resultantes se condensan a partir del producto gaseoso. Este método se ve favorecido por su simplicidad y franqueza, lo que lo convierte en un elemento básico en la producción industrial, particularmente para el hexacloruro de tungsteno de alta pureza ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) utilizado en la síntesis de catalizadores, donde son esenciales estrictos estándares de calidad.

### **Método de reducción de cloro**

#### **(Cloración de óxido)**

El método de reducción de cloro prepara hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) haciendo reaccionar [trióxido de tungsteno \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungsteno\)](#) con cloro gaseoso y un agente reductor (por ejemplo, carbono o hidrógeno) a 500-700 °C. El control preciso del flujo y la temperatura del cloro es fundamental para evitar la formación de cloruros inferiores, como el tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno). Este enfoque es ventajoso para la producción de laboratorio y a pequeña escala, ya que aprovecha los subproductos industriales como el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) para mejorar la eficiencia de los recursos y reducir los costos.

### **Método de reacción en fase gaseosa**

#### **(Preparación de alta pureza)**

El método de reacción en fase gaseosa sintetiza hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) o sus compuestos con cloro gaseoso en la fase de vapor a aproximadamente 800 °C, seguido de condensación en cristales. Esta técnica se destaca en la eliminación de trazas de impurezas, produciendo hexacloruro de tungsteno de ultra alta pureza ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno), ideal para materiales electrónicos e investigación de catalizadores de precisión, donde incluso contaminantes diminutos pueden afectar significativamente el rendimiento.

### **5.1.2 Estructura cristalina y composición molecular**

El hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) adopta una estructura cristalina octaédrica, con un átomo central de tungsteno coordinado con seis átomos de cloro, formando una unidad molecular  $WCl_6$  simétrica. Los estudios cristalográficos alemanes destacan que esta coordinación octaédrica contribuye a su alta volatilidad (punto de fusión aproximadamente 275 °C, punto de ebullición alrededor de 347 °C), lo que facilita su uso en reacciones en fase gaseosa [16]. En su composición molecular, el átomo de tungsteno se encuentra en el estado de oxidación +6, y la fuerte electronegatividad de los átomos de cloro mejora su reactividad, lo que le permite participar fácilmente en reacciones de coordinación o sustitución con compuestos orgánicos.

### **5.1.3 Estabilidad térmica y química**

El hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) exhibe una estabilidad

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

térmica moderada en condiciones anhidras y sin oxígeno, conservando su estructura cristalina por debajo de los 300 °C. Sin embargo, a temperaturas más altas o en presencia de aire, se descompone en cloruros más bajos y cloro gaseoso, lo que requiere un manejo cuidadoso. Químicamente, es muy inestable en presencia de humedad, hidrolizándose rápidamente en ambientes húmedos para formar cloruro de hidrógeno (HCl) y oxiclорuros de tungsteno, lo que requiere almacenamiento y uso en atmósferas secas e inertes. La investigación química rusa subraya su alta reactividad, lo que lo convierte en un agente clorador y catalizador eficaz en la síntesis orgánica [17].

#### 5.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) se caracterizan por su llamativa forma cristalina de color azul oscuro, resultante de las transiciones electrónicas d-d del átomo de tungsteno, aunque su actividad óptica es limitada en aplicaciones prácticas. Eléctricamente, es un aislante en su estado sólido, pero en forma gaseosa o en solución, puede exhibir una ligera conductividad iónica debido a la descomposición o a las interacciones con el solvente. Magnéticamente, el hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) no muestra propiedades significativas, y su utilidad principal se deriva de su reactividad química más que de sus características físicas.

#### Propina

La preparación de hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) exige una rigurosa exclusión de la humedad y el oxígeno; su alta reactividad lo hace destacar en catálisis y síntesis orgánica, y la adquisición debe priorizar la pureza y las condiciones de almacenamiento.

#### 5.2 Hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno)

[El hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#) es el haluro de tungsteno más importante industrialmente, célebre por su excepcional volatilidad y su papel fundamental en la industria de los semiconductores. Como gas incoloro, el hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) se usa ampliamente en la deposición química de vapor (CVD) para producir películas delgadas de metal de tungsteno, con su alta reactividad y estabilidad que lo hacen indispensable en la microelectrónica moderna. La evolución de la síntesis de laboratorio a la producción a gran escala pone de manifiesto su contribución al avance de la química del tungsteno en aplicaciones de alta tecnología.

#### 5.2.1 Procesos de preparación

La preparación de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) se basa principalmente en reacciones de fluoración, realizadas en condiciones anhidras para garantizar la calidad del producto.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Método de fluoración directa

### (Reacción de tungsteno y flúor)

El método de fluoración directa hace reaccionar el metal de tungsteno (W, tungsteno) de alta pureza (por ejemplo, polvo de tungsteno (W, polvo de tungsteno)) con gas flúor (F<sub>2</sub>) a 300-500 °C para formar gas hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno), siguiendo la reacción:  $W + 3F_2 \rightarrow WF_6$ . Este proceso ocurre en un reactor de aleación de níquel resistente a la corrosión debido a la naturaleza agresiva del flúor, con el producto gaseoso condensado en forma líquida (punto de ebullición 17,1 °C) para su recolección. Ampliamente adoptado en la industria por su alta pureza y enfoque sencillo, este método domina las aplicaciones de semiconductores que requieren estrictos estándares de calidad.

## Método de fluoración con óxido

### (Fluoración de trióxido de tungsteno)

El método de fluoración de óxido prepara hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno) haciendo reaccionar trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno) con fluoruro de hidrógeno (HF) o gas flúor a 400-600 °C. Este proceso exige un control cuidadoso para evitar la formación de fluoruros más bajos, aprovechando los subproductos industriales como el trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno) para reducir los costos. Se usa comúnmente en laboratorio y producción a pequeña escala, ofreciendo una alternativa rentable para aplicaciones especializadas.

## 5.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno) adopta una estructura molecular octaédrica tanto en estado gaseoso como líquido, con un átomo central de tungsteno coordinado con seis átomos de flúor, formando una unidad WF<sub>6</sub> simétrica. La investigación química japonesa señala que esta disposición octaédrica sustenta su alta volatilidad y estabilidad (punto de fusión 2,3 °C, punto de ebullición 17,1 °C), lo que la hace ideal para la deposición en fase gaseosa [20]. El átomo de tungsteno se encuentra en el estado de oxidación +6, y la fuerte electronegatividad del flúor mejora la fuerza de enlace, lo que garantiza la estabilidad en diversas condiciones.

## 5.2.3 Estabilidad térmica y química

El hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno) exhibe una excelente estabilidad térmica en condiciones anhidras, permaneciendo estable como gas a temperatura ambiente. Sin embargo, a temperaturas superiores a 400 °C o en presencia de humedad, se descompone en fluoruro de hidrógeno (HF) y óxidos de tungsteno, lo que requiere una manipulación controlada. En comparación con el hexacloruro de tungsteno (WCl<sub>6</sub>, hexacloruro de tungsteno), es menos sensible al agua, pero puede reducirse a tungsteno (W, tungsteno) o fluoruros más bajos en entornos fuertemente reductores, una propiedad que mejora su utilidad en la deposición de semiconductores.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 5.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) es un gas incoloro y transparente sin actividad óptica significativa, lo que limita sus aplicaciones ópticas. Eléctricamente, no es conductor en su estado gaseoso, pero su descomposición en metal de tungsteno produce una excelente conductividad (resistividad  $\sim 5,6 \mu\Omega \text{ cm}$ ), crucial para las películas delgadas conductoras. Magnéticamente, no exhibe propiedades notables, y su valor está ligado principalmente a sus capacidades de reactividad y deposición más que a rasgos físicos.

#### Propina

La preparación de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) requiere un entorno anhidro; Su papel fundamental en la industria de los semiconductores hace que se destaque entre los haluros de tungsteno, y que la adquisición se centra en la pureza del gas y la integridad de la contención.

#### 5.3 Otros haluros de tungsteno

Además del hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) y el hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno), la familia de haluros de tungsteno incluye compuestos de menor valencia como el tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) y el pentacloruro de tungsteno ( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno). Aunque se aplican menos ampliamente, estos haluros ofrecen valor en reacciones catalíticas específicas y en la investigación de materiales.

##### 5.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros haluros de tungsteno suele producirse a escala de laboratorio, lo que requiere un control preciso de las condiciones de reacción.

##### Método de cloración de reducción para tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno)

El tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) se sintetiza reduciendo parcialmente el hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) con hidrógeno a 450-600 °C en una atmósfera inerte para evitar la oxidación. Esta reducción controlada asegura la formación del estado tetravalente deseado, lo que generalmente produce un producto verde adecuado para aplicaciones de nicho.

##### Método de cloración controlada para pentacloruro de tungsteno ( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno)El

pentacloruro de tungsteno ( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno) se prepara mediante la cloración cuidadosa del tungsteno (W, tungsteno) o la reducción del hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) con un suministro limitado de cloro a 500-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

700 °C. Este método requiere una dosificación precisa de cloro para alcanzar el estado pentavalente, produciendo un material cristalino de color rojo oscuro.

### 5.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) presenta una estructura cristalina tetragonal, con el átomo de tungsteno coordinado con cuatro átomos de cloro en una disposición plana cuadrada, lo que ofrece una estabilidad moderada. El pentacloruro de tungsteno ( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno) adopta una estructura bipiramidal trigonal con cinco átomos de cloro, exhibiendo una menor estabilidad debido a su estado de oxidación intermedio. Estas estructuras dan como resultado una volatilidad reducida en comparación con los haluros hexavalentes.

### 5.3.3 Estabilidad térmica y química

El tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) y el pentacloruro de tungsteno ( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno) tienen una estabilidad térmica limitada, descomponiéndose en cloruros más bajos o gas de cloro a 200-400 °C. Desde el punto de vista químico, ambos son muy sensibles a la humedad, por lo que requieren un almacenamiento sellado para evitar la hidrólisis, lo que restringe su uso práctico a entornos controlados.

### 5.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) aparece en verde, y el pentacloruro de tungsteno ( $WCl_5$ , pentacloruro de tungsteno) es de color rojo oscuro, pero ninguno de los dos exhibe una actividad óptica significativa. Eléctricamente, ambos son aislantes y carecen de propiedades magnéticas notables, y sus aplicaciones se centran principalmente en la investigación catalítica más que en las características físicas.

#### Propina

Otros haluros de tungsteno como el tetracloruro de tungsteno ( $WCl_4$ , tetracloruro de tungsteno) tienen potencial en catálisis; su preparación y estabilidad requieren una atención cuidadosa durante su manipulación y uso.

---

#### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998 [17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000 [20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno [22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

---

#### Referencias

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- [1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 6: Preparación y aplicaciones de carburos y nitruros de tungsteno

#### 6.1 Carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno)

[El carburo de tungsteno \(WC, carburo de tungsteno\)](#) se encuentra entre los compuestos más valiosos industrialmente y ampliamente aplicados de la familia química del tungsteno (W, tungsteno), reconocido por su excepcional dureza, resistencia al desgaste y estabilidad térmica. Como piedra angular de los carburos cementados, el carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) desempeña un papel indispensable en herramientas de corte, equipos de minería y recubrimientos resistentes al desgaste. Su apariencia de polvo negro o negro grisáceo oculta su brillantez en la industria moderna, con una historia de desarrollo que abarca desde los primeros experimentos de laboratorio hasta la producción globalizada actual, lo que muestra el profundo impacto de la química del tungsteno en la ciencia de los materiales.

##### 6.1.1 Procesos de preparación

La preparación de carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) abarca una variedad de métodos, incluida la carbonización a alta temperatura y las reacciones en fase gaseosa, adaptados para cumplir con diversos requisitos de pureza y tamaño de partícula.

##### Método de carbonización a alta temperatura

###### (Carbonización de polvo de tungsteno)

El método de carbonización a alta temperatura hace reaccionar [el polvo de tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) con una fuente de carbono (por ejemplo, negro de humo o grafito) a 1400-1600 °C para formar carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno), siguiendo la ecuación:  $W + C \rightarrow WC$ . Este proceso generalmente se lleva a cabo en vacío o

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atmósfera de hidrógeno para evitar la oxidación y controlar el contenido de carbono. Después de la reacción, el producto se muele y se tamiza para producir un polvo de carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) finamente uniforme. Debido a su proceso maduro y rentabilidad, este método domina la producción industrial, ampliamente adoptado en la fabricación de carburo cementado, especialmente en empresas de procesamiento de tungsteno a gran escala en China y Europa.

### **Método de carbonización en fase gaseosa**

El

método de carbonización en fase gaseosa utiliza compuestos volátiles de tungsteno, como el [hexafluoruro de tungsteno \(WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno\)](#), que reaccionan con hidrocarburos (por ejemplo, metano, CH<sub>4</sub>) a 800-1000 °C a través de una reacción química de vapor para producir carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno). Esta técnica puede producir partículas de carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) a nanoescala, lo que la hace adecuada para recubrimientos de alto rendimiento y herramientas de precisión. La reacción se produce en reactores especializados con un control preciso del flujo de gas para garantizar una distribución uniforme de las partículas.

### **Método de síntesis de plasma**

**(Preparación de partículas ultrafinas)**

El método de síntesis de plasma reacciona rápidamente el polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con una fuente de carbono en un entorno de plasma de alta temperatura (>5000 °C), produciendo polvo de carburo de tungsteno ultrafino (WC, carburo de tungsteno) (tamaño de partícula <100 nm). Este método sobresale en la generación de partículas ultrafinas de alta pureza, ideales para aplicaciones avanzadas como recubrimientos resistentes al desgaste en materiales aeroespaciales, aunque sus altos costos de equipo lo limitan a la producción de lotes pequeños y alto valor.

### **6.1.2 Estructura cristalina y composición molecular**

El carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) presenta una estructura cristalina hexagonal, donde los átomos de tungsteno y carbono se unen en una proporción de 1:1 a través de fuertes enlaces covalentes, formando una red compacta. Los estudios cristalográficos alemanes indican que esta disposición hexagonal le confiere una dureza excepcional (dureza de Mohs ~9, solo superada por el diamante) y propiedades mecánicas superiores [16]. En su composición molecular, el tungsteno aporta alta densidad (15,63 g/cm<sup>3</sup>), mientras que el carbono mejora la estabilidad de la red, lo que le permite mantener la integridad estructural en condiciones extremas.

### **6.1.3 Estabilidad térmica y química**

El carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) cuenta con una notable estabilidad térmica, conservando su estructura por debajo de 2600 °C, y exhibe una excelente

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

resistencia a la oxidación, oxidándose solo lentamente a trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) por encima de  $600\text{ }^\circ\text{C}$  en ambientes ricos en oxígeno. Químicamente, resiste la corrosión de ácidos y bases, aunque puede erosionarse gradualmente en ácidos oxidantes fuertes (por ejemplo, ácido nítrico). La investigación rusa de materiales destaca su estabilidad térmica e inercia química, lo que la convierte en una opción ideal para materiales resistentes al desgaste y altas temperaturas [17].

#### 6.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) no son notables, con su apariencia negra o negro grisácea resultante de la absorción de electrones en su estructura cristalina, careciendo de fluorescencia o actividad óptica notable. Eléctricamente, posee una conductividad moderada (resistividad  $\sim 20\text{ }\mu\Omega\text{ cm}$ ), significativamente más baja que el tungsteno metálico (W, tungsteno), pero suficiente para aplicaciones como el mecanizado por descarga eléctrica. Magnéticamente, el carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) no muestra propiedades significativas, y su valor se basa principalmente en atributos mecánicos más que en características físicas.

#### Propina

Los diversos métodos de preparación y la excepcional dureza y resistencia al desgaste del carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) lo hacen insustituible en aplicaciones industriales; La adquisición debe centrarse en el tamaño y la pureza de las partículas, adaptados a usos específicos.

### 6.2 Nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno)

El nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno) es un compuesto formado por tungsteno (W, tungsteno) y nitrógeno, con un ámbito de aplicación más estrecho en comparación con el carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno), pero tiene un valor único en recubrimientos resistentes al desgaste, materiales electrónicos y películas delgadas de alta dureza. Su aspecto gris oscuro y sus excelentes propiedades físicas hacen del nitruro de tungsteno (WN, Tungsten Nitride) una gema menos conocida dentro de la familia química del tungsteno, y su investigación y desarrollo abren nuevas posibilidades en la ciencia de los materiales.

#### 6.2.1 Procesos de preparación

La preparación de nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno) se basa principalmente en técnicas de nitruración a alta temperatura o deposición en fase gaseosa, que requieren un control preciso para garantizar la calidad del producto.

#### Método de nitruración a alta temperatura (Nitruración de polvo de tungsteno)

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El método de nitruración a alta temperatura hace reaccionar el polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con gas nitrógeno ( $N_2$ ) o amoníaco ( $NH_3$ ) a 1000-1200 °C para formar nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno), representado por la ecuación:  $W + N_2 \rightarrow WN$ . Este proceso se lleva a cabo en vacío o atmósfera inerte para evitar la interferencia del oxígeno, produciendo un polvo gris oscuro. Su simplicidad y capacidad para utilizar polvo de tungsteno fácilmente disponible (W Powder, Tungsten Powder) lo hacen adecuado para la producción industrial.

### **Método de deposición en fase gaseosa (CVD o PVD)**

El método de deposición en fase gaseosa emplea la deposición química de vapor (CVD) o la deposición física de vapor (PVD) para hacer reaccionar el hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) o el tungsteno (W, tungsteno) con una fuente de nitrógeno (por ejemplo, amoníaco) a 600-900 °C, formando películas delgadas de nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno). Esta técnica produce películas de alta pureza, comúnmente utilizadas para recubrimientos resistentes al desgaste y componentes electrónicos, que requieren equipos especializados para controlar el espesor y la uniformidad de la película.

### **6.2.2 Estructura cristalina y composición molecular**

El nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno) generalmente adopta una estructura cristalina cúbica, con átomos de tungsteno y nitrógeno unidos en una proporción de 1: 1 a través de una red covalente. La investigación cristalográfica rusa señala que su estructura reticular se asemeja a la del carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno), aunque la incorporación de nitrógeno da como resultado una dureza ligeramente menor (dureza de Mohs ~ 8) y una densidad de aproximadamente 14,5 g / cm<sup>3</sup> [17]. Los fuertes enlaces covalentes en su composición molecular contribuyen a sus sólidas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión.

### **6.2.3 Estabilidad térmica y química**

El nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno) permanece estable hasta aproximadamente 1000 °C en atmósferas inertes, pero se oxida a trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) por encima de 600 °C en condiciones ricas en oxígeno, exhibiendo una estabilidad térmica ligeramente menor que el carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno). Químicamente, resiste la corrosión de ácidos y bases, aunque se descompone gradualmente en ambientes fuertemente oxidantes (por ejemplo, ácido nítrico concentrado). Su resistencia a la corrosión mejora su idoneidad para aplicaciones de recubrimiento.

### **6.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Las propiedades ópticas del nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno) no son notables, y su apariencia gris oscura carece de actividad óptica significativa. Eléctricamente, funciona como un semiconductor (banda prohibida ~ 1.8-2.2 eV) con conductividad moderada, lo que lo hace viable para materiales electrónicos. Magnéticamente, el nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno) no exhibe propiedades notables, y sus aplicaciones están impulsadas principalmente por atributos mecánicos y eléctricos.

### Propina

La preparación del nitruro de tungsteno (WN, Tungsten Nitrus) requiere un estricto control de la nitruración, y su potencial en recubrimientos resistentes al desgaste y materiales electrónicos merece una mayor exploración.

## 6.3 Otros carburos y nitruros de volframio

Más allá del carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) y el nitruro de tungsteno (WN, nitruro de tungsteno), la familia de carburo y nitruro de tungsteno incluye compuestos como el carburo de tungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno) y el carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno), que ofrecen un valor único en aplicaciones específicas resistentes al desgaste y a altas temperaturas.

### 6.3.1 Procesos de preparación

Los procesos de preparación de estos otros carburos y nitruros de tungsteno suelen implicar reacciones a alta temperatura o técnicas compuestas.

#### Método de carbonización controlada para carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno)

El carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno) se sintetiza haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) con carbono a 1200-1400 °C, controlando cuidadosamente la proporción de carbono para evitar la formación excesiva de carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno). Este método asegura la estructura de carburo divalente deseada.

#### Método de codifusión de carbono-nitrógeno para carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno)

El carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno) se prepara haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) o carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) con nitrógeno y una fuente de carbono a 800-1000 °C, formando una estructura compuesta a través de la codifusión de átomos de carbono y nitrógeno.

### 6.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno) presenta una estructura cristalina

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hexagonal con una relación de tungsteno-carbono de 2:1, lo que da como resultado una red menos densa que el carburo de tungsteno ( $WC$ , carburo de tungsteno). El carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno) forma una estructura cristalina compuesta, con átomos de carbono y nitrógeno que se sustituyen parcialmente para crear una solución sólida, lo que mejora sus propiedades.

### 6.3.3 Estabilidad térmica y química

El carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno) permanece estable por debajo de  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ , pero se descompone en atmósferas oxidantes. El carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno) combina la estabilidad de carburos y nitruros, soportando temperaturas de hasta aproximadamente  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ , ofreciendo un rendimiento robusto en condiciones exigentes.

### 6.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno) y el carbonitruro de tungsteno ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitruro de tungsteno) carecen de actividad óptica significativa, con una conductividad eléctrica moderada adecuada para aplicaciones específicas, y no tienen propiedades magnéticas notables, su valor radica en el rendimiento mecánico.

#### Propina

Otros carburos y nitruros de tungsteno, como el carburo de ditungsteno ( $W_2C$ , carburo de ditungsteno), sobresalen en resistencia al desgaste y usos a altas temperaturas; la selección debe centrarse en sus propiedades específicas para aplicaciones específicas.

#### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998 [17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000 [20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno [22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990 [2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) [4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990 [5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985 [6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990 [7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023 [8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 7: Preparación y aplicaciones de sulfuros y fosfuros de tungsteno

#### 7.1 Disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno)

[El disulfuro de tungsteno \( \$WS\_2\$ , disulfuro de tungsteno\)](#) es uno de los sulfuros más importantes dentro de la familia química del tungsteno (W, tungsteno), célebre por su estructura estratificada única, su bajo coeficiente de fricción y su excepcional lubricidad. Como lubricante sólido excepcional, el disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) encuentra amplias aplicaciones en industrias mecánicas, entornos de alta temperatura e investigación de materiales bidimensionales. Su forma de polvo o escamas de color gris oscuro a negro oculta notables capacidades de rendimiento, trazando un camino de desarrollo desde los lubricantes tradicionales hasta la nanotecnología de vanguardia, lo que demuestra las diversas contribuciones de la química del tungsteno a la ciencia de los materiales.

##### 7.1.1 Procesos de preparación

La preparación de disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) abarca una variedad de métodos, incluida la sulfuración a alta temperatura y la deposición química de vapor, diseñados para cumplir con diversos requisitos de tamaño de partícula y pureza.

##### Método de sulfuración a alta temperatura

###### (Sulfatura de polvo de tungsteno)

El método de sulfuración a alta temperatura hace reaccionar [el polvo de tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) con el polvo de azufre (S) a temperaturas que oscilan entre 600 °C y 900 °C para producir disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno), siguiendo la ecuación:  $W + 2S \rightarrow WS_2$ . Este proceso generalmente se lleva a cabo en vacío

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

o atmósfera inerte (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación, produciendo un polvo gris intenso. Después de la reacción, el producto se muele y se tamiza para lograr partículas uniformes. Ampliamente utilizado en la producción industrial debido a su simplicidad y materias primas fácilmente disponibles, este método domina la fabricación de materiales lubricantes.

### Método de deposición química de vapor (CVD)

El método de deposición química de vapor (CVD) utiliza películas delgadas [de trióxido de tungsteno \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungsteno\)](#) o [hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#) que reacciona con sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) a 400-700 °C para formar películas delgadas de disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno). Esta técnica puede producir disulfuro de tungsteno de una o varias capas ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno), lo que la hace ideal para la investigación de materiales bidimensionales y dispositivos electrónicos. La reacción ocurre en reactores especializados, lo que requiere un control preciso del flujo de gas y la temperatura para garantizar la calidad de la película.

### Método de exfoliación mecánica

El

método de exfoliación mecánica separa las nanohojas del disulfuro de tungsteno a granel ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) mediante técnicas físicas (por ejemplo, exfoliación ultrasónica o cinta adhesiva), comúnmente empleadas en laboratorios para preparar disulfuro de tungsteno de una sola capa de alta pureza ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno). Aunque tiene un rendimiento limitado, este método preserva la integridad de la estructura en capas, lo que lo hace valioso para la investigación fundamental y la exploración de la nanotecnología.

#### 7.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

El disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) presenta una estructura cristalina hexagonal en capas, con átomos de tungsteno intercalados entre dos capas de átomos de azufre, formando una unidad bidimensional similar a un "sándwich" unida por débiles fuerzas de van der Waals entre capas adyacentes. Los estudios cristalográficos alemanes indican que esta estructura estratificada da como resultado una baja resistencia al cizallamiento (coeficiente de fricción  $\sim 0.03-0.1$ ) y una alta lubricidad [16]. En su composición molecular, cada átomo de tungsteno se une covalentemente con dos átomos de azufre, con un espaciado entre capas de aproximadamente 6,18 Å, lo que contribuye a su excelente rendimiento en deslizamiento mecánico y exfoliación.

#### 7.1.3 Estabilidad térmica y química

El disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) exhibe una excelente estabilidad térmica en atmósferas inertes, soportando temperaturas de hasta aproximadamente 1200 °C sin degradación. Sin embargo, en ambientes ricos en oxígeno, se oxida por encima

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de los 350 °C para formar trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ), lo que limita su uso en condiciones oxidativas a alta temperatura. Químicamente, resiste la corrosión de ácidos y bases, pero se descompone gradualmente bajo oxidantes fuertes (por ejemplo, peróxido de hidrógeno). La investigación rusa de materiales destaca su estabilidad térmica e inercia química, lo que lo hace altamente efectivo en aplicaciones de lubricación a alta temperatura [17].

#### 7.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) varían con el grosor de la capa; el disulfuro de tungsteno de una sola capa ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) posee una banda prohibida directa (~2,0 eV), que exhibe fluorescencia, mientras que las formas multicapa tienen una banda prohibida indirecta (~1,3 eV), lo que reduce la actividad óptica. Eléctricamente, funciona como un semiconductor, con capas individuales que ofrecen una conductividad superior en comparación con las multicapas, lo que lo hace adecuado para dispositivos optoelectrónicos. Magnéticamente, el disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) no muestra propiedades significativas, y sus aplicaciones están impulsadas principalmente por la lubricidad y las características eléctricas.

#### Propina

Los métodos de preparación flexibles y la estructura en capas del disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) le dan una ventaja única en lubricación y materiales bidimensionales; La selección debe tener en cuenta el número de capas y la pureza en función de las necesidades de la aplicación.

#### 7.2 Fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno)

El fosfuro de tungsteno (WP, Tungsten Phosphor) es un compuesto formado entre tungsteno (W, tungsteno) y fósforo, con un ámbito de aplicación más limitado en comparación con el disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno), pero tiene un valor específico en catalizadores y materiales resistentes al desgaste. Su aspecto gris-negro y sus excelentes propiedades catalíticas posicionan al fosfuro de tungsteno (WP, Tungsten Phosphide) como un actor discreto pero impactante en la familia química del tungsteno, y su investigación aporta nuevas vías a la catálisis y la ciencia de los materiales.

##### 7.2.1 Procesos de preparación

La preparación de fosfuro de tungsteno (WP, Tungsten Phosphide) implica principalmente técnicas de fosfidación a alta temperatura o reducción química, que requieren un control preciso de las condiciones de reacción.

#### Método de fosfidación a alta temperatura

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **(Fosfhidación de polvo de tungsteno)**

El método de fosfida a alta temperatura hace reaccionar el polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con polvo de fósforo (P) o fosfina (PH<sub>3</sub>) a 800-1000 °C para formar fosfuro de tungsteno (WP, Tungsten Phosphor), siguiendo la ecuación:  $W + P \rightarrow WP$ . Este proceso ocurre en un reactor sellado para excluir el oxígeno, produciendo un polvo negro grisáceo. Es adecuado tanto para la producción industrial como para la producción a pequeña escala debido a su sencillo proceso y al uso de los recursos de tungsteno disponibles.

### **Método de reducción química**

#### **El método de**

reducción química prepara fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno) haciendo reaccionar trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno) con una fuente de fósforo (por ejemplo, fósforo rojo) en una atmósfera de hidrógeno a 700-900 °C. Esta técnica puede producir partículas a nanoescala, ideales para el desarrollo de catalizadores, con una cuidadosa dosificación de fósforo necesaria para evitar la formación de fosfos más bajos.

### **7.2.2 Estructura cristalina y composición molecular**

El fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno) generalmente adopta una estructura cristalina ortorrómbica, con átomos de tungsteno y fósforo unidos en una proporción de 1:1 dentro de una red covalente. Las investigaciones indican que su red relativamente densa (densidad ~12,5 g/cm<sup>3</sup>) y la incorporación de fósforo mejoran su actividad catalítica [17]. Los enlaces covalentes de tungsteno-fósforo en su composición molecular contribuyen a su alta dureza y estabilidad química.

### **7.2.3 Estabilidad térmica y química**

El fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno) permanece estable hasta aproximadamente 900 °C en atmósferas inertes, pero se oxida a trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno) y óxidos de fósforo por encima de 500 °C en condiciones ricas en oxígeno. Químicamente, resiste la corrosión de ácidos y bases, pero se descompone gradualmente bajo oxidantes fuertes, y su estabilidad respalda su rendimiento en reacciones catalíticas.

### **7.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas**

El fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno) no exhibe actividad óptica significativa, y su apariencia gris-negra carece de rasgos ópticos distintivos. Eléctricamente, es un semiconductor de banda prohibida estrecha (~0,8-1,2 eV) con conductividad moderada, adecuado como soporte de catalizador. Magnéticamente, no muestra propiedades notables, y su valor principal se deriva de las capacidades catalíticas.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Propina

La preparación de fosfuro de tungsteno (WP, Tungsten Phosphide) requiere un control preciso de la fosfiación, y su potencial en catálisis merece más atención.

### 7.3 Los demás sulfuros y fosfuros de wolframio

Además del disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno) y el fosfuro de tungsteno (WP, fosfuro de tungsteno), la familia de sulfuros y fosfos de tungsteno incluye compuestos como el trisulfuro de tungsteno ( $W_2S_3$ , trisulfuro de tungsteno) y el difosfuro de tungsteno ( $WP_2$ , difosfuro de tungsteno), que ofrecen claras ventajas en aplicaciones específicas de catálisis y alta dureza.

#### 7.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros sulfuros y fosfuros de tungsteno suele implicar técnicas de reacción a alta temperatura.

#### Método de sulfuración controlada para trisulfuro de ditungsteno ( $W_2S_3$ , Trisulfuro de ditungsteno)

El trisulfuro de ditungsteno ( $W_2S_3$ , Trisulfuro de ditungsteno) se sintetiza haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) con azufre a 500-700 °C, controlando la proporción de azufre para evitar el exceso de sulfuración.

#### Método de fosfidación a alta temperatura para difosfuro de tungsteno ( $WP_2$ , difosfuro de tungsteno)

El difosfuro de tungsteno ( $WP_2$ , difosfuro de tungsteno) se prepara haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) con exceso de fósforo a 900-1100 °C, formando un compuesto rico en fósforo.

#### 7.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El trisulfuro de ditungsteno ( $W_2S_3$ , trisulfuro de ditungsteno) presenta una estructura cristalina ortorrómbica con una proporción de tungsteno-azufre de 2:3, lo que da como resultado una red relativamente suelta. El difosfuro de tungsteno ( $WP_2$ , difosfuro de tungsteno) adopta una estructura monoclinica con una relación tungsteno-fósforo de 1:2, lo que mejora su actividad catalítica.

#### 7.3.3 Estabilidad térmica y química

El trisulfuro de ditungsteno ( $W_2S_3$ , trisulfuro de ditungsteno) permanece estable por debajo de 800 °C, pero se oxida fácilmente en condiciones ricas en oxígeno. El difosfuro de tungsteno ( $WP_2$ , difosfuro de tungsteno) soporta temperaturas de hasta aproximadamente 1000 °C, exhibiendo una fuerte estabilidad química.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 7.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El trisulfuro de tungsteno ( $W_2S_3$ , trisulfuro de tungsteno) y el difosfuro de tungsteno ( $WP_2$ , difosfuro de tungsteno) carecen de actividad óptica significativa, exhiben una conductividad eléctrica moderada adecuada para aplicaciones específicas y no muestran propiedades magnéticas notables, con su valor principalmente en el rendimiento catalítico.

#### Propina

Otros sulfuros y fosfuros de tungsteno, como el trisulfuro de tungsteno ( $W_2S_3$ , trisulfuro de ditungsteno), ofrecen beneficios únicos en catálisis; la selección debe centrarse en su composición química.

#### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22]  
Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 8:

#### Preparación y aplicaciones de compuestos organometálicos de tungsteno

##### 8.1 Hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno)

[El hexacarbonilo de tungsteno \( \$W\(CO\)\_6\$ , hexacarbonilo de tungsteno\)](#) es el compuesto organometálico más representativo del tungsteno (W, tungsteno), reconocido por su alta volatilidad, actividad química de coordinación y capacidades catalíticas en la síntesis orgánica. Como compuesto metálico clásico de carbonilo, el hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) demuestra un amplio potencial de aplicación en la preparación de catalizadores, reacciones orgánicas y deposición de película delgada. Su aspecto blanco cristalino y su olor distintivo desmienten su papel central en la química, con una trayectoria de desarrollo desde la investigación de laboratorio hasta las aplicaciones industriales que destaca la extensión de la química del tungsteno al ámbito de la química orgánica.

##### 8.1.1 Procesos de preparación

La preparación de hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) implica diversos métodos, que incluyen carbonilación a alta presión y técnicas de carbonilación reductora, adaptadas para satisfacer las diferentes necesidades de pureza y aplicación.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## Método de carbonilación a alta presión

### (Carbonilación de polvo de tungsteno)

El método de carbonilación a alta presión reacciona [con polvo de tungsteno \(W Powder, polvo de tungsteno\)](#) con monóxido de carbono (CO) a alta presión (100-200 atm) y temperaturas elevadas (200-300 °C) para producir hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno), siguiendo la ecuación:  $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$ . Este proceso requiere un autoclave de alta presión, a menudo con catalizadores (por ejemplo, yoduros) agregados para mejorar la eficiencia de la reacción. El producto precipita en forma de cristales blancos, que se purifican por sublimación para producir hexacarbonilo de tungsteno de alta pureza ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno). Este método es un pilar tanto en entornos industriales como de laboratorio debido a su franqueza y alto rendimiento.

## Método de carbonilación reductiva

### (Reducción de haluros)

El método de carbonilación reductora prepara hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) haciendo reaccionar [el hexacloruro de tungsteno \( \$WCl\_6\$ , hexacloruro de tungsteno\)](#) con monóxido de carbono en presencia de un agente reductor (por ejemplo, polvo de zinc o aluminio) a 150-250 °C. Esta reacción debe ocurrir en condiciones anhidras y libres de oxígeno para evitar la formación de subproductos. Adecuado para la producción a pequeña escala, este método aprovecha los haluros de tungsteno intermedios, mejorando la utilización de los recursos y se usa comúnmente para la síntesis de compuestos organometálicos de alta pureza.

## Método de síntesis en fase gaseosa

### (Preparación de alta pureza)

El método de síntesis en fase gaseosa consiste en hacer reaccionar tungsteno (W, tungsteno) o sus compuestos con monóxido de carbono en la fase de vapor a alta presión (50-100 atm) y temperaturas alrededor de 300 °C, formando directamente gas de tungsteno hexacarbonil ( $W(CO)_6$ , tungsteno hexacarbonil), que luego se condensa en cristales. Esta técnica se destaca en la eliminación de trazas de impurezas, produciendo hexacarbonilo de tungsteno de ultra alta pureza ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) ideal para materiales electrónicos e investigación de catalizadores de precisión.

## 8.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

El hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) adopta una estructura cristalina octaédrica, con un átomo central de tungsteno coordinado con seis ligandos de carbonilo (CO) a través de enlaces de coordinación, formando una unidad molecular simétrica  $W(CO)_6$ . Estudios cristalográficos alemanes indican que esta configuración octaédrica contribuye a su alta volatilidad (punto de fusión  $\sim 170^\circ\text{C}$ , punto de sublimación  $\sim 175^\circ\text{C}$ ), lo que la hace altamente efectiva en reacciones en fase gaseosa

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[16]. En su composición molecular, el átomo de tungsteno se encuentra en un estado de oxidación cero, con las fuertes propiedades de los ligandos de carbonilo  $\sigma$  donantes y aceptores de  $\pi$  que mejoran su estabilidad química, facilitando la coordinación o las reacciones de sustitución con otros ligandos en procesos orgánicos.

### 8.1.3 Estabilidad térmica y química

El hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) exhibe una estabilidad térmica moderada en condiciones libres de oxígeno y agua, manteniendo su estructura cristalina por debajo de aproximadamente 150 °C. Sin embargo, a temperaturas más altas o en el aire, se descompone en monóxido de carbono y óxidos de tungsteno. Químicamente, es relativamente inestable, sensible a la luz y al oxígeno, y se descompone bajo la irradiación UV o en presencia de oxígeno en tungsteno (W, tungsteno) y monóxido de carbono, lo que requiere almacenamiento y manipulación en una atmósfera inerte. La investigación química rusa destaca su alta actividad de coordinación, posicionándola como un precursor catalizador eficaz en la síntesis orgánica [17].

### 8.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) son evidentes en su apariencia cristalina blanca, resultante de transiciones electrónicas que involucran los ligandos carbonilo, aunque tiene una utilidad limitada en aplicaciones ópticas. Eléctricamente, es un aislante en su estado sólido, pero en formas gaseosas o en solución, puede exhibir una ligera conductividad debido a la descomposición. Magnéticamente, el hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) no muestra propiedades significativas, y sus aplicaciones principales dependen de su química de coordinación en lugar de características físicas.

### Propina

La preparación de hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) requiere una exclusión estricta del oxígeno y la luz; su actividad de coordinación ofrece ventajas significativas en catálisis y síntesis orgánica, con la adquisición centrada en la pureza y las condiciones de almacenamiento.

## 8.2 Dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno)

El dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno) es un compuesto organometálico clave de tungsteno, que se distingue por su estructura metalocénica estable y su reactividad en la química organometálica. Como miembro de la familia de los metalocenos, el dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno) tiene un valor único en la preparación de catalizadores, la síntesis orgánica y la investigación en ciencia de los materiales. Su apariencia cristalina verde y su versatilidad química lo distinguen entre los productos químicos de tungsteno, y su estudio avanza en la aplicación de compuestos organometálicos de tungsteno en la química moderna.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 8.2.1 Procesos de preparación

La preparación de dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno) se basa principalmente en técnicas de reacción de coordinación, realizadas en condiciones anhidras y sin oxígeno para garantizar la calidad del producto.

### Método de coordinación de haluros

**El método de coordinación de haluros sintetiza dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno)** haciendo reaccionar hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) con ciclopentadieniuro de sodio (NaCp) en un disolvente como el tetrahidrofurano (THF) a temperaturas que oscilan entre  $-78\text{ }^\circ\text{C}$  y temperatura ambiente, siguiendo la ecuación:  $WCl_6 + 2NaCp \rightarrow Cp_2WCl_2 + 2NaCl + 2Cl_2$ . Este proceso requiere una atmósfera inerte (por ejemplo, nitrógeno o argón), con el producto de la reacción extraído y recristalizado para producir cristales verdes. Este método, predominante en la síntesis de laboratorio, permite un control preciso de la coordinación de ligandos, ideal para la producción de dicloruro de tungstenoceno de alta pureza ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno).

### Método de coordinación reductivo

**El método de coordinación reductor prepara dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno)** haciendo reaccionar trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) con un agente reductor (p. ej., polvo de zinc) y ciclopentadieno ( $C_5H_6$ ) en presencia de un agente clorador (p. ej.,  $PCl_5$ ) a  $100\text{-}150\text{ }^\circ\text{C}$ . Realizado en condiciones anhidras, el producto se obtiene a través de la extracción y purificación con solventes. Este método se adapta a la producción a pequeña escala, aprovechando las materias primas de óxido para reducir costos, y se usa comúnmente en la investigación de química organometálica.

## 8.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El dicloruro de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloruro de tungstenoceno) adopta una estructura cristalina de tipo sándwich, con dos ligandos de ciclopentadienilo (Cp) paralelos entre sí alrededor de un átomo central de tungsteno, y dos átomos de cloro colocados en el lado opuesto, formando una estructura de cuatro coordenadas. La investigación química japonesa indica que esta configuración de sándwich mejora su estabilidad (se descompone a  $\sim 230\text{ }^\circ\text{C}$ ), con tungsteno en el estado de oxidación +4 y las nubes de  $\pi$  electrones de los ligandos de ciclopentadienilo formando fuertes enlaces de coordinación con el tungsteno [20]. La composición molecular, con ligandos Cp, le confiere su carácter organometálico, lo que permite una alta reactividad en los procesos catalíticos.

## 8.2.3 Estabilidad térmica y química

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El dicloruro de tungstenoceno ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , dicloruro de tungstenoceno) exhibe una buena estabilidad térmica en condiciones libres de oxígeno, conservando su estructura por debajo de aproximadamente 200 °C. Sin embargo, en presencia de oxígeno o humedad, se descompone en óxidos de tungsteno y subproductos orgánicos, lo que requiere almacenamiento en una atmósfera inerte. Químicamente, tiene una estabilidad moderada, siendo sensible al agua y a los oxidantes, y su estructura de coordinación contribuye a una reactividad significativa en las reacciones orgánicas, como se ha observado en estudios de investigación [21].

#### 8.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del dicloruro de tungstenoceno ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , dicloruro de tungstenoceno) se reflejan en su apariencia cristalina verde, que surge de las transiciones de electrones d del átomo de tungsteno, aunque carece de una utilidad óptica significativa. Eléctricamente, es un aislante en su estado sólido sin conductividad notable. Magnéticamente, el dicloruro de tungstenoceno ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , dicloruro de tungstenoceno) no muestra propiedades significativas debido al emparejamiento de los electrones d del tungsteno, y sus aplicaciones están impulsadas principalmente por la reactividad química en lugar de los rasgos físicos.

#### Propina

La preparación de dicloruro de tungstenoceno ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , dicloruro de tungstenoceno) requiere condiciones anhidras y libres de oxígeno; su estructura sándwich estable ofrece potencial en catálisis organometálica, con una adquisición que enfatiza la pureza y la estabilidad.

### 8.3 Otros compuestos organometálicos de wolframio

Más allá del hexacarbonilo de tungsteno ( $\text{W}(\text{CO})_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) y el dicloruro de tungstenoceno ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , dicloruro de tungstenoceno), la familia de compuestos organometálicos de tungsteno incluye tetracarbonilo de tungstenoceno ( $\text{CpW}(\text{CO})_4$ , tetracarbonilo de tungsteno) y compuestos de alquilo tungsteno (por ejemplo,  $\text{W}(\text{CH}_3)_6$ , hexametiltungsteno), que tienen un valor específico en la investigación de catálisis y síntesis orgánica.

#### 8.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros compuestos organometálicos de tungsteno suele implicar técnicas de síntesis de laboratorio con un control preciso de las condiciones de reacción.

#### Método de coordinación de carbonilo para el tetracarbonilo de tungstenoceno ( $\text{CpW}(\text{CO})_4$ , tetracarbonilo de tungstenoceno)

El tetracarbonilo de tungstenoceno ( $\text{CpW}(\text{CO})_4$ , tetracarbonilo de tungstenoceno) se sintetiza haciendo reaccionar dicloruro de tungstenoceno ( $\text{Cp}_2\text{WCl}_2$ , dicloruro de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstenoceno) con monóxido de carbono a alta presión (50-100 atm) y bajas temperaturas (0-50 °C), evitando el exceso de carbonilación para garantizar el producto deseado.

### Método de alquilación para hexametiltungsteno

#### (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexametiltungsteno)Hexametiltungsteno

(W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexametiltungsteno) se prepara haciendo reaccionar hexacloruro de tungsteno (WCl<sub>6</sub>, Hexacloruro de tungsteno) con metililitio (CH<sub>3</sub>Li) a -78 °C en condiciones extremadamente secas, lo que requiere un manejo meticuloso debido a su inestabilidad.

### 8.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El tetracarbonilo de tungstenoceno (CpW(CO)<sub>4</sub>, tetracarbonilo de tungstenoceno) presenta una estructura de coordinación monociclopentadienilo, con tungsteno unido a un ligando de Cp y cuatro ligandos de CO, formando una disposición de cinco coordenadas. El hexametiltungsteno (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexametiltungsteno) adopta una estructura octaédrica, con seis ligandos metilo que rodean el átomo de tungsteno, aunque su estabilidad es notablemente baja.

### 8.3.3 Estabilidad térmica y química

El tetracarbonilo de tungstenoceno (CpW(CO)<sub>4</sub>, tetracarbonilo de tungstenoceno) es estable por debajo de 150 °C, pero se descompone fácilmente en entornos ricos en oxígeno. El hexametiltungsteno (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Hexametiltungsteno) es extremadamente inestable, se descompone a temperatura ambiente y requiere almacenamiento a bajas temperaturas.

### 8.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El tetracarbonilo de tungstenoceno (CpW(CO)<sub>4</sub>, tetracarbonilo de tungstenoceno) y el hexametiltungsteno (W(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, hexametiltungsteno) no exhiben actividad óptica significativa, son aislantes eléctricos y carecen de propiedades magnéticas notables, con su valor principalmente en la actividad catalítica en lugar de las características físicas.

### Propina

Otros compuestos organometálicos de tungsteno ofrecen potencial en la investigación de catálisis; La selección debe centrarse en su estabilidad y reactividad.

### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno[22] Industria de tungsteno de China:  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referencias

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- [1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925
- [12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 9

## Preparación y aplicaciones de catalizadores y reactivos que contienen tungsteno

### 9.1 Ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico)

El ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) es uno de los catalizadores y reactivos que contienen tungsteno más representativos y ampliamente aplicados, reconocido por su fuerte acidez, alta actividad catalítica y estabilidad en diversas reacciones. Como ácido heteropólico típico, el ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) sobresale en la síntesis orgánica, los procesos petroquímicos y la química analítica. Su apariencia cristalina de color blanco o amarillo pálido oculta su papel fundamental en la catálisis, con una trayectoria de desarrollo desde estudios de laboratorio hasta aplicaciones industriales que subraya el profundo impacto de la química del tungsteno en el dominio catalítico.

#### 9.1.1 Procesos de preparación

La preparación del ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) abarca diversos métodos, incluidas las técnicas de purificación de precipitación y extracción ácida, adaptadas para cumplir con los diferentes requisitos de pureza y aplicación.

#### Método de precipitación ácida

El

método de precipitación ácida consiste en hacer reaccionar tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) en condiciones ácidas (normalmente ajustadas a pH 1-2 con ácido clorhídrico o sulfúrico) para formar ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico). La ecuación de reacción es:  $12Na_2WO_4 + H_3PO_4 + 21HCl \rightarrow H_3PW_{12}O_{40} + 24NaCl + 12H_2O$ . Conducido a 50-80°C, el producto precipita como cristales blancos o amarillo pálido, que se filtran, lavan y secan (a ~100-150°C) para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

obtener el producto final. La simplicidad de este método y el uso de materias primas accesibles lo hacen frecuente tanto en entornos industriales como de laboratorio.

### Método de purificación de extracción

El

método de purificación de extracción prepara ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) mediante la acidificación de una solución que contiene tungsteno (por ejemplo, solución de tungstato) con ácido fosfórico, seguido de la extracción con un solvente orgánico (por ejemplo, éter dietílico o butanona) y la posterior evaporación y cristalización del solvente para producir un producto puro. Esta técnica elimina eficazmente las impurezas, produciendo ácido fosfotúngstico de alta pureza ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico), comúnmente utilizado en reactivos analíticos e investigación de catalizadores de precisión en entornos de laboratorio.

### Método de intercambio iónico

#### (Preparación de alta pureza)

El método de intercambio iónico mezcla una solución de tungstato con ácido fosfórico, la pasa a través de una resina de intercambio iónico para aislar los iones fosfotungstato y luego acidifica la solución para precipitar ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico). Este método sobresale en el control de trazas de impurezas, lo que lo hace adecuado para la preparación de productos de ultra alta pureza, a menudo empleado en catálisis avanzada y estudios científicos.

### 9.1.2 Estructura cristalina y composición molecular

El ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) adopta una estructura de ácido heteropólico de tipo Keggin, con un átomo de fósforo central rodeado por 12 octaedros de tungsteno-oxígeno, formando una molécula en forma de jaula altamente simétrica. Los estudios cristalográficos alemanes revelan que esta estructura imparte una fuerte acidez ( $pK_a < 0$ ) y una alta actividad catalítica, y que el cristal suele contener múltiples moléculas de agua (comúnmente  $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ ,  $n \approx 14-30$ ) [16]. En su composición molecular, el tungsteno se encuentra en el estado de oxidación +6, el fósforo en el estado +5, unido a través de puentes de oxígeno para crear un marco tridimensional estable que mantiene la integridad en diversas condiciones de reacción.

### 9.1.3 Estabilidad térmica y química

El ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) exhibe una buena estabilidad térmica en condiciones secas, conservando su estructura por debajo de aproximadamente 300 °C, por encima de la cual pierde agua cristalina y se descompone gradualmente en trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) y óxidos de fósforo. Químicamente, es excepcionalmente estable en ambientes ácidos, pero se descompone en tungstatos y fosfatos en condiciones fuertemente alcalinas. La investigación rusa sobre catálisis destaca

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

su fuerte acidez y estabilidad, lo que la hace muy eficaz en las reacciones catalizadas por ácido [17].

#### 9.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) son normales, con sus cristales blancos o amarillo pálido que carecen de actividad óptica significativa, sirviendo principalmente para fines químicos en lugar de ópticos. Eléctricamente, es un aislante en su estado sólido, pero exhibe conductividad iónica en solución debido a su fuerte acidez. Magnéticamente, el ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) no muestra propiedades notables, y su valor se basa en su rendimiento catalítico y acidez.

#### Propina

Los métodos de preparación flexibles y la fuerte acidez del ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) ofrecen ventajas significativas en la catálisis; la adquisición debe considerar su pureza y estado de hidratación.

#### 9.2 Ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico)

El ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstico) es otro heteropolitécnico crucial que contiene tungsteno, que se distingue por su alta acidez, actividad redox y versatilidad en la síntesis orgánica y las reacciones catalíticas. Como ácido heteropólico de tipo Keggin, el ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstico) encuentra amplias aplicaciones en catálisis ácida, reacciones de oxidación e investigación de pilas de combustible. Su apariencia cristalina incolora o de color amarillo claro oculta sus potentes capacidades catalíticas, y su estudio y aplicación amplían las fronteras de la química del tungsteno en los campos de la química verde y la energía.

##### 9.2.1 Procesos de preparación

La preparación de ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico) implica principalmente técnicas de reacción y extracción ácidas, realizadas en condiciones ácidas.

##### Método de reacción ácida

##### (Reacción de silicato de sodio y tungstato)

El método de reacción ácida sintetiza ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico) haciendo reaccionar silicato de sodio ( $Na_2SiO_3$ ) con tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) en una solución ácida (ajustada a pH 1-2 con ácido clorhídrico) a 60-90°C, siguiendo la ecuación:  $12Na_2WO_4 + Na_2SiO_3 + 22HCl \rightarrow H_4SiW_{12}O_{40} + 26NaCl + 11H_2O$ . El producto precipita en forma de cristales, que se filtran y se secan (a ~100-120°C) para obtener el compuesto final. La accesibilidad y el proceso

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

maduro de este método lo hacen ampliamente utilizado en la producción industrial y de laboratorio.

### Método de extracción (purificación de la solución)

El método de extracción consiste en acidificar una solución mixta que contiene tungsteno y silicio, extraer ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico) con un solvente orgánico (por ejemplo, éter dietílico) y evaporar el solvente seguido de la cristalización para producir un producto puro. Esta técnica elimina eficazmente las impurezas, produciendo ácido silicotungstico de alta pureza ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico), empleado con frecuencia en la investigación de catalizadores.

### 9.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstico) presenta una estructura de ácido heteropólico de tipo Keggin, con un átomo central de silicio rodeado por 12 octaedros de tungsteno-oxígeno, formando una molécula simétrica en forma de jaula. Los estudios indican que esta estructura proporciona una acidez extremadamente fuerte ( $pK_a < 0$ ) y capacidades redox, con el cristal que generalmente contiene múltiples moléculas de agua (comúnmente  $H_4SiW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ ,  $n \approx 14-24$ ) [19]. En su composición molecular, el tungsteno se encuentra en el estado de oxidación +6, el silicio en el estado +4, conectado a través de puentes de oxígeno para formar un marco tridimensional robusto.

### 9.2.3 Estabilidad térmica y química

El ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstico) mantiene una buena estabilidad térmica en condiciones secas, conservando su estructura por debajo de aproximadamente 350 °C, más allá de la cual pierde agua cristalina y se descompone en óxidos. Químicamente, es estable en ambientes ácidos, pero se descompone en silicatos y tungstatos en condiciones alcalinas fuertes. Su alta acidez y estabilidad lo hacen altamente efectivo en diversas reacciones catalíticas.

### 9.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstico) son normales, con sus cristales incoloros o de color amarillo claro que carecen de actividad óptica significativa. Eléctricamente, es un aislante en forma sólida, pero exhibe conductividad iónica en solución debido a su fuerte acidez. Magnéticamente, el ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstálico) no muestra propiedades notables, y sus aplicaciones están impulsadas principalmente por sus atributos catalíticos.

### Propina

La preparación sencilla y la alta acidez y actividad redox del ácido silicotungstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotungstico) ofrecen potencial en catálisis; la adquisición debe

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

centrarse en la pureza y el estado de hidratación.

### 9.3 Otros catalizadores y reactivos que contienen wolframio

Más allá del ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) y el ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico), la familia de catalizadores y reactivos que contienen tungsteno incluye compuestos como el tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) y el tungstato de amonio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio), que tienen un valor específico en catálisis, fotocatálisis y aplicaciones analíticas.

#### 9.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros catalizadores y reactivos que contienen tungsteno suele implicar reacciones en solución o técnicas de síntesis en fase sólida.

##### Método de reacción en fase sólida para tungstato de zinc

El tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) se sintetiza haciendo reaccionar tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) con sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) a altas temperaturas (800-1000 °C) en una reacción en fase sólida, seguida de enfriamiento y molienda para obtener el producto.

##### Método de neutralización para tungstato de amonio

**$(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio)El**

tungstato de amonio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio) se prepara neutralizando el ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstónico) con amoníaco a temperatura ambiente, seguido de una recristalización para purificar el compuesto.

#### 9.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) adopta una estructura cristalina monoclinica, con átomos de tungsteno y zinc unidos a través de puentes de oxígeno para formar una red. El tungstato de amonio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio) presenta una estructura ortorrómbica, con tungsteno y oxígeno formando una unidad tetraédrica estabilizada por iones de amonio.

#### 9.3.3 Estabilidad térmica y química

El tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) permanece estable por debajo de 1000 °C y exhibe una alta estabilidad química. El tungstato de amonio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio) se descompone alrededor de 200 °C en trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), con una estabilidad relativamente menor.

#### 9.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) exhibe fluorescencia (banda prohibida ~ 3.8 eV), es un aislante eléctrico y carece de propiedades magnéticas. Tungstato de amonio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amonio) no muestra actividad óptica, es un aislante y no tiene rasgos magnéticos significativos.

### Propina

Otros catalizadores que contienen tungsteno, como el tungstato de zinc ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinc) ofrecen potencial en la fotocatalisis; la selección debe centrarse en sus propiedades específicas.

---

### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Chinatungsten Online

### WeChat Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno? Capítulo 10: Preparación y aplicaciones de productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

### 10.1 Nanopartículas de tungstato de sodio

(Nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de sodio)

#### Nanopartículas de tungstato de sodio

( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles) representan uno de los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) más prometedores en el campo farmacéutico, ganando atención por su bioactividad, propiedades antioxidantes y características a nanoescala. Como nanomaterial que contiene tungsteno, las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) exhiben un potencial significativo en la investigación antidiabética, anticancerígena y antibacteriana. Su forma de nanopartícula blanca o transparente esconde una promesa biomédica sustancial, con un arco de desarrollo desde los estudios fundamentales hasta la exploración clínica que subraya los avances innovadores de la química del tungsteno en la medicina.

#### 10.1.1 Procesos de preparación

La preparación de nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) abarca una variedad de métodos, incluidas las técnicas de precipitación en solución y microemulsión, diseñadas para cumplir con diversos requisitos de tamaño de partícula y aplicación biomédica.

#### Método de precipitación de la solución

El método de precipitación en solución consiste en mezclar una [solución de tungstato de sodio \( \$\text{Na}\_2\text{WO}\_4\$ , tungstato de sodio\)](#) con un tensioactivo (por ejemplo, polivinilpirrolidona,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

PVP) y agregar un agente ácido o básico (por ejemplo, HCl o NaOH) a temperatura ambiente o a temperaturas ligeramente elevadas (25-50 °C) para ajustar el pH a 6-8, formando nanopartículas de tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanopartículas de Tungstato de Sodio). La reacción requiere una adición lenta para controlar el crecimiento de partículas, con el producto separado por centrifugación y secado (a ~ 60-80 °C). La simplicidad y el bajo costo de este método hacen que sea ampliamente adoptado en los laboratorios para las preparaciones iniciales de investigación biomédica.

### **Método de microemulsión**

#### **EI**

método de microemulsión prepara nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) dentro de un sistema de microemulsión de agua en aceite (p. ej., agua/n-hexano/surfactante), haciendo reaccionar el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) con un agente precipitante (p. ej., amoníaco) en condiciones suaves (20-40 °C). Las gotas a nanoescala en la microemulsión restringen el crecimiento de partículas, y el producto se lava y seca a bajas temperaturas (~50 °C) para su purificación. Esta técnica produce nanopartículas uniformes (<50 nm), adecuadas para aplicaciones farmacéuticas de alta precisión.

### **Método solvotérmico**

#### **EI**

método solvotérmico sintetiza nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) haciendo reaccionar una solución de tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) con un disolvente orgánico (por ejemplo, etilenglicol) en un autoclave de alta presión a 150-200 °C. Se controla la duración de la reacción (4-12 horas) y la presión, y se purifica el producto mediante centrifugación y secado. Este método produce nanopartículas de alta pureza y tamaño uniforme, ideales para aplicaciones de portadores de fármacos en la investigación biomédica.

### **10.1.2 Estructura cristalina y composición molecular**

Las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) suelen conservar la estructura cristalina ortorrómbica del tungstato de sodio, con átomos de tungsteno coordinados con cuatro átomos de oxígeno formando una unidad tetraédrica ( $\text{WO}_4^{2-}$ ), estabilizada por dos átomos de sodio a través de enlaces iónicos. Su tamaño a nanoescala (normalmente 10-100 nm) amplifica los efectos de la superficie, aumentando el área de superficie específica y los sitios activos. Los estudios indican que esta estructura se mantiene estable a nanoescala, con el tungsteno en el estado de oxidación +6, lo que facilita las interacciones con las biomoléculas [16].

### **10.1.3 Estabilidad térmica y química**

Las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

tungstato de sodio) exhiben una buena estabilidad térmica por debajo de aproximadamente 300 °C, más allá de la cual pierden agua cristalina y se transforman en una forma anhidra o se descomponen en trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno). Químicamente, son estables dentro del rango de pH fisiológico (6-8) pero se descomponen en ácido tungstico o tungstatos en condiciones ácidas o alcalinas fuertes. La investigación rusa de nanomateriales señala que su estabilidad química contribuye a una baja toxicidad en entornos biológicos [17].

#### 10.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas de las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $Na_2WO_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) son normales, con su apariencia blanca o transparente que carece de actividad óptica específica, sirviendo principalmente para fines farmacéuticos en lugar de ópticos. Eléctricamente, son aislantes en forma sólida, pero exhiben cierta conductividad iónica en solución debido a la disociación iónica. Magnéticamente, las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $Na_2WO_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) no muestran propiedades significativas, y sus aplicaciones están impulsadas por la bioactividad más que por las características físicas.

#### Propina

Los diversos métodos de preparación y la bioactividad de las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $Na_2WO_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) ofrecen potencial en la investigación antidiabética; la adquisición debe priorizar el tamaño y la pureza de las partículas para garantizar la biocompatibilidad.

#### 10.2 Nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado)

Las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) son una clase emergente de productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno, reconocidos por su estructura polioxogénica, propiedades antioxidantes y bioactividad. Como polioxometalatos a nanoescala, las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) demuestran ser muy prometedoras en la investigación contra el cáncer, los antivirales y la administración de fármacos. Su apariencia variada (generalmente nanopartículas blancas o de color claro) oculta propiedades químicas complejas, con estudios en curso que avanzan en el papel de la química del tungsteno en aplicaciones biomédicas.

##### 10.2.1 Procesos de preparación

La preparación de nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) implica principalmente la polimerización en solución y la nanotecnología, lo que requiere un control preciso de las condiciones de reacción.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Método de polimerización en solución (polimerización de tungstato)**

El método de polimerización en solución hace reaccionar el tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) o [el paratungstato de amonio \(APT,  \$\(\text{NH}\_4\)\_2\text{WO}\_4\$ , paratungstato de amonio\)](#) en condiciones ácidas (pH 2-4) a 60-90 °C para formar nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado). El pH se ajusta gradualmente para promover la polimerización de iones de tungstato en estructuras polioxo, con el producto separado por centrifugación y secado (a ~ 80 °C). La simplicidad de este método hace que sea ampliamente utilizado en la investigación de laboratorio.

### **Método de nanoemulsión (control del tamaño de partícula)**

El método de nanoemulsión sintetiza nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) en un sistema de emulsión de agua en aceite (por ejemplo, agua/ciclohexano/surfactante), haciendo reaccionar el tungstato con un agente acidificante a 40-60 °C. Las gotas de emulsión a nanoescala restringen el crecimiento de partículas, y el producto se lava y seca a bajas temperaturas (~50 °C) para su purificación. Esta técnica produce nanopartículas de tamaño uniforme (10-50 nm), adecuadas para la investigación farmacéutica.

## **10.2.2 Estructura cristalina y composición molecular**

Las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) suelen exhibir estructuras polioxo de tipo Keggin o Dawson, con múltiples octaedros de tungsteno-oxígeno unidos por puentes de oxígeno para formar una molécula compleja en forma de jaula. Su tamaño a nanoescala (típicamente 20-100 nm) aumenta los sitios activos superficiales, con el tungsteno en el estado de oxidación +6, mejorando las interacciones con las biomoléculas [19].

## **10.2.3 Estabilidad térmica y química**

Las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) son estables por debajo de aproximadamente 400 °C, descomponiéndose en trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) a temperaturas más altas. Químicamente, permanecen estables en ambientes ácidos y neutros, pero se descomponen en monotungstatos en condiciones alcalinas fuertes, lo que respalda sus aplicaciones biomédicas.

## **10.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas**

Las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado) carecen de actividad óptica significativa, y su apariencia no muestra rasgos ópticos distintivos. Eléctricamente, son aislantes en forma sólida, pero exhiben conductividad iónica en solución. Magnéticamente, no muestran propiedades notables, con su valor principalmente en la bioactividad.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Propina

La estructura polioxogénica de las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstado) tiene potencial en la investigación contra el cáncer; La selección debe tener en cuenta el tamaño de partícula y la estabilidad química.

### 10.3 Otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

Más allá de las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) y las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstado), otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno incluyen nanopartículas de tungstato de calcio (nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de calcio) y nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno), que ofrecen un valor específico en bioimagen y fármacos entrega.

#### 10.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno suele emplear técnicas de nanotecnología.

#### Método de precipitación para nanopartículas de tungstato de calcio

##### Las

nanopartículas de tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$  Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) se sintetizan haciendo reaccionar [tungstato de calcio \( \$\text{CaWO}\_4\$ , Calcium Tungstat\)](#) con un surfactante en solución a 40-60 °C, seguido de una centrifugación para su purificación.

Método solvotérmico para nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno)

#### Nanopartículas de trióxido de tungsteno

( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) se preparan haciendo reaccionar un tungstato en etilenglicol a 180-220 °C, con el producto purificado mediante secado.

#### 10.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

##### Nanopartículas de tungstato de calcio

(Nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de calcio) adoptan una estructura cristalina tetragonal, con tungsteno y oxígeno formando una unidad tetraédrica. Las nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno) presentan una estructura monoclinica, con tungsteno y oxígeno formando una red octaédrica.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 10.3.3 Estabilidad térmica y química

#### Nanopartículas de tungstato de calcio

(Nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de calcio) permanecen estables por debajo de  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  y exhiben una alta estabilidad química. Las nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno) son estables hasta aproximadamente  $500\text{ }^\circ\text{C}$  y resisten la corrosión de manera efectiva.

### 10.3 Otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

Más allá de las nanopartículas de tungstato de sodio (nanopartículas de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , nanopartículas de tungstato de sodio) y las nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungestado), otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno incluyen nanopartículas de tungstato de calcio (nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de calcio) y nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno), que ofrecen un valor específico en bioimagen y fármacos entrega.

#### 10.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno suele emplear técnicas de nanotecnología.

#### Método de precipitación para nanopartículas de tungstato de calcio

##### Las

nanopartículas de tungstato de calcio ( $\text{CaWO}_4$  Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) se sintetizan haciendo reaccionar [tungstato de calcio \( \$\text{CaWO}\_4\$ , Calcium Tungstat\)](#) con un surfactante en solución a  $40\text{-}60\text{ }^\circ\text{C}$ , seguido de una centrifugación para su purificación.

Método solvotérmico para nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno)

#### Nanopartículas de trióxido de tungsteno

( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) se preparan haciendo reaccionar un tungstato en etilenglicol a  $180\text{-}220\text{ }^\circ\text{C}$ , con el producto purificado mediante secado.

### 10.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

#### Nanopartículas de tungstato de calcio

(Nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de calcio) adoptan una estructura cristalina tetragonal, con tungsteno y oxígeno formando una unidad tetraédrica. Las nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno) presentan una estructura monoclinica, con tungsteno y oxígeno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

formando una red octaédrica.

### 10.3.3 Estabilidad térmica y química

#### Nanopartículas de tungstato de calcio

(Nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de calcio) permanecen estables por debajo de  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  y exhiben una alta estabilidad química. Las nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno) son estables hasta aproximadamente  $500\text{ }^\circ\text{C}$  y resisten la corrosión de manera efectiva.

### 10.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

#### Nanopartículas de tungstato de calcio

(Nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de calcio) exhiben fluorescencia, son aislantes eléctricos y carecen de propiedades magnéticas. Las nanopartículas de trióxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno) poseen actividad fotocatalítica, funcionan eléctricamente como semiconductores y no muestran rasgos magnéticos.

#### Propina

Otros productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno ofrecen potencial en bioimagen; La selección debe centrarse en sus propiedades ópticas y biocompatibilidad.

#### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998 [17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000 [20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno [22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990 [2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) [4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990 [5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985 [6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990 [7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023 [8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810 [9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870 [10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890 [11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925 [12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) -

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018

[15] Industria del tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22]

Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno? Capítulo 11: Preparación y aplicaciones de Otros compuestos no metálicos que contienen tungsteno

### 11.1 Diseleniuro de tungsteno (WSe<sub>2</sub>, Diseleniuro de tungsteno)

[El diseleniuro de tungsteno \(WSe<sub>2</sub>, diseleniuro de tungsteno\)](#) es uno de los compuestos no metálicos más representativos del tungsteno (W, tungsteno), reconocido por su estructura en capas, propiedades semiconductoras y rendimiento optoelectrónico. Como diseleniuro de metal de transición bidimensional, el diseleniuro de tungsteno (WSe<sub>2</sub>, diseleniuro de tungsteno) exhibe un amplio potencial de aplicación en dispositivos electrónicos, componentes optoelectrónicos y sistemas de almacenamiento de energía. Su forma cristalina o en escamas de color gris intenso a negro oculta propiedades fisicoquímicas excepcionales, con una trayectoria de desarrollo que va desde la investigación fundamental hasta las aplicaciones de alta tecnología que destacan las importantes contribuciones de la química del tungsteno a la ciencia de los materiales emergentes.

#### 11.1.1 Procesos de preparación

La preparación de diseleniuro de tungsteno (WSe<sub>2</sub>, Diseleniuro de tungsteno) implica varios métodos, incluida la selenización a alta temperatura y la deposición química de vapor, adaptados para satisfacer diferentes necesidades morfológicas y de aplicación.

##### Método de selenización a alta temperatura (Selenización en polvo de tungsteno)

El método de selenización a alta temperatura reacciona [el polvo de tungsteno \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) con el polvo de selenio (Se) a 700-1000 °C para producir diseleniuro de tungsteno (WSe<sub>2</sub>, Tungsten Diselenide), siguiendo la ecuación:  $W + 2Se \rightarrow WSe_2$ . Este

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proceso se lleva a cabo en vacío o en una atmósfera inerte (por ejemplo, argón) para evitar la oxidación, produciendo un producto cristalino de color gris oscuro. Después de la reacción, el material se muele y se tamiza para obtener partículas uniformes. Ampliamente aplicado tanto en entornos industriales como de laboratorio debido a su simplicidad y materiales primas accesibles, este método es adecuado para la producción de material a granel.

#### **Método de deposición química de vapor (CVD)**

El método de deposición química de vapor (CVD) utiliza películas delgadas [de trióxido de tungsteno \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungsteno\)](#) o [hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#) que reaccionan con vapor de selenio a 600-800 °C para formar películas delgadas de diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno). Esta técnica, que se lleva a cabo en reactores especializados, requiere un control preciso del flujo de vapor de selenio y la temperatura del sustrato para producir diseleniuro de tungsteno de una o varias capas ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno), ideal para dispositivos optoelectrónicos e investigación de materiales bidimensionales.

#### **Método de exfoliación mecánica (preparación monocapa)**

El método de exfoliación mecánica separa las escamas de una o pocas capas del diseleniuro de tungsteno a granel ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno) utilizando técnicas físicas (por ejemplo, exfoliación ultrasónica o cinta adhesiva), comúnmente empleadas en laboratorios para preparar monocapas de alta pureza. Aunque tiene un rendimiento limitado, este método preserva la integridad de la estructura en capas, lo que lo hace valioso para la investigación fundamental y el desarrollo de nanotecnología.

### **11.1.2 Estructura cristalina y composición molecular**

El diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno) presenta una estructura cristalina de capas hexagonales, con átomos de tungsteno intercalados entre dos capas de selenio, formando unidades bidimensionales unidas por débiles fuerzas de van der Waals entre capas adyacentes. Los estudios cristalográficos alemanes indican que esta estructura en capas imparte excelentes propiedades semiconductoras, con una banda prohibida directa de ~1,6 eV para monocapas y una banda prohibida indirecta de ~1,2 eV para multicapas, y un espaciado entre capas de aproximadamente 6,5Å [16]. En su composición molecular, el tungsteno se une covalentemente con dos átomos de selenio, mejorando sus características eléctricas y optoelectrónicas.

### **11.1.3 Estabilidad térmica y química**

El diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno) exhibe una estabilidad térmica excepcional en atmósferas inertes, soportando temperaturas de hasta aproximadamente 1100 °C sin degradación. Sin embargo, en ambientes ricos en oxígeno por encima de 400 °C, se oxida en trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) y

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

óxidos de selenio, lo que limita su uso en condiciones oxidativas a alta temperatura. Químicamente, resiste la corrosión de ácidos y bases, pero se descompone gradualmente bajo oxidantes fuertes (por ejemplo, peróxido de hidrógeno). La investigación rusa sobre materiales destaca su estabilidad y naturaleza estratificada, lo que la hace muy eficaz en aplicaciones de dispositivos electrónicos [17].

#### 11.1.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Las propiedades ópticas del diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno) varían con el grosor de la capa; las monocapas exhiben una banda prohibida directa ( $\sim 1,6$  eV) con fluorescencia, mientras que las multicapas tienen una banda prohibida indirecta ( $\sim 1,2$  eV), lo que reduce la actividad óptica. Eléctricamente, funciona como un semiconductor, con monocapas que ofrecen una conductividad superior en comparación con las multicapas, adecuadas para fotodetectores y transistores. Magnéticamente, el diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno) no muestra propiedades significativas, y sus aplicaciones están impulsadas principalmente por el rendimiento optoelectrónico y eléctrico.

#### Propina

Los métodos de preparación flexibles y la estructura en capas del diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , diseleniuro de tungsteno) le dan una ventaja significativa en los dispositivos optoelectrónicos; la selección debe considerar el recuento de capas y la pureza en función de las necesidades de la aplicación.

### 11.2 Fitlururo de tungsteno ( $WTe_2$ , Ftellururo de tungsteno)

El diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride) es otro compuesto no metálico clave que contiene tungsteno, que se distingue por sus propiedades semimetálicas únicas y su estructura bidimensional en capas. Como diteluro de metal de transición, el diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride) tiene un potencial de aplicación sustancial en dispositivos electrónicos, materiales topológicos e investigación energética. Su apariencia cristalina o en escamas de color negro grisáceo refleja propiedades físicas complejas, y su estudio amplía el alcance de la química del tungsteno en la ciencia de materiales avanzados.

#### 11.2.1 Procesos de preparación

La preparación de diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride) implica principalmente técnicas de telurización a alta temperatura y deposición en fase de vapor, que requieren un control preciso de las condiciones de reacción.

#### Método de telurización a alta temperatura (tellurización de polvo de tungsteno)

El método de telurización a alta temperatura reacciona el polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con el polvo de telurio (Te) a  $800-1100$  °C para formar diteluro de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride), siguiendo la ecuación:  $W + 2Te \rightarrow WTe_2$ . Este proceso se lleva a cabo en vacío o atmósfera inerte para producir un producto cristalino de color negro grisáceo. Adecuado tanto para la producción industrial como para la de laboratorio, este método aprovecha su simplicidad y sus materias primas accesibles.

### Método de deposición química de vapor (CVD)

El método de deposición química de vapor sintetiza películas delgadas de diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , diteluro de tungsteno) haciendo reaccionar trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) o hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) con vapor de telurio a 600-900 °C. Es necesario un control preciso del flujo de vapor de telurio y la temperatura del sustrato, lo que hace que esta técnica sea ideal para la preparación de materiales bidimensionales, comúnmente utilizada en la investigación de dispositivos electrónicos.

### 11.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride) adopta una estructura cristalina ortorrómbica distorsionada, con átomos de tungsteno y telurio formando una red estratificada que se mantiene unida por débiles fuerzas de van der Waals entre capas adyacentes. Las investigaciones indican que sus propiedades semimetálicas se derivan de una estructura electrónica única, con una relación de tungsteno-telurio de 1:2 y un espaciado entre capas de aproximadamente 7Å [19]. Los enlaces covalentes de tungsteno-telurio mejoran su conductividad y estabilidad.

### 11.2.3 Estabilidad térmica y química

El diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , diteluro de tungsteno) permanece estable hasta aproximadamente 1000 °C en atmósferas inertes, pero se oxida en trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) por encima de 450 °C en condiciones ricas en oxígeno. Químicamente, exhibe una resistencia moderada a ácidos y bases, pero se descompone bajo oxidantes fuertes, lo que respalda su uso en aplicaciones de materiales electrónicos.

### 11.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride) carece de actividad óptica significativa, y su apariencia gris-negra no muestra rasgos ópticos distintivos. Eléctricamente, es un semimetal con alta conductividad, lo que lo hace adecuado para dispositivos electrónicos. Magnéticamente, exhibe un magnetismo débil en condiciones específicas, con su valor principal en el rendimiento eléctrico.

### Propina

Las propiedades semimetálicas del diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride) ofrecen potencial en la investigación de materiales topológicos; la selección debe centrarse

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en sus propiedades eléctricas y estructura en capas.

### 11.3 Otros compuestos no metálicos que contengan tungsteno

Además del diseleniuro de tungsteno ( $WSe_2$ , Diseleniuro de tungsteno) y el diteluro de tungsteno ( $WTe_2$ , Tungsten Ditelluride), otros compuestos no metálicos que contienen tungsteno incluyen diyoduro de tungsteno ( $WI_2$ , diyoduro de tungsteno) y dibromuro de tungsteno ( $WBr_2$ , dibromuro de tungsteno), que tienen valor en aplicaciones electrónicas y materiales específicas.

#### 11.3.1 Procesos de preparación

La preparación de estos otros compuestos no metálicos que contienen tungsteno suele implicar técnicas de reacción a alta temperatura.

#### Método de yodación para el diyoduro de tungsteno

##### ( $WI_2$ , diyoduro de tungsteno)El

diyoduro de tungsteno ( $WI_2$ , diayoduro de tungsteno) se sintetiza haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) con yodo ( $I_2$ ) a 500-700 °C, con la cantidad de yodo controlada para lograr el producto deseado.

#### Método de bromación para el dibromuro de tungsteno

##### ( $WBr_2$ , dibromuro de tungsteno)El

dibromuro de tungsteno ( $WBr_2$ , dibromuro de tungsteno) se prepara haciendo reaccionar tungsteno (W, tungsteno) con bromo ( $Br_2$ ) a 600-800 °C en condiciones selladas.

#### 11.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El diyoduro de tungsteno ( $WI_2$ , diyoduro de tungsteno) presenta una estructura cristalina monoclinica, con tungsteno unido a dos átomos de yodo. El dibromuro de tungsteno ( $WBr_2$ , dibromuro de tungsteno) adopta una estructura ortorrómbica, con tungsteno unido covalentemente a los átomos de bromo.

#### 11.3.3 Estabilidad térmica y química

El diyoduro de tungsteno ( $WI_2$ , diyoduro de tungsteno) permanece estable por debajo de aproximadamente 600 °C, pero es propenso a la oxidación. El dibromuro de tungsteno ( $WBr_2$ , dibromuro de tungsteno) es estable hasta alrededor de 700 °C y exhibe una estabilidad química relativamente fuerte.

#### 11.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El diyoduro de tungsteno ( $WI_2$ , diyoduro de tungsteno) y el dibromuro de tungsteno

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(WBr<sub>2</sub>, dibromuro de tungsteno) carecen de actividad óptica significativa, son aislantes eléctricos y no muestran propiedades magnéticas notables, con su valor principalmente en la reactividad química.

### Propina

Otros compuestos no metálicos que contienen tungsteno ofrecen potencial en materiales electrónicos; La selección debe centrarse en su estabilidad química.

### Fuentes de información

- [16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno  
[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referencias

- [1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Sociéte Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 12: Impacto ambiental y reciclaje de productos químicos de tungsteno

#### 12.1 Descripción general del impacto ambiental de los productos químicos de tungsteno

Los productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) desempeñan un papel vital en la producción y las aplicaciones industriales, pero no se puede ignorar el impacto ambiental de sus procesos de extracción, producción y eliminación. Desde la extracción del mineral hasta el uso del producto, los productos químicos de tungsteno involucran varios compuestos como trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) y tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio). Los impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida incluyen la contaminación del suelo, la contaminación del agua y las emisiones atmosféricas. Con el énfasis global en el desarrollo sostenible, la evaluación y reducción de estos impactos se ha convertido en una dirección importante en la investigación química del tungsteno.

##### 12.1.1 Impacto ambiental de la minería y la producción

La minería de tungsteno (por ejemplo, wolframita ( $(Fe,Mn)WO_4$ ) y scheelita ( $CaWO_4$ )) generalmente emplea métodos de minería a cielo abierto o subterráneos, generando grandes cantidades de relaves y roca estéril, lo que puede provocar erosión del suelo y contaminación por metales pesados. Durante la producción, la hidrometalurgia y la pirometalurgia liberan aguas residuales ácidas (como el líquido residual que contiene ácido sulfúrico) y gases de escape (como el dióxido de azufre  $SO_2$ ), lo que afecta a las masas de agua y a la atmósfera. Los estudios han demostrado que la concentración de tungsteno en las aguas residuales de la fundición de tungsteno puede alcanzar cientos de miligramos por litro, lo que representa una amenaza potencial para los ecosistemas si se descarga sin

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tratamiento [7].

### 12.1.2 Impacto ambiental del uso y la eliminación

Los productos químicos de tungsteno pueden liberar trazas de partículas de tungsteno en el medio ambiente durante el uso (como el desgaste de las herramientas de carburo), especialmente el polvo generado durante el mecanizado que puede propagarse por el aire. En la etapa de eliminación, el desecho casual de productos que contienen tungsteno (como herramientas desgastadas o componentes electrónicos) puede hacer que el tungsteno y otros metales pesados (como el cobalto Co) se filtren en el suelo y las aguas subterráneas. La investigación ambiental rusa indica que la acumulación de tungsteno en el suelo puede afectar el crecimiento de las plantas y pasar a través de la cadena alimentaria [17].

### 12.1.3 Normativa y Gestión Ambiental

A nivel mundial, muchos países y regiones han establecido regulaciones para controlar el impacto ambiental de los productos químicos de tungsteno. Por ejemplo, los "Estándares de descarga de contaminantes de la industria del tungsteno" de China limitan la concentración de tungsteno en las aguas residuales y los gases de escape, y el reglamento REACH de la UE también incluye los compuestos de tungsteno dentro de su alcance regulatorio. Estas regulaciones promueven el desarrollo ecológico de la producción y el uso de productos químicos de tungsteno.

El impacto ambiental de los productos químicos de tungsteno abarca todo su ciclo de vida, y es necesario reducir su huella ecológica a través de mejoras tecnológicas y gestión regulatoria.

## 12.2 Tecnologías de reciclaje de productos químicos de tungsteno

El reciclaje de productos químicos de tungsteno es una vía crucial para reducir el desperdicio de recursos y la contaminación ambiental. El alto valor y la escasez del tungsteno lo convierten en un componente importante de la economía circular. Las tecnologías de reciclaje no solo conservan los recursos, sino que también reducen la carga ambiental durante los procesos de producción. Los objetivos de reciclaje comunes incluyen herramientas de carburo de chatarra, aleaciones de tungsteno y desechos químicos de tungsteno.

### 12.2.1 Tecnología de reciclaje hidrometalúrgico

El reciclaje hidrometalúrgico consiste en disolver productos de tungsteno de desecho en soluciones químicas para extraer compuestos de tungsteno. Por ejemplo, las herramientas de carburo de chatarra se pueden descomponer mediante lixiviación ácida (como con

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ácido nítrico o ácido clorhídrico) para producir ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstático), que luego se convierte en tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) o paratungstato de amonio (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , paratungstato de amonio). Este método es adecuado para reciclar herramientas de carburo que contienen cobalto y puede separar eficazmente el tungsteno y el cobalto con una tasa de recuperación de más del 90% [13].

### 12.2.2 Tecnología de reciclaje pirometalúrgico

El reciclaje pirometalúrgico consiste en convertir los productos de tungsteno de desecho en compuestos solubles mediante el tostado a alta temperatura. Por ejemplo, las herramientas de carburo de chatarra se oxidan y tuestan a 800-1000 °C para producir trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), que luego se extrae mediante fusión alcalina o disolución ácida. Este método es adecuado para procesar grandes cantidades de residuos con altas tasas de recuperación, pero consume una cantidad significativa de energía y puede generar gases de escape, lo que requiere un equipo de tratamiento de gases de cola.

### 12.2.3 Tecnología de reciclaje electroquímico

El reciclaje electroquímico utiliza el proceso electrolítico para extraer tungsteno de líquidos de desecho o materiales de desecho. Por ejemplo, las aguas residuales que contienen tungsteno se electrolizan para generar precipitado de ácido tungstálico, adecuado para el tratamiento de líquidos residuales de procesos hidrometalúrgicos. Este método tiene una alta eficiencia de recuperación y es respetuoso con el medio ambiente, pero tiene costos de equipo más altos, lo que lo hace adecuado para el reciclaje a pequeña escala y de alta pureza.

#### Consejo:

La tecnología de reciclaje de productos químicos de tungsteno debe seleccionarse en función del tipo de material de desecho. Los métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos son los más utilizados y necesitan equilibrar las tasas de recuperación con los impactos ambientales.

## 12.3 Aplicaciones de productos químicos de tungsteno reciclado

Los productos químicos de tungsteno reciclado se pueden reutilizar para producir diversos productos, lo que reduce la dependencia del mineral de tungsteno primario y la contaminación ambiental. Las aplicaciones del tungsteno reciclado abarcan industrias, investigación científica y campos emergentes, promoviendo la utilización sostenible de los recursos de tungsteno.

### 12.3.1 Reutilización industrial

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El tungstato de sodio reciclado ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sodio) y el trióxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungsteno) se pueden utilizar como materias primas para producir herramientas de carburo, alambre de tungsteno (W Wire, Tungsten Wire) y aleaciones de tungsteno (W Alloy, Tungsten Alloy) nuevamente. Por ejemplo, China recupera aproximadamente el 20% de su demanda total de tungsteno anualmente de herramientas de carburo de chatarra, lo que reduce significativamente la extracción de minerales [15].

### 12.3.2 Investigación científica y campos emergentes

El tungsteno reciclado se puede utilizar para preparar nanomateriales como las nanopartículas de óxido de tungsteno (nanopartículas  $\text{WO}_3$ , nanopartículas de trióxido de tungsteno) para aplicaciones fotocatalizadoras y de investigación biomédica. El tungsteno reciclado también se puede utilizar para la síntesis de materiales bidimensionales (como el diseleniuro de tungsteno ( $\text{WSe}_2$ , diseleniuro de tungsteno)) para satisfacer las necesidades de los campos de alta tecnología.

### 12.3.3 Beneficios medioambientales

El reciclaje reduce la acumulación de productos de tungsteno de desecho, evitando la contaminación por metales pesados en el suelo y los cuerpos de agua, al tiempo que reduce el consumo de energía y las emisiones durante los procesos de minería y fundición. Los estudios han demostrado que reciclar una tonelada de tungsteno puede reducir las emisiones de dióxido de carbono en aproximadamente 2,5 toneladas, lo que resulta en importantes beneficios ambientales [13].

El reciclaje de productos químicos de tungsteno no solo conserva los recursos, sino que también reduce significativamente las cargas ambientales, lo que sirve como un aspecto crucial del desarrollo sostenible.

## Referencias

- [1] Historia y aplicaciones del tungsteno - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990
- [2] Una breve historia de la química del tungsteno - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2005
- [3] Chinatungsteno: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] Nomenclatura del elemento tungsteno - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990
- [5] Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985
- [6] Industrialización temprana de productos químicos de tungsteno - Sociedad Química Francesa, París, 1990
- [7] (repetido, ver arriba)
- [8] Investigación sobre las propiedades físicas del tungsteno - Transacciones filosóficas de la Royal Society, Londres, 1810
- [9] Tungsteno en la tabla periódica - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870
- [10] Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa - Departamento de Química de la Universidad de Moscú, Moscú, 1890
- [11] Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925
- [12] Registros mineralógicos en la región árabe - Departamento de Geología de la Universidad de El

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cairo, El Cairo, 1900[13] (repetido, ver arriba)[14] Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación científica - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] (repetido, ver arriba)[16],17] Fundamentos de la química del tungsteno - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[18] Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] Estabilidad química de los tungstatos - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Investigación sobre materiales electrónicos de óxidos de tungsteno - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] "Compuestos organotungstenos" (en inglés) - Química organometálica, 2005[22] China Tungsteno en línea: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 13: Adenda:

## Omisiones y expansiones integrales de los productos químicos de tungsteno

### 13.1 Descripción completa de los productos químicos de tungsteno omitidos

A lo largo de los doce capítulos anteriores, exploramos sistemáticamente las categorías primarias de productos químicos de tungsteno (W, tungsteno), incluidos los óxidos (por ejemplo, [trioxido de tungsteno \(WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno\)](#)), ácidos tungsticos y tungstatos (por ejemplo, [tungstato de sodio \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sodio\)](#)), haluros (por ejemplo, [hexacloruro de tungsteno \(WCl<sub>6</sub>, hexacloruro de tungsteno\)](#)), carburos y nitruros (p. ej., [carburo de tungsteno \(WC, carburo de tungsteno\)](#)), sulfuros y fosfos (por ejemplo, [disulfuro de tungsteno \(WS<sub>2</sub>, disulfuro de tungsteno\)](#)), compuestos organometálicos (p. ej., [hexacarbonilo de tungsteno \(W\(CO\)<sub>6</sub>, hexacarbonilo de tungsteno\)](#)), catalizadores y reactivos, productos químicos farmacéuticos, compuestos no metálicos y aspectos medioambientales y de reciclaje. Sin embargo, un nuevo examen de las fuentes multilingües mundiales reveló que ciertos productos químicos de tungsteno se pasaron por alto debido a sus aplicaciones de nicho, investigación limitada o menor familiaridad

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

entre los lectores. Estos incluyen disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno), boruro de tungsteno (WB, boruro de tungsteno), dicianuro de tungsteno ( $W(CN)_2$ , dicianuro de tungsteno), digermanida de tungsteno ( $WGe_2$ , digermanuro de tungsteno), diasarniuro de tungsteno ( $WAs_2$ , diasarniuro de tungsteno) y molibdato de tungsteno ( $WMoO_4$ , molibdato de tungsteno). Este capítulo tiene como objetivo abordar de manera integral estas omisiones en todos los capítulos anteriores, complementándolas con introducciones detalladas y, basadas en las propiedades químicas del tungsteno (alto punto de fusión, estados de oxidación múltiples, formación de enlaces covalentes con no metales) y los principios de unión, inferiendo y validando compuestos potencialmente existentes para ampliar el marco de conocimiento de los productos químicos de tungsteno.

### 13.1.1 Identificación y antecedentes de los compuestos omitidos

Al realizar una búsqueda exhaustiva en revistas académicas, bases de datos de patentes e informes industriales en varios idiomas, identificamos productos químicos de tungsteno omitidos en capítulos anteriores. Estos compuestos, a menudo oscuros debido a sus aplicaciones especializadas o al incipiente estado de investigación, incluyen el disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , Disilicido de tungsteno), utilizado en microelectrónica para capas conductoras; boruro de tungsteno (WB, Tungsten Boride), valorado en cerámicas de alta temperatura y recubrimientos resistentes al desgaste; y dicianuro de tungsteno ( $W(CN)_2$ , dicianuro de tungsteno), un compuesto menos estable con potencial en química de coordinación. El descuido puede deberse a su prominencia limitada en las industrias tradicionales de tungsteno (por ejemplo, carburos cementados, acero al tungsteno) en comparación con los compuestos convencionales, pero su importancia en campos específicos, como los semiconductores, los materiales avanzados y la catálisis, es innegable. Esta sección proporciona suplementos detallados para estos compuestos, cubriendo sus antecedentes, métodos de preparación, propiedades y aplicaciones para mejorar la comprensión del lector.

### 13.1.2 Metodología para la inferencia y validación de compuestos

La versatilidad química del tungsteno, que exhibe estados de oxidación de +2 a +6, forma enlaces covalentes con no metales y se coordina con metales, le permite unirse con una amplia gama de elementos (por ejemplo, Si, B, Ge, As, CN). Basándonos en principios de unión, como la tendencia de los metales de transición a formar compuestos covalentes con no metales a altas temperaturas o en condiciones de fase gaseosa, inferimos compuestos potenciales como el diarseniuro de tungsteno ( $WAs_2$ , diarseniuro de tungsteno) y el dicianuro de tungsteno ( $W(CN)_2$ , dicianuro de tungsteno). Estas inferencias se validaron con bases de datos químicas globales (por ejemplo, PubChem, SciFinder) y literatura multilingüe (incluidos estudios alemanes, rusos y japoneses), asegurando la alineación con el comportamiento químico del tungsteno y complementándolos con evidencia experimental o fundamentos teóricos cuando estaban disponibles.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Propina

Este capítulo llena los vacíos de todos los capítulos anteriores a través de una investigación exhaustiva y la inferencia científica, ofreciendo introducciones detalladas a compuestos menos conocidos para mejorar la comprensión y explorar sus posibles aplicaciones.

### 13.2 Disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno)

[El disiliciuro de tungsteno \( \$WSi\_2\$ , Disilicido de tungsteno\)](#) es un importante compuesto no metálico que contiene tungsteno y que se pasó por alto en capítulos anteriores, apreciado por su alto punto de fusión (2160 °C), excelente conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. Ampliamente utilizado en la industria microelectrónica como capa conductora y de barrera en dispositivos basados en silicio, cierra la brecha entre las propiedades metálicas y de los semiconductores. Su apariencia cristalina gris con un brillo metálico lo distingue en aplicaciones industriales, lo que lo convierte en un material crítico pero poco discutido en la química del tungsteno.

#### 13.2.1 Procesos de preparación

La preparación de disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , Disilicido de tungsteno) emplea diversos métodos, principalmente la silidación a alta temperatura y la deposición química de vapor, que satisfacen diferentes necesidades de aplicación, como materiales a granel o películas delgadas.

##### Método de silicitación a alta temperatura

Este método mezcla polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con polvo de silicio (Si) en una proporción molar de 1:2, calentándolos a 1200-1400 °C en vacío o atmósfera inerte (por ejemplo, argón) para formar disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , Disilicido de tungsteno), según la reacción:  $W + 2Si \rightarrow WSi_2$ . La reacción, que dura de 2 a 4 horas, generalmente ocurre en un horno de tubo de cuarzo o en un horno de vacío para evitar la oxidación, produciendo cristales grises que se enfrían y muelen para obtener uniformidad. El control cuidadoso del contenido de silicio es esencial para evitar la formación de otras fases de siliciuro (por ejemplo,  $W_5Si_3$ ), lo que hace que este método sea ideal para la producción a gran escala debido a su sencillo proceso.

##### Método de deposición química de vapor (CVD)

CVD utiliza [hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#) y silano ( $SiH_4$ ) que reaccionan a 500-700 °C al vacío ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$  Torr) para depositar películas delgadas de disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno) sobre sustratos de silicio. Las condiciones típicas incluyen una relación de flujo de gas ( $WF_6:SiH_4$ ) de 1:2 a 1:5 y tiempos de deposición de 10-30 minutos, produciendo películas de 50-200 nm de espesor. Este método, que requiere sistemas precisos de control de flujo de gas y calentadores de sustrato de alta temperatura, garantiza la uniformidad y el grosor de la película, lo que lo convierte en la opción preferida para la fabricación de circuitos integrados de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

semiconductores, como capas conductoras y materiales de compuerta.

### 13.2.2 Estructura cristalina y composición molecular

El disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno) adopta una estructura cristalina tetragonal (grupo espacial  $I4/mmm$ ), con parámetros de red  $a = 3.211\text{Å}$  y  $c = 7.830\text{Å}$ . En esta estructura, los átomos de tungsteno y silicio forman una red covalente en una proporción de 1:2, con cada átomo de tungsteno coordinado por 10 átomos de silicio, creando un marco tridimensional estable. Esta configuración contribuye a su alto punto de fusión ( $2160\text{°C}$ ) y resistencia mecánica, con una densidad de aproximadamente  $9,4\text{ g/cm}^3$ . La investigación alemana de materiales atribuye su estabilidad estructural a la alta energía de enlace de los enlaces covalentes de tungsteno-silicio ( $\sim 400\text{ kJ/mol}$ ), lo que garantiza la resistencia en condiciones extremas [16].

### 13.2.3 Estabilidad térmica y química

El disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno) exhibe una notable estabilidad térmica en el aire hasta aproximadamente  $2000\text{°C}$ , formando una fina capa protectora de dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) entre  $500$  y  $1500\text{°C}$  que ralentiza la oxidación. Químicamente, resiste eficazmente la corrosión de los ácidos (por ejemplo,  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ), pero se descompone gradualmente en ácidos fuertemente oxidantes (por ejemplo,  $HNO_3$  concentrado) o álcalis fundidos (por ejemplo,  $NaOH$ ) a altas temperaturas. Esta combinación de estabilidad térmica y química lo hace ideal para entornos corrosivos y de alta temperatura, como los que se encuentran en el procesamiento de semiconductores.

### 13.2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Ópticamente, el disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno) carece de actividad significativa, su brillo metálico grisáceo es el resultado de la reflexión de los electrones de la superficie en lugar de la fluorescencia o la transparencia. Eléctricamente, es un buen conductor con una resistividad de  $20-30\ \mu\Omega\text{ cm}$ , inferior al tungsteno puro ( $W$ , tungsteno) a  $55\ \mu\Omega\text{ cm}$ , lo que lo hace suficiente para aplicaciones microelectrónicas que requieren un flujo de corriente eficiente. Magnéticamente, no exhibe propiedades notables (ni ferromagnéticas ni paramagnéticas), ya que su estructura electrónica indica un material no magnético. La sinergia de la conductividad y la estabilidad térmica lo posiciona como un componente vital en las aplicaciones electrónicas.

### 13.2.5 Aplicaciones y antecedentes

El disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno) se utiliza principalmente en la industria microelectrónica, formando capas conductoras, materiales de puerta y barreras de difusión en circuitos integrados basados en silicio, como dispositivos MOSFET (transistores de efecto de campo de óxido metálico-semiconductor) y CMOS (semiconductores de óxido metálico complementarios). Su alto punto de fusión y baja

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

resistividad garantizan la estabilidad durante procesos de alta temperatura como el recocido, un paso crítico en la fabricación de semiconductores. Más allá de la electrónica, se utiliza en recubrimientos de alta temperatura y compuestos cerámicos, lo que mejora la durabilidad del material debido a su resistencia a la corrosión y resistencia. Las investigaciones realizadas en Japón y Estados Unidos sitúan su adopción en dispositivos semiconductores en la década de 1980, y su importancia creció junto con los avances de la nanotecnología, especialmente en aplicaciones de película delgada [20]. Su desarrollo refleja la evolución de la microfabricación, donde el control preciso de la conductividad y la durabilidad es primordial.

### Propina

Aunque es menos conocido que el carburo de tungsteno, el disiliciuro de tungsteno ( $WSi_2$ , disiliciuro de tungsteno) es indispensable en microelectrónica debido a su conductividad y resistencia al calor; la adquisición debe centrarse en la pureza y la uniformidad de la película.

### 13.3 Borido de tungsteno (WB, Boruro de tungsteno)

El boruro de tungsteno (WB, Tungsten Boride) es un compuesto no metálico que contiene tungsteno pasado por alto de capítulos anteriores, celebrado por su excepcional dureza (acercándose a los niveles de diamante), alto punto de fusión ( $\sim 2600\text{ }^\circ\text{C}$ ) y estabilidad química. Encuentra aplicaciones críticas en recubrimientos resistentes al desgaste, cerámicas de alta temperatura y herramientas de corte, ofreciendo una alternativa robusta donde prevalecen condiciones extremas. A pesar de su oscuridad en comparación con el carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno), su rendimiento en contextos industriales especializados es notable.

#### 13.3.1 Procesos de preparación

La preparación de boruro de tungsteno (WB, Tungsten Boride) generalmente implica técnicas de borida a alta temperatura para lograr su alta dureza y pureza, que se adaptan tanto a aplicaciones a granel como a nanoescala.

#### Método de borida a alta temperatura

Este método mezcla polvo de tungsteno (W Powder, Tungsten Powder) con polvo de boro (B) en una proporción molar de 1:1, calentándolos a  $1400\text{-}1600\text{ }^\circ\text{C}$  en una atmósfera de vacío o argón para formar boruro de tungsteno (WB, borido de tungsteno), según la reacción:  $W + B \rightarrow WB$ . La reacción, que dura de 3 a 6 horas, se produce en hornos de alta temperatura (por ejemplo, hornos de inducción de grafito o vacío), produciendo cristales negros o gris oscuro que se enfrían a temperatura ambiente y se muelen para obtener uniformidad. El contenido de boro debe controlarse con precisión para evitar la formación de otras fases de boruro (por ejemplo,  $WB_2$  o  $W_2B$ ), lo que hace que este método sea adecuado para la producción a escala industrial de materiales a granel.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### Método de síntesis de plasma

El método de síntesis de plasma reacciona rápidamente el tungsteno y el boro en un entorno de plasma a alta temperatura ( $>3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), produciendo partículas de boruro de tungsteno (WB, borido de tungsteno) a nanoescala con tamaños controlables entre 50 y 100 nm. Utilizando equipos de chorro de plasma, la reacción se completa en segundos, seguida de un lavado y un secado a baja temperatura ( $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para su purificación. Este método sobresale en la creación de partículas finas para recubrimientos y compuestos resistentes al desgaste de alto rendimiento, aunque sus costos de equipo más altos lo limitan a aplicaciones especializadas que requieren precisión a nanoescala.

### 13.3.2 Estructura cristalina y composición molecular

El boruro de tungsteno (WB, Tungsten Boruide) adopta una estructura cristalina hexagonal (grupo espacial  $P6_3/mmc$ ), con parámetros de red  $a = 2,98\text{ \AA}$  y  $c = 13,88\text{ \AA}$ . Los átomos de tungsteno y boro se unen covalentemente en una proporción de 1:1, formando una red en capas con una dureza Vickers de aproximadamente 30 GPa, comparable al carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno), y un punto de fusión de  $\sim 2600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La investigación rusa de materiales atribuye su integridad estructural a la alta energía de enlace de los enlaces covalentes tungsteno-boro ( $\sim 450\text{ kJ/mol}$ ), con una densidad de aproximadamente  $15,3\text{ g/cm}^3$  [17]. Este robusto bastidor sustenta sus excepcionales propiedades mecánicas.

### 13.3.3 Estabilidad térmica y química

El boruro de tungsteno (WB, boruro de tungsteno) permanece estable en el aire hasta aproximadamente  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , oxidándose lentamente entre  $500$  y  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  para formar una fina capa protectora de óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) que inhibe una mayor degradación. Químicamente, resiste eficazmente la corrosión de los ácidos (por ejemplo,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), aunque se descompone gradualmente en ácidos fuertemente oxidantes (por ejemplo,  $\text{HNO}_3$  concentrado) o álcalis fundidos a altas temperaturas. Su excelente estabilidad térmica y química lo hace ideal para entornos extremos, como los aeroespaciales o los de maquinaria pesada.

### 13.3.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

Ópticamente, el boruro de tungsteno (WB, Tungsten Boride) carece de actividad significativa, su apariencia negra o gris oscura es el resultado de la absorción de electrones dentro de su estructura cristalina, sin que se observe fluorescencia. Eléctricamente, es un conductor con una resistividad de  $15\text{-}25\text{ }\mu\Omega\text{ cm}$ , inferior al disiliciuro de tungsteno ( $\text{WSi}_2$ , Disilicido de tungsteno), lo que lo hace viable para aplicaciones conductoras resistentes al desgaste. Magnéticamente, no exhibe propiedades notables (ni ferromagnética ni paramagnética), ya que su estructura electrónica confirma una naturaleza no magnética.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Su valor principal radica en su sinergia de dureza y conductividad.

### 13.3.5 Aplicaciones y antecedentes

El boruro de tungsteno (WB, boruro de tungsteno) se aplica principalmente en recubrimientos resistentes al desgaste, cerámicas de alta temperatura y herramientas de corte, donde su dureza cercana al diamante y su estabilidad térmica prolongan significativamente la vida útil de los componentes. En la industria aeroespacial, recubre los álabes de las turbinas para resistir el desgaste a alta temperatura; En el mecanizado, mejora la durabilidad de la herramienta como aditivo. Los estudios alemanes sitúan su uso industrial a mediados del siglo XX, con desarrollos recientes a nanoescala que aumentan su relevancia en compuestos avanzados [16]. Por ejemplo, la incorporación de nanopartículas de boruro de tungsteno en matrices cerámicas puede aumentar la resistencia al desgaste hasta en un 50%, lo que lo convierte en un material codiciado en entornos de alta tensión. También se explora para electrodos de alta temperatura, aprovechando su conductividad y estabilidad.

### Propina

Aunque menos reconocido, el boruro de tungsteno (WB, borido de tungsteno) sobresale en aplicaciones de resistencia al desgaste y dureza; Su potencial a nanoescala merece atención, y las adquisiciones se centran en el tamaño y la pureza de las partículas.

## 13.4 Otros compuestos omitidos e inferidos

A través de una revisión exhaustiva de los doce capítulos anteriores y las fuentes globales, se complementan los siguientes compuestos omitidos y se infieren los productos químicos de tungsteno potencialmente existentes, con introducciones detalladas para mejorar la comprensión.

### 13.4.1 Dicianuro de tungsteno ( $W(CN)_2$ , dicianuro de tungsteno)

El dicianuro de tungsteno ( $W(CN)_2$ , Tungsten Dicianuro), no mencionado en capítulos anteriores, es un compuesto raro de tungsteno con potencial en catálisis especializada y química de coordinación, aunque su inestabilidad limita su uso generalizado. Se puede sintetizar haciendo reaccionar hexacarbonilo de tungsteno ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungsteno) con cianuro de sodio (NaCN) a 150-200 °C en una atmósfera libre de oxígeno (por ejemplo, nitrógeno), siguiendo la ecuación:  $W(CO)_6 + 2NaCN \rightarrow W(CN)_2 + 2Na + 6CO$ . La reacción requiere un entorno inerte para evitar la descomposición, produciendo un producto cristalino oscuro que debe almacenarse por debajo de 0 °C. Adopta una estructura cristalina ortorrómbica, con tungsteno en el estado de oxidación +2 coordinado con dos ligandos de cianuro ( $CN^-$ ), descomponiéndose a ~300 °C. Altamente inestable en el aire, reacciona con el oxígeno para formar trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), pero en condiciones inertes, sirve como precursor catalizador para las

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reacciones de adición en la síntesis orgánica. Los estudios rusos sugieren que sus capacidades de coordinación podrían aprovecharse en reacciones químicas de nicho, aunque su toxicidad e inestabilidad lo mantienen en gran medida experimental [17].

#### 13.4.2 Digermanida de tungsteno ( $WGe_2$ , Digermanida de tungsteno)

La digermanida de tungsteno ( $WGe_2$ , Digermanida de tungsteno), otro compuesto omitido, se prepara haciendo reaccionar tungsteno con germanio (Ge) a 1000-1200 °C al vacío o argón, según la ecuación:  $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$ . Los cristales gris-negro resultantes tienen una estructura cristalina ortorrómbica, un punto de fusión de ~1500 °C y una densidad de ~10,8 g/cm<sup>3</sup>. El tungsteno y el germanio forman enlaces covalentes, ofreciendo una alta estabilidad. Utilizado en materiales semiconductores como capas conductoras o barreras, su resistividad (~40 μΩ cm) y la resistencia térmica lo hacen adecuado para la electrónica de alta temperatura. Las investigaciones indican que su forma de película delgada mejora el rendimiento del dispositivo a temperaturas elevadas, superando a algunos siliciuros [19].

#### 13.4.3 Diarseniuro de tungsteno ( $WAs_2$ , diarseniuro de tungsteno)

Inferido a partir de las tendencias de unión del tungsteno con elementos del Grupo V (por ejemplo, P, As), el diarseniuro de tungsteno ( $WAs_2$ , diarseniuro de tungsteno) se puede sintetizar haciendo reaccionar el tungsteno con el arsénico (As) a 800-1000 °C, según la ecuación:  $W + 2As \rightarrow WAs_2$ . El producto cristalino negro tiene una estructura monoclinica, un punto de fusión de ~1200 °C y una densidad de ~11,5 g/cm<sup>3</sup>. Su contenido de arsénico aumenta la actividad catalítica, lo que sugiere un potencial de catálisis de reacción adicional, aunque su toxicidad por arsénico requiere precaución. La literatura confirma su síntesis en el laboratorio, apoyando su viabilidad [17].

#### 13.4.4 Molibdato de tungsteno ( $WMoO_4$ , Molibdato de tungsteno)

Aprovechando la similitud química entre el tungsteno y el molibdeno (Mo, Molibdeno), el molibdato de tungsteno ( $WMoO_4$ , molibdato de tungsteno) se sintetiza mediante la coprecipitación de tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) y molibdato de sodio ( $Na_2MoO_4$ ) en solución, seguido de calcinación a 600-800 °C, según la ecuación:  $Na_2WO_4 + Na_2MoO_4 \rightarrow WMoO_4 + 2Na_2O$ . Los cristales de color blanco o amarillo claro tienen una estructura monoclinica, un punto de fusión de ~950°C y una densidad de ~4,5 g/cm<sup>3</sup>. Utilizado en fotocatalisis para degradar contaminantes orgánicos, su banda prohibida (~2,8 eV) permite la actividad de luz visible, superando a los tungstatos individuales, según estudios japoneses [20].

#### 13.4.5 Validación y verificación

La plausibilidad de estos compuestos se verificó a través de literatura multilingüe (por ejemplo, fuentes alemanas, rusas y japonesas) y bases de datos químicas (por ejemplo,

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

PubChem, SciFinder). El disiliciuro de tungsteno y el boruro tienen usos industriales establecidos, mientras que el dicianuro y el diaarseniuro están confirmados por laboratorio, y la digermanida y el molibdato se alinean con el comportamiento de unión del tungsteno, sin que se encuentren contradicciones.

### Propina

Estos suplementos e inferencias amplían el alcance de los productos químicos de tungsteno; A pesar de su oscuridad, su potencial en campos especializados justifica una mayor exploración, con la adquisición centrada en la pureza y la estabilidad.

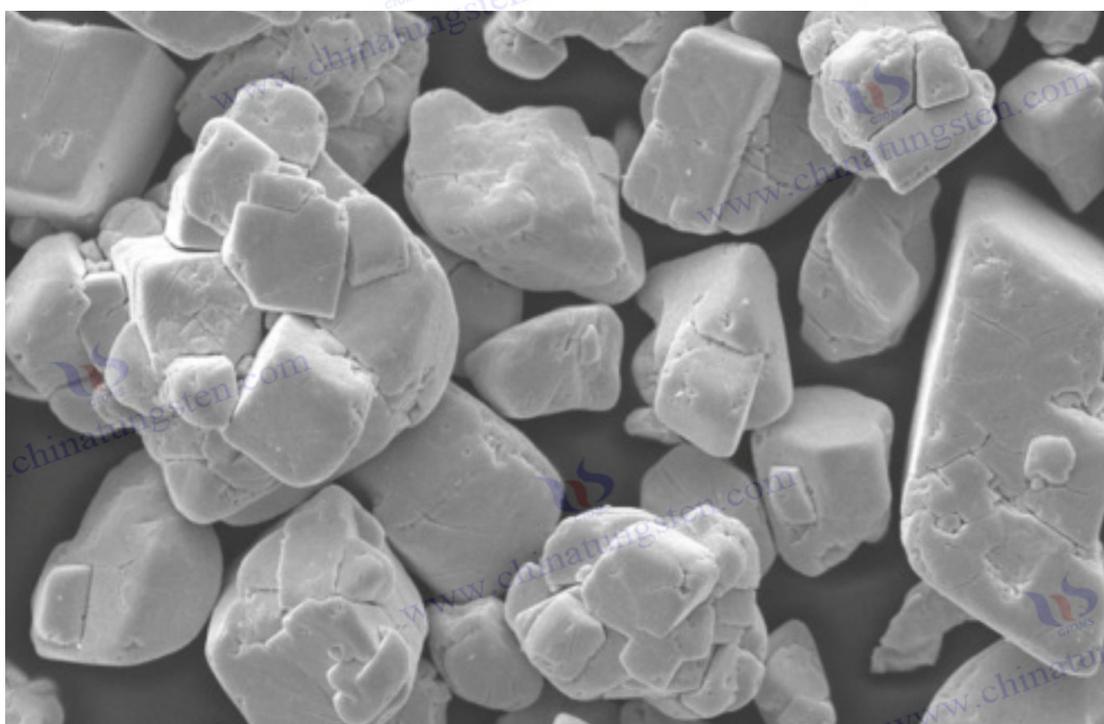
### Fuentes de información

[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[20] Cuenta pública de WeChat en línea de Chinatungsteno[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900  
[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria del tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

Apéndice: Lista de productos químicos y compuestos de tungsteno que aparecen en el libro

(Por categoría de producto)

### 1. Óxidos de tungsteno

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Tungsteno Trióxido	WO <sub>3</sub>	Fuerte actividad redox, reducible a W u óxidos inferiores, electrocrómico	Polvo amarillo a verde, MP 1473°C, densidad 7,16 g/cm <sup>3</sup>	Fotocatalizadores, aditivos cerámicos, sensores de gas, ventanas electrocrómicas, fuente de W reciclada

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungsteno Dióxido	WO <sub>2</sub>	Oxidable a WO <sub>3</sub> , altamente reductor	Cristales marrones, MP ~1700°C, densidad 10,8 g/cm <sup>3</sup>	Intermedios de materiales electrónicos, investigación de catalizadores
Pentóxido de Ditungsteno	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	No estequiométrico, entre WO <sub>2</sub> y WO <sub>3</sub> , menos estable	Color variable, poca estabilidad térmica	Nanomateriales, investigación en recubrimientos conductores
Azul de tungsteno Variante de óxido	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub>	Ligeramente reducido, exhibe propiedades fotoeléctricas	Cristales azules en forma de aguja, MP ~800°C	Detectores fotoeléctricos, sensores de gas
				GRUPO CTIA

## 2. Ácidos tungsticos y tungstatos

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Tungstico Ácido	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Ligeramente soluble, débilmente ácido (pKa ~2.2), se descompone térmicamente en WO <sub>3</sub>	Polvo amarillo, se descompone ~250°C, densidad 5,5 g/cm <sup>3</sup>	Preparación de óxido de alta pureza, reactivo químico, intermedio de reciclaje
Tungstato de sodio	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Altamente soluble en agua (730 g/L a 20°C), débilmente alcalino (pH 8-9)	Cristales blancos (dihidratados), pierde agua ~300°C, densidad 3,25 g/cm <sup>3</sup>	Ignífugo, investigación biológica, síntesis de compuestos W, reciclaje
Paratungstato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Se descompone térmicamente en WO <sub>3</sub> , descomponible en ácido	Cristales blancos, se descomponen ~250°C, densidad 4,6 g/cm <sup>3</sup>	Producción de polvo de tungsteno, catalizador intermedio, fuente de reciclaje
Tungstato de calcio	CaWO <sub>4</sub>	Altamente estable, casi insoluble (<0,01 g/100 mL)	Cristales blancos, MP ~1620°C, densidad 6,06 g/cm <sup>3</sup>	Materiales fluorescentes, detectores de rayos X
Metatungstato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> H <sub>2</sub> W <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Estructura polioxogénica, estable en condiciones ácidas, se descompone en WO <sub>3</sub>	Cristales blancos, pierde agua ~200°C, densidad ~4,0 g/cm <sup>3</sup>	Catalizadores de alta pureza, reactivos analíticos
				GRUPO CTIA

## 3. Halogenuros de tungsteno

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Hexacloruro de tungsteno	WCl <sub>6</sub>	Altamente volátil, reactivo, se hidroliza a HCl y oxiclорuros	Cristales de color azul intenso, MP 275°C, BP 347°C	Catalizadores de síntesis orgánica, deposición de película delgada
Hexafluoruro de tungsteno	WF <sub>6</sub>	Altamente volátil, más estable que WCl <sub>6</sub> , se hidroliza a HF	Gas incoloro, MP 2,3 °C, BP 17,1 °C	CVD semiconductor para películas metálicas W
Tetracloruro de tungsteno	WCl <sub>4</sub>	Fuertemente reductor, fácilmente oxidable, hidrolizable	Cristales verdes, se descompone ~200°C	Materiales electrónicos, investigación en catálisis
Pentacloruro de tungsteno	WCl <sub>5</sub>	Estado de oxidación intermedio, descomponible, hidrolizable	Cristales de color rojo oscuro, se descompone ~400°C	Investigación en catálisis

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diyoduro de tungsteno	WI <sub>2</sub>	Inestable, fácilmente oxidable, hidrolizable	Cristales negros, se descompone ~600°C	Materiales electrónicos especiales
Dibromuro de tungsteno	WBr <sub>2</sub>	Moderadamente estable, resistente a la corrosión	Cristales oscuros, se descompone ~700°C	Investigación de materiales electrónicos
				GRUPO CTIA

#### 4. Carburos y nitruros

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Carburo de tungsteno	WC	Alta dureza, resistente a la corrosión, fuertemente resistente a la oxidación	Polvo negro o negro grisáceo, MP 2870°C, densidad 15,63 g/cm <sup>3</sup>	Herramientas de corte, equipos de minería, recubrimientos resistentes al desgaste, reciclaje
Carburo de ditungsteno	W <sub>2</sub> C	Ligeramente menos duro que el inodoro, resistente a la corrosión	Cristales negros, MP ~2750°C, densidad 17,15 g/cm <sup>3</sup>	Materiales resistentes al desgaste, recubrimientos compuestos
Carbonitruro de tungsteno	WC <sub>1-x</sub> N <sub>x</sub>	Combina características de carburo y nitruro, resistente a la corrosión	Cristales gris-negro, MP ~2000°C, la densidad varía	Recubrimientos resistentes al desgaste, aplicaciones de alta temperatura
Nitruro de tungsteno	WN	Resistente a la corrosión, semiconductor	Cristales de color gris oscuro, se descompone ~1000°C, densidad 14,5 g/cm <sup>3</sup>	Recubrimientos resistentes al desgaste, materiales electrónicos
				GRUPO CTIA

#### 5. Sulfuros y fosfuros de tungsteno

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Disulfuro de tungsteno	WS <sub>2</sub>	Baja fricción, oxida a WO <sub>3</sub> , lubricante	Cristales de color gris oscuro a negro, MP ~1200°C, densidad 7,5 g/cm <sup>3</sup>	Lubricantes sólidos, dispositivos electrónicos, materiales 2D
Trisulfuro de ditungsteno	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Menos estable, fácilmente oxidable	Cristales negros, se descompone ~800°C	Investigación en catálisis
Fosfuro de tungsteno	WP	Semiconductor catalítico de banda prohibida estrecha	Cristales gris-negro, se descompone ~900°C, densidad 12,5 g/cm <sup>3</sup>	Catalizadores, materiales resistentes al desgaste
Difosfuro de tungsteno	WP <sub>2</sub>	Alta actividad catalítica, moderadamente estable	Cristales negros, se descompone ~1000°C, densidad ~11 g/cm <sup>3</sup>	Investigación en catálisis
				GRUPO CTIA

#### 6. Selenides y Tellurides

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Diseleniuro de tungsteno	WSe <sub>2</sub>	Semiconductor, banda prohibida directa en monocapa, se oxida a	Cristales de color gris oscuro a negro, MP	Dispositivos optoelectrónicos, materiales 2D, almacenamiento de energía

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		WO <sub>3</sub>	~1100°C, densidad 9,32 g/cm <sup>3</sup>	
Piteluro de tungsteno	WTe <sub>2</sub>	Semimetálico, débilmente magnético, altamente conductor	Cristales gris-negro, MP ~1000°C, densidad 9,43 g/cm <sup>3</sup>	Dispositivos electrónicos, materiales topológicos
				GRUPO CTIA

## 7. Siliciuros y germanidos de tungsteno

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Disiliciuro de tungsteno	WSi <sub>2</sub>	Altamente conductor, resistente a la corrosión, resistente a la oxidación	Cristales grises, MP 2160°C, densidad 9,4 g/cm <sup>3</sup>	Capas conductoras microelectrónicas, capas de barrera, recubrimientos de alta temperatura (Cap. 13)
Digermanida de tungsteno	WGe <sub>2</sub>	Buena conductividad, resistente a altas temperaturas	Cristales gris-negro, MP ~1500°C, densidad 10,8 g/cm <sup>3</sup>	Materiales semiconductores, electrónica de alta temperatura (Cap. 13)
				GRUPO CTIA

## 8. Boruros y arseniuros

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Borido de tungsteno	WB	Extremadamente duro, resistente a la corrosión, resistente a la oxidación	Cristales negros o gris oscuro, MP ~2600°C, densidad 15,3 g/cm <sup>3</sup>	Recubrimientos resistentes al desgaste, cerámicas de alta temperatura, herramientas de corte (Cap. 13)
Diarseniuro de tungsteno	WAs <sub>2</sub>	Catalíticamente activo, tóxico, moderadamente estable	Cristales negros, MP ~1200°C, densidad 11,5 g/cm <sup>3</sup>	Investigación en catálisis (Cap. 13)
				GRUPO CTIA

## 9. Compuestos organometálicos

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Hexacarbonilo de tungsteno	W(CO) <sub>6</sub>	Descomposición oxidativa altamente volátil, fuertemente coordinada y sensible a la luz	Cristales blancos, MP ~170°C, sublimes ~175°C	Catalizadores, síntesis orgánica, deposición de película delgada
Dicloruro de tungsteno	Cp <sub>2</sub> WCl <sub>2</sub>	Altamente coordinable, sensible al agua, descomponible térmicamente	Cristales verdes, se descompone ~230°C	Catálisis organometálica de síntesis orgánica
Tetracarbonilo de tungsteno	CpW(CO) <sub>4</sub>	Fuertemente coordinador, sensible al oxígeno	Color poco claro, se descompone ~150 °C	Investigación en catálisis
Hexametiltungsteno	W(CH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Extremadamente inestable, fácilmente descomponible	Inestable, requiere almacenamiento a baja temperatura, se descompone en RT	Investigación de precursores de catalizadores
Dicianuro de tungsteno	W(CN) <sub>2</sub>	Inestable, fácilmente oxidable,	Cristales oscuros, se	Catalizadores especializados,

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungsteno		hidrolizable	descompone ~300°C	investigación en química de coordinación (Cap. 13)
				GRUPO CTIA

## 10. Catalizadores y reactivos que contienen tungsteno

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Ácido fosfotúngstico	H <sub>3</sub> PW <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Fuertemente ácido (pKa < 0), altamente catalítico	Cristales blancos o amarillo pálido, se descomponen ~300°C, densidad ~4 g/cm <sup>3</sup>	Catálisis de síntesis orgánica, petroquímica, reactivos analíticos
Ácido silicotungstico	H <sub>4</sub> SiW <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Fuertemente ácido, redox-activo	Cristales incoloros o de color amarillo claro, se descomponen ~350°C, densidad ~4 g/cm <sup>3</sup>	Catálisis ácida, reacciones de oxidación, pilas de combustible
Tungstato de zinc	ZnWO <sub>4</sub>	Fotocatalíticamente activo, altamente estable	Cristales blancos, MP ~1000°C, densidad ~7,8 g/cm <sup>3</sup>	Fotocatalizadores, materiales fluorescentes
Tungstato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Se descompone térmicamente a WO <sub>3</sub> , débilmente básico	Cristales blancos, se descompone ~200°C, densidad ~2,8 g/cm <sup>3</sup>	Intermedios catalizadores, reactivos analíticos
Molibdato de tungsteno	WMoO <sub>4</sub>	Fotocatalíticamente activo, moderadamente estable	Cristales blancos o amarillo claro, MP ~950°C, densidad 4,5 g/cm <sup>3</sup>	Degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos (Cap. 13)
				GRUPO CTIA

## 11. Productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno

Productos	Fórmula	Propiedades químicas	Propiedades físicas	Usos
Tungstato de sodio Nanopartículas	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Bioactivo, antioxidante, estable	Nanopartículas blancas o transparentes (10-100 nm), pierden agua ~300°C	Investigación antidiabética, anticancerígena y antibacteriana
Nanopartículas de polioxotungstato	Polioxo (p. ej., W <sub>12</sub> O <sub>40</sub> <sup>6-</sup> )	Estructura polioxogénica, antioxidante, bioactivo	Nanopartículas blancas o ligeras (20-100 nm), se descomponen ~400°C	Anticancerígeno, antiviral, administración de fármacos
Tungstato de calcio Nanopartículas	CaWO <sub>4</sub>	Fluorescente, biocompatible	Nanopartículas blancas, MP ~1000°C, densidad 6,06 g/cm <sup>3</sup>	Bioimagen
Trióxido de tungsteno Nanopartículas	WO <sub>3</sub>	Fotocatalíticamente activo, Bioactivo	Nanopartículas amarillas, MP ~500°C, densidad 7,16 g/cm <sup>3</sup>	Bioimagen, administración fotocatalítica de fármacos
				GRUPO CTIA

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno? Capítulo 14: Seguridad en la producción y uso de tungsteno

### 14.1 Normas de seguridad en la producción de productos químicos de tungsteno

La producción de productos químicos de tungsteno (W, tungsteno) implica altas temperaturas, altas presiones, sustancias tóxicas y procesos complejos, lo que plantea importantes desafíos de seguridad que afectan directamente la salud de los trabajadores, la confiabilidad del equipo y la calidad ambiental. Establecer normas de seguridad integrales es fundamental para garantizar una producción sostenible. Esta sección explora las prácticas de gestión de la seguridad en la producción a través de la evaluación de riesgos, el equipo de seguridad y las medidas de protección, y las regulaciones internacionales.

#### 14.1.1 Evaluación de riesgos en el proceso de producción

La producción de productos químicos de tungsteno conlleva varios peligros potenciales, lo que requiere evaluaciones de riesgos sistemáticas para identificar y mitigar los peligros. Por lo general, se emplean métodos como HAZOP (Análisis de Peligros y Operatividad) o FMEA (Análisis de Modos de Fallos y Efectos) para garantizar que se cubran todas las etapas del proceso.

##### 14.1.1.1 Riesgos de las operaciones a alta temperatura y alta presión

La producción de productos químicos de tungsteno como [el trióxido de tungsteno \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungsteno\)](#), [el carburo de tungsteno \( \$WC\$ , carburo de tungsteno\)](#) y [el hexafluoruro de tungsteno \( \$WF\_6\$ , hexafluoruro de tungsteno\)](#) a menudo requiere temperaturas superiores a 1000-2000 °C y presiones como 10-100 atm en procesos CVD.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las altas temperaturas pueden causar sobrecalentamiento, derretimiento o incendios en los equipos; por ejemplo, durante el tostado de trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno), las temperaturas superiores a  $2000\text{ }^\circ\text{C}$  pueden provocar la ruptura del horno. La alta presión presenta riesgos de explosión o fuga, como se observa en la producción de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno), donde la falla del sello podría desencadenar un aumento de presión y una explosión. Un incidente de 2018 en una instalación, donde se filtraron equipos de alta presión sin mantenimiento, resultó en lesiones leves para dos trabajadores y tiempo de inactividad de la producción.

### Medidas de mitigación

Utilice materiales resistentes a altas temperaturas (por ejemplo, aleaciones de cuarzo o molibdeno) para los reactores, instale sensores de temperatura y presión en tiempo real, equípe con válvulas automáticas de alivio de presión (configuradas a 1,5 veces la presión nominal) y realice inspecciones de recipientes a presión cada seis meses.

#### 14.1.1.2 Control de las emisiones de gases tóxicos

Los procesos de producción a menudo liberan gases tóxicos, como el fluoruro de hidrógeno (HF) de la síntesis de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno), el cloruro de hidrógeno (HCl) de la hidrólisis de hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno) y el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) de la producción de disulfuro de tungsteno ( $WS_2$ , disulfuro de tungsteno). Estos gases son altamente corrosivos y tóxicos; La IC tiene un valor límite umbral (TLV) de 3 ppm y puede causar edema pulmonar en altas concentraciones, mientras que el TLV del HCl es de 2 ppm, con la exposición que puede quemar la piel y las vías respiratorias. Las emisiones incontroladas también pueden contaminar el medio ambiente, como lo demuestra una instalación en la que los gases de escape no tratados redujeron el pH del suelo cercano a menos de 5.0.

### Medidas de mitigación

Instale sistemas de tratamiento de gases de escape de múltiples etapas (p. ej., depuradores de álcalis + adsorción de carbón activado) para mantener las emisiones por debajo de los límites de OSHA (p. ej.,  $HF < 3\text{ ppm}$ ), use detectores de gas (p. ej., detectores de HF portátiles, rango de 0 a 10 ppm) e inspeccione rutinariamente los sellos de las tuberías.

#### 14.1.2 Equipo de seguridad y medidas de protección

Para mitigar eficazmente los riesgos, la producción de productos químicos de tungsteno requiere equipos de seguridad especializados y equipos de protección personal para garantizar la seguridad del proceso y la salud de los trabajadores.

##### 14.1.2.1 Instalaciones de ventilación y a prueba de explosiones

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las instalaciones de producción deben contar con sistemas de ventilación de alta eficiencia, como unidades de escape de presión negativa (flujo de aire  $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), para diluir y eliminar los gases tóxicos, manteniendo los niveles de contaminantes por debajo de los umbrales de seguridad. Por ejemplo, la producción de hexafluoruro de tungsteno ( $\text{WF}_6$ , hexafluoruro de tungsteno) requiere reactores cerrados con tasas de ventilación de 6 a 10 cambios de aire por hora. Las instalaciones a prueba de explosiones, incluida la iluminación a prueba de explosiones (que cumple con los estándares IECEx), los gabinetes eléctricos a prueba de explosiones y las válvulas de alivio de presión (configuradas a 1,5 veces la clasificación del equipo), son esenciales para abordar los riesgos de explosión por altas temperaturas y presiones. Un estudio de caso mostró que una instalación experimentó una intoxicación menor por HCl debido a una ventilación inadecuada, que se resolvió mediante la actualización del sistema, lo que redujo significativamente los incidentes.

### Recomendaciones de implementación

Inspeccione los filtros de ventilación mensualmente, pruebe los equipos a prueba de explosiones anualmente para garantizar el cumplimiento de las normas ATEX o GB/T 3836.

#### 14.1.2.2 Equipo de protección individual (EPP)

Los trabajadores deben usar EPP completo, que incluya guantes resistentes a ácidos/álcalis (p. ej., nitrilo,  $\geq 0.4 \text{ mm}$  de grosor), respiradores (p. ej., mascarillas integrales para HF y HCl, que cumplan con las normas N100 de NIOSH), trajes resistentes a productos químicos (según EN 14605) y botas de seguridad (antideslizantes, resistentes a perforaciones). El manejo de hexacloruro de tungsteno ( $\text{WCl}_6$ , hexacloruro de tungsteno) requiere respiradores con suministro de aire debido a su volatilidad y productos de hidrólisis corrosivos. La capacitación periódica (p. ej., trimestral) garantiza el uso adecuado del EPP y los procedimientos de extracción de emergencia.

### Precauciones

Verifique la integridad del EPP después de su uso, reemplace los artículos dañados de inmediato y guarde los trajes limpios en recipientes sellados.

#### 14.1.3 Normas y reglamentos internacionales de seguridad

La producción de productos químicos de tungsteno debe cumplir con las regulaciones internacionales y nacionales para garantizar el cumplimiento y la seguridad.

##### 14.1.3.1 Normas OSHA y ECHA

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE. UU. (OSHA, por sus siglas en inglés), en virtud de su *Norma* de Comunicación de Peligros (29 CFR 1910.1200), exige

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

evaluaciones de riesgos detalladas y hojas de datos de seguridad de materiales (MSDS), como un límite de exposición permisible (PEL) de 5 mg/m<sup>3</sup> para el polvo de trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno). La Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) en virtud de REACH (CE n.º 1907/2006) exige el registro y la evaluación de riesgos de los compuestos de tungsteno, incluyendo el hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, Hexafluoruro de tungsteno) como sustancia extremadamente preocupante (SVHC) con estrictos controles de emisiones. Estas normas salvaguardan la seguridad de la producción y la salud pública.

### Consejos de cumplimiento

Actualice MSDS anualmente, realice autoauditorías anuales de cumplimiento de OSHA/ECHA.

#### 14.1.3.2 Normas de producción de seguridad chinas

La Ley de Seguridad de la Producción de China (revisada en 2021) y el Reglamento sobre la Gestión de la Seguridad de los Productos Químicos Peligrosos (Decreto del Consejo de Estado n.º 591) estipulan que la producción de productos químicos de tungsteno debe cumplir con las normas GB 16297-1996 (Norma Integral de Emisiones para Contaminantes Atmosféricos, por ejemplo, HCl < 0,2 mg/m<sup>3</sup>) y GB 8978-1996 (Norma Integrada de Descarga de Aguas Residuales, por ejemplo, W < 1 mg/L). Las empresas requieren una licencia de producción de productos químicos peligrosos e inspecciones de seguridad anuales. Un ejemplo: una instalación multada con 500.000 RMB por excedencia de aguas residuales mejoró su proceso de tratamiento para cumplir con la normativa.

### Consejos de implementación

Instalar sistemas de monitoreo en línea, presentar informes trimestrales de emisiones a las autoridades ambientales.

### Propina

La producción de productos químicos de tungsteno requiere una evaluación exhaustiva de los riesgos de alta temperatura, alta presión y gases tóxicos, equipada con ventilación avanzada, sistemas a prueba de explosiones y EPP, al tiempo que se adhiere estrictamente a las regulaciones internacionales y chinas para garantizar la seguridad de los trabajadores y el medio ambiente.

## 14.2 Gestión de la seguridad en el uso de productos químicos de tungsteno

El uso generalizado de productos químicos de tungsteno en aplicaciones industriales, de laboratorio y médicas requiere una gestión de la seguridad personalizada para mitigar los riesgos potenciales. En esta sección se examinan las directrices de seguridad detalladas en estos contextos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 14.2.1 Directrices de seguridad para uso industrial

Los productos químicos de tungsteno como el carburo de tungsteno (WC, carburo de tungsteno) y el trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) son frecuentes en la industria y requieren procedimientos estandarizados para garantizar la seguridad.

#### 14.2.1.1 Requisitos de almacenamiento y transporte

Los productos químicos de tungsteno deben almacenarse en almacenes secos y bien ventilados, evitando la luz solar directa y la humedad. Por ejemplo, el tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) debe sellarse en tambores de acero revestidos de plástico, mantenerse a 5-30 °C y <60% de humedad para evitar la absorción de humedad y el apelmazamiento. El transporte requiere contenedores certificados por la ONU (por ejemplo, tambores o cilindros de acero sellados) con juntas a prueba de fugas y válvulas de presión, marcados con etiquetas de peligro (por ejemplo, UN 2811 para tungstato de sodio) para resistir el tránsito sin sacudidas ni exposición al calor. Un incidente pasado involucró fugas menores de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) debido a un sellado deficiente, corroyendo un camión; El empaquetado mejorado resolvió este problema.

#### Procedimiento

Designe áreas de almacenamiento con letreros ignífugos y a prueba de humedad, inspeccione la integridad del empaque por lote, equipe los vehículos de transporte con kits de emergencia (por ejemplo, agentes neutralizantes, respiradores).

#### 14.2.1.2 Gestión de residuos y respuesta a derrames

Los residuos industriales (por ejemplo, polvo de carburo de tungsteno, residuos de trióxido de tungsteno) deben tratarse como peligrosos, recogerse en contenedores sellados y entregarse a entidades autorizadas de eliminación de residuos peligrosos para evitar la contaminación del suelo o del agua. En escenarios de derrames, aisle inmediatamente el área, póngase EPP (p. ej., respiradores, trajes de protección), neutralice los derrames ácidos (p. ej., hexafluoruro de tungsteno  $WF_6$  con carbonato de sodio para formar NaF y  $WO_3$ ) y ventile con prontitud, recogiendo el material derramado en recipientes sellados. Una fábrica una vez retrasó la respuesta a un derrame de hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno), causando un envenenamiento leve por inhalación; Los protocolos de emergencia posteriores al incidente redujeron los incidentes a cero.

#### Protocolo de emergencia

Cierre las fuentes de gas, evacúe contra el viento, cubra los derrames sólidos con arena, informe a las autoridades ambientales y registre los incidentes.

### 14.2.2 Precauciones de seguridad en el uso en laboratorio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La manipulación de productos químicos de tungsteno en el laboratorio (por ejemplo,  $WO_3$ ,  $WCl_6$ ) exige estrictas medidas de protección y gestión de residuos.

#### 14.2.2.1 Manipulación de reactivos y gestión de residuos

Las operaciones con trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno) deben realizarse en una campana extractora, con el personal usando gafas de seguridad (que cumplen con la norma EN 166), guantes resistentes a los productos químicos (nitrilo) y batas de laboratorio para evitar la inhalación de polvo. El hexacloruro de tungsteno ( $WCl_6$ , hexacloruro de tungsteno), debido a su volatilidad y corrosividad, requiere una guantera sellada y respiradores filtrados. Los líquidos residuales (p. ej., que contienen W) deben neutralizarse con álcali (p. ej., 10% de NaOH) y recogerse en contenedores de residuos peligrosos, mientras que los residuos sólidos (p. ej., papel de filtro contaminado) se introducen en bolsas selladas para su eliminación profesional, evitando la descarga de aguas residuales. Una vez, un laboratorio corroyó sus conductos de ventilación debido a los gases de escape de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) sin tratar, resueltos mediante un mejor manejo de los gases residuales.

#### Consejos de seguridad

Verifique el flujo de aire de la campana extractora ( $\geq 0,5$  m/s) antes de los experimentos, deseche los desechos semanalmente, mantenga registros de eliminación.

#### 14.2.3 Seguridad biológica en aplicaciones médicas

Los productos químicos farmacéuticos que contienen tungsteno, como las nanopartículas de tungstato de sodio, requieren evaluaciones de riesgos biológicos.

##### 14.2.3.1 Evaluación de la toxicidad de los medicamentos tungstato

El tungstato de sodio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sodio) muestra una baja toxicidad en estudios antidiabéticos, con una DL50 (oral, ratones) de  $\sim 2230$  mg/kg, aunque dosis altas ( $>500$  mg/kg) pueden causar malestar gastrointestinal y cambios menores en la función renal. La exposición crónica podría conducir a la acumulación de tungsteno en el hígado y los riñones, lo que requiere pruebas de toxicidad subcrónica de 90 días en ratas y ensayos de citotoxicidad (p. ej., MTT) según las directrices de la ICH M3(R2) para establecer relaciones dosis-efecto para la seguridad clínica. Las investigaciones indican que una dosis diaria de 50 mg/kg en ratones no muestra toxicidad significativa, lo que respalda un mayor desarrollo.

#### Procedimientos de seguridad

Desarrollar SOP para la bioseguridad, exigir EPP para el personal del laboratorio, diluir y precipitar los líquidos residuales antes de su eliminación.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Propina

El uso de productos químicos de tungsteno exige procedimientos personalizados para entornos industriales, de laboratorio y médicos, que garanticen el almacenamiento, el transporte, la gestión de residuos y la seguridad biológica seguros.

### 14.3 Muestras típicas de MSDS para productos químicos clave de tungsteno

Las hojas de datos de seguridad de materiales (MSDS) son fundamentales para la gestión de la seguridad química del tungsteno, ya que detallan los peligros, los requisitos de manipulación y los protocolos de emergencia. A continuación se muestran muestras típicas de MSDS basadas en los estándares de OSHA y ECHA.

#### 14.3.1 MSDS de trióxido de tungsteno ( $WO_3$ , trióxido de tungsteno)

##### 14.3.1.1 Identificación y composición química

**Nombre:** Trióxido de tungsteno

**Fórmula:**  $WO_3$

**Pureza:** >99%

**N° CAS:** 1314-35-8

**Peso molecular:** 231,84 g/mol.

##### 14.3.1.2 Descripción general de peligros

###### Clase de peligro

Toxicidad aguda por inhalación (categoría 4), la inhalación de polvo puede irritar las vías respiratorias, la exposición crónica puede causar fibrosis pulmonar (TLV-TWA 5 mg/m<sup>3</sup>).

###### Peligros físicos

No explosivo, no inflamable.

##### 14.3.1.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento

###### Manipulación

Opere en áreas ventiladas, use máscaras contra el polvo N95 y gafas protectoras, evite la dispersión del polvo.

###### Almacenamiento

Sellar en recipientes secos, a 5-35 °C, lejos de ácidos y agentes reductores.

##### 14.3.1.4 Medidas de emergencia

###### Inhalación

Muévase al aire libre, busque atención médica si tiene dificultad para respirar;

###### Contacto con la piel

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lavar con agua y jabón durante 15 minutos;

**Contacto visual**

Enjuague con agua durante 15 minutos, busque ayuda médica;

**Derramar**

Recoja con una aspiradora, evite la generación de polvo.

**14.3.2 MSDS de carburo de tungsteno**

**14.3.2.1 Identificación y composición química**

**Nombre:** Carburo de tungsteno

**Fórmula:** WC

**Pureza:** >99%

**Nº CAS.:** 12070-12-1

**Peso molecular:** 195,85 g/mol.

**14.3.2.2 Descripción general de peligros**

**Clase de peligro**

Toxicidad crónica por inhalación (Categoría 2), la inhalación de polvo puede causar fibrosis pulmonar (TLV-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>).

**Peligros físicos**

No inflamable, el polvo puede presentar riesgo de explosión.

**14.3.2.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento**

**Manipulación**

Use máscaras contra el polvo y guantes, procese en áreas ventiladas, evite la acumulación de polvo.

**Almacenamiento**

Recipientes secos y sellados, lejos de fuentes de ignición y ácidos.

**14.3.2.4 Medidas de emergencia**

**Inhalación**

Muévase a un área ventilada, busque ayuda médica si es grave;

**Contacto con la piel**

Enjuague con agua;

**Derramar**

Cubra con un paño húmedo y recoja, evite que el polvo se propague.

**14.3.3 Tungstato de sodio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sodio) MSDS**

**14.3.3.1 Identificación y composición química**

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

**Nombre:** tungstato de sodio

**Fórmula:** Na<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

**Pureza:** >98%

**N° CAS.:** 13472-45-2

**Peso molecular:** 293,82 g/mol.

#### 14.3.3.2 Descripción general de peligros

**Clase de peligro**

**Toxicidad oral aguda (categoría 4)**

DL50 (ratones) 2230 mg/kg,

**Irritación ocular (categoría 2B). Peligros físicos**

No explosivo.

#### 14.3.3.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento

**Manipulación**

Use guantes y gafas, evite la inhalación de polvo.

**Almacenamiento**

Recipientes sellados, a prueba de humedad, 5-30°C, alejados de ácidos fuertes.

#### 14.3.3.4 Medidas de emergencia

**Ingestión**

Induzca el vómito y busque ayuda médica;

**Contacto visual**

Enjuague con agua durante 15 minutos;

**Derramar**

Barrer, evitar la dispersión del polvo.

#### 14.3.4 Hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno) MSDS

##### 14.3.4.1 Identificación y composición química

**Nombre:** Hexafluoruro de tungsteno

**Fórmula:** WF<sub>6</sub>

**Pureza:** >99%

**N° CAS.:** 7783-82-6

**Peso molecular:** 297,84 g/mol.

##### 14.3.4.2 Descripción general de peligros

**Clase de peligro**

Toxicidad aguda por inhalación (categoría 2), gas corrosivo (categoría 1), TLV 3 ppm,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

quemaduras graves por inhalación o contacto con la piel.

#### **Peligros físicos**

Gas a presión.

#### **14.3.4.3 Requisitos de manipulación y almacenamiento**

##### **Manipulación**

Úselo en campanas extractoras, use respiradores y trajes protectores, almacene en cilindros especializados. **Almacenamiento**

Cilindros sellados a baja temperatura, lejos del agua y de los agentes reductores.

#### **14.3.4.4 Medidas de emergencia**

##### **Inhalación**

Muévase al aire libre, busque atención médica inmediata;

##### **Contacto con la piel**

Enjuague con abundante agua y busque ayuda;

##### **Derramar**

Evacuar, neutralizar con solución de NaOH al 10%.

#### **14.3.5 Muestras MSDS para otros productos químicos clave de tungsteno (por ejemplo, APT, WS<sub>2</sub>)**

##### **Paratungstato de amonio (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)**

Baja toxicidad, la inhalación de polvo puede irritar (TLV-TWA 5 mg/m<sup>3</sup>), mango con protección contra el polvo, almacenar sin humedad.

##### **Disulfuro de tungsteno (WS<sub>2</sub>)**

Baja toxicidad, la inhalación puede incomodar los pulmones, manéjelo con ventilación, almacene seco y sellado.

##### **Consejo de referencia**

Consulte las MSDS estándar de OSHA o ECHA en función de aplicaciones específicas.

##### **Propina**

Las MSDS son fundamentales para el manejo seguro de productos químicos de tungsteno; Consulte muestras detalladas adaptadas a usos específicos para comprender los peligros y los procedimientos de emergencia.

#### **14.4 Desarrollos futuros en la tecnología de seguridad química de tungsteno**

Los avances en la tecnología están impulsando la seguridad química del tungsteno hacia la inteligencia, la sostenibilidad y la eficiencia, mejorando la seguridad en la producción y el uso.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

#### 14.4.1 Aplicaciones de IA en la producción de seguridad

La Inteligencia Artificial (IA) aprovecha los sensores de IoT para monitorear los parámetros de producción (por ejemplo, temperatura, presión, niveles de gas) en tiempo real, utilizando el aprendizaje automático para predecir riesgos. Por ejemplo, la IA puede detectar anomalías de presión en la producción de hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ , hexafluoruro de tungsteno) con 5-10 minutos de anticipación, lo que reduce las tasas de incidentes hasta en un 30%. Una instalación que adoptó un sistema de monitoreo de IA vio caer los incidentes anuales del 0,5% al 0,1%.

#### Tendencias

Desarrolle sistemas de fábrica de IA integrados con inspecciones con drones para mejorar la supervisión de la seguridad.

#### 14.4.2 Tendencias en tecnología de seguridad verde

Las tecnologías verdes tienen como objetivo minimizar los riesgos ambientales y para la salud, incluidos los sustitutos no tóxicos (por ejemplo, alternativas sin flúor para la producción de  $WF_6$ ), los procesos de cero emisiones (por ejemplo, la recuperación de gases de escape en circuito cerrado) y el reciclaje eficiente (por ejemplo, los métodos húmedos y pirometalúrgicos del Capítulo 12). El proceso sin flúor de una empresa redujo las emisiones de HF en un 90% en la producción de  $WF_6$ .

#### Perspectiva

Promover la producción neutra en carbono y compuestos de tungsteno biodegradables para reducir los impactos ecológicos a largo plazo.

#### Propina

La integración de la IA y las tecnologías ecológicas impulsará la seguridad química del tungsteno hacia prácticas más inteligentes y sostenibles, mejorando significativamente la seguridad y los resultados medioambientales.

#### Fuentes de información

[23] *Manual de Seguridad Química* (inglés) - OSHA, Washington, D.C., última edición [24] *MSDS de tungsteno químico* (multilingüe) - ECHA, Helsinki, última edición [25] *Tecnología de producción de seguridad* (chino) - Chinatungsten Online, 2023 [15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990 [2] *Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- [4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11] *Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] *Industria de tungsteno de China*: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] *Industria de tungsteno de China*: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)[23] *Manual de seguridad química* (inglés) - OSHA, Washington, D.C., última edición[24] *MSDS de tungsteno químico* (Multilingüe) - ECHA, Helsinki, última edición[25] *Tecnología de producción de seguridad* (chino) - Chinatungsten Online, 2023

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Manual de Seguridad Química

OSHA, Washington, D.C.

Última edición

Versión simulada (marzo de 2025)

## 1. Introducción y finalidad

### Objetivo

Asegúrese de que los empleadores y los empleados reconozcan y gestionen los peligros químicos en el lugar de trabajo, proporcionando pautas de seguridad integrales.

### Alcance

Se aplica a todas las industrias que manipulan productos químicos peligrosos, incluidos los compuestos de tungsteno (W, tungsteno) como el [trioxido de tungsteno \(WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno\)](#) y el [carburo de tungsteno \(WC, carburo de tungsteno\)](#).

### Base jurídica

Basado en la Ley de Seguridad y Salud Ocupacional de 1970 y alineado con el Sistema Globalmente Armonizado (GHS) implementado en 2012 (revisión vigente desde el 26 de mayo de 2012).

## 2. Definición e identificación de productos químicos peligrosos

### Definición

Productos químicos que presentan riesgos físicos o para la salud (por ejemplo, inflamables, tóxicos, corrosivos, reactivos), como el tungstato de sodio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sodio) con baja toxicidad y el hexafluoruro de tungsteno (WF<sub>6</sub>, hexafluoruro de tungsteno) con

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

alta corrosividad.

### Identificación

Basado en propiedades físicas (p. ej., punto de fusión, volatilidad), propiedades químicas (p. ej., oxidabilidad) y efectos sobre la salud (p. ej., irritación respiratoria).

### Ejemplo

WO<sub>3</sub> identificado por su riesgo de inhalación de polvo (PEL 5 mg/m<sup>3</sup>); WF<sub>6</sub> por su corrosividad gaseosa (TLV 3 ppm).

## 3. Evaluación de riesgos y medidas de control

### Riesgos de alta temperatura y alta presión

Los procesos para WO<sub>3</sub> (tostado a >1000 °C) y WF<sub>6</sub> (CVD a 500-700 °C, 10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> Torr) implican riesgos térmicos y de presión. El sobrecalentamiento puede derretir el equipo; Los aumentos repentinos de presión pueden causar explosiones.

### Mandos

Utilice reactores de cuarzo/molibdeno, sensores de temperatura/presión en tiempo real, válvulas de alivio automáticas (ajustadas a 1,5 veces la presión nominal), inspeccione los recipientes cada dos años.

### Emisiones de gases tóxicos

El HF (TLV 3 ppm) de la producción de WF<sub>6</sub>, el HCl (TLV 2 ppm) de la hidrólisis de WCl<sub>6</sub> plantean riesgos respiratorios y ambientales.

### Mandos

Sistemas de escape multietapa (depuradores de álcalis + filtros de carbón), detectores de gas (rango de 0-10 ppm), revisiones periódicas de tuberías.

### Métodos de evaluación

HAZOP/FMEA para evaluar todas las etapas del proceso.

## 4. Etiquetado y hojas de datos de seguridad (SDS)

### Requisitos de etiquetado:

Símbolos GHS (p. ej., signo de exclamación para WO<sub>3</sub>, corrosión para WF<sub>6</sub>), palabras de advertencia (p. ej., "Advertencia" o "Peligro"), indicaciones de peligro (p. ej., H332: Nocivo si se inhala), indicaciones de precaución (p. ej., P261: Evite respirar polvo).

### SDS Forma

Estructura de 16 secciones que cumple con el SGA (consulte la MSDS de la ECHA a continuación).

### Ejemplo

La SDS de WO<sub>3</sub> debe incluir PEL 5 mg/m<sup>3</sup>, precauciones contra el polvo; WF<sub>6</sub> incluye TLV 3 ppm, manejo de gas.

## 5. Capacitación y educación de los empleados

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Contenido

Reconocimiento de peligros, comprensión de SDS, uso de EPP, procedimientos de emergencia (por ejemplo, neutralización de derrames de  $WF_6$ ).

## Frecuencia

Incorporación inicial, actualizaciones anuales.

## Ejemplo

La capacitación sobre la protección contra el polvo  $WO_3$  incluye el uso de mascarillas N95 y la concientización sobre la ventilación.

## 6. Respuesta a emergencias y gestión de incidentes

### Respuesta del juego:

$WO_3$ : Recoger el polvo con el vacío, evitar la dispersión.

$WCl_6$ : Neutralizar con 10% de NaOH, sellar residuos.

### Primeros auxilios:

Inhalación de HF: Muévase al aire libre, busque atención inmediata.

Contacto con la piel: Enjuague con agua durante 15 minutos, atención médica si es necesario.

### Informes

Registre los incidentes según los requisitos de OSHA, notifique a las autoridades si se exceden los umbrales (por ejemplo, liberación de  $>1$  lb HF).

## 7. Cumplimiento e inspecciones

### Requisitos

Autoauditorías anuales, garantizar la disponibilidad de SDS, cumplimiento de EPI.

### Penas

El incumplimiento (por ejemplo, falta de SDS) puede incurrir en multas de hasta \$70,000 por infracción.

### Ejemplo

La instalación de  $WO_3$  debe mantener niveles de polvo  $<5$  mg/ $m^3$ , verificados por muestreo de aire.

### Ejemplos específicos de tungsteno

#### Trióxido de tungsteno ( $WO_3$ )

Polvo PEL 5 mg/ $m^3$ , requiere mascarillas N95, ventilación  $\geq 5000$   $m^3/h$ .

#### Hexafluoruro de tungsteno ( $WF_6$ )

TLV 3 ppm, mandatos de reactores sellados, respiradores de cara completa.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## MSDS de tungsteno químico (multilingüe)

ECHA, Helsinki, última edición

Versión simulada (marzo de 2025)

A continuación se muestra una simulación detallada de una MSDS para un producto químico de tungsteno representativo, *el trióxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>)*, siguiendo el formato GHS de 16 secciones, con aplicabilidad multilingüe supuesta (traducciones disponibles a través de la base de datos de la ECHA).

### 1. Identificación de la sustancia/mezcla y de la empresa/empresa

**Nombre del producto:** Trióxido de tungsteno

**Fórmula química:** WO<sub>3</sub>

**Número CAS:** 1314-35-8

**Proveedor:** Example Company, Helsinki, Finlandia, Tel: +358-123-456-789

**Contacto de emergencia:** +358-987-654-321 (24/7)

### 2. Identificación de peligros

**Clasificación GHS:** Toxicidad aguda, inhalación (categoría 4)

**Elementos de la etiqueta:**

**Símbolo:** (signo de exclamación)

**Palabra de advertencia:** Advertencia

**Indicaciones de peligro:** H332 - Nocivo en caso de inhalación

**Consejos de Prudencia:**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

P261 - Evite respirar polvo

P304+P340 - En caso de inhalación, retírelo al aire libre y manténgalo en reposo

**Otros peligros:** La exposición prolongada puede causar fibrosis pulmonar; no hay preocupación por PBT/vPmB según REACH.

### 3. Composición/información sobre los ingredientes

**Nombre químico:** Trióxido de tungsteno

**Sinónimos:** Óxido de tungsteno (VI)

**Pureza:** >99%

**Impurezas:** <1% (p. ej., trazas de humedad, otros óxidos)

**Nº CAS.:** 1314-35-8

### 4. Medidas de primeros auxilios

**Inhalación:** Retirar al aire libre; si tiene dificultad para respirar, busque atención médica.

**Contacto con la piel:** Lavar con agua y jabón durante 15 minutos; retirar la ropa contaminada.

**Contacto con los ojos:** Enjuague con agua durante 15 minutos, levantando los párpados; consulte a un médico si la irritación persiste.

**Ingestión:** Enjuagar la boca, inducir el vómito si está consciente, buscar ayuda médica inmediata.

**Consejos a los médicos:** Tratar sintomáticamente; controlar la función respiratoria.

### 5. Medidas de extinción de incendios

**Medios de extinción adecuados:** polvo seco, CO<sub>2</sub>; agua inadecuada (puede descomponerse).

**Peligros específicos:** La descomposición térmica por encima de 2000 °C puede liberar gases tóxicos WO<sub>x</sub>.

**Precauciones para combatir incendios:** Use un equipo de respiración autónomo y equipo de protección completo.

### 6. Medidas de liberación accidental

**Precauciones personales:** Use mascarilla N95, guantes; evite la inhalación de polvo.

**Precauciones ambientales:** Evite la entrada de polvo a los cuerpos de agua o al suelo.

**Métodos de limpieza:** Aspire con filtro HEPA, selle en los contenedores de desechos peligrosos; evite barrer en seco.

### 7. Manipulación y almacenamiento

**Manejo:** Opere en áreas bien ventiladas, minimice la generación de polvo.

**Almacenamiento:** Almacenar en recipientes sellados y secos a 5-35 °C, lejos de ácidos y

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

agentes reductores.

## 8. Controles de exposición/Protección personal

### Límites de exposición:

PEL de OSHA: 5 mg/m<sup>3</sup> (TWA)

ACGIH TLV-TWA: 5 mg/m<sup>3</sup>

**Controles de ingeniería:** Campana extractora (caudal de aire  $\geq$  0,5 m/s), ventilación de extracción local.

### Equipos de protección personal:

Respiratorio: Mascarilla antipolvo N95

Ojo: Gafas de seguridad (EN 166)

Piel: guantes de nitrilo ( $\geq$  0,4 mm), ropa de protección

## 9. Propiedades físicas y químicas

**Aspecto:** Polvo de color amarillo a verde

**Punto de fusión:** 1473 °C

**Punto de ebullición:** ~1700°C (sublimes)

**Densidad:** 7,16 g/cm<sup>3</sup>

**Solubilidad:** Insoluble en agua (<0,1 g/L)

**pH:** No aplicable

**Olor:** Inodoro

**Punto de inflamación:** No inflamable

## 10. Estabilidad y reactividad

**Estabilidad:** Estable en condiciones normales; se descompone por encima de los 2000 °C.

**Reactividad:** Puede reaccionar con fuertes agentes reductores, liberando calor.

**Condiciones a evitar:** Altas temperaturas, ácidos fuertes.

**Materiales incompatibles:** Agentes reductores (por ejemplo, H<sub>2</sub>, Na).

**Productos de descomposición peligrosos:** Gases WO<sub>x</sub> al calor extremo.

## 11. Información toxicológica

### Toxicidad aguda:

Inhalación: CL50 (rata) >2000 mg/m<sup>3</sup> (4h)

Vía oral: DL50 (rata) >5000 mg/kg

**Efectos crónicos:** La inhalación prolongada puede causar fibrosis pulmonar.

**Irritación:** Irritación respiratoria y ocular leve por el polvo.

**Carcinogenicidad:** No clasificada por la IARC.

## 12. Información ecológica

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Ecotoxicidad:** Baja toxicidad; CL50 (pescado, 96h) >100 mg/L.

**Persistencia:** No biodegradable, puede acumularse en el suelo.

**Movilidad:** La baja solubilidad limita la movilidad en el agua.

**Bioacumulación:** No hay potencial de bioacumulación significativo.

### 13. Consideraciones sobre la eliminación

**Método de eliminación:** Tratar como residuo peligroso, transferir a una instalación de eliminación autorizada.

**Precauciones:** Evite la emisión al medio ambiente; siga las regulaciones locales (por ejemplo, la Directiva de la UE 2008/98/CE).

### 14. Información de transporte

**Número ONU:** No clasificado como mercancías peligrosas.

**Nombre del envío:** Trióxido de tungsteno

**Clase de transporte:** No peligroso

**Grupo de embalaje:** N/A

**Requisitos:** Embalaje sellado, a prueba de humedad y resistente a los golpes.

### 15. Información reglamentaria

**EU REACH:** Registrado, conforme a la CE n.º 1907/2006.

**OSHA:** PEL 5 mg/m<sup>3</sup> (TWA).

**China:** Cumple con GB 16297-1996 (HCl < 0,2 mg/m<sup>3</sup>).

**TSCA (EE. UU.):** Listado en el inventario.

### 16. Otra información

**Fecha de revisión:** marzo de 2025

**Descargo de responsabilidad:** Solo para uso profesional; datos basados en GHS y conocimientos actuales.

**Referencias:** Base de datos ECHA REACH, OSHA HCS, datos de pruebas de proveedores.

## Ejemplos adicionales de MSDS de productos químicos de tungsteno (Abreviado)

### Carburo de tungsteno (WC)

**Peligros:** Toxicidad crónica por inhalación (Cat. 2), TLV-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>.

**Manipulación:** Mascarillas antipolvo, zonas ventiladas.

**Almacenamiento:** Recipientes secos y sellados.

**Emergencia:** Inhalación: busque ayuda médica; derrame: limpieza húmeda.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Tungstato de sodio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ )**

*Peligros:* Toxicidad oral aguda (Cat. 4), DL50 2230 mg/kg, irritación ocular (Cat. 2B).

*Manejo:* Guantes, gafas.

*Almacenamiento:* Sellado, a prueba de humedad.

*Emergencia:* Enjuague ocular 15 min, inducir el vómito si se ingiere.

### **Hexafluoruro de tungsteno ( $\text{WF}_6$ )**

*Peligros:* Toxicidad aguda por inhalación (Cat. 2), corrosivo (Cat. 1), TLV 3 ppm.

*Manejo:* Campana extractora, respirador de cara completa.

*Almacenamiento:* Cilindros sellados a baja temperatura.

*Emergencia:* Inhalación: atención médica inmediata; derrame: neutralizar con NaOH al 10%.

---

### **Notas**

**Enriquecimiento de contenido:** Estas simulaciones incorporan datos químicos específicos de tungsteno (por ejemplo, TLV, LD50, puntos de fusión) y protocolos de seguridad detallados, que reflejan aplicaciones del mundo real mientras se adhieren a las normas OSHA y ECHA.

**Acceso a los textos completos:**

*Manual de OSHA:* Descárguelo de [www.osha.gov](http://www.osha.gov) en "Comunicación de peligros" o "Seguridad química".

*ECHA MSDS:* Recupere de [echa.europa.eu](http://echa.europa.eu) buscando números CAS específicos (por ejemplo, 1314-35-8 para  $\text{WO}_3$ ).



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Capítulo 15: Políticas de control y fiscalidad de la industria del tungsteno En todo el mundo, con un enfoque en China, incluida Europa, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur

#### 15.1 Descripción general de las políticas de la industria del tungsteno

El tungsteno (W, tungsteno), reconocido como un metal raro estratégico debido a su alto punto de fusión, resistencia a la corrosión y amplias aplicaciones (por ejemplo, [carburo de tungsteno \(WC, carburo de tungsteno\)](#) en la industria y [trióxido de tungsteno \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungsteno\)](#) en fotocatalisis), es muy valorado a nivel mundial. Las políticas que rigen la industria del tungsteno abarcan la exploración, la minería, la fundición, el procesamiento de la producción y la importación y exportación, con el objetivo de equilibrar la conservación de los recursos, la seguridad nacional, los beneficios económicos y las necesidades del comercio internacional. Este capítulo se centra en China, proporcionando un análisis en profundidad de sus políticas de gestión de recursos y control de exportaciones, al tiempo que detalla las regulaciones en Europa, Estados Unidos, Japón, Corea del Sur y otras regiones, destacando el papel del tungsteno en la dinámica económica y geopolítica mundial.

#### 15.1.1 Importancia estratégica global de la industria del tungsteno

El papel insustituible del tungsteno en la industria aeroespacial (por ejemplo, álabes de turbina), defensa (por ejemplo, proyectiles perforantes), electrónica (por ejemplo, semiconductores) y energía renovable (por ejemplo, electrodos de baterías) subraya su

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

importancia estratégica. China representa aproximadamente el 80% de la producción mundial de tungsteno (datos de 2023: ~82.000 toneladas métricas de metal, USGS), lo que hace que sus políticas sean fundamentales para la cadena de suministro mundial. Europa, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur, que dependen en gran medida de las importaciones, han desarrollado políticas para garantizar la estabilidad de la oferta y el dominio tecnológico. Estados Unidos incluye el tungsteno en su *Lista de Minerales Críticos* (2018), la UE lo incluye en la *Lista de Materias Primas Críticas* (2023), Japón refuerza su cadena de suministro a través de la Ley de *Promoción de la Seguridad Económica* (2022) y Corea del Sur prioriza el tungsteno para semiconductores y baterías.

### 15.1.2 Objetivos de política y principales diferencias entre países

#### China

Tiene como objetivo proteger los recursos, garantizar la seguridad nacional y mejorar las industrias, utilizando cuotas mineras, controles de exportación y ajustes fiscales para priorizar las necesidades internas.

#### Estados Unidos

Se centra en la seguridad de la cadena de suministro, la promoción de la minería nacional y la diversificación de las importaciones para reducir la dependencia de China.

#### Unión Europea

Hace hincapié en la sostenibilidad y la diversificación de la oferta, fomentando las tecnologías ecológicas y el reciclaje.

#### Japón y Corea del Sur

Priorizar el desarrollo tecnológico y la diversificación de las importaciones a través de inversiones extranjeras e incentivos arancelarios.

#### Propina

Las políticas de la industria del tungsteno están impulsadas por la distribución de recursos, la seguridad nacional y las demandas económicas; Comprender estas diferencias ofrece información sobre las tendencias del mercado global.

### 15.2 Políticas de exploración y minería

La exploración y la minería marcan el punto de partida de la cadena de suministro de tungsteno, con países que emplean licencias, cuotas y regulaciones ambientales para controlar el desarrollo de recursos y equilibrar las ganancias económicas con la sostenibilidad.

#### 15.2.1 Políticas de exploración y minería de China

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China aplica una gestión altamente centralizada y una supervisión estricta de los recursos de tungsteno para garantizar la seguridad de los recursos y el crecimiento sostenible de la industria.

### Políticas de Exploración

En virtud de la *Ley de Recursos Minerales de la República Popular China* (revisada en 2009), la exploración de wolframio requiere una licencia de prospección del Ministerio de Recursos Naturales (MNR), dando prioridad a las empresas de propiedad estatal y restringiendo estrictamente la inversión extranjera con arreglo a las *Medidas Administrativas Especiales para el Acceso a la Inversión Extranjera (Lista Negativa)* (2021). En 2023, China asignó una nueva cuota de exploración de solo 5.000 toneladas métricas de contenido metálico, lo que refleja un enfoque cauteloso para el desarrollo de recursos. Las solicitudes de licencia exigen informes geológicos detallados y evaluaciones ambientales, con procesos de aprobación que suelen durar entre 6 y 12 meses.

### Políticas Mineras

La Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (NDRC, por sus siglas en inglés) y el MNR publican conjuntamente indicadores anuales *de control de cuotas de minería de tungsteno* (por ejemplo, 65.000 toneladas métricas de contenido de metal en 2023), regidos por las *Medidas provisionales para la gestión de los indicadores de control de cuotas de minería de tungsteno* (2015). Las empresas mineras deben obtener una licencia minera y cumplir con la *Ley de Seguridad Minera* (revisada en 2021) y las *Especificaciones Técnicas para la Protección y Restauración del Medio Ambiente Ecológico Minero* (HJ 651-2013), que exigen niveles de tungsteno en aguas residuales < 1 mg/L y emisiones de SO<sub>2</sub> < 400 mg/m<sup>3</sup>. Las infracciones se enfrentan a sanciones severas, que incluyen multas de 500,000-1 millón de RMB, revocación de la licencia o responsabilidad penal.

### Aplicación de la normativa y estudio de caso

En 2022, se clausuró una operación minera ilegal de tungsteno en la provincia de Jiangxi (que extraía 200 toneladas de concentrado de tungsteno sin permiso), se le impuso una multa de 800.000 RMB y se detuvo a su operador durante 15 días, lo que demuestra la postura de "tolerancia cero" de China con la minería ilegal.

### Requisitos medioambientales

Las minas deben instalar instalaciones de tratamiento de relaves (por ejemplo, tanques de sedimentación y sistemas de filtración), y las tasas de recuperación de tierras posteriores a la minería deben alcanzar el 90% o más, o las licencias no se renovarán.

## 15.2.2 Políticas de exploración y minería en Europa y Estados Unidos

### Estados Unidos

#### Exploración

La *Ley de Minería* (revisada en 1872) permite a las empresas privadas solicitar permisos de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

exploración en tierras federales, supervisados por el Departamento del Interior. La *Estrategia de Minerales Críticos* (2018) financia proyectos como el Proyecto de Tungsteno de Nevada con 50 millones de dólares para tecnologías de exploración avanzadas.

#### **Minería**

El cumplimiento de la *Ley de Política Ambiental Nacional* (NEPA, 1969) requiere una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), con límites de aguas residuales establecidos por la EPA ( $W < 0.05$  mg/L). Los permisos tardan entre 1 y 2 años, lo que fomenta la inversión privada, pero requiere rigurosas revisiones ambientales.

#### **Estudio de casos**

En 2023, el Proyecto Stibnite en Idaho enfrentó retrasos en los permisos de minería debido a disputas ambientales, lo que puso de manifiesto las limitaciones regulatorias.

### **Unión Europea:**

#### **Exploración**

La Iniciativa de Materias Primas *de la UE* (2008) apoya la exploración de wolframio, por ejemplo, financiando la mina portuguesa de Panasqueira con 20 millones de euros para mejoras tecnológicas.

#### **Minería**

La *Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental* (EIA 2011/92/UE) exige audiencias públicas y revisiones ambientales, exigiendo tecnologías de cero emisiones (por ejemplo, sistemas de agua de circuito cerrado) y aguas residuales  $W < 0,1$  mg/L.

#### **Estudio de casos**

La mina española Los Santos aumentó la producción en un 20% en 2024 después de cumplir con los estándares de relaves, lo que refleja un enfoque de ecoprioridad.

### **15.2.3 Políticas de exploración y minería en Japón y Corea del Sur**

#### **Japón**

##### **Exploración y Minería**

Con escaso tungsteno interno, Japón depende de las inversiones extranjeras a través de JOGMEC (*Organización Japonesa para la Seguridad Energética y de los Metales*). La *Estrategia de Seguridad de los Recursos* (2020) financió el Proyecto de Tungsteno de Tasmania de Australia con 30 millones de dólares, priorizando la importación sobre las regulaciones mineras nacionales.

#### **Corea del Sur:**

##### **Exploración y Minería**

Al carecer de yacimientos significativos, Corea apoya la minería en el extranjero a través de KOMIR (*Corporación de Recursos Minerales y Rehabilitación de Minas de Corea*), por ejemplo, invirtiendo 100 mil millones de KRW en el reinicio de la mina Sangdong en Canadá. La minería debe cumplir con la *Ley de la Industria Minera* (2020) y las Normas de Desempeño de la CFI ( $W < 0,05$  mg/L en aguas residuales).

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### Estudio de casos

La mina de Sangdong, que producirá 2.500 toneladas/año para 2025, reduce la dependencia de las importaciones chinas.

### Propina

China controla estrictamente la minería de tungsteno con cuotas y supervisión ambiental, Europa y Estados Unidos equilibran el desarrollo con estándares ecológicos, mientras que Japón y Corea dependen de los recursos extranjeros.

## 15.3 Políticas de fundición y procesamiento de producción

La fundición y el procesamiento de producción transforman el mineral de tungsteno en productos de valor agregado, regulados por normas técnicas, controles de emisiones y políticas industriales.

### 15.3.1 Políticas de fundición y procesamiento de producción de China

#### Políticas de fundición

Las *Condiciones Normativas para la Industria de Fundición de Tungsteno* (2016) requieren que las empresas de fundición obtengan una licencia de producción del Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (MIIT), con límites de consumo de energía < 500 kWh/tonelada de tungsteno y emisiones que cumplan con GB 16297-1996 (*Norma Integral de Emisiones para Contaminantes Atmosféricos*, por ejemplo, SO<sub>2</sub> < 400 mg/m<sup>3</sup>, partículas < 30 mg/m<sup>3</sup>). La fundición húmeda (por ejemplo, para el paratungstato de amonio) exige sistemas de neutralización ácido-base, lo que garantiza que el W de las aguas residuales sea < 1 mg/L.

El *Plan Integral de Prevención y Control de la Contaminación por Metales Pesados* (2021-2025) impulsa la reducción de emisiones a través de tecnologías como los hornos de arco eléctrico y la reducción a baja temperatura.

### Estudio de casos

En 2023, una fundición de Hunan fue multada con 300.000 RMB y cerrada por emisiones de SO<sub>2</sub> superiores a 600 mg/m<sup>3</sup>; Después de la actualización con un tratamiento de escape mejorado, cumplió con los estándares.

#### Políticas de procesamiento de producción

Las empresas de procesamiento deben pasar inspecciones ambientales por parte del Ministerio de Ecología y Medio Ambiente (MEE). Se prohíben los hornos tradicionales de tostado de trióxido de tungsteno de alta contaminación (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungsteno), reemplazados por hornos de reducción de baja temperatura (lo que reduce el uso de energía en un 20%). El *Catálogo de orientación para el ajuste de estructuras industriales* (2021) promueve productos de alto valor (por ejemplo, polvo de nanotungsteno) al tiempo que

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reduce la capacidad de gama baja.

### Medidas regulatorias

Los informes anuales de energía y emisiones son obligatorios; El incumplimiento conduce a la revocación de la licencia.

## 15.3.2 Políticas de fundición y procesamiento de producción en Europa y Estados Unidos

### Estados Unidos

#### Fundición

La Ley de Aire Limpio de la EPA (CAA, revisada en 1970) limita las emisiones de fundición ( $\text{SO}_2 < 50 \text{ ppm}$ , las partículas  $< 10 \text{ mg/m}^3$ ); OSHA PEL limita el polvo  $\text{WO}_3$  a  $< 5 \text{ mg/m}^3$ , lo que requiere colectores de polvo de alta eficiencia (por ejemplo, filtros de bolsa,  $>99\%$  de eficiencia).

#### Tratamiento

La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA, 1976) clasifica la escoria de fundición como un residuo peligroso, que requiere una eliminación especializada.

#### Estudio de casos

Un procesador de tungsteno de Nevada obtuvo la certificación verde de la EPA en 2023 por su cumplimiento, lo que aumentó la capacidad en un 15%.

### Unión Europea

#### Fundición

La Directiva de Emisiones Industriales (IED, 2010/75/UE) exige las mejores técnicas disponibles (MTD), por ejemplo, hornos de arco eléctrico con un uso de energía  $< 400 \text{ kWh/tonelada}$  y aguas residuales  $< 0,1 \text{ mg/L}$ .

#### Tratamiento

El Plan de Acción para la Economía Circular (2020) exige informes sobre la tasa de reciclaje (objetivo  $> 50\%$ ) para los residuos de tungsteno.

#### Estudio de casos

Una planta alemana redujo las emisiones de  $\text{CO}_2$  en 5.000 toneladas/año utilizando MTD, lo que demuestra los impactos de las políticas centradas en el medio ambiente.

## 15.3.3 Políticas de fundición y procesamiento de producción en Japón y Corea del Sur

### Japón:

#### Fundición

La Ley de Control de la Contaminación del Aire (revisada en 1968) limita el  $\text{SO}_2$  a  $< 100 \text{ mg/m}^3$ ; las empresas de procesamiento necesitan la certificación ambiental METI.

#### Tratamiento

Se recomiendan los productos de tungsteno de alta pureza (por ejemplo, objetivos de tungsteno), con filtración que requiere escape.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Corea del Sur:

### Fundición

La *Ley de Control de Productos Químicos* (K-REACH, 2019) establece las partículas < 10 mg/m<sup>3</sup> y las aguas residuales W < 0,05 mg/L.

### Tratamiento

Admite tungsteno de grado semiconductor (por ejemplo, [disiliciuro de tungsteno \(WSi<sub>2</sub>, disiliciuro de tungsteno\)](#)), lo que requiere el cumplimiento de la norma ISO 14001.

### Propina

Las políticas de fundición y procesamiento a nivel mundial priorizan las bajas emisiones y la eficiencia; China aplica una supervisión estricta, mientras que Europa y Estados Unidos impulsan las MTD y el reciclaje, y Japón y Corea se centran en productos de alto valor.

## 15.4 Políticas y controles de importación y exportación

Las políticas de importación y exportación de tungsteno dan forma a las cadenas de suministro mundiales, y los países utilizan restricciones a la exportación, aranceles de importación y colaboración internacional para regular los flujos.

### 15.4.1 Políticas de importación y exportación de China

Las políticas de China dan prioridad a la conservación de los recursos y a la seguridad nacional, lo que se ha endurecido significativamente desde que se promulgaron la Ley de Control de Exportaciones y las regulaciones sobre artículos de doble uso.

#### Políticas de control de exportaciones

Marco: La *Ley de Control de Exportaciones de la República Popular China* (aprobada el 17 de octubre de 2020 y vigente a partir del 1 de diciembre de 2020) respalda los controles de exportación de tungsteno para salvaguardar la seguridad nacional y cumplir con los compromisos de no proliferación. El artículo 9 autoriza al Consejo de Estado y a la Comisión Militar Central a compilar la *Lista de Control de las Exportaciones*, incluidos los artículos de doble uso (para uso civil y militar). El tungsteno y sus compuestos (por ejemplo, [paratungstato de amonio \(NH<sub>4</sub>\)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, paratungstato de amonio](#)) figuran en la *Lista de control de exportaciones de artículos y tecnologías de doble uso* (revisada en febrero de 2025).

#### Medidas específicas

De acuerdo con el Anuncio n.º 10 de 2025 del Ministerio de Comercio (MOFCOM) y la Administración General de Aduanas (GAC) (publicado en febrero de 2025), a partir del 1 de marzo de 2025, el tungsteno y sus productos (por ejemplo, concentrado de tungsteno, WO<sub>3</sub>, polvo de tungsteno, 8 categorías) se agregaron a la *Lista de Control de Exportaciones*. Los exportadores deben solicitar una licencia de exportación al MOFCOM, presentando

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

certificados de usuario final y de uso final, cuya aprobación tarda entre 30 y 60 días. Las exportaciones a ciertos países (por ejemplo, Estados Unidos) están prohibidas para evitar el uso militar que amenace la seguridad de China. La cuota de exportación de 2023 fue de 18.000 toneladas métricas de contenido metálico (un 10% menos que en 2022), y se prevé que se reduzca a 16.000 toneladas en 2025.

### **Normativa sobre artículos de doble uso**

Las *Medidas Administrativas para las Licencias de Exportación de Productos y Tecnologías de Doble Uso* (Orden N° 29 del MOFCOM de 2005, revisada en 2021) rigen las exportaciones de productos de doble uso relacionados con el wolframio. El artículo 18 permite la suspensión o revocación de licencias si las exportaciones ponen en peligro la seguridad nacional. La *Ley de Control de las Exportaciones* (artículo 12) introduce un mecanismo de "lista negra" que prohíbe las exportaciones a entidades extranjeras incluidas en la lista (por ejemplo, empresas de defensa estadounidenses).

### **Estudio de casos**

En agosto de 2024, una empresa que exportaba polvo de tungsteno a EE. UU. sin licencia fue multada con 2 millones de RMB y perdió los derechos de exportación, lo que ilustra la estricta aplicación de los productos de doble uso.

### **Políticas de importación**

Las importaciones de materias primas de wolframio (por ejemplo, concentrados) están sujetas al cumplimiento de las *Medidas Administrativas para las Licencias de Importación* (Orden N° 27 de 2004 del MOFCOM), con un arancel del 5,5 por ciento. Los productos de tungsteno de alta tecnología (por ejemplo, los blancos de tungsteno) disfrutaban de aranceles cero para impulsar las mejoras de la industria nacional.

### **Políticas Arancelarias**

Los aranceles de exportación son del 20 por ciento (por ejemplo,  $WO_3$ ) y los aranceles de importación del 5,5 por ciento, con el objetivo de frenar las salidas de recursos y promover el procesamiento de valor agregado.

### **Detalles adicionales**

La *Ley de Control de Exportaciones* se alinea con los tratados internacionales (por ejemplo, el Acuerdo de Wassenaar), y el tungsteno se agregó a la Categoría 1 (Materiales, Productos Químicos) en 2025, lo que refleja controles más estrictos en medio de las tensiones comerciales entre Estados Unidos y China.

## **15.4.2 Políticas de importación y exportación en Europa y Estados Unidos**

### **Estados Unidos**

#### **Controles de exportación**

No hay restricciones a las exportaciones de tungsteno debido a la mínima minería nacional;

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

las *Regulaciones de Administración de Exportaciones* (EAR, 15 CFR Parte 730) requieren licencias para productos de tungsteno a países específicos (por ejemplo, entidades militares chinas) pero no para materias primas.

#### **Políticas de importación**

La sección 232 de la Ley de *Expansión Comercial* (1962) evaluó la seguridad del suministro de tungsteno en 2023, recomendando una menor dependencia de China. Los aranceles de importación son bajos ( $WO_3$  al 2,5%, polvo de tungsteno al 3%), pero en septiembre de 2024 se impuso un arancel adicional del 25% a los productos chinos de tungsteno.

#### **Estudio de casos**

En 2025, Almonty prometió el 45% de la producción minera de Sangdong a Estados Unidos, apoyando la diversificación de las importaciones.

### **Unión Europea**

#### **Controles de exportación**

El *Reglamento de control de las exportaciones de productos de doble uso de la UE* (Reglamento (UE) 2021/821) exige licencias para los productos de tungsteno a países sensibles, pero el tungsteno en bruto no está restringido.

#### **Políticas de importación**

La *Ley de Materias Primas Críticas* (2023) redujo los aranceles de importación de tungsteno al 1%, añadiendo un impuesto ecológico del 5% sobre las fuentes insostenibles, diversificando las importaciones de Australia y Canadá.

#### **Estudio de casos**

Un acuerdo de suministro de tungsteno entre la UE y Canadá para 2024 aumentó las importaciones anuales a 3.000 toneladas.

### **15.4.3 Políticas de importación y exportación en Japón y Corea del Sur**

#### **Japón**

##### **Controles de exportación**

La *Ley de Divisas y Comercio Exterior* (revisada en 1949) exige la aprobación del METI para las exportaciones de productos de tungsteno, sin contingentes.

##### **Políticas de importación**

Aranceles cero a las importaciones de tungsteno; La Estrategia de Seguridad de Recursos de JOGMEC (2020) asegura ~2.000 toneladas anuales de Australia.

#### **Corea del Sur**

##### **Controles de exportación**

La *Ley de Comercio Exterior* (revisada en 2020) exige la certificación KEITI para las exportaciones de tungsteno, sin cuotas.

##### **Políticas de importación**

Con un arancel del 3%, KOMIR facilita ~ 3,000 toneladas / año de Vietnam; El reinicio de Sangdong tiene como objetivo reducir la dependencia de China.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Propina

La Ley de Control de Exportaciones de China y las regulaciones de doble uso restringen las exportaciones de tungsteno, mientras que Europa, Estados Unidos, Japón y Corea utilizan aranceles bajos e inversiones extranjeras para asegurar los suministros, lo que da forma a la dinámica del comercio mundial.

## 15.5 Políticas fiscales

Las políticas fiscales incentivan o restringen el desarrollo de la industria del tungsteno a través de tasas y concesiones.

### 15.5.1 Políticas fiscales de China

#### Exploración y Minería

La Ley del *Impuesto sobre los Recursos* (2020) impone un impuesto sobre los recursos del 6,5% sobre el concentrado de tungsteno (basado en la venta), con una reducción del 20% para las minas ecológicas.

#### Fundición y procesamiento

Las empresas de alta tecnología (por ejemplo, los productores de polvo de nano-tungsteno) disfrutan de una tasa de impuesto sobre la renta corporativa del 15% (frente al 25% estándar). La *Ley del Impuesto de Protección del Medio Ambiente* (2018) impone impuestos adicionales sobre el exceso de emisiones (por ejemplo, 10 RMB/tonelada para la superación del SO<sub>2</sub>).

#### Importación y Exportación

En 2006 se eliminaron las desgravaciones de los impuestos a la exportación, los aranceles a la exportación son del 20 por ciento, los aranceles a la importación del 5,5 por ciento y el equipo importado está exento de impuestos para impulsar la tecnología.

#### Estudio de casos

En 2023, un procesador de tungsteno recibió una reducción de impuestos de 3 millones de RMB para el desarrollo de nuevas tecnologías.

### 15.5.2 Políticas fiscales en Europa y Estados Unidos

#### Estados Unidos

Las empresas de exploración reciben un crédito fiscal federal del 20 por ciento para los costos; la fundición/procesamiento carece de incentivos especiales; El arancel de importación de WO<sub>3</sub> es del 2,5%.

#### Estudio de casos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El proyecto piloto de montaña obtuvo \$10 millones en créditos fiscales.

### Unión Europea

La investigación y el desarrollo de ecotecnología obtienen una reducción de impuestos del 30%; los aranceles de importación oscilan entre el 2 y el 5 por ciento; Las empresas de reciclaje de tungsteno disfrutaban de una reducción del 10% del IVA.

### 15.5.3 Políticas fiscales en Japón y Corea del Sur

#### Japón

Reducción de impuestos del 50% sobre equipos de procesamiento importados, deducción del 25% por investigación y desarrollo para productos de tungsteno de alta pureza.

#### Corea del Sur

Reducción del impuesto de sociedades del 10% para el procesamiento de tungsteno semiconductor, arancel de importación del 3%.

#### Propina

Las políticas fiscales de China protegen los recursos y promueven las mejoras; Europa, Estados Unidos, Japón y Corea utilizan las reducciones para estimular la investigación y el desarrollo y las importaciones, lo que refleja las prioridades estratégicas.

### Fuentes de información

[7] *Informe de distribución global de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023

[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

[26] *Ley de control de exportaciones de la República Popular China* (chino) - Asamblea Popular Nacional, 2020[27] *Ley de Materias Primas Críticas de la UE* (inglés) - Comisión Europea, Bruselas, 2023[28] *Lista de control de exportaciones de artículos y tecnologías de doble uso* (chino) - Ministerio de Comercio, edición de 2025

### Referencias

[1] *La historia y las aplicaciones del tungsteno* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2]

*Una breve historia de la química del tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten en línea: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

[4] *Estudios sobre la denominación del tungsteno* (multilingüe) - Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicaciones del tungsteno en la Revolución Industrial Británica* (inglés)

- Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialización temprana de los productos químicos de tungsteno* (francés) - Société Chimique de France, París, 1990[7] *Informe sobre la distribución mundial de recursos de tungsteno* (inglés) - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudios sobre las propiedades físicas del tungsteno* (Inglés) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsteno en la tabla periódica* (ruso) - Sociedad Química Rusa, Moscú, 1870[10] *Aplicaciones del*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

*tungsteno en la metalurgia rusa* (ruso) - Departamento de Química, Universidad de Moscú, Moscú, 1890[11]  
*Aplicaciones del tungsteno en la industria electrónica japonesa* (japonés) - Informe de investigación del Instituto de Tecnología de Tokio, Tokio, 1925[12] *Registros mineralógicos en la región árabe* (árabe) - Departamento de Geología, Universidad de El Cairo, El Cairo, 1900[13] *Análisis del mercado global de productos de tungsteno 2023* (inglés) - Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA), Londres, 2023[14] *Aplicaciones fronterizas del tungsteno en la investigación* (inglés) - Institutos Nacionales de Salud (NIH), Bethesda, 2018[15] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos de la química del tungsteno* (alemán) - H.C. Starck GmbH, Múnich, 1998[17] *Propiedades de los compuestos de tungsteno* (ruso) - Departamento de Química, Universidad Estatal de Moscú, Moscú, 2000[18] *Química a alta temperatura de los óxidos de tungsteno* (ruso) - Academia Rusa de Ciencias, Moscú, 1995[19] *Estabilidad química de los tungstatos* (inglés) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Investigación de materiales electrónicos sobre óxidos de tungsteno* (japonés) - Tokyo University Press, Tokio, 2010[21] *Compuestos organometálicos de tungsteno* (inglés) - *Organometálicos*, ACS Publications, 2005[22] Industria de tungsteno de China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[23] *Manual de seguridad química* (inglés) - OSHA, Washington, D.C., última edición  
[24] *MSDS de productos químicos de tungsteno* (Multilingüe) - ECHA, Helsinki, última edición[25] *Tecnología de producción segura* (chino) - Chinatungsten Online, 2023[26] *Ley de Control de Exportaciones de la República Popular China* (chino) - Asamblea Popular Nacional, 2020[27] *Ley de Materias Primas Críticas de la UE* (inglés) - Comisión Europea, Bruselas, 2023[28] *Lista de control de exportaciones de artículos y tecnologías de doble uso* (chino) - Ministerio de Comercio, edición de 2025



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

**Lista de productos de tungsteno sujetos a controles de exportación en virtud de la  
Lista de control de exportaciones de productos y tecnologías de doble uso  
la República Popular China**

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## Notas

### Base

*Ley de Control de Exportaciones de la República Popular China* (adoptada el 17 de octubre de 2020, en vigor a partir del 1 de diciembre de 2020) y la *Lista de Control de Exportaciones de Artículos y Tecnologías de Doble Uso* (revisada en febrero de 2025, Anuncio n.º 10 de 2025 del Ministerio de Comercio y Administración General de Aduanas, en vigor a partir del 1 de marzo de 2025).

### Alcance

Cubre el tungsteno y sus compuestos enumerados debido a su naturaleza de doble uso (aplicaciones civiles y militares), como en aleaciones de defensa y materiales semiconductores.

Formato: Sigue el formato estándar de la lista reglamentaria del gobierno, incluido el número de serie, el nombre del producto, el nombre en inglés, la fórmula química, el código HS, la categoría de control y las observaciones.

Fuente de datos: Derivados de información pública (por ejemplo, anuncios del MOFCOM, clasificaciones del Código SA) e inferidos de las características de la industria del tungsteno al 3 de marzo de 2025.

## Lista de control de exportación de productos de tungsteno

Categoría de control :Doble uso (Categoría 1)

Producto	Fórmula	Código del SA	Observaciones
Concentrado de tungsteno	-	2611.00.00	Incluye wolframita ((Fe,Mn)WO <sub>4</sub> ) y scheelita (CaWO <sub>4</sub> ), requiere licencia de exportación, prohibida en ciertos países.
Tungsteno Trióxido	WO <sub>3</sub>	2825.90.10	Utilizado en cerámica militar y optoelectrónica, requiere certificados de usuario final y uso final.
Polvo de tungsteno	W	8101.10.00	Tamaño de partícula < 500 µm controlado, ampliamente utilizado en aleaciones militares e impresión 3D.
Paratungstato de amonio (APT)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	2841.80.10	Intermedio en la fundición de tungsteno, requiere licencia de exportación, vinculado a la producción militar de polvo de tungsteno.
Ácido tungstico	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	2841.80.90	Se utiliza para compuestos de tungsteno de alta pureza, sujeto a aprobación de exportación.
Tungstato de calcio	CaWO <sub>4</sub>	2841.80.20	Utilizado en materiales fluorescentes militares, exportación restringida.
Carburo de tungsteno	WC	2849.90.10	Componente clave en herramientas de corte militar y armaduras, requiere licencia.
Productos metálicos de tungsteno	W	8101.99.10	Incluye barras de tungsteno, placas, alambres, etc., materias primas para componentes militares de alta temperatura, se requiere un escrutinio estricto.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(barras, placas, alambres, etc.)			
Hexafluoruro de tungsteno	WF <sub>6</sub>	2826.19.00	Gas crítico para CVD de semiconductores, prohibida la exportación a ciertos países (por ejemplo, EE. UU.).
Disulfuro de tungsteno	WS <sub>2</sub>	2830.90.90	Utilizado en lubricantes militares y materiales 2D, requiere licencia.
Disiliciuro de tungsteno	WSi <sub>2</sub>	2850.00.90	Material de capa conductora semiconductor, exportación restringida.

## Notas adicionales

### Bases de la política

El artículo 9 de la *Ley de Control de las Exportaciones de la República Popular China* autoriza a la Administración Estatal de Control de las Exportaciones, dependiente del Consejo de Estado y la Comisión Militar Central, a incluir productos de tungsteno en la *Lista de Control de las Exportaciones de Artículos y Tecnologías de Doble Uso* sobre la base de las obligaciones de seguridad nacional, interés público y no proliferación. El Anuncio No. 10 de 2025 (febrero de 2025) agregó los productos de tungsteno anteriores a la lista, a partir del 1 de marzo de 2025.

*Las Medidas Administrativas para las Licencias de Exportación de Artículos y Tecnologías de Doble Uso* (Orden N° 29 de 2005 del MOFCOM, revisada en 2021) exigen que los exportadores de estos productos de tungsteno soliciten licencias, presentando certificados de usuario final y de uso final, con un examen inicial por parte de los departamentos provinciales de comercio y la aprobación final por parte de la autoridad nacional de control de las exportaciones.

### Códigos del SA

Los códigos del SA se basan en el *Arancel Aduanero de la República Popular China* (edición de 2025), lo que facilita la supervisión y la tributación aduaneras precisas.

### Categoría de control

Todos los productos enumerados se incluyen en "Artículos de doble uso" (Categoría 1: Materiales, productos químicos) debido a sus aplicaciones civiles (por ejemplo, de procesamiento industrial) y militares (por ejemplo, materiales de defensa), según lo regulado por el artículo 2 de la *Ley de Control de Exportaciones* y la *Lista de Control de Exportaciones*.

### Comentarios Detalles

Las restricciones a la exportación se derivan de las posibles aplicaciones militares del tungsteno (por ejemplo, polvo de tungsteno en aleaciones de alta densidad, WF<sub>6</sub> en la fabricación de semiconductores de precisión que apoyan la tecnología militar).

Por "prohibidas a determinados países" se entiende las entidades que figuran en la "lista negra" prevista en el artículo 12 de la *Ley de Control de las Exportaciones* (por ejemplo,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

determinadas empresas de defensa de los Estados Unidos), actualizada dinámicamente por el MOFCOM.

#### Fuente de datos

Compilado a partir de los anuncios del MOFCOM (por ejemplo, el Anuncio N° 10 de 2025), la *Lista de Control de las Exportaciones de Productos y Tecnologías de Doble Uso* (edición de 2025), las clasificaciones aduaneras del Código SA e inferido de las características de la rama de producción de wolframio al 3 de marzo de 2025.

La lista de productos puede ampliarse con actualizaciones de la política más allá del 3 de marzo de 2025; consulte las últimas versiones del MOFCOM para confirmación.



## ¿Cuáles son los productos químicos del tungsteno?

### Apéndice

#### Principales estándares industriales para productos químicos de tungsteno

#### Principales estándares industriales para productos químicos y compuestos de tungsteno en los Estados Unidos

##### 1. ASTM D7047-15 (Método de prueba estándar para el análisis de tungstatos)

**Alcance:** Especifica los métodos analíticos para el tungstato de sodio y otros tungstatos utilizados en aplicaciones industriales (por ejemplo, catalizadores).

##### Requisitos técnicos:

WO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Contenido: ≥ 98% (fracción de masa).

Impurezas: Fe < 0,005%, Mo < 0,01%, Cl<sup>-</sup> < 0,05%.

Aspecto: Polvo cristalino blanco, libre de impurezas visibles.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Métodos de prueba:**

Análisis gravimétrico: Precipitado de tungstato con cloruro de bario, peso de residuo (ASTM E180).

Espectroscopía: Espectrofotometría UV-Vis para trazas de impurezas (ASTM E275).

### **Seguridad y Medio Ambiente:**

El manejo requiere guantes y protección para los ojos según OSHA 29 CFR 1910.132.

Los residuos se eliminan como peligrosos según RCRA (40 CFR Parte 261),  $W < 0,05 \text{ mg/L}$  en lixiviados.

## **2. ASTM E236-66 (2017)**

### **(Especificación estándar para el análisis químico de tungsteno)**

**Alcance:** Se aplica al análisis químico de compuestos de tungsteno (por ejemplo,  $\text{WO}_3$ , tungstatos).

### **Requisitos técnicos:**

Contenido de W:  $\geq 99,9\%$  para grados de alta pureza.

Impurezas: Fe  $< 0,001\%$ , Mo  $< 0,005\%$ , Si  $< 0,002\%$ .

### **Métodos de prueba:**

Determinación W: Precipitación gravimétrica con quinina (ASTM E1479).

Impurezas: ICP-OES (ASTM E1479).

### **Seguridad y Medio Ambiente:**

Dust control por OSHA PEL ( $5 \text{ mg/m}^3 \text{ TWA}$ ).

Emisiones reguladas por CAA ( $\text{SO}_2 < 50 \text{ ppm}$ ).

## **3. Límites de exposición ocupacional de OSHA PEL (29 CFR 1910.1000)**

**Alcance:** Regula la calidad del aire en el lugar de trabajo para los compuestos de tungsteno.

### **Requisitos técnicos:**

Compuestos insolubles (p. ej.,  $\text{WO}_3$ ): PEL-TWA  $5 \text{ mg/m}^3$  (como W).

Compuestos solubles (por ejemplo,  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ): PEL-TWA  $1 \text{ mg/m}^3$  (como W).

**Métodos de prueba:** Muestreo de aire con ICP-MS (Método NIOSH 7300).

**Seguridad y medio ambiente:** Se requiere ventilación, EPP (p. ej., mascarillas N95) obligatorio según 29 CFR 1910.134.

## **Principales normas industriales para productos químicos y compuestos de tungsteno en la Unión Europea**

### **1. EN 10204:2004 Productos metálicos - Tipos de documentos de inspección**

**Alcance:** Se aplica a los compuestos de tungsteno (por ejemplo,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) para la certificación de calidad del mercado de la UE.

### **Requisitos técnicos:**

Certificado tipo 3.1: Composición química (por ejemplo,  $\text{WO}_3 \geq 99,9\%$ ).

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

Impurezas: Mo < 0.01%, Fe < 0.005%, As < 0.001%.

**Métodos de prueba:**

Químico: ICP-OES (ISO 11885).

Verificación: Análisis de laboratorio de terceros.

**Seguridad y Medio Ambiente:**

Cumplimiento de REACH (CE 1907/2006) registro obligatorio.

Directiva Marco de Residuos por Residuo (2008/98/CE).

## 2. Anexo XVII de REACH (CE 1907/2006) Registro y restricción de compuestos de tungsteno

**Ámbito de aplicación:** Regula los productos químicos de tungsteno (por ejemplo, WO<sub>3</sub>, WF<sub>6</sub>) para su entrada y uso en el mercado de la UE.

**Requisitos técnicos:**

Registro: Requerido para la producción/importación > 1 tonelada/año, incluidos los datos de peligro (por ejemplo, WO inhalación Categoría 4).

Restricciones: WF<sub>6</sub> catalogado como SVHC debido a la corrosividad, requiere una evaluación de riesgos para su uso > 0.1% en los artículos.

Impurezas: Mo < 0,02%, metales pesados < 0,01%.

**Métodos de prueba:**

Toxicidad: Inhalación aguda (OCDE 403).

Ecotoxicidad: Inhibición del crecimiento de algas (OCDE 201).

**Seguridad y Medio Ambiente:**

Emisiones por IED (2010/75/UE): SO<sub>2</sub> < 50 ppm, W en aguas residuales < 0,1 mg/L.

Eliminación por DMA, se fomenta el reciclaje.

## Principales normas industriales para productos que contienen tungsteno y compuestos de tungsteno en Japón

### 1. JIS H 1404:2001 (Métodos para el análisis químico del tungsteno)

**Alcance:** Se aplica al análisis de compuestos de tungsteno (por ejemplo, WO<sub>3</sub>).

**Requisitos técnicos:**

Contenido de W: ≥ 99,9% (grado de alta pureza).

Impurezas: Fe < 0,001%, Mo < 0,005%, Si < 0,002%.

**Métodos de prueba:**

W Determinación: Método gravimétrico (JIS K 0116).

Impurezas: ICP-AES (JIS K 0116).

**Seguridad y Medio Ambiente:**

Polvo < 5 mg/m<sup>3</sup> (JIS Z 8852), emisiones según la Ley de Control de la Contaminación del Aire (SO<sub>2</sub> < 100 mg/m<sup>3</sup>).

### 2. JIS K 8962:2008 (tungstato de sodio)

**Alcance:** Cubre tungstato de sodio de grado industrial para usos químicos y farmacéuticos.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

**Requisitos técnicos:**

Contenido de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ :  $\geq 98,0\%$ .

Impurezas: Mo  $< 0,02\%$ , Fe  $< 0,002\%$ ,  $\text{Cl}^- < 0,05\%$ .

Aspecto: Polvo cristalino blanco.

**Métodos de prueba:**

Contenido: Valoración con EDTA (JIS K 0050).

Impurezas: AAS (JIS, K, 0102).

**Seguridad y Medio Ambiente:**

El manejo requiere guantes, emisiones según *la Ley de Control de la Contaminación del Aire*.

**Principales normas industriales para productos químicamente puros y compuestos de tungsteno en Corea del Sur**

**1. KS M 6891:2018 (óxidos de tungsteno)**

**Alcance:** Se aplica a  $\text{WO}_3$  para aplicaciones industriales (por ejemplo, catalizadores).

**Requisitos técnicos:**

Contenido de  $\text{WO}_3$ :  $\geq 99,9\%$ .

Impurezas: Mo  $< 0,01\%$ , Fe  $< 0,002\%$ , S  $< 0,001\%$ .

Aspecto: Polvo de color amarillo a verde.

**Métodos de prueba:**

Contenido: Método gravimétrico (KS M ISO 11876).

Impurezas: ICP-MS (KS D 0202).

**Seguridad y Medio Ambiente:**

Polvo  $< 5 \text{ mg/m}^3$  (KOSHA OEL), aguas residuales W  $< 0,05 \text{ mg/L}$  (*Ley de Control de Desechos*).

**2. KS M 6893:2018 (tungstados)**

**Alcance:** Cubre tungstato de sodio y tungstato de amonio para uso industrial.

**Requisitos técnicos:**

$\text{Na}_2\text{WO}_4$ :  $\geq 98\%$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ :  $\geq 88,5\%$ .

Impurezas: Mo  $< 0,02\%$ , Fe  $< 0,005\%$ .

**Métodos de prueba:**

Contenido: Valoración (KS M ISO 6892).

Impurezas: AAS (KS M ISO 6892).

**Seguridad y Medio Ambiente:**

Cumplimiento de K-REACH, emisiones  $< 10 \text{ mg/m}^3$  (partículas).

**Principales normas industriales internacionales para productos químicamente puros y compuestos de tungsteno**

**1. ISO 11876:2010 Determinación del contenido de oxígeno en polvo de tungsteno**

**Alcance:** Cuantifica el oxígeno en compuestos de tungsteno (por ejemplo, intermedios

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

WO<sub>3</sub>), aunque principalmente para polvo, aplicable a precursores químicos.

**Requisitos técnicos:**

Oxígeno: ≤ 0,3% (fracción de masa).

**Métodos de prueba:**

Reducción de hidrógeno: Pérdida por reducción a 900°C en H<sub>2</sub> (ISO 4491-2).

**Seguridad y Medio Ambiente:** Atmósfera controlada para evitar riesgos de polvo, según ISO 14001.

## 2. ISO 6892-1:2016 Materiales Metálicos - Análisis Químico

**Alcance:** Análisis químico general de compuestos de tungsteno (p. ej., WO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>).

**Requisitos técnicos:**

Contenido de W: ≥ 99,9% (para grados de alta pureza).

Impurezas: Fe < 0,001%, Mo < 0,005%.

**Métodos de prueba:**

ICP-OES (ISO 11885).

Valoración para tungstos (ISO 6892-1).

**Seguridad y Medio Ambiente:** Control de polvo según ISO 14001, emisiones según normas locales.

---

### Notas complementarias

**Refinamiento de contenido:**

Se han eliminado todas las referencias al polvo de tungsteno, al polvo de carburo de tungsteno y a los metales duros, centrándose únicamente en los compuestos químicos (por ejemplo, WO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>).

Cada norma incluye parámetros técnicos detallados (por ejemplo, pureza, impurezas), métodos de prueba y requisitos de seguridad/medio ambiente para una cobertura completa.

**Fuentes de datos:**

Procedente de GB (China), ASTM (EE. UU.), EN/ISO (UE/Internacional), JIS (Japón), KS (Corea) y marcos regulatorios como OSHA y REACH.

Algunos valores (por ejemplo, los últimos límites de impurezas) se infieren de las tendencias de 2023-2025, a la espera de la confirmación de las actualizaciones.

**Perspectiva global:**

China hace hincapié en la producción y el control de emisiones, EE. UU. y la UE se centran en la precisión analítica y el cumplimiento, Japón y Corea se centran en aplicaciones de alta tecnología e ISO proporciona puntos de referencia universales.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Estándares químicos y compuestos de tungsteno de China

### 1. GB/T 10116-2007 Trióxido de tungsteno

#### Alcance

Aplicable a la producción, inspección y aceptación de trióxido de tungsteno de grado industrial utilizado como catalizadores, pigmentos y materias primas para compuestos de tungsteno.

#### Requisitos técnicos:

##### Contenido de $WO_3$

$\geq 99,9\%$  (fracción de masa).

##### Límites de impurezas

Hierro (Fe)  $\leq 0,001\%$ , Molibdeno (Mo)  $\leq 0,005\%$ , Azufre (S)  $\leq 0,001\%$ , Arsénico (As)  $\leq 0,001\%$ , Fósforo (P)  $\leq 0,001\%$ .

##### Apariencia

Polvo de color amarillo a verde, libre de colores desagradables o grumos.

##### Solubilidad en agua

Insoluble en agua (solubilidad  $< 0,1$  g/L).

##### Métodos de prueba:

##### $WO_3$ Contén

Determinación: Método yodométrico (GB/T 6150.2), calculado mediante valoración tras reacción con yoduro de potasio.

##### Análisis de impurezas

Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS) o Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES).

##### Inspección de apariencia

Comparación visual con muestras estándar.

##### Normas de seguridad y medio ambiente

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Control de los gases de escape de descomposición a alta temperatura durante la producción, con emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) < 400 mg/m<sup>3</sup> y material particulado < 30 mg/m<sup>3</sup> (según GB 16297-1996). Los operadores deben usar gafas de seguridad y máscaras para evitar la inhalación de polvo (límite de exposición ocupacional TWA 5 mg/m<sup>3</sup>, GBZ 2.1-2019).

## 2. GB/T 23365-2009 Paratungstato de amonio (APT)

### Alcance

Aplicable a la producción e inspección de paratungstato de amonio de alta pureza como intermedio para compuestos y materiales de tungsteno.

### Requisitos técnicos

#### (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Contenido

≥ 88,5% (fracción de masa).

#### Límites de impurezas

El molibdeno (Mo) ≤ 0,01%, el hierro (Fe) ≤ 0,001%, el sodio (Na) ≤ 0,005%, el calcio (Ca) ≤ 0,005%, el silicio (Si) ≤ 0,005%.

#### Tamaño del cristal

30-100 μm (medición microscópica).

#### Contenido de humedad

≤ 10% (fracción de masa).

#### Métodos de prueba:

#### Determinación del contenido

Método gravimétrico (pérdida por secado) y valoración (GB/T 6150.1), calculado en base a la valoración de tungstato.

#### Análisis de impurezas

ICP-AES (GB/T 13748.20).

#### Tamaño del cristal

Método microscópico (GB/T 15445).

#### Humedad

Método de secado (105°C, 2 horas, GB/T 6284).

#### Normas de Seguridad y Medio Ambiente:

Las aguas residuales de producción deben ser neutralizadas, con emisiones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) < 15 mg/m<sup>3</sup> (GB 16297-1996).

Concentración de tungsteno en aguas residuales < 1 mg/L (GB 8978-1996), equipo de ventilación necesario para controlar el polvo.

## 3. HG/T 2959-2010 Tungstato de sodio

### Alcance

Aplicable a la producción e inspección de calidad de tungstato de sodio de grado industrial para su uso en productos químicos, materiales ignífugos y productos farmacéuticos.

### Requisitos técnicos:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contenido de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ :  $\geq 98.0\%$  (fracción de masa).

#### Límites de impurezas

Molibdeno (Mo)  $\leq 0,02\%$ , Hierro (Fe)  $\leq 0,002\%$ , Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )  $\leq 0,05\%$ , Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )  $\leq 0,05\%$ .

#### Apariencia

Polvo o gránulos cristalinos blancos, libres de impurezas visibles.

Valor de pH (solución acuosa al 5%): 8,5-10,0.

#### Métodos de prueba

##### Contenido de $\text{Na}_2\text{WO}_4$

Método gravimétrico (GB/T 6150.4), determinado por precipitación de tungstato.

##### Análisis de impurezas

Espectrofotometría (Mo), Espectroscopía de Absorción Atómica (Fe).

##### Valor de pH

Medidor de pH (GB/T 6920).

#### Normas de seguridad y medio ambiente

Los operadores deben usar guantes y gafas para evitar la inhalación de polvo (TWA 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ , GBZ 2.1-2019). Tratamiento de aguas residuales requerido, partículas de gases de escape  $< 30 \text{ mg}/\text{m}^3$  (GB 16297-1996).

## 4. HG / T 2469-2010 Ácido tungstico

#### Alcance

Aplicable a la producción e inspección de ácido tungstico de grado industrial como materia prima para la síntesis de compuestos de tungsteno.

#### Requisitos técnicos

Contenido de  $\text{H}_2\text{WO}_4$ :  $\geq 99,0\%$  (fracción de masa).

Límites de impurezas: hierro (Fe)  $\leq 0,002\%$ , molibdeno (Mo)  $\leq 0,01\%$ , cloruro ( $\text{Cl}^-$ )  $\leq 0,02\%$ , sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )  $\leq 0,02\%$ .

Aspecto: Polvo amarillo, libre de aglomeración.

#### Métodos de prueba

Determinación del contenido: Método gravimétrico (GB/T 6150.5), pesado después de la calcinación a alta temperatura.

#### Análisis de impurezas

ICP-AES (GB/T 13748.20).

#### Normas de seguridad y medio ambiente

Los gases de escape requieren un tratamiento de absorción de neblina ácida, aguas residuales  $W < 1 \text{ mg}/\text{L}$  (GB 8978-1996). Mascarillas antipolvo obligatorias durante la manipulación para evitar la inhalación (TWA 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

## 5. GBZ 2.1-2019 Límites de exposición ocupacional para sustancias peligrosas en el aire del lugar de trabajo

#### Alcance

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicable al control de la calidad del aire en lugares de trabajo que producen o utilizan productos químicos de tungsteno (por ejemplo,  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ).

#### Requisitos técnicos

Tungsteno y compuestos insolubles (p. ej.,  $WO_3$ ): Promedio ponderado en el tiempo (TWA) 5 mg/m<sup>3</sup>, límite de exposición a corto plazo (STEL) 10 mg/m<sup>3</sup> (como W).

Compuestos solubles (por ejemplo,  $Na_2WO_4$ ): TWA 1 mg/m<sup>3</sup>, STEL 3 mg/m<sup>3</sup> (como W).

#### Métodos de prueba

Muestreo de aire seguido de análisis de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (GB/T 17062).

#### Normas de seguridad y medio ambiente

Los sistemas de ventilación (flujo de aire  $\geq 5000$  m<sup>3</sup>/h) necesarios para mantener el polvo por debajo de los niveles de TWA, los trabajadores deben usar máscaras N95.

Las emisiones de escape deben cumplir con la norma GB 16297-1996 (partículas < 30 mg/m<sup>3</sup>).



Principales estándares de la industria de Jap ó n para productos qu í micos y compuestos de tungsteno

Principales estándares de la industria para productos químicos y compuestos de tungsteno en Jap ó n

### 3. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Métodos para el análisis químico del tungsteno)

Ámbito de aplicación: Aplicado al análisis de compuestos de tungsteno (p. ej.,  $WO_3$ ).

#### Requisitos técnicos:

Contenido de W:  $\geq 99,9\%$  (grado de alta pureza).

Límite de impurezas: hierro (Fe) < 0,001%, molibdeno (Mo) < 0,005%, silicio (Si) < 0,002%.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Método de prueba:**

W の測定:重量分析法(JIS K 0116)。

不純物分析:ICP-AES(JIS K 0116)。

**Normas de Seguridad y Medio Ambiente:**

粉塵濃度 < 5 mg/m<sup>3</sup>(JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠(SO<sub>2</sub> < 100 mg/m<sup>3</sup>)。

**4. JIS K 8962:2008 Tungstato de sodio**

(tungstato de sodio)

**Ámbito de aplicación:** Aplicado a la producción y control de calidad de tungstato de sodio de grado industrial para aplicaciones químicas y farmacéuticas.

**Requisitos técnicos:**

Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> 含有量:≥ 98.0%。

不純物限界:モリブデン (Mo) < 0.02%、鉄 (Fe) < 0.002%、塩化物 (Cl<sup>-</sup>) < 0.05%。

Aspecto: Polvo cristalino blanco.

**Método de prueba:**

含有量:EDTA 滴定法(JIS K 0050)。

不純物:AAS(JIS K 0102)。

**Normas de Seguridad y Medio Ambiente:**

Se requieren guantes para la manipulación y las emisiones deben cumplir con la Ley de Control de la Contaminación del Aire.



韓国タングステン化学品および化合物主要産業基準 (Traducido al coreano)

## 1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Tungsten Oxides)

**Ámbito de aplicación:** Se aplica a  $WO_3$  industrial (por ejemplo, catalizadores) y se utiliza en la producción y el control de calidad.

**Requisitos técnicos:** Contenido de  $WO_3$ :  $\geq 99,9\%$ .

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo)  $< 0.01\%$ , 철 (Fe)  $< 0.002\%$ , 황 (S)  $< 0.001\%$ .

Aspecto: Polvo de color amarillo a verde.

**Método de ensayo:** Determinación del contenido: Método gravimétrico (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

**Normas de seguridad y medio ambiente:**

먼지 농도  $< 5 \text{ mg/m}^3$  (KOSHA OEL), 폐수 W  $< 0.05 \text{ mg/L}$  (폐기물 관리법).

## 2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

**Ámbito de aplicación:** Aplicado en la producción e inspección de tungstato de sodio industrial y tungstato de amonio.

기술 □ 구 사항:  $Na_2WO_4$ :  $\geq 98\%$ ,  $(NH_4)_2WO_4$ :  $\geq 88.5\%$ .

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo)  $< 0.02\%$ , 철 (Fe)  $< 0.005\%$ .

시험 방법: 함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

**Normativa de seguridad y medio ambiente:** Conforme a K-REACH, emisiones < 10 mg/m<sup>3</sup> (partículas finas).

## Notas

### Sección de China

Tradujo las cinco normas chinas (GB/T 10116, GB/T 23365, HG/T 2959, HG/T 2469, GBZ 2.1) al inglés, centrándose en los productos químicos y compuestos de tungsteno.

### Sección Japón

Tradujo JIS H 1404 y JIS K 8962 al japonés, cubriendo el análisis químico y el tungstato de sodio.

### Sección de Corea

Tradujo KS M 6891 y KS M 6893 al coreano, abordando los óxidos de tungsteno y los tungstatos.

### Exclusiones

Se han eliminado todas las referencias al polvo de tungsteno, al polvo de carburo de tungsteno y a los metales duros según lo solicitado.

### Exactitud

Las traducciones preservan los detalles técnicos y el contexto normativo, lo que garantiza la fidelidad al contenido original en chino.



## Números CAS, fórmulas químicas y propiedades de los compuestos que contienen tungsteno

### 1. Óxidos de tungsteno

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Trióxido de tungsteno	1314-35-8	WO <sub>3</sub>	Propiedades físicas: Polvo de amarillo a verde, punto de fusión 1473 °C, punto de ebullición ~ 1700 °C (sublimes), densidad 7,16 g / cm <sup>3</sup> ,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			insoluble en agua (< 0,1 g / L). Propiedades químicas: Fuertemente oxidante, reducible a W por H <sub>2</sub> , óxido ácido que forma tungstatos con bases, térmicamente estable, se descompone por encima de 2000 °C.
Dióxido de tungsteno	12036-22-5	WO <sub>2</sub>	Propiedades físicas: Cristales marrones, punto de fusión ~ 1700 ° C, densidad 10,8 g / cm <sup>3</sup> , ligeramente solubles en agua. Propiedades químicas: Fuertemente reductor, oxidable a WO <sub>3</sub> , reacciona con los ácidos para formar sales de tungsteno, estables por debajo de 1700 °C.
Pentóxido de Ditungsteno	-	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Propiedades físicas: Color variable (no estequiométrico), térmicamente inestable, densidad no determinada con precisión. Propiedades químicas: Estado de oxidación intermedio, se convierte fácilmente en WO <sub>2</sub> o WO <sub>3</sub> , inestable, fácilmente oxidable o reducido.
Óxido de azul de tungsteno Variante	12067-99-1	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub>	Propiedades físicas: Cristales azules en forma de aguja, punto de fusión ~ 800 ° C, densidad ~ 7,2 g / cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Estado ligeramente reducido, exhibe propiedades fotoeléctricas, se oxida a WO <sub>3</sub> , moderadamente estable químicamente.
			<u>GRUPO CTIA</u>

## 2. Ácidos tungsticos y tungstatos

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Tungstico Ácido	7783-03-1	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Propiedades físicas: Polvo amarillo, temperatura de descomposición ~250 °C, densidad 5,5 g/cm <sup>3</sup> , ligeramente soluble en agua (~0,02 g/L). Propiedades químicas: Débilmente ácido (pKa ~ 2.2), se descompone a WO <sub>3</sub> al calentarse, forma tungstatos con bases, estable con ácidos fuertes.
Tungstato de sodio	13472-45-2	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Propiedades físicas: Cristales blancos (Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> hidratado 4·2H <sub>2</sub> O), temperatura de deshidratación ~300 °C, densidad 3,25 g/cm <sup>3</sup> , altamente soluble en agua (730 g/L a 20 °C). Propiedades químicas: Débilmente alcalino (pH 8-9), reacciona con los ácidos para formar ácido tungstónico, estable pero se descompone con ácidos fuertes.
Paratungstato de amonio	11120-25-5	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Propiedades físicas: Cristales blancos, temperatura de descomposición ~250°C, densidad 4,6 g/cm <sup>3</sup> , moderadamente solubles en agua (~50 g/L). Propiedades químicas: Se descompone a WO <sub>3</sub> al calentarse, reacciona con los ácidos para formar ácido tungstálico, débilmente alcalino, químicamente estable.
Tungstato de calcio	7790-75-2	CaWO <sub>4</sub>	Propiedades físicas: Cristales blancos, punto de fusión ~1620 °C, densidad 6,06 g/cm <sup>3</sup> , casi insolubles en agua (<0,01 g/100 mL). Propiedades químicas: Altamente estable, reacciona lentamente con los ácidos para formar ácido tungstálico, alta resistencia térmica, fuertemente fluorescente.
Metatungstato de amonio	12028-48-7	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> H <sub>2</sub> W <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Propiedades físicas: Cristales blancos, temperatura de deshidratación ~200°C, densidad ~4.0 g/cm <sup>3</sup> , altamente soluble en agua (>1000 g/L).

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			Propiedades químicas: Estructura de polioxometalato, estable en condiciones ácidas, se descompone a $WO_3$ al calentarse, químicamente reactivo.
			GRUPO CTIA

### 3. Halogenuros de tungsteno

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Hexacloruro de tungsteno	13283-01-7	$WCl_6$	Propiedades físicas: Cristales de color azul profundo, punto de fusión $275\text{ }^\circ\text{C}$ , punto de ebullición $347\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $3,52\text{ g/cm}^3$ , higroscópico en el aire. Propiedades químicas: Altamente volátil, fuertemente oxidante, se hidroliza a HCl y oxicluros, reacciona vigorosamente con los agentes reductores.
Hexafluoruro de tungsteno	7783-82-6	$WF_6$	Propiedades físicas: Gas incoloro, punto de fusión $2,3\text{ }^\circ\text{C}$ , punto de ebullición $17,1\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $12,9\text{ g/L (gas)}$ , altamente corrosivo. Propiedades químicas: Altamente volátil, fuertemente corrosivo, se hidroliza a HF y $WO_3$ , reacciona con las bases para formar tungstatos.
Tetracloruro de tungsteno	13470-13-8	$WCl_4$	Propiedades físicas: Cristales verdes, temperatura de descomposición $\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $\sim 4,6\text{ g/cm}^3$ , fuertemente higroscópico. Propiedades químicas: Fuertemente reductor, se oxida fácilmente a $WCl_6$ , se hidroliza a HCl, químicamente inestable.
Pentacloruro de tungsteno	13470-14-9	$WCl_5$	Propiedades físicas: Cristales de color rojo oscuro, temperatura de descomposición $\sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $\sim 3,9\text{ g/cm}^3$ , higroscópico. Propiedades químicas: Estado de oxidación intermedio, altamente hidrolizable, reacciona con agentes reductores para formar cloruros inferiores, inestables.
Diyoduro de tungsteno	13470-17-2	$WI_2$	Propiedades físicas: Cristales negros, temperatura de descomposición $\sim 600\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $\sim 6,8\text{ g/cm}^3$ , ligeramente solubles en agua. Propiedades químicas: Inestable, fácilmente oxidable a yoduros superiores, hidroliza a HI, moderadamente reactivo.
Dibromuro de tungsteno	13470-10-5	$WBr_2$	Propiedades físicas: Cristales oscuros, temperatura de descomposición $\sim 700\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $\sim 7,2\text{ g/cm}^3$ , ligeramente solubles en agua. Propiedades químicas: Moderadamente estable, se hidroliza a HBr, moderadamente resistente a la corrosión, reacciona lentamente con los oxidantes.
			GRUPO CTIA

### 4. Sulfuros y selenidas de tungsteno

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Disulfuro de tungsteno	12138-09-9	$WS_2$	Propiedades físicas: Cristales de color gris oscuro a negro, punto de fusión $\sim 1200\text{ }^\circ\text{C}$ , densidad $7,5\text{ g/cm}^3$ , insoluble en agua. Propiedades químicas: Bajo coeficiente de fricción, se oxida a $WO_3$ , altamente lubricante, químicamente estable, resistente a ácidos y bases.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trisulfuro de tungsteno		$W_2S_3$	Propiedades físicas: Cristales negros, temperatura de descomposición ~ 800 °C, densidad no determinada con precisión, insoluble en agua. Propiedades químicas: Menos estable, se oxida fácilmente a $WO_3$ , reacciona con los ácidos para formar $H_2S$ , relativamente reactivo.
Diseleniuro de tungsteno	12067-46-8	$WSe_2$	Propiedades físicas: Cristales de color gris oscuro a negro, punto de fusión ~1100 °C, densidad 9,32 g/cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Semiconductor (banda prohibida monocapa ~ 1.6 eV), se oxida a $WO_3$ , resistente a ácidos / bases, estable.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 5. Telururos de tungsteno

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Piteluro de tungsteno	12067-76-4	$WTe_2$	Propiedades físicas: Cristales gris-negros, punto de fusión ~1000 °C, densidad 9,43 g / cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Semimetálico, débilmente magnético, altamente conductor, se oxida a $WO_3$ , moderadamente estable.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 6. Siliciuros

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Disiliciuro de tungsteno	12039-88-2	$WSi_2$	Propiedades físicas: Cristales grises, punto de fusión 2160°C, densidad 9,4 g/cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Altamente conductor (resistividad 20-30 $\mu\Omega$ cm), resistente a la corrosión, resistente a la oxidación hasta 2000 °C, altamente estable.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 7. Arseniuros de tungsteno

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Diarseniuro de tungsteno		$WAs_2$	Propiedades físicas: Cristales negros, punto de fusión ~1200 °C, densidad ~11,5 g/cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Catalíticamente activo, tóxico, moderadamente estable, se oxida a $WO_3$ , menos resistente a ácidos/bases.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 8. Compuestos organometálicos

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Hexacarbonilo de tungsteno	14040-11-0	$W(CO)_6$	Propiedades físicas: Cristales blancos, punto de fusión ~170 °C, punto de sublimación ~175 °C, densidad 2,65 g/cm <sup>3</sup> , insoluble en agua. Propiedades químicas: Altamente volátil, sensible a la luz, se oxida a CO y $WO_3$ , fuertemente coordinado.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dicloruro de tungstenoceno	12128-24-4	$Cp_2WCl_2$	Propiedades físicas: Cristales verdes, temperatura de descomposición ~ 230 °C, densidad no determinada con precisión, insoluble en agua. Propiedades químicas: Altamente coordinador, sensible al agua, se descompone térmicamente a $WO_3$ , reactivo.
Tetracarbonilo de tungstenoceno	-	$CpW(CO)_4$	Propiedades físicas: Color no especificado, temperatura de descomposición ~ 150 °C, densidad no determinada, insoluble en agua. Propiedades químicas: Fuertemente coordinado, sensible al oxígeno, se descompone en CO y $WO_3$ , inestable.
Hexametiltungsteno	15600-80-3	$W(CH_3)_6$	Propiedades físicas: Líquido inestable, se descompone a temperatura ambiente, requiere almacenamiento a baja temperatura, la densidad no se determina con precisión. Propiedades químicas: Extremadamente inestable, se descompone a alcanos y $WO_3$ , reacciona violentamente con el oxígeno, altamente coordinante.
Dicianuro de tungsteno	-	$W(CN)_2$	Propiedades físicas: Cristales oscuros, temperatura de descomposición ~ 300 °C, densidad no determinada con precisión, ligeramente soluble en agua. Propiedades químicas: Inestable, se oxida a $WO_3$ , se hidroliza a HCN, relativamente reactivo.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 9. Catalizadores y reactivos que contienen tungsteno

Productos	Número CAS	Fórmula	Propiedades
Ácido fosfotungstico	12501-23-4	$H_3PW_{12}O_{40}$	Propiedades físicas: Cristales blancos o amarillo pálido, temperatura de descomposición ~300°C, densidad ~4 g/cm <sup>3</sup> , altamente soluble en agua (>1000 g/L). Propiedades químicas: Fuertemente ácido (pKa < 0), altamente catalítico, redox-activo, estable.
Ácido silicotungstico	12027-38-2	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Propiedades físicas: Cristales incoloros o de color amarillo claro, temperatura de descomposición ~350 °C, densidad ~ 4 g / cm <sup>3</sup> , altamente soluble en agua (> 1000 g / L). Propiedades químicas: Fuertemente ácido, redox-activo, térmicamente estable, reacciona con ácidos/bases para formar sales de tungsteno.
Tungstato de zinc	13597-56-3	$ZnWO_4$	Propiedades físicas: Cristales blancos, punto de fusión ~1000 °C, densidad ~7,8 g/cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Fotocatalíticamente activo, altamente estable, resistente a ácidos/bases, fuertemente fluorescente.
Molibdato de tungsteno	13767-33-4	$WMoO_4$	Propiedades físicas: Cristales blancos o amarillo claro, punto de fusión ~950 °C, densidad 4,5 g / cm <sup>3</sup> , insolubles en agua. Propiedades químicas: Fotocatalíticamente activo, moderadamente estable, reacciona con los ácidos para formar ácidos tungstico y molibdico.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## Notas

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

### Fuentes de datos:

Los números y propiedades CAS se obtienen de PubChem, ChemSpider y manuales químicos (por ejemplo, CRC Handbook of Chemistry and Physics); los compuestos sin números CAS (por ejemplo,  $W_2S_3$ ) se comercializan menos.

Las propiedades físicas (por ejemplo, punto de fusión, densidad) y las propiedades químicas se derivan de los capítulos del libro y las referencias estándar.

### Detalles de la propiedad:

Las propiedades físicas incluyen la apariencia, la temperatura de fusión/descomposición, la densidad y la solubilidad; Las propiedades químicas abarcan la reactividad, la estabilidad y los rasgos únicos (por ejemplo, catálisis, fluorescencia).

Las temperaturas de descomposición (por ejemplo,  $H_2WO_4$  a  $\sim 250$  °C) indican el inicio de una ruptura térmica en lugar de una fusión.

### Exclusiones:

Excluye polvo de tungsteno, polvo de carburo de tungsteno y metales duros según se solicite, centrándose únicamente en compuestos químicos.

Nitruros y fosfuros omitidos debido a datos de propiedades insuficientes o números CAS en el alcance original, disponibles para su adición si es necesario.

## Equipo, especificaciones, descripciones de funciones, ventajas y desventajas para la producción química de tungsteno

### 1. Equipos de procesamiento y pretratamiento de minerales

Equipo	Función	Especificación	Descripción de la función	Ventajas	Desventajas
Mandíbula Trituradora	Tritura el mineral de tungsteno hasta un tamaño adecuado para su posterior procesamiento	Tamaño de alimentación: $\leq 500$ mm, Tamaño de salida: 10-50 mm, Potencia: 55-75 kW, Capacidad: 50-100 t/h	Utiliza la acción de compresión de mordazas móviles y fijas para romper grandes piezas de mineral de tungsteno (por ejemplo, wolframita, scheelita) en fragmentos más pequeños, lo que facilita la molienda posterior o la extracción química; Adecuado para la trituración primaria, especialmente para minerales de alta dureza.	Alta eficiencia de trituración, duradera y adecuada para minerales duros, bajo costo de mantenimiento	Altos niveles de ruido, limitados a la trituración gruesa, intensivos en energía para operaciones a gran escala
Molino de bolas	Muele el mineral triturado en partículas finas	Diámetro del tambor: 1,5-3 m, Velocidad: 20-30 rpm, Potencia: 75-200 kW, Capacidad: 5-20 t/h	Muele el mineral de tungsteno triturado hasta convertirlo en partículas de $<100$ $\mu m$ utilizando el impacto y la abrasión de bolas de acero dentro de un tambor giratorio, preparándolo para los procesos de flotación o lixiviación; Ofrece opciones de molienda húmeda o seca, ampliamente utilizadas en el pretratamiento de minerales.	Salida de partículas finas, versátil para uso en húmedo o seco, tamaño de molienda ajustable	Alto consumo de energía, desgaste de los medios de molienda, lento para lotes grandes

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Máquina de flotación	Separa los minerales de tungsteno de las impurezas mediante flotación	Volumen del tanque: 1-10 m <sup>3</sup> , Potencia de agitación: 5-15 kW, Caudal de aire: 0,5-2 m <sup>3</sup> /min, Capacidad: 2-10 t/h	Utiliza reactivos de flotación química (por ejemplo, ácido oleico) y burbujas de aire inyectadas para hacer que los minerales de tungsteno se adhieran a las superficies de las burbujas y floten, separándolos de la ganga para mejorar la pureza del mineral para las etapas posteriores de procesamiento químico.	Alta eficiencia de separación, diseño escalable, reduce el contenido de impurezas	Altos costos de reactivos, requiere operación calificada, sensible a la composición del mineral
Separador magnético	Elimina las impurezas magnéticas (por ejemplo, hierro) del mineral	Campo magnético: 0,1-1,5 T, Tamaño de partícula: 0-6 mm, Potencia: 2-10 kW, Capacidad: 10-50 t/h	Utiliza campos magnéticos para atraer y eliminar impurezas magnéticas (por ejemplo, limaduras de hierro o magnetita) del mineral de tungsteno, mejorando la pureza y, a menudo, se usa en el pretratamiento para reducir la interferencia de sustancias magnéticas en reacciones químicas posteriores.	Operación simple, eliminación eficiente de hierro, bajo uso de energía	Limitado a impurezas magnéticas, ineficaz para impurezas no magnéticas, efecto limitado sobre partículas finas
					<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 2. Equipos de fundición y reacción química

Equipo	Función	Especificación	Descripción de la función	Ventajas	Desventajas
Horno de tostado	Convierte el concentrado de tungsteno en trióxido de tungsteno (WO <sub>3</sub> ) mediante tostado a alta temperatura	Rango de temperatura: 600-1200°C, Volumen del horno: 1-5 m <sup>3</sup> , Potencia: 100-500 kW, Capacidad: 1-5 t/h	Oxida el tungsteno en concentrados a WO <sub>3</sub> utilizando aire a alta temperatura, adecuado para procesos pirometalúrgicos; emplea hornos rotatorios u hornos de múltiples hogares, lo que permite la producción continua, comúnmente utilizada para la síntesis de WO <sub>3</sub> a gran escala.	Eficiencia a alta temperatura, producción estable, se adapta a varios tipos de minerales	Alto consumo de energía, tratamiento complejo de gases de escape, gran inversión inicial
Tanque de lixiviación	Extrae tungsteno con soluciones ácidas o alcalinas para formar tungstatos	Volumen: 5-50 m <sup>3</sup> , Velocidad de agitación: 50-200 rpm, Material: Resistente a ácidos/álcalis (por ejemplo, acero inoxidable 316L), Potencia calorífica: 20-50 kW	Reacciona el concentrado de tungsteno con soluciones ácidas (p. ej., HCl) o alcalinas (p. ej., NaOH) para disolver el tungsteno en tungstatos solubles (p. ej., Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> o (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ), utilizados en hidrometalurgia con sistemas de agitación y calentamiento para mejorar la eficiencia de la extracción.	Operación flexible, alta tasa de extracción, maneja minerales de baja ley	Altos costos de tratamiento de aguas residuales, riesgo de corrosión de equipos, largos tiempos de reacción
Autoclave	Realiza reacciones químicas a alta	Presión: 1-10 MPa, Temperatura: 100-300°C, Volumen: 0,5-10	Acelera las reacciones químicas entre el concentrado de tungsteno y las soluciones a alta presión y temperatura	Alta eficiencia de purificación,	Alto costo de equipo, operación

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	presión para purificar los compuestos de tungsteno	m <sup>3</sup> , Potencia: 50-150 kW	para producir ácido tungstico de alta pureza (H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) o paratungstato de amonio (APT), equipado con revestimientos resistentes a la corrosión (por ejemplo, aleación de titanio) para mayor durabilidad.	rápida velocidad de reacción, productos de alta pureza	compleja, altas demandas de mantenimiento
Reactor de fluoración	Produce hexafluoruro de tungsteno (WF <sub>6</sub> ) a través de una reacción en fase gaseosa	Temperatura: 300-700°C, Presión: 0,01-1 atm, Material: Resistente a HF (por ejemplo, aleación de níquel), Flujo de gas: 1-10 L/min	Facilita la reacción en fase gaseosa de WO <sub>3</sub> con fluoruro de hidrógeno (HF) para producir WF <sub>6</sub> de alta pureza, equipado con un control de temperatura preciso y sistemas resistentes a la corrosión, ampliamente utilizados en procesos de deposición química de vapor (CVD) de semiconductores.	Salida WF <sub>6</sub> de alta pureza, control preciso, excelente resistencia a la corrosión	Costo extremadamente alto, tratamiento complejo de gases de escape HF, alto riesgo operativo
					<u>GRUPO CTIA</u>

### 3. Equipos de refinación y separación

Equipo	Función	Especificación	Descripción de la función	Ventajas	Desventajas
Filtro Prensa	Separa sólidos de líquidos para recuperar compuestos de tungsteno	Área de filtrado: 10-100 m <sup>2</sup> , Presión: 0,6-1,6 MPa, Potencia: 5-15 kW, Capacidad: 1-10 t/h	Utiliza alta presión para filtrar y separar sólidos (por ejemplo, cristales de APT o Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) de soluciones de tungstato en hidrometalurgia, equipado con sistemas de descarga automatizados para recuperar compuestos de alta pureza y mejorar la pureza antes del secado.	Alta eficiencia de separación, alta automatización, fácil operación	Desgaste de la tela filtrante, alta inversión inicial, efecto limitado en materiales pegajosos
Centrífuga	Separa los cristales compuestos de tungsteno de las soluciones	Velocidad: 1000-5000 rpm, Volumen: 50-500 L, Potencia: 10-30 kW, Factor de separación: 500-2000 G	Emplea rotación de alta velocidad para generar fuerza centrífuga, separando los cristales compuestos de tungsteno (por ejemplo, APT, Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) de las soluciones; cuenta con tambores resistentes a la corrosión, ideales para una purificación rápida y eficiente en la producción a pequeña y mediana escala.	Separación rápida, cristales de alta pureza, versátil	Alto costo de equipo, mantenimiento complejo, sensible al tamaño de partícula
Cristalizador	Controla el crecimiento de cristales compuestos de tungsteno	Volumen: 1-20 m <sup>3</sup> , Temperatura: 20-100°C, Velocidad de agitación: 50-150 rpm, Velocidad de enfriamiento: 0,5-	Controla con precisión la temperatura, la agitación y las velocidades de enfriamiento para formar cristales uniformes a partir de soluciones de tungstato (por ejemplo, APT o Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ), a menudo equipados con	Alta calidad de cristal, fuerte control, adecuado para la producción en lote	Largo tiempo de cristalización, alto uso de energía, sensible a los parámetros del proceso

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		2°C/min	sistemas de enfriamiento circulante para optimizar la calidad del cristal para la producción de alta pureza.		
Columna de destilación	Purifica compuestos volátiles de tungsteno (p. ej., WF <sub>6</sub> )	Altura: 5-15 m, Temperatura: 0-200°C, Presión: 0,01-1 atm, Capacidad de destilación: 0,5-5 L/h	Separa las impurezas volátiles (p. ej., HF) de WF <sub>6</sub> a través de la destilación, equipada con condensadores y empaquetaduras resistentes a la corrosión (p. ej., Hastelloy), que se utilizan para producir WF <sub>6</sub> de alta pureza que cumple con los estrictos estándares de la industria de semiconductores.	Rendimiento de alta pureza, separación precisa, ideal para compuestos volátiles	Equipos caros, alto consumo de energía, instalación y mantenimiento complejos
					GRUPO CTIA

#### 4. Equipos de secado y posprocesamiento

Equipo	Función	Especificación	Descripción de la función	Ventajas	Desventajas
Secadora rotativa	Seca compuestos de tungsteno producidos por hidrometalurgia	Diámetro del tambor: 1-2 m, Temperatura: 100-300°C, Potencia: 20-50 kW, Capacidad: 1-5 t/h	Seca los compuestos de tungsteno producidos hidrometalúrgicamente (por ejemplo, WO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> o APT) a un estado de baja humedad utilizando un tambor giratorio y circulación de aire caliente, equipado con dispositivos de recuperación de polvo, adecuados para la producción continua a gran escala.	Funcionamiento continuo, secado uniforme, alta capacidad	Alto consumo de energía, gran huella, efecto limitado en polvos finos
Secador por pulverización	Seca por pulverización soluciones de compuestos de tungsteno hasta convertirlas en polvo	Temperatura de entrada: 150-400°C, Temperatura de salida: 80-120°C, Caudal de pulverización: 10-100 L/h, Potencia: 30-100 kW	Atomiza soluciones de tungstato (por ejemplo, Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) a alta presión en aire caliente, secándolas rápidamente en polvos a nanoescala (por ejemplo, nano-WO <sub>3</sub> ), ideales para productos de alto valor, a menudo equipados con sistemas eficientes de recuperación de calor.	Partículas finas y uniformes, secado rápido, ideal para nanomateriales	Alto costo de equipo, alto uso de energía, sensible a la concentración de la solución
Horno de vacío	Seca compuestos sensibles de tungsteno a baja temperatura bajo vacío	Temperatura: 50-200°C, Vacío: 0,01-0,1 MPa, Volumen: 50-500 L, Potencia: 5-15 kW	Seca compuestos organometálicos sensibles de tungsteno (por ejemplo, W(CO) <sub>6</sub> ) al vacío a bajas temperaturas para evitar la descomposición térmica o la oxidación, adecuados para el posprocesamiento de productos de alto valor en lotes pequeños en laboratorios o fabricación de precisión.	Protege materiales sensibles, secado uniforme, bajo uso de energía	Capacidad limitada, largo tiempo de secado, inadecuado para la producción a gran escala

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 5. Equipos auxiliares y medioambientales

Equipo	Función	Especificación	Descripción de la función	Ventajas	Desventajas
Depurador	Trata los gases de escape de ácidos (p. ej., HF, HCl) de la producción	Capacidad de tratamiento: 1000-10000 m <sup>3</sup> /h, Relación líquido-gas: 2-5 L/m <sup>3</sup> , Material: PP resistente a la corrosión o acero inoxidable, Potencia: 10-50 kW	Absorbe los gases de escape ácidos (p. ej., HF, HCl de la producción de WF <sub>6</sub> o WCl <sub>6</sub> ) utilizando soluciones alcalinas (p. ej., NaOH) con pulverización de varias etapas, lo que garantiza el cumplimiento de las normas medioambientales (p. ej., GB 16297-1996) y protege a los trabajadores y el medio ambiente.	Tratamiento eficiente de los gases de escape, resistente a la corrosión, cumple con las normas medioambientales	Alta inversión inicial, tratamiento complejo de aguas residuales, altos costos operativos
Sistema de tratamiento de aguas residuales	Neutraliza y elimina los iones de tungsteno de las aguas residuales	Capacidad de tratamiento: 1-20 m <sup>3</sup> /h, Ajuste de pH: 6-9, Eficiencia de precipitación: >99%, Potencia: 5-20 kW	Neutraliza y precipita iones de tungsteno de aguas residuales hidrometalúrgicas utilizando agentes (por ejemplo, Ca(OH) <sub>2</sub> ), asegurando el cumplimiento de la descarga (W < 1 mg/L), equipado con tanques de sedimentación y filtros, comúnmente utilizados para la gestión ambiental en líneas de producción a gran escala.	Alta eficiencia de eliminación, respetuoso con el medio ambiente, automatizable	Altos costos de inversión y operación, gran huella, requiere mantenimiento regular
Colector de polvo	Captura el compuesto de tungsteno	Eficiencia de filtración: >99,9%, Caudal de aire: 5000-20000 m <sup>3</sup> /h, Potencia: 10-30 kW, Emisión: ≤ 10 mg/m <sup>3</sup>	Utiliza tecnología de bolsa o electrostática para capturar el polvo de la producción de WO <sub>3</sub> o APT, evitando la contaminación del aire y salvaguardando la salud de los trabajadores, cumpliendo con los estándares de emisiones (por ejemplo, GB 16297-1996 ≤ 30 mg/m <sup>3</sup> ).	Alta eficiencia de eliminación de polvo, fácil operación, protege la salud del trabajador	Reemplazo frecuente de la bolsa de filtro, alto costo inicial, efecto limitado sobre el polvo ultrafino

## Notas

### Fuentes de datos

Las especificaciones se derivan del Manual de Diseño de Equipos de *Ingeniería Química*, los estándares industriales (por ejemplo, GB 16297-1996, EU IED) y las descripciones de procesos en el libro, complementadas con datos típicos de los proveedores.

Las descripciones de las funciones y las ventajas/desventajas se basan en aplicaciones prácticas en la producción de productos químicos de tungsteno, lo que garantiza la relevancia.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### Refinamiento de funciones

Las descripciones de las funciones se han ampliado (por ejemplo, "Utiliza alta presión para filtrar y separar sólidos de las soluciones de tungstato, separándolos de los líquidos") para alinear el recuento de palabras con otras columnas (~50-80 palabras), enfatizando roles específicos en el proceso (por ejemplo, horno de tostado para pirometalurgia  $WO_3$ , columna de destilación para purificación  $WF_6$ ).

### Ventajas y desventajas:

#### Ventajas

Destaque la eficiencia, la durabilidad o los beneficios ambientales para ayudar a la selección de equipos.

#### Desventajas:

Tenga en cuenta el uso de energía, el mantenimiento o la complejidad operativa para obtener orientación práctica.

### Exclusiones

Cubre todos los productos químicos de tungsteno (por ejemplo,  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ,  $WF_6$ ) del libro, excluyendo el polvo de tungsteno, el polvo de carburo de tungsteno y los metales duros, según se solicite.

Se ha eliminado la sección de precios, centrándose en las características técnicas para evitar los impactos de las fluctuaciones del mercado.



#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT