

## UNIDAD DE TRABAJO 8

### TÉCNICAS GRAVIMÉTRICAS.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

El análisis gravimétrico engloba a todas aquellas técnicas analíticas en las cuales se mide directamente una masa o la variación en la masa, con el objetivo de conocer la composición o pureza de una determinada muestra. La medida de la masa es fundamental en las determinaciones analíticas y por ello, la gravimetría es la técnica analítica más antigua.

Los procedimientos experimentales en una gravimetría implican la determinación de la cantidad de una sustancia, de un elemento, o de un compuesto presente en una muestra después de ser separado y finalmente pesado en el estado de mayor pureza posible, utilizando un tratamiento adecuado.

El **análisis gravimétrico** se basa en la determinación del contenido de analito en una muestra mediante operaciones de pesada. Éste requiere fundamentalmente dos medidas experimentales:

- Peso o volumen de la muestra a analizar.
- Peso de un sólido seco que o bien es el propio analito o una sustancia de composición química conocida que contenga el analito.

De acuerdo con el método de separación, se pueden distinguir cuatro **tipos de técnicas gravimétricas**:

- *Gravimetría de volatilización*: es aquella técnica gravimétrica en la cual se mide la masa de una especie química volátil producida por la muestra.
- *Gravimetría por precipitación*: es aquella técnica gravimétrica en la cual se mide la masa de una especie producida por reacción química de la muestra con un reactivo específico.
- *Electrogravimetría*: es aquella técnica gravimétrica en la cual se mide la masa del sólido depositado en uno de los electrodos, ánodo o cátodo, de una célula electrolítica. Es en realidad un método instrumental de análisis.
- *Gravimetría de aislamiento o particulada*: es aquella técnica gravimétrica en la cual se mide la masa de analito que se ha separado de la matriz de la muestra por extracción o filtración.

En general, las técnicas gravimétricas suelen proporcionar resultados de gran exactitud si se trabaja en condiciones precisas y, por ello, continúan utilizándose en los métodos oficiales de análisis de distintos países. No obstante, al requerir un prolongado tiempo de análisis, muchas determinaciones gravimétricas han dejado de utilizarse en los análisis convencionales.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS

Los métodos gravimétricos más utilizados en análisis químico clásico son las gravimetrías por precipitación y las gravimetrías por volatilización.

### 2.1. GRAVIMETRÍAS POR VOLATILIZACIÓN

El analito o algún producto del analito se separan en forma gaseosa. La determinación de este gas puede hacerse por:

- *Método de volatilización directo*: El producto volátil (gas) se recoge sobre un sorbente y se pesa.
- *Método de volatilización indirecto*: En el que se determina la masa del producto volatilizado (gaseoso) por diferencia, a partir de la pérdida de masa de la muestra.

Las aplicaciones más importantes son la determinación de agua en muestras sólidas y la de carbono en compuestos orgánicos por formación de CO<sub>2</sub>.

#### Ejemplo:

➤ Determinación de la humedad de un alimento:

1. *Método directo*: La muestra se calcina, se recoge el agua sobre un desecante sólido y su masa se determina a partir del peso ganado por el desecante.
2. *Método indirecto*: La cantidad de agua se determina por la pérdida de peso de la muestra después de la calefacción. Se puede cometer error si hay otros componentes que puedan volatilizarse.

#### Ejemplo:

➤ Determinación de carbonatos:

- Los carbonatos se descomponen normalmente en medio ácido para dar dióxido de carbono, que se elimina fácilmente por calefacción.
- El peso de dióxido de carbono se determina por el ***aumento de peso de un sólido absorbente***.
- En el tubo de absorción y *antes del absorbente*, se coloca ***un desecante*** para que retenga al agua.

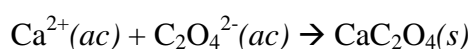
## 2.2. GRAVIMETRÍAS POR PRECIPITACIÓN

(El resto del tema se referirá a este tipo de métodos)

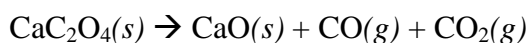
El analito se separa de los demás constituyentes de la muestra por formación de un compuesto insoluble. El peso del analito en la muestra se determina a partir del peso del compuesto obtenido inicialmente, o de un compuesto producido posteriormente por calentamiento.

### Ejemplo:

- Determinación de la cantidad de calcio en aguas naturales:
- Se añade un exceso de ácido oxálico,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , a un volumen de muestra medido cuidadosamente.
- En presencia de amoníaco, todo el calcio precipita como oxalato de calcio.



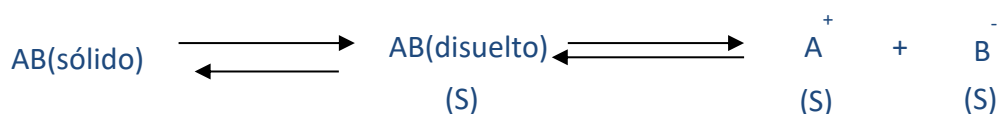
- El precipitado se transfiere a un crisol, previamente pesado, se seca y se calcina al rojo vivo.
- El precipitado se transforma cuantitativamente en óxido de calcio



- El crisol con el precipitado se enfría, se pesa y, por diferencia, se determina la masa de óxido de calcio.
- A continuación se calcula el contenido de calcio en la muestra.

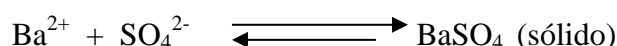
### 2.2.1. RECORDATORIO DE ALGUNOS CONCEPTOS...

- **Solubilidad (S):** Se define como la máxima cantidad de soluto disuelto permitida por litro de disolución. Todas las sustancias en mayor o menor grado son solubles en agua.
- **Equilibrio de solubilidad.** Disolver el sólido



- **Equilibrio de precipitación.** Formación del precipitado

Es el que se establece si el compuesto AB se forma al mezclar disoluciones iónicas de compuestos solubles que contienen los iones  $\text{A}^{+}$  y  $\text{B}^{-}$  por separado



- **Constante del equilibrio. Producto de solubilidad:**

$$K_{ps} = [\text{A}] \cdot [\text{B}] = (\text{S}) \cdot (\text{S}) = (\text{S})^2$$

### 2.2.2. CARACTERÍSTICAS IDEALES DE LOS PRECIPITADOS Y DE LOS REACTIVOS PRECIPITANTES.

La precipitación debe ser cuantitativa, o lo que es lo mismo, la solubilidad del precipitado debe ser suficientemente pequeña para que la cantidad perdida no afecte al resultado. Para ello, un precipitado para su uso en análisis gravimétrico debe cumplir las siguientes características:

- El **precipitado** debe ser **suficientemente insoluble** para asegurar que el proceso sea cuantitativo y para reducir pérdidas en el lavado del mismo. Elegir condiciones experimentales (pH y temperatura) para **Ks pequeña**. Puede añadirse exceso de precipitante para forzar la precipitación por efecto de **ion común**, aunque no siempre puede utilizarse un exceso de reactivo para incrementar la cuantitatividad, ya que puede producirse la redisolución por formación de complejos, o la impurificación del precipitado con el reactivo precipitante. Reacción **específica**, (*selectiva en condiciones adecuadas*) entre agente precipitante y analito.
- El precipitado debe ser **puro**, no debe estar contaminado por otros compuestos presentes en la disolución.
- Debe poder transformarse en una especie de **estequiometría exactamente conocida** después de secar o calcinar, si fuera necesario.
- El precipitado debe ser **estable** ante agentes atmosféricos (que no adsorba humedad, H<sub>2</sub>O, no higroscópica o CO<sub>2</sub>, que no reacciones con el O<sub>2</sub>) y a ser posible de peso molecular alto (factor gravimétrico bajo).
- Precipitado **fácilmente filtrable** (tamaño partícula adecuado) y **lavable** para quedar libre de contaminantes. Debe tener un **tamaño de partícula** adecuado para poder ser filtrado sin atravesar los poros del filtro. El tamaño de partícula puede aumentarse controlando las condiciones de precipitación y realizando la digestión del precipitado.

### 2.2.3. ETAPAS DE UN MÉTODO GRAVIMÉTRICO DE PRECIPITACIÓN.

Las etapas de que consta un método gravimétrico de precipitación son:

1. Toma y preparación de la muestra.
2. Precipitación.
3. Digestión y envejecimiento del precipitado.
4. Separación del precipitado (filtración).
5. Lavado del precipitado.
6. Tratamiento térmico (secado o calcinación).
7. Pesada.
8. Cálculos gravimétricos.

Son pocos los precipitados que cumplen los requisitos necesarios para que cada etapa se cumpla con éxito. De ahí que existan pocos métodos descritos que proporcionen buenos resultados, aunque algunos de ellos son muy utilizados.

### 1. Precipitación:

Contra-iones presentes en disolución se atraen para formar pares iónicos. Los pares iónicos se arreglan espacialmente para formar una red cristalina específica. Si el producto iónico de las especies involucradas supera la constante de producto de solubilidad de la sal a una temperatura determinada, se propicia la formación del precipitado.

La formación de un precipitado tiene lugar en tres etapas:

- La **nucleación**, en la que se forman agregados estables de unos pocos iones de precipitado. Es un proceso en el que se agrupa una cantidad mínima de iones, átomos o moléculas para formar un sólido estable, núcleo. Es un proceso espontáneo o inducido.
- El **crecimiento cristalino**, donde nuevos iones se unen a los núcleos aumentando su tamaño. Es un proceso de crecimiento tridimensional del núcleo de una partícula para formar la estructura de un cristal.
- El **envejecimiento** durante el cual el precipitado evoluciona hacia formas más insolubles.

La precipitación se inicia con la nucleación y éste proceso y el de crecimiento del cristal compiten siempre en la formación de un precipitado.

Durante la precipitación interesa que se formen **partículas grandes**. Si la nucleación predomina se forman muchas partículas de tamaño pequeño y si predomina el crecimiento cristalino se formarán menos partículas de mayor tamaño. El predominio de uno sobre el otro está determinado por la sobresaturación relativa (SSR) de la disolución:

$$SSR = \frac{Q - S}{S}$$

donde  $s$  es la solubilidad del precipitado y  $Q$  la concentración real en la disolución en un momento dado, que por motivos cinéticos puede ser mayor que la solubilidad.

En una primera etapa, se forman los núcleos y, a continuación, éstos crecen. A **mayor sobresaturación**, se forma un **mayor número de núcleos**, por lo que el **tamaño** promedio de las **partículas** es **menor**: se pueden producir *precipitados coloidales*. Por el contrario, con una **sobresaturación baja** el **número de núcleos** formados es más **pequeño**, resultando en **partículas mayores**.

Para obtener mayor facilidad en el filtrado y lavado, a la vez que menor contaminación con impurezas, es conveniente obtener partículas de mayor tamaño, por lo que de ser posible se deberán ajustar las condiciones de precipitación a fin de mantener un valor mínimo de sobresaturación relativa.

Para conseguir condiciones de **sobresaturación baja** se puede:

- Aumentar la solubilidad. La sobresaturación relativa disminuye al aumentar la solubilidad, con lo que se favorece la obtención de partículas bien formadas. En general, se deben utilizar condiciones experimentales en las que la solubilidad no sea excesivamente baja. Con frecuencia, la solubilidad aumenta al incrementarse la temperatura, por lo que es frecuente **precipitar en caliente**.
- Disminuir la concentración de reactivos utilizando disoluciones diluidas y mediante la **adición lenta del reactivo precipitante** gota a gota y agitando continuamente para evitar

concentraciones locales elevadas. Otra estrategia es la **precipitación homogénea** en la cual se genera el reactivo precipitante en disolución con una reacción lateral, en concentración baja, y la sobresaturación lo menor posible. El agente precipitante se genera lentamente y de manera inmediata precipita con el analito. Se forman precipitados con buena tamaño de partícula y poco contaminados.

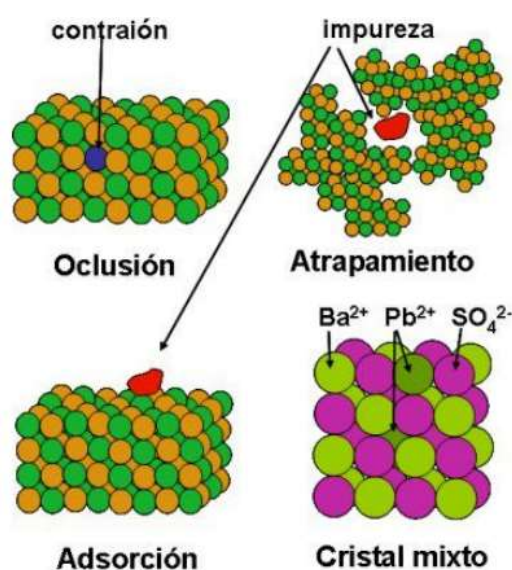
## 2. Digestión y envejecimiento del precipitado:

La digestión es un proceso de purificación y mejora del tamaño de partícula que consiste en dejar por algún tiempo el sólido recientemente precipitado en contacto con la disolución a partir de la cual se obtuvo ("aguas madres").

En general se realiza a temperatura elevada y da lugar a la formación de cristales más grandes y regulares que son más fácilmente filtrables y también más puros. Este proceso, denominado envejecimiento, incluye cambios estructurales de diversos tipos en el precipitado: crecimiento de los cristales grandes a costa de los pequeños, reordenación de los iones en la red cristalina desapareciendo las imperfecciones, y en ocasiones, cambios químicos. Con frecuencia, la solubilidad del precipitado disminuye.

La contaminación de precipitados se debe, principalmente, a la **coprecipitación** de sustancias solubles arrastradas debido a:

- Adsorción en la superficie: Aumenta con la superficie. (Suspensiones coloidales).
- Absorción en el interior del cristal por:
  - Formación de cristales mixtos: El ion contaminante sustituye a un ion de analito en la red cristalina del precipitado. Es un proceso de equilibrio.
  - Oclusión de bolsas de disolvente: Iones extraños disueltos quedan atrapados dentro de un cristal en crecimiento. No es un proceso en equilibrio.
  - Atrapamiento mecánico: Un ion extraño es atrapado entre dos cristales en crecimiento. No es un proceso de equilibrio.



La pureza del precipitado se mejora mediante la:

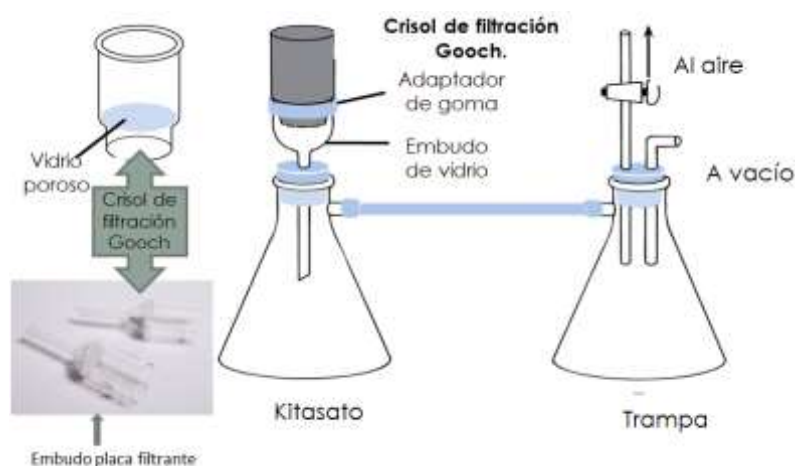
- Precipitación lenta en caliente lo que favorece el crecimiento cristalino y que disminuya la superficie del precipitado.
- Digestión en condiciones de saturación en contacto con las “aguas madres” y temperatura elevada. Se produce la recrystalización y se forman cristales más grandes y regulares y se eliminan impurezas.
- Lavado adecuado que elimina las impurezas adsorbidas en la superficie. Se debe utilizar un electrolito volátil para evitar que el precipitado peptice y se vuelva coloidal.
- En algunos casos con elevada oclusión, es necesario **reprecipitar el analito**, es decir, disolver el precipitado y volver a precipitarlo en una disolución con menos contaminantes.
- La mayoría de reactivos precipitantes no son específicos, sino tan sólo selectivos, es decir, pueden precipitar a varios iones. De ahí que a menudo deba realizarse una **separación previa** antes de aplicar el método gravimétrico. Las interferencias a veces se evitan seleccionando un **pH adecuado**, o añadiendo un **enmascarante**.

### 3. Separación:

El precipitado debe separarse o aislarse de la fase líquida (aguas madres) mediante filtración. Esta operación debe ser sencilla y rápida. Para ello, el tamaño de las partículas debe ser suficientemente grande para que sean retenidas por el filtro. El precipitado no debe atravesar el filtro, ni obstruir los poros. A ser posible, debe ser **cristalino**.

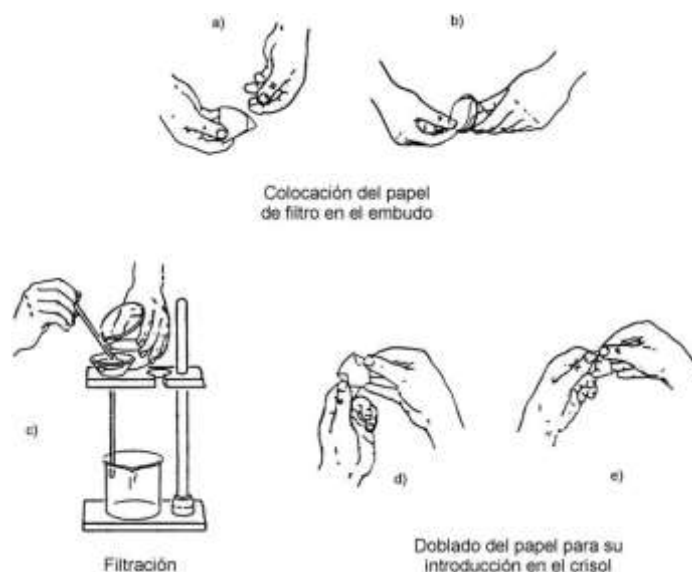
- ☐ Medios de filtrado:
  - Papel gravimétrico o sin cenizas.
  - Crisoles de vidrio o porcelana filtrante.
- ☐ Formas de filtrar:
  - por gravedad
  - por succión (vacío)

Cuando el precipitado tan sólo se seca, la filtración se efectúa sobre un crisol con **placa filtrante** construida con vidrio sinterizado, que se introduce en la estufa.





Cuando el precipitado se calcina, éste se filtra sobre **papel de filtro gravimétrico sin cenizas**, que se coloca dentro de un embudo de vidrio. Se trata de papel de filtro que ha sido tratado para que al calcinarse deje un residuo despreciable.



Tanto las placas filtrantes como los papeles de filtro gravimétrico se comercializan con diversos tamaños de poro, para filtrar partículas de distinto tamaño. Los embudos o crisoles de Gooch, con placas porosas, van numeradas de 0 a 4, siendo las 0 las de mayor tamaño de poro y las de 4 las de más pequeño tamaño de poro.



*Crisol filtrante Gooch*

#### 4. Lavado del precipitado:

Aunque la única especie que pueda reaccionar con el reactivo precipitante sea el analito, durante la precipitación todos los precipitados arrastran algunos compuestos solubles presentes en la disolución. A este fenómeno se le denomina coprecipitación. Las impurezas pueden quedar adsorbidas (retenidas sobre la superficie del precipitado), o absorbidas (retenidas dentro de las partículas).

El lavado es siempre necesario, puesto que siempre queda una capa de líquido adherido al precipitado, que contiene otras especies químicas. Algunos precipitados se lavan con agua pura, pero es conveniente que en el agua de lavado haya siempre un electrolito para que el precipitado no peptice, es decir, produzca partículas de tamaño coloidal (de un tamaño que atravesaría los filtros).



Al añadir el electrolito, se estrecha la capa difusa que rodea al precipitado, y se da oportunidad a las partículas del precipitado a que se acerquen y unan, creciendo de este modo.

El electrolito utilizado en el lavado debe ser volátil para que pueda ser eliminado durante el secado o calcinación. Suelen ser adecuados  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  o  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

## 5. Tratamiento térmico

El precipitado debe poseer una **composición química conocida**, o debe convertirse con facilidad en un sólido de composición definida. Esto es **imprescindible** para hallar, mediante cálculo, la composición del analito en la muestra original.

Todos los precipitados retienen agua, lo que obliga a calentar el precipitado para que éste alcance una composición definida. Por lo tanto, un método gravimétrico siempre incluye una etapa de tratamiento térmico de secado o calcinación:

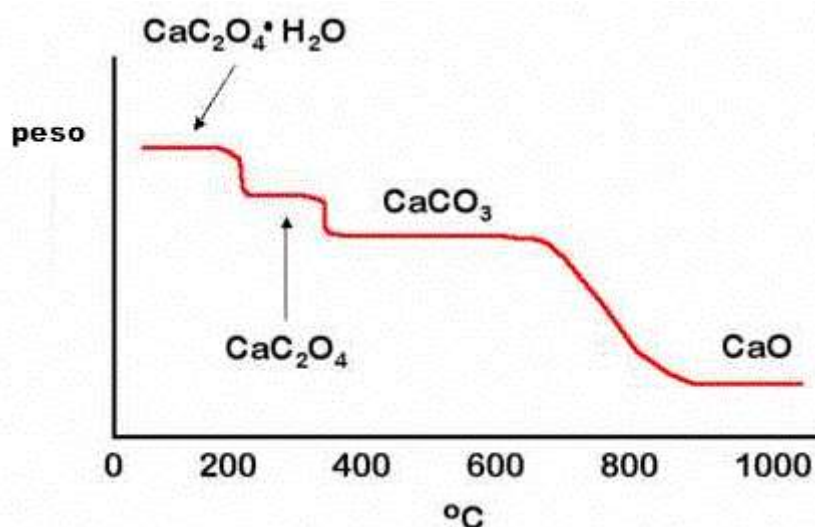
- El **secado** se realiza en estufa, generalmente a  $100\text{--}120^\circ\text{C}$ .
- La **calcinación** se lleva a cabo en mufla, generalmente a  $500\text{--}1000^\circ\text{C}$ . La calcinación suele implicar la **conversión** del precipitado inicial en otra forma química, y desde luego, la **destrucción de los compuestos orgánicos**.



Calcinación del papel



Calcinación del precipitado



La temperatura necesaria varía según el precipitado

## 6. Pesada

El procedimiento finaliza con la pesada del producto final obtenido en el tratamiento térmico. El producto final:

- no debe ser higroscópico, es decir, no debe adsorber humedad de la atmósfera.
- no debe reaccionar con el O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> atmosféricos.

Puesto que es inevitable que tenga lugar la adsorción de agua en un ambiente húmedo, el producto debe guardarse en desecador.

El peso del precipitado se conoce por diferencia:

$$(\text{Placa filtrante o crisol} + \text{precipitado}) - (\text{Placa filtrante o crisol}) = (\text{precipitado})$$

El precipitado se pesa en una balanza analítica, (con cuatro cifras decimales, para que la precisión en la pesada sea superior al 0,1%). Para lograr esta precisión, además, el peso mínimo del precipitado debe ser superior a 0,1 g.

## 7. Cálculos

A partir del peso del precipitado, de su estequiometría y de los pesos atómicos y moleculares, se calcula el peso del analito y su contenido en la muestra.

Factor gravimétrico (Fg): relaciona el peso de dos sustancias que están en proporción estequiométrica.

$$Fg = \text{Peso fórmula analito} / \text{peso molecular forma de pesada}$$

$$\text{Gramos de analito en la muestra: } Pg \times Fg$$

$$\% \text{ de analito} = (\text{gramos de analito} / \text{gramos de muestra}) \times 100$$

El análisis gravimétrico puede dar lugar a resultados de una **gran exactitud** (idealmente, décimas por ciento), pero es un procedimiento **largo** que requiere mucha atención, por lo que no es ventajoso si se deben analizar muchas muestras.

Los errores del método se deben a:

- ✓ pérdidas por la solubilidad del precipitado.
- ✓ Pérdidas mecánicas.
- ✓ ganancias por coprecipitación.

**Ejemplo:**

Se pesó 0,6223 g de una muestra de mineral. Posterior a un pre-tratamiento se precipitó en  $\text{CdSO}_4$  ( $Pm=208,47 \text{ g/mol}$ ). El precipitado se lavó, secó y se encontró que pesaba 0,5320 g. Calcular el porcentaje de cadmio en la muestra.

El enunciado nos proporciona los siguientes datos:

$$\text{Masa mineral} = 0,6223 \text{ g}$$

$$\text{Masa CdSO}_4 = 0,5320 \text{ g}$$

Para calcular el porcentaje % de cadmio (Cd) en la muestra, inicialmente se debe calcular el número de moles de Cd producido ( $\text{CdSO}_4$ ).

$$\text{moles (n) CdSO}_4 = 0,5320 \text{ g CdSO}_4 \cdot \frac{1 \text{ mol CdSO}_4}{208,47 \text{ g}}$$

$$n \text{ CdSO}_4 = 2,408 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Sabemos, que el número de moles de Cd en la muestra es igual al número de moles de  $\text{CdSO}_4$ , es decir:

$$\text{moles (n)Cd} = 2,408 \times 10^{-3} \text{ mol CdSO}_4 \cdot \frac{1 \text{ mol Cd}}{1 \text{ mol CdSO}_4}$$

$$n \text{ Cd} = 2,408 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{masa (g)Cd} = 2,408 \times 10^{-3} \text{ mol Cd} \cdot \frac{112,411 \text{ g}}{1 \text{ mol Cd}}$$

$$g \text{ Cd} = 0,2706 \text{ g}$$

Teniendo la masa Cd, el porcentaje se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje (\% ) Cd} = \frac{\text{masa (g)Cd}}{\text{masa de la muestra de mineral}} \cdot 100$$

$$\text{Porcentaje (\% ) Cd} = \frac{0,2706 \text{ g Cd}}{0,6223 \text{ g mineral}} \cdot 100$$

$$\text{Porcentaje (\% ) Cd} = 43 \%$$

## 2.2.4. TIPOS DE REACTIVOS PRECIPITANTES

### Reactivos precipitantes inorgánicos:

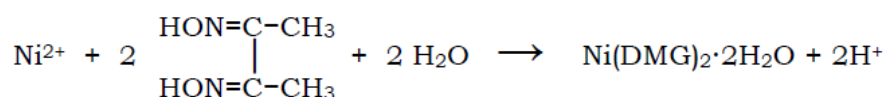
- Son poco selectivos.
- Forman con el analito óxidos o sales poco solubles.
- Pueden precipitar otros aniones o cationes junto con el analito.
- Obligan a diseñar esquemas separación.
- Los precipitados obtenidos suelen necesitar calcinación.

Analito	Reactivo inorgánico	Forma de precipitación	Forma de pesada	Tratamiento térmico (°C)
Cloruro	$\text{Ag}^+ (\text{AgNO}_3)$	$\text{AgCl}$	$\text{AgCl}$	110
Sulfato	$\text{Ba}^{2+} (\text{BaCl}_2)$	$\text{BaSO}_4$	$\text{BaSO}_4$	800
Fosfato	$\text{Mg}^{2+} (\text{MgCl}_2)$	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4$	$\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$	1000
Calcio	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCO}_3$	500
Magnesio	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4$	$\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$	1000

### Reactivos precipitantes orgánicos:

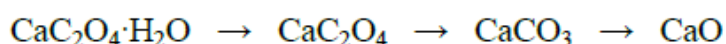
- Son más selectivos, específicos controlando las condiciones experimentales.
- Se usan agentes quelatantes.
- Se forman productos de coordinación sin carga poca solubles.
- Los precipitados se obtienen en su forma de pesada, solo necesitan secarse.

La dimetilglioxima es un reactivo específico de níquel. Se utiliza en medio amoniacal:



Para eliminar las dos moléculas de agua, se calienta el precipitado a 110–120°C. Si se aumentara más la temperatura, se destruiría la parte orgánica del precipitado.

El calcio puede determinarse como oxalato cálcico aunque no es una forma de pesada muy adecuada por tener agua de hidratación, por lo que suele calcinarse a 1000 °C, para convertirlo en CaO (a 500 °C se transforma en carbonato):



Los reactivos orgánicos poseen dos ventajas importantes:

- su mayor selectividad
- su elevado peso molecular, lo que da lugar a factores gravimétricos muy favorables

En contrapartida, los reactivos orgánicos con frecuencia:

- son poco solubles en medio acuoso.
- pueden coprecipitar.
- son más inestables.
- su coste es muy superior al de los reactivos inorgánicos.

### 3. APLICACIONES DE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS

Se han desarrollado métodos gravimétricos para:

- Aniones inorgánicos: sulfato, fosfato, cloruro, silicatos, etc.
- Cationes inorgánicos: calcio, magnesio, hierro, aluminio, potasio, etc.
- Especies neutras: agua, dióxido de azufre, dióxido de carbono.
- Diversas sustancias orgánicas: lactosa, colesterol, benzaldehído, etc.

**En alimentos se aplican entre otros para:**

- ✓ Determinación de la humedad.
- ✓ Determinación de fibra bruta en diversos alimentos.
- ✓ Determinación de sulfatos en aguas de diversas procedencias.
- ✓ Determinación de calcio en productos lácteos.
- ✓ Determinación de lactosa en productos lácteos.
- ✓ Determinación de colesterol en cereales.
- ✓ Determinación de benzaldehído en extractos de almendras.

### 4. CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS DE LAS GRAVIMETRÍAS.

- **Selectividad:** Está vinculada a la selectividad del reactivo analítico precipitante seleccionado.
- **Sensibilidad:** Al igual que las volumetrías solo se pueden aplicar para el análisis de componentes mayoritarios. La concentración del analito ha de ser superior al 1% del contenido de la muestra.
- **Exactitud:** Excelente : 1-2%. Los cálculos son estequiométricos.
- **Precisión:** Está vinculada a la precisión de la obtención del peso del precipitado. Hoy en día se dispone de excelentes balanzas analíticas.
- **Otras:**
  - No se requieren estándares.
  - No requieren calibración.
  - Mínimos requerimientos instrumentales.
  - Son procedimientos lentos.