



La educación
es de todos

Mineducación



QUÍMICA

Guía de Apoyo Educativo en el área de
Ciencias Naturales

Grado 11° de educación media

Temas

Introducción a la química orgánica, clasificación de compuestos orgánicos, hidrocarburos, compuestos aromáticos, funciones

oxigenadas, aldehídos y cetonas, ácidos carboxílicos y funciones nitrogenadas.

Autor:

Diana Cristina Benavides Peña

PRESENTACIÓN

La Guía de Apoyo Educativo (GAE) tiene como finalidad que a través de la adaptación de temas en el área de ciencias naturales específicamente en química, los estudiantes ciegos y de baja visión de grado once puedan acceder a temáticas establecidas por MEN según estándares en ciencias naturales, los cuales, son fundamentales para el aprendizaje accediendo está a través de la biblioteca virtual del INCI.

OBJETIVOS

Que tanto, los estudiantes con baja visión o ciegas puedan acceder a textos que contengan temas y actividades referentes a los mismos, como cualquier otro estudiante de grado once y así generar iguales condiciones en el proceso de aprendizaje.

Todas las personas sin importar su condición, puedan acceder a este texto de química para grado once a través de la biblioteca virtual del INCI.

La presente guía de apoyo fue conformada a través de la adaptación de textos en química de grado once y química orgánica, por la licenciada en

Química Diana Cristina Benavides Peña para el Instituto Nacional para Ciegos INCI, con destino a la Biblioteca Virtual.

Tenga en cuenta los siguientes aspectos para facilitar el uso de la presente guía:

- 1. en el siguiente hipervínculo dentro del actual documento encontrara una lista que presenta las funciones químicas su grado de importancia. que le ayudaran en el momento de nombrar compuestos orgánicos. [Listado de funciones y su importancia.](#)*
- 2. Al finalizar el documento encontrara una tabla que contiene información respecto la lectura y escritura de las funciones inorgánicas y a los elementos que podrá encontrar como parte fundamental de la química orgánica.*
- 3. Debido, que en química se manejan fórmulas y ecuación que con el editor de Word o simplemente con el procesador de texto no pueden ser elaboradas ya que de esta manera no son accesibles, encontrara varios objetos elaborados a través del programa 3D VIWER y Microsoft editor de ecuaciones 3. 0 que permiten que usted pueda conocer más sobre la lectura y escritura de estas fórmulas y ecuaciones químicas, por lo tanto le recomiendo cuando esté realizando la lectura, obviar información del tamaño del objeto ya que podría perder sentido la lectura.*
- 4. En las imágenes que tienen alguna complejidad, encontrara de apoyo además del texto alternativo una descripción después de la imagen que es aún más precisa de lo que en ella se encuentra.*

TABLA DE CONTENIDO

1	12	
1.1	14	
1.2	14	
1.2.1	Hidrógeno	14
1.2.2	Oxígeno	14
1.2.3	Nitrógeno	15
1.2.4	Azufre	16
1.3	17	
1.3.1	El carbono	17
1.3.1.1	Fuentes naturales de carbono	18
1.3.1.2	Configuración electrónica del carbono	22
1.3.1.3	Hibridación de orbitales	23
1.3.1.3.1		Tipos de hibridaciones
	23	
2	29	
2.1	30	
2.2	31	
2.2.1	Funciones químicas con enlaces carbono-carbono	31
2.2.2	Funciones con enlaces sencillos entre carbono y átomos electronegativos	33
2.2.3	Funciones con un doble enlace carbono-oxígeno (C=O)	34
2.3	37	
2.3.1	Compuestos acíclicos o alifáticos	37
2.3.2	Compuestos cíclicos	38
2.3.3	Nomenclatura de los compuestos orgánicos	39
2.4	41	

2.5	45	
2.5.1	Fórmula empírica	45
2.5.2	Fórmula esquemática o estructural	45
2.5.3	Fórmula espacial o estereoquímica	46
2.5.4	Fórmula electrónica	47

3 48

3.1	48	
3.1.1	Propiedades físicas	50
3.1.2	Propiedades químicas	52
3.1.2.1	Combustión	52
3.1.2.2	Halogenación fotoquímica	53
3.1.2.3	Nitración en fase gaseosa	54
3.1.3	Métodos de obtención de alcanos	54
3.1.3.1	Hidrogenación catalítica de hidrocarburos insaturados (alquenos y alquinos)	55
3.1.3.2	Reacción de Würtz	55
3.1.3.3	Reducción de halogenuros de alquilo	56

3.2	57	
3.2.1	Alquenos	57
3.2.1.1	Isomería geométrica	57
3.2.2	Alquinos	58
3.2.3	Nomenclatura	59
3.2.4	Propiedades de los hidrocarburos insaturados	59
3.2.4.1	Propiedades químicas	59
3.2.5	Obtención de hidrocarburos insaturados	62
3.2.6	Hidrocarburos cíclicos	63
3.2.6.1	Clasificación	63
3.2.6.1.1		Compuestos alicíclicos

3.2.6.2	Conformación y estabilidad de cicloalcanos	64
3.2.6.3	Nomenclatura de los hidrocarburos cíclicos	65
3.2.6.4	Propiedades físicas	66
3.2.6.5	Propiedades químicas	67
3.2.6.6	Obtención de compuestos cíclicos	67
4	69	
4.1	77	
4.2	81	
4.3	82	
4.3.1	Halogenación	81
4.3.2	Nitración	82
4.3.3	Sulfonación	83
4.3.4	Alquilación: reacción de Friedel y Crafts	83
4.3.5	Acilación	84
5	85	
5.1	85	
5.1.1	Importancia	85
5.1.2	Nomenclatura	86
5.1.3	Clasificación	86
5.1.4	Propiedades físicas	88
5.1.5	Acidez y basicidad	89
5.1.6	Propiedades químicas	90
5.1.6.1	Esterificación	91
5.1.6.2	Oxidación de alcoholes	91
5.1.6.3	Deshidratación: preparación de alquenos	92
5.1.6.4	Reacción de alcoholes con bases fuertes	93
5.1.7	obtención de alcoholes	93
5.1.7.1	reducción de aldehídos y cetonas	94

5.1.7.2	Reacción de ácidos carboxílicos y ésteres	94
5.1.7.3	hidratación de alquenos	95
5.1.7.4	Reactivos Grignard	95
5.2	97	
5.2.1	Nomenclatura	97
5.2.2	Propiedades físicas	98
5.2.3	Propiedades químicas	99
5.2.4	Obtención	99
5.3	101	
5.3.1	Nomenclatura	101
5.3.2	Propiedades físicas	101
5.3.3	Propiedades químicas	102
5.3.4	Obtención	102
5.3.4.1	Síntesis de Williamson	103
5.4	104	
5.4.1	Alcoholes	104
6	108	
6.1	109	
6.2	110	
6.2.1	Aldehídos	109
6.2.2	Cetonas	110
6.3	113	
6.4	114	
6.4.1	Adición nucleofílica	113
6.4.2	Reducción: formación de alcoholes	113
6.4.3	Hidratación	116
6.4.4	Adición de aminas	117

6.4.5 Oxidación	118
6.4.6 Condensación aldólica	119
6.5	121
6.5.1 Oxidación de alcoholes	120
6.5.2 Reducción de cloruros de ácido	120
6.5.3 Acilación de Friedel y Crafts	121
6.6	122
6.7	123
6.8	125
7	127
7.1	127
7.2	128
7.3	129
7.4	132
7.5	133
7.5.1 Constante de acidez	132
7.5.2 Efecto de los sustituyentes sobre la acidez	133
7.6	136
7.6.1 Formación de sales	135
7.6.2 Reacciones de sustitución nucleofílica	135
7.6.3 Oxidación	136
7.6.4 A partir de reactivos de Grignard	137
7.6.5 Hidrólisis de nitrilos	138
7.7	139
7.8	140
7.8.1 Reactividad	139

7.8.2	Propiedades físicas	140
7.8.2.1	Punto de ebullición	140
7.8.2.2	Solubilidad	141
7.8.2.3	Otras propiedades	141
7.8.3	Obtención	142
7.8.4	Saponificación	142
7.9	144	
7.9.1	Ácidos carboxílicos	143
7.9.2	Sales	144
7.9.3	Anhídridos	145
7.9.4	Ésteres	146
7.9.5	Amidas	147
8	149	
8.1	149	
8.1.1	Clasificación	148
8.1.2	Nomenclatura	149
8.1.3	Propiedades físicas	150
8.1.4	Propiedades químicas	151
8.1.4.1	Estructura molecular	151
8.1.4.2	Basicidad	152
8.1.4.3	Formación de sales	152
8.1.4.4	Acilación y alquilación	153
8.1.4.5	Usos y aplicaciones	155
8.1.4.5.1		Aplicaciones en medicina
	155	
8.1.4.5.2		Colorantes
	155	
8.2	158	

8.2.1 Nomenclatura	158
8.2.2 Propiedades Físicas	158
8.2.3 PROPIEDADES Químicas	158
8.2.3.1 Reacciones de los nitrilos	158
8.2.3.2 Métodos de preparación	159
9	162
10	189

IMAGEN 1. ESTRUCTURA MOLECULAR DEL GRAFITO.	18
IMAGEN 2. ESTRUCTURA DEL DIAMANTE.	20
IMAGEN 3. HIBRIDACIÓN SP ³ DEL CARBONO	23
IMAGEN 4. HIBRIDACIÓN SP ² DEL ÁTOMO DE CARBONO.	25
IMAGEN 5. HIBRIDACIÓN SP DEL ÁTOMO DE CARBONO.	27
IMAGEN 6. FORMULA ESTRUCTURAL DEL BENCENO	45
IMAGEN 7. FORMULA ESTRUCTURAL DEL ETENO	45
IMAGEN 8. FORMULA ESPACIAL DEL ÁCIDO FUMÁRICO.	46
IMAGEN 9. FORMULA ESPACIAL DEL ÁCIDO MALEICO.	46
IMAGEN 10. REPRESENTACIÓN DE CABALLETE DEL ETANO.	48
IMAGEN 11. REPRESENTACIÓN ECLIPSADA DEL ETANO.	48
IMAGEN 12. ESTRUCTURA ECLIPSADA ALTERNA DEL ETANO.	49
<i>IMAGEN 13. BENCENO</i>	67
IMAGEN 14. TOLUENO	68
IMAGEN 15. NAFTALENO	69
IMAGEN 16. BIFENILO	69
IMAGEN 17. ANILINA	69
IMAGEN 18. FENOL	70
IMAGEN 19. ACETOFENONA	70
IMAGEN 20. BENZALDEHÍDO	71
IMAGEN 21. ACIDO BENZOICO	71

IMAGEN 22. BROMO BENCENO	72
IMAGEN 23. ESTRUCTURA MOLECULAR DEL BENCENO	74
IMAGEN 24. REPRESENTACIÓN DEL BENCENO SEGÚN KEKULE	75
IMAGEN 25. REPRESENTACIÓN ACTUAL DEL BENCENO	75
IMAGEN 26. ORTO-DICLOROBENCENO, O 1,2-DICLORO BENCENO	78
IMAGEN 27. META CLORO ANILINA O 3- CLORO, ANILINA	78
IMAGEN 28. PARA CLORO, FENOL O 4-CLORO, FENOL	78

1 INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA ORGÁNICA

A principios del siglo diecinueve se habían acumulado muchas pruebas sobre la naturaleza, propiedades físicas y reacciones de los compuestos inorgánicos, pero se sabía relativamente poco sobre los compuestos orgánicos. Se sabía por ejemplo, que los compuestos orgánicos estaban constituidos solo por unos pocos elementos, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre, además se sabía que contrariamente a los materiales inorgánicos, los compuestos orgánicos eran fácilmente combustibles y muchos de ellos reaccionaban con la luz y el calor, además de los ácidos y bases fuertes. En este entonces, era claro que la materia se dividía en materia viva y materia inerte.

Alrededor de la anterior clasificación se desarrolló una corriente de pensamiento conocida como **vitalismo**, según la cual los compuestos orgánicos, propios de los seres vivos, solo podían existir y ser sintetizados por organismos vivos, los cuales imprimían su **fuerza o esencia vital** a dichos procesos. El principal abanderado de esta corriente era el químico sueco **John Jacob Berzelius** (1779 a 1848). Paradójicamente, uno de sus aprendices, **Friedrich Wohler** (1800-1882), fue quien contribuyó en mayor medida a derrumbar el vitalismo. Wohler descubrió, en 1828, que al calentar una solución acuosa de cianato de amonio, una sal inorgánica, se producía urea, compuesto orgánico presente en la orina de algunos animales. Esto mostraba que era posible sintetizar compuestos orgánicos sin la intervención de seres vivos, es decir, sin la mediación de una fuerza vital. Por la misma época, se demostró que extractos de células muertas podían generar reacciones orgánicas, con lo cual se habían descubierto las **enzimas**.

Luego, hacia 1861, el químico alemán **August Kekule** (1829-1896) propuso que los compuestos orgánicos se estructuraban sobre un esqueleto básico de átomos de carbono, en el cual se insertaban átomos de otros elementos. El aporte más importante de Kekule fue el elucidar la estructura del benceno, compuesto de gran importancia, industrial y bioquímica.

En las primeras décadas del siglo XX, surge la **bioquímica** como rama de la química encargada del estudio de los compuestos y los procesos de tipo orgánico. En 1944 se descubre que los genes son fragmentos de ácidos nucleicos y que éstos constituyen el código de la estructura química de los seres vivos. Luego, en 1953, **Watson** y **Crick** descubren la estructura tridimensional del ADN.

Actualmente, nos encontramos ante un amplio horizonte de posibilidades de manipulación genética y bioquímica de los procesos orgánicos.

Para terminar es bueno aclarar que, si bien los trabajos de Wöhler y sus contemporáneos, habían refutado de manera contundente la idea de que la materia se dividía en viva e inerte, la designación de **orgánica**, para esta rama de la química, se siguió empleando debido a su utilidad práctica para delimitar un grupo de compuestos con algunas características en común. Hoy se admite que el rasgo común entre los compuestos clasificados como orgánicos es que **todos ellos contienen el elemento carbono**. En consecuencia, la definición moderna de química orgánica es la de química de los compuestos del carbono. Análogamente, los compuestos inorgánicos, con excepción de algunos como CO_2 , CO , HCN , H_2CO_3 , Na_2CO_3 , etc. son todos aquellos que no contienen carbono.

1.1 IMPORTANCIA DE LA QUÍMICA ORGÁNICA

En primer lugar, los compuestos derivados de la combinación del carbono con un cierto número de otros elementos, son la materia prima con la cual se ha construido la vida en el planeta. De manera que el estudio de la química orgánica es la base para la comprensión del funcionamiento de los seres vivos, aspecto estudiado específicamente por la **bioquímica**. En segundo lugar, la posibilidad de extraer, purificar y modificar intencionalmente una gran variedad de compuestos orgánicos, así como el desarrollo de procesos industriales con los cuales ha sido viable la síntesis artificial de otros compuestos, ha revolucionado la forma de vida de las personas en la civilización actual. Algunos ejemplos de productos derivados de compuestos orgánicos son: el papel, las telas de algodón, los combustibles (petróleo, ACPM, carbón), las drogas (como la penicilina) y las vitaminas. Así mismo, compuestos orgánicos sintetizados artificialmente son: los plásticos, los detergentes, los pesticidas, los colorantes, algunas fibras (rayón, dacrón, nailon, orlón) y algunas drogas (como la cortisona y varios antibióticos).

Muchos de estos productos son a su vez materia prima para otro gran número de productos industriales.

A lo largo del presente texto estudiaremos la naturaleza de muchas de estas sustancias incluyendo sus estructuras, su comportamiento químico y sus métodos de preparación.

1.2 ELEMENTOS CONSTITUYEN LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS

Si se analiza la composición de la materia en términos de la proporción relativa de los diferentes elementos presentes, se encuentra que cerca

del 95% de la masa está constituida por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. El porcentaje restante está representado por elementos como calcio, fósforo, hierro, magnesio, entre otros. Los elementos presentes en los seres vivos se denominan **bioelementos**. Los cinco elementos más abundantes (C, H, O, N y S) son indispensables para la síntesis de las moléculas que conforman los seres vivos, por lo que se conocen como **bioelementos primarios** o **elementos biogénicos** u organógenos.

1.2.1 HIDRÓGENO

El hidrógeno se encuentra únicamente en estado libre en la naturaleza en muy pequeña cantidad. La atmósfera contiene menos de una parte de hidrógeno en un millón de partes de aire aunque se cree que en las capas superiores de la atmósfera la proporción de hidrógeno es un poco mayor.

Combinado, el hidrógeno representa el 11,9% del agua; se encuentra también en todos los ácidos y es un constituyente importante de los compuestos orgánicos denominados **hidrocarburos**, sustancias que de por sí constituyen el petróleo y el gas natural. También forma parte de las sustancias de los tejidos de los seres vivos, de los alimentos y de muchas sustancias como almidones, azúcares, alcoholes, grasas, proteínas, ácidos y álcalis.

1.2.2 OXÍGENO

La tierra, el agua y el aire se componen más o menos del 50% en peso de oxígeno. Las moléculas de oxígeno son lineales y apolares y muy poco solubles en agua; apenas unos 0,004 g por cada 100 g de agua a

25 °C. El oxígeno reacciona con la mayor parte de los elementos con excepción de los gases inertes y algunos metales nobles. Servir de agente comburente es tal vez su principal aplicación.

El oxígeno participa en los procesos de respiración animal y vegetal. El oxígeno del aire se combina con la hemoglobina de la sangre, luego es transportado a todas las partes del cuerpo y liberado para oxidar productos orgánicos; la energía liberada se utiliza en el metabolismo del cuerpo. También es necesario para la locomoción, para el aprovisionamiento de calor en el cuerpo y para el crecimiento.

1.2.3 NITRÓGENO

Es un gas inodoro, incoloro e insípido que constituye alrededor del 75% en peso y el 78% en volumen de la atmósfera. La explicación de la gran abundancia del nitrógeno en la atmósfera y de la relativa escasez de sus compuestos está dada por la gran inercia química que presenta su molécula. Sin embargo, la naturaleza provee mecanismos mediante los cuales los átomos de nitrógeno se incorporan a las proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados.

Uno de los más importantes es el NO_2 . La mayor parte de este gas se disuelve en el agua de lluvia y cae a la superficie de la Tierra. Algunas bacterias cuentan con un aparato enzimático capaz de convertir el nitrógeno a formas más complejas como aminoácidos y proteínas asimilables por las plantas y se incorporan de esta manera a las cadenas alimentarias correspondientes.

1.2.4 AZUFRE

Constituye alrededor del 0,05% de la corteza terrestre y se presenta como elemento libre, en forma de sulfuros metálicos como galena (PbS), pirita ferrosa (FeS_2), cinabrio (HgS) y en los gases volcánicos en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2).

Forma también parte de materia orgánica como el petróleo y el carbón. Su presencia en los combustibles fósiles produce problemas ambientales y de salud.

1.3 DIFERENCIAS ENTRE COMPUESTOS ORGÁNICOS Y COMPUESTOS INORGÁNICOS

Los compuestos orgánicos presentan una serie de rasgos característicos que los diferencian de los compuestos inorgánicos. A continuación consideramos los más importantes:

- ✓ Todos los compuestos orgánicos utilizan como **base de construcción el átomo de carbono** y unos pocos elementos más, mientras que en los compuestos inorgánicos participan la gran mayoría de los elementos conocidos.
- ✓ Están formados por **enlaces covalentes**, mientras que en los compuestos inorgánicos predominan los **enlaces iónicos**.
- ✓ La mayoría presentan **isómeros**, sustancias que poseen la misma fórmula molecular pero difieren en la organización estructural de los átomos, es decir, la forma tridimensional de las moléculas es diferente. Por esta razón las propiedades físico-químicas cambian

entre isómeros. Contrariamente, entre las sustancias inorgánicas los isómeros son raros.

- ✓ Por lo general están formados por gran número de átomos organizados en largas cadenas basadas en carbono, sobre las cuales se insertan otros elementos. En los compuestos inorgánicos con excepción de algunos silicatos la; formación de cadenas no es común.
- ✓ La variedad de los compuestos orgánicos es muy grande comparada con la de los compuestos inorgánicos.
- ✓ La mayoría son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos.
- ✓ Los compuestos orgánicos presentan puntos de fusión y ebullición bajos; los compuestos inorgánicos se caracterizan por sus elevados puntos de fusión y ebullición; esto se explica por el carácter iónico de sus enlaces.

1.3.1 EL CARBONO

Tal vez la principal característica del átomo de carbono, como base para la amplia gama de compuestos orgánicos, es su capacidad para formar enlaces estables con otros átomos de carbono, con lo cual es posible la existencia de compuestos de cadenas largas de carbonos a los que pueden además unirse otros bioelementos. Muy pocos elementos poseen esta capacidad; el más destacado es el silicio, aunque este elemento forma cadenas cortas e inestables. El silicio y el carbono pertenecen al mismo grupo de la tabla periódica, grupo IVA, del que

también forman parte los elementos Ge, Sn y Pb. Los elementos de este grupo tienen valencias entre 2 y 4.

1.3.1.1 FUENTES NATURALES DE CARBONO

El carbono es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza, aunque sólo constituya aproximadamente el 0,08% de los elementos presentes en la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera. En la corteza terrestre, se encuentra principalmente en forma de carbonatos de calcio o magnesio. En la atmósfera lo encontramos principalmente como gas carbónico (CO_2) y monóxido de carbono (CO).

El carbono se conoce desde la antigüedad. Los egipcios obtenían carbón de leña de forma similar a la actual. El término **carbón** procede del latín *carbo* que significa carbón de leña.

Se encuentra puro en la naturaleza en tres variedades alotrópicas:

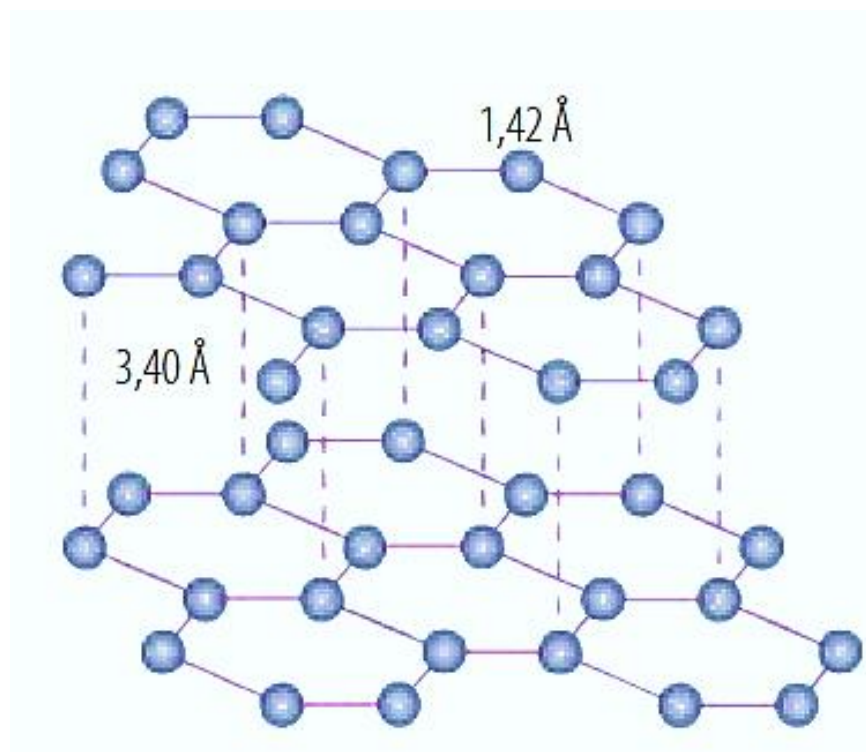
Diamante, grafito y carbono amorfo, que son sólidos con puntos de fusión sumamente altos e insolubles en todos los disolventes a temperaturas ordinarias. Las propiedades físicas de las tres formas difieren ampliamente a causa de las diferencias en la estructura cristalina.

- ✓ **Grafito:** la palabra *grafito* procede del griego *graphein* que significa escribir. El grafito se encuentra muy difundido en la naturaleza. Es una sustancia blanda, untuosa, de color negro brillante. Su estructura consiste en capas planas de átomos organizados en anillos hexagonales que se unen débilmente unos a otros. Tres de los cuatro electrones de valencia de cada átomo de carbono participan en los enlaces con los carbonos de su mismo plano, mientras que el cuarto electrón forma un enlace

más débil perpendicular a dichos planos. Las capas pueden deslizarse horizontalmente con facilidad al romperse esos enlaces y formarse otros nuevos.

Debido a ello el grafito se utiliza como lubricante, como aditivo para aceite de motores y en la fabricación de minas para lápices. El grafito es buen conductor de la corriente eléctrica, resiste a la acción de muchos reactivos químicos y es bastante estable frente al calor. Por todas estas propiedades es utilizado para fabricar electrodos y crisoles así como en algunos procesos de galvanoplastia. Su punto de fusión es $3.925\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presenta una densidad de $2,25\text{ kg/m}^3$.

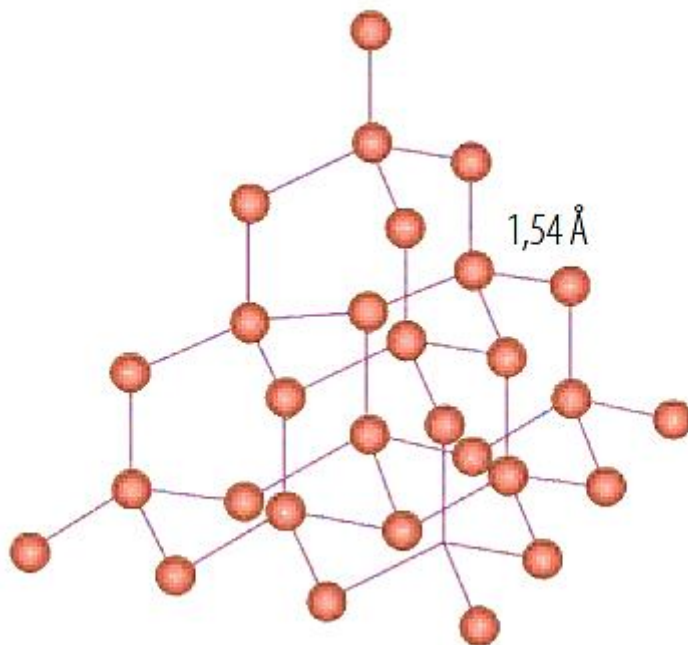
Imagen 1. Estructura molecular del grafito.



Descripción de la imagen: es la representación del grafico el cual está formado, por **capas planas de átomos de carbono**, formando **hexágonos**, en los que cada átomo de carbono está en el centro de un triángulo equilátero y unido a otros tres átomos de carbono, que serían los vértices del triángulo., con una distancia del uno respecto al otro de 1,42 Armstrong; Después, estas **capas se apilan** las unas sobre las otras, solo que en este caso la distancia entre los carbonos del hexágono de arriba respecto al de abajo presenta una distancia de 3,40 Armstrong

- ✓ **Diamante:** su nombre proviene de la palabra latina *adamas* cuyo significado es invencible, pues, a diferencia del grafito, el diamante es una de las sustancias más duras que se conoce. Es incoloro, no conduce la electricidad, es más denso que el grafito $3,53 \text{ kg/m}^3$ y tiene el punto de fusión más elevado que se conoce de un elemento (cerca de 3.823°C). Estas propiedades corresponden a su estructura: una red de átomos de carbono distribuidos en forma de tetraedro, separados de sus átomos vecinos por sólo 1,54 Armstrong (en vez de las separaciones de 1,42 Armstrong en el plano y 3,40 Armstrong entre planos del grafito). En esta estructura se presentan enlaces muy fuertes sin que haya electrones débilmente retenidos.

Imagen 2. Estructura del Diamante.



Descripción de la imagen: es la representación de, carbono como diamante, en él que los átomos de carbono presentan geometría tetraédrica, de forma que cada átomo de carbono se une a otros cuatro átomos situados en los vértices de un hipotético tetraedro con una distancia entre el uno y el otro de 1,54 Armstrong, y así sucesivamente en las tres dimensiones. Cada carbono de estos vértices es, a su vez, el átomo central de otro tetraedro.

- ✓ **Carbono amorfo:** se caracteriza por un grado muy bajo de cristalinidad. Puede obtenerse calentando azúcar purificada a 900 °C en ausencia de aire. Otras fuentes de carbono son los combustibles fósiles, como el carbón, el gas natural y el petróleo, originados a partir de restos de animales y vegetales en un proceso que abarca millones de años. Dependiendo de la edad geológica, el carbón se encuentra como:

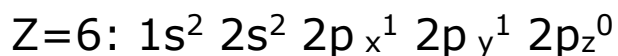
- **Hulla:** posee de 70 a 90% de carbono y llega a tener un 45% de materias volátiles. De la hulla, por destilación en ausencia de aire, se obtienen: gases combustibles (denominados también de alumbrado), gases amoniacales, alquitrán y un 20% de coque.

Destilando el alquitrán se separa una gama enorme de productos que tienen aplicación como disolventes, colorantes, plásticos, explosivos y medicinas.

- **Antracita:** material rico en carbono (98%), posee de 5 a 6% de materias volátiles y una alta potencia calorífica.

1.3.1.2 CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DEL CARBONO

El carbono tiene un número atómico igual a 6 y presenta la siguiente configuración electrónica en estado basal o fundamental:

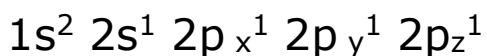


Es decir, tiene completo el primer nivel de energía, mientras que en el segundo nivel, posee cuatro electrones: dos en el orbital 2s, que está completo y dos más ubicados en los orbitales $2p_x$ y $2p_y$, de modo que el orbital $2p_z$ está vacío. De acuerdo con esta distribución electrónica, el carbono debe compartir los cuatro electrones externos, en enlaces covalentes, para adquirir la configuración de gas noble. Esto puede lograrse si se une con cuatro átomos monovalentes (por ejemplo de hidrógeno), o con dos átomos divalentes (como el oxígeno). Sin embargo, recordemos que dos de estos electrones de valencia pertenecen al orbital 2s, mientras que los otros dos están ubicados en los orbitales $2p_x$ y $2p_y$, respectivamente. Esto supone que los cuatro

enlaces resultantes deben ser diferentes. Sin embargo, se sabe que son simétricos. La explicación de esto se basa en la teoría de la **hibridación** de orbitales.

1.3.1.3 HIBRIDACIÓN DE ORBITALES

Debido a la promoción de un electrón del orbital 2s al orbital 2p_z, el átomo de carbono adquiere la posibilidad de formar cuatro enlaces covalentes, en cada uno de estos orbitales semiocupados:



Esta configuración se conoce como **estado excitado**.

Sin embargo, aún no hemos explicado por qué los cuatro enlaces que se forman son iguales. Se cree que, cuando uno de los electrones del orbital 2s es promovido, ocurre una especie de deformación de los orbitales, dando como resultado otro tipo de orbitales, denominados **orbitales híbridos sp³**.

Dependiendo de si se une con otros átomos de carbono y del número de átomos diferentes presentes en la molécula, se producen fenómenos de hibridación diferentes, en los cuales pueden estar involucrados todos los orbitales p o sólo algunos de ellos.

1.3.1.3.1 TIPOS DE HIBRIDACIONES

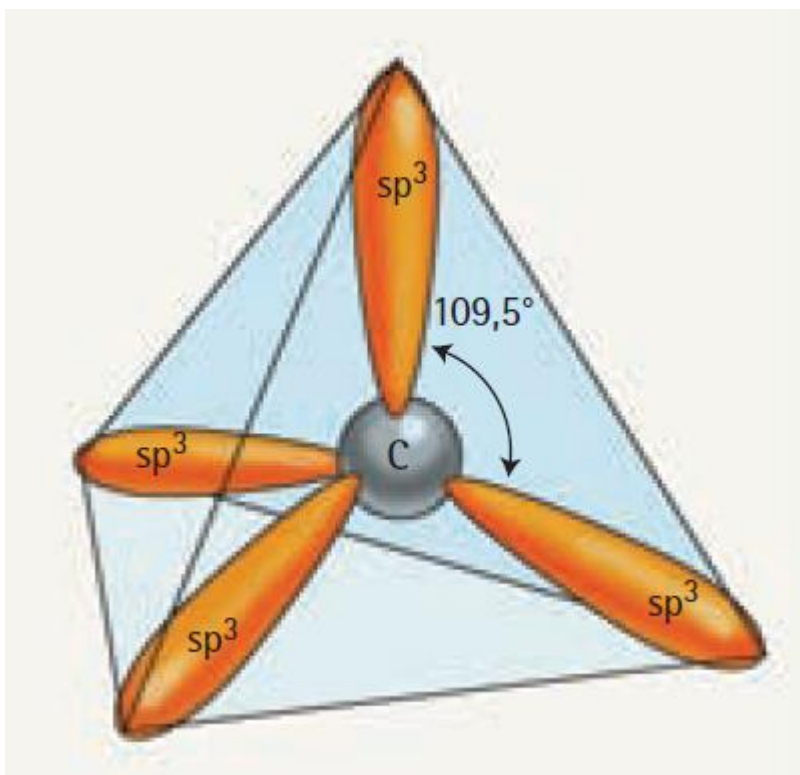
✓ Hibridación tetragonal (sp³)

Se presenta cuando un átomo de carbono forma enlaces con cuatro átomos monovalentes, por ejemplo, cuatro átomos de hidrógeno o de algún elemento del grupo de los halógenos, como el cloro; a través de

cuatro enlaces covalentes simples, tipo σ (este símbolo se representa con o minúscula a al que le sale de la parte superior una pequeña línea horizontal hacia la derecha):

Ejemplo la estructura tetragonal del metano CH_4 .

Imagen 3.hibridación sp^3 del carbono



Descripción de la imagen: la estructura recuerda una la disposición tetragonal perfecta formada por los orbitales sp^3 (que simulan la forma de una pera) que se unen todas en la región de menor densidad o parte angosta con el átomo de carbono que se representa con una esfera en el centro, mientras que la parte de mayor densidad o ancha ocupa los vértices del tetraedro de manera alternada, con un ángulo entre cada orbital sp^3 de 109.5° .

Igualmente, este tipo de estructura molecular se puede presentar cuando el carbono se combina con otros átomos de carbono o de elementos divalentes, como el oxígeno o trivalentes, como el nitrógeno. En los casos expuestos anteriormente se presenta una hibridación de tipo **tetragonal**, tal como se explicó en la imagen 3.

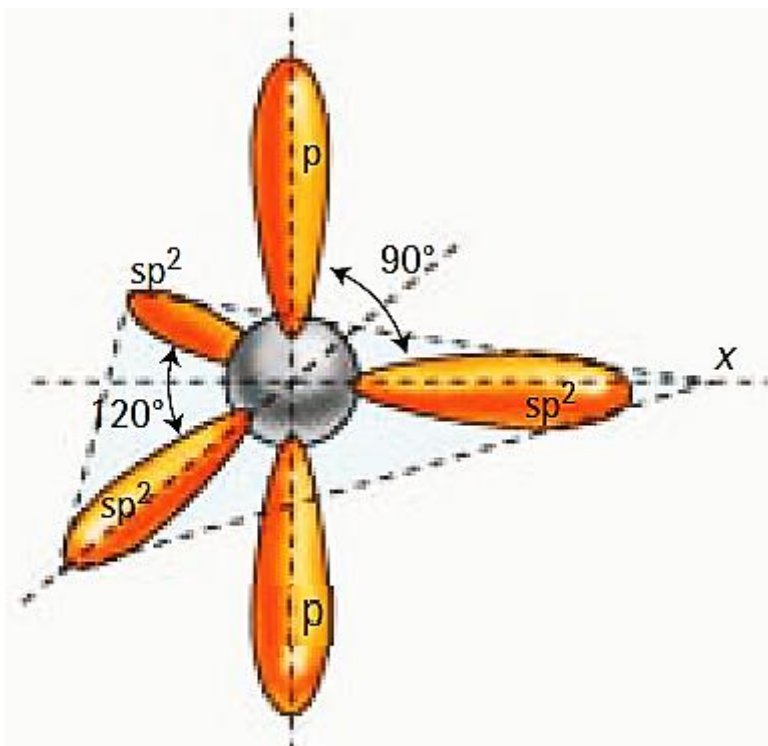
Los orbitales sp^3 y los enlaces que de ellos resultan, así como los núcleos positivos de todos los átomos unidos al carbono están lo más lejos posible entre sí y para conseguir esto se ubican con ángulos de enlace de $109,5^\circ$.

La idea de que las moléculas en las cuales el carbono se comporta como tetravalente presentan una conformación tridimensional tetraédrica fue propuesta, por primera vez en 1874, por **Jacobus Van 't Hoff** y **Joseph Le Bel**, quienes afirmaron que la orientación de los orbitales híbridos no era al azar sino regular.

✓ ***Hibridación trigonal (sp^2)***

Cuando el carbono se combina con solo tres átomos, debe ocupar dos valencias con un átomo que no sea monovalente. Por ejemplo, puede unirse con dos átomos de hidrógeno y con otro átomo de carbono.

Imagen 4. Hibridación sp^2 del átomo de carbono.



Descripción de la imagen: la estructura recuerda una la disposición de un triángulo equilátero formada por los orbitales sp^2 que se unen todas en la región de menor densidad o parte angosta con el átomo de carbono que se representa con una esfera en el centro del triángulo equilátero mientras que la parte de mayor densidad o ancha ocupa los vértices del triángulo de manera alternada, con un ángulo entre cada orbital sp^2 de 120° . Atravesando por el eje y al átomo de carbono el orbital p no híbrido el cual forma un ángulo de 90° con los orbitales híbridos sp^2 .

Se produce entonces una **hibridación trigonal**, en la cual los orbitales 2s, 2p_x y 2p_y se hibridan para generar tres orbitales híbridos, conocidos como **orbitales sp^2** , con lo cual, el orbital 2p_z queda

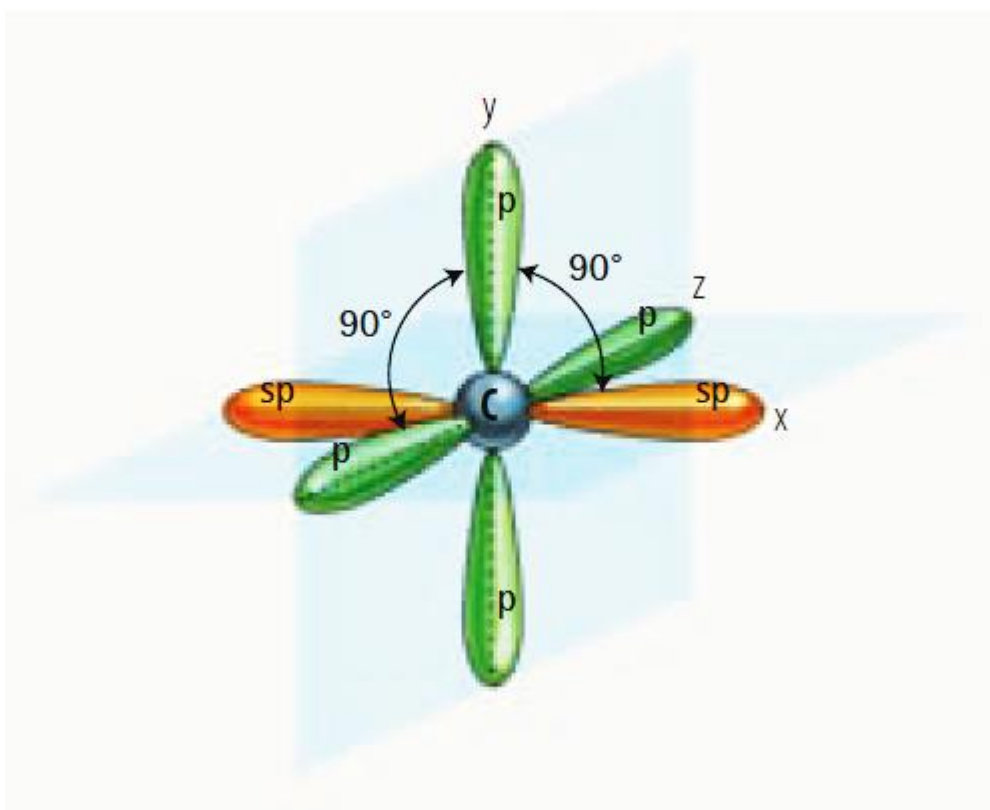
inalterado, es decir, no participa. Dos de los orbitales sp^2 forman enlaces covalentes tipo sigma con los dos átomos de hidrógeno, mientras que entre los dos átomos de carbono se forma un enlace doble, a partir de la fusión del tercer orbital sp^2 de cada carbono (en un enlace σ) y de los orbitales p no hibridados (enlace π el cual se representa con la letra griega pi). Como consecuencia de esta disposición, los núcleos de todos los átomos que intervienen quedan situados lo más lejos posible unos de otros, de lo que resulta la coplanaridad (mismo plano) y los ángulos de 120° , característicos de todos los sistemas de doble enlace.

✓ Hibridación digonal (sp)

Se produce cuando un átomo de carbono se encuentra unido sólo a dos átomos, por ejemplo, otro carbono y un hidrógeno. En este caso, solo se forman dos orbitales atómicos " sp ", quedando, por tanto, dos orbitales p no hibridados. El resultado es la formación de un enlace triple entre los dos carbonos, compuesto por dos enlaces π y uno σ , resultado de la fusión de los dos orbitales π y de uno de los orbitales híbridos sp .

De la misma manera, entre el hidrógeno y el carbono se forma un enlace tipo σ . Los orbitales híbridos sp forman enlaces separados entre sí 180° , lo que da origen a la geometría lineal del acetileno y de otras estructuras con triple enlace.

Imagen 5. Hibridación sp del átomo de carbono.



Descripción de la imagen: se representan los orbitales sp ubicados sobre el eje x tanto hacia el lado negativo como positivo, los orbitales p en los ejes z y también los lados positivo y negativo, el átomo de carbono ubicado en el centro del origen del plano o punto cero. En la imagen se muestra que entre los orbitales p_y respecto a los orbitales p_z hay una distancia angular de 90° , por lo tanto los orbitales híbridos sp ubicados en el eje x tienen entre ellos un ángulo de 180° .

2 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS

Los compuestos orgánicos se clasifican en grupos o funciones químicas, que comparten ciertas características estructurales y un

comportamiento físico-químico particular. Fue posible llegar a esta clasificación luego de comparar un elevado número de compuestos del carbono y observar que, compuestos con propiedades químicas muy diferentes contenían el mismo número de átomos de carbono, como por ejemplo: el metano, CH_4 , el metanol, CH_3OH , y el metanal, HCHO . Así mismo, varios compuestos con propiedades químicas muy similares, podían contener un número diferente de átomos de carbono. Por ejemplo, el metanol, CH_3OH , el etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, o el propanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, contienen respectivamente uno, dos o tres átomos de carbono, aun cuando todos son alcoholes.

2.1 IMPORTANCIA EN NOMENCLATURA DE LOS GRUPOS FUNCIONALES

En el siguiente listado encontrara los grupos funcionales más comunes, organizados de los más importantes a los menos importantes según reglas de nomenclatura.

1. RCOOH : Ácidos.
2. RCOOR' : Ester.
3. $\text{R}'\text{CONH}_2$: Amida
4. $\text{RC}\equiv\text{N}$: Nitrilo.
5. RCOH : Aldehído
6. RCOR : Cetona
7. ROH : Alcohol
8. RNH_2 : Amina
9. ROR' : Éter
10. $\text{C}=\text{C}$: Alquenos doble enlace

11. $C \equiv C$: Alquinos triple enlace.
12. RNO_2 : Nitro.
13. X: Halógenos
14. R: Radicales sustituyentes.

A demás de lo anterior tenga en cuenta que en el momento de escribir el nombre de un compuesto químico orgánico debe hacerlo en orden alfabético.

2.2 GRUPOS FUNCIONALES

Un grupo funcional es un **átomo o un conjunto de átomos que forman parte de una molécula más grande; y que le confieren un comportamiento químico característico**. Así, el comportamiento químico de toda molécula orgánica, sin importar su tamaño y grado de complejidad, está determinado por el o los grupos funcionales que contiene. Por ejemplo, el grupo $-OH$, identifica a los alcoholes.

2.2.1 FUNCIONES QUÍMICAS CON ENLACES CARBONO-CARBONO

Este grupo funcional está representado por un conjunto de compuestos, conocidos como **hidrocarburos**. Los hidrocarburos son tal vez el grupo más amplio y diversificado de los compuestos orgánicos.

Si están formados por cadenas de carbonos, unidos a través de enlaces sencillos, con hidrógenos unidos a esta cadena, se denominan **alcanos**.

Dependiendo de la presencia de enlaces dobles o triples, los hidrocarburos se dividen en: **alquenos** y **alquinos**, respectivamente.

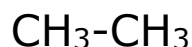
Un tercer grupo, los árenos o aromáticos, presentan enlaces intermedios entre dobles y simples anillos de átomos de carbono.

NOTA IMPORTANTE "Tenga en cuenta que".

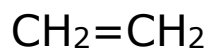
- ✓ El enlace sencillo se representa con un guion.
- ✓ El enlace doble se representa con un signo igual.
- ✓ El enlace triple con un guion y debajo un igual.
- ✓ Un radical es una especie formada por carbono e hidrógeno que se enlaza a una función química o cadena carbonada.

Recuerde además que el átomo de carbono tiene capacidad para formar cuatro enlaces.

- ✓ **Alcano:** compuesto formado por dos átomos de carbono y tiene un enlace sencillo entre carbono y carbono, cada uno de los cuales se enlaza con tres hidrógenos el siguiente ejemplo recibe el nombre de etano.



- ✓ **Alqueno:** formado por dos átomos de carbono y tiene un doble que se representa con el signo igual, cada átomo de carbono se enlaza con dos hidrógenos ya que dos de sus electrones están ocupados en el doble enlace, el siguiente ejemplo recibe el nombre de eteno.

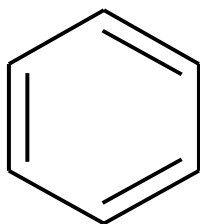


- ✓ **Alquino:** El siguiente ejemplo llamado etino o acetileno formado por dos átomos de carbono y tiene un enlace pi y uno sigma dando origen al enlace triple que se representa con un guion y de

bajo un igual, cada átomo de carbono se enlaza con un hidrógeno ya que tres de sus electrones están ocupados en el triple enlace:



✓ **Aromático:** el siguiente compuesto es el más importante de los compuestos aromáticos llamado benceno formado por seis átomos de carbono unidos que forman un hexágono regular el cual tiene tres enlaces pi o doble, alternados que le dan la característica de ser compuesto aromático. Generalmente se representa como C_6H_6 , o también lo puede encontrar como Ar.



En los alcanos el carbono tiene sus cuatro posibilidades de enlaces ocupadas, por lo que estos compuestos se conocen como hidrocarburos **saturados**, a diferencia de alquenos, alquinos y árenos que son **insaturados**.

2.2.2 FUNCIONES CON ENLACES SENCILLOS ENTRE CARBONO Y ÁTOMOS ELECTRONEGATIVOS

Si a una cadena sencilla de carbonos e hidrógenos, se encuentra unido un átomo electronegativo, como por ejemplo un halógeno, tenemos un

grupo funcional conocido como **haluros** o **halogenuros de alquilo**. Si, por el contrario, a esta cadena se une un grupo OH^- , tenemos el grupo de los alcoholes. Ahora, si se trata de un átomo de oxígeno, uno de nitrógeno, un grupo NH_2 o S_2 , hablamos de **éteres**, **nitrilos**, **aminas** o **sulfuros**, respectivamente.

En todos los grupos nombrados, un átomo de carbono se encuentra unido, a través de un enlace sencillo, a un átomo más electronegativo, que puede ser un halógeno, oxígeno, nitrógeno o azufre. Estos son algunos ejemplos:

✓ *Haluro de alquilo*: CH_3-CH_2-Cl

✓ *Alcohol*: CH_3-OH

✓ *Éter*: CH_3-O-CH_3

✓ *Nitrilo*: $CH_3-CH_2-C \equiv N$

✓ *Amina* $CH_3-CH_2-NH_2$

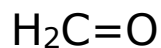
✓ *Sulfuro*: CS_2

2.2.3 FUNCIONES CON UN DOBLE ENLACE

CARBONO-OXÍGENO (C=O)

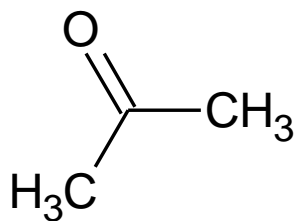
Estos compuestos son semejantes en muchos aspectos pero se diferencian en la naturaleza de los átomos unidos al carbono del grupo $C=O$ carbonilo:

✓ **Aldehído**: esta función presenta el grupo carbonilo o un carbono enlazado a un hidrógeno y al oxígeno con un doble enlace:



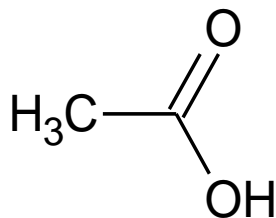
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como R-COH. Donde R representa los átomos de carbono que se pueden enlazar a dichas funciones los cuales pueden estar acompañados por hidrógenos según la estructura del compuesto.

- ✓ **Cetona:** esta función presenta el grupo carbonilo o un carbono unido hacia arriba a un oxígeno con un enlace doble y hacia los lados derecha izquierda a átomos de carbono.



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como R-COR. Donde R representa los átomos de carbono que se pueden enlazar a dichas funciones los cuales pueden estar acompañados por hidrógenos según la estructura del compuesto.

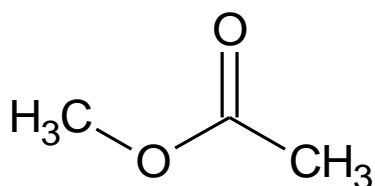
- ✓ **Ácido carboxílico:** esta función presenta el grupo carbonilo o un carbono unido hacia arriba a un oxígeno con un enlace doble y un enlace con el grupo hidroxilo OH^- .



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como R-COOH. Donde R representa los átomos de carbono que se

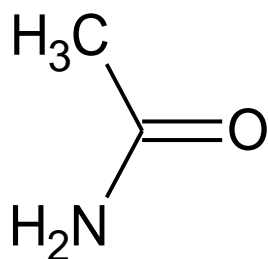
pueden enlazar a dichas funciones los cuales pueden estar acompañados por hidrógenos según la estructura del compuesto.

- ✓ **Esteres:** esta función presenta el grupo carbonilo, es decir, un carbono enlazado hacia arriba a un oxígeno con un doble enlace y hacia los lados enlace sencillo a un carbono o radical y a un oxígeno el cual a su vez se enlaza a un radical.



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como RCOOR' . Donde R representa los átomos de carbono que se pueden enlazar a dichas funciones los cuales pueden estar acompañados por hidrógenos según la estructura del compuesto.

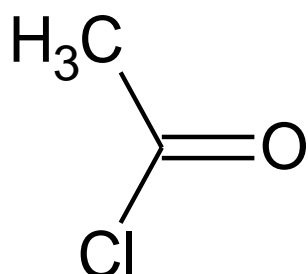
- ✓ **Amidas:** esta función presenta el grupo carbonilo, es decir, un carbono enlazado hacia arriba a un oxígeno con un doble enlace y hacia los lados enlace sencillo a un NH_2 y a un radical.



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como R-CONH_2 la cantidad de hidrógenos variara con el hecho de que sean primarias, secundarias o terciarias como se estudiara más adelante. Tenga presente que la letra R representa los átomos de carbono que se pueden enlazar a dichas funciones los cuales

pueden estar acompañados por hidrógenos según la estructura del compuesto.

Haluros de ácido: esta función presenta el grupo carbonilo, es decir, un carbono enlazado hacia arriba a un oxígeno con un doble enlace y hacia los lados enlace sencillo a un halógeno y a un radical.



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como R-COCl Donde R representa los átomos de carbono que se pueden enlazar a dichas funciones los cuales pueden estar acompañados por hidrógenos según la estructura del compuesto.

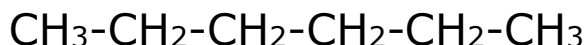
2.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA ESTRUCTURA

Dentro de algunos grupos funcionales, los compuestos orgánicos se pueden subdividir de acuerdo con la forma o la estructura que presenten, como: **compuestos acíclicos o de cadena abierta** y **compuestos cíclicos o de cadena cerrada**. Sin embargo los límites entre unos y otros no son claros de tal forma que podemos estudiarlos paralelamente estableciendo en forma permanente comparaciones entre unos y otros.

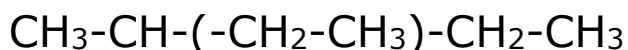
2.3.1 COMPUESTOS ACÍCLICOS O ALIFÁTICOS

Pueden ser de cadena lineal o ramificada:

- ✓ **Lineales:** presentan los carbonos organizados de forma horizontal ejemplo.



- ✓ **Ramificados:** presentan cadenas lineales en las que descuelgan radicales hacia arriba o hacia abajo de uno o varios carbonos; estos radicales se representan entre paréntesis seguidos de del carbono del que desprende, en el siguiente ejemplo encontramos que el radical se desprende del segundo carbono de izquierda a derecha y que este radical está formado por dos átomos de carbono.

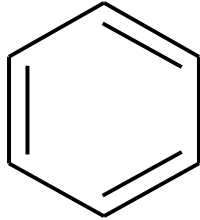


2.3.2 COMPUESTOS CÍCLICOS

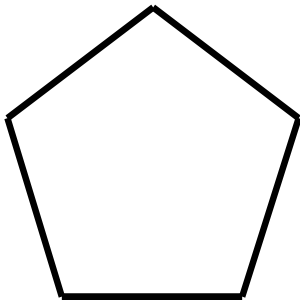
Dentro de este grupo podemos diferenciar, a su vez, dos grandes grupos:

- ✓ **Compuestos isocíclicos:** son compuestos en los que los ciclos están formados únicamente por uniones de carbono. Dentro de este grupo, encontramos compuestos aromáticos y compuestos alicíclicos.
- ✓ **Compuestos aromáticos:** corresponden a una clase muy especial de sustancias, caracterizadas porque presentan

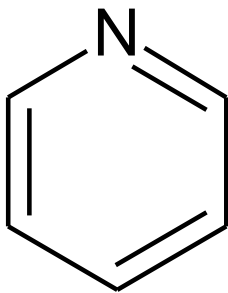
invariablemente una molécula de benceno como base. Como derivados del benceno se conocen gran cantidad de sustancias de importancia bioquímica e industrial.



- ✓ **Compuestos alicíclicos:** pertenecen a este grupo una serie de compuestos que, a pesar de presentar una estructura cíclica, poseen propiedades físico-químicas muy similares a las de los compuestos alifáticos.



- ✓ **Compuestos heterocíclicos:** se diferencian de los anteriores en que al menos uno de los átomos que conforman la estructura cíclica es diferente al carbono. En los compuestos cíclicos pueden existir en la misma molécula uno o varios anillos.



2.3.3 NOMENCLATURA DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS

Históricamente los nombres comunes o vulgares de los compuestos orgánicos surgieron arbitrariamente, en la mayoría de los casos a partir de la fuente desde donde fueron aislados. El creciente número de compuestos orgánicos hizo demasiado complicado el empleo de este tipo de nombres y obligó al desarrollo de sistemas de nomenclatura sistemáticos y racionales.

El sistema usado en la actualidad está basado en la estructura de los compuestos y las reglas que lo rigen fueron formuladas por la **Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (I U P A C)**. En este sistema para una estructura particular corresponde un único nombre, que proporciona información sobre esta.

La nomenclatura de los compuestos orgánicos se basa en el número de carbonos que formen parte de la estructura y en el tipo y posición ocupada por los grupos funcionales presentes. Antes de mencionar las reglas para nombrar estos compuestos, es importante definir algunos conceptos básicos:

Sustituyente: átomo o grupo de átomos que se encuentran unidos a una cadena hidrocarbonada, reemplazando un átomo de hidrógeno correspondiente al alcano. Por ejemplo, si en la molécula de metano (CH_4), uno de los hidrógenos es reemplazado por un átomo de cloro, este será un sustituyente en la molécula original.

Radical: átomo o grupo de átomos que poseen un electrón desapareado. Son altamente reactivos y suelen encontrarse como sustituyentes de moléculas mayores. Si se trata de un hidrocarburo, que

ha perdido uno de los hidrógenos, el radical se denomina **grupo alquilo**. Por ejemplo, el radical correspondiente al metano es el **grupo**

metilo, $-CH_3$ Observa que la terminación (ilo), hace referencia a que se trata de un radical.

2.3.4 NOMENCLATURA DE HIDROCARBUROS

Recordemos que los hidrocarburos son cadenas de carbonos sobre los cuales se encuentran unidos átomos de hidrógeno. Para nombrarlos se tiene en cuenta el número de carbonos que están determinados por un prefijo como **met** (1 Carbono), **et** (2 Carbonos), **prop** (3 Carbonos), **but** (4 Carbonos) y la terminación que indica la función que se desea nombrar *ano*, *eno*, *ino*.

En la tabla 1 encontraremos el nombre de diferentes alcanos de acuerdo con el número de carbonos presentes. En el caso de los alquenos y alquinos, los prefijos se conservan, mientras que en lugar de la terminación *-ano* se añade *eno para los alquenos* e *ino para los alquinos*, según el caso. Si se trata de un grupo alquilo, se utiliza la terminación *-ilo* o *-il*. El procedimiento para nombrar cadenas hidrocarbonadas más complejas es el siguiente:

1. En primer lugar, se escoge la cadena de carbonos más larga. Esta constituye el alcano principal con respecto al cual se nombra la estructura, considerando las cadenas menores como sustituyentes.
2. Luego, se numeran los átomos de carbono constitutivos de la cadena principal, comenzando por el extremo desde el cual los

carbonos que posean el grupo funcional o los sustituyentes reciban los números más bajos posibles.

3. A continuación, se indican los nombres del grupo o los sustituyentes de la cadena principal, precedidos del número que corresponde al átomo de carbono al que están unidos. Si existen dos grupos sobre el mismo carbono, se repite el número delante del segundo grupo. Si un mismo sustituyente aparece más de una vez en la cadena, los números de las posiciones que ocupan se enumeran, separados entre sí por comas, y se usan los prefijos *di*, *tri*, *tetra*, etc., para indicar el número de veces que aparece dicho grupo.

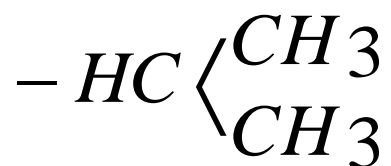
Tabla 1. Nombre de diferentes alcanos, de acuerdo con la cantidad de átomos de carbono.

Número de carbonos Se representan con la letra (n minúscula)	Nombre del alcano	Formula general $C_n H_{2n+2}$
1	Metano	CH ₄
2	Etano	C ₂ H ₆
3	Propano	C ₃ H ₈
4	Butano	C ₄ H ₁₀
5	Pentano	C ₅ H ₁₂

6	Hexano	C ₆ H ₁₄
7	Heptano	C ₇ H ₁₆
8	Octano	C ₈ H ₁₈
9	Nonano	C ₉ H ₂₀
10	Decano	C ₁₀ H ₂₂
20	Eicosano	C ₂₀ H ₄₂
21	Eneicosano	C ₂₁ H ₄₄
40	Tetracontano	C ₄₀ H ₈₂

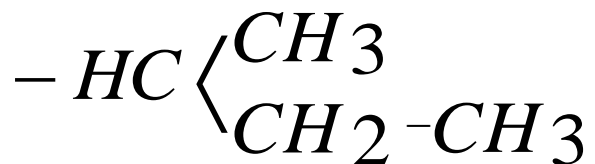
Listado de radicales o sustituyentes más comunes: en paréntesis encontrara el prefijo de cada uno)

- ✓ Metilo: CH₃- (met)
- ✓ Etilo: CH₃-CH₂- (et)
- ✓ Propilo: CH₃-CH₂-CH₂- (prop)
- ✓ Butilo: CH₃-CH₂-CH₂-CH₂ (but)
- ✓ Isopropilo: (iso-prop)



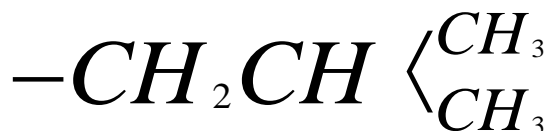
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $\text{CH}(\text{CH}_3)_2$

✓ :C (sec-butil)



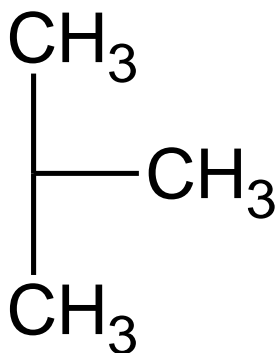
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $\text{CH}(\text{CH}_2(\text{CH}_3)_2)$

✓ Isobutilo: (iso-but)



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$

✓ Butilo terciario (ter-but)



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como C
(CH₃)₃

También puede encontrar información sobre nomenclatura de compuestos orgánicos en [Nomenclatura de compuestos orgánicos](http://www.monografias.com/trabajos28/reglas-nomenclatura/reglas-nomenclatura.shtml)
<http://www.monografias.com/trabajos28/reglas-nomenclatura/reglas-nomenclatura.shtml>

2.4 FORMULAS QUÍMICAS

Uno de los resultados finales de los métodos de análisis y síntesis es la elucidación de la fórmula del compuesto.

Una **fórmula química** es una representación gráfica de la molécula de la sustancia en estudio. Para una misma sustancia existen distintos tipos de fórmulas, cada una de las cuales proporciona información diferente.

2.4.1 FÓRMULA EMPÍRICA

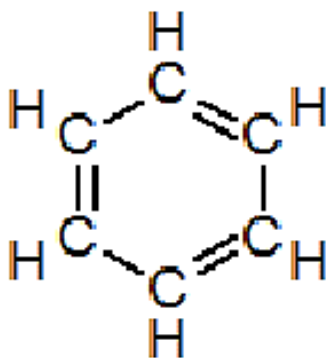
Indica la relación proporcional entre el número de átomos de cada elemento presente en la molécula, sin que esta relación señale necesariamente la cantidad exacta de átomos. La palabra **empírica** significa “basada en la observación y medida”. La fórmula empírica se

puede determinar a partir del porcentaje de peso correspondiente a cada elemento. Como es la que menos información da, se conoce también como **fórmula mínima o condensada**. Así por ejemplo, la expresión CH_2O , corresponde a la fórmula mínima de la glucosa, aun cuando su fórmula molecular es $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, indicando la cantidad absoluta de átomos presentes.

2.4.2 FÓRMULA ESQUEMÁTICA O ESTRUCTURAL

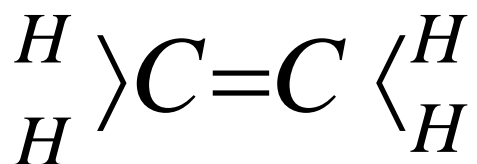
Indica las posiciones que ocupan unos átomos con relación a los otros, es decir, da información acerca de la estructura de la molécula. Por ejemplo, los siguientes diagramas muestran la distribución espacial de los átomos en las moléculas de benceno y eteno:

Imagen 6.formula estructural del benceno



Descripción de la imagen: se encuentra un hexágono en el que cada vértice corresponde a un átomo de carbono, cada uno de los cuales está unido a un hidrógeno, entre los carbonos que forman el hexágono hay de forma alterna tres uniones dobles.

Imagen 7. Formula estructural del eteno



2.4.3 FÓRMULA ESPACIAL O ESTEREOQUÍMICA

Representa la posición relativa de los átomos, situados en el espacio, tridimensionalmente ejemplo:

Se presentan dos compuestos formados por los mismos átomos y la misma cantidad sin embargo por la posición espacial hace que sean compuestos diferentes con características químicas distintas.

Imagen 8. formula espacial del ácido fumárico.

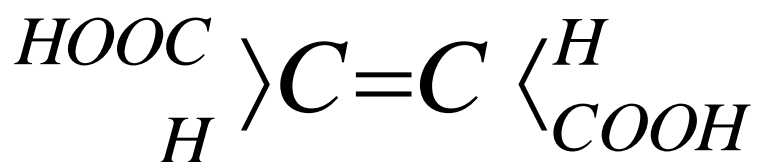
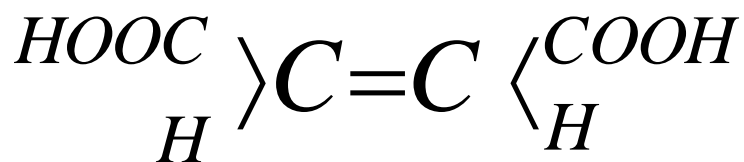


Imagen 9. formula espacial del ácido maleico.



2.4.4 FÓRMULA ELECTRÓNICA

Indica el carácter electrónico de los átomos en la molécula, o si la unión entre ellos es iónica o covalente.

3 HIDROCARBUROS

3.1 ALCANOS (HIDROCARBUROS SATURADOS)

Los alcanos son hidrocarburos de cadenas abiertas, ya sea sencillas o ramificadas, de carbono e hidrógeno, en las cuales los carbonos se encuentran unidos a través de enlaces covalentes simples. Esto implica que las cuatro posibilidades de enlace del átomo de carbono se encuentran ocupadas por átomos de hidrógeno y de carbono, por lo que se les conoce también como hidrocarburos saturados. Esto significa que los **carbonos están saturados por átomos de hidrógeno**.

La estructura de los alcanos se deriva de esta condición, los enlaces sencillos resultan de la fusión de orbitales híbridos sp^3 . Esto determina el ángulo que se forma entre los átomos que intervienen en dicho enlace. El alcano más sencillo, el metano (CH_4), es una molécula tetraédrica. Pues bien, los alcanos de mayor número de carbonos pueden verse como unidades tetraédricas unidas.

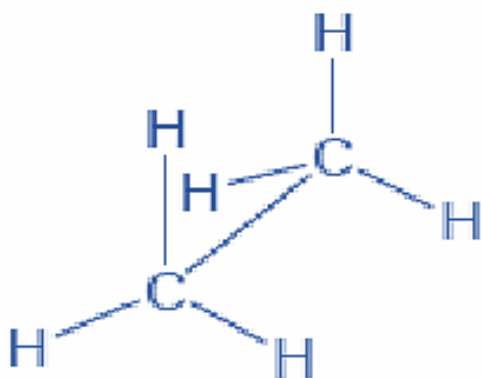
El enlace sencillo entre carbonos permite la rotación de los mismos sobre el eje del enlace. Esto hace que los hidrógenos unidos a estos carbonos puedan ubicarse en diferentes posiciones alrededor de los mismos, dando lugar a diferentes **conformaciones**, de las cuales se derivan los **isómeros conformacionales** que, a diferencia de las otras

clases de isómeros, no poseen distribuciones diferentes de los átomos, sino posiciones diferentes a lo largo de un eje de rotación definido.

Existen principalmente dos maneras de representar este tipo de isómeros, como se muestra a continuación para el etano.

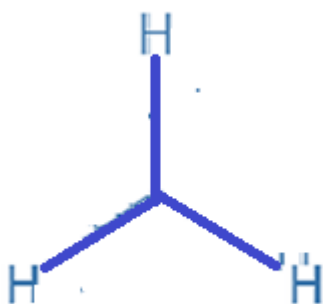
Una característica del etano es que los dos grupos que constituyen su estructura no están fijos en una posición determinada sino que pueden girar con relativa libertad alrededor del enlace sigma que mantiene unidos a los dos átomos de carbono. Esto es así porque el enlace σ es capaz de mantener el solapamiento lineal sp^3-sp^3 a pesar del giro relativo de los dos grupos metilo. El giro de los grupos metilo de la conformación alternada puede llevar a otra disposición relativa de los átomos de hidrógeno de los grupos metilo, de manera que en la nueva colocación los átomos de hidrógeno de un grupo metilo eclipsan a los átomos de hidrógeno del otro grupo metilo. (Recuerde que el grupo metilo está formado por un carbono enlazado a tres átomos de hidrógeno con un ángulo de 109° entre ellos).

Imagen 10. Representación de caballete del etano.



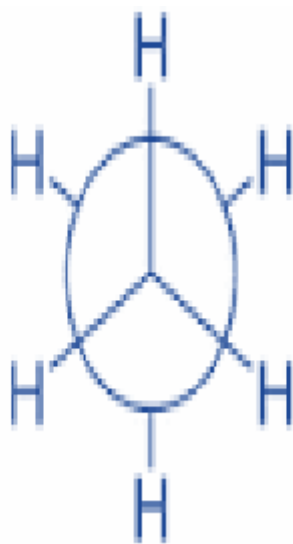
Descripción de la imagen: es la representación caballete del etano, en el que hay dos carbonos enlazados por un enlace sencillo que los ubica el uno del otro en dirección oblicua y cada carbono presenta enlace sencillo con tres hidrógenos, los cuales se ubican el uno del otro en un ángulo de 109° teniendo como centro al átomo de carbono.

Imagen 11. Representación eclipsada del etano.



Descripción de la imagen: es la representación eclipsada del etano, en él que los dos grupos metilo se solapan o sobreponer uno sobre el otro, de tal manera que hay un grupo metilo posterior al otro pero solo se evidencia el del frente.

Imagen 12. Estructura eclipsada alterna del etano.



Descripción de la imagen: es la representación eclipsada alterna del etano, en el que los carbonos del enlace se solapan entre sí, quedando evidente el carbono del frente, pero los hidrógenos enlazados a estos carbonos se alternan de tal manera que pareciera que este carbono estuviera unido a seis hidrógenos.

Los isómeros conformacionales son muy difíciles de aislar pues se convierten unos en otros con facilidad. No obstante, la conformación en la cual los hidrógenos se ubican alternados es más estable que aquella en la cual se disponen eclipsados. Esto se debe a que, en el primer caso, los orbitales moleculares de los enlaces C—H están lo más alejados posible.

3.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

En estado puro, los alcanos son incoloros, presentan una densidad menor que la del agua y debido a su naturaleza apolar, son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos como el tetracloruro de carbono o el benceno.

En cuanto al estado de agregación, a temperatura ambiente, los cuatro primeros alcanos (metano, etano, propano y butano), son gases; del pentano al heptadecano son líquidos, mientras que cadenas mayores se encuentran como sólidos.

En general, a medida que aumenta el número de carbonos presentes (es decir, el peso molecular), se observa un aumento gradual en el valor de constantes físicas como los puntos de fusión, de ebullición y la densidad.

Sin embargo, la presencia de ramificaciones en la cadena se relaciona con un descenso de las mismas. Por ejemplo, el pentano hierve a 36,5 °C, el isopentano (2-metilbutano) con una ramificación, hierve a 27,85 °C, mientras que el neopentano (2,2-dimetilpropano) con dos ramificaciones, hierve a 9,5 °C.

Este comportamiento se relaciona con la acción de fuerzas intermoleculares débiles, conocidas como **fuerzas de Van der Waals**. Estas fuerzas, actúan solo a distancias muy cortas y son el resultado de la atracción entre cargas opuestas sobre la superficie de las moléculas. Estas cargas son consecuencia de la polarización inducida de las nubes electrónicas de las moléculas. Un lado de la molécula puede por casualidad, tener un ligero exceso de electrones en relación con el lado opuesto. Cuando esto ocurre, la molécula posee un **momento dipolar temporal** y puede provocar que otra molécula cercana adopte temporalmente un dipolo opuesto, lo cual da como resultado una ligera atracción entre dos moléculas.

Los dipolos temporales tienen existencia fugaz y constantemente están cambiando, pero el efecto acumulativo de una enorme cantidad de interacciones que determinan el estado de agregación de las moléculas de un compuesto.]

Cuando se aplica suficiente energía calórica para vencer estas fuerzas ocurre un cambio de estado, por ejemplo de líquido a gas.

La intensidad de las fuerzas de Van der Waals aumentan con el tamaño de las moléculas, por lo que es necesario suministrar una mayor cantidad de energía para vencerlas y pasar del estado líquido al gaseoso. Esto explica el incremento de los puntos de ebullición con relación al número de carbonos.

Los alcanos ramificados presentan una forma más esférica que los de cadena lineal; como resultado de lo cual tienen menor área superficial y por consiguiente, el efecto de las fuerzas de Van der Waals es menor.

3.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

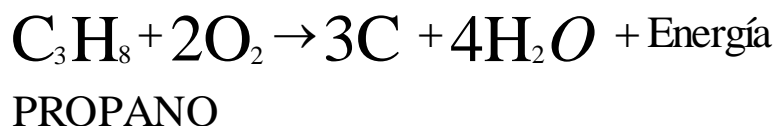
Los alcanos, también llamados **parafinas**, se caracterizan por ser poco reactivos, por lo que se dice que tienen una gran inercia química. Esto se debe a que el enlace sigma entre carbonos y entre carbonos e hidrógenos es muy fuerte y difícil de romper, por lo que las reacciones suelen ser lentas y frecuentemente deben llevarse a cabo a temperaturas altas, presiones elevadas y en presencia de catalizadores. No obstante, los alcanos reaccionan con el oxígeno, el cloro y los compuestos nitrogenados.

3.1.2.1 COMBUSTIÓN

Los alcanos reaccionan con el oxígeno durante el proceso conocido como combustión, en el cual se forma CO_2 y agua y se libera gran cantidad de energía en forma de calor y luz. Si la cantidad de oxígeno es mínima se dice que la combustión no es completa. Dependiendo de qué tan escaso

sea entonces el oxígeno, los productos finales serán carbono, agua y energía o monóxido de carbono, agua y energía:

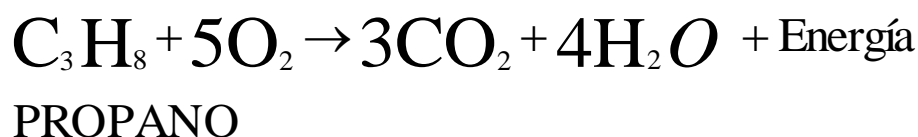
✓ Combustión mínima:



✓ Combustión incompleta:

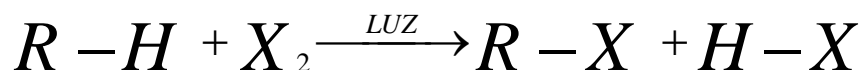


✓ Combustión completa:



3.1.2.2 HALOGENACIÓN FOTOQUÍMICA

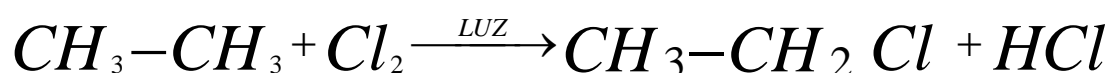
Cuando un alcano reacciona con un halógeno, lo cual ocurre a temperaturas entre 250 °C y 400 °C o en presencia de luz ultravioleta, ocurre sustitución de algunos de los hidrógenos por parte de los átomos del halógeno, según la ecuación general:



Donde:

- ✓ R: son los carbonos de la cadena.
- ✓ H: son los hidrógenos enlazados al carbono que es atacado por el halógeno.
- ✓ X subíndice 2: es el halógeno molecular o diatómico por ser un gas se presenta como sub dos.

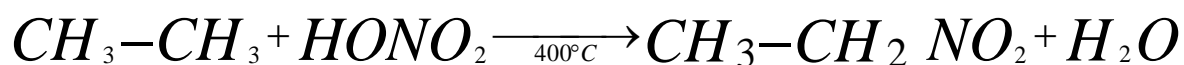
Un ejemplo concreto es el siguiente:



3.1.2.3 NITRACIÓN EN FASE GASEOSA

En condiciones apropiadas, el ácido nítrico (HNO₃) reacciona con los alcanos remplazando un hidrógeno por un grupo nitro (NO₂). Esta reacción se lleva a cabo por lo general en fase de vapor a temperaturas de 400 °C y se puede representar como sigue:

Tenga en cuenta que el ácido nítrico se representa en la reacción como HONO₂



3.1.3 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ALCANOS

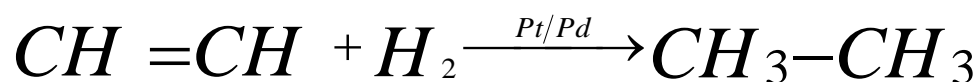
A escala industrial el medio más importante para obtener alcanos es la **destilación fraccionada del petróleo crudo**, como se detallará más adelante. A través de este proceso se extraen del petróleo numerosos subproductos y derivados.

Igualmente, el gas natural es una fuente de alcanos ya que está compuesto por una mezcla de hidrocarburos ligeros, como metano, etano, propano y butano, principalmente. En el laboratorio se emplean varios métodos. Mencionaremos los más importantes a continuación.

3.1.3.1 HIDROGENACIÓN CATALÍTICA DE HIDROCARBUROS INSATURADOS (ALQUENOS Y ALQUINOS)

El proceso consiste en una reducción con hidrógeno en presencia de catalizadores como el platino, paladio y níquel:

Un ejemplo sencillo es la obtención de etano a partir de eteno:



3.1.3.2 REACCIÓN DE WÜRTZ

Este método se fundamenta en la condensación de dos moléculas de un halogenuro de alquilo ($R-X$) que se produce por calentamiento en presencia de un metal alcalino, preferentemente sodio:

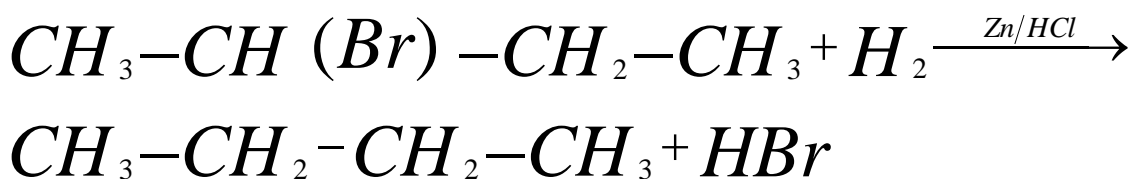


cloruro de etilo



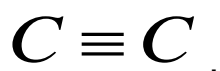
3.1.3.3 REDUCCIÓN DE HALOGENUROS DE ALQUILO

Los derivados halogenados de hidrocarburos alifáticos se pueden reducir al adicionar ciertos metales como el Zn a ácidos diluidos como el HCl, produciéndose hidrógeno que actúa como un fuerte agente reductor. Revisemos el siguiente ejemplo:



3.2 HIDROCARBUROS INSATURADOS: ALQUENOS Y ALQUINOS

A diferencia de los hidrocarburos saturados, los insaturados presentan dobles o triples enlaces, lo que significa que los átomos de carbono no tienen todas sus posibilidades de enlace "saturadas" con hidrógenos, sino que algunas están siendo ocupadas en enlaces $C=C$ o



3.2.1 ALQUENOS

Se conocen también como **olefinas** y se caracterizan por la presencia de al menos un enlace doble carbono-carbono. Este tipo de enlace se presenta entre los dos orbitales híbridos sp^2 y entre los dos orbitales π no hibridados. Esta circunstancia hace imposible la rotación sobre el plano del doble enlace, por lo que los átomos unidos a los carbonos del doble enlace se ubican arriba, abajo o sobre este plano.

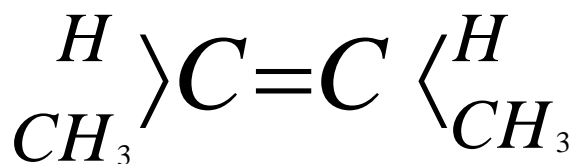
El enlace π del doble enlace, es relativamente fácil de romper, es decir, se requiere invertir poca energía para lograrlo, por lo que los alquenos son bastante reactivos.

3.2.1.1 ISOMERÍA GEOMÉTRICA

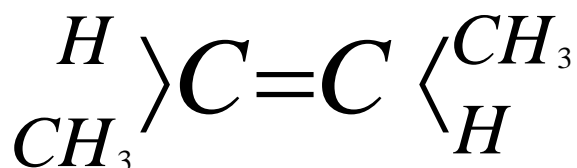
Como consecuencia de la rigidez del doble enlace, los alquenos presentan un tipo de isomería, que depende de las posiciones que ocupen los sustituyentes alrededor del plano del enlace. Así, un alqueno como el 2-buteno, puede presentar dos isómeros geométricos, como se ilustra a continuación:

La isomería cis-trans o geométrica es debida a la rotación restringida entorno a un enlace carbono-carbono. Esta restricción puede ser debida a la presencia de dobles enlaces o ciclos. Así, el 2-buteno puede existir en forma de dos isómeros, llamados cis y trans. El isómero que tiene los hidrógenos al mismo lado se llama cis, y el que los tiene a lados opuestos trans.

- ✓ El cis-2-buteno en él que los grupos metilo (CH_3) están en el mismo lado al igual que los hidrógenos.



- ✓ El trans-2-buteno es el que los grupos metilo (CH₃) están en lados opuestos al igual que los hidrógenos.



Los isómeros geométricos son estereoisómeros porque difieren únicamente en el arreglo espacial de los grupos sustituyentes. Estas diferencias estructurales se ven reflejadas en el comportamiento físico y químico de cada isómero. Así, los isómeros *cis* y *trans* de un compuesto presentan puntos de fusión y de ebullición diferentes, así como actividad enzimática característica.

3.2.2 ALQUINOS

Los alquinos se caracterizan por presentar al menos un enlace triple carbono-carbono, que resulta de la superposición de orbitales híbridos sp, en un enlace s y de dos pares de orbitales p no hibridados, en dos enlaces p. Al igual que en el enlace doble, el triple no permite la rotación de los carbonos involucrados, por lo que las moléculas de alquinos son rígidas y planas en donde hay triples enlaces. El enlace triple es más

fuerte que los enlaces sencillo y doble, aunque se puede romper parcialmente por los enlaces π externos.

3.2.3 NOMENCLATURA

A continuación se muestran ejemplos que ilustran cómo se nombran los hidrocarburos insaturados, según las normas de la **IUPAC**.

3.2.4 PROPIEDADES DE LOS HIDROCARBUROS INSATURADOS

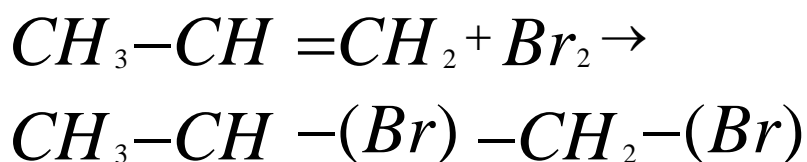
Propiedades físicas Al igual que los alcanos, los alquenos y los alquinos muestran un progresivo aumento de los valores de constantes físicas como puntos de ebullición y fusión a medida que se adicionan carbonos a las cadenas. Igualmente, aquellos con pocos carbonos, como el eteno y el etino son gases, del C5 al C18 son líquidos y los términos superiores son sólidos. Son insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos como el éter y el alcohol. A diferencia de los alcanos son solubles en ácido sulfúrico concentrado y frío.

3.2.4.1 PROPIEDADES QUÍMICAS

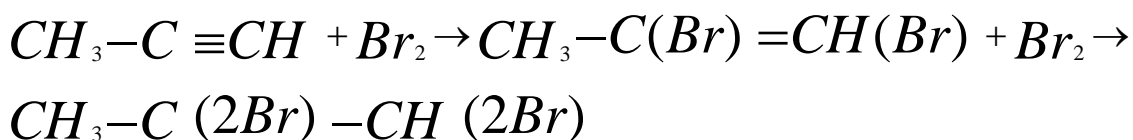
Los enlaces múltiples presentan en la parte externa enlaces π , relativamente fáciles de romper, en comparación con los enlaces σ . La concentración de electrones en los enlaces π , alrededor de los enlaces múltiples, les confiere un comportamiento netamente nucleófilo.

Por esta razón las reacciones más comunes en las que intervienen los hidrocarburos insaturados son las de **adición electrofílica**. Como su nombre lo indica, en estas reacciones ocurre adición de especies electrófilas en la zona del enlace múltiple, dando como resultado la saturación total o parcial de las posibilidades de enlace de los carbonos. Así la adición de átomos de cloro o hidrógeno a un enlace triple dará como resultado un derivado de alqueno. Del mismo modo, al adicionar alguna de estas especies electrófilas al doble enlace de un alqueno se formará el derivado del alcano correspondiente. Revisemos:

✓ **Halogenación de alquenos:**

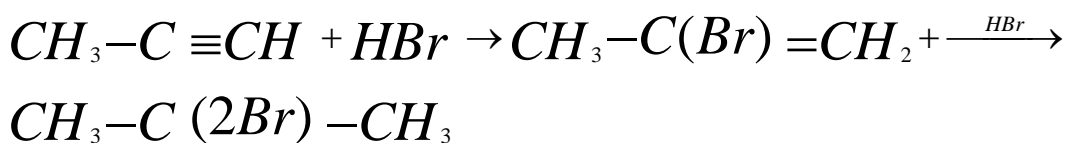


✓ **Halogenación de alquinos:**



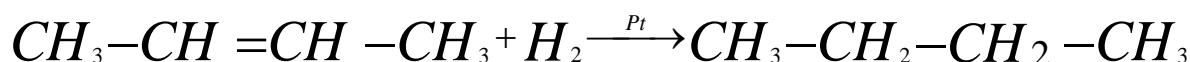
✓ **Hidrohalogenación:**

Es la adición a la insaturación de un haloácido.



Si analizas te darás cuenta que el hidrógeno del ácido se une al carbono del doble o triple enlace que tiene el mayor número de hidrógenos, lo que se conoce como **regla de Markovnikov**.

✓ **Adición de hidrógenos (reducción)**

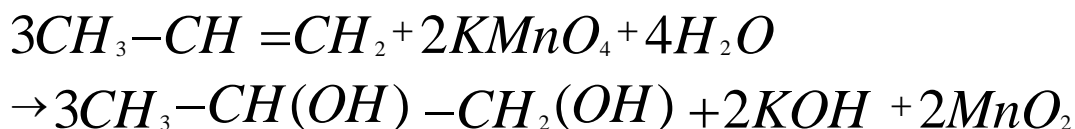


✓ **Adición de oxígeno (oxidación)**

Esta reacción se emplea frecuentemente en la preparación de alcanos:

El producto de la oxidación de un hidrocarburo es un alcohol, como se muestra en el siguiente ejemplo, en el cual se emplea permanganato de potasio.

En la siguiente reacción se obtiene 1,2-propanodiol.



Dado que dos grupos OH^- son adicionados al doble enlace, se forman alcoholes dobles, conocidos como **glicoles**. Otros agentes oxidantes son el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y el ozono (O_3).

3.2.5 OBTENCIÓN DE HIDROCARBUROS INSATURADOS

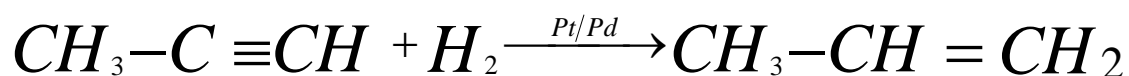
Los hidrocarburos insaturados, al igual que los alcanos se obtienen principalmente de la refinación del petróleo crudo, a través de pirolisis, es decir, descomposición por acción del calor. Por ejemplo:



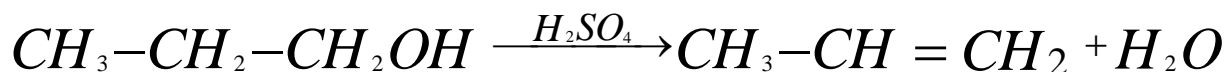
En la reacción anterior a partir del petróleo se produce propeno, eteno metano e hidrógeno.

La descomposición térmica de cadenas carbonadas más grandes da lugar a una mezcla de hidrocarburos de diferentes tamaños, dentro de los cuales, el más abundante es el eteno. La reacción suele ser catalizada por óxidos de silicio (SiO_2) o aluminio (Al_2O_3). Otras formas de obtención de alquenos son:

Hidrogenación catalítica de alquinos: en la siguiente reacción se muestra la obtención de propeno a partir del propino, catalizada con platino o paladio:



Deshidratación de alcoholes en medio ácido: por ejemplo, se puede obtener propeno a partir de propanol, como se muestra a continuación:



Por otra parte, los alquinos se obtienen principalmente por deshidrogenación y deshalogenación de derivados de alquenos.

3.2.6 HIDROCARBUROS CÍCLICOS

Las propiedades aromáticas de sustancias como el aceite de clavos, la vainilla, la canela o las almendras, se relacionan con la presencia de compuestos orgánicos cuyas moléculas tienen conformación cíclica. No obstante, como veremos en breve no todas las moléculas cíclicas son aromáticas.

3.2.6.1 CLASIFICACIÓN

Los hidrocarburos cíclicos pueden dividirse en dos grupos principales:

Alifáticos cíclicos o **alicíclicos** y **aromáticos**. Los alicíclicos son hidrocarburos saturados o insaturados en los cuales la cadena se pliega para formar una especie de anillo. Los aromáticos constituyen un grupo de compuestos definido principalmente por su comportamiento químico particular. Estructuralmente, la gran mayoría de los aromáticos son derivados del benceno, hidrocarburo de seis carbonos, cuya estructura detallaremos más adelante. No obstante, dentro de este grupo también se incluyen otras sustancias, que se comportan como aromáticos, pero presentan átomos diferentes al carbono formando la estructura cíclica. Por esta razón estos compuestos se conocen como **heterocíclicos**, mientras que los alicíclicos y los demás aromáticos son **homocíclicos**.

3.2.6.1.1 COMPUESTOS ALICÍCLICOS

Los hidrocarburos cíclicos son compuestos semejantes a los alcanos y alquenos de cadena lineal equivalente, diferenciándose en que los

extremos de la cadena carbonada se unen formando un anillo o ciclo. Este proceso implica la pérdida de un átomo de hidrógeno en cada extremo de la cadena. Por lo tanto, se presentan dos enlaces C-H menos y la fórmula general correspondiente es entonces C_nH_{2n} . En adelante, nos referiremos principalmente a los cicloalcanos, ya que los cicloalquenos se comportan químicamente de forma similar a los alquenos alifáticos.

Los cicloalcanos se diferencian de los alcanos de cadena lineal en que los enlaces σ C—C no permiten tanta rotación como en éstos. Así, el ciclopropano es una estructura de tres lados, plana y rígida.

La libertad de rotación aumenta progresivamente a medida que aumenta el tamaño del anillo, hasta que se alcanza casi la misma movilidad de la estructura alifática correspondiente, como es el caso del cicloalcano de 25 carbonos. Esta característica permite la existencia de isómeros cis-trans en cicloalcanos de bajo peso molecular (3-7 carbonos).

3.2.6.2 CONFORMACIÓN Y ESTABILIDAD DE CICLOALCANOS

En las últimas décadas del siglo XIX se habían aislado con éxito moléculas cíclicas de cinco y seis carbonos, pero no se conocían anillos mayores, ni menores. Como explicación a esta situación, **Adolf von Baeyer** (1835–1917) propuso, en 1885, que: dado que en los alcanos y alquinos alifáticos, los ángulos de enlace entre carbonos son 109° y 120° , respectivamente, la formación de estructuras cíclicas debían suponer una desviación de estos ángulos y por tanto, los anillos con menos de cinco o más de seis átomos de carbono debían estar

sometidos a demasiada tensión como para existir como estructuras estables.

Baeyer tenía razón en cuanto que el plegamiento de una molécula en una forma cíclica implica alteraciones en el valor de los ángulos de enlace y que esas alteraciones ocasionan una cierta tensión en los enlaces, haciendo a las moléculas inestables. Sin embargo, los anillos de menos de cinco y de más de seis carbonos sí existen, sólo que no se trata de estructuras planas, como suponía Baeyer, sino que presentan deformaciones tridimensionales, con el fin de minimizar las tensiones entre enlaces.

El ciclohexano es una molécula especial dentro de los cicloalcanos, puesto que la conformación que adoptan los átomos, especialmente en la forma de silla, elimina todas las tensiones, haciendo de la molécula una estructura especialmente estable. Esto explica su amplia ocurrencia en la naturaleza, siendo un importante agente farmacéutico. La forma de bote es menos frecuente debido a su inestabilidad.

La tensión presente en los nodos de enlace entre átomos, ocasiona una gran predisposición de estos compuestos a las reacciones donde ocurra apertura del ciclo. Experimentalmente se ha encontrado que la facilidad para dar reacciones de apertura de ciclo aumenta a medida que se hace mayor la tensión del mismo lo cual está en proporción inversa al tamaño del ciclo.

3.2.6.3 NOMENCLATURA DE LOS HIDROCARBUROS CÍCLICOS

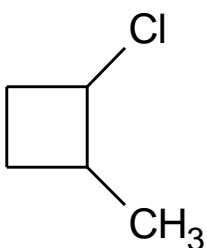
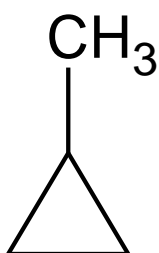
Tenga en cuenta que en el actual documento encontrara la representación de los ciclo alcanos como $(CH_2)_n$, donde la letra n

minúscula indicara la cantidad de las que puede ser desde 3 hasta el número de lados que llegue a presentar el ciclo.

El nombre principal del hidrocarburo cíclico va precedido del prefijo ciclo con el nombre y terminación del alcano o alqueno lineal que tenga el mismo número de carbonos, como hemos estado mencionando hasta ahora.

Los hidrocarburos cíclicos sustituidos se nombran ordenando los sustituyentes alfabéticamente y teniendo en cuenta que reciban los números más bajos posibles. Estos son algunos ejemplos:

Metil - ciclopropano



2-metil, cloro-ciclobutano

3.2.6.4 PROPIEDADES FÍSICAS

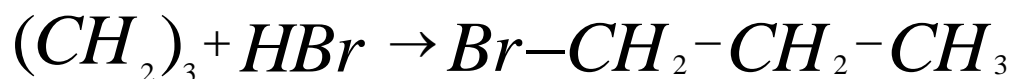
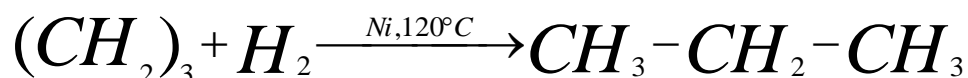
El punto de fusión de los cicloalcanos no se relaciona directamente con el número de carbonos, sino con la forma de las moléculas, que

determina qué tan fácil se acomodan unas con otras en la estructura sólida cristalina.

El punto de ebullición, en cambio, aumenta progresivamente con el número de carbonos igual que en los alcanos alifáticos. Sin embargo, las temperaturas de ebullición de los cicloalcanos son un poco mayores que las de los alquenos isómeros y que las de los alcanos de peso molecular comparable. Así por ejemplo, el punto de ebullición del ciclohexano es de 81 °C, mientras que el n-hexeno es 63,5 °C y el n-hexano es 69 °C.

3.2.6.5 PROPIEDADES QUÍMICAS

Como mencionamos antes, los cicloalcanos son propensos a reacciones de adición en las cuales la estructura cíclica se abre. A continuación se muestran algunos ejemplos, para el ciclopropano:



3.2.6.6 OBTENCIÓN DE COMPUESTOS CÍCLICOS

Existen varios métodos para la preparación de los cicloalcanos, de los cuales mencionaremos dos de los más usuales:

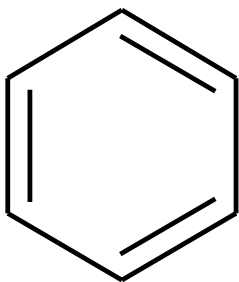
Reacción de Simmons-Smith

Esta reacción consiste en la adición de yoduro de metileno o diyodometano, CH_2I_2 , a un alqueno, en presencia de un par zinc cobre, con la consecuente adición de un grupo CH_2 y formación del anillo. Esta reacción conduce a la formación de un solo isómero, dependiendo de compuesto inicial.

4 COMPUESTOS AROMÁTICOS

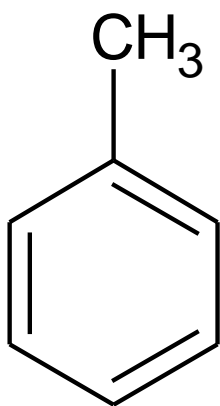
Los hidrocarburos aromáticos simples, provienen de dos fuentes principales, el carbón de hulla y el petróleo. El **carbón de hulla** es una sustancia de origen mineral, formada en su mayoría por grandes arreglos de anillos insaturados del tipo del benceno, unidos entre sí. Cuando se calientan a $1.000\text{ }^\circ\text{C}$ en ausencia de aire, las moléculas de la hulla experimentan desintegración térmica y se produce una mezcla de productos volátiles llamada alquitrán de hulla. Luego, por destilación fraccionada de esta mezcla se obtiene benceno, tolueno, xileno y naftaleno, entre otros. A diferencia del carbón, el **petróleo** contiene pocos hidrocarburos aromáticos. Sin embargo, durante el proceso de refinación del petróleo se forman moléculas aromáticas cuando los alcanos se hacen pasar sobre un catalizador a una temperatura de $500\text{ }^\circ\text{C}$ y altas presiones.

Imagen 13. Benceno



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como C_6H_6 o Ar.

Imagen 14. Tolueno



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $C_6H_5CH_3$. O Ar- CH_3

Imagen 15. Naftaleno

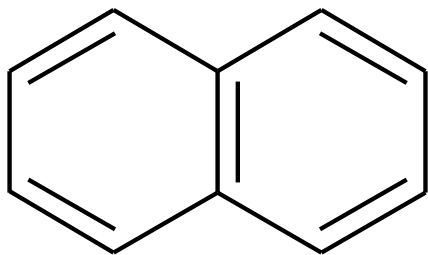


Imagen 16. Bifenilo

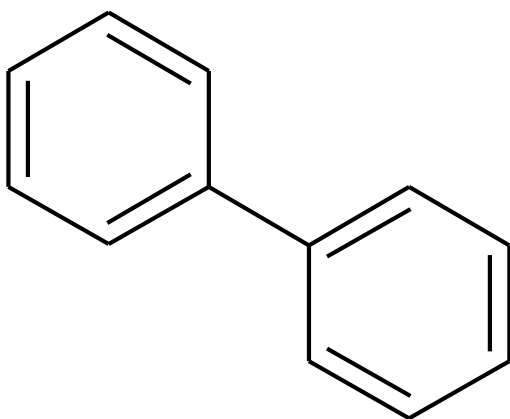
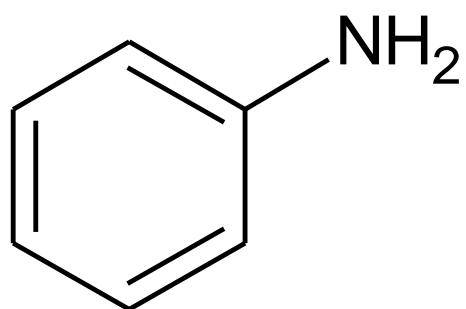
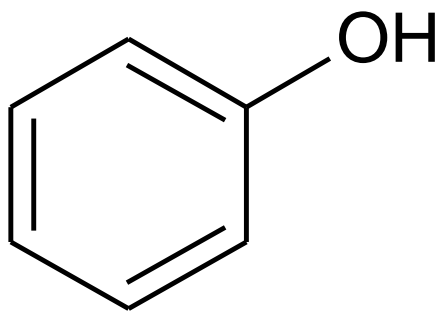


Imagen 17. Anilina



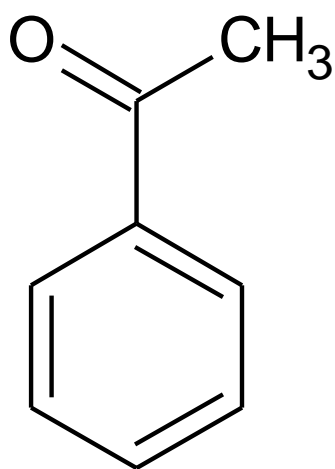
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2$.o Ar-NH_2

Imagen 18. Fenol



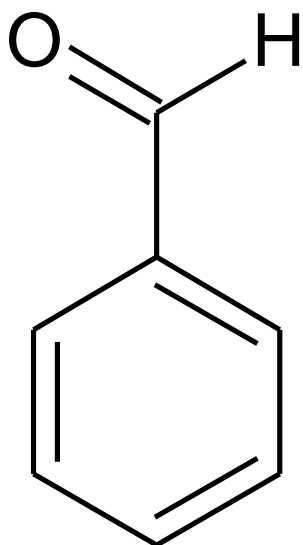
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como C_6H_5OH .o $Ar-OH$

Imagen 19. Acetofenona



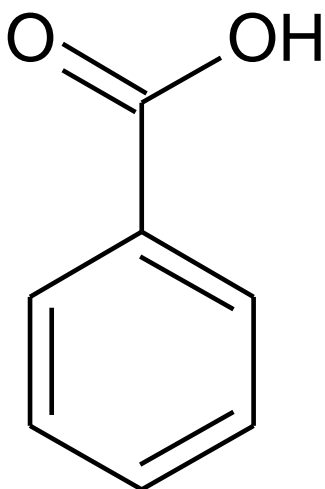
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $C_6H_5COCH_3$.o $Ar-COCH_3$

Imagen 20. Benzaldehído



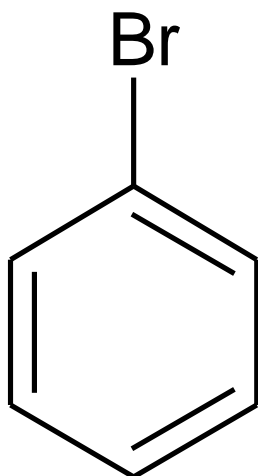
También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $\text{C}_6\text{H}_5\text{COH}$.o Ar-COH

Imagen 21. Acido Benzoico



También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$.o Ar-COOH

Imagen 22. Bromo Benceno

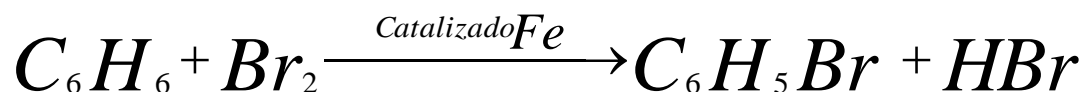


También lo puede encontrar más adelante en el actual texto como C_6H_5Br o Ar-Br

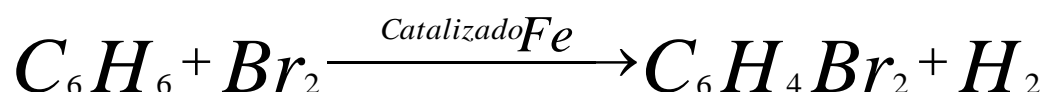
Los compuestos aromáticos se diferencian de otros compuestos orgánicos, principalmente, por su comportamiento químico particular, que no se restringe necesariamente a la aromaticidad en términos de emanación de fragancias, sino que incluyen una serie de desviaciones en relación con el comportamiento típico de los alquenos y arenos cíclicos y de cadena lineal. Por ejemplo, el anillo bencénico es mucho más estable a altas temperaturas y presenta reacciones de sustitución con halógenos en lugar de las de adición propias de moléculas insaturadas.

August Kekulé (1829-1896) propuso, en 1865, que la molécula de benceno debía ser un anillo de seis átomos de carbono, insaturada, a la que denominó 1, 3, 5-ciclohexatrieno. Kekulé afirmó que los seis átomos de hidrógeno en el ciclohexatrieno eran equivalentes, lo cual explicaba que se aislara sólo un isómero como producto de una reacción de sustitución.

La siguiente reacción es un claro ejemplo de lo que se mencionó anteriormente donde los seis hidrógenos del benceno, los cuales son hidrógenos equivalentes; solo uno puede ser sustituido en cada reacción de sustitución.



Por tal razón la siguiente **reacción no es posible** según lo planteado por **August Kekulé**.



Esta propuesta era concordante con muchas de las observaciones realizadas, pero seguía siendo difícil de explicar por qué la longitud de todos los enlaces en el benceno son iguales, cuando se supone que unos son dobles y otros sencillos. Fue entonces cuando se propuso que los dobles enlaces debían estar deslocalizados como resultado de la conjugación de los orbitales p, de los carbonos con hibridación sp^2 .

Se planteó que, lo que confiere a una molécula propiedades aromáticas es la presencia de enlaces dobles y sencillos intercalados, que además estén alineados de tal forma que no se formen enlaces _ aislados sino una conjugación de los mismos, en una estructura homogénea. El físico alemán **Erich Hückel**, en 1931, estableció lo que se conoce como la **regla de Hückel**, según la cual un compuesto es aromático si presenta una conformación molecular plana y posee un número $4n+2$ electrones

π (es decir, en orbitales π no hibridados), donde n es un entero.

Dado que los electrones π se encuentran resonando por encima y por debajo del anillo y cada enlace carbono-carbono tiene un promedio de 1,5 electrones, siendo todos los enlaces equivalentes y de la misma longitud, los anillos aromáticos se suelen representar con un círculo central y no como enlaces dobles y sencillos intercalados.

Imagen 23. Estructura molecular del Benceno

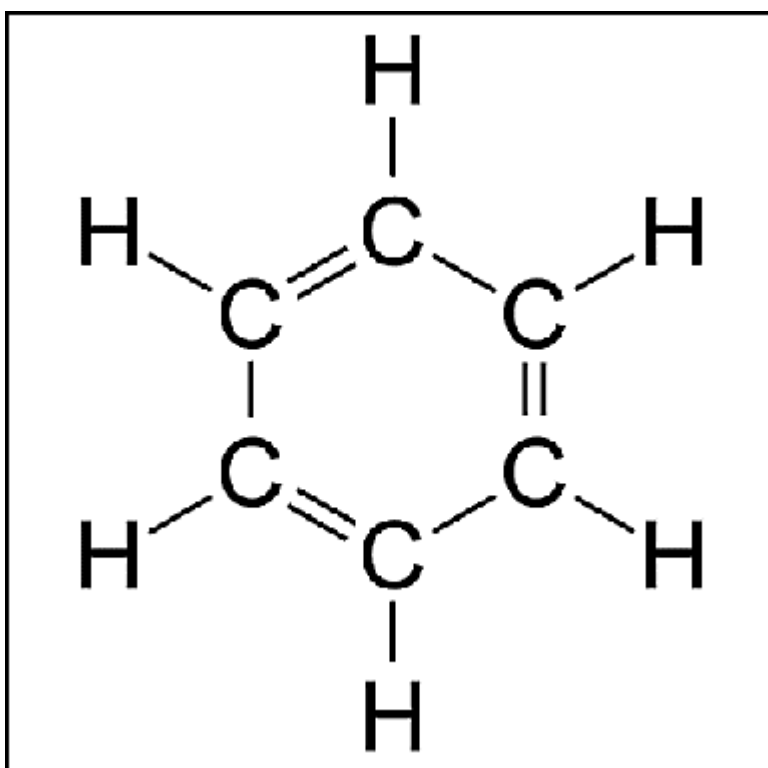
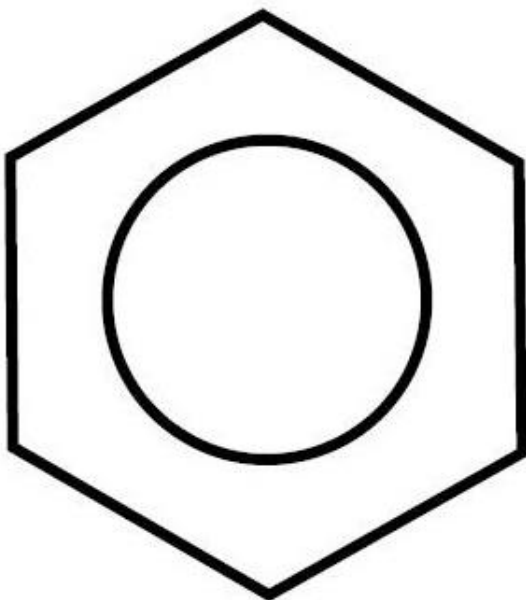


Imagen 24. Representación del Benceno según Kekule



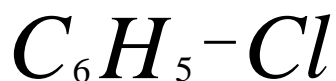
Imagen 25. Representación actual del Benceno



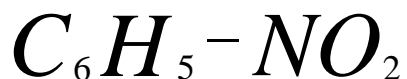
4.1 NOMENCLATURA

Muchos compuestos aromáticos se designan mediante nombres comunes o como derivados del benceno, nombrando el sustituyente unido al anillo seguido del nombre del hidrocarburo. Se sabe que los seis

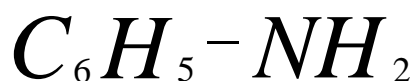
hidrógenos del benceno son equivalentes y por lo tanto no existe sino un solo producto mono sustituido así hablamos del:



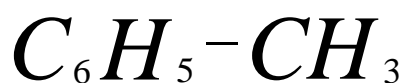
clorobenceno



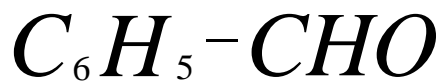
Nitrobenceno



Aminobenceno o anilina

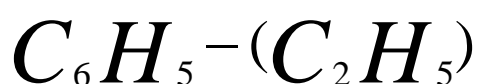


Metil benceno o tolueno



Benzaldehído

Los anillos bencénicos con sustituyentes alquilo, se nombran de dos maneras dependiendo del tamaño del grupo alquilo. Así por ejemplo, si el sustituyente alquilo tienen seis átomos de carbono o menos, el compuesto se nombra como un benceno con sustituyente alquilo. En cambio si el sustituyente alquilo es mayor que el anillo (posee más de seis carbonos), el compuesto se nombra como un alcano sustituido con un radical fenilo. El nombre fenilo, es usado para señalar el grupo C_6H_5 , cuando el anillo es considerado como un grupo sustituyente. Revisemos.



Etil benceno

Otra situación se presenta cuando se trata de anillos bencénicos disustituidos. En este caso se les asigna nombre usando uno de los prefijos orto, meta o para. Un benceno orto u o-disustituido es aquel que posee dos sustituyentes en una relación 1,2 en el anillo. En otras palabras, los sustituyentes se encuentran sobre carbonos adyacentes en el anillo. Un benceno meta o m-disustituido es aquel que tiene los dos sustituyentes en una relación de 1,3, es decir los sustituyentes se encuentran sobre carbonos alternos y un benceno para o p-disustituido es aquel que tiene los dos sustituyentes en una relación 1,4 en el anillo, o lo que es lo mismo están en una posición opuesta el uno con respecto al otro. Analicemos:

Imagen 26. Orto-diclorobenceno, o 1,2-dicloro benceno

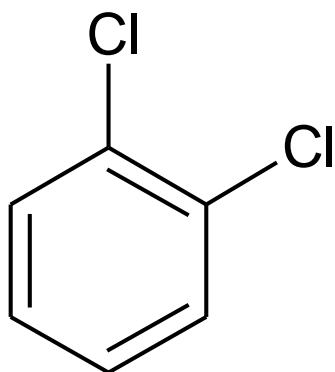


Imagen 27. Meta cloro anilina o 3- cloro, anilina

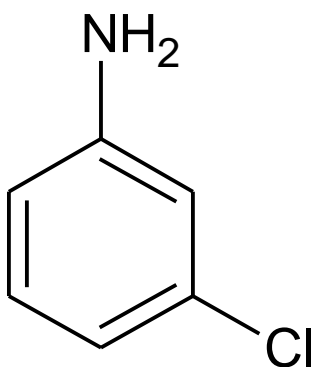
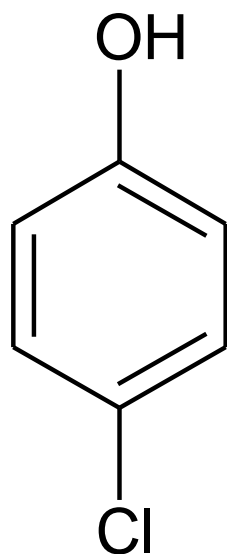


Imagen 28. Para cloro, fenol o 4-cloro, fenol



Los anillos bencénicos con más de dos sustituyentes se nombran numerando la posición de cada sustituyente en el anillo. Esta numeración debe asignarse de tal manera que a los carbonos con sustituyentes les correspondan los números más bajos posible, numerándolos en el sentido de las manecillas del reloj. Además, los sustituyentes se deben ordenar alfabéticamente cuando se vayan a nombrar.

4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

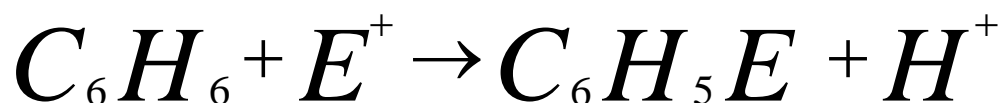
El benceno es un líquido incoloro, móvil, menos denso que el agua $0,889\text{g}/\text{cm}^3$. Presenta olor fuerte aunque no desagradable. Tiene un punto de ebullición de $80,1\text{ }^{\circ}\text{C}$; y es el más volátil de los hidrocarburos aromáticos.

Su punto de fusión es $5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es insoluble en agua, pero muy soluble en solventes orgánicos, como etanol y éter. A su vez posee un gran poder disolvente para las grasas, numerosas resinas, el fósforo y el azufre.

En general el benceno y sus homólogos se parecen a los restantes hidrocarburos en sus propiedades físicas. Los hidrocarburos aromáticos son bastante inflamables y deben manejarse con precaución. El benceno es tóxico cuando se ingiere y se deben tomar muchas precauciones cuando se usa industrialmente. La inhalación prolongada de sus vapores trae como consecuencia una disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos de la sangre, lo que puede ser mortal. Algunos hidrocarburos aromáticos polinucleares son cancerígenos y su manejo debe ser muy cuidadoso.

4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

La mayoría de las reacciones químicas sobre el anillo aromático proceden por el mecanismo de la sustitución electrófila que, de forma general, se muestra a continuación:



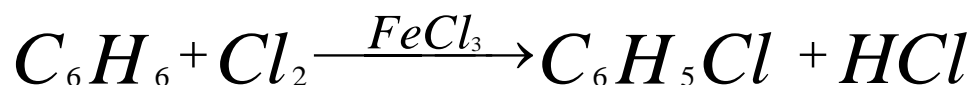
Donde la letra E mayúscula con superíndice positivo representa el electrófilo que ingresa a sustituir uno de los hidrógenos equivalentes de la molécula de benceno. Y la H mayúscula representa el hidrógeno que sale de la molécula de benceno al ser remplazado por el electrófilo.

Mediante este tipo de reacción es posible introducir sustituyentes distintos en el anillo aromático. Seleccionando adecuadamente las condiciones y los reactivos, el anillo aromático se puede halogenar (sustituir con halógeno como cloro, bromo o yodo), nitrar (sustituir con un grupo nitro, NO₂), sulfonar (sustituir con un grupo sulfónico o SO₃H), alquilar (sustituir con un grupo alquilo, R) o acilar (sustituir por un grupo acilo, COR).

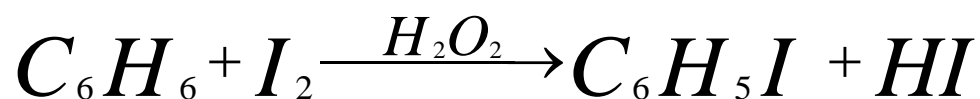
4.3.1 HALOGENACIÓN

El cloro y el yodo pueden introducirse en el anillo aromático mediante una reacción de sustitución electrofílica irreversible, en condiciones apropiadas. En cambio el flúor es demasiado reactivo y los rendimientos son muy bajos comparados con los anteriores.

La cloración y la bromación se realizan por acción directa del halógeno sobre el benceno en presencia de $FeCl_3$ como catalizador. Esta reacción es usada en la síntesis de numerosos agentes farmacéuticos, como el tranquilizante llamado librium, según se muestra a continuación:

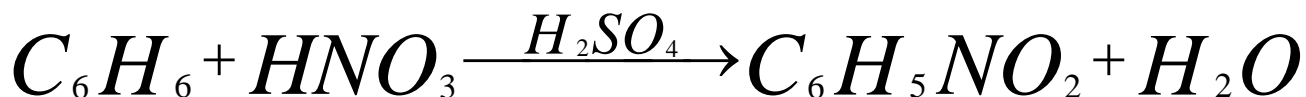


El yodo por sí mismo no reacciona con los anillos aromáticos y se necesita de un promotor para que la reacción se lleve a cabo. El reactivo usado como agente promotor es el peróxido de hidrógeno, H_2O_2 . El peróxido actúa oxidando al yodo molecular para convertirlo en una especie electrófila más potente que reacciona como I^+ . De esta manera el anillo aromático ataca al yodo y se forma el producto sustituido:



4.3.2 NITRACIÓN

La nitración del benceno con ácido nítrico concentrado, es una reacción irreversible y muy exotérmica, que solo se detiene por dilución del ácido, por lo que en la práctica se utiliza la mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrados, que se añaden progresivamente al benceno, enfriando y agitando. El rendimiento puede alcanzar hasta el 98%. La reacción general es:



4.3.3 SULFONACIÓN

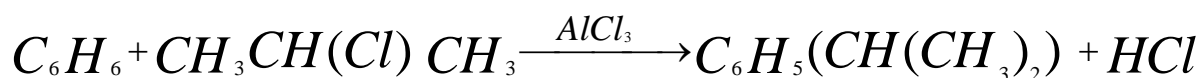
La inserción de un grupo azufrado a un anillo aromático puede conseguirse con ácido sulfúrico y trióxido de azufre ($H_2SO_4 + SO_3$), mezcla llamada ácido sulfúrico fumante. El electrófilo reactivo es el HSO_3 o el SO_3 neutro, dependiendo de las condiciones de la reacción. Se trata de una reacción reversible que procede por el mismo mecanismo en dos etapas explicado antes. Los compuestos sulfonados del benceno se caracterizan por portar el grupo sulfónico SO_3H , de carácter ácido

4.3.4 ALQUILACIÓN: REACCIÓN DE FRIEDEL Y CRAFTS

La alquilación consiste en insertar un grupo alquilo en un anillo aromático.

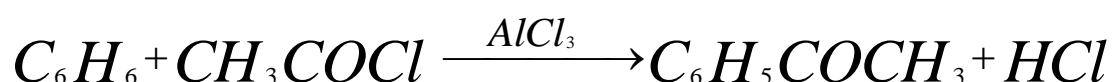
Es la forma más directa de preparar arenos, es decir, hidrocarburos constituidos por una parte alifática y otra aromática. En 1877, **Charles Friedel** y **James Crafts** descubrieron la forma de alquilar el benceno mediante la reacción de un halogenuro de alquilo en presencia de tricloruro de aluminio como catalizador. Por ejemplo, el benceno reacciona con el 2-cloropropano, según el siguiente mecanismo:

EJEMPLO: Tenemos benceno más 2-cloropropano en presencia de cloruro de aluminio produce isopropilbenceno más ácido clorhídrico.



4.3.5 ACILACIÓN

Se trata de la sustitución de uno de los hidrógenos del anillo aromático por un grupo acilo, COR. En general, esto se consigue a partir de un cloruro de ácido carboxílico, RCOCl, en presencia de AlCl₃, según la reacción:



El mecanismo de la reacción es similar al explicado para la alquilación. El AlCl₃ ioniza el carbono del grupo acilo, volviéndolo una zona electrófila, que es atacada por los electrones del anillo aromático. La acilación es importante en la síntesis de cetonas aromáticas.

5 FUNCIONES OXIGENADAS

5.1 ALCOHOLES

Los alcoholes se caracterizan por la presencia del grupo funcional hidroxilo (OH), unido a un átomo de carbono, que a su vez hace parte de una cadena hidrocarbonada, alifática y saturada. Esto implica que los carbonos de la cadena presentan hibridación sp³.

Pueden considerarse como derivados orgánicos del agua, a través de la sustitución de un hidrógeno un grupo alquilo (R—OH). “recuerda que la letra R mayúscula representa los carbonos que se enlazan a dicha función química”.

5.1.1 IMPORTANCIA

Antes de profundizar en el estudio de los alcoholes, vale la pena preguntarse, ¿por qué es importante conocer la química de los alcoholes? De todos los compuestos orgánicos, tal vez los alcoholes son los más conocidos. Así, desde la antigüedad se admitía que las propiedades particulares de las bebidas alcohólicas se relacionaban con la presencia de alcohol etílico o vínico.

Los alcoholes tienen gran importancia en biología, puesto que la función alcohol aparece en muchos compuestos relacionados con los sistemas biológicos.

Así, por ejemplo, la mayoría de los azúcares, el colesterol, las hormonas y otros esteroides contienen alcohol.

Los alcoholes también tienen muchas aplicaciones industriales y farmacéuticas, como veremos más adelante. A manera de ejemplos, podemos mencionar algunos de los usos de los alcoholes, como aditivos de combustibles, solventes industriales y componentes principales de bebidas alcohólicas, anticongelantes para automóviles y fabricación de barnices. Pero, de la misma manera que resulta importante conocer el comportamiento químico de los alcoholes en razón de los múltiples usos y aplicaciones, también es importante estudiarlos por los efectos nocivos que pueden producir sobre los organismos y la sociedad. El etanol, por ejemplo, puede ser considerado como una droga con efectos depresores del sistema nervioso central. Su ingestión a través de bebidas alcohólicas, provoca una serie de efectos, como sedación, vasodilatación cutánea, taquicardia, disminución en el control de las emociones, pérdida de la coordinación motora y, si la concentración de etanol en la

sangre es muy alta, puede producir la muerte por paro cardiorrespiratorio.

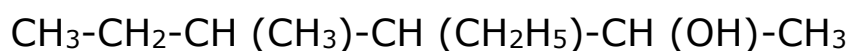
5.1.2 NOMENCLATURA

Los alcoholes se nombran añadiendo la terminación **ol** al nombre del alcano correspondiente, es decir, del grupo R al cual esté unido el grupo OH. A modo de repaso, revisemos el siguiente ejemplo:

¿Cómo se nombra un alcohol cuyo radical R presente ramificaciones o sustituyentes de otros grupos?

Tomemos la siguiente molécula.

Tenga en cuenta que lo que aparece entre paréntesis seguidos hacia la derecha de los carbonos corresponde a los sustituyentes que este tenga.



Para indicar la posición de los sustituyentes y/o ramificaciones de la cadena hidrocarbonada, debemos numerar los carbonos de dicha cadena, comenzando por el extremo más próximo al grupo hidroxilo. Luego, las ramificaciones se nombran en orden alfabético o de complejidad. Así, la molécula en cuestión se denomina: 4-metil, 3-etil-2-hexanol.

5.1.3 CLASIFICACIÓN

La clasificación de los alcoholes se hace teniendo en cuenta dos aspectos:

■ **Posición del grupo OH:** los carbonos que portan el grupo OH^- se clasifican en primarios, secundarios y terciarios, de acuerdo con el número de carbonos a los que están unidos. Así, un carbono primario está unido a un carbono, uno secundario, a dos carbonos y uno terciario a tres carbonos. De la misma manera, tenemos:

✓ **Alcoholes primarios:** cuando él OH^- está unido a un carbono primario: $R-CH_2-OH$. Ejemplo: CH_3-CH_2-OH (ETANOL).

✓ **Alcoholes secundarios:** si él OH^- está unido a un carbono secundario: $R-CH(OH)-R$. ejemplo: $CH_3-CH(OH)-CH_3$ (2-PROPANOL).

✓ **Alcoholes terciarios:** en los que él OH^- se encuentra unido a un carbono terciario: $R-C((R)(OH))-R$, ejemplo: $CH_3-C((CH_3)(OH))-CH_3$ (2-METIL, 2-PROPANOL).

Número de grupos OH presentes: según este parámetro tenemos, alcoholes monovalentes o monoles, dentro de los cuales están todos los ejemplos mencionados anteriormente y alcoholes divalentes o glicoles caracterizados por dos grupos OH ejemplo:

✓ $CH_2(OH)-CH_2(OH)$ recibe el nombre de *etilenglicol o etanodiol*.

Por último, cuando la molécula posee tres grupos hidroxilo se tiene un alcohol trivalente o glicerol:

✓ $\text{CH}_2(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2(\text{OH})$ recibe el nombre propanotriol o glicerina.

Es conveniente aclarar que un mismo átomo de carbono no puede tener dos hidroxilos y si llegara a tenerlos, la sustancia perdería inmediatamente una molécula de agua, convirtiéndose así en un aldehído o en una cetona.

5.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de los alcoholes se relacionan con la presencia del grupo OH, el cual les confiere un comportamiento similar al del agua. Así, las moléculas de los alcoholes también forman puentes de hidrógeno, como resultado de la polaridad que presentan. Esta polaridad es consecuencia de la alta electronegatividad del oxígeno, que por tanto, constituye el polo negativo de la molécula, mientras que el hidrógeno es el polo positivo. Al igual que en el agua, los polos negativos y positivos de diferentes moléculas se atraen, dando lugar a compuestos polares con una alta cohesión. Este hecho hace que los alcoholes de cadena corta (entre 1 y 4 carbonos) sean solubles en agua. No obstante, a medida que la cadena va creciendo la solubilidad en agua disminuye y las propiedades físicas de los alcoholes se parecen más a las de los hidrocarburos saturados correspondientes.

Una segunda consecuencia de la polaridad de las moléculas de los alcoholes se relaciona con el punto de ebullición, cuyo valor es mayor que el de los hidrocarburos de peso molecular equivalente. Sin embargo, el grado de ramificación de la cadena principal también afecta

el valor del punto de ebullición: al aumentar las ramificaciones, desciende el punto de ebullición.

De la misma manera los alcoholes primarios tienen mayores puntos de ebullición que los alcoholes secundarios y los alcoholes terciarios son los que tienen los puntos de ebullición más bajos.

En cuanto a los puntos de fusión, los valores ascienden proporcionalmente con el peso molecular para alcoholes lineales superiores al propanol.

5.1.5 ACIDEZ Y BASICIDAD

Los alcoholes se comportan como bases o ácidos débiles según el medio en el que se encuentren, a través de procesos de ionización similares a los que experimenta el agua. Como bases débiles, reaccionan de la siguiente manera con ácidos fuertes:

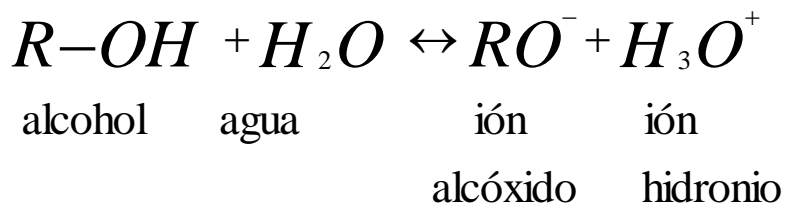


El alcohol	ácido fuerte	alcohol	base conjugada
base débil		protonado	del ácido

En el esquema de la reacción anterior tenga en cuenta que:

- ✓ R indica carbonos de la cadena.
- ✓ OH es el grupo hidróxido del alcohol.
- ✓ X el elemento no metálico del ácido fuerte.
- ✓ H el hidrógeno que se enlaza a la función hidroxilo del alcohol.

En solución acuosa, se comportan como ácidos débiles, disociándose así:



Debido a las bajas tasas de disociación, los alcoholes, no reaccionan con bases débiles. Por el contrario, son muy reactivos frente a bases fuertes, como los metales alcalinos (Na, K), los hidruros alcalinos (como el NaH) y los reactivos de Grignard (RMgX, donde R es un radical alquilo y X un halógeno).

5.1.6 PROPIEDADES QUÍMICAS

Los alcoholes son sustancias muy reactivas químicamente y sus reacciones implican transformaciones sobre el grupo funcional, las cuales pueden ser de dos tipos: aquellas que implican la ruptura del enlace C-O y las que implican la ruptura del enlace O-H. Reacción con metales alcalinos Como ya sabes, los alcoholes se comportan como ácidos débiles en presencia de bases fuertes, como es el caso de los metales alcalinos y algunos alcalinotérreos, que atraen fuertemente a los protones. Los productos de la reacción son hidrógeno y un compuesto denominado **alcóxido metálico**. Los alcóxidos son bases fuertes que por tratamiento con agua dan nuevamente el alcohol original e iones hidróxido. La reacción general es:

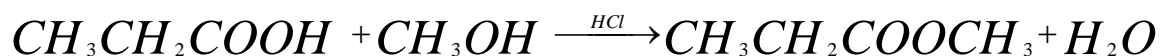


En la reacción anterior la R indica los carbonos de la cadena y la letra M el metal alcalino.

Como se puede analizar en esta reacción se produce la ruptura del enlace O-H. Los alcoholes primarios son más propensos a reaccionar de esta manera, mientras que los alcoholes secundarios y los alcoholes terciarios son progresivamente menos reactivos.

5.1.6.1 ESTERIFICACIÓN

Cuando un alcohol reacciona con un ácido, generalmente orgánico o carboxílico, se forma agua y un **éster**. Aun cuando en un principio se pensó que esta reacción era análoga a una neutralización ácido-base, análisis posteriores demostraron que el agua formada es resultado de la unión de un grupo OH, proveniente del ácido carboxílico y un ion H^+ del alcohol. Además, la reacción debe darse en medio ácido, para aumentar la reactividad del ácido orgánico y del alcohol. Revisemos la siguiente reacción.



5.1.6.2 OXIDACIÓN DE ALCOHOLES

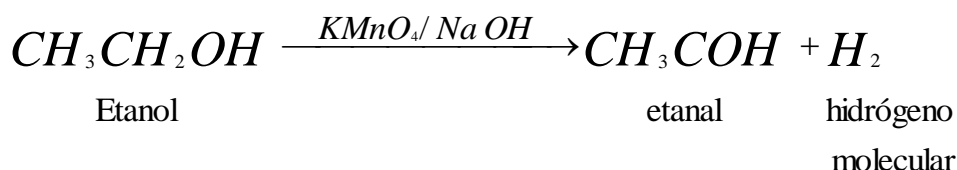
Quizás la reacción más valiosa de los alcoholes es su oxidación para producir compuestos carbonílicos, lo opuesto sucede con la reducción de compuestos carbonílicos para producir alcoholes. Los alcoholes primarios producen aldehídos o ácidos carboxílicos, los alcoholes secundarios producen cetonas, pero los alcoholes terciarios por lo general no reaccionan con la mayor parte de agentes oxidantes.

Las reacciones que implican oxidación de alcoholes son muy importantes pues son la base para la producción de compuestos carbonílicos (grupo

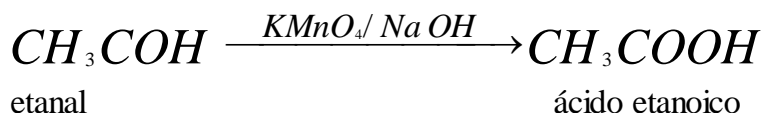
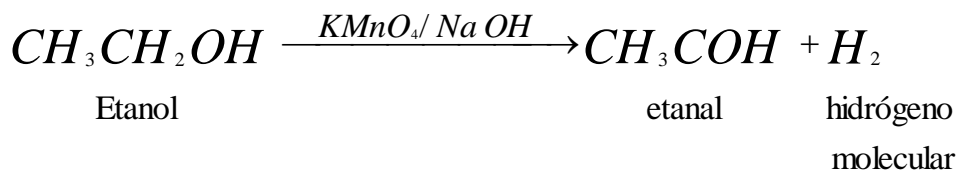
funcional C=O). Como agentes oxidantes suele emplearse mezclas como: KMnO_4 en NaOH o $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en H_2SO_4 .

Ejemplos:

✓ Alcohol primario. formación de aldehídos.

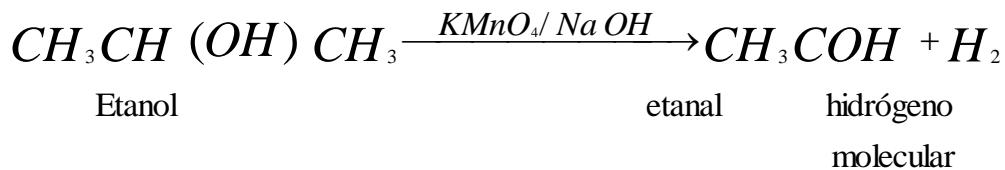


✓ Alcohol primario. formación de ácidos carboxílicos.



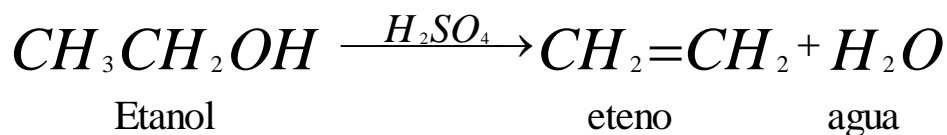
Esta reacción es similar a la anterior solo que en este caso el etanal que se produce reacciona nuevamente con el permanganato de potasio para producir ácido atanoico.

✓ Alcohol secundario. Formación de cetonas.

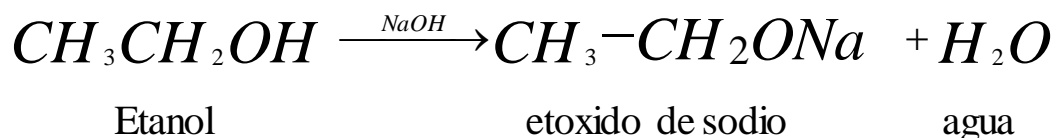


5.1.6.3 DESHIDRATACIÓN: PREPARACIÓN DE ALQUENOS

Esta reacción implica la ruptura del enlace C-O y de un enlace C-H vecino para formar el enlace doble C=C, característico de alquenos, con producción de una molécula de agua. Industrialmente se realiza en medio ácido, a través de un mecanismo como el que se ilustra a continuación, para el etanol con H₂SO₄ y calor para preparar etileno:



5.1.6.4 REACCIÓN DE ALCOHOLES CON BASES FUERTES



5.1.7 OBTENCIÓN DE ALCOHOLES

Los alcoholes se preparan a partir de otros grupos funcionales, especialmente aquellos que poseen un grupo carbonilo (ácidos carboxílicos, ésteres, aldehídos y cetonas). Ten en cuenta que todas las reacciones son reversibles por lo que pueden verse como procesos inversos. Es bueno anotar también que los procesos de óxido-reducción en compuestos orgánicos involucran pérdida o ganancia de átomos de hidrógeno. En la reducción de compuestos carbonílicos, el LiAlH₄ y NaBH₄ actúan como agentes reductores, es decir, como fuentes de hidrógeno. Los reactivos de Grignard, cuya fórmula general es RMgX, se

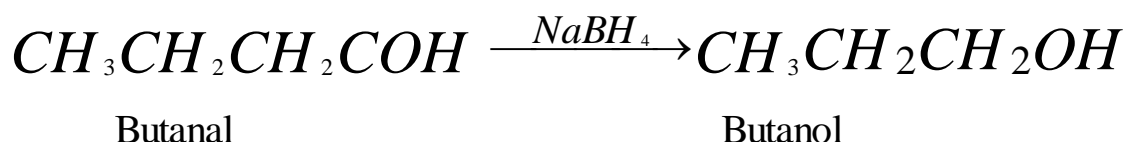
obtienen a partir de la reacción entre un halogenuro de alquilo o de arilo aromático (R—X) y magnesio.

5.1.7.1 REDUCCIÓN DE ALDEHÍDOS Y CETONAS

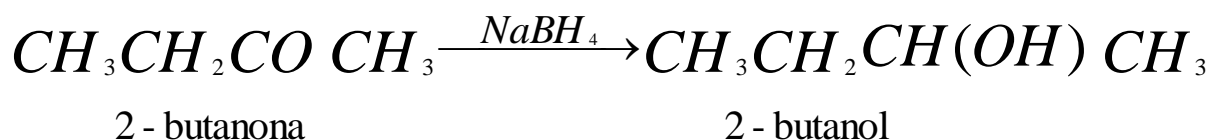
Los aldehídos se reducen fácilmente para dar alcoholes primarios y las cetonas para dar alcoholes secundarios.

Literalmente se utilizan docenas de reactivos en el laboratorio para reducir los aldehídos y las cetonas, dependiendo de las circunstancias, pero por lo general se elige el borohidruro de sodio (NaBH_4) debido a que es más seguro de utilizar y manejar. El borohidruro de sodio es un sólido cristalino blanco que puede prepararse en atmósfera abierta y utilizarse en disolución acuosa o alcohólica.

✓ *Reducción de un aldehído.*



✓ *Reducción de una cetona.*

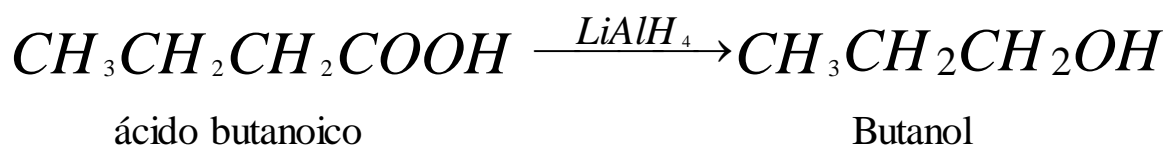


5.1.7.2 REACCIÓN DE ÁCIDOS CARBOXÍLICOS Y ÉSTERES

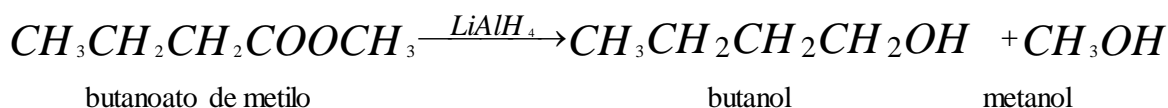
Los ácidos carboxílicos y los ésteres se reducen para dar alcoholes primarios.

Estas reacciones no son tan rápidas como las reducciones de aldehídos y cetonas; el NaBH_4 reduce a los ésteres muy lentamente y no reduce para nada a los ácidos carboxílicos; por el contrario, las reducciones de ácidos carboxílicos y ésteres con frecuencia se realizan con el agente reductor más reactivo LiAlH_4

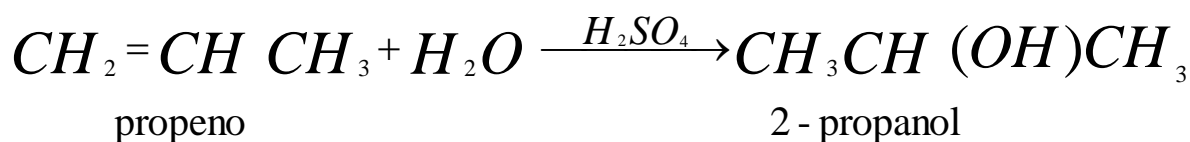
✓ **Reducción de ácidos.**



✓ **Reducción de ésteres.**



5.1.7.3 HIDRATACIÓN DE ALQUENOS



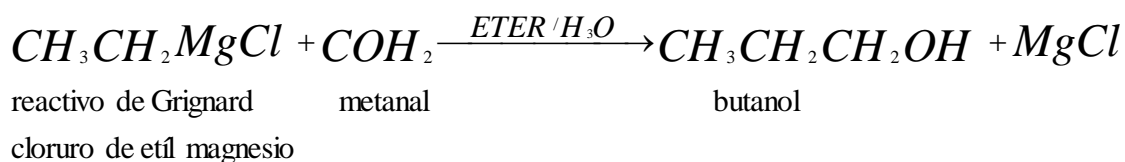
5.1.7.4 REACTIVOS GRIGNARD

Los reactivos de Grignard, cuya fórmula general es RMgX , (donde R puede ser cualquier estructura carbonada) se obtienen a partir de la reacción entre un halogenuro de alquilo o de arilo aromático (R-X) y magnesio. En términos generales actúan como agentes reductores.

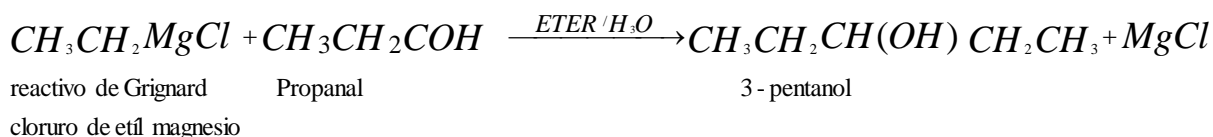
El grupo R del reactivo de Grignard se integra a la molécula de alcohol producida, mientras que la fracción (MgX) es liberada.

Esto explica por qué se forman alcoholes secundarios a partir de aldehídos con al menos un átomo de carbono unido al grupo carbonilo, mientras que el formaldehído ($\text{H}-\text{CHO}$) genera un alcohol primario, cuyo radical R proviene O del reactivo de Grignard. De igual manera, las cetonas ($\text{R}-\text{C}-\text{R}$) y los ésteres ($\text{R}-\text{COOR}$), al recibir otro grupo R proveniente del reactivo, dan lugar a alcoholes terciarios.

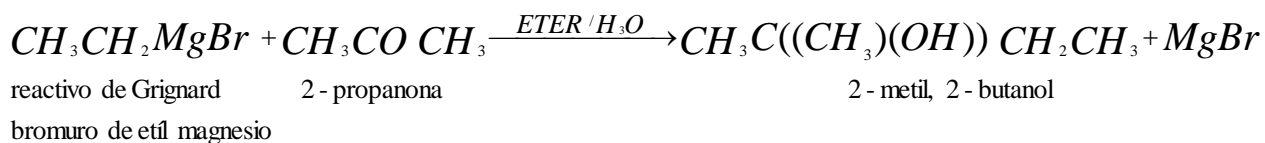
✓ **Alcoholes primarios**



✓ **Alcoholes secundarios**



✓ **Alcoholes terciarios**



5.2 FENOLES

Los compuestos que tienen un grupo hidroxilo unido directamente a un anillo aromático se denominan **fenoles**. Abundan en la naturaleza y se emplean como intermediarios en la síntesis industrial de adhesivos y antisépticos.

Lea atentamente la siguiente recomendación

Tenga en cuenta que en el actual documento el anillo aromático del fenol se representara con la formula C_6H_5OH , o las letras A mayúscula seguida de la letra r minúscula que indican aromático; si este compuesto presenta más sustituyentes serán adicionales a la formula mencionada y escrita anteriormente, solo que la cantidad de hidrógenos cambiará dependiendo de la cantidad de sustituyentes, esto con el fin de facilitar al lector las características generales de los fenoles.

5.2.1 NOMENCLATURA

Gran parte de las sustancias fenólicas se conocen más por sus nombres comunes, que por la denominación oficial de la IUPAC. Por ejemplo:

- ✓ Fenol: C_6H_5OH el cual también puede recibir el nombre de 1-hidróxi-benceno.
- ✓ $C_6H_4(OH)_2$: Catecol él cual también puede recibir el nombre de 1, 2-dihidróxibenceno, orto-hidróxibenceno.
- ✓ $C_6H_4(OH)_2$: Resocinol él cual también puede recibir el nombre de 1,3-dihidróxibenceno. Meta-hidróxibenceno.
- ✓ $C_6H_4(OH)_2$: Hidroquinona él cual también puede recibir el nombre de 1,4-dihidróxibencen. Para- hidróxibenceno.

La nomenclatura oficial se basa en la ubicación relativa de los diferentes sustituyentes del anillo aromático, cuyo radical recibe el nombre de **fenil**, ejemplo:

- ✓ $C_6H_4 ((OH) (CH_3))$: *meta-metilfenol.2-metil, fenol.*
- ✓ $C_6H_2 ((OH) (Br)_3)$: *2,4, 6-tribromofenol.*
- ✓ $C_6H_4 ((OH) (Cl))$: *para-clorofenol.*
- ✓ $C_6H_2 ((OH) (NO_2)_3)$: *2, 4,6 trinitrofenol.*

5.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las moléculas de los fenoles, al igual que aquellas de los alcoholes forman puentes de hidrógeno entre sí, por lo que también presentan temperaturas de ebullición mayores que las de los alcanos equivalentes.

La polaridad de los fenoles se refleja igualmente en su solubilidad en agua. Así, los fenoles de bajo peso molecular son solubles en agua.

Si bien los fenoles se comportan como ácidos o bases débiles, según el medio como sucede con los alcoholes, son mucho más ácidos que los alcoholes. Esto se debe a que el oxígeno del grupo OH, está unido al anillo aromático más fuertemente, por lo que el ion fenóxido es más estable que el alcóxido y que la forma fenólica no disociada. La carga negativa del oxígeno se halla deslocalizada en el ion fenóxido.

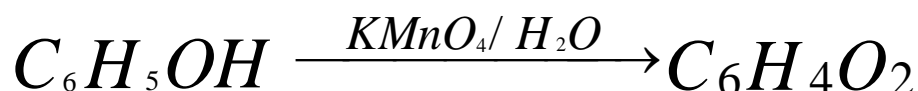
Por otra parte, dependiendo de su estructura, los fenoles sustituidos pueden ser más o menos ácidos que el fenol. En forma general se puede decir que, los fenoles con un sustituyente que atraiga electrones es más ácido que el fenol, puesto que estabilizan al ion fenóxido al deslocalizar la carga negativa, pero los fenoles que presenten sustituyentes donadores de electrones son menos ácidos que el fenol, puesto que desestabilizan el ion fenóxido al concentrar la carga.

5.2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

Recordemos que el grupo OH es un fuerte activador y orientador orto-para del anillo aromático, en las reacciones de sustitución electrófila.

Como consecuencia, los fenoles son sustratos muy reactivos en reacciones electrófilas como la halogenación, la nitración y la sulfonación.

La segunda reacción más importante de los fenoles es la oxidación, que da como resultado un tipo de compuestos conocidos como **quinonas** $C_6H_4(O)_2$



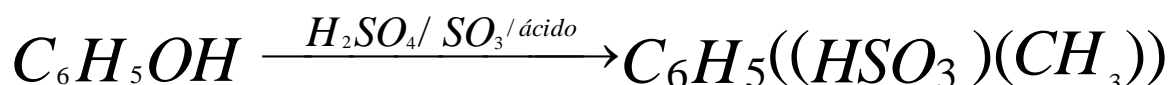
Las quinonas son compuestos especialmente susceptibles para intervenir en procesos de óxido-reducción. Una de las aplicaciones de esta propiedad se da a nivel celular, donde sustancias llamadas **ubiquinonas** actúan como agentes oxidantes bioquímicos en la transferencia de electrones asociada con la producción de energía.

5.2.4 OBTENCIÓN

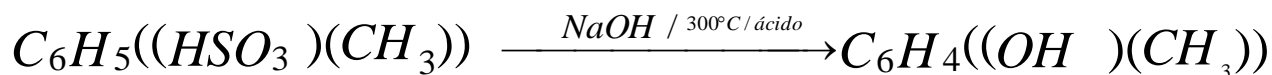
- ✓ **A partir de clorobenceno y NaOH:** este método consiste en calentar el clorobenceno con hidróxido sódico bajo una presión muy elevada y en un sistema tubular continuo de cobre. La reacción general es:



Fusión alcalina de ácidos sulfónicos: un tercer método, un poco más clásico, consiste en fundir los ácidos sulfónicos aromáticos en medio alcalino y alta temperatura, como se muestra en el siguiente ejemplo:



Luego de esta reacción se presenta una nueva reacción que es:



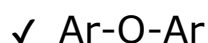
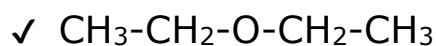
Dado que, condiciones tan drásticas son soportadas por pocos compuestos, este método se aplica sólo para la síntesis de fenoles alquilsustituidos.

5.3 ÉTERES

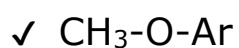
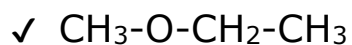
De la misma forma que los alcoholes y los fenoles, los éteres pueden considerarse como derivados del agua en los que un átomo de hidrógeno ha sido sustituido por un radical alquilo (alcoholes) o arilo (fenoles).

En los éteres, los dos hidrógenos de la molécula de agua son sustituidos por radicales, según la fórmula general $R-O-R$ o $R-O-Ar$. Si los dos grupos R o Ar son iguales, hablamos de **éteres simétricos**, mientras que, si son diferentes se denominan **éteres asimétricos**, como se ilustra en los siguientes ejemplos:

a) Simétricos



b) Asimétricos



5.3.1 NOMENCLATURA

La nomenclatura de los éteres resulta muy sencilla si tenemos en cuenta que para nombrarlos solamente tenemos que identificar los radicales unidos al oxígeno y luego nombrarlos en orden de complejidad, terminando el nombre con la palabra éter. Estos son algunos ejemplos:

Recuerde que los feniles son anillos aromáticos que se representaran para facilitar su lectura como Ar.

- ✓ Ar-O-Ar: Difenileter.
- ✓ CH₃-O-Ar: metil- fenileter.
- ✓ (C₆H₁₁)-O-Ar: fenil-ciclohexil.

5.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

La presencia del átomo de oxígeno electronegativo hace que los éteres tengan una ligera polarización. Como consecuencia de ello, sus puntos de ebullición son un poco más altos que los de los alcanos semejantes. No obstante la polaridad del enlace C—O es más baja en los éteres que en los alcoholes y fenoles, debida a la sustitución del hidrógeno por un radical (R').

Los éteres se comportan como bases de Lewis, a diferencia de alcoholes y fenoles que son preferencialmente ácidos débiles.

5.3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

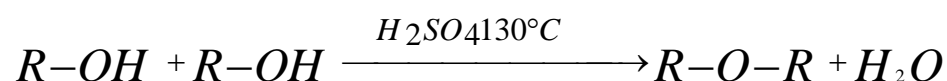
Comparándolos con los alcoholes y con otras muchas sustancias orgánicas, los éteres resultan químicamente inertes. La desaparición del enlace O-H de los alcoholes reduce considerablemente el

comportamiento químico de los éteres y solamente se presenta el que corresponde al enlace C—O. El enlace C—O es fuerte, lo que explica, en parte, la baja reactividad de estas sustancias. Esta propiedad les confiere una buena capacidad disolvente. Sin embargo, algunos éteres reaccionan lentamente con el aire para formar **peróxidos**, compuestos que contienen enlaces O-O.

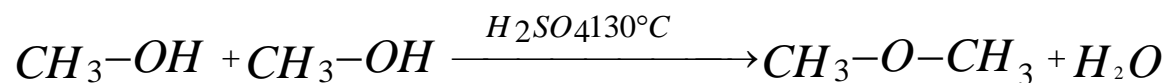
5.3.4 OBTENCIÓN

Deshidratación de alcoholes Este método sirve únicamente para producir éteres simétricos a partir de alcoholes primarios, por lo que su uso es algo restringido.

La reacción es catalizada con ácido sulfúrico y ocurre a través de la protonación del grupo hidroxilo de una molécula de alcohol, dando como resultado la liberación de una molécula de agua. Posteriormente, otra molécula de alcohol pierde el hidrógeno del grupo hidroxilo y se ensambla a la anterior. La reacción general es: (Recuerde que la letra R mayúscula representa la cadena carbonada o carbonos enlazados).



EJEMPLO:

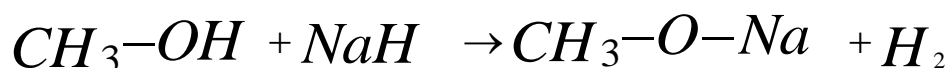


La deshidratación de alcoholes secundarios y terciarios produce alquenos, por lo que no son útiles para preparar éter por este método.

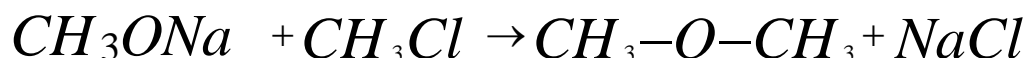
5.3.4.1 SÍNTESIS DE WILLIAMSON

Aunque este método fue descubierto en 1850, hoy todavía es el mejor para preparar éteres simétricos y asimétricos. La reacción implica el desplazamiento del ion haluro, proveniente de un halogenuro de alquilo, por parte de un ion alcóxido.

Los iones alcóxido provienen de la reacción entre un alcohol y una base fuerte como el hidruro de sodio (NaH) o el óxido de plata (Ag₂O), ejemplo:



Luego la reacción continúa así:



5.4 USOS Y APLICACIONES DE ALGUNOS ALCOHOLES, FENOLES Y ÉTERES

5.4.1 ALCOHOLES

- ✓ Metanol o alcohol metílico

En un principio el metanol se obtenía a partir de la destilación destructiva de la madera. Sin embargo, el bajo rendimiento del proceso obligó al desarrollo de métodos más favorables comercialmente. Actualmente, el metanol se obtiene masivamente

por reducción del monóxido de carbono, reacción catalizada por óxidos de cromo y zinc, a altas temperaturas:

También se puede obtener metanol mediante la oxidación moderada del gas natural.

El metanol suele ser usado ilegalmente en la producción de bebidas alcohólicas adulteradas, las cuales son muy peligrosas ya que este alcohol es tóxico para el ser humano. En dosis bajas puede causar ceguera y en dosis mayores, la muerte.

En la industria se usa como solvente y como materia prima para producción de formaldehído (H-CHO), que a su vez es materia prima para la fabricación de plásticos.

✓ Etanol o alcohol etílico

El etanol es el principal componente de las bebidas alcohólicas, las cuales se fabrican desde la antigüedad, mediante la **fermentación** (degradación por acción de las enzimas de levaduras y otros microorganismos) de los azúcares de algunas frutas o de los almidones de los cereales.

Industrialmente, la mayor parte del etanol se obtiene por hidratación del etileno, catalizada por ácido.

El etanol se utiliza como sustancia base para la producción de acetaldehído o etanal, ácido acético, cloruro de etilo y butadieno, entre otros productos químicos de importancia industrial. Mezclado con metanol se emplea como combustible. Debido a su bajo punto de congelación ($-114,1^{\circ}\text{C}$) se emplea como anticongelante y como líquido termométrico, ya que permite medir temperaturas

inferiores al punto de congelación del mercurio (-40°C). Debido a su poder disolvente se utiliza en la elaboración de perfumes, lacas, celuloideos y explosivos.

✓ Glicol o etilenglicol

Se obtiene comercialmente a partir del etileno. Es muy soluble en agua y tiene un punto de ebullición muy alto comparado con el del etanol y metanol. Se usa como anticongelante del agua en los radiadores de automóviles y como lubricante en máquinas productoras de hielo. Puede remplazar a la glicerina en el ablandamiento de las fibras textiles y para neutralizar las grasas. Se puede usar también mezclado con agua en la proporción del 25 al 35% para la refrigeración de motores, fluido de frenos hidráulicos, humectante y disolvente industrial, así como en la síntesis de plásticos y de fibras.

✓ Glicerol

Es un poliol, denominado 1, 2, 3-propanotriol y conocido comúnmente como glicerina. Como constituyente fundamental de las grasas se puede obtener por hidrólisis de las mismas. Se obtiene industrialmente como subproducto en la fabricación de jabón. El glicerol es una sustancia viscosa y de sabor dulce, soluble en agua y en alcohol en cualquier proporción. No es tóxico y se emplea en la fabricación de medicamentos líquidos. Por su capacidad humectante se usa también en la elaboración de productos cosméticos. Es un buen disolvente, lubricante, plastificante, edulcorante y anticongelante. También se emplea en

la fabricación de nitroglicerina y dinamita. En medicina se usa como emoliente.

✓ Isopropanol o alcohol isopropílico

Es un líquido incoloro e inflamable, muy parecido al etanol en sus propiedades físicas, por lo que puede sustituirlo como disolvente, anticongelante y materia prima para la preparación de lociones, medicamentos, jabones y otros productos farmacéuticos. Es soluble en agua y en todos los disolventes ordinarios oxigenados y derivados de hidrocarburos.

El comportamiento químico del alcohol isopropílico es semejante en muchos aspectos a otros alcoholes, particularmente a los monoles de bajo peso molecular. Una reacción importante del alcohol isopropílico para usos industriales es su condensación con varios compuestos aromáticos para formar derivados isopropilados, tales como el cumeno (isopropilbenceno) o el cimeno (isopropiltolueno).

El alcohol isopropílico es un excelente disolvente de aceites volátiles y grasos, gomas y algunas resinas sintéticas. Así mismo, alcaloides, proteínas y otras sustancias orgánicas como la clorofila, son solubles en alcohol isopropílico, por lo que se utiliza industrialmente para la extracción y purificación de estos compuestos.

También se utiliza como líquido para frenos hidráulicos y en limpiadores y quitamanchas. En el mantenimiento de computadores es muy utilizado, ya que se evapora rápidamente,

siendo ideal para la limpieza de componentes, tanto externos como internos.

✓ Fenoles

Tanto el fenol como sus derivados se emplean como desinfectantes, germicidas y en anestésicos locales. La hidroquinona y compuestos similares se emplean en los reveladores fotográficos. Pero la principal aplicación del fenol es la fabricación de resinas y plásticos de fenol formaldehído, como la baquelita. El fenol también es cáustico, produce ampollas en la piel e ingerido es venenoso.

✓ Éteres

En el laboratorio de química se emplean como disolventes, especialmente de sustancias orgánicas. En la industria se emplean en la fabricación de los compuestos de Grignard y para obtener bajas temperaturas mezclado con nieve carbónica. En algunos casos puede ser usado como anestésico, pero tiene efectos secundarios especialmente sobre el sistema respiratorio y los riñones, por lo que su uso es restringido.

6 ALDEHÍDOS Y CETONAS

Los aldehídos y las cetonas son compuestos carbonílicos de amplia difusión en la naturaleza. Se pueden encontrar aislados o formando

parte de innumerables compuestos orgánicos, muchos de los cuales tienen gran interés bioquímico.

6.1 NATURALEZA DEL GRUPO FUNCIONAL

CARBONILO C=O

La estructura general del grupo funcional carbonilo es: $R-C=O$. El grupo R puede tener una cadena hidrocarbonada lineal (grupo alquilo) o un compuesto aromático (grupo arilo). La cuarta posibilidad de enlace del carbono, puede ser ocupada por grupos o átomos como, H, R', OH, OR'', ONH₂, entre otros. Dependiendo de qué grupo se presente, se tienen: aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres o amidas, respectivamente

Los aldehídos y cetonas presentan un comportamiento químico común, mientras que los demás grupos difieren considerablemente.

El doble enlace C=O es similar, en muchos aspectos, al doble enlace C=C de los alquenos. El átomo de carbono del grupo carbonilo presenta hibridación del tipo sp^2 y forma tres enlaces σ . El otro orbital p del carbono se superpone con un orbital p del oxígeno, para formar un enlace π . Dada la naturaleza rígida del doble enlace, los compuestos carbonílicos, al igual que los alquenos, son planares y los átomos enlazados al carbono forman, entre sí, ángulos de enlace cercanos a los 120°.

Debido a la electronegatividad del oxígeno la longitud de enlace en el grupo carbonilo es menor ($1,22 \overset{o}{\text{Å}}$) que en un enlace sencillo C—O

(1,43 ^o Å) y mucho más fuerte. Igualmente la elevada electronegatividad del oxígeno hace que el doble enlace C=O esté polarizado, por esta razón todos los compuestos carbonílicos son polares.

Una de las consecuencias más importantes de la polaridad del grupo carbonilo es su gran reactividad química. El carbono carbonilo presenta una carga parcial positiva que lo convierte en un sitio electrófilo. De igual forma, el oxígeno posee una carga parcial negativa que lo convierte en un sitio nucleófilo.

6.2 NOMENCLATURA

Tenga en cuenta que los sustituyentes dentro de la cadena de se escriben dentro de un paréntesis que va seguido del carbono del que despr ende.

Y el grupo carbonilo del aldehído lo encontrara como COH teniendo presente el hecho de que el carbono tiene un enlace doble con el oxígeno. Y en el caso de las cetonas lo encontrara como CO de igual manera con el enlace doble entre el carbono y el oxígeno.

6.2.1 ALDEHÍDOS

El nombre de los aldehídos se deriva del nombre del alcano correspondiente, adicionando la terminación **al** e indicando la posición de los diversos sustituyentes que pueda portar la cadena principal.

Ejemplo:

✓ CH₃-CH₂-COH: Propanal.

- ✓ $\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_2\text{-CH}_3)\text{-COH}$: 2-etil, 4-metilpentanal.

Muchos aldehídos se conocen más por sus nombres comunes, los cuales portan la terminación **-aldehído**.

A continuación encontrara el nombre y el nombre oficial seguido de la fórmula.

- ✓ Formaldehído: Metanal su fórmula es HCHO
- ✓ Acetaldehído: Etanal su fórmula es CH_3CHO
- ✓ Propionaldehído: Propanal su fórmula es $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$
- ✓ Butiraldehído: Butanal su fórmula es $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$
- ✓ Valeraldehído: Pentanal su fórmula es $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$
- ✓ Acroleína: 2-propenal su fórmula es $\text{H}_2\text{C=CHCHO}$
- ✓ Benzaldehído: Bencenocarbaldehído su fórmula es Ar-CHO
- ✓ Acetona: Propanona su fórmula es $\text{CH}_3\text{—CO—CH}_3$
- ✓ Metilfenilcetona: Acetofenona su fórmula es Ar-CO—CH_3
- ✓ Benzofenona: Difenilcetona su fórmula es Ar-CO-Ar

6.2.2 CETONAS

De acuerdo con el tipo de grupos R que estén unidos al carbono carbonílico, las cetonas pueden ser: alifáticas, aromáticas o mixtas. Si los grupos R son iguales, se trata de cetonas simétricas, mientras que si son diferentes, se tienen cetonas asimétricas. Veamos algunos ejemplos.

Cetonas simétricas:

- ✓ $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$: cetona alifática y recibe el nombre de dimetilcetona.
- ✓ Ar-CO-Ar cetona aromática y recibe el nombre de difenil cetona.

Cetonas asimétricas:

- ✓ $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_3$: cetona alifática y recibe el nombre de metil-etil-cetona.
- ✓ Ar-CO-CH_3 cetona mixta y recibe el nombre de metil-fenil-cetona.

Existen dos maneras de nombrar una cetona. La primera consiste en mencionar cada radical por orden de complejidad y luego la terminación cetona (metiletilcetona, etil-fenilcetona, etil-propilcetona, etc.).

La segunda forma consiste en numerar la cadena principal, portadora del grupo carbonilo, cuidando que al carbono carbonílico le sea asignado el menor número posible. De la misma forma, se indican los sustituyentes. Finalmente, se añade el sufijo **ona**, como se ilustra en los siguientes ejemplos:

- ✓ $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{-CH}_3$: recibe el nombre de 2-butanona.
- ✓ $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_2\text{-CH}_3$: recibe el nombre 3-pentanona.
- ✓ $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-CH}_2\text{-CO-CH}_3$: recibe el nombre 2,4 hexanodiona.
- ✓ $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH (CH}_3\text{)-CH}_2\text{-CH (CH}_3\text{) CO-CH}_2\text{-CH}_3$: recibe el nombre 4,6-dimetil-3-octanona.

6.3 PROPIEDADES FÍSICAS

Al igual que en alcoholes y fenoles, la mayoría de las propiedades físicas de aldehídos y cetonas se relacionan con la magnitud de las fuerzas intermoleculares y con el tamaño de la molécula.

- ✓ **Estado físico:** los compuestos de bajo peso molecular como el metanal, son gases, mientras que desde el etanal o acetaldehído, que tiene dos carbonos hasta el dodecanal, de doce carbonos, son líquidos. Compuestos más pesados, se presentan en estado sólido.
- ✓ **Punto de ebullición:** los puntos de ebullición de aldehídos y cetonas presentan un valor intermedio entre el registrado para éteres y alcoholes, pues la magnitud de la polaridad de los compuestos carbonílicos no es tan grande como la de los alcoholes.
- ✓ **Solubilidad:** las moléculas pequeñas, de hasta cinco átomos de carbono son solubles en solventes polares, como el agua. A medida que aumenta el tamaño de las moléculas, disminuye la solubilidad de los compuestos. Esto se debe a que la porción polar, es decir, la zona de la molécula que porta el grupo carbonilo se va haciendo cada vez más pequeña en relación con la porción hidrocarbonada, apolar. Como consecuencia de ello, las fuerzas intermoleculares entre solvente y soluto no son suficientemente grandes como para solubilizar moléculas demasiado grandes.

6.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

6.4.1 ADICIÓN NUCLEOFÍLICA

La reacción más común de los aldehídos y las cetonas es la adición nucleofílica. Esta reacción implica la adición de un nucleófilo al carbono, electrófilo, del grupo carbonilo.

Puesto que el nucleófilo emplea su par de electrones para formar el nuevo enlace con el carbono, los dos electrones del doble enlace $C=O$ deben desplazarse hacia el átomo de oxígeno, que es más electronegativo. Allí son estabilizados, y se forma un anión alcóxido, como compuesto intermedio, cuya configuración geométrica es tetraédrica. Esto se debe a que durante el proceso el carbono carbonilo pasa de una hibridación sp^2 a sp^3 .

Los aldehídos son más reactivos que las cetonas, dado que la presencia de un solo sustituyente R, permite una mejor aproximación del nucleófilo al carbono carbonílico y hace que el intermediario tetraédrico sea más estable.

De igual forma, las cetonas aromáticas son más reactivas que las alifáticas, pues en la estructura cíclica los átomos están rígidamente dispuestos y hay menos "amontonamiento" cuando se forma la molécula tetraédrica.

6.4.2 REDUCCIÓN: FORMACIÓN DE ALCOHOLES

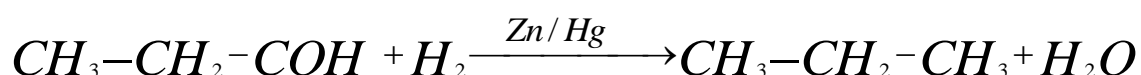
La **reducción** de compuestos orgánicos, se relaciona con un **incremento en el contenido de hidrógeno**, o con una **disminución de las cantidades de oxígeno, nitrógeno o halógenos presentes en una molécula**. Por el contrario la **oxidación** es un proceso en el

cual ocurre **disminución del contenido de hidrógeno o incremento en la cantidad de oxígeno, nitrógeno o halógenos presentes.**

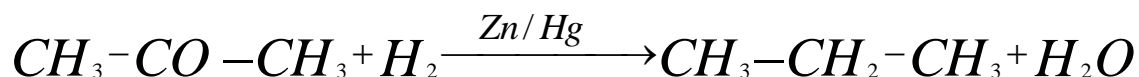
Bajo este contexto, la reducción de aldehídos y cetonas es una adición nucleofílica de hidrógenos. Los aldehídos se reducen a alcoholes primarios, mientras que las cetonas generan alcoholes secundarios, como se explicó en el tema anterior.

El proceso se puede efectuar mediante el empleo de un buen número de agentes reductores, como el hidruro de litio y aluminio, LiAlH_4 , o el borohidruro de sodio, NaBH_4 . El uso de este último se prefiere debido a la seguridad y la facilidad de manejo, en contraste con el LiAlH_4 que reacciona violentamente con el agua y se descompone cuando se somete a temperaturas mayores de 120°C , por lo que debe ser manejado con mucho cuidado.

Reducción de aldehídos:



Reducción de cetonas:

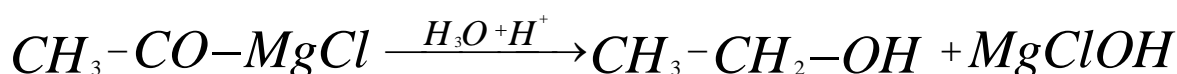
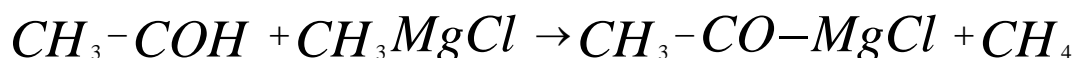


Otra forma de efectuar la reducción es la hidrogenación catalítica.

En el caso del reactivo de Grignard, la formación de alcoholes por reacción entre este reactivo y un aldehído o cetona se puede interpretar también como una adición nucleofílica del grupo R del reactivo de Grignard, con reducción del oxígeno carbonílico. Este grupo R tiene carga negativa, por lo que es atraído por el carbono carbonílico, que

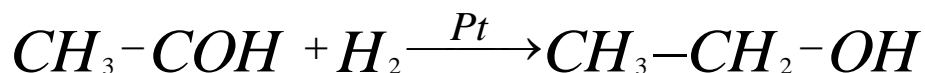
presenta una deficiencia de electrones. La reacción debe ocurrir en medio ácido para potenciar la polaridad existente entre el oxígeno y el carbono carbonílicos y facilitar así el ataque nucleofílico. Ejemplo de la reacción:

Reacciona un compuesto carbonilo que puede ser un aldehído o una cetona con el reactivo de Grignard dando como producto un compuesto intermediario

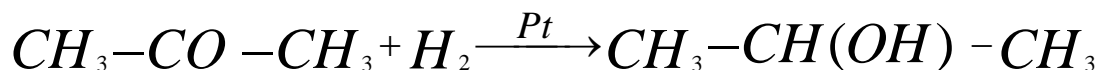


Los aldehídos y cetonas también pueden reducirse a alcoholes mediante hidrogenación catalítica. El agente reductor es hidrógeno ocluido en metales porosos como platino o paladio. La reacción general es:

De aldehído a alcohol primario:



De cetona a alcohol secundario:



La reducción puede continuarse hasta obtener el hidrocarburo correspondiente utilizando amalgama de Zn en ácido clorhídrico concentrado.

6.4.3 HIDRATACIÓN

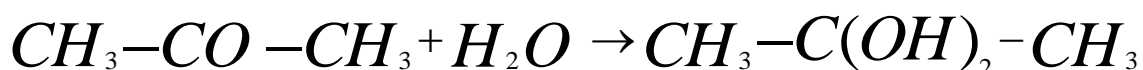
Los aldehídos y las cetonas en solución acuosa pueden reaccionar lentamente con el agua, dando lugar a productos hidratados. La reacción es reversible y el equilibrio se halla por lo general desplazado hacia el compuesto carbonílico, siendo el producto hidratado muy inestable intermedio como lo es un diol. Estos compuestos se conocen como **dioles geminales** o **gem-dioles**.

La reacción es catalizada por la presencia de iones ácidos o básicos en la solución acuosa. En medios básicos, los iones hidróxido actúan como nucleófilos, uniéndose al carbono del grupo carbonilo para producir un ion alcóxido como compuesto intermedio. Posteriormente el ion alcóxido extrae un protón H^+ del agua para formar el gem-diol, que a su vez, puede liberar un protón desde cualquiera de los dos grupos OH, regenerando así el compuesto carbonilo inicial.

La concentración de la especie hidratada en el equilibrio depende del compuesto inicial. Así, el formaldehído en solución acuosa se presenta hidratado en una proporción cercana al 99,9%, mientras que la acetona lo está solo en un 0,1%. Adición de alcoholes: formación de acetales
Aldehídos y cetonas reaccionan en forma reversible con alcoholes en presencia de un catalizador ácido para producir un grupo de compuestos llamados **acetales**, si se derivan de aldehídos y **cetales** si provienen de cetonas.

La formación de acetales y cetales es similar a la reacción de hidratación estudiada anteriormente. Como el agua, los alcoholes son nucleófilos débiles que se unen lentamente a los aldehídos y cetonas en condiciones neutras. Sin embargo, en condiciones ácidas el oxígeno del grupo carbonilo se protona, siendo el compuesto protonado resultante, mucho más reactivo que el neutro.

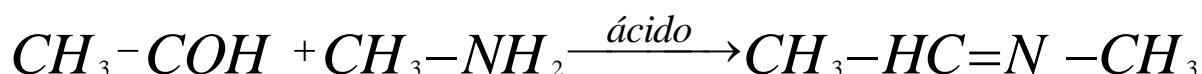
Los acetales son inertes frente a las bases, agentes reductores del tipo hidruro y reactivos de Grignard, por lo que se usan para proteger el grupo carbonilo de cualquier alteración, en reacciones químicas en las que se desea modificar otro grupo funcional. La molécula inicial puede ser regenerada desplazando el equilibrio hacia el compuesto carbonilo.



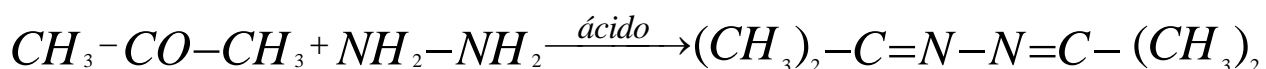
6.4.4 ADICIÓN DE AMINAS

En términos generales, la adición de compuestos nitrogenados a aldehídos y cetonas da como resultado el remplazo del oxígeno carbonilo por el grupo N—R, donde R puede ser: H, NH₂, OH o un radical alquilo o arilo. Revisemos algunos ejemplos.

✓ *Reacción cuando es un aldehído:*



✓ *Reacción cuando es una cetona:*



La biosíntesis de aminoácidos, es decir, monómeros constitutivos de las proteínas, se lleva a cabo a través de la adición de amoniaco a un precursor portador de un grupo cetónico. Por ejemplo en la síntesis de alanina, a partir de ácido pirúvico y amoniaco, bajo la acción de numerosas enzimas, la etapa clave de esta transformación biológica es la adición nucleofílica de amoniaco al grupo carbonilo cetónico del ácido pirúvico. El intermediario tetraédrico pierde agua y produce una imina, la cual es posteriormente reducida para producir el aminoácido.

6.4.5 OXIDACIÓN

Los aldehídos se oxidan fácilmente convirtiéndose en ácidos carboxílicos, mientras que las cetonas son resistentes a la acción de la mayoría de los agentes oxidantes, excepto en condiciones muy especiales. Esto se debe a la presencia de un hidrógeno en el grupo funcional aldehído, ausente en el cetónico. Este hidrógeno es susceptible de ser oxidado, dando lugar a un grupo OH.

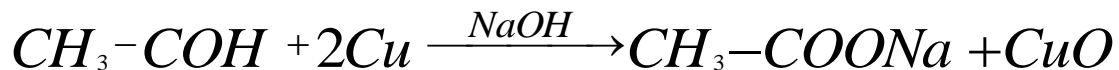
Dentro de los agentes y procedimientos oxidantes más usados podemos mencionar: el ácido nítrico (HNO_3) en caliente, el KMnO_4 y los reactivos de Jones (CrO_3 en H_2SO_4 acuoso), Tollens (solución amoniacal de nitrato de plata) y Fehling (solución alcalina de cobre). Estos últimos son muy importantes porque sirven para diferenciar cualitativamente, en el laboratorio, aldehídos de cetonas.

Describiremos el proceso general para la reacción de identificación con el reactivo de Tollens:

Aldehído $\text{R}-\text{COH}$ más reactivo de tollens $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2 + \text{OH}$ produce sal del ácido $\text{R}-\text{COONH}_4$ más el espejo de plata $\text{Ag} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Macroscópicamente se evidencia que ocurrió oxidación porque la plata metálica (Ag^0) forma un espejo plateado sobre las paredes del tubo donde se lleva a cabo la reacción.

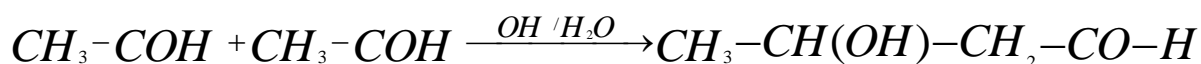
Por su parte la acción oxidante del reactivo de Fehling se evidencia con la aparición de un precipitado amarillo a rojo ladrillo de óxido cuproso según la reacción:



6.4.6 CONDENSACIÓN ALDÓLICA

Cuando dos moléculas de un mismo compuesto carbonilo reaccionan entre sí, generalmente en medio básico el resultado es una molécula conjugada, que posee un grupo hidroxilo y un grupo carbonilo, por lo que se denomina **aldol** (contracción de aldehído y alcohol). El término se aplica de manera general, aun cuando en sentido estricto sólo se aplica a la condensación de un aldehído y no de una cetona.

La condensación puede entenderse como una adición en una de las moléculas y una sustitución en la otra. El intercambio ocurre sobre el carbono adyacente al carbono carbonilo, denominado carbono α , por lo que se habla de un proceso de adición-sustitución.



La reacción anterior se presenta internamente en los siguientes pasos.

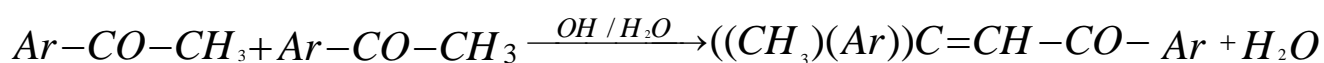
Paso 1: cuando la reacción ocurre en medio básico, el hidrógeno α (es decir, unido al carbono α) es 'atraído por los iones OH^- del medio, dando como resultado la formación de un ion enolato.

Paso 2: el ion enolato actúa como nucleófilo, por lo que ataca el carbono carbonilo de una molécula no disociada. El resultado es la adición nucleofílica de este ion y la formación de un intermediario tetraédrico.

Paso 3: el oxígeno carbonílico de la molécula donde ocurre la adición, es protonado por el agua del medio, dando lugar al grupo OH del aldol.

Nota que el ion enolato experimenta la sustitución del grupo R, por el ion tetraédrico portador del grupo hidroxilo.

No todas las condensaciones dan como producto un aldol. En algunos casos se produce una molécula alfa y beta insaturada, es decir, con un doble enlace entre los carbonos alfa y beta. Por ejemplo, la condensación de la acetofenona da como resultado la formación del 1,3-difenil-2-buten-1-ona:



6.5 MÉTODOS DE PREPARACIÓN

6.5.1 OXIDACIÓN DE ALCOHOLES

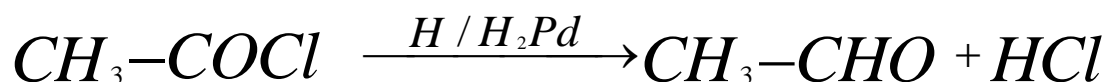
Recordemos que la oxidación de alcoholes primarios produce aldehídos y la oxidación de alcoholes secundarios conduce a la formación de cetonas.

El proceso general implica la **deshidrogenación** del alcohol. Los alcoholes primarios suelen oxidarse hasta convertirse en ácidos carboxílicos, lo cual dificulta la separación del aldehído. Esto se logra mediante la destilación del aldehído a medida que se produce, gracias a que los aldehídos tienen puntos de ebullición menores que los alcoholes.

6.5.2 REDUCCIÓN DE CLORUROS DE ÁCIDO

La reducción de cloruros de ácido a aldehídos, se conoce como **reducción de Rosenmund**. La reacción consiste en una hidrogenólisis catalítica en condiciones muy controladas para evitar la posterior reducción a alcohol. La reacción se efectúa con un catalizador de paladio sobre un soporte de sulfato de bario que ha sido parcialmente desactivado o envenenado con una mezcla de azufre y quinoleína.

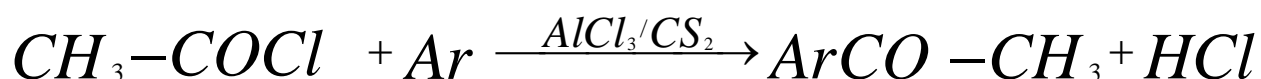
Es un método específico para preparar aldehídos y se aplica con éxito a cloruros de ácidos alifáticos y especialmente aromáticos. Ejemplo:



6.5.3 ACILACIÓN DE FRIEDEL Y CRAFTS

Esta reacción es característica de los compuestos aromáticos. Las metil cetonas pueden obtenerse asilando compuestos aromáticos con cloruro de acilo y cloruro de aluminio, en disulfuro de carbono.

La reacción general se representa así:



Empleando cloruros de ácido más grandes, se pueden obtener las correspondientes cetonas.

6.6 EN LA INDUSTRIA

El formaldehído, el acetaldehído, la acetona y la metiletilcetona son los aldehídos y las cetonas de mayor importancia industrial y económica.

A continuación se resumen brevemente los métodos empleados para su obtención encontrará además el nombre oficial seguido del nombre común y el método de preparación:

- **Metanal o Formaldehído o formalina**

Su método de preparación es a partir de Oxidación, en fase de vapor, de metanol, con aire sobre un catalizador de plata o una mezcla de óxido de hierro y óxido de molibdeno.

- **Etanal o Acetaldehído**

Su método de preparación es a partir de Hidratación del acetileno en una solución diluida de ácido sulfúrico y sulfato de mercurio a 80 °C.

- **Butanona o Metil-etilcetona**

Su método de preparación es a partir de Oxidación de 2-butanol.

- **Propanona o dimetil-cetona**

Acetona Subproducto en la fermentación de carbohidratos para obtener alcohol butílico.

6.7 QUINONAS

Las **quinonas** constituyen un grupo especial de cetonas. Son moléculas cíclicas alfa beta insaturadas, con dos grupos cetónicos. Dado que su comportamiento químico es distinto del que muestran las cetonas alifáticas se consideran como un grupo independiente, aunque emparentado con éstas.

Las quinonas son producto de la oxidación de los orto y para difenoles.

Se preparan por lo general por oxidación de dihidroxi, hidroxiamino o diaminoderivados aromáticos con las funciones (OH) y (NH₂) situadas en posiciones orto o para.

Los siguientes son ejemplos de estas conversiones:



Las quinonas son generalmente sustancias sólidas. Las de constitución para son amarillas, mientras que las de constitución orto son rojas. Son insolubles en agua, pero solubles en éter y cuando se disuelven en ácidos como el ácido sulfúrico o en álcalis forman soluciones con coloraciones especiales.

Se obtiene industrialmente por oxidación del antraceno. Es un sólido cristalino y amarillo, con una temperatura de fusión de 284 °C y de ebullición igual a 382 °C. Se disuelve difícilmente en solventes orgánicos, pero sí lo hace en ácido sulfúrico concentrado y caliente.

La alizarina o dihidroxiantraquinona es un colorante natural extraído de la raíz de la *Rubia tictorea*, donde se presenta como glucósido, es decir,

como un tipo de azúcar. Industrialmente se prepara fundiendo el antraquinondisulfonato de sodio con soda. Es un sólido cristalino en forma de agujas prismáticas de color rojo amarillento. Su punto de fusión es 290 °C y el de ebullición es 430 °C. Es muy poco soluble en agua, soluble en alcohol, éter y en los álcalis, con los cuales toma una coloración violeta, con el ácido sulfúrico da un color rojo amarillento.

La alizarina es un colorante adjetivo lo cual quiere decir que no se fija a la tela por sí mismo sino que necesita de un mordiente. La alizarina sirve para teñir algodón, lana y seda. La lana debe ser mordentada por una solución de crémor tártaro y alumbre o bicromato de potasio.

6.8 USOS Y APLICACIONES

Como mencionamos anteriormente, los aldehídos y cetonas más importantes a nivel industrial son el formaldehído o metanal, el acetaldehído o etanal y la acetona o propanona.

Durante mucho tiempo se prepararon a partir de los alcoholes metílico, etílico y ácido acético, respectivamente. Posteriormente se descubrieron nuevos métodos, más económicos, que han permitido su producción a nivel industrial.

Estas son algunas de sus principales aplicaciones.

- **Formaldehído:** el formaldehído es un gas incoloro que se disuelve fácilmente en agua. El formaldehído y el polímero, paraformaldehído, se usan como insecticidas, agentes para fumigación y antisépticos. También es usado en la fabricación de resinas sintéticas y en la síntesis de otros compuestos orgánicos. Se emplea como desinfectante para espacios cerrados. Como tiene la propiedad de coagular las proteínas y

formar con ellas un producto imputrescible es muy empleado por los taxidermistas en los procesos de conservación de piezas anatómicas; también puede ser usado para la desinfección de la ropa de los cirujanos y enfermos.

Además, se utiliza para endurecer las películas cinematográficas, para realizar el plateado de los espejos y en la preparación de diversas resinas, bakelitas y galatita.

- **Acetaldehído:** el etanal o acetaldehído, como tal, tiene pocas aplicaciones. Por el contrario, es de gran importancia como intermediario en muchas reacciones de síntesis. Por ejemplo, interviene en la formación de ácido acético, por oxidación. Tiene además otras aplicaciones secundarias como agente reductor: en la fabricación de espejos, para prevenir el moho de las frutas almacenadas y como desinfectante o antiséptico en medicina.
- **Benzaldehído:** es un intermediario importante en la preparación de compuestos farmacéuticos, en la industria de colorantes y otros compuestos orgánicos. También es usado como agente aromatizante en perfumería.
- **Acetona:** es la cetona más frecuente e importante. El principal empleo industrial de la acetona es como disolvente, puesto que disuelve muchas sustancias orgánicas, mejor que el alcohol. También se usa como disolvente de resinas, de ceras, grasas y aceites, acetocelulosa, celuloide, etc. Se emplea también en la fabricación de lacas y colores; en la preparación de cloroformo y de yodoformo; en la gelatinización de las pólvoras sin humo; en la fabricación de las sustancias

plásticas del caucho sintético y en la desnaturalización del etanol. La acetona existe normalmente en la sangre y en la orina, pero es más abundante en ciertas condiciones patológicas como la diabetes y la acetonuria.

- **Acetofenona:** se usa como intermediario de síntesis para la obtención de otros compuestos y en perfumería. Si uno de los átomos de hidrógeno del grupo metilo se sustituye por cloro, se forma la cloroacetofenona $C_6H_5COCH_2Cl$, la cual es usada como gas lacrimógeno.

7 ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

El grupo funcional característico de los ácidos orgánicos es el grupo carboxilo ($COOH$), formado por un grupo carbonilo cetónico $C=O$ y un grupo hidroxilo OH . El resultado es una función química con un comportamiento particular.

7.1 ESTRUCTURA DEL GRUPO CARBOXILO

Como sabemos el doble enlace $C=O$ característico del grupo carbonilo, se forma a partir de la hibridación sp^2 del carbono, por lo que presenta una forma planar, sin posibilidades de rotación alrededor del carbono carbonilo. Así mismo, los ángulos de enlace entre el carbono α , el carbono carbonilo, el oxígeno y el grupo OH son cercanos a los 120°

El grupo carboxilo es altamente polar, con una zona negativa alrededor del oxígeno carbonílico y una zona positiva cerca del hidrógeno del grupo hidroxilo. Esta polaridad da lugar a la formación de puentes de hidrógenos similares a los presentes en el agua, de manera que la mayoría de los ácidos en solución, existen como dímeros cíclicos.

7.2 CLASIFICACIÓN

Según el número de grupos carboxilo presentes, los ácidos carboxílicos pueden ser: **mono, di, tri o policarboxílicos**. En el primer caso, la molécula contiene tan sólo un grupo carboxilo y su fórmula general es **R-COOH**. Entre este grupo tenemos:

- ✓ $\text{CH}_3\text{-COOH}$: Ácido acético.
- ✓ $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$: Ácido láctico.
- ✓ Ar-COOH : Ácido benzoico.

Los ácidos **dicarboxílicos** contienen dos grupos carboxilo y su fórmula general es $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_n\text{-COOH}$. La letra n minúscula indica la cantidad de veces que puede haber de CH_2 en la cadena. Estos son algunos ejemplos:

- ✓ HOOC-COOH : ácido oxálico.
- ✓ $\text{HOOC-CH}_2\text{-COOH}$: ácido malónico.
- ✓ HOOC-Ar-COOH : ácido tereftálico.

Por último, los ácidos tricarboxílicos y policarboxílicos, poseen tres o más grupos carboxilo:

$\text{HOOC-CHCOOH-CH}_2\text{-COOH}$: ácido carboxi-butanodioico.

$\text{HOOC-CH}_2\text{-C}((\text{COOH})(\text{OH}))\text{-CH}_2\text{-COOH}$: ácido cítrico.

Según la naturaleza de la cadena carbonada unida al grupo funcional, podemos tener ácidos alifáticos (R-COOH) o aromáticos (Ar-COOH). Los siguientes son algunos ejemplos:

7.3 NOMENCLATURA

Los ácidos carboxílicos se nombran anteponiendo la palabra **ácido** al nombre del alcano correspondiente y cambiando la terminación **-o** de éste por **-oico**. Para los alifáticos, la cadena más larga es aquella que contiene el grupo carboxilo y el carbono carboxílico se designa con el número 1. Luego se numeran los sustituyentes unidos a la cadena principal de la forma como se hace normalmente, como se muestra en los siguientes ejemplos:

✓ $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$: ácido propanoico.

✓ $\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$: ácido 4 metilpentanoico.

Los ácidos aromáticos se denominan por sus nombres comunes o como derivados del ácido benzoico ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$).

Muchos ácidos orgánicos se conocen más por sus nombres comunes que por los oficiales, según la IUPAC. Estos nombres fueron acuñados hace muchos años, a medida que nuevos ácidos orgánicos eran aislados y estudiados. Con frecuencia el nombre de una nueva sustancia se derivaba de la fuente de la cual era aislada.

Por ejemplo, el ácido fórmico fue aislado de las hormigas (*formica*, en latín), el ácido acético (del latín *acetum* 5 vinagre) se reconoció como el

causante del sabor característico del vinagre y el ácido butírico (del latín *butyrum* 5 mantequilla) fue extraído por primera vez de la mantequilla rancia.

En algunos casos la posición de los sustituyentes en la cadena alifática, se designa con letras griegas, siendo la posición α aquella correspondiente al carbono adyacente al carbono carboxílico teniendo en cuenta que el carbono α corresponde al carbono más cercano a la función carboxilo, y así sucesivamente con los otros carbonos de la cadena.

✓ $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{COOH}$: ácido beta-hidroxipropanoico.

✓ $\text{CH}_3\text{CHClCOOH}$: ácido α . cloropropanoico.

Los ácidos di, tri y policarboxílicos se nombran utilizando la terminación **dioico, trioico, pentaico**, etc., junto a la raíz del nombre del hidrocarburo que contiene el mismo número de átomos de carbono, como el ácido etanodioico ($\text{HOOC}-\text{COOH}$), derivado del etanol.

A continuación encontrara una lista de ácidos carboxílicos con el nombre común, nombre según IUPAC y la formula. Tenga en cuenta que las letras ac son la abreviatura de ácido.

✓ Ác. Fórmico también recibe el nombre de Ác. Metanoico y su fórmula es: HCOOH .

✓ Ác. Acético también recibe el nombre Ác. etanoico y su fórmula es: CH_3COOH .

- ✓ Ác. propiónico también recibe el nombre Ác. propanoico y su fórmula es: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.
- ✓ Ác. butírico también recibe el nombre Ác. Butanoico también recibe el nombre $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$.
- ✓ Ác. Valeriánico también recibe el nombre Ác. pentanoico también recibe el nombre y su fórmula $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$.
- ✓ Ác. caprílico también recibe el nombre Ác. Decanoico y su fórmula $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$.
- ✓ Ác. palmítico Ác. También recibe el nombre hexadecanoico y su fórmula $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$.
- ✓ Ác. benzoico y su fórmula Ar-COOH
- ✓ Ác. ftálico Ác. también recibe el nombre 1,2-bencenodicarboxílico y su fórmula COOH-Ar-COOH
- ✓ Ác. tereftálico también recibe el nombre Ác. 1,4-bencenodicarboxílico y su fórmula COOH-Ar-COOH .
- ✓ Ác. láctico también recibe el nombre Ác. 2-hidroxipropanoico y su fórmula $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$

✓ Ác. acrílico también recibe el nombre Ác. propenoico y su fórmula $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$.

✓ Ác. succínico también recibe el nombre Ác. Butanodioico y su fórmula $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$.

7.4 PROPIEDADES FÍSICAS

Al igual que otras funciones oxigenadas, las propiedades físicas de los ácidos orgánicos se relacionan con la polaridad y el tamaño relativo de las moléculas.

En cuanto al estado físico, los ácidos alifáticos pequeños, hasta de nueve átomos de carbono, son líquidos. Los de tamaño intermedio son de consistencia aceitosa y los mayores son sólidos cristalinos. En cuanto a los aromáticos y policarboxílicos el patrón es más irregular.

El tamaño de las moléculas también se relaciona con el olor y el sabor de los ácidos. Por ejemplo, los ácidos metanoico, etanoico, butírico y valeriánico presentan sabor agrio y olores fuertes y desagradables. En contraste, los de altos pesos moleculares son inoloros.

La solubilidad en agua es alta para ácidos carboxílicos de cuatro o menos carbonos, moderada para los de cinco carbonos y muy baja para los términos mayores. Las ramificaciones de la cadena carbonada disminuyen la solubilidad del compuesto en agua. La mayoría de los ácidos son solubles en alcohol, debido a la afinidad que se presenta entre las cadenas hidrocarbonadas de unos y otros.

El punto de ebullición de los ácidos aumenta proporcionalmente con el peso molecular. Su valor es más alto que el correspondiente para

alcoholes con peso molecular semejante, debido a la fuerza de los puentes de hidrógeno entre los grupos carbonilo e hidroxilo del grupo COOH. Por ejemplo, el ácido fórmico hierve a 100,5 °C, mientras que el alcohol etílico lo hace a 78 °C. Ambos tienen un peso molecular de 46 u.m.a.

7.5 ACIDEZ

La naturaleza ácida de los compuestos carboxílicos se relaciona con la ruptura del enlace O-H del grupo hidroxilo y la posterior estabilización del anión resultante, denominado **ion carboxilato**. Entre más estable sea este ion, mayor será la fuerza ácida del compuesto. La estabilización se relaciona con la formación de un sistema de orbitales p híbridos, resonantes, entre el carbono carbonilo y los dos oxígenos unidos a éste, de manera similar a como ocurre entre los enlaces dobles de la molécula de benceno.

7.5.1 CONSTANTE DE ACIDEZ

La reacción de disociación de un ácido carboxílico cualquiera en agua se puede representar de la siguiente manera:



El proceso de disociación es reversible y la constante de equilibrio, en este caso la **constante de acidez**, *K mayúscula a minúscula*, (K_a) es una medida de la magnitud de la disociación y por tanto de la fuerza ácida de un compuesto. La expresión para dicha constante es:

$$K_a = \frac{[H_3O] \cdot [R-COO^-]}{[R-COOH]}$$

De donde:

$$pK_a = -\log K_a$$

Recordemos que cuanto mayor es el grado de disociación, mayor es el valor de K_a y más fuerte es el ácido. Contrariamente, el valor de pK_a disminuye entre más fuerte sea el ácido.

Los ácidos orgánicos presentan valores de K_a del orden de 10^{-5} . Esto significa que sólo el 0,1% de las moléculas, en una solución 0,1 M se encuentran disociadas, en contraste con el 100% que presentan los ácidos inorgánicos fuertes, como el HCl.

La fuerza ácida y el pK_a de un alcohol, un ácido carboxílico y un ácido inorgánico. Donde el ácido presenta mayor acidez, La razón por la cual los ácidos carboxílicos son ácidos más fuertes que los alcoholes se relaciona con la estabilidad de anión carboxilato, a diferencia del ion alcóxido que es menos estable pues no forma híbridos de resonancia.

7.5.2 EFECTO DE LOS SUSTITUYENTES SOBRE LA ACIDEZ

Se ha observado que la presencia de sustituyentes sobre el carbono a tiene un efecto importante sobre la fuerza ácida de los ácidos orgánicos. Este fenómeno se conoce como **efecto inductivo** y puede ocurrir en

dos sentidos: aumentando o disminuyendo la acidez. Esto depende de dos factores: la electronegatividad relativa de los sustituyentes y la distancia de los mismos al grupo carbonilo.

Con respecto al primer factor, los elementos o grupos más electronegativos que el oxígeno (como los halógenos) se comportan como atractores de electrones, por lo que disminuyen la carga parcial negativa de los oxígenos carbonílicos. Como resultado de esto, el enlace O-H se hace más débil y por tanto, la disociación es mayor. En conclusión, los sustituyentes electronegativos o aceptores de electrones, aumentan la acidez.

Por el contrario, si el o los sustituyentes son poco electronegativos o donadores de electrones (como los radicales alquilo), la carga parcial negativa de los oxígenos carbonílicos aumenta y en consecuencia la retención del hidrógeno del grupo O-H es más fuerte, por lo que la disociación es menor. Todo lo anterior hace que los ácidos orgánicos con sustituyentes que se comporten como donadores de electrones son menos ácidos que sus equivalentes no sustituidos.

El número de sustituyentes presentes es directamente proporcional a la magnitud del efecto inductivo. Así, el ácido cloroacético, con un sólo sustituyente, es menos ácido ($pK_a=2,85$) que el dicloroacético ($pK_a=1,48$), y éste es menos ácido que el tricloroacético ($pK_a=0,64$).

Finalmente, entre más distante se encuentre un sustituyente con respecto al carbono α , su efecto inductivo será menor. Recuerda que entre mayor es el pK_a , menor es la acidez.

A continuación se mostrara el efecto de la distancia entre un sustituyente y el carbono α entre ácidos con los mismos átomos pero en distintas posiciones.

✓ Ác. 2-clorobutanoico.

Formula: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCl}-\text{COOH}$.

pKa = 2,86

✓ Ác. 3-clorobutanoico.

Formula: $\text{CH}_3\text{CHClCH}_2-\text{COOH}$.

pKa = 4,05

✓ Ác. 4-clorobutanoico.

Formula: $\text{Cl}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$.

pKa = 4,52

✓ Ác. Butanoico.

Formula: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$.

pKa = 4,82

7.6 PROPIEDADES QUÍMICAS

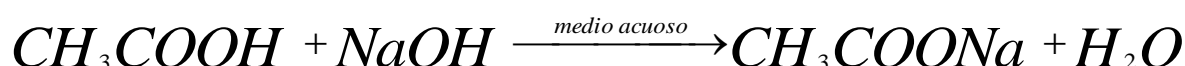
Las reacciones típicas de los ácidos carboxílicos pueden involucrar la ruptura del enlace O-H o de la unión C-OH. En el primer caso, se presenta una disociación ácida, como la hemos descrito anteriormente, por lo que un ácido carboxílico puede reaccionar con una base para formar una sal, en una reacción de **neutralización**. En el segundo caso, se produce una **sustitución nucleofílica** sobre el carbono carbonilo.

Dependiendo del grupo que realice el ataque nucleofílico se pueden obtener diferentes compuestos, como **ésteres**, **amidas**, **halogenuros de ácido** o **anhídridos**. Todos los anteriores se conocen como

derivados de ácidos carboxílicos y se tratarán con más detalle más adelante.

7.6.1 FORMACIÓN DE SALES

Tal como ocurre con los ácidos inorgánicos, los ácidos carboxílicos reaccionan con las bases para formar sales, por ejemplo:



7.6.2 REACCIONES DE SUSTITUCIÓN NUCLEOFÍLICA

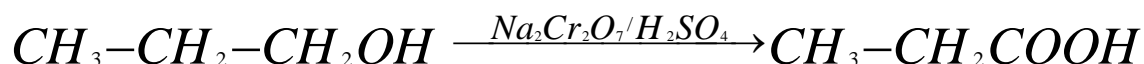
Estas reacciones son, por lo general, catalizadas por ácidos, puesto que la protonación del oxígeno carbonílico hace al carbono carbonilo más electropositivo y, por tanto, más vulnerable al ataque nucleofílico. El proceso de sustitución es similar a la adición nucleofílica típica de aldehídos y cetonas, sólo que en este caso, el intermediario tetraédrico es inestable y da lugar a un nuevo compuesto carbonílico, luego de la expulsión del grupo OH inicial, del ácido.

El nucleófilo, Nucleófilo puede ser:

- ✓ Un grupo OR', proveniente de un alcohol (R'OH), caso en el cual se forma un éster.
- ✓ Un halógeno, como Cl, Br o F, con lo cual se forma un haluro o halogenuro de ácido.
- ✓ Un ion carboxilato proveniente de otro ácido o de una sal orgánica, dando como resultado un anhídrido de ácido.
- ✓ Un grupo NH₂, derivado de algún compuesto nitrogenado, por ejemplo, amoníaco, caso en el cual se forma una amida.

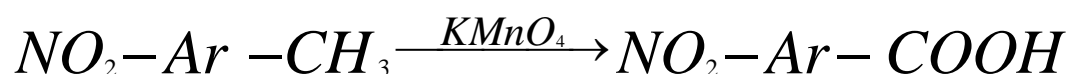
7.6.3 OXIDACIÓN

La oxidación de alcoholes primarios, aldehídos, bencenos sustituidos o algunos alquenos, da como resultado la formación de ácidos carboxílicos.



Los alcoholes primarios se deben tratar con CrO_3 o $Na_2Cr_2O_7$ en medio ácido, mientras que los aldehídos se oxidan con CrO_3 en medio ácido y bajo la presencia de iones de plata.

Finalmente, la oxidación de bencenos sustituidos y de algunos alquenos se realiza con $KMnO_4$ o con dicromato de sodio, en medio ácido:

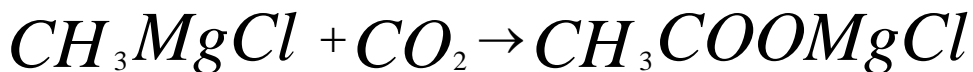


7.6.4 A PARTIR DE REACTIVOS DE GRIGNARD

Los reactivos de Grignard ($RMgX$) reaccionan con CO_2 , generalmente sólido en forma de hielo seco a través de una adición nucleofílica. En este tipo de reacciones, el grupo R del compuesto de Grignard ataca el carbono del CO_2 que posee una carga neta positiva, produciendo un compuesto intermedio, que es un carboxilato metálico.

Luego, ocurre la protonación del oxígeno unido al complejo $(MgX)^+$, dando lugar al ácido. El proceso general se muestra a continuación:

Inicialmente se forma un compuesto intermedio como se muestra a continuación:



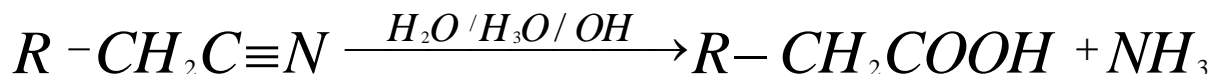
Luego el compuesto intermedio se forma un ácido carboxílico como se muestra a continuación:



Este método permite obtener ácidos carboxílicos alifáticos y aromáticos, escogiendo el reactivo de Grignard que contenga el grupo R que se desee adicionar al ácido que se va a sintetizar. Por ejemplo, si se desea sintetizar ácido benzoico (C_6H_5COOH), se debe emplear un reactivo cuyo grupo R sea un radical de benceno, como el cloruro de fenilmagnesio (C_6H_5-MgCl).

7.6.5 HIDRÓLISIS DE NITRILOS

Los nitrilos, $R-C \equiv N$ se hidrolizan dando como producto el ácido carboxílico correspondiente al grupo R. La reacción ocurre en solución acuosa con pH fuertemente ácido o básico y en caliente. Los nitrilos se pueden obtener fácilmente a partir del ion cianuro CN^- y un haluro de alquilo (R-X):



7.7 ÁCIDOS DICARBOXÍlicos

Se ha observado que el primer grupo carboxilo generalmente es más ácido que el segundo, especialmente en los casos en los que los dos

grupos se encuentran próximos. Esto se debe a las interacciones polares que se dan entre el extremo disociado y el no disociado, en la forma de puentes de hidrógeno.

Las reacciones químicas de los ácidos dicarboxílicos son similares a las de los monocarboxílicos, siendo las más comunes, la formación de sales y ésteres.

El ácido **oxálico** o **etanodioico** (HOOC-COOH) y el ácido **succínico** o **butanodioico** son ejemplos de ácidos dicarboxílicos de importancia económica y bioquímica.

El ácido oxálico es uno de los ácidos orgánicos más fuertes. Se prepara industrialmente por fusión alcalina del formiato de sodio (HCOONa) y posterior acidificación del producto.

En la naturaleza se encuentra en plantas, líquenes, mohos, helechos y algas, en forma de cristales de sal, como oxalato de calcio. En la industria se emplea en las lavanderías como quitamanchas; en el estampado de tejidos, como mordiente, y en la fabricación de tintas y de colorantes.

El ácido succínico y sus derivados se emplean en la fabricación de lacas y barnices, en perfumería y en medicina. Bioquímicamente interviene en importantes rutas metabólicas.

7.8 DERIVADOS DE LOS ÁCIDOS CARBOXÍlicos

7.8.1 REACTIVIDAD

La reacción más importante de los derivados de ácidos orgánicos es la **sustitución nucleofílica**. La fórmula general compuestos es: R-C=O-Y ,

donde Y puede ser cualquiera de los siguientes grupos: OR, X, COOR, NH₂.

El resto de la molécula se conoce como radical **acilo**. Durante la sustitución, luego de la formación del intermediario tetraédrico, el grupo Y se comporta como un **grupo saliente**, es decir, que es expulsado fácilmente de la molécula. Esto es debido a la repulsión del oxígeno del acilo sobre Y. El resultado es su remplazo por otro grupo, y la formación de un nuevo compuesto carbonílico.

Recordemos que la reacción típica de aldehídos y cetonas es la adición nucleofílica, en la cual también se forma un intermediario tetraédrico. En este caso, sin embargo, el equivalente al grupo Y (H, para aldehídos y R, para cetonas) no se comporta como grupo saliente, por lo que el resultado es una adición, en lugar de una sustitución nucleofílica en el grupo acilo.

La reactividad de los derivados de ácidos orgánicos disminuye por la presencia de sustituyentes sobre el carbono α , debido a la obstrucción que estos grupos hacen sobre el carbono carbonilo, dificultando el ataque nucleofílico sobre éste.

Por otro lado, no todos los derivados de ácidos tienen la misma reactividad. Esta propiedad depende de la electronegatividad del grupo Y. Por ejemplo, en los halogenuros, la alta electronegatividad del halógeno hace que el carbono carbonilo posea una carga más positiva que la del carbono carbonilo en una amida, pues el grupo NH₂ no es tan electronegativo.

Por lo tanto, los halogenuros son más susceptibles de sufrir ataques nucleofílicos sobre el carbono carbonilo.

La reactividad relativa entre derivados hace posible la conversión de unos en otros, sólo en un sentido: desde los más reactivos hacia los menos reactivos.

Una consecuencia importante de lo anterior es que los ésteres y las amidas son comunes en la naturaleza, mientras que los demás derivados, al experimentar fácilmente reacciones de sustitución con el agua, no pueden existir en los seres vivos.

7.8.2 PROPIEDADES FÍSICAS

7.8.2.1 PUNTO DE EBULLICIÓN

La posibilidad de formar puentes de hidrógeno y la fuerza relativa de los mismos determinan los puntos de ebullición de los derivados de ácidos orgánicos, para pesos moleculares similares.

Las amidas son sólidas a temperatura ambiente, como se puede inferir de sus altos puntos de ebullición. Esto se debe a la formación de puentes de hidrógenos muy fuertes entre los hidrógenos del grupo NH_2 y el oxígeno carbonilo. En contraste, los ésteres no forman puentes de hidrógeno, lo que se ve reflejado en sus bajos puntos de ebullición.

7.8.2.2 SOLUBILIDAD

Las moléculas pequeñas son solubles en agua, y a medida que aumenta el peso molecular, la solubilidad desciende. Los ésteres son solubles en alcohol y éter.

7.8.2.3 OTRAS PROPIEDADES

En cuanto a otras propiedades, los ésteres de bajo peso molecular, se caracterizan por su volatilidad y por presentar olores dulces y agradables, mientras que los términos superiores son inoloros, sólidos, de consistencia oleosa y aspecto céreo o grasoso. El olor característico de muchas frutas se debe a la presencia de ésteres.

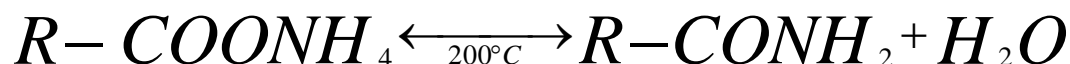
Los haluros suelen ser tóxicos, especialmente los de cloro, de bajo peso molecular y volátiles, pues reaccionan con agua formando ácido clorhídrico. Los anhídridos presentan olores picantes y sofocantes. Las amidas son sustancias que se comportan como bases o ácidos débiles según el medio de reacción por lo que se dice que son de carácter **anfótero**. La nomenclatura de los derivados de ácido se puede encontrar a continuación.

7.8.3 OBTENCIÓN

A continuación encontrara las reacciones que tienen lugar para la formación de derivados de ácidos, a partir de ácidos. Como ya se conoce, los diferentes derivados de ácidos se pueden obtener también a partir de halogenuros de ácido.

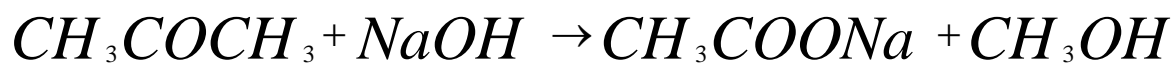
Una de las reacciones más importantes a nivel industrial es la **esterificación de Fisher y Spier**, desarrollada hacia 1895. Consiste en el calentamiento de una solución de ácido orgánico, en metanol o etanol, con una pequeña cantidad de ácido inorgánico (generalmente H_2SO_4) como catalizador. Recordemos que en medio ácido la carga positiva alrededor del carbono carbonilo es mayor, lo que facilita el ataque nucleofílico por parte del ion alcóxido proveniente del alcohol. Es una reacción reversible, por lo que el equilibrio puede desplazarse hacia cualquiera de los dos sentidos, eligiendo las condiciones de reacción

apropiadas. Así por ejemplo, la formación del éster se ve favorecida cuando se usa exceso de alcohol, mientras que la formación del ácido se propicia con exceso de agua. Las amidas también se pueden preparar por deshidratación de sales de amonio, según la reacción:



7.8.4 SAPONIFICACIÓN

La **saponificación** es una reacción típica de los ésteres, mediante la cual se prepara jabón. La saponificación de un éster consiste en tratar el éster con una base alcalina (NaOH o KOH) hasta ebullición. La reacción general se puede expresar de la siguiente manera:



7.9 USOS Y APLICACIONES

7.9.1 ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

A continuación se mencionan los usos de algunos ácidos orgánicos.

✓ **Fórmico o metanoico:**

Se encuentra en algunos insectos como las hormigas (a quienes debe su nombre) y en las abejas.

Se emplea en la síntesis de ésteres, sales, plásticos y ácido oxálico. También se usa como mordiente para tejidos de lana o de algodón en lugar del ácido acético o del sulfúrico.

✓ **Acético o etanoico:**

Puede ser producido por la fermentación de varios zumos de frutas como las uvas, manzanas, etc.

Es el principal componente del vinagre. Diluido del 5 al 10% se emplea como condimento. También se utiliza en la preparación de algunos colorantes, como disolvente de esencias, en la fabricación de pinturas y adhesivos con base en acetato de vinilo, como detenedor en fotografía, en la obtención de acetato de celulosa y como medicina se emplea como antídoto contra los álcalis (en solución al 6%).

✓ Benzoico

Se encuentra en las resinas y bálsamos de benjui, de Tolú y del Perú. Es un sólido incoloro, débilmente ácido.

Se emplea como intermedio en síntesis orgánica y su sal sódica el benzoato de sodio se emplea como antiséptico y conservador de alimentos. Se dice que activa la eliminación del ácido úrico y es antirreumático. También puede ser empleado en la industria de colorantes, en la fabricación de dentífricos y como expectorante y diurético. La procaína y la novocaína que son derivados del ácido paraminobenzoico se emplean como anestésicos locales.

✓ Cítrico

Se puede considerar como uno de los ácidos más abundantes en la naturaleza. Se encuentra especialmente en las frutas del género citrus, en la remolacha, en las cerezas y en las cebollas. Se obtiene en grandes cantidades por un proceso de fermentación del almidón o de las melazas.

Es empleado para dar sabor ácido a productos alimenticios y bebidas refrescantes. Los citratos alcalinos se usan en la

preparación de productos farmacéuticos contra la gota y el reumatismo. También se usa como laxante y anticoagulante.

7.9.2 SALES

A continuación se menciona los usos de las sales más importantes:

- ✓ Acetato de sodio: Se emplea para preparar soluciones buffer, reguladoras del pH y en la fabricación de jabones y productos farmacéuticos.
- ✓ Acetato de plomo: Llamado azúcar de plomo, por su sabor dulce, se aplica externamente para combatir algunas enfermedades de la piel.
- ✓ Propionato de calcio: Se añade al pan para prevenir el enmohecimiento.
- ✓ Lactato de calcio y citrato amónico férrico: Se emplean como suplementos de hierro y calcio en la dieta.
- ✓ Oxalato de potasio: Se emplea como anticoagulante en muestras de sangre, durante análisis clínicos. Sal sódica del ácido salicílico Se puede usar como antipirético y como analgésico en casos de reumatismo y artritis.

7.9.3 ANHÍDRIDOS

Los anhídridos se emplean como agentes de acilación en la preparación de ésteres, a partir de los alcoholes. Por ejemplo, el **anhídrido acético** se emplea en la síntesis de aspirina.

El **anhídrido ftálico** que proviene de la condensación de dos moléculas de ácido ftálico, es un producto orgánico que se emplea en grandes cantidades como plastificante de resinas sintéticas y en la manufactura de recubrimientos contra la intemperie.

Finalmente, los anhídridos también se usan como deshidratantes.

7.9.4 ÉSTERES

Comercialmente, el **acetato de etilo** y el **acetato de butilo**, son los ésteres más importantes. Son usados como disolventes para nitrocelulosa y como materia prima en la fabricación de lacas.

Otros ésteres de mayor peso molecular son empleados como plastificantes. En medicina, son usados en el tratamiento de diversas dolencias. Por ejemplo, el acetato de etilo es estimulante y antiespasmódico en irritaciones cólicas y bronquiales. En aplicación externa se emplea para el tratamiento de enfermedades dermatológicas, causadas por parásitos.

Un tercer compuesto de suma importancia es el ácido **acetilsalicílico** y su forma estérica, principales componentes de la aspirina. Este medicamento posee una fuerte acción antiséptica, analgésica y antipirética. La aspirina se usa también contra el reumatismo y la gota.

Una gran cantidad de medicamentos para el tratamiento de dolores de cabeza contienen aspirina combinada con otros agentes farmacológicos. Así mismo, la adición de antiácidos y agentes tamponantes, facilita la absorción de la aspirina por el tracto intestinal e impide que esta pueda tener efectos perjudiciales sobre el recubrimiento interno del estómago. Finalmente, los **poliésteres** polímeros de ésteres son plásticos de gran difusión en el mundo. Uno de los más importante son las **resinas**

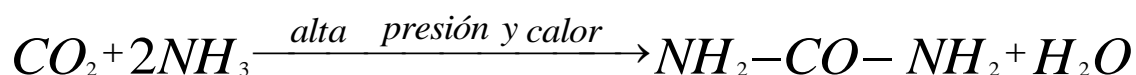
acrílicas, polímeros de ésteres del **ácido acrílico**, como el **acrilato de metilo** y el **metacrilato de metilo**. A través de la polimerización del metacrilato de metilo se obtiene un material transparente que puede sustituir al vidrio, al ser flexible y más liviano.

El dacrón, otro poliéster, se obtiene del tereftalato de dimetilo y el etilenglicol.

7.9.5 AMIDAS

La amida más importante es la **urea**, $H_2N-C-NH_2$, una diamida, proveniente del ácido carbónico, que se encuentra en los organismos vivos.

Fue sintetizada por **Wöhler** en 1828 y sirvió como principio para el desarrollo de la química orgánica. La urea se obtiene haciendo reaccionar el dióxido de carbono con amoníaco, bajo presión y temperatura elevadas:



Uno de los usos industriales más importantes de la urea es su condensación en medio básico, con **malonatos de dietilo sustituidos** para producir los sedantes conocidos como **barbitúricos**. También se emplea como fertilizante, en la industria de plásticos con metanal y aserrín de madera, como diurético y contra la gota y el reumatismo.

Para terminar, las poliamidas, como el **nailon**, se obtienen por condensación del **ácido adípico** con **hexametilendiamina**. El nailon es un material muy resistente debido a la formación de puentes de hidrógeno intramoleculares. A ello se debe su gran tenacidad y resistencia a la abrasión.

Es usado en la elaboración de alfombras y partes de maquinaria, como ruedas dentadas que no requieren lubricación.

8 FUNCIONES NITROGENADAS

Los compuestos nitrogenados, como *aminas* y *nitrilos*, se caracterizan porque, además de carbono e hidrógeno, contienen nitrógeno. En la naturaleza se encuentran formando parte de los seres vivos, en proteínas, alcaloides, vitaminas y hormonas. Industrialmente son importantes en la elaboración de colorantes.

8.1 AMINAS

Las **aminas** son compuestos que resultan de la sustitución de uno o más átomos de hidrógeno en el amoníaco, por radicales alquilo (alifáticos) o arilo (aromáticos). El grupo funcional característico de las aminas se denomina **amino** y se representa como (NH_2). La fórmula general de una amina es: $\text{R}-\text{NH}_2$, si es alifática, o $\text{Ar}-\text{NH}_2$, si es aromática.

8.1.1 CLASIFICACIÓN

Como acabamos de mencionar, existen aminas alifáticas y aminas aromáticas. Adicionalmente, las aminas se pueden clasificar teniendo en cuenta el número de átomos de hidrógeno que se han sustituido en el amoníaco, como aminas **primarias**, **secundarias** y **terciarias**:

✓ **Primarias**

Metil amina: $CH_3 - NH_2$

Amino benceno $Ar - NH_2$

✓ **Secundarias**

Dimetilamina: $CH_3 - NH - CH_3$

Difenilamina: $Ar - NH - Ar$

✓ **Terciarias**

Trifenilamina: $Ar - N (Ar) - Ar$

Trimetilamina: $CH_3 - N (CH_3) - CH_3$

Podemos encontrar aminas mixtas, es decir, que poseen sustituyentes arilo y alquilo, sobre el mismo átomo de nitrógeno. Por último, existen **aminas heterocíclicas**, en las cuales, el nitrógeno se encuentra formando parte de una estructura cíclica.

8.1.2 NOMENCLATURA

Las aminas se nombran anteponiendo a la palabra amina, los nombres de los sustituyentes presentes. Si los radicales sustituyentes son iguales, se emplean los prefijos **mono**, **di** o **tri**, según el caso. Cuando

los radicales son diferentes se nombran comenzando por el más sencillo de ellos.

Ejemplos:

✓ Metil-etilamina: $CH_3-NH-CH_2-CH_3$

✓ Metil-etil-fenilamina: $Ar-NH(CH_2-CH_3)-CH_3$

✓ Dimetilpropilamina: $(CH_3)_2-N-CH_2-CH_2-CH_3$

✓ Etilamina: $NH_2-CH_2-CH_3$

8.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS

En general las propiedades de las aminas dependen del grado de sustitución sobre el nitrógeno, que determina la posibilidad de formar puentes de hidrógeno entre el o los hidrógenos del grupo NH_2 y un extremo delta negativo de otra molécula, por ejemplo, el oxígeno del agua o el nitrógeno de otra amina.

Las aminas terciarias han sustituido todos los hidrógenos por otros grupos, por lo que no pueden formar enlaces de hidrógeno y se comportan como moléculas generalmente apolares, similares a hidrocarburos.

Si bien, los puentes de hidrógeno entre aminas son menos fuertes que aquellos presentes entre compuestos oxigenados dada la alta electronegatividad del oxígeno, estas fuerzas explican la solubilidad de las aminas de bajo peso molecular en agua y otros solventes polares. Por el contrario, las aminas de alto peso molecular (mayores de seis carbonos) son insolubles en agua, pero solubles en solventes apolares

(orgánicos), pues en ellas, la parte apolar de la molécula predomina sobre la sección polar.

La posibilidad de formar puentes de hidrógeno también se relaciona con los puntos de ebullición de las aminas primarias y secundarias, cuyos valores son mayores que aquellos correspondientes a aminas terciarias e hidrocarburos de peso molecular similar. Por ejemplo, dietilamina (PM=71,1u.m.a.) con un punto de ebullición de 56,3 °C, mientras que el pentano (P M=72,1 u.m.a.) tiene un punto de ebullición igual a 36,1 °C.

En cuanto al estado de agregación, las aminas pequeñas, como la metilamina y la etilamina son gases, mientras que aquellas de tamaño intermedio son líquidas y las superiores, sólidas.

Las aminas, especialmente aquellas de bajo peso molecular, tienen olores fuertes y penetrantes, similares al amoníaco. Por ejemplo, la trimetilamina presenta un característico olor a pescado, mientras que la 1,5-pentanodiamina o cadaverina, se forma durante la putrefacción de los cadáveres de animales, dando lugar al característico olor de la carroña.

8.1.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

8.1.4.1 ESTRUCTURA MOLECULAR

El átomo de nitrógeno en las aminas posee una hibridación sp^3 y dos electrones desapareados, por lo que estos compuestos presentan una estructura tetraédrica, similar a la del metano, en la cual, el centro lo constituye el nitrógeno y los cuatro vértices forman ángulos de 109° entre sí. Los tres sustituyentes (R, Ar o H) se ubican en los vértices de

la base, mientras que los electrones desapareados ocupan el vértice superior del tetraedro.

Esta arquitectura debería generar la presencia de isómeros, pues las imágenes especulares de dos tetraedros no se pueden superponer. Sin embargo, los isómeros se intercambian fácilmente entre sí, por lo que en la naturaleza se encuentran mezclados y no es posible aislar uno del otro

Finalmente, el par de electrones que posee el átomo de nitrógeno de las aminas, hace que se comporten como nucleófilas, como veremos más adelante.

8.1.4.2 BASICIDAD

Las aminas, gracias al carácter nucleófilo del nitrógeno, se comportan como aceptoras de protones o iones H^+ . Esto las convierte en bases según la definición Brönsted-Lowry. Cuando se encuentran en solución acuosa, se establece un equilibrio en el cual el agua actúa como ácido, donando un protón que es aceptado por la amina. La constante de equilibrio, que en este caso es la **constante de basicidad, K_b** , indica la fuerza básica de una amina. Sin embargo, es más común comparar la basicidad a partir del valor de $pK_b(-\log K_b)$. Así, entre menor sea el pK_b , el compuesto será más básico. Las aminas son bases fuertes, con valores de K_b de orden 10^{-4} a 10^{-5} , siendo más básicas que otros compuestos orgánicos, como alcoholes y ésteres.

Los diferentes sustituyentes del nitrógeno pueden afectar la basicidad relativa de las aminas. Las aminas alifáticas son más básicas que el amoníaco y que las aminas aromáticas, debido a que los electrones del

nitrógeno son retenidos por el anillo aromático, disminuyendo el carácter nucleófilo de la molécula.

8.1.4.3 FORMACIÓN DE SALES

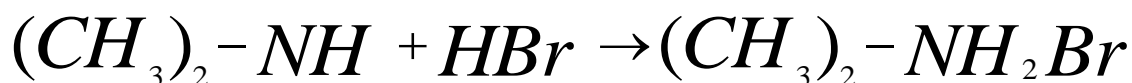
Una consecuencia del carácter básico de las aminas es que reaccionan con ácidos tanto orgánicos, como inorgánicos para formar sales:

Revisemos algunos ejemplos:

✓ Reacción para la formación de cloruro de anilina:

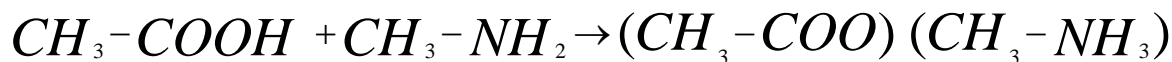


✓ Reacción para la formación de hidrobromuro de dimetilamina.

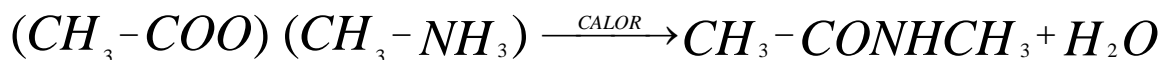


Las sales derivadas de ácidos orgánicos se pueden deshidratar luego para formar la amida correspondiente:

Inicialmente reacciona ácido acético con metilamina produciendo acetato de metil amonio. Como se muestra en la reacción:



Luego el acetato de metil amonio se somete al calor y se produce metil etil amina y como subproducto agua.



8.1.4.4 ACILACIÓN Y ALQUILACIÓN

La **acilación** es la incorporación de un grupo amino ($-NH_2$, $-RNH$ o RNR') a un **acilo**, mientras que la **alquilación** es la incorporación de un grupo amino a un radical **alquilo**. En el primer caso, el acilo puede provenir de un **ácido** carboxílico, un halogenuro de ácido, un anhídrido o un éster y el producto es una amida, que puede ser sustituida o no, dependiendo del compuesto de origen. En el segundo caso, el grupo alquil proviene de un halogenuro de alquilo ($R-X$) y se forma una amina más sustituida que la anterior.

La alquilación es una de las técnicas más importantes, pues, dependiendo de las concentraciones y proporciones de los reactivos, así como de las condiciones físico-químicas mantenidas durante la reacción (por ejemplo: disolvente utilizado, temperatura, catalizadores, etc.), es posible definir el grado de sustitución de la amina resultante. Este método se conoce como **síntesis de Hofmann**.

En la alquilación de amina, los productos son aminas con mayor grado de sustitución. A continuación se explica brevemente como se da este proceso.

- ✓ Amoníaco más halogenuro de alquilo por sustitución nucleofílica produce alquil amina primaria más una sal de amonio.
- ✓ Alquil amina primaria más un halogenuro de alquilo produce una alquil amina secundaria.

- ✓ Alquil amina secundaria más un halogenuro de alquilo produce una alquil amina terciaria.
- ✓ Alquil amina terciaria más un halogenuro de alquilo produce una sal cuaternaria de amonio.

8.1.4.5 USOS Y APLICACIONES

Las aminas tienen múltiples aplicaciones en diversos campos, desde la preparación de agentes reveladores en fotografía, colorantes, jabones y desinfectantes, hasta compuestos activos en drogas, herbicidas, fungicidas e insecticidas. A continuación hablaremos principalmente del uso de las aminas en la medicina y en la fabricación de colorantes.

8.1.4.5.1 APLICACIONES EN MEDICINA

Entre las plantas y los animales se encuentran distribuidas una amplia variedad de aminas con propiedades medicinales. Por ejemplo, la **quinina** es un importante antipalúdico aislado de la corteza del árbol suramericano llamado *Chinchona* y, la **reserpina**, es un agente contra la hipertensión que se aísla del *Rauwolfia serpentina*, arbusto originario de la India. Por otro lado, los **alcaloides**, compuestos nitrogenados de origen vegetal, son conocidos desde la antigüedad como **álcalis vegetales**, dado su carácter básico. El **opio**, del cual se obtienen numerosos alcaloides, como **morfina**, **heroína** y **codeína**, se extrae de la amapola o adormidera, *Papaver somniferum*. Esta droga es un potente inhibidor del dolor. Sus propiedades analgésicas se conocen y han sido utilizadas, por lo menos desde el siglo XVII, sin embargo,

produce una fuerte adicción. Actualmente, la codeína éter metílico de la morfina se usa en medicamentos contra la tos.

8.1.4.5.2 COLORANTES

Hasta mediados del siglo XIX los colorantes empleados eran exclusivamente de origen natural. Con el tiempo, se ha logrado obtener artificialmente la mayoría de estas sustancias y, es así como, en la actualidad se dispone de una increíble oferta de colorantes sintéticos.

✓ Colorantes naturales

Pueden ser de origen mineral, vegetal o animal. Entre los colorantes vegetales, algunos ejemplos son: la **alizarina**, extraída de la raíz de la *Rubia tinctorum*, el **índigo** o **añil**, conocido en Egipto, hace 3500 años antes de Cristo., proviene de la *Indigofera tinctoria* y la **hemateína** y la **hematoxilina**, que se obtiene del *palo de campeche*. Algunos insectos como la cochinilla y moluscos como calamares y jibias son fuentes de colorantes animales, como el cochineal y el sepia, respectivamente.

✓ Colorantes sintéticos

- ✓ Químicamente, las aminas aromáticas se usan como materia prima fundamental en la preparación de colorantes sintéticos o artificiales. Muchos de ellos son derivados del alquitrán, como la alizarina artificial, el ácido pícrico, la anilina y los derivados de ésta, como los compuestos azoicos. Los colorantes sintéticos se clasifican en: **polares** (ácidos o básicos), **sustantivos** y “**al mordiente**”. Los primeros se adhieren a los materiales a través de interacciones iónicas, los sustantivos lo hacen por **adsorción**,

mientras que los últimos requieren de una sustancia adicional, llamada **mordiente**.

Los **nitro colorantes** son colorantes polares. Se trata de derivados nitrados o polinitrados de los fenoles, en los cuales uno de los sustituyentes está en posiciones orto o para. Pertenecen a este grupo el ácido pícrico, el amarillo de Martius.

Los **colorantes azoicos** son colorantes sustantivos y se caracterizan porque poseen el grupo funcional **azo** ($-N=N-$). Se producen a través de una reacción conocida como **diazoación**, en la cual, el ácido nitroso reacciona con la anilina, para formar una sal de diazonio. Para obtener el colorante, la sal de diazonio, debe reaccionar con otro compuesto aromático, por ejemplo, un fenol o una arilamina: El proceso de formación del grupo azo, se conoce como **copulación** y es una reacción característica de las sales de diazonio.

Los **colorantes al mordiente** no se fijan de manera estable a las fibras porque son demasiado solubles. Para salvar este obstáculo hay que tratarlos, cuando están en contacto con la tela, con sales de aluminio, hierro o estaño, tanino o ácido tartárico, entre otros. De esta manera se obtiene una laca insoluble formada por el colorante, el mordiente y la fibra. Uno de los colorantes aplicado de esta manera es la alizarina.

8.2 NITRILOS

Los **nitrilos** son compuestos nitrogenados que resultan de la unión de un radical alquílico con el grupo **nitrilo** $-C \equiv N$. También pueden

considerarse como derivados del primer miembro de la serie

denominado metanonitrilo o ácido cianhídrico $HC \equiv N$ por

sustitución del átomo de hidrógeno con diferentes radicales alquílicos o

arílicos $R-C \equiv N$ o $Ar-C \equiv N$. Estructuralmente el grupo

funcional nitrilo es similar al grupo carboxilo, por lo que los nitrilos son, con frecuencia, considerados como derivados de ácidos carboxílicos.

Esta similitud radica en que, en ambos casos, el carbono del grupo funcional presenta tres enlaces con un elemento más electronegativo, como el oxígeno, en el grupo carboxilo y el nitrógeno, en el nitrilo:

8.2.1 NOMENCLATURA

Los nitrilos se nombran anteponiendo a la palabra nitrilo el nombre del hidrocarburo del cual provienen.

Por ejemplo: propano nitrilo $CH_3-CH_2-C \equiv N$. Nota que el nombre del hidrocarburo incluye el carbono del grupo funcional. También se pueden nombrar como derivados del cianuro.

8.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Los nitrilos de bajo y mediano peso molecular son líquidos incoloros de olor aromático, los términos superiores son sólidos cristalinos. Los primeros miembros de la serie son solubles en agua, los demás lo son en alcohol y éter.

8.2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

El grupo nitrilo, al igual que el carboxilo, es polar, con un delta positivo cerca del carbono y un delta negativo alrededor del nitrógeno.

Esta circunstancia hace que el carbono se comporte como un electrófilo y por consiguiente, los nitrilos suelen intervenir en reacciones de adición nucleofílica.

8.2.3.1 REACCIONES DE LOS NITRILOS

A continuación se mostraran algunas reacciones características de los nitrilos.

Hidrólisis: la hidrólisis de los nitrilos conduce a la formación inicial de amidas y luego de ácidos carboxílicos. En este caso se desprende amoniaco como producto secundario. La reacción ocurre en medio ácido o básico. Controlando las condiciones es posible aislar la amina antes de que la hidrólisis progrese hasta la formación del ácido.

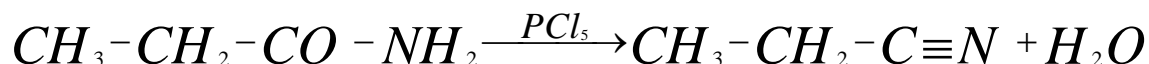
Reducción o hidrogenación: los nitrilos se pueden someter a una hidrogenación catalítica en presencia de hidruro de aluminio y litio (LiAlH_4). El producto de esta reacción es una amina primaria con pequeñas proporciones de aminas secundaria y terciaria. Cuando la hidrogenación es suave, se forma un aldehído y se libera amoniaco.

Reacción con reactivos de Grignard: en este caso, el radical —R del reactivo de Grignard actúa como nucleófilo, adicionándose al carbono del grupo nitrilo. El agua proporciona el oxígeno necesario para la formación del grupo carbonilo de la cetona resultante.

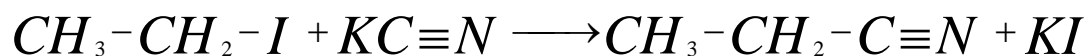
8.2.3.2 MÉTODOS DE PREPARACIÓN

Existen dos métodos para obtener nitrilos. En uno de ellos no hay modificación del número de átomos de carbono presentes en la molécula, mientras que en el otro sí.

Deshidratación de amidas: en este caso **no hay modificación del número de carbonos**. Como agentes de deshidratación se pueden emplear el Pentóxido o el pentacloruro de fósforo, según la reacción:



A partir de halogenuros de alquilo: los halogenuros de alquilo pueden reaccionar con cianuro de potasio o de sodio, produciendo nitrilos. La reacción ocurre en solución alcalina, a la temperatura de ebullición:



9 NOMENCLATURA INORGÁNICA

NOMBRE	SIMBOLO	FORMA DE ESCRITURA
<u>Actinio</u>	Ac	A mayúscula con c minúscula
<u>Aluminio</u>	Al	A mayúscula con l minúscula
<u>Americio</u>	Am	A mayúscula con m minúscula
<u>Antimonio</u>	Sb	S mayúscula con b minúscula
<u>Argón</u>	Ar	A mayúscula con r minúscula
<u>Arsénico</u>	As	A mayúscula con s minúscula
<u>Ástato</u>	At	A mayúscula con t minúscula
<u>Azufre</u>	S	S mayúscula
<u>Bario</u>	Ba	B mayúscula con a minúscula
<u>Berilio</u>	Be	B mayúscula con e minúscula
<u>Bismuto</u>	Bi	B mayúscula con i minúscula
<u>Boro</u>	B	B mayúscula
<u>Bromo</u>	Br	B mayúscula con r minúscula
<u>Calcio</u>	Ca	C mayúscula con a minúscula
<u>Carbono</u>	C	C mayúscula
<u>Cerio</u>	Ce	C mayúscula con e minúscula
<u>Cesio</u>	Cs	C mayúscula con s minúscula
<u>Cloro</u>	Cl	C mayúscula con l minúscula

<u>Cobalto</u>	Co	C mayúscula con o minúscula
<u>Cobre</u>	Cu	C mayúscula con u minúscula
<u>Cromo</u>	Cr	C mayúscula con r minúscula
<u>Escandio</u>	Sc	S mayúscula con c minúscula
<u>Estaño</u>	Sn	S mayúscula con n minúscula
<u>Estroncio</u>	Sr	S mayúscula con r minúscula
<u>Flúor</u>	F	F mayúscula
<u>Fósforo</u>	P	P mayúscula
<u>Francio</u>	Fr	F mayúscula con r minúscula
<u>Galio</u>	Ga	G mayúscula con a minúscula
<u>Germanio</u>	Ge	G mayúscula con e minúscula
<u>Hafnio</u>	Hf	H mayúscula con f minúscula
<u>Helio</u>	He	H mayúscula con e minúscula
<u>Hidrógeno</u>	H	H mayúscula
<u>Hierro</u>	Fe	F mayúscula con e minúscula
<u>Holmio</u>	Ho	H mayúscula con o minúscula
<u>Indio</u>	In	I mayúscula con n minúscula
<u>Iodo</u>	I	I mayúscula
<u>Iridio</u>	Ir	I mayúscula con r minúscula
<u>Itrio</u>	Y	Y mayúscula

<u>Kriptón</u>	Kr	K mayúscula con r minúscula
<u>Lantano</u>	La	L mayúscula con a minúscula
<u>Lawrencio</u>	Lr	L mayúscula con r minúscula
<u>Litio</u>	Li	L mayúscula con i minúscula
<u>Lutecio</u>	Lu	L mayúscula con u minúscula
<u>Magnesio</u>	Mg	M mayúscula con g minúscula
<u>Manganeso</u>	Mn	M mayúscula con n minúscula
<u>Mendelevio</u>	Md	M mayúscula con d minúscula
<u>Mercurio</u>	Hg	H mayúscula con g minúscula
<u>Molibdeno</u>	Mo	M mayúscula con o minúscula
<u>Neodimio</u>	Nd	N mayúscula y d minúscula
<u>Neón</u>	Ne	N mayúscula con e minúscula
<u>Neptunio</u>	Np	N mayúscula con p minúscula
<u>Niobio</u>	Nb	N mayúscula con b minúscula
<u>Níquel</u>	Ni	N mayúscula con i minúscula
<u>Nitrógeno</u>	N	N mayúscula
<u>Nobelio</u>	No	N mayúscula con o minúscula
<u>Oro</u>	Au	A mayúscula con u minúscula
<u>Osmio</u>	Os	O mayúscula con s minúscula
<u>Oxígeno</u>	O	O mayúscula

<u>Paladio</u>	Pd	P mayúscula con d minúscula
<u>Plata</u>	Ag	A mayúscula con g minúscula
<u>Platino</u>	Pt	P mayúscula con t minúscula
<u>Plomo</u>	Pb	P mayúscula con b minúscula
<u>Plutonio</u>	Pu	P mayúscula con u minúscula
<u>Polonio</u>	Po	P mayúscula con o minúscula
<u>Potasio</u>	K	K mayúscula
<u>Radio</u>	Ra	R mayúscula con a minúscula
<u>Radón</u>	Rn	R mayúscula con n minúscula
<u>Renio</u>	Re	R mayúscula con e minúscula
<u>Rodio</u>	Rh	R mayúscula con h minúscula
<u>Rubidio</u>	Rb	R mayúscula con b minúscula
<u>Rutenio</u>	Ru	R mayúscula con u minúscula
<u>Rutherfordio</u>	Rf	R mayúscula con f minúscula
<u>Samario</u>	Sm	S mayúscula con m minúscula
<u>Selenio</u>	Se	S mayúscula con e minúscula
<u>Sílice</u>	Si	S mayúscula con i minúscula
<u>Sodio</u>	Na	N mayúscula con a minúscula
<u>Talio</u>	Tl	T mayúscula con l minúscula
<u>Tantalio</u>	Ta	T mayúscula con a minúscula

<u>Tecnecio</u>	Tc	T mayúscula con c minúscula
<u>Teluro</u>	Te	T mayúscula con e minúscula
<u>Titano</u>	Ti	T mayúscula con e minúscula
<u>Torio</u>	Th	T mayúscula con h minúscula
<u>Uranio</u>	U	U mayúscula
<u>Vanadio</u>	V	V mayúscula
<u>Wolframio</u>	W	W mayúscula
<u>Xenón</u>	Xe	X mayúscula con e minúscula
<u>Zinc</u>	Zn	Z mayúscula con n minúscula
<u>Zirconio</u>	Zr	Z mayúscula con r minúscula
Cloruro de Sodio	NaCl	Símbolo del sodio con del cloro
Ácido Clorhídrico	HCl	Símbolo del hidrógeno con del cloro
Ácido Sulfúrico	H₂SO₄	Símbolo del hidrógeno subíndice 2, símbolo del azufre con símbolo del oxígeno subíndice 4
Cloruro de Sodio	NaCl	Símbolo del sodio con del cloro
Ácido Clorhídrico	HCl	Símbolo del hidrógeno con del cloro
Ácido Sulfúrico	H₂SO₄	Símbolo del hidrógeno subíndice 2, símbolo del azufre con símbolo del oxígeno subíndice 4

Hidróxido Ferroso	Fe(OH)₂	Símbolo del hierro entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2
Hidróxido Sodio	NaOH	Símbolo del sodio símbolo del oxígeno y símbolo de hidrógeno
Hidróxido Aluminio	Al(OH)₃	Símbolo del aluminio entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 3
Hidróxido Mercúrico	Hg(OH)₂	Símbolo del mercurio entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2
Hidróxido Potasio	KOH	Símbolo del potasio, símbolo del oxígeno y símbolo de hidrógeno
Hidróxido Plúmbico	Pb(OH)₄	Símbolo del plomo entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 4
Hidróxido de berilio	Be(OH)₂	Símbolo del berilio entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2
Hidróxido de cinc	Zn(OH)₂	Símbolo del zinc entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2
Hidróxido Cuproso	CuOH	Símbolo del cobre, símbolo del oxígeno y símbolo de hidrógeno
Hidróxido Cobáltico	Co(OH)₃	Símbolo del cobalto entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 3
Hidróxido de bario	Ba(OH)₂	Símbolo del bario entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2
Hidróxido Auroso	AuOH	Símbolo del oro, símbolo del oxígeno y símbolo de hidrógeno
Hidróxido Platínico	Pt(OH)₄	Símbolo del platino entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 4
Hidróxido de calcio	Ca(OH)₂	Símbolo del calcio entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2

Hidróxido Áurico	Au(OH)₃	Símbolo del oro entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 3
Hidróxido Plumboso	Pb(OH)₂	Símbolo del plomo entre paréntesis O H y fuera de él subíndice 2
Hidróxido argéntico	AgOH	Símbolo de la plata, símbolo del oxígeno y símbolo de hidrógeno
Ácido nitroso	HNO₂	Símbolo del hidrógeno, símbolo del nitrógeno, símbolo del oxígeno con subíndice 2
Ácido brómico	HBrO₃	Símbolo del hidrógeno, símbolo del Bromo, símbolo del oxígeno con subíndice 3
Ácido perclórico	HClO₄	Símbolo del hidrógeno, símbolo del cloro, símbolo del oxígeno con subíndice 4
Ácido hipocloroso	HClO	Símbolo del hidrógeno, símbolo del cloro, símbolo del oxígeno
Ácido sulfuroso	H₂SO₃	Símbolo del hidrógeno, símbolo del azufre, símbolo del oxígeno con subíndice 3
Ácido sulfúrico	H₂SO₄	Símbolo del hidrógeno, símbolo del azufre, símbolo del oxígeno con subíndice 4
Ácido hiposulfuroso	H₂SO₂	Símbolo del hidrógeno, símbolo del azufre, símbolo del oxígeno con subíndice 2
Óxido de sodio	Na₂O	Símbolo del sodio con subíndice dos y símbolo del oxígeno

Óxido de magnesio	MgO	Símbolo del magnesio con símbolo del oxígeno
Óxido de calcio	CaO	Símbolo del calcio con símbolo del oxígeno
Óxido de litio	Li₂O	Símbolo del litio con subíndice dos con símbolo del oxígeno
Óxido de plata	Ag₂O	Símbolo de la plata con subíndice 2 y el símbolo del oxígeno
Óxido de hierro(II)	FeO	Símbolo del hierro con símbolo del oxígeno
Óxido de hierro(III)	Fe₂O₃	Símbolo del hierro con subíndice 2 con símbolo del oxígeno con subíndice 3
Óxido de cromo(VI)	CrO₃	Símbolo del cromo seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 3
Óxido de titanio(IV)	TiO₂	Símbolo del titanio seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 2
Óxido de cobre(I)	Cu₂O	Símbolo del cobre con subíndice dos y símbolo del oxígeno
Óxido de cobre(II)	CuO	Símbolo del cobre y símbolo del oxígeno
Óxido de cinc	ZnO	Símbolo del cinc y símbolo del oxígeno
Oxido hipocloroso	Cl₂O	Símbolo del cloro con subíndice dos y símbolo del oxígeno
Oxido cloroso	Cl₂O₃	Símbolo del cloro con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 3
Oxido clórico	Cl₂O₅	Símbolo del cloro con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 5

Oxido perclórico	Cl₂O₇	Símbolo del cloro con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 7
Oxido hiposulfuroso	SO	Símbolo del azufre y símbolo del oxígeno
Oxido sulfuroso	SO₂	Símbolo del azufre seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 2
Oxido sulfúrico	SO₃	Símbolo del azufre seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 3
Dióxido de carbono	CO₂	Símbolo del carbono seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 2
	CO	Símbolo del carbón y símbolo del oxígeno
Dióxido de silicio	SiO₂	Símbolo del silicio seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 2
Monóxido de di yodo	I₂O	Símbolo del yodo con subíndice dos y símbolo del oxígeno
Pentóxido de di yodo	I₂O₅	Símbolo del yodo con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 5
Trióxido de di nitrógeno	N₂O₃	Símbolo del nitrógeno con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 3
Monóxido de di nitrógeno	N₂O	Símbolo del nitrógeno con subíndice dos y símbolo del oxígeno
Pentóxido de di nitrógeno	N₂O₅	Símbolo del nitrógeno con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 5
Trióxido de manganeso	MnO₃	Símbolo del manganeso seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 3

Dióxido de manganeso	MnO₂	Símbolo del manganeso seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 2
Monóxido de di fósforo	P₂O	Símbolo del fosforo con subíndice dos y símbolo del oxígeno
Trióxido de di fósforo	P₂O₃	Símbolo del fosforo con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 3
Pentóxido de di fósforo	P₂O₅	Símbolo del fosforo con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 5
Trióxido de selenio	SeO₃	Símbolo del selenio seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 3
Trióxido de arsénico	As₂O₃	Símbolo del arsénico con subíndice 2 y símbolo del oxígeno con subíndice 3
Sacarosa	C₁₂H₂₂O₁₁	Símbolo del carbono con subíndice 12, seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice 22 seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 11
glucosa	C₆H₁₂O₆	Símbolo del carbono con subíndice 6, seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice 12 seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 6
Metano	CH₄	Símbolo del carbono seguido del símbolo del hidrógeno, seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 4
Peróxido de hidrógeno	H₂O₂	Símbolo del hidrogeno con subíndice 2 seguido del símbolo del oxígeno con subíndice 2
Agua	H₂O	Símbolo del hidrogeno con subíndice 2 seguido del símbolo del oxígeno

Bromo diatómico	Br₂	Símbolo del bromo con subíndice 2
Hidrógeno diatómico	H₂	Símbolo del hidrógeno con subíndice 2
Nitrógeno diatómico	N₂	Símbolo del nitrógeno con subíndice 2
Oxígeno diatómico	O₂	Símbolo del oxígeno con subíndice 2
Flúor diatómico	F₂	Símbolo del flúor con subíndice 2
Cloro diatómico	Cl₂	Símbolo del cloro con subíndice 2
Yodo diatómico	I₂	Símbolo del yodo con subíndice 2
Número Atómico	Z	Z mayúscula
Masa Atómica	A	A mayúscula
Número de Neutrones	N	N mayúscula
Unidad de Masa Atómica	u.m.a	U minúscula, m minúscula y a minúscula
Kilogramos	Kg	K mayúscula seguida de una g minúscula.
Kilo calorías	Kcal	K mayúscula y la palabra cal en minúscula
Grados centígrados	°C	El símbolo de grados seguido de la letra C mayúscula
Grados Fahrenheit	°F	El símbolo de grados seguido de la letra C mayúscula
Gramos	g	g minúscula

Borato de sodio	Na₃BO₃	Símbolo del sodio subíndice tres, seguido del símbolo del boro y el símbolo del oxígeno con subíndice tres
Bromato de potasio	KBrO₃	Símbolo del potasio seguido del símbolo del bromo y el símbolo oxígeno con subíndice tres
Bromato Ferroso	Fe(BrO₃)₂	Símbolo del hierro, seguido de paréntesis dentro del cual va el símbolo del bromo y el símbolo del oxígeno con subíndice dos, fuera del paréntesis el subíndice dos.
Bromito de bario	Ba(BrO₂)₂	Símbolo del bario seguido de u paréntesis que contiene el símbolo del bromo y el símbolo del oxígeno él cual lleva subíndice dos, y fuera del paréntesis el subíndice dos
Bromito de litio	LiBrO₂	Símbolo de litio seguido delo símbolo del bromo y el símbolo del oxígeno con subíndice dos.
Bromuro de magnesio	MgBr₂	Símbolo del magnesio seguido del símbolo de bromo con subíndice dos
Bromuro de sodio	NaBr	Símbolo del sodio seguido del símbolo del bromo
Carbonato de bario	BaCO₃	Símbolo del bario seguido del símbolo del carbono y el oxígeno él cual tiene un subíndice tres.

Carbonato de berilio	BeCO₃	Símbolo del berilio seguido del símbolo del carbono y el oxígeno el cual tiene subíndice tres.
Carbonato de calcio	CaCO₃	Símbolo del calcio seguido del símbolo del carbono y el oxígeno +el cual lleva subíndice tres.
Carbonato de litio	Li₂CO₃	Símbolo del litio seguido del símbolo del carbono y el oxígeno con subíndice tres.
Carbonato de magnesio	MgCO₃	Símbolo del magnesio seguido del símbolo del carbono y el oxígeno con subíndice tres.
Carbonato de potasio	K₂CO₃	Símbolo del potasio seguido del símbolo del carbono y el oxígeno con subíndice tres.
Carbonato de sodio	Na₂CO₃	Símbolo del sodio seguido del símbolo del carbono y el oxígeno con subíndice tres.
Carbonato Férrico	Fe₂(CO₃)₃	Símbolo del hierro con subíndice dos seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del carbono y el oxígeno con subíndice tres, y fuera del paréntesis se ubica el subíndice tres.
Carbonato Ferroso	FeCO₃	Símbolo del hierro seguido del símbolo del carbono y el oxígeno con subíndice tres.
Carbonato ácido de potasio	KHCO₃	Símbolo del potasio seguido del símbolo del hidrógeno luego el del

		carbono y por último el oxígeno con subíndice tres.
Carbonato ácido de sodio	NaHCO₃	Símbolo del sodio seguido del símbolo del hidrógeno luego el del carbono y por último el oxígeno con subíndice tres.
Clorato de potasio	KClO₃	Símbolo del potasio seguido del símbolo del cloro y el oxígeno con subíndice tres.
Clorato de sodio	NaClO₃	Símbolo del sodio seguido del símbolo del cloro y el oxígeno con subíndice tres.
Clorito de litio	LiClO₂	Símbolo del litio seguido del símbolo del cloro y el oxígeno con subíndice dos.
Clorito de sodio	NaClO₂	Símbolo del sodio seguido del símbolo del cloro y el oxígeno con subíndice dos.
Cloruro Cúprico	CuCl₂	Símbolo del cobre seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro Cuproso	CuCl	Símbolo del cobre seguido del símbolo del cloro
Cloruro de bario	BaCl₂	Símbolo del bario seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro de calcio	CaCl₂	Símbolo del calcio seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro de cinc	ZnCl₂	Símbolo del cinc seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.

Cloruro de litio	LiCl	Símbolo del litio seguido del símbolo del cloro
Cloruro de magnesio	MgCl₂	Símbolo del magnesio seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro de plata	AgCl	Símbolo de la plata seguido del símbolo del cloro
Cloruro de potasio	KCl	Símbolo del potasio seguido del símbolo del cloro
Cloruro de sodio	NaCl	Símbolo del sodio seguido del símbolo del cloro
Cloruro Férrico	FeCl₃	Símbolo del hierro seguido del símbolo del cloro con subíndice tres.
Cloruro Ferroso	FeCl₂	Símbolo del hierro seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro Manganoso	MnCl₂	Símbolo del manganeso seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro mercúrico	HgCl₂	Símbolo del mercurio seguido del símbolo del cloro con subíndice dos.
Cloruro Mercurioso	HgCl	Símbolo del mercurio seguido del símbolo del cloro.
Cromato de potasio	K₂CrO₄	Símbolo del potasio con subíndice dos, seguido del símbolo del cromo y el símbolo del oxígeno con subíndice cuatro.
Dicromato de potasio	K₂Cr₂O₇	Símbolo del potasio con subíndice dos, seguido del símbolo del cromo con subíndice dos y el símbolo del oxígeno con subíndice siete.

Fluoruro de potasio	KF	Símbolo del potasio seguido del símbolo del flúor.
Fluoruro de sodio	NaF	Símbolo del sodio seguido del símbolo del flúor.
Hipobromito de calcio	Ca(BrO)₂	Símbolo del calcio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del bromo y el oxígeno, y fuera del paréntesis el subíndice dos.
Hipobromito de potasio	KBrO	Símbolo del potasio seguido del símbolo del bromo y del oxígeno.
Hipoclorito de potasio	KClO	Símbolo del potasio seguido del símbolo del cloro y el oxígeno.
Hipoclorito de sodio	NaClO	Símbolo del sodio seguido del símbolo del cloro y el oxígeno.
Hipoyodito Cúprico	Cu(IO)₂	Símbolo del cobre seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del yodo y el oxígeno, y fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Hipoyodito de aluminio	Al(IO)₃	Símbolo del aluminio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del yodo y el oxígeno, y fuera de, paréntesis el subíndice tres.
Metafosfato de sodio	NaPO₃	Símbolo del sodio seguido del símbolo del fósforo y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres.
Metafosfito de sodio	NaPO₂	Símbolo del sodio seguido del símbolo del fósforo y el oxígeno el cual tiene un subíndice dos.

Nitrato Cúprico	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Símbolo del cobre seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Nitrato Cuproso	CuNO_3	Símbolo del cobre seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres.
Nitrato de aluminio	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	Símbolo del aluminio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice tres.
Nitrato de bario	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	Símbolo del bario seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Símbolo del calcio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Nitrato de cinc	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	Símbolo del cinc seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.

Nitrato de litio	LiNO₃	Símbolo del litio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres.
Nitrato de magnesio	Mg(NO₃)₂	Símbolo del magnesio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Nitrato de plata	AgNO₃	Símbolo de la plata seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres.
Nitrato de potasio	KNO₃	Símbolo del potasio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres.
Nitrato de sodio	NaNO₃	Símbolo del sodio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres.
Nitrato Férrico	Fe(NO₃)₃	Símbolo del hierro seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice tres.
Nitrato Ferroso	Fe(NO₃)₂	Símbolo del hierro seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.

Nitrato Mercúrico	Hg(NO₃)₂	Símbolo del mercurio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice tres. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Nitrato Mercurioso	HgNO₃	Símbolo del mercurio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene subíndice tres.
Nitrito de calcio	Ca(NO₂)₂	Símbolo del calcio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice dos. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Nitrito de litio	LiNO₂	Símbolo del litio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene subíndice dos.
Nitrito de potasio	KNO₂	Símbolo del potasio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene subíndice dos.
Nitrito de sodio	NaNO₂	Símbolo del sodio seguido del símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene subíndice dos.
Nitrito Férrico	Fe(NO₂)₃	Símbolo del hierro seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del nitrógeno y el oxígeno el cual tiene un subíndice dos. Fuera de, paréntesis el subíndice tres.

Ortofosfato de calcio	Ca₃(PO₄)₂	Símbolo del calcio con subíndice tres seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del fósforo y el oxígeno el cual tiene un subíndice cuatro. Fuera de, paréntesis el subíndice dos.
Ortofosfato de sodio	Na₃PO₄	Símbolo del sodio con subíndice tres seguido del símbolo del fósforo y el oxígeno con subíndice cuatro.
Ortofosfato férrico	FePO₄	Símbolo del hierro seguido del símbolo del fósforo y el oxígeno con subíndice cuatro.
Ortofosfato ácido de sodio	Na₂HPO₄	Símbolo del sodio con subíndice dos seguido del símbolo del hidrógeno, fósforo y el oxígeno con subíndice cuatro.
Ortofosfato biácido de sodio	NaH₂PO₄	Símbolo del sodio seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice dos, luego el símbolo del fósforo y el oxígeno con subíndice cuatro.
Ortofosfito de calcio	Ca₃(PO₃)₂	Símbolo del calcio con subíndice tres entre paréntesis el símbolo del fósforo y el oxígeno el cual tiene subíndice tres, fuera del paréntesis el subíndice dos.
Ortofosfito de sodio	Na₃PO₃	Símbolo del sodio seguido con subíndice tres seguido del símbolo del fósforo y el oxígeno con subíndice tres.

Ortofosfito ácido de sodio	Na₂HPO₃	Símbolo del sodio con subíndice dos, seguido del símbolo del hidrógeno, luego el símbolo del fósforo y el oxígeno con subíndice tres.
Ortofosfito biácido de sodio	NaH₂PO₃	Símbolo del sodio seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice dos, luego el símbolo del fósforo y el oxígeno con subíndice tres.
Perbromato Mercúrico	Hg(BrO₄)₂	Símbolo del mercurio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del bromo con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis el subíndice dos.
Perbromato Mercurioso	HgBrO₄	Símbolo del mercurio seguido del símbolo del bromo con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Perclorato de calcio	Ca(ClO₄)₂	Símbolo del calcio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del cloro con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis el subíndice dos.
Perclorato de sodio	NaClO₄	Símbolo del sodio seguido del símbolo del cloro con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Permanganato de potasio	KMnO₄	Símbolo del potasio seguido del símbolo del manganeso con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.

Peryodato de calcio	Ca(IO₄)₂	Símbolo del calcio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del yodo con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis el subíndice dos.
Peryodato de litio	LiIO₄	Símbolo del litio seguido del símbolo del yodo con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Pirofosfato de sodio	Na₄P₂O₇	Símbolo del sodio con subíndice cuatro, seguido del símbolo del fosforo con subíndice dos y el símbolo del oxígeno con subíndice siete.
Pirofosfito de sodio	Na₄P₂O₅	Símbolo del sodio con subíndice cuatro, seguido del símbolo del fosforo con subíndice dos con el símbolo del oxígeno con subíndice cinco.
Sulfato Cúprico	CuSO₄	Símbolo del cobre seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato Cuproso	Cu₂SO₄	Símbolo del cobre con subíndice dos seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de aluminio	Al₂(SO₄)₃	Símbolo del aluminio con subíndice dos seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis el subíndice tres.

Sulfato de bario	BaSO₄	Símbolo del bario seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de berilio	BeSO₄	Símbolo del berilio seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de calcio	CaSO₄	Símbolo del calcio seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de cinc	ZnSO₄	Símbolo del cinc seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de litio	Li₂SO₄	Símbolo del litio con subíndice dos, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de magnesio	MgSO₄	Símbolo del magnesio seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de potasio	K₂SO₄	Símbolo del potasio con subíndice dos, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato de sodio	Na₂SO₄	Símbolo del sodio con subíndice dos, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato Férrico	Fe₂(SO₄)₃	Símbolo del hierro con subíndice dos, seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del azufre con el oxígeno el

		cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis subíndice tres.
Sulfato Ferroso	FeSO₄	Símbolo del hierro, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato Plúmbico	Pb(SO₄)₂	Símbolo del plomo, seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis subíndice dos.
Sulfato Plumboso	PbSO₄	Símbolo del hierro, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato Stánico	Sn(SO₄)₂	Símbolo del estaño, seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro. Fuera del paréntesis subíndice dos.
Sulfato Stanoso	SnSO₄	Símbolo del estaño, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfato ácido de sodio	NaHSO₄	Símbolo del sodio, seguido del símbolo del hidrógeno, luego el símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice cuatro.
Sulfito de sodio	Na₂SO₃	Símbolo del sodio con subíndice dos, seguido del símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice tres.

Sulfito ácido de sodio	NaHSO₃	Símbolo del sodio, seguido del símbolo del hidrógeno, luego el símbolo del azufre con el oxígeno el cual tiene subíndice tres.
Sulfuro de cinc	ZnS	Símbolo del cinc seguido del símbolo del azufre.
Sulfuro de potasio	K₂S	Símbolo del potasio con subíndice dos seguido del símbolo del azufre.
Sulfuro de sodio	Na₂S	Símbolo del sodio con subíndice dos seguido del símbolo del azufre.
Sulfuro Férrico	Fe₂S₃	Símbolo del hierro con subíndice dos seguido del símbolo del azufre con subíndice tres.
Sulfuro Ferroso	FeS	Símbolo del hierro seguido del símbolo del azufre.
Sulfuro ácido de sodio	NaHS	Símbolo del sodio seguido del símbolo del hidrógeno con del azufre.
Yodato de potasio	KIO₃	Símbolo del potasio seguido del símbolo del yodo con el oxígeno él cual tiene subíndice tres.
Yodato férrico	Fe(IO₃)₃	Símbolo del hierro seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del yodo con el oxígeno él cual tiene subíndice tres. Fuera del paréntesis el subíndice tres.
Yodito de magnesio	Mg(IO₂)₂	Símbolo del magnesio seguido de un paréntesis que contiene el símbolo del yodo con el oxígeno él cual tiene

		subíndice dos. Fuera del paréntesis el subíndice dos.
Yodito de sodio	NaIO₂	Símbolo del sodio seguido del símbolo del yodo con el oxígeno el cual tiene subíndice dos.
Yoduro cuproso	CuI	Símbolo del cobre seguido del símbolo del yodo.
Yoduro de potasio	KI	Símbolo del potasio seguido del símbolo del yodo.
Hidracina	N₂H₄	Símbolo del nitrógeno con subíndice dos con el símbolo del hidrógeno con subíndice cuatro.
Tetróxido de dinitrógeno	N₂O₄	Símbolo del nitrógeno con subíndice dos con el símbolo del oxígeno con subíndice cuatro.
Trisulfuro de tetra fósforo	P₄S₃	Símbolo del fósforo con subíndice cuatro seguido del símbolo del azufre con subíndice tres.
Tricloruro de fósforo	PCl₃	Símbolo del fósforo seguido del símbolo del cloro con subíndice tres.
Di fluoruro de plomo	PbF₂	Símbolo del plomo seguido del símbolo de flúor con subíndice dos.
acetileno	C₂H₂	Símbolo del carbono con subíndice dos seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice dos.

Benceno	C₆H₆	Símbolo del carbono con subíndice seis seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice seis.
propeno	C₃H₆	Símbolo del carbono con subíndice tres seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice seis.
Ácido acetil salícilico	C₉H₈O₄	Símbolo del carbono con subíndice nueve seguido del símbolo del hidrógeno con subíndice ocho con el símbolo del oxígeno con subíndice cuatro.
Trisulfuro de tetra fosforo	P₄S₃	Símbolo del fosforo con subíndice cuatro seguido del símbolo de azufre con subíndice tres.
Tricloruro de fosforo	PCl₃	Símbolo del fosforo seguido del símbolo del cloro con subíndice tres.
Di fluoruro de plomo	PbF₂	Símbolo del plomo seguido del símbolo del flúor con subíndice dos.

10 BIBLIOGRAFÍA

- ✓ R. T. Morrison. R. K. Boyd. (1997) Química Organica. New Jersey 7ª Edición. Editorial: Prentice Hall.
- ✓ W. R. Peterson (1993). Formulación y Nomenclatura de Química Orgánica". Barcelona 15ª Edición. Editorial Eunibar.
- ✓ C, Mondragón. L, Peña. (2010).hipertexto química 2.bogota. Editorial Santillana.
- ✓ J.macmurry. (2012). Química organanica. Mexico 8ª. Edición. Editorial Cengage Learning.