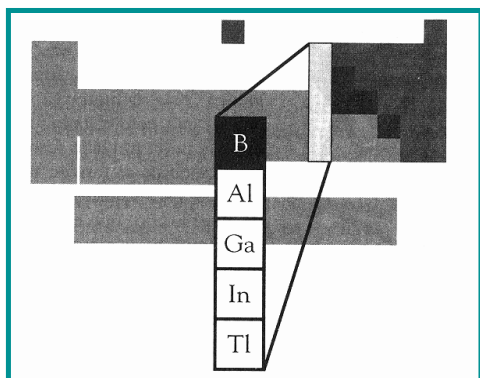


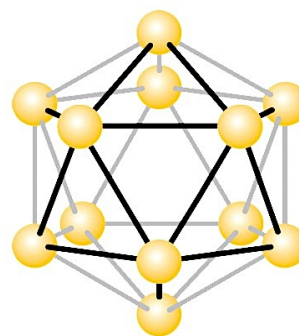


Facultat
de Química

Tema_5. Química del Boro



(adaptada de: G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª ed, Pearson Educación, 2000)



unidad estructural del boro elemental

(adaptada de: P. Atkins, L. Jones, *Chemistry: Molecules, Matter and Change*, 4ª ed, W. H. Freeman and Co, 2000)

Prof. Responsable: **José María Moratal Mascarell**, Catedrático de Química Inorgánica (jose.m.moratal@uv.es)

1

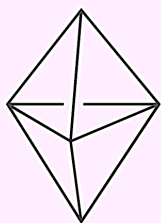


Facultat
de Química

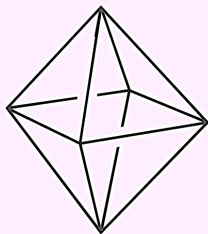
Tema 5. Química del Boro

Indice

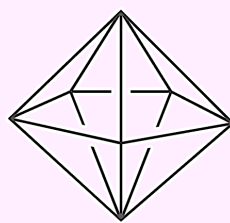
- **1. Descubrimiento y Estado natural**
- **2. Boro elemental**
 - características generales, alotropía, reactividad, obtención
- **3. Tipo de enlace en los compuestos de boro**
- **4. Compuestos del boro**
 - 1. Trihaluros de boro
 - 2. Oxidos de boro
 - 3. Oxoácidos de boro
 - 4. Boratos
 - 5. Boruros
 - 6. Boranos



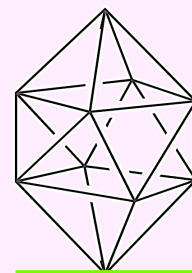
$n = 5$
Trigonal
bipyramid



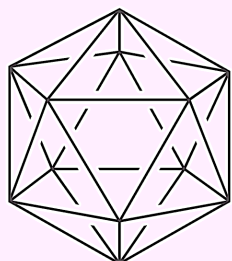
$n = 6$
Octahedron



$n = 7$
Pentagonal
bipyramid



$n = 10$
Bicapped
square-antiprism



$n = 12$
Icosahedron

Algunos *deltaedros* que debemos conocer

(los poliedros que contienen caras triangulares se denominan genéricamente *deltaedros*)

<i>deltaedros</i>	vértices	nº caras
<i>bipirámide trigonal</i>	5	6
<i>octaedro</i>	6	8
<i>bipirámide pentagonal</i>	7	10
<i>antiprisma cuadrado...</i>	10	16
<i>icosaedro</i>	12	20

(adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe,
Inorganic Chemistry, 4th ed, Pearson Ed. Ltd, 2012)

1. Descubrimiento

1. Descubrimiento y Estado natural

- bórax conocido desde la antigüedad → utilizado en fabricación vidrios
- siglo XVIII, H. Davy, J. L. Gay Lussac, L. J. Thenard
 - obtienen muestras muy impuras de B
- 1892, H. Moissan
 - muestras de B pureza 95-98% → reducción de B_2O_3 con Mg

2. ¿Cómo se encuentra en la naturaleza?

- gran afinidad por el oxígeno → formando oxocompuestos (boratos)
- aunque muy escaso en la corteza terrestre → posición 38º por abundancia
 - afortunadamente se presenta *concentrado* en grandes depósitos de boratos
 - $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$ (bórax) $Na_2B_4O_7 \cdot 4 H_2O$ (kernita)
- mayor depósito → Boron (California)
 - lechos de *kernita* de casi 50 m de espesor y ~10 km² de extensión
- principales depósitos de boratos
 - California (desierto de Mojave), Turquía, Rusia, Tibet, Argentina

1. Características generales

2. Boro elemental

- 1.- ¿Configuración electrónica ($Z = 5$)?
- 2.- ¿Isótopos naturales estables? ¿pocos o varios?
 - $Z = \text{impar} \rightarrow$ sólo 2 isótopos naturales estables (^{10}B , ^{11}B)
 - sólo $^{10}\text{B} \rightarrow$ gran capacidad para absorción neutrones

configuración electrónica	nº de isótopos naturales	abundancia isótopos naturales	sección eficaz para captura de neutrones y partículas α (en barns)
[He] $2s^2 2p^1$	2	^{10}B 19,6%	$^{10}_5\text{B} = 3835$
		^{11}B 80,4%	$^{11}_5\text{B} = 0,005$
			B (natural) ≈ 767

- 3.- Energías de ionización elevadas(*); electronegatividad (χ)

Energía de ionización ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	EI_1	EI_2	EI_3	EI_4
	801	2427	3660	25030
Electronegatividad (χ)	B	H	C	Si
	2,0	2,2	2,5	1,9

▪ ¿por qué $\text{I}_4 \gg \text{I}_3$?

▪ ¿polaridad de enlace B–H vs. C–H?

(*) $\text{I}_1(\text{Na}) = 520 \text{ kJ/mol}$

5

1. Características generales

2. Boro elemental

- 4.- Carácter metálico/no metálico
 - único elemento del grupo 13 no metálico
 - se puede considerar *no metal* $\rightarrow$ extensa química de oxoaniones e hidruros
 - se puede clasificar como *semi-metal* $\rightarrow$ baja conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica a 298 K ($\text{ohm}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$)	$1,5 \times 10^{-6}$
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	2180
$\Delta H^{\circ}_{\text{atomiz}}$ ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	582
Radio covalente ($\text{\AA}$)	0,88
Densidad 20°C ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	2,35

- 5.- Aspecto del boro
 - sólido color oscuro, brillo metálico
 - elevado p. f. ¿por qué? $\rightarrow$ ruptura enlaces de *red covalente* ($\Delta H^{\circ}_{\text{atomiz}}$ elevada)
 - refractario y de gran dureza (próxima a diamante)

2. Estructura del boro elemental

- 1.- Singularidad del boro
 - a) único no metal que tiene más orbitales de valencia (4) que electrones (3)
 - habitual entre metales/los elementos con esta situación presentan enlace metálico

6

2. Estructura del boro elemental

2. Boro elemental

• 1.- Singularidad del boro

■ b) por la complejidad estructural de sus formas alotrópicas

- reflejo de *diversidad de estrategias* mediante las cuales el boro resuelve el problema de tener menos electrones de valencia que orbitales disponibles para el enlace

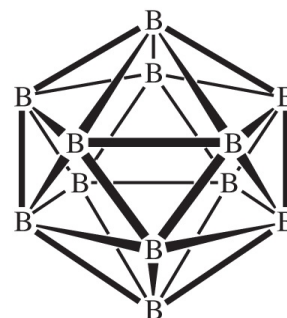
2. Estructura del boro elemental

(de: G. L. Miessler, D. A. Tarr, *Inorganic Chemistry*, 4th ed, Pearson Prentice Hall, 2011)

• 2.- ¿Unidad estructural?

■ todas las modificaciones cristalinas constan de ...

- una red extensa formada por icosaedros B_{12}
- icosaedro $\rightarrow$ 12 vértices, 20 caras triangulares
- *etimología de icosaedro*
 - » del griego *eikosaedron*: éikosi $\rightarrow$ veinte; hedra $\rightarrow$ cara
- las aristas del icosaedro no representan enlaces covalentes bicéntricos
 - » la arista sólo tiene significado geométrico
 - » cada B del icosaedro se une a otros 5 B y no dispone de 5 OA's
- general- cada B se une a otros 6B (5 del icosaedro) y usa 3 $e^- \rightarrow$ OE promedio $\frac{1}{2}$



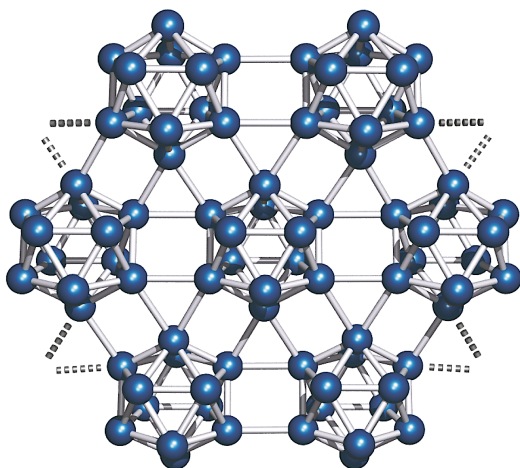
7

2. Estructura del boro elemental

2. Boro elemental

• 3.- Boro α -romboédrico

- alótropo más simple y de mayor densidad, red 3-D covalente
- empaquetamiento cúbico compacto de icosaedros ¿enlace?
 - unión de icosaedros dentro de una lámina $\rightarrow$ enlaces tricéntricos
 - unión entre las láminas $\rightarrow$ enlaces covalentes B-B



Parte de una capa de red infinita de Boro α -romboédrico: se muestran las unidades de construcción icosaedricas- B_{12} que están unidas covalentemente originando una red rígida infinita

• 4.- Boro β -romboédrico

- alótropo más estable termoquímicamente
- aglomeración de icosaedros en una red 3-D covalente complicada
- descripción aproximada
 - aglomeración de icosaedros donde cada B_{12} está rodeado por otros 12 icosaedros

(adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe, *Inorganic Chemistry*, 4th ed, Pearson Ed. Ltd, 2012)

8

- reactividad depende de:
 - la pureza, cristalinidad, estado de división y temperatura
- 1.- Reactividad en condiciones ambientales (TPAE)
 - químicamente bastante inerte
 - excepto vs. F_2
 - no es atacado por los ácidos ni los álcalis
 - el O_2 lo ataca sólo superficialmente
- 2.- Reactividad en caliente o temperatura elevada
 - atacado por ácidos oxidantes (HNO_3) → en caliente y finamente dividido

$$B(s) + 3 HNO_3(conc) \xrightarrow{\Delta} H_3BO_3(ac) + 3 NO_2(g)$$
 - elevada afinidad por el $O_2(*)$: arde a $700\text{ }^\circ C \rightarrow B_2O_3$

$$2 B(s) + 3/2 O_2(g) \xrightarrow{\Delta} B_2O_3(l) ; \quad \Delta S^\circ < 0 ;$$

$$\Delta G^\circ_f(B_2O_3) = -1194 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}; \Delta H^\circ_f(B_2O_3) = -1273 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

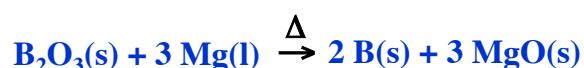
(*) ¿calentar B en aire? → mezcla de B_2O_3 y BN

9

- 2.- Reactividad en caliente o temperatura elevada
 - reacciona directamente con los no metales (excepto H, Ge, Te y gases nobles)
 - p. ej. con halógenos $X_2 \rightarrow BX_3$
 - reacciona con la mayoría de los metales a t^a elevada
 - excepciones → metales más pesados de los grupos 11 al 15
 - » (Ag, Au / Cd, Hg / Ga, In, Tl / Sn, Pb / Sb, Bi)

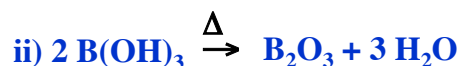
4. Obtención del Boro

- no es fácil obtener boro cristalino de alta pureza
 - generalmente se obtiene boro amorfo impurificado
- 1.- Método de Moissan y variantes → B amorfo de riqueza 95-98%
 - reducción de B_2O_3 con metales reductores a t^a elevada



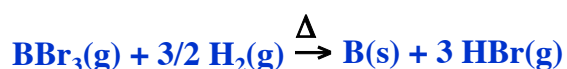
- 1.- Método de Moissan y variantes → B amorfo de riqueza 95-98 %

- MgO se puede eliminar mediante reacción con un ácido mineral
- el óxido B_2O_3 , a su vez, se obtiene a partir del bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$)



- 2.- Obtención de Boro cristalino puro → riqueza > 99,9 %

- reducción, en fase vapor, de BCl_3 o BBr_3 con H_2 en filamento de tántalo ($\sim 1000^\circ C$)



3. Tipo de enlace en los compuestos del Boro

- 1) química del boro → determinada por su pequeño tamaño y elevadas EI's
 - junto con un χ similar a la de H y C origina una amplia e inusual química covalente (molecular)
- 2) ¿por qué no tiene química catiónica?
 - $[\Sigma (I_1 + I_2 + I_3) = 6888 \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1})]$

radio covalente del Boro (Å)	densidad de carga de los iones ($C \cdot mm^{-3}$)				
	"B ³⁺ "	"Si ⁴⁺ "	Al ³⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
0,88	1664	970	364	24	120

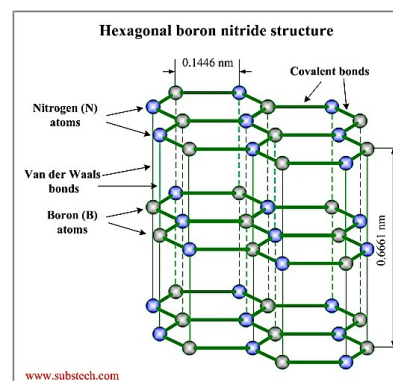
– debido a su pequeño tamaño y elevadas EI's

» hipotético B^{3+} sería muy polarizante

- 3) actúa como *tricovalente*
- 4) ¿enlace en los compuestos de B? ¿tipo de compuestos?
 - esencialmente moleculares (enlace covalente polarizado)

compuestos BX_3	F	Cl	Br	I
p. f. ($^\circ C$)	-127	-107	-46	+50
E(B-X) ($kJ \cdot mol^{-1}$)	646	444	368	267

*E(B-H) = 373



(*) BN p. f. = $2967^\circ C$ → red covalente, (aislante)

• 1.- Propiedades de los compuestos BX_3 , ¿tipo de compuestos?

- se conocen todos los trihaluros
- compuestos moleculares, volátiles, monómeros y muy reactivos
 - no presentan tendencia a dimerizar

compuestos BX_3	F	Cl	Br	I
p. f. (°C)	-127,1	-107	-46	+49,9
p. e. (°C)	-99,9	12,5	91,3	210
aspecto a TPAE	gas incolore	líquido incolore	líquido incolore	sólido blanco
d(B-X) (pm)	130	175	187	210
E(B-X) (kJ·mol ⁻¹)	646	444	368	267
ΔH_f° (kJ·mol ⁻¹) (gas)	-1136	-404	-208	> 0

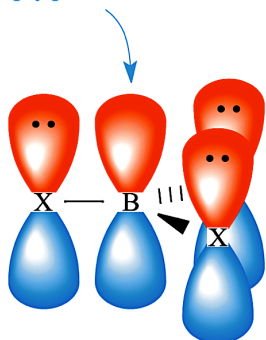
• 2.- ¿Estructura y enlace? ¿ángulo XBX ? ¿OE?

- molécula BX_3 trigonal plana, $\angle XBX = 120^\circ$, hibridación sp^2

• 2.- ¿Estructura y enlace? ¿ángulo XBX ? ¿OE?

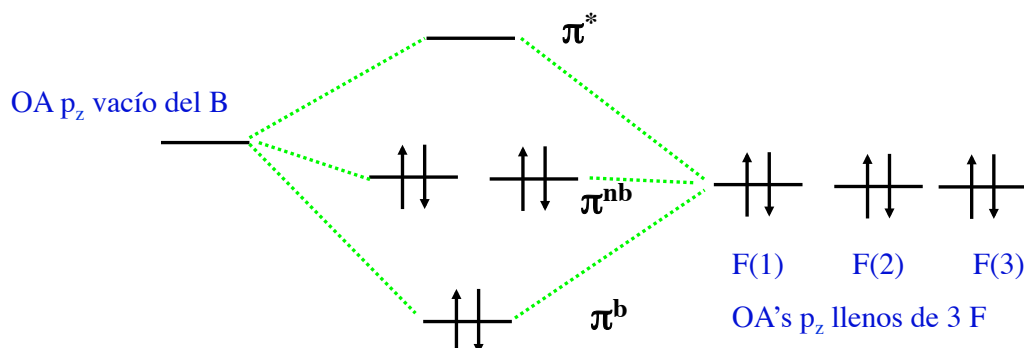
- energía de enlace B–F muy elevada (646 kJ·mol⁻¹)
 - mucho mayor de lo esperado para enlace simple
 - p. ej. enlace C–F = 485 kJ·mol⁻¹
- además, distancia enlace B–F sensiblemente menor que la calculada
 - enlace simple en $BF_4^- \rightarrow d(B-F) = 140$ pm
- ¿cómo se puede explicar la gran fuerza del enlace B–F?

Empty p atomic orbital



- formación de enlace π deslocalizado
- enlaces $\sigma \rightarrow$ B utiliza hibridación sp^2 (sp_xp_y , plano xy)
- enlace $\pi \rightarrow$ OA p_z vacío del B solapa con p_z lleno de cada átomo de F
 - » sistema π deslocalizado $\rightarrow OE = 1 + 1/3$

The formation of partial π -bonds in a trigonal planar BX_3 molecule can be considered in terms of the donation of electron density from filled p atomic orbitals on the X atoms into the empty $2p$ orbital on boron.



- formación de enlace π deslocalizado entre B y 3 F

15

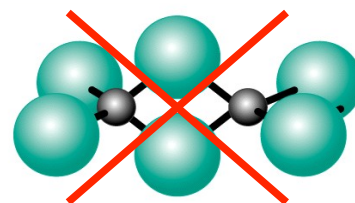
- 2.- Estructura y enlace

- ¿por qué los trihaluros BX_3 no tienen tendencia a dimerizar?

– trihaluros de los otros elementos del grupo 13 se dimerizan [p. ej. Al_2Br_6 , $p.f. = 97,5^\circ\text{C}$]

– ¿factores a considerar?

- » i) BCl_3 y $\text{BBr}_3 \rightarrow$ el factor más importante, probablemente, sería el estérico debido al pequeño tamaño del átomo de B que impediría la dimerización, (además de la pérdida de enlace π)
- » ii) $\text{BF}_3 \rightarrow$ el impedimento estérico sería menor (de hecho el BF_4^- es estable) y el factor más importante sería la pérdida de estabilización por enlace π



(adaptada de: P. Atkins, L. Jones, *Chemistry: Molecules, Matter and Change*, 4th ed, W. H. Freeman and Co, 2000)

- 3.- Reactividad de los trihaluros BX_3

- 1) reacción con H_2O (hidrólisis de haluro molecular)

– todos reaccionan violentamente con el agua (excepto BF_3^*)

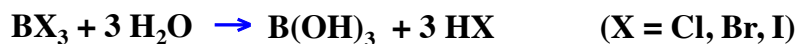
(*) BF_3 sólo se hidroliza parcialmente ; con *poca agua* forma aductos ($\text{BF}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{BF}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

16

• 3.- Reactividad de los trihaluros BX_3

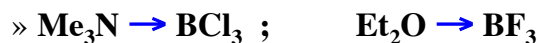
4. Compuestos del Boro

- 1) reacción con H_2O (hidrólisis de haluro molecular)

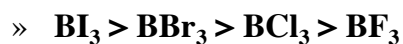


- 2) Acidez de Lewis: carácter aceptor de los compuestos BX_3

– forman aductos con bases de Lewis $\rightarrow$ fosfinas, aminas, éteres, ...



– ¿fuerza reactiva como ácidos de Lewis?

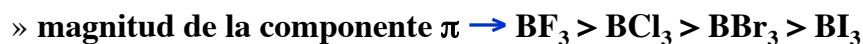


– orden *opuesto* al esperado teniendo en cuenta la diferencia en χ ($\Delta\chi_{\text{BX}}$) e impedimentos estéricos

» F muy $\chi \rightarrow \text{BF}_3$ debería ser el de mayor capacidad aceptora

» F pequeño tamaño $\rightarrow \text{BF}_3$ debería ser el que presentara menor impedimento estérico para formar el aducto $\text{L} \rightarrow \text{BF}_3$

– *pero ... concordante* con la existencia de enlace π en BX_3 ,



17

1. Trihaluros de Boro

4. Compuestos del Boro

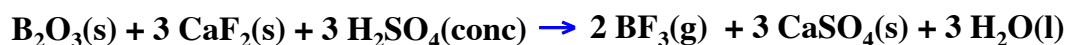
• 4.- Síntesis de los trihaluros BX_3

- 1) BF_3

– en USA se utilizan 4000 T/año de BF_3

» como ácido de Lewis y como catalizador de reacciones orgánicas

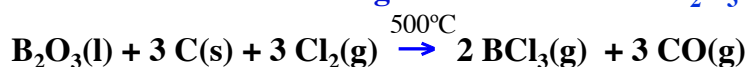
– se puede preparar por fluoración del B_2O_3 con CaF_2 y H_2SO_4 (conc)



– el HF es generado *in situ*: $\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc}) \rightarrow 2 \text{HF} + \text{CaSO}_4$

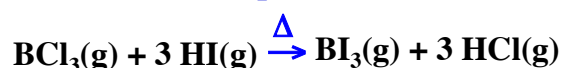
- 2) BCl_3 y BBr_3

– a escala industrial $\rightarrow$ halogenación directa del B_2O_3 en presencia de C



- 3) BI_3

– reacción a alta temperatura



18

• B₂O₃

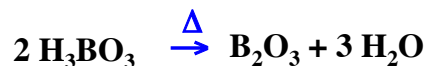
■ óxido más importante del boro

- óxido ácido, p. f. 450 °C, p.e. 2250 °C (extrapolado) → red covalente polarizada
- reacciona con el agua → ácido bórico (H₃BO₃)



■ 1) Obtención

- difícil de cristalizar; se obtiene en forma cristalina mediante ...
 - » deshidratación controlada del ácido bórico



■ 2) Estructura

- red covalente polarizada tridimensional
- unidades trigonales planas BO₃ comparten átomos de oxígeno (BOB)
 - » d (B–O) = 138 pm
- las unidades BO₃ están giradas una respecto a otra → red 3D rígida

• B₂O₃

■ 3) Importancia comercial

- producción anual USA ~ 25·10³ T
- principal aplicación → industria del vidrio
 - » obtención de vidrio de borosilicato (Pyrex) → resistente al choque térmico
 - » pequeño coeficiente de expansión térmica y fácil de trabajar
- cuando se calienta fuertemente el vidrio ordinario se puede fracturar ya que es mal conductor del calor
 - » mientras que la parte exterior caliente intenta expandirse, la parte interior aún está fría
 - » la tensión entre exterior e interior causa la fractura del vidrio
- la sustitución de sodio de la estructura del vidrio por boro, reduce la expansividad térmica a menos de la mitad de la del vidrio ordinario
- por ello, el vidrio Pyrex se puede calentar y enfriar sin que se fracture
- el vidrio de borosilicato se obtiene fundiendo conjuntamente B₂O₃ y SiO₂

» a veces se le añade un óxido metálico

3. Oxoácidos del Boro

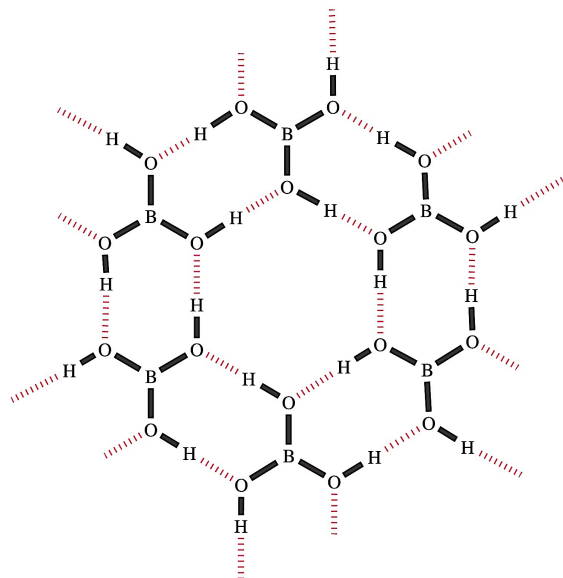
4. Compuestos del Boro

- **Acido bórico, H_3BO_3 (p. f. 171 °C)**

- **producto habitual de la hidrólisis de la mayoría de los compuestos de boro**

- **1) Estructura**

- **cristaliza en forma de escamas blancas transparentes, tacto ceroso**



- **estructura en capas**

- » **capas unidas mediante fuerzas de van der Waals**

- » **uso como lubricante**

- **moléculas H_3BO_3 unidas mediante enlaces de hidrógeno asimétricos**

- » **casi lineales**

parámetros estructurales H_3BO_3 (d en pm)

d(B-O)	136	d(O-H)	97
<(OBO)	120°	d(H...O)	272

(adaptada de: C. E. Housecroft, A. G. Sharpe, *Inorganic Chemistry*, 4th ed, Pearson Ed. Ltd, 2012)

21

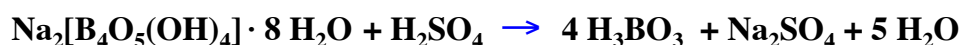
3. Oxoácidos del Boro

4. Compuestos del Boro

- **Acido bórico, H_3BO_3**

- **2) Obtención**

- **cristalización de disoluciones acuosas acidificadas de bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)**



- **3) propiedades ácido-base**

- **actúa como ácido de Lewis, aceptando un grupo OH^-**

- » **formando una entidad tetraédrica**



- **ácido débil, $\text{pK}_a = 9,2$ (¿oxígenos terminales?)**

- **¿por qué la acidez aumenta en presencia de 1,2-dioles (p. ej. glicerina o manitol)?**

- » **con manitol $[\text{HOCH}_2 - (\text{CHOH})_4 - \text{CH}_2\text{OH}] \rightarrow \text{pK}_{\text{aparente}} = 5,15$**

(*) $[\text{B}(\text{OH})_4]^- \rightarrow$ anión tetrahidroxoborato

22

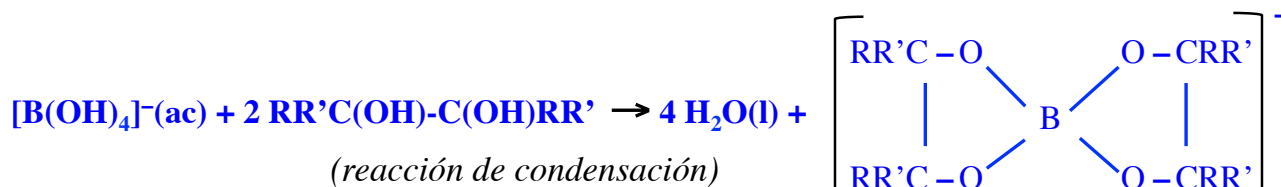
3. Oxoácidos del Boro

4. Compuestos del Boro

• 1.- Ácido bórico, H_3BO_3

■ 3) propiedades ácido-base

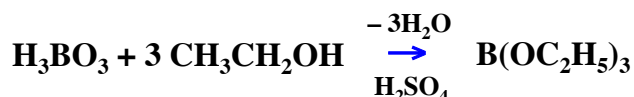
– ¿por qué la acidez aumenta en presencia de 1,2-dioles (p. ej. glicerina o manitol)?



■ 4) reacción de condensación con alcoholes en presencia de $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc})$

– formación de alcóxidos de boro $\text{B}(\text{OR})_3$

– con etanol $\rightarrow$ etóxido volátil e inflamable (llama de color verde)



23

4. Boratos

4. Compuestos del Boro

• 1.- Características generales

■ estructuras diversas y complejas

■ en los boratos se pueden presentar

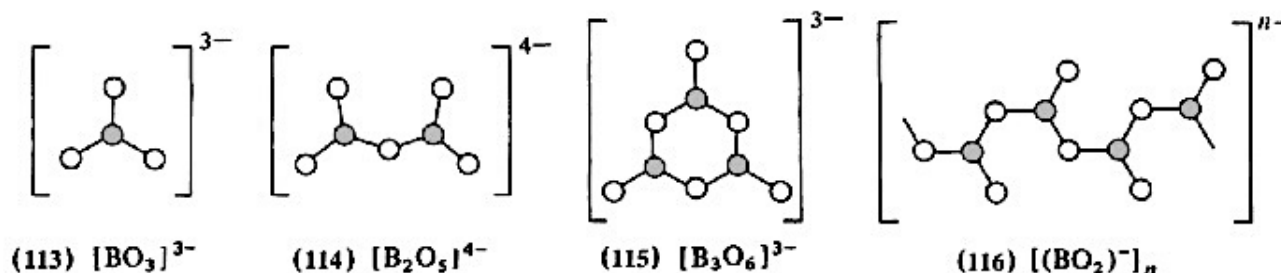
– aniones borato individuales (de 1 a 5 átomos de boro)

– boratos de tipo polímero

■ constan de unidades trigonales planas $[\text{BO}_3]^{3-}$, tetraédricas $[\text{BO}_4]^{4-}$, o combinación de unidades planas y tetraédricas

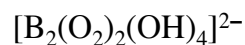
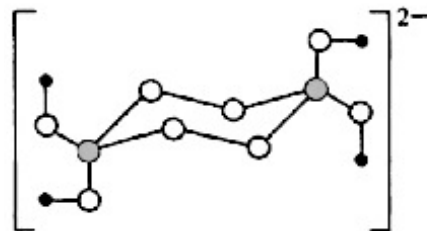
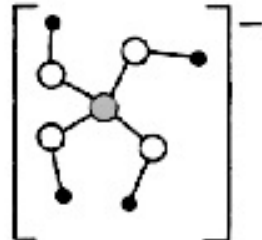
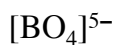
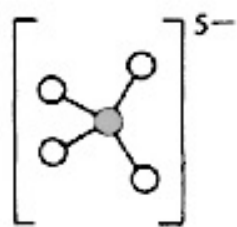
– en las unidades $[\text{BO}_3]^{3-}$ el enlace B–O [136 (pm)] es más corto que en $[\text{BO}_4]^{4-}$,

» ¿qué sugiere? $\rightarrow$ cierto carácter π en las unidades planas

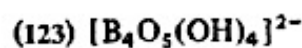
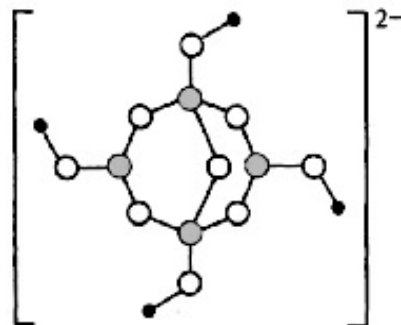
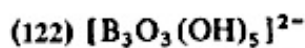
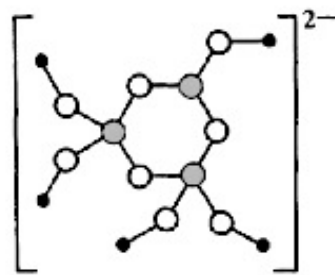
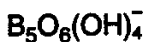
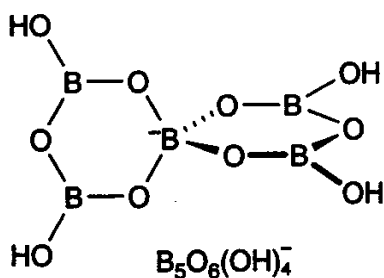


units containing B in planar BO_3 coordination only

24



units containing B in tetrahedral BO_4 coordination only



units containing B in both BO_3 and BO_4 coordination

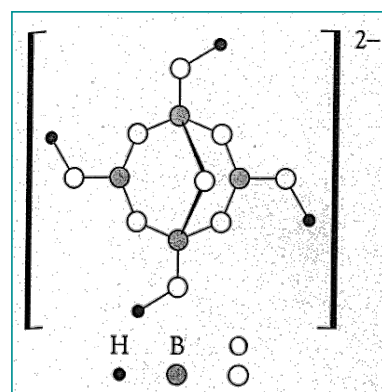
(adaptadas de: N. N. Greenwood, A. Earnshaw, *Chemistry of the Elements*, 2nd ed, Butterworth Heinemann, 1998)

25

4. Boratos

• 2.- Bórax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

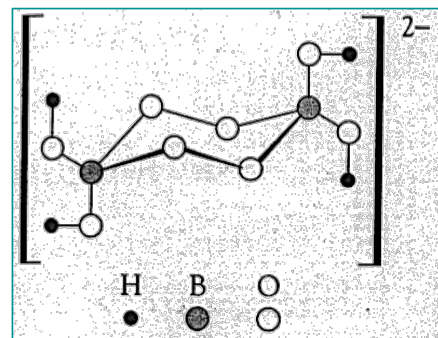
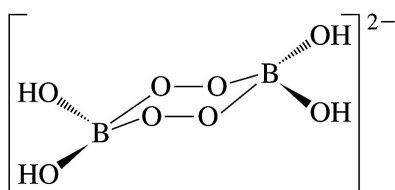
- realmente contiene el anión $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$,
- se debe formular $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$
- principal fuente en la obtención del boro
- fue utilizado como agente de limpieza
- sustituido por el peroxoborato



Estructura del ión borato en bórax

• 3.- Peroxoborato, $\text{NaBO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- se debe formular $\text{Na}_2[\text{B}_2(\text{O}_2)_2(\text{OH})_4]$
- agente blanqueante en detergentes
- se obtiene tratando el bórax con H_2O_2



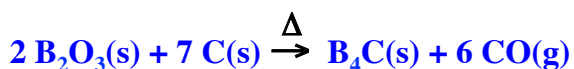
Estructura del anión peroxoborato

(adaptadas de: G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2^a ed, Pearson Educación, 2000)

(adaptada de: R.H. Petrucci, W.S. Harwood, G.E. Herring, *General Chemistry*, 8th ed, Prentice-Hall, 2002)

26

- **boro forma un gran número de compuestos binarios**
 - muy duros, con altos p. f.'s y químicamente muy inertes
 - estequiometrías y estructuras complicadas
 - de gran importancia industrial
 - adecuados para fabricar objetos que han de soportar tensiones extremas, choque y temperaturas elevadas
 - » materiales refractarios, aspas de turbinas, chalecos antibala, toberas de cohetes,
- **el más importante → carburo de boro, B₄C**
 - se representa mejor como B₁₂C₃
 - consta de icosaedros B₁₂, con átomos de carbono uniendo todos los icosaedros vecinales
 - obtención → reducción de B₂O₃ con C



- **carburo de boro, B₄C**
 - una de las sustancias más duras conocidas
 - sus fibras son muy resistentes → aplicación en chalecos antibalas
 - se usa en la parte inferior de los asientos de los helicópteros Apache para la protección de disparos realizados desde tierra
 - como reactivo de partida para la obtención de otros boruros
- $$2 \text{TiO}_2(\text{s}) + \text{B}_4\text{C}(\text{s}) + 3 \text{C}(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} 2 \text{TiB}_2(\text{s}) + 4 \text{CO}(\text{g})$$
- **Boruros metálicos**
 - se clasifican en dos grandes grupos
 - a) ricos en metal: M₃B, M₄B, M₅B, M₃B₂, M₇B₃,
 - b) ricos en boro: MB₃, MB₄, MB₆, MB₁₀, MB₁₂,, MB₆₆
 - a) ricos en metal → átomos de boro se sitúan en los huecos de la red metálica
 - su conductividad eléctrica suele ser mayor que la del propio metal

4. Compuestos del Boro

5. Boruros

- Boruros metálicos

- b) ricos en boro

- contienen poliedros tridimensionales de B acoplados, situándose el metal en los amplios huecos disponibles
 - los hexaboruros MB_6 se pueden considerar derivados de una red tipo CsCl, donde los aniones cloruro han sido sustituidos por octaedros B_6
 - obtención → gran variedad de procedimientos
 - » como se requieren altas temperaturas y no son volátiles, es difícil prepararlos en estado puro (y difíciles de purificar)
 - desde 2001 gran interés en la investigación de los boruros
 - » accidentalmente se descubrió que MgB_2 es superconductor a $T < 39\text{ K}$ (*Nature*, 2001, vol 410, p.63)

