

PRÁCTICAS DE QUÍMICA INDUSTRIAL

4º CURSO DE CC. QUÍMICAS



UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

INDICE

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES COMBUSTIBLES (CARBONES)

Introducción 5

Objetivo 11

Procedimiento 11

Resultados experimentales 16

Tratamiento de resultados 16

Discusión de resultados 18

Conclusiones 20

Bibliografía 20

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE YODO DE UNA GRASA

Introducción 22

Objetivo 24

Procedimiento 24

Resultados experimentales 24

Tratamiento de resultados 27

Discusión de resultados 28

Conclusiones 29

Bibliografía 30

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN DE UNA GRASA

Introducción 32

Objetivo 33

Procedimiento 33

Resultados experimentales 33

Tratamiento de resultados 35

Discusión de resultados 37

Conclusiones 37

Bibliografía 37

CAUSTIFICACIÓN DEL Na_2CO_3

Introducción 39

Objetivo 40

Procedimiento 40

Resultados experimentales 40

Tratamiento de resultados 43

Discusión de resultados 44

Conclusiones 45

Bibliografía 45

DETERMINACIÓN DE LA D.Q.O.

Introducción 47

Objetivo 51

Procedimiento 51

Resultados experimentales 52

Tratamiento de resultados 52

Discusión de resultados 52

Conclusiones 54

Bibliografía 54

IMPACTADOR EN CASCADA

Introducción 56

Objetivo 61

Procedimiento 61

Resultados experimentales 62

Tratamiento de resultados 63

Discusión de resultados 66

Conclusiones 66

Bibliografía 68

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES

COMBUSTIBLES (CARBONES)

INTRODUCCIÓN

Se conoce con la denominación de *carbón* a unas rocas muy particulares por su naturaleza orgánica, resultantes de la descomposición lenta de grandes cantidades de materia vegetal que vivió en épocas geológicas pretéritas. En el periodo carbonífero fueron sepultadas y anegadas por los movimientos geológicos de grandes masas vegetales. Por acciones químicas y los efectos de presión y temperatura, a lo largo de grandes intervalos de tiempo, se transformaron en los distintos tipos de carbón hoy explotados .

Los nombres y características físicas más destacadas en los distintos tipos de carbones, citados de mayor a menor grado de carbonización, son :

- **TURBAS:** en su estructura se distinguen: tallos, hojas, raíces y cortezas con pocas alteraciones químicas. La masa se comporta como un gel de características ácidas y por pirogenación hasta de 1000°C deja un residuo negro y pulverulento (coque). Las turbas no se suelen considerar como carbones. Industrialmente tienen escaso interés.
- **LIGNITOS:** Son de color pardo. Tienen un alto porcentaje de productos volátiles y dan reacción ácida con el agua. Están constituidos por un conjunto macroscópicamente amorfo en el que la masa ha perdido la elasticidad de la turba y su residuo de destilación es menos negro que el de ésta.
- **HULLAS:** Son carbones negros y brillantes. Por destilación dejan un coque aglomerado de alta calidad empleado en procesos metalúrgicos. Son los carbones por excelencia típicos.
- **ANTRACITAS:** Tienen color negro brillante y baja proporción de volátiles. Se cree que son los carbones más antiguos porque tienen el más alto contenido en carbono.

La siguiente tabla expone alguna de las características medias de los tipos de carbón mencionados y las materias de que proceden .

Materia	C(%)	H(%)	Otros(%)	Potencia Calorífica (kcal/mol)	Materias Volátiles (%)	Peso Específico
Azúcares	42.0	6.5	51.5			
Celulosa	44.5	6.2	4.4	4160		
Madera	50.0	6.0	44.0	4760	75	1.2
Turba	57.0	6.0	37.0	5400	65	1.2
Lignito	72.0	5.0	23.0	6700	55	1.2
Hulla	87.0	5.0	8.0	8700	25	1.3
Antracita	96.0	2.0	2.0	8400	5	1.4

En cuanto al proceso por el que se han formado los distintos carbones, *Hickling* cree que existe continuidad en la formación y que las diferencias entre las distintas clases se deben al tiempo que ha durado su proceso de carbonización. Se tendrá entonces, de más joven a más viejo, esta serie:

Madera Turba Lignito Hullas Antracita

En la que aumenta el contenido en carbono y disminuye el de hidrógeno y oxígeno, lo que sería la traducción del complejo proceso de envejecimiento.

Hilt, por su parte, ha hecho notar que en un mismo yacimiento la carbonización se acentúa con la profundidad al ser más intensos los efectos de presión y temperatura.

Para *Mackenzie-Taylor* cada especie carbonosa es el fin de un proceso diferente. Partiendo de la turba original turba vieja y antracita o de hullas y lignitos, por otra parte, según las condiciones de carbonización .

Sin techo, aerobiamente, y en condiciones ácidas, la turba inicial continúa envejeciendo; manteniendo un alto porcentaje de agua (90%) por lo que es poco aprovechable y sin interés desde el punto de vista de su beneficio químico. Si la roca almacén donde la turba fue sepultada es permeable, aluminosilicatos de calcio, se mantienen las condiciones ácidas y se forma el lignito, con pérdida de gases y agua de la turba de que procede, a través del techo que es permeable. Si la roca es impermeable, la descomposición es anaerobia y en condiciones alcalinas se forma la hulla

Las antracitas parecen haber sido formadas por una prolongada turbización con pérdida de metano y una posterior transformación anaerobia bajo techo alcalino con pérdida de O₂, CO₂ y H₂O.

MATERIA VEGETAL

Procesos anaerobios

Medio ácido.

Pérdida de CH₄

Mantenimiento del TURBA Cobertura por mat.

Régimen anterior. Sedimentarias.

TURBA VIEJA Persistencia de la acidez.

(Pobre en H₂) Pérdida de O₂, H₂O, CO₂.

Cobertura por mat. Condiciones alcalinas

Sedimentarias (condic. (Anaerobias).

Alcalinas, anaerobias).

ANTRACITA HULLAS LIGNITOS

[Esquema de la formación de carbones según Mackenzie–Taylor]

Las condiciones alcalinas se obtendrían por cambio de ion Ca²⁺ de las arcillas por el Na⁺ de las aguas salinas, el cual por posterior hidrólisis del complejo proporcionaría el NaOH necesario para la bituminación. Los suelos alcalinos son impermeables y permiten condiciones anaerobias. No así los ácidos, que no consienten estas condiciones, al menos en elevada proporción.

Cualitativamente, los carbones están formados principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. Excepto este último, la presencia de todos los elementos se explica por la composición de los vegetales originarios; para el azufre se distingue el de origen orgánico y el aportado por materias adventicias minerales que han impurificado el lecho de carbón durante su formación .

El *análisis cuantitativo* de los elementos se realiza por los métodos generales para la materia orgánica.

De mayor interés práctico es el denominado *análisis técnico* o *inmediato*. Se realiza determinando sucesivamente las pérdidas de peso que experimenta una muestra de carbón al calentarlo a temperaturas progresivamente crecientes. Así se obtienen los contenidos en humedad, volátiles, carbono fijado y cenizas. Es *humedad libre* la presente en el combustible después de secado al aire (105°C) sin estar asociada al carbón. Forman el grupo de los compuestos volátiles el agua combinada con el carbón, los gases absorbidos u ocluidos y los hidrocarburos e hidrógeno que aparecen por destilación hasta los 900°C. El residuo que queda después de perderse los volátiles es el carbono fijo más las cenizas. Este residuo se llama coque y su estructura responde a la base del carbón. La combustión del coque deja las cenizas como residuo. Las cenizas son materias térreas y ferruginosas; de sus características se sacan conclusiones de interés directo en el diseño y condiciones de funcionamiento de los hogares en los que ha de aprovecharse el carbón. Su fusibilidad importa especialmente, pues la ceniza fusible obliga a dispositivos especiales.

Del análisis del carbón se deduce empíricamente su potencia calorífica (Kcal/kg.). Dos fórmulas muy utilizadas para ello son las de *Doulong* y la *Gouthal* :

$$Q(\text{kcal/kg})=81c+290(h-o/8)+25s \text{ (Doulong)}$$

En la que **c**, **h**, **o** y **s** son los tantos por ciento en peso de carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre, respectivamente, del carbón seco. Se obtiene el poder calorífico inferior mediante la expresión:

$$Q(\text{kcal/kg})=82F+aV \text{ (Gouthal)}$$

Donde **F** es el tanto por ciento del carbono fijo y **V** el tanto por ciento de volátiles hallados en el análisis. El coeficiente **a** varía con la proporción (*V'*) de volátiles respecto de la materia combustible total, y tiene estos valores.

$V' = V/(v+F)$ (%)	A
5 – 15	130
15 – 30	100
35	95
40	80

Todas las determinaciones analíticas indicadas están normalizadas en la serie *UNE 32 000* de I. E. de Racionalización y Normalización.

Lermusiaux (1961) ha propuesto la siguiente clasificación, basada en el contenido en materias volátiles y teniendo en cuenta la calidad del coque producido (ambas características son fundamentales para definir la mejor aplicación de un carbón):

DENOMINACIÓN	MATERIAS VOLÁTILES %
Antracitas	5
Hullas magras	5 – 10
Hullas semigrasas	10 – 20
Hullas 3/4 grasas	20 – 30
Carbones grasos	30

Los investigadores del *Instituto del Carbón* (Oviedo, Zaragoza) han propuesto para las hullas seis grupos basados en la determinación de volátiles (calefacción en mufla eléctrica, 7 minutos a 900°C) y en el aspecto que presenta el carbón después de calentado (830°, 2.5 minutos); el hinchamiento y aglomeración del coque producido se compara con los perfiles de una tabla tipo numeradas de 1 a 9. Así se distinguen:

- **TIPO I:** Hulla grasa de llama larga. Volátiles. $V'=33-44\%$. Hinchamiento (H)=1.75. Útil para reverberos y calderas fijas con retornos de humos y grandes cámaras de combustión y para gasógenos. No coquizan ni aun en mezcla.
- **TIPO II:** Hulla para gas. $V'=24-44\%$. H=2-4,5. En mezcla dan buen coque.
- **TIPO III:** Hulla intermedia coque-gas. $V'=32,75-40\%$. H=4,75.
- **TIPO IV:** Hulla para coquería típica. $V'=19-32,5\%$. H = 6,5.
- **TIPO V:** Hulla para vapor. $V'=14-25\%$. H=1,5-6,5. Dan mal coque pero pueden dar buena mezcla.
- **TIPO VI:** Hulla antracinosa, seca y de llama corta. $V'=9,5-20\%$. H = 0-1,25. No aglomeran, por lo general, pero pueden emplearse para mezclas que coquizan.

Recientemente, en el *Sistema de Clasificación Internacional* con el que se elabora el Anuario Estadístico de las Naciones Unidas, se proponen clasificaciones más simplistas relacionadas con su empleo. Se habla de *hulla* para designar al carbón bituminoso y a la antracita; abarca los carbones geológicamente más antiguos y densos, con poder calorífico superior mayor de 5700 kcal/kg. Los *lignitos* incluyen a los carbones de menor calidad, intermedios entre la turba y la hulla con poder calorífico superior de 5700 kcal/kg. La expresión carbón térmico se emplea para distinguir los carbones adecuados para el uso en calderas de los que sirven para la coquización. El carbón metalúrgico es el que se emplea para la obtención del coque .

CARBÓN INDUSTRIAL

El elemento carbono existe en tres modificaciones alotrópicas: carbono amorfo, el grafito y el diamante, los cuales se emplean en la industria. En general el carbono es químicamente inerte y no se funde a la presión atmosférica. El grafito y el diamante resisten la oxidación, incluso las temperaturas elevadas. El carbono amorfo puede ser activado, en cuyo caso tiene una gran capacidad para adsorber selectivamente desde el estado gaseoso o el líquido.

Por ser sustancias no metálicas, el carbono y el grafito poseen conductividad eléctrica y térmica.

El carbono es un elemento extremadamente versátil y provechoso. El carbón industrial no fabricado está representado por el negro de humo, el negro de carbón, el carbón activado, el grafito y los diamantes industriales. Los tres primeros son ejemplos del carbono amorfo. El negro de humo es hollín formado por la quema incompleta de sólidos o líquidos carbonáceos. Este es reemplazado en la mayoría de las aplicaciones por el negro de carbón (también producto de una combustión incompleta). El carbón activado es carbono amorfo que ha sido tratado con vapor y con calor hasta tener una afinidad muy grande para absorber muchos materiales. El grafito es una modificación cristalina del carbono. Los diamantes industriales tienen muchas aplicaciones debido a ser la más dura de todas las sustancias.

OBJETIVO

A lo largo de la práctica se caracterizará un carbón. Debido a las innumerables aplicaciones de éste en la industria se hace necesaria dicha caracterización. De esta manera podrá llevar acabo un aprovechamiento más racional de un carbón determinado, o bien seleccionar uno entre varios según el empleo que le vayamos a dar.

Los ensayos que se realizarán en dicha caracterización, con el fin de establecer sus características tecnológicas, son:

- Determinación de la humedad.
- Determinación de volátiles.
- Determinación de cenizas.
- Determinación del poder coquizante.
- Deducción y determinación de la potencia calorífica.

PROCEDIMIENTO

Antes de comenzar los ensayos hemos de reducir el tamaño de grano del carbón a analizar mediante el empleo de un mortero y diversos tamices. Para llevar acabo todos estos ensayos previamente se han calcinado los crisoles en el horno. Luego se han dejado enfriar en un desecador y después ya se ha procedido a realizar los ensayos.

ENSAYO DE HUMEDAD

De entre las varias formas en que el agua se encuentra unida al carbón, podemos diferenciar dos, *humedad originaria* o *agua superficial* y *humedad higroscópica*. Este análisis permitirá determinar la composición bruta de agua del carbón que estamos analizando, así como las cargas de ceniza.

El contenido de agua higroscópica que presenta un combustible es una magnitud arbitraria dependiente del tamaño de grano, de la temperatura a la que se realiza el ensayo y del grado de humedad del medio ambiente.

Para su determinación hará falta que el tamaño de grano sea inferior a 1 mm. Se toman dos crisoles, se etiquetan y se pesan. Se toma la muestra de carbón y se pesan en cada crisol unos 5g (empleando para ello una balanza analítica, ya que nos dará mucha más precisión que un granatario) y se anota la cantidad exacta que se ha pesado. Introducimos los crisoles en una estufa a 105°C durante 45 minutos. Una vez pasado este tiempo se sacan los crisoles de la estufa, se dejan enfriar en el desecador y luego se pesan de nuevo empleando la balanza analítica.

El contenido de humedad higroscópica contenida en la muestra y desecada al aire vendrá dada por:

$$\% \text{ Humedad higroscópica} = [(a-b)100]/a$$

Donde **a** corresponde al peso de la muestra seca, y **b** al peso de la muestra húmeda.

ENSAYO DE VOLÁTILES

Como *materias volátiles* se incluyen aquellos productos de descomposición de las sustancias orgánicas del combustible, que se descomponen en forma de gas y de vapor al calentar el carbón a una determinada temperatura en ausencia de aire.

El calentamiento empleando crisoles de cuarzo es un método comercial que da valores relativos que dependen de la velocidad de calentamiento, de la temperatura de coquización y de la duración de la misma.

Las materias volátiles proporcionan un carácter distintivo a las diferentes clases de carbones y coques; del residuo de coquización se obtiene una información sobre las posibilidades de coquización del carbón.

Se obtienen tamaños de grano inferiores a 2mm. Se toman dos crisoles y se determina su peso (en balanza analítica). Se pesan en cada uno de ellos 1g del carbón y se introducen en el horno a una temperatura de 875°C, manteniéndolos en estas condiciones durante tres o cuatro minutos, al término de los cuales se retira el crisol, se deja enfriar y luego se pesa en la balanza analítica.

El contenido de materias volátiles vendrá dado por:

$$\% \text{ Materias volátiles} = [(c*100)/a] - d$$

Donde **a** es el peso final de muestra seca; **b** es el peso final del coque en el crisol; **c=a-b**, que corresponde al peso de volátiles; **d** corresponde a la humedad analítica.

ENSAYO DE CENIZAS

Se considera como *ceniza* al residuo de combustión que queda cuando la muestra de combustible se trata en una mufla eléctrica o de gas a una temperatura de 725°C.

Este ensayo permitirá obtener información sobre la cantidad de materias inorgánicas del combustible. Su determinación es un método comercial que proporciona valores relativos que dependen de la temperatura de incineración.

Debido a la transformación química consiguiente, no hay identidad entre el contenido en cenizas y el contenido mineral existente en un principio en el carbón. En las reacciones de incineración pueden ocurrir pérdidas de peso por desprendimiento del agua de hidratación, así como por la descomposición de carbonatos, sulfatos y otros compuestos de azufre, y ganancias de peso por oxidación de los sulfuros y compuestos de hierro, así como por la formación de óxidos de azufre.

La diferencia de peso entre el contenido en cenizas y el de elementos minerales, debido a la transformación de los compuestos minerales, será tanto mayor cuanto más rico sea el combustible en compuestos inorgánicos. Sin embargo, cuando el contenido en minerales es elevado, resultará conveniente acudir a otros procedimientos de determinación.

Se pesa un crisol en la balanza analítica, y luego se pesa 1g de muestra desecada al aire y de tamaño de grano inferior a 0.2 mm. Se introduce en una mufla a 725°C, cuidando siempre que haya exceso de aire. Además hay que calentar hasta que no quede carbón, para ello mirar si hay restos negros, y remover cada poco tiempo las muestras con un trozo de alambre. Una vez que no queda carbón se saca el crisol de la mufla y se deja enfriar en un desecador y una vez frío se pesa.

El contenido de cenizas vendrá dado por:

$$\% \text{ Cenizas} = (b \cdot 100) / a$$

Donde **a** es el peso de la muestra seca; y **b** el peso final.

Si se quiere referir a muestra anhidra, la fórmula correspondiente será:

$$\% \text{ Cenizas Anhidras} = [(100/100 - \% \text{ h.h.})] - \% \text{ cen.sec.}$$

ESTIMACIÓN DEL PODER COQUIZANTE

Aunque las características de un coque siderúrgico precisan de una serie de ensayos específicos, es posible estimar la capacidad de un carbón para dar un residuo coquizable en función del resultado del análisis inmediato.

Se ha comprobado que, prescindiendo de otros factores, los carbones aptos para la coquización tienen siempre una relación entre carbono fijo y materia volátil comprendida entre ciertos límites. Dicha relación conocida como *relación de carbón* varía de 1,4 a 5 para carbones coquizables, estando comprendida entre 1,4 y 2 para los destilables.

Muchas de las clasificaciones de los carbones constituyen también un buen índice sobre la capacidad de coquización.

DEDUCCIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

La muestra desecada al aire se quema en un recipiente cerrado, en atmósfera de oxígeno, mediante un filamento que se pone incandescente al paso de corriente. El calor producido en la combustión eleva la temperatura del agua que rodea dicho recipiente (bomba calorimétrica).

Mediante esta elevación de la temperatura se puede calcular el poder calorífico del combustible y referirlo a la unidad de masa.

La importancia de esta determinación radica en que es el índice de calidad del combustible. Es preciso distinguir, no obstante, entre calor de combustión y poder calorífico. Se distinguen únicamente por el supuesto de que el agua formada en la combustión queda en forma de vapor a 20°C, mientras que para el calor de combustión el agua se encuentra en estado líquido. El calor de combustión y el poder calorífico son de importancia fundamental para establecer el balance teórico en hogares y proceso de gasificación. Se emplean también para establecer la clasificación de los carbones minerales.

La determinación del poder calorífico puede hacerse bien teóricamente a partir del contenido en carbono fijo,

o bien experimentalmente.

Su *determinación teórica* sólo conduce a valores aproximados, al considerar que el poder calorífico de los elementos combinados es el mismo que el de los elementos aislados, hecho que no es cierto.

La primera fórmula que se estableció para el cálculo del poder calorífico, fue la de *Doulong*. Tras ella han ido apareciendo otras; una de las que ofrecen mayores garantías es la de *Gouthal*, en ella, el poder calorífico viene expresado en cal/g , dado por la ecuación:

$$P=82C+aV$$

Donde **C** y **V** son los porcentajes de carbono fijo y de materias volátiles, siendo **a** un cociente que expresa el poder calorífico dividido por el % de materias volátiles, y variando por tanto con el contenido de las mismas.

Dicho valor de **a** se determina a partir del contenido en volátiles del carbón, supuesto puro, descontando agua y cenizas, lo que vendría expresado por la fórmula:

$$V'=100V/(v+C)$$

Con este valor de **V'** se pasa a una tabla que da el valor de **a** para cada **V'**. Hay que hacer la salvedad de que estos valores no son válidos para volátiles inferiores al 40%.

V'	a	V'	a	V'	a
1 a 5	100.0	19	110.0	34	95.0
5	145.0	20	109.0	35	94.0
6	141.7	21	108.3	36	91.7
7	139.2	22	106.7	37	88.3
8	136.0	23	105.0	38	85.0
9	133.3	24	104.2	39	82.5
10	130.0	25	103.3	40	80.0
11	127.7	26	102.5	41	77.5
12	125.0	27	100.8	42	75.0
13	121.7	28	100.0	43	72.5
14	120.0	29	99.2	44	70.0
15	117.0	30	98.0	45	67.5
16	115.0	31	97.5	46	65.0
17	113.3	32	96.7	47	62.5
18	111.7	33	95.8	48	–

RESULTADOS EXPERIMENTALES

ENSAYO DE HUMEDAD

Para los distintos crisoles los datos experimentales son:

CRISOL	Peso vacío (g)	a (g)	Peso final (g)	b (g)	a-b (g)
---------------	-----------------------	------------------	-----------------------	------------------	--------------------

1	26,3208	4,7529	31,0373	4,5716	0,1813
---	---------	--------	---------	--------	--------

ENSAYO DE CENIZAS

Para los distintos crisoles los datos experimentales son:

CRISOL	Peso vacío (g)	a (g)	Peso final (g)	b (g)
1	28,1610	1,0096	28,1691	0,0081
2	28,7711	0,9146	28,7790	0,0079

ENSAYO DE VOLÁTILES

Para los distintos crisoles los datos experimentales son:

CRISOL	Peso vacío (g)	a (g)	Peso final (g)	b (g)	a-b (g)
1	24,5229	1,0057	25,2210	0,6981	0,3076
2	29,1654	1,1167	29,8877	0,7223	0,3944

La estimación del poder coquizante y la deducción y determinación del poder calorífico se realizan en base a los datos adquiridos en los anteriores ensayos, por lo que se realizan en el siguiente apartado.

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Con las expresiones ya dadas en el procedimiento y los datos adquiridos en la realización de la práctica y expuestos en el apartado anterior se obtienen los siguientes resultados:

ENSAYO DE HUMEDAD

- Crisol 1:

$$\% \text{ Humedad} = [0,1813(\text{g}) \cdot 100] / 4,7529(\text{g}) = 3,81\%.$$

$$\% \text{ Humedad} = 3,81\%$$

ENSAYO DE CENIZAS

- Crisol 1:

$$\% \text{ Cenizas} = [0,0081(\text{g}) \cdot 100] / 1,0096(\text{g}) = 0,80\%.$$

- Crisol 2:

$$\% \text{ Cenizas} = [0,0079(\text{g}) \cdot 100] / 0,9146(\text{g}) = 0,86 \%$$

Calculando el valor medio de ambas:

$$\% \text{ Cenizas} = 0,83\%$$

$$\% \text{ Cenizas anh.} = [100 / (100 - 3,81)] - 0,83 = 0,2096\%$$

ENSAYO DE VOLÁTILES

- Crisol 1:

$$\% \text{ Volátiles} = [(0,3076(\text{g}) * 100) / 1,0057(\text{g})] - 3,81\% = 26,72\%$$

- Crisol 2:

$$\% \text{ Volátiles} = [(0,3944(\text{g}) * 100) / 1,0000(\text{g})] - 3,81\% = 31,51\%$$

Calculando el valor medio de ambas:

$$\% \text{ Volátiles} = 29,12\%.$$

ESTIMACIÓN DEL PODER COQUIZANTE

Para poder determinarlo habrá que calcular la relación entre el carbono fijo y la materia volátil contenida en el carbón muestra (*relación de carbón*).

Esta relación viene dada por:

$$\text{P.C.} = (\text{Carbón Fijo}) / (\text{Materia Volátil}) = (100 - 3,81 - 0,83 - 29,12) / 29,12$$

$$\text{P.C.} = 2,27$$

DEDUCCIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

Según lo desarrollado anteriormente se podrá calcular el calor calorífico según la fórmula:

$$V' = 100V / (v + C)$$

$$V' = (100 * 29,12) / (29,12 + 100 - 3,81 - 29,12 - 0,83) = 30,53$$

$$V' = 33,01 \quad a = 98$$

Aplicando ahora la fórmula:

$$P = 82C + aV$$

$$P = 82(100 - 3,81 - 29,12 - 0,83) + 98 * 29,12 = 8.278,88 (\text{Kcal/g})$$

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos son:

% Humedad	% Cenizas	% Volátiles	Poder coquizante	Poder calorífico(cal/g)
3,81	0,83	29,12	2,27	8.278,88

Estas serán las características del carbón problema. Conocidas éstas, y de acuerdo a lo desarrollado en la introducción se tendrá que determinar a que grupo pertenece.

Si se tiene en cuenta en primer lugar la tabla de las propiedades medias de los carbonos :

Materia	C(%)	H(%)	Otros(%)	Potencia Calorífica (kcal/mol)	Materias Volátiles (%)	Peso Específico
Turba	57	6	37	5400	65	1.2
Lignito	72	5	23	6700	55	1.2
Hulla	87	5	8	8700	25	1.3
Antracita	96	2	2	8400	5	1.4

Si se considera el % de volátiles obtenido experimentalmente (29,12%) se ve que se encuentra dentro del rango de las *hullas* (25–55%).

Para el poder calorífico se ha obtenido un valor de 8.278,88 Kcal/g. (Hay que tener en cuenta que la fórmula de *Doulong* da el valor inferior del poder calorífico, de modo que el valor real podría ser mayor), según esto se encuentra entre el rango entre *hullas* y *antracitas*.

Si se tiene en cuenta la clasificación desarrollada por *Lermusiaux* en 1961 y que está basada en el contenido en materias volátiles y en la calidad del coque producido (características fundamentales para definir la mejor aplicación de un carbón) :

DENOMINACIÓN	MATERIAS VOLÁILES %
Antracitas	5
Hullas magras	5 – 10
Hullas semigrasas	10 – 20
Hullas 3/4 grasas	20 – 30
Carbones grasos	30

Sobre la base de que se ha obtenido un 29,12% de materias volátiles, se puede decir que el carbón, será una *hulla* $\frac{3}{4}$ grasas.

Respecto al poder coquizante se ha obtenido un valor de 2,27 que esta dentro respecto al dado para carbones coquizables (1,4 a 5). Puede estar determinado por el tamaño de grano empleado en el análisis.

Según el *Instituto del Carbón*, hay que tener en cuenta el valor de V', que en este caso es de 30,53%. De este modo se tendrá una *hulla grasa* y de llama larga, útil para reverberos y calderas fijos con retornos de humos y grandes cámaras de combustible, que no coquizen ni aun en mezcla. En este caso hay que tener en cuenta que el análisis no se ha realizado en las mismas condiciones que las que señala dicho Instituto, lo que puede provocar una pequeña alteración en el valor de V', variando por tanto el grupo al que pertenecería nuestro carbón problema .

Si la clasificación se hace sobre la base del *Sistema de Clasificación Internacional del Anuario Estadístico de las Naciones Unidas*, se ve que el carbón problema se corresponde con las *hullas* al tener un poder de coquización superior mayor a 5700 kcal/kg (en nuestro caso de 8278,88 Kcal/kg)

CONCLUSIONES

Con los cálculos realizados a lo largo de la práctica se puede llegar a la conclusión de que el carbón que se ha dado para analizar es una **hulla**. De este modo podemos afirmar que se trata de un carbón negro y brillante, que por destilación deja un coque aglomerado de alta calidad empleado en procesos metalúrgicos. Además es

el carbón por excelencia, típico.

Este proceso de clasificación de los carbones es muy importante ya que según el tipo al que pertenezcan se permitirá darle un uso u otro. Con estos análisis desarrollados se puede determinar de modo sencillo, sin necesidad de técnicas instrumentales complejas, el grupo al que pertenece el carbón.

Los errores que se han podido cometer a lo largo del análisis serán debidos principalmente al tamaño de grano empleado en ellos, y al control de la temperatura en cada uno de los distintos análisis. También debemos tener en cuenta que en las cenizas al remover con la varilla se perdió algo de carbón y eso puede dar algo de error. De cualquier modo, el proceso de análisis técnicos llevados a cabo ha permitido clasificar de modo satisfactorio el carbón.

BIBLIOGRAFÍA

- *Curso de introducción a la química industrial*. Dr. Angel Vian Ortuño. Editorial Alhambra, 1ª Edición, 1976.
- *Manual de procesos químicos en la industria*. George T. Agustín. Editorial McGraw-Hill, 5ª Edición, 1992.

DETERMINACIÓN DEL

ÍNDICE DE YODO DE UNA GRASA

INTRODUCCIÓN

Las grasas tienen su principal e insustituible campo de aplicación en la industria de los alimentos. Son particularmente importantes para este fin algunas de origen animal, como la mantequilla, y otras de origen vegetal, como el aceite de oliva.

Actualmente, cerca de 11,7x10⁶ toneladas de aceites vegetales comestibles y alrededor de 4,2x10⁶ toneladas de grasas y aceites animales comestibles se producen en Estados Unidos cada año [3].

Su beneficio químico-industrial viene dado tanto por su uso en aplicaciones que no requieren transformación química, como en materias alimenticias, lubricantes, suavizantes de cueros y textiles, como en otras que sí requieren su tratamiento químico, como son la obtención de jabones y de vehículos secantes para la preparación de pinturas [1].

Empleos industriales de grasas y aceites [3]

Grasas animales	Jabones, grasa, pinturas, barnices, detergentes sintéticos, ácidos grasos y plastificantes
Aceite de coco	Alcoholes grasos, jabones y detergentes
Aceite de linaza	Pinturas, barnices, recubrimientos de pisos, lubricantes y grasas
Aceite de soya	Pinturas, barnices, recubrimientos de pisos, lubricantes y grasas
Aceite de ricino	Cubiertas protectoras, plásticos, plastificadores, lubricantes y grasas
Aceite tung	Pinturas y barnices
Aceite de madera	Jabones, pieles, pinturas, emulsificadores adhesivos y tintas

Químicamente están constituidas por glicéridos: ésteres glicéricos de ácidos grasos. Junto a los glicéridos, las grasas contienen pequeñas cantidades de vitaminas, fosfátidos (lecitinas), esteroides (colesterol o fitosterol), colorantes (carotenos, clorofilas, xantofilas), hidrocarburos y agua. En su mayor parte, estas sustancias

acompañantes son, contrariamente a la fracción grasa, insaponificables.

La diferencia entre aceites y grasas es la naturaleza de sus ácidos carboxílicos de cadena larga. En los aceites son ácidos insaturados, por lo que debido a su geometría molecular se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente. Por el contrario, en las grasas, estos ácidos son mayoritariamente saturados, lo que facilita un mejor empaquetamiento entre las distintas moléculas, de ahí su estado sólido a temperatura ambiente.

Su principal reacción química es el desdoblamiento de grasas para dar glicerina y ácidos grasos. Las principales aplicaciones de los ácidos grasos obtenidos son [1]:

Existen numerosas pruebas de laboratorio para la identificación de materias grasas, especificadas según las normas españolas UNE, editadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) [1]:

- *índice de saponificación* (UNE 55012), que indica los miligramos de KOH consumidos por gramo de materia grasa. Da una idea de la proporción de glicéridos en total.
- *índice de acidez* (UNE 55011), parecido al anterior, pero la operación se realiza en frío para que sólo reaccionen los ácidos libres.
- *índice de yodo* (UNE 55012/3), que indica la proporción de dobles enlaces en los radicales ácidos constituyentes de la grasa.
- *índice de hidroxilos* (UNE 55014), para medir el número de grupos hidroxilo.
- *índice de dienos*, que informa sobre la existencia de dobles enlaces conjugados e *índice de ácidos volátiles*. Estos dos métodos siguen las normas de la American Oil Chemist Society.
- la identificación de los ácidos grasos constituyentes se realiza hoy en día mediante *cromatografía gaseosa* (UNE 55037). También se usan para su separación *cristalización fraccionada y rectificación de los ésteres metílicos*. Por *destilación molecular* se han conseguido separar ácidos no saturados y saturados de igual número de átomos de carbono, y de unos y otros de diferente números de átomos de carbono.

OBJETIVO

Determinación del índice de yodo del aceite de linaza. El índice de yodo de una grasa se define como el número de centigramos de I₂ que se combinan con un gramo de grasa, que será función de su grado de insaturación [2].

Se usan dos métodos con este fin: el método de Wijs y el método de Hanus, siendo este último el que se utiliza en la realización de la práctica.

PROCEDIMIENTO

La determinación del índice de yodo se realiza mediante la adición de un exceso del reactivo halogenante, valorando posteriormente el exceso de reactivo que no ha reaccionado. El reactivo halogenante utilizado es el reactivo de Hanus, que es monobromuro de yodo en ácido acético cristalizable (99–100%) exento de etanol.

El yodo se adicionará al doble enlace carbono-carbono responsable de la insaturación mediante una adición electrófila formando un intermedio yodonio cíclico, de tal modo que finalmente se obtendrá un diyoduro vecinal.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los reactivos utilizados en la práctica, además del reactivo de Hanus, son:

	CHCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃ *5H ₂ O	KMnO ₄	HCl	Na ₂ C ₂ O ₄
M(g/mol)	119.38	166.01	248.18	158.04	36.46	134.0
Riqueza(%)	99	98	98–102	100	35	98
Densidad(g/mL)	1.48	–	–	–	1.185	–
Valencia	–	1	1	5	1	2

Preparación de disoluciones

- *Disolución KI 10% 100mL*

Teniendo en cuenta su riqueza, se disuelven 10.2041g de KI en 100mL de H₂O destilada.

- *Disolución Na₂C₂O₄ 0.1N 250mL*

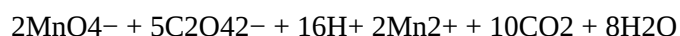
Como es una sustancia patrón primario, se pesan 2,1620g de reactivo, lo que son 2,1188g de reactivo puro. Teniendo en cuenta el volumen requerido y la valencia del compuesto, la normalidad final será:

$$N(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)=0,1265\text{N}$$

- *Disolución KMnO₄ 0.1N 100mL*

Se pesan 0.32g del reactivo, que en teoría darían una normalidad de 0.1033N. Como no se trata de un patrón primario se valorará con la disolución de oxalato, realizando dos réplicas del proceso.

La reacción que tiene lugar en esta valoración es:



Esta reacción es la resultante de dos semirreacciones REDOX:



Se toman alícuotas de 10mL de la disolución de oxalato, se añaden 60mL de H₂O, 5mL de H₂SO₄ y se calienta hasta 85°C (temperatura del baño). Desde la bureta se agrega la disolución de KMnO₄, finalizando la valoración cuando desaparece el característico color violeta.

Los volúmenes obtenidos son 13,5 mL y 13,3 mL, por lo que se toma un valor medio de 13,4 mL.

$$N(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) = N(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot V(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)$$

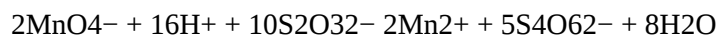
$$N(\text{KMnO}_4) \cdot 13,4\text{mL} = 0,1265\text{N} \cdot 10\text{mL}$$

$$N(\text{KMnO}_4)=0,00873\text{N}$$

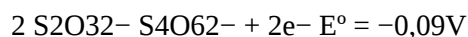
- *Disolución Na₂S₂O₃*5H₂O 0.1N 250mL*

Teniendo en cuenta los datos del reactivo se pesan 6,2025g para realizar la disolución, pero como no es un patrón primario se valorará con la disolución de permanganato, realizando dos réplicas del proceso.

La reacción que tiene lugar en la valoración es

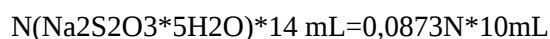
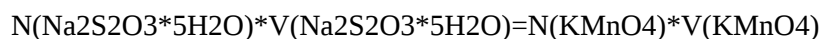


Esta reacción es la resultante de dos semirreacciones REDOX:



Para preparar las muestras a valorar se toma una alícuota de 10mL de permanganato, se añaden 10mL de la disolución de KI y 10 mL de H₂SO₄ diluido (1:3).

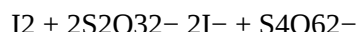
Los volúmenes obtenidos son 14,3 y 13,7, por lo que se toma un valor medio de 14 mL.



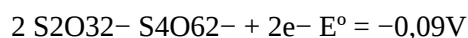
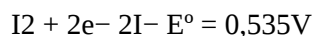
Valoración del yodo libre

Mientras se preparan las disoluciones se tienen dos erlenmeyer esmerilados reaccionando: en uno de ellos se pesa 0,4g de aceite de linaza, 10 mL de CHCl₃ y 25mL del reactivo de Hanus. En el otro, prueba en blanco, se añade lo mismo pero sin sustancia grasa. Se cubren con papel de aluminio y se dejan reaccionar una hora en oscuridad. Transcurrido ese tiempo, se añaden a cada uno 20mL de la disolución preparada de KI y 100mL de agua destilada. Posteriormente se valora el yodo libre con tiosulfato 0.1148N hasta color amarillo ámbar, momento en que se añade engrudo de almidón y se continua la valoración hasta que la muestra se vuelve completamente incolora.

La reacción que tiene lugar en la valoración es:



Esta reacción es la resultante de dos semirreacciones REDOX:



Se realizan dos réplicas de cada valoración, siendo los resultados entre las dos réplicas de la misma muestra algo distintas, ya que se tuvieron dificultades para observar el punto final de la valoración.

Para la muestra con aceite el volumen obtenido fue 13,7 mL

Para la muestra en blanco el volumen obtenido fue 39mL

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Conociendo los volúmenes gastados en las valoraciones es posible calcular el índice de yodo del aceite de linaza. La normalidad del tiosulfato es 0,0624 y el volumen de KI añadido es 20mL, luego las distintas concentraciones serán:

- *Muestra*

$$N(S_2O_3^{2-}) \cdot V(S_2O_3^{2-}) = N(I_2, \text{muestra}) \cdot V(I_2)$$

$$0,0624 \cdot 13,7\text{mL} = N(I_2, \text{muestra}) \cdot 20\text{mL}$$

$$N(I_2, \text{muestra}) = 0,0427\text{N}$$

- *Blanco*

$$N(S_2O_3^{2-}) \cdot V(S_2O_3^{2-}) = N(I_2, \text{blanco}) \cdot V(I_2)$$

$$0,0624\text{N} \cdot 39\text{mL} = N(I_2, \text{blanco}) \cdot 20\text{mL}$$

$$N(I_2, \text{blanco}) = 0,1217\text{N}$$

Por diferencia entre estos dos valores, y conociendo su valencia, se podrá calcular la concentración de I₂ libre:

$$N(I_2, \text{libre}) = N(I_2, \text{blanco}) - N(I_2, \text{muestra}) = 0,079\text{N}$$

$$M(I_2, \text{libre}) = N(I_2, \text{libre}) / 2 = 0,0395\text{M}$$

Conociendo su peso molecular (253,8g/mol), la alícuota añadida (20mL) y la cantidad de grasa inicial (0,4g) se puede calcular el índice de yodo (i.o.):

$$i.o. = 0,0395(\text{mol/L}) \cdot 253,8(\text{g/mol}) \cdot 0,02(\text{L}) \cdot 100(\text{cg/g}) / 0,4(\text{g grasa})$$

$$i.o. = 50,12(\text{cg I}_2/\text{g grasa})$$

Aplicando la fórmula encontrada en la bibliografía:

$$i.o. = (V - V') \cdot 1,269 / P = (39 - 13,7) \cdot 1,269 / 0,4 = 130,256(\text{cg I}_2/\text{g grasa})$$

donde V = volumen (mL) de tiosulfato 0.1N para el blanco

V' = volumen (mL) de tiosulfato 0.1N para la muestra

P = peso (g) de grasa en la muestra

$$i.o. = 80,26(\text{cg I}_2/\text{g grasa})$$

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se ve a simple vista existe una diferencia entre el índice de yodo calculado mediante la expresión encontrada en la bibliografía y el valor encontrado experimentalmente. Esto es debido a que la expresión bibliográfica supone que el tiosulfato utilizado tiene una normalidad exacta 0.1, mientras que en la práctica se ha usado uno con normalidad 0,0624.

Para comprobar el valor obtenido se comprobará con distintos valores hallados en la bibliografía.

La composición en ácidos grasos del aceite de linaza, en %, es [1]:

- Ác. Palmítico 4–7
- Ác. Esteárico 2–8
- Ác. Aráquico <1
- Ác. Lignocérico <0.5
- Ác. Oléico 12–38
- Ác. Linoleico 4–27
- Ác. Linolénico 25–65

Sus principales ácidos grasos constituyentes son insaturados :

Ácido	Nº Carbonos	Fórmula
Oléico	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
Linoleico	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$
Linolénico	18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

Luego se observa que dispone de dobles enlaces carbono-carbono sobre los que el yodo se puede fijar.

También se pueden medir índices de yodo para ácidos grasos insaturados libres. Sin embargo estos valores no son comparables, ya que en las grasas se encuentran todos juntos y en una proporción variable:

Ácido Graso	Nº Dobles Enlaces	Índice de Yodo
Oléico	1	89.87
Linoleico	2	181.04
Linolénico	3	273.52

En la práctica se considera que las grasas se pueden clasificar en tres aplicaciones fundamentales según su índice de yodo [1]:

	Índice de yodo
Grasas no secantes	<100
Aceites secantes	>170
Aceites semisecantes	100–170

Según estos datos el aceite de linaza es un aceite semisecante, sin embargo en la industria se utiliza como un aceite secante .

CONCLUSIONES

Se observa claramente que la medida del índice de yodo da una idea del grado de insaturación que presenta una grasa, siendo este mayor cuanto mayor es el grado de insaturación de los ácidos grasos que la forman.

El valor obtenido puede considerarse válido, teniendo en cuenta las discrepancias obtenidas entre los dos métodos de cálculo, que ya han sido explicadas.

BIBLIOGRAFÍA

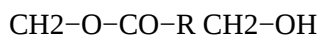
- *Introducción a la química industrial*. Dr. Angel Vian Ortuño. Editorial Reverté, S.A. 2ª Ed., 1996.
- *Manual de aceites y grasas comestibles*. A, Madrid, I. Cenzano, J.M. Vicente. Editorial Mundi-Prensa Libros, S.A. 1ª Ed., 1997.
- *Manual de procesos químicos en la industria*. George T. Austin. Editorial McGraw-Hill, 5ª Ed., 1992.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE

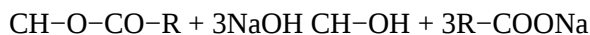
DE SAPONIFICACIÓN DE UNA GRASA

INTRODUCCIÓN

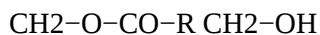
La saponificación es la hidrólisis básica de un éster para dar glicerol y tres moléculas de la sal de los ácidos grasos constituyentes.



||



||



El término jabón comprende las sales de sodio o potasio de varios ácidos grasos, pero principalmente de oleico, esteárico, palmítico, láurico y mistúrico. Durante varias generaciones su uso se ha difundido al grado de que su fabricación se ha convertido en una industria vital para el bienestar de los seres humanos.

Una industria tan antigua e importante como es la del jabón no es raro que disponga de numerosas técnicas para cubrir su objetivo. Actualmente se imponen aquellas que permiten recuperar en buenas condiciones el glicerol que se obtiene como subproducto. Entre los dos métodos más utilizados se encuentra el *método marsellés* y el *método Krebitsch*, siendo este último el practicado en España a gran escala.

Los detergentes difieren de los jabones por su modo de actuar con aguas duras. Los jabones forman compuestos insolubles con los iones de magnesio y de calcio presentes en el agua dura; estos compuestos insolubles se precipitan y reducen las acciones espumante y limpiadora. Los detergentes pueden reaccionar con los iones de agua dura, pero los productos resultantes son solubles o permanecen dispersos en forma coloidal en el agua.

Los jabones de tocador y los de uso industrial son las principales clases de jabón. El mercado de barras de jabón se integra con el de los jabones normales de tocador y los de gran contenido de grasa, jabones desodorantes o antimicrobianos, jabones de flotación, jabones transparentes de barra translúcidos, marcados y para aguas duras.

En la práctica, todos los jabones contienen de 10 a 30% de agua, ya que si fueran anhidros su disolución sería muy complicada. Casi todos los jabones contienen perfume, aun cuando no se manifieste, cuya función en este caso sería eliminar el olor a jabón puro.

OBJETIVO

Determinación del índice de saponificación del aceite de linaza. El índice de saponificación de una grasa se define como el peso en miligramos de KOH necesario para saponificar un gramo de grasa.

Para ello se usan principalmente dos métodos: uno potenciométrico y otro volumétrico (aplicable a aceites y grasas con un contenido en ceras menor del 5%), siendo este último el utilizado en la realización de la práctica.

PROCEDIMIENTO

La determinación del índice de saponificación se realiza mediante la adición de un exceso de KOH alcohólica, valorando posteriormente el exceso de reactivo que no ha reaccionado con HCl.

La cantidad de KOH gastado en la saponificación para formar las sales alcalinas de los ácidos grasos depende de la naturaleza y proporción de los ácidos grasos existentes en la grasa. Cuanto menor sea el peso molecular de los ácidos que forman la grasa, mayor será la cantidad de KOH necesario para verificar la saponificación.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los reactivos utilizados en la práctica son:

	KOH	HCl	NaOH	C6H4COOHCOOK
M(g/mol)	56,11	36,46	40,00	204,23
Riqueza(%)	85	35	97	99–101
Densidad(g/mL)	–	1,135	–	–
Valencia	1	1	1	1

Preparación de disoluciones

- *Disolución C6H4COOHCOOK 0,5N 100mL*

Como el ftalato es una sustancia patrón primario se pesa directamente. Los gramos necesarios son 10,2115g, pero en realidad se pesan 10,2062g, luego la normalidad final será:

$$N(C_6H_4COOHCOOK)=0,4997N$$

- *Disolución NaOH 0,5N 100mL*

Son necesarios 2 g de reactivo, que teniendo en cuenta la riqueza son 2,06g. Como la sosa no es un patrón primario será necesario realizar una valoración con la disolución de ftalato 0,4997N, realizando dos réplicas del proceso.

La reacción que tiene lugar en esta valoración es:



Se toman alícuotas de 10mL de la disolución de ftalato, se añaden 50mL de agua y fenolftaleína como indicador. Se añade la sosa desde la bureta, finalizando la valoración cuando se produce el viraje de color.

Los volúmenes obtenidos son 9,6 y 9,5mL, por lo que se toma un valor medio de 9,55mL.

$$N(NaOH) \cdot V(NaOH) = N(C_6H_4COOHCOOK) \cdot V(C_6H_4COOHCOOK)$$

$$N(NaOH) \cdot 9,55mL = 0,4997N \cdot 10mL$$

N(NaOH)=0,5253N

• *Disolución HCl 0,5N 250mL*

Es necesario tomar una alícuota de 10,99 mL. Como esto no es posible, y el reactivo no es patrón primario, se toman aproximadamente 11mL y la disolución resultante se valora con NaOH 0,5253N.

La reacción que tiene lugar en esta valoración es:



Se toman alícuotas de 10mL de la disolución de sosa, se añaden 50mL de agua y fenolftaleína como indicador. Se añade el ácido clorhídrico desde la bureta, finalizando la valoración cuando se produce el viraje de color.

Los volúmenes obtenidos son 11,4mL en los dos casos.

$$N(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = N(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})$$

$$N(\text{HCl}) \cdot 11,4\text{mL} = 0,5253\text{N} \cdot 10\text{mL}$$

N(HCl)=0,4607N

• *Disolución KOH/EtOH 0,5N 100mL*

Se pesan 2,85g de potasa y se disuelven en 100mL de etanol. La potasa se disuelve muy mal en este medio, por lo que hubo que agitar continuamente y calentar levemente para conseguirlo.

Valoración del exceso de KOH

Mientras se preparan dos erlenmeyer de 200cm³. En uno de ellos se pesan 2g de aceite de linaza, se añaden 25mL de la disolución de KOH alcohólica. En el otro se procede igual pero sin el aceite de linaza, muestra en blanco. Posteriormente se adaptan a sendos refrigerantes y se dejan reaccionar en al baño maría (T_{baño}=85°C) durante 30 minutos, agitando frecuentemente.

Transcurrido ese tiempo, los erlenmeyer se retiran del baño y se dejan enfriar, para proceder a la valoración de la KOH sin reaccionar con el HCl ya titulado.

La reacción que tiene lugar en la valoración es:



Se realizan dos réplicas de cada valoración; en esta ocasión el punto final de la valoración se observó claramente, ya que la reacción se siguió con un pHmetro. El punto final de la valoración se toma cuando el pH=7.

Para la muestra en blanco los volúmenes obtenidos fueron 3,4 y 3,6 mL, por lo que el valor medio tomado es 3,5mL.

Para la muestra con aceite los volúmenes obtenidos fueron 2,3 y 2,4 mL, por lo que el valor medio tomado es 2,4mL.

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Conociendo los volúmenes gastados en las valoraciones es posible calcular el índice de yodo del aceite de linaza. La normalidad del HCl es 0,4607N y la alícuota de muestra cogida es 5mL, luego las distintas concentraciones serán:

- *Muestra*

$$N(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = N(\text{KOH, muestra}) \cdot V(\text{KOH})$$

$$0,4607\text{N} \cdot 2,4\text{mL} = N(\text{KOH, muestra}) \cdot 5\text{mL}$$

$$N(\text{KOH, muestra}) = 0,2211\text{N}$$

- *Blanco*

$$N(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = N(\text{KOH, blanco}) \cdot V(\text{KOH})$$

$$0,4607\text{N} \cdot 3,5\text{mL} = N(\text{KOH, blanco}) \cdot 5\text{mL}$$

$$N(\text{KOH, blanco}) = 0,3225\text{N}$$

Por diferencia entre estos dos valores, y conociendo su valencia, se podrá calcular la concentración de KOH libre:

$$N(\text{KOH, libre}) = N(\text{KOH, blanco}) - N(\text{KOH, muestra}) = 0,1014\text{N}$$

$$M(\text{KOH, libre}) = N(\text{KOH, libre}) = 0,1014\text{M}$$

Conociendo su peso molecular (56,1g/mol), el volumen inicial añadido (25mL) y la cantidad de grasa inicial (2g) se puede calcular el índice de saponificación (i.s.):

$$i.o. = 0,1014(\text{mol/L}) \cdot 56,11(\text{g/mol}) \cdot 0,025(\text{L}) \cdot 1000(\text{mg/g}) / 2(\text{g grasa})$$

$$i.o. = 71,12(\text{mg KOH/g grasa})$$

Aplicando la fórmula encontrada en la bibliografía:

$$i.o. = 56,11 \cdot N \cdot (V - V') / P = 56,11 \cdot 0,4607 \cdot (17,5 - 12)$$

donde N = normalidad exacta del HCl usado.

V = volumen (mL) de HCl 0,5N para el blanco (debe multiplicarse por 5, ya que el volumen total (25mL) es 5 veces la alícuota tomada para la valoración).

V' = volumen (mL) de HCl 0,5N para la muestra (debe multiplicarse por 5, ya que el volumen total (25mL) es 5 veces la alícuota tomada para la valoración).

P = peso (g) de grasa en la muestra

$$i.s. = 71,08(\text{mg KOH/g grasa})$$

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se observa una muy buena correlación de los resultados obtenidos por los dos métodos de cálculo empleados. El valor obtenido, 71(mg KOH/g grasa), es algo bajo en comparación con los de otras grasas y aceites:

	Coco	Ricino	Maíz	Girasol	Oliva
i.s.	251–264	175–183	188–193	189–194	185–200

Esto es debido a la diferente composición de ácidos grasos que presentan, ya que el índice de saponificación será menor cuanto mayor sea el peso molecular de los ácidos grasos constituyentes.

Comparando el % de ácidos insaturados de los cinco anteriores ejemplos y del aceite de linaza se puede explicar perfectamente el índice de saponificación relativamente bajo que se ha obtenido:

	Linaza	Coco	Ricino	Maiz	Girasol	Oliva
Ác.Oleico	12–38	6.0	8.6	46.3	34.0	82.5
Ác. Linoleico	4–27	2.5	3.5	42.0	58.5	6.0

CONCLUSIONES

En el desarrollo de la práctica ha quedado demostrado que la cantidad de álcali gastado en la saponificación de una grasa depende de la naturaleza y composición de los ácidos grasos que la constituyen, siendo menor cuanto mayor sea el peso molecular de estos. A igualdad de composición en ácidos grasos para diferentes grasas, será menor en aquel que mayor porcentaje sobre el total de ácidos tenga.

Todas estas explicaciones quedan perfectamente recogidas con la medida del índice de saponificación.

BIBLIOGRAFÍA

- *Introducción a la química industrial*. Dr. Angel Vian Ortuño. Editorial Reverté, S.A. 2ª Ed., 1996.
- *Manual de aceites y grasas comestibles*. A. Madrid, I. Cenzano, J.M. Vicente. Editorial Mundi-Prensa Libros, S.A. 1ª Ed., 1997.
- *Manual de procesos químicos en la industria*. George ~~---~~ [Author:aps] T. Austin. Editorial McGraw-Hill, 5ª Ed., 1992.

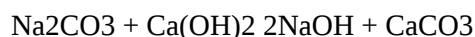
CAUSTIFICACIÓN

DEL Na₂CO₃

INTRODUCCIÓN

La sosa cáustica pura es un sólido blanco quebradizo que fácilmente absorbe humedad y dióxido de carbono del aire. Se vende según su contenido de Na₂O y usualmente éste es de más o menos 76% de Na₂O, equivalente a 98% de NaOH. El término sosa cáustica se utiliza mucho debido a que este compuesto es corrosivo para la piel.

Se obtiene usando como materia prima el Na₂CO₃ haciendo reaccionar una disolución de éste y lechada de cal Ca(OH)₂:



Depende principalmente del hecho de que el carbonato de calcio es casi insoluble en soluciones cáusticas.

Así, el CaCO_3 obtenido retiene un 1,5% de sosa; se utiliza como materia prima en vidriería y también para producir por calcinación el CaO necesario para la caustificación. Para ello hay que utilizar hornos –rotatorios o de fluidización– capaces de trabajar con un producto tan pulverizado.

Como la sosa cáustica es más difícil de transportar que el carbonato sódico, frecuentemente, las fábricas se surten del carbonato y por caustificación de su disolución obtienen la lejía de sosa cáustica *in situ*.

Otro método de obtención de la sosa cáustica es mediante electrólisis como subproducto o coproducto en la producción de cloro. Fue en 1890 cuando la sosa cáustica empezó a ser producida en esta forma para su consumo industrial. En 1940 la sosa electrolítica comenzó a exceder a la de cal–carbonato, y en 1962 esta última había desaparecido casi por completo .

El desarrollo de equipos de alta capacidad para la generación de corriente eléctrica directa, hacia finales del siglo XIX, hizo obsoleto al proceso de caustificación y a mediados del siglo actual, más del 99% se producía por el proceso electrolítico.

Debido a que la relación entre el NaOH y el Cl_2 manufacturados está fijada por sus proporciones en el NaCl , constantemente existe un difícil problema de mercadotecnia. Actualmente, la sosa tiene gran demanda y se espera que siga así, pero durante la última década la demanda de cloro excedió con frecuencia a la oferta. Los problemas para almacenar el cloro y los costos del almacenamiento o de la disposición de un exceso de sosa cáustica han hecho, con frecuencia, que los mercados sean muy poco estables.

En cuanto a su uso, tradicionalmente se ha venido utilizando en los campos del jabón, textiles y refinación del petróleo, y se emplea cada vez más en el área de los productos químicos.

Distribución del empleo de la sosa cáustica en Estados Unidos

Industria consumidora	Kilotoneladas métricas por año	%
Manufactura de productos químicos	5783	50
Pulpa y papel	2374	20
Productos de limpieza	733	6
Rayón y algodón mercerizado	500	4
Tratamiento de aceite y de gas	570	5
Varios	1676	15
Total	11636	100

OBJETIVO

Obtención de NaOH mediante el proceso de la cáustificación, empleando como reactivos Na_2CO_3 y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, y representación gráfica de la concentración de OH^- en el equilibrio –que corresponde a la concentración final de NaOH – frente al cociente $\text{OH}^-/\text{CO}_3^{2-}$, que da el rendimiento de la operación.

PROCEDIMIENTO

Se va a hacer reaccionar una disolución de Na_2CO_3 y una lechada de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a distintas concentraciones conocidas, durante una hora y a una temperatura constante de 100°C , con el fin de facilitar la velocidad de la transformación y la filtrabilidad del precipitado. Después se representa la gráfica anteriormente citada.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los reactivos utilizados en la práctica son:

	HCl	Na_2CO_3	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOOK}$	NaOH
M(g/mol)	36,46	105,99	74,09	204,23	40,0
Riqueza(%)	35	99,5	95–100,5	99–101	97
Densidad(g/mL)	1,185	–	–	–	–

Preparación de disoluciones

- *Disolución de $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOOK}$ 0,5N 100mL*

Al tratarse de un patrón primario, se pesan 10,1570 g de reactivo puro, lo que da una normalidad de:

$$N(\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOOK})=0,4973$$

- *Disolución de NaOH 0,5N 100mL.*

Pesamos 2 g que, teniendo en cuenta su riqueza, son 1,96g de producto puro, y lo diluimos en un volumen de 100mL

A continuación valoramos esta disolución con la de biftalato, tomando alícuotas de 10mL enrasando la bureta con biftalato obtenemos unos volúmenes de 9,7mL y 9,9mL que dan un valor medio de 9,8mL.

$$N(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = N(\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOOK}) \cdot V(\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOOK})$$

$$N(\text{NaOH}) \cdot 10\text{mL} = 0,4973\text{N} \cdot 9,8\text{mL}$$

$$N(\text{NaOH})=0,4874\text{N}$$

- *Disolución de HCl 110N 250ml*

Tomamos un volumen de reactivo de 22,02ml de acuerdo con su riqueza y densidad y lo llevamos hasta y enrasamos con agua destilada hasta un volumen de 250ml.

A continuación procedemos a valorar esta disolución con la de NaOH previamente valorada. Tomamos alícuotas de 10mL de la disolución de HCl y enrasamos la bureta con la disolución de NaOH, se hacen dos réplicas y se obtienen unos volúmenes de 28 y 28,2 mL que hacen un valor medio de 28,1mL.

$$N(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = N(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})$$

$$N(\text{HCl}) \cdot 10\text{mL} = 0,4874\text{N} \cdot 28,1\text{mL}$$

$$N(\text{HCl})=1,3696\text{N}$$

Valoración de NaOH producida en la reacción

Preparamos cuatro erlenmeyer de 250mL con distintas concentraciones de Na₂CO₃, (5%, 10%, 15% y 20%, en peso) y en cada uno se hace reaccionar el Na₂CO₃ con un 10% de Ca(OH)₂ en exceso. En todos añadimos agua destilada hasta un volumen de 100mL.

Tabla con las cantidades pesadas:

% en peso	g (Na ₂ CO ₃)	moles(Na ₂ CO ₃)	g (Ca(OH) ₂)	moles(Ca(OH) ₂)
5	5,0000	0,0472	3,8000	0,0513
10	10,0133	0,0940	7,9775	0,1047
15	15,0000	0,1415	11,5000	0,1552
20	20,0044	0,1878	15,9375	0,2086

Los cuatro erlenmeyer se ponen a reaccionar en un baño termostático a la temperatura de 100°C, a reflujo y agitación durante una hora. Después se decanta el líquido y se filtra. El líquido resultante es el que contiene a la sosa cáustica formada que se valora con la disolución de HCl anteriormente preparada.

Para la valoración se toman alícuotas de 10mL de las aguas madres procedentes de cada erlenmeyer y se añaden 50mL y unas gotas de fenolftaleína como indicador. La bureta se enrasa con HCl 1.0771N. Se llevan a cabo dos valoraciones de cada uno.

$$N(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = N(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

– 5%:

Volúmenes de HCl obtenidos: 5,2mL y 5,0mL.

Su media es 5,1mL.

$$N(\text{NaOH}) \cdot 10\text{mL} = 1,3693\text{N} \cdot 5,1\text{mL}$$

$$N(\text{NaOH}) = 0,6985\text{N}$$

– 10%:

Volúmenes de HCl obtenidos: 13,6mL y 13,5mL.

Su media es 13.55mL.

$$N(\text{NaOH}) \cdot 10\text{mL} = 1.0771\text{N} \cdot 13,55\text{mL}$$

$$N(\text{NaOH}) = 1,4595\text{N}$$

– 15%:

Volúmenes de HCl obtenidos: 15,2mL y 15,3mL.

Su media es 20.4mL.

$$N(\text{NaOH}) \cdot 10\text{mL} = 1,3696\text{N} \cdot 15,25\text{mL}$$

$$N(\text{NaOH}) = 2,0886\text{N}$$

– 20%:

Volúmenes de HCl obtenidos: 26,7mL y 26,7mL.

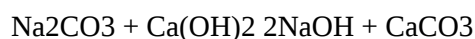
Su media es 26,7mL.

$$N(\text{NaOH}) \cdot 10\text{mL} = 1,0771\text{N} \cdot 26,7\text{mL}$$

$$N(\text{NaOH}) = 2,8758\text{N}$$

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

La reacción llevada a cabo en cada erlenmeyer es:



En el equilibrio existen dos fases sólidas, CaCO_3 y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, por lo que se va a regir por sus respectivos productos de solubilidad:

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^- \quad k_1 = [\text{OH}^-]^2 [\text{Ca}^{2+}] = 4 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \quad k_2 = [\text{CO}_3^{2-}] [\text{Ca}^{2+}] = 1 \cdot 10^{-8}$$

Así resulta:

$$K = k_1/k_2 = 4 \cdot 10^3$$

que escrita en la forma,

$$K = \frac{[\text{OH}^-] [\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$$

indica que representando la concentración de OH^- en el líquido en equilibrio (que corresponde con la de sosa cáustica valorada) frente al cociente $[\text{OH}^-] / [\text{CO}_3^{2-}]$ (que mide el grado de conversión del carbonato en hidróxido, o sea, el rendimiento de la operación) se obtiene una hipérbola; por tanto, si se quiere alto rendimiento, se van a obtener concentraciones bajas.

Para la realización de la gráfica usamos por tanto la relación:

$$K = \frac{[\text{OH}^-] [\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = 4 \cdot 10^3$$

Así, sustituyendo los valores de $[\text{OH}^-]$ obtenidos en cada matraz de reacción, calculamos $[\text{CO}_3^{2-}]$ en el equilibrio para cada uno.

% en peso	$[\text{OH}^-]_{\text{eq}}$ (mol/L)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{eq}}$ (mol/L)	$[\text{OH}^-]_{\text{eq}}/[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{eq}}$
5	0,6985	$1,22 \cdot 10^{-4}$	5725,41
10	1,4595	$5,32 \cdot 10^{-4}$	2740,66
15	2,0886	$1,09 \cdot 10^{-3}$	1915,16
20	2,8758	$2,07 \cdot 10^{-3}$	1390,92

Se obtiene la siguiente gráfica:

[OH⁻]_{eq} vs [OH⁻]_{eq}/[CO₃²⁻]_{eq}

Discusión de resultados

Se observa claramente que la representación gráfica corresponde a una hipérbola, por tanto cuanto mayor es la concentración de Na₂CO₃ utilizada, el rendimiento va disminuyendo. Para bajas concentraciones la conversión es muy alta y es usual trabajar con disoluciones del 12% de Na₂CO₃, que dan una conversión de 0.9 a la media hora de contacto.

Por otra parte, las concentraciones elevadas de Na₂CO₃ dan lugar a la formación de sales dobles insolubles, que determinan pérdidas de reactivos.

CONCLUSIONES

Se comprueba que el trabajo realizado experimentalmente corresponde con lo indicado en la bibliografía acerca del grado de conversión del Na₂CO₃ en sosa caústica y su variación con la concentración inicial de dicho reactivo. Además, este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de su producción a escala industrial ya que el punto óptimo de la transformación dependerá de los costes de adquisición del Na₂CO₃ (que obligan a un rendimiento más alto cuanto mayores sean) y del coste de la evaporación de la disolución final para su concentración.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Introducción a la química industrial*. Dr. Angel Vian Ortuño. Editorial Reverté, S.A. 2ª Ed., 1998
2. *Manual de procesos químicos en la industria*. George T. Austin. Editorial McGraw-Hill, 5ª Ed., 1992

DETERMINACIÓN

DE LA D.Q.O.

INTRODUCCIÓN

Las características de las aguas residuales se pueden dividir en físicas, químicas y microbiológicas, según se muestra en la siguiente tabla [1]:

CLASE	PARÁMETRO
FÍSICO	Sólidos totales
	Sólidos totales en suspensión
	Temperatura
	PH
	Color
QUÍMICO	Olor
	Hidratos de Carbono
	Proteínas

	Lípidos <i>orgánicos</i> Grasa, aceite DBO5,DQO,COT,DTO Alcalinidad Arenas Metales Pesados Nutrientes N,P <i>inorgánicos</i> Cloruros Azufre Sulfuro de Hidrógeno Gases
MICROBIOLÓGICO	Bacterias Algas Protozoos Virus Coliformes

Se observa que dentro de las propiedades físicas destacan el color, el olor, la presencia de sólidos (turbidez y densidad) y la temperatura.

Los constituyentes biológicos serán animales, plantas, protistas y virus, mientras que las características químicas se dividen en inorgánicas y orgánicas; puesto que son los más importantes se tratarán con mayor detalle.

La concentración de sustancias de naturaleza *inorgánica* en el agua, aumenta al contacto con aguas residuales (tratadas o sin tratar) y con formaciones geológicas. Algunas de las sustancias más frecuentes son cloruros, fósforo, azufre, metales pesados compuestos ácidos y básicos y compuestos nitrogenados, entre otros muchos.

La materia *orgánica* tiene mucha importancia en el nivel de calidad del agua, ya que los materiales orgánicos en el agua conforman el grueso de sus constituyentes. Los sólidos en suspensión componen alrededor de un 40% del total de los sólidos o una concentración de 350 mg/L.

Los compuestos orgánicos están formados por carbono, oxígeno e hidrógeno principalmente, aunque pueden encontrarse otros elementos químicos. Los efectos de la materia orgánica son distintos dependiendo de que sea biodegradable o no biodegradable; la primera provoca un descenso del oxígeno disuelto por consumo de éste en procesos de degradación, reduciendo su capacidad de autodepuración. Los no biodegradables tienen efectos de toxicidad.

En la siguiente tabla se puede observar una clasificación de los contaminantes de las aguas residuales, en función de su grado de biodegradabilidad:

Degradables	No Degradables
Aguas residuales y estiércol de ganado	Partículas inertes (arcilla, residuos de minería, etc.) Plásticos fabricados por el hombre Metales pesados (cromo, cobre, plomo, etc.) Hidrocarburos halogenados (DDT, PCB)* Radioactividad* Ácidos y álcalis Emisiones de gases industriales Organofosfatos*
Fertilizantes agrícolas y nutrientes vegetales	
Residuos de procesamiento de alimentos (incluidas fabricas de cerveza)	
Residuos orgánicos de papeleras	
Residuos industriales (petroquímicos)	
Petróleo y derivados	
Aniones sulfuro y sulfito	
Detergentes	
Dispersantes de petróleo	

* No degradable a corto plazo pero se degradará/descompondrá a largo plazo.

Dicho esto, se plantea la posibilidad de clasificar a los distintos grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua en función de su grado de biodegradabilidad. Así se presenta la siguiente clasificación:

Clasificación por tamaños

Parámetro	Soluble	Coloidal		Sedimentable
	<10-6mm	10-4mm	10-1mm	>10-1mm
DQO(%)	25	15	26	34
Compuestos orgánicos				
Grasas	12	51	24	19
Proteínas	4	25	45	25
Hidratos de Carbono	58	7	11	4
Tasa de oxidación bioquímica	0.39	0.22	0.09	0.08

Los residuos son líquidos en materia orgánica, la cual se descompone en presencia de oxígeno mediante la actividad bacteriana, lo que afecta a los niveles de oxígeno disueltos en el agua y a los nutrientes que se liberan, como nitratos y fosfatos. Se dice que estos residuos tienen una gran *demanda de oxígeno*.

La reducción de la concentración de oxígeno del agua, provocada por la actividad de las bacterias aeróbicas, se compensa por la difusión del oxígeno de la superficie y de las zonas cercanas con elevada concentración de este gas. Este proceso resulta, no obstante, lento y a medida que el nivel del oxígeno descende, se multiplican las bacterias anaerobias, capaces de oxidar compuestos orgánicos, sin presencia de oxígeno.

Los productos finales resultantes de la actividad de estas bacterias son el sulfuro de hidrógeno, metano y amoníaco, que resultan tóxicos para la mayoría de los organismos superiores.

A continuación se considerarán los efectos de la contaminación orgánica en una comunidad fluvial. Cuando los residuos orgánicos entran en un sistema acuático (se utilizará un río como ejemplo) se produce una respuesta característica de disminución de los niveles de oxígeno, mediante los procesos anteriormente descritos, en la zona inmediatamente inferior a su origen.

El perfil longitudinal de la concentración de oxígeno recibe el nombre de *curva de déficit de oxígeno*. Dicha curva dependerá de diversos factores, como son el nivel de contaminación y la estación, entre otros muchos.

Los métodos normalizados más importantes para el análisis de contaminantes orgánicos están basados en la determinación de parámetros en función del contenido de carbono y de la demanda de oxígeno.

#Contenido de Carbono:

–Determinación del carbono orgánico teórico (*COTe*).

–Determinación del carbono orgánico total (*COT*)

.

#Demanda de Oxígeno:

–Demanda teórica de oxígeno (*DteO*).

–Demanda total de oxígeno (*DTO*).

–Demanda bioquímica de oxígeno (*DBO*); se determina por métodos manométricos y de dilución.

–Demanda química de oxígeno (*DQO*); existen varios métodos para su determinación: métodos instrumentales de análisis, ensayos de evaluación rápida, ensayo de oxidación con permanganato y el ensayo del dicromato (este último será el utilizado en nuestra práctica). La medida de la DQO se corresponde con una estimación de las materias oxidables presentes en el agua. Dará igual cual sea su origen, orgánico o mineral (nitritos, sulfuros, cloruros,...). La reproducibilidad de los resultados dependerá de las materias presentes en cada momento. Su estudio resulta bastante útil para seguir el funcionamiento de las plantas depuradoras.

Dependiendo de lo que contenga el agua, este ensayo puede sufrir interferencias; así se observa que la presencia de compuestos orgánicos estables, como piridina, compuestos aromáticos o urea, que provocan que la oxidación que se usa como fundamento del método no sea total. A pesar de usar un catalizador para facilitar la oxidación.

El mayor problema para este ensayo, lo protagonizan los cloruros. Su presencia hace que se ponga en entredicho la fiabilidad de la técnica.

OBJETIVO

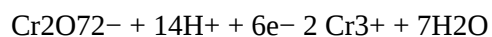
Determinación de la DQO (demanda química de oxígeno) de una muestra de agua residual mediante el método de oxidación de dicromato potásico (K_2CrO_7).

PROCEDIMIENTO

El método llevado a cabo consiste en realizar un ensayo con una disolución de 5 mL de muestra problema (agua residual), que se somete a digestión por calentamiento en presencia de 25 mL de dicromato potásico ácido y de una pequeña cantidad de $HgSO_4$. Se calienta en una placa calefactora hasta que alcanza una

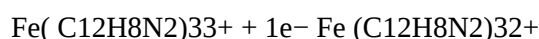
temperatura de 165°C, en ese momento se retira y se deja enfriar hasta 80°C; a esta temperatura se lleva a un erlenmeyer de mayor tamaño donde se añaden tres fracciones de agua destilada (de 100 mL cada una), aprovechando para limpiar el vaso y el termómetro usado.

La materia orgánica contenida en la muestra de agua residual se oxida en presencia del dicromato potásico ácido (amarillo) que se transforma en ión crómico (verde), según la siguiente reacción:



Una vez producida dicha transformación se procede a valorar la disolución resultante con *sal de Möhr* (sulfato amónico ferroso): $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, en presencia de unas gotas de ferroína (sustancia indicadora). La sal de Möhr se oxida en presencia de aire, perdiendo así parte de su fuerza. Debido a esto se realiza una valoración previa de una disolución de 25 mL de dicromato potásico acuoso, 20 mL de ácido sulfúrico y unas gotas de ferroína. Mediante la valoración se consigue obtener un factor de corrección (F), que nos permitirá hacer una corrección matemática para tener en cuenta esa degradación.

La sustancia indicadora utilizada en la práctica, ferroína, es una solución de 1,10-fenantrolina monohidrato y sulfato ferroso hidratado, según la siguiente reacción:



(azul pálido) (salmón)

Con el volumen gastado de sal de Möhr gastado en la valoración previa, calculamos el factor de corrección:

$$F = (25 \text{ mL}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot 0,05 \text{ N} \cdot 80) / (V \text{ mL sal de Möhr} \cdot 0,05 \text{ N})$$

Se hacen dos digestiones que contengan la muestra problema y otras dos que no lo contengan (blanco).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. -Factor de valoración de la sal de Möhr

Volumen gastado de Sal de Möhr: $V_1 = 24,4 \text{ mL}$

N sal de Möhr = 0.0501 N **F = 81,6**

2. -Valoración

MUESTRA PROBLEMA		BLANCO		
Número de digestión	1	2	1	2
Volumen empleado(mL)	15,7	12,7	14,4	19,2
V medio = 14,20 mL		V medio= 16,80mL		

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

$\text{DQO} = (\text{mL blanco} - \text{mL gastados muestra problema}) \cdot F =$

$$= (196,80 \text{ mL} - 14,20 \text{ mL}) \cdot 81,6 = 212,16 \text{ mg/L}$$

DQO=212,16 mg/L

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Resulta un método muy satisfactorio para valores de DQO superiores a 50 mg/L y contenidos de cloruros inferiores a 1.5 g/L.

Si la DQO es superior a 800 mg/L se procede a una dilución con agua destilada. Si el contenido en cloruros es mayor de 1.5 g/L, habrá que aumentar la cantidad de HgSO_4 para tener una relación $\text{HgSO}_4 / \text{H}_2\text{O}$ próxima a 10.

La DQO obtenida aumenta el contenido en cloruros y la complejación no es satisfactoria para las concentraciones elevadas encontradas en vertidos industriales y en el agua del mar. De hecho el método no es aplicable más que para agua cuyo contenido en cloruros (expresado en Cl^-) sea inferior a 3 g/L.

El método permite oxidar la mayor parte de los compuestos orgánicos al 95%. Sin embargo, algunos de ellos que son muy volátiles, pueden eliminarse en el momento de la adicción de ácido sulfúrico y del calentamiento.

Otros no se oxidan más que parcialmente (metionina, ácidos cítrico y láctico,...) o muy poco (piridina, purina, pirimidina, así como en general, las funciones aminas o amidas).

Por último se resolverán la serie de cuestiones planteadas en el guión de prácticas.

1. –¿Qué valores de DQO cabrían esperar en una muestra de agua residual urbana?

Cuando el ensayo realizado se aplica a aguas residuales urbanas, se encuentran unos valores diferentes al obtenido con el método normalizado (aproximadamente un 65%). Los valores para DQO suelen estar en el intervalo 300 – 500 mg/L.

Así que la muestra analizada se encuentra dentro de los límites permitidos.

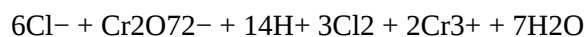
2. –¿Cuál es el objetivo de la adicción de Ag_2SO_4 al dicromato potásico ácido?

Realiza funciones de catalizador, con la finalidad de producir la oxidación de ácidos y alcoholes de cadena recta.

Existe un problema que se presenta cuando hay presencia de cloruros, puesto que pueden precipitar junto con los iones Ag^+ del catalizador y provocar que se obtengan valores para DQO erróneos.

3. –¿Cuál es el efecto de la adicción de Hg_2SO_4 al llevar a cabo la digestión de la muestra?

Como ya se ha explicado anteriormente, la presencia de cloruros en la muestra tienen un efecto negativo en el desarrollo del proceso de determinación del valor de DQO. Esto se debe a que por la presencia del dicromato ácido potásico (fundamental en el método utilizado) hace que los cloruros sean oxidados, según la siguiente reacción redox:



Al añadir el sulfato de mercurio se eliminan las posibles interferencias por parte de los cloruros, ya que se combinan con el mercurio y así en su nueva forma (no iónica) no da lugar a la reacción redox anterior. Según se ha apuntado antes, debe haber una relación aproximada entre el sulfato y los cloruros con un valor próximo a 10.

La reacción entre el mercurio y los cloruros es del tipo:



4.-¿Cómo se evitarían las posibles interferencias de los nitritos en la determinación de la DQO?

Si nos encontramos una situación en la que los nitritos perturban la determinación de la DQO, tendríamos que añadir 10 mg de ácido sulfámico por cada mg de nitritos presentes en la muestra.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el intervalo dado para aguas residuales urbanas (300 –500 mg), podemos concluir diciendo que la muestra analizada en el laboratorio, para la que se ha obtenido una DQO = 468.94 mg /l, se puede tratar de una fracción de aguas residuales urbanas.

Por otra parte, en atención a los valores de DQO admitidos para el agua potable (25–30mg/L), nos lleva a la conclusión de que la muestra analizada requeriría un exhaustivo tratamiento para poder ser usada como agua potable.

BIBLIOGRAFÍA

- *Ingeniería ambiental*. Gerard Kiely. Editorial Mc Graw Hill.
- *Manual de contaminación ambiental*. Fundación Mapfre. Ed. Mapfre S.A.
- *Ánàlisis de las aguas*. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. J. Rodier. Editorial Omega, 1990

IMPACTADOR

EN CASCADA

INTRODUCCIÓN

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra, su espesor alcanza aproximadamente unos 200 kilómetros.

Está constituida por una mezcla de gases que no ejercen ninguna acción química entre sí; estos gases principalmente son Nitrógeno, Oxígeno y Argón (suman el 99.9% del aire seco). Además se encuentran compuestos con concentraciones variables: anhídrido carbónico, vapor de agua y una gran cantidad de gases minoritarios y en concentraciones traza.

En general, se considera contaminación cualquier modificación en la composición del aire puro; otras veces, la definición se basa en la nocividad de las sustancias modificadoras de esta composición sobre el hombre, los animales o las plantas. La contaminación atmosférica se define como la condición atmosférica en la que ciertas sustancias y/o energías alcanzan concentraciones o niveles suficientemente elevados, sobre el nivel ambiental normal como para producir riesgos, daños o molestias a personas, ecosistemas y bienes.

Las alteraciones en la composición del aire tienen dos orígenes:

#Natural; debida a causas muy diversas, como vientos, fuegos, nieblas, meteoritos, polen, vida animal, etc.; es inevitable y la naturaleza le hace frente por sí misma restableciendo el equilibrio cuando ha sido perturbado.

#Artificial; provocada por los procesos de combustión, la industria, el tránsito y otras actividades del hombre. Esto da lugar a que el aire de las ciudades y de los centros industriales esté cada vez más contaminado por acumulación de humos, polvos y gases. La civilización moderna es tóxica.

Los contaminantes pueden ser de tres tipos: biológicos, físicos y químicos.

Parámetro	Atmósfera limpia Concentración (ppb)	Atm. Contaminada Concentración (ppb)	Tiempos residencia aproximados
Partículas	120		
CO	320000*	> 100 g/m ³	
CO₂	0.2–10	1000–10000	65 días
SO₂	0.01–0.6	400000	15 años
NO	0.1–1	20–200	40 días
NO₂	0.001	50–750	1 día
HNO₂	0.02–0.3	50–250	1 día
HNO₃	20–80	1–8	1 día
O₃	1–6	3–50	20 días
NH₃	1500	100–500	8–10 años
CH₄	300	10–25	10–150 años
N₂O	0.2	2500	
H₂S	5.10–3 g/m ³	0.5–3 g/m ³	
Pb			

*El Dióxido de Carbono no es contaminante en sentido estricto, ya que daña la parte alta de la estratosfera pero no la calidad del aire al nivel de tierra.

De este modo, nos podemos encontrar a los contaminantes en las siguientes formas, según como estén dispersos:

#Vapores: fase gaseosa de una sustancia (sólida o líquida).

#Gases: estado físico.

#Aerosoles: dispersión de partículas sólidas o líquidas (de pequeño tamaño) en medio gaseoso.

Se presentan diversos estados físicos dentro de los contaminantes en forma de aerosoles, como pueden ser: polvo, nieblas, bruma, humo. Cuando la contaminación es muy elevada se utiliza el término *smog*.

A continuación se muestra una tabla con los principales compuestos contaminantes y sus focos:

Desde el punto de vista tóxico, los contaminantes atmosféricos pueden causar daños por un mecanismo diferente, dependiendo de que estén dispersos en forma homogénea (gases y vapores) o en forma heterogénea (polvos y nieblas).

Cuando el aire inhalado está contaminado por *vapores y gases*, estos alcanzan la superficie pulmonar, reaccionando o disolviéndose en los alvéolos, para pasar a la sangre rápidamente y ejercer su acción en puntos muy alejados de los de penetración independientemente de sus efectos locales. Los vapores o gases solubles en agua llegan más difícilmente a las zonas respiratorias profundas, por absorberse en la humedad nasal y laríngea; pueden alcanzar el torrente sanguíneo, pero con menor rapidez que por vía alveolar.

Cuando los contaminantes están en dispersión *heterogénea*, su efecto tóxico depende del grado de subdivisión que presentan, ya que, además de la mayor facilidad de penetración a zonas profundas del organismo, presentan mayor superficie reactiva.

El mecanismo de retención de las vías respiratorias deja de ser efectivo para tamaños de partícula $< 0,1$ micrón.

Puesto que el campo de la higiene industrial, la vía de entrada más importante para la mayoría de los contaminantes es la respiratoria, nos centraremos en el polvo como contaminante de la atmósfera. Estos medios se llaman DISPERSOS, ya que constan de una fase dispersa (partículas) y de un material dispersante (aire). En cuanto a la diversidad de tamaños, se definen sistemas *monodispersos* y *polidispersos*.

Los riesgos que pueden originar se clasifican de manera amplia, desde simples molestias en el lugar de trabajo, hasta una neumocomicosis.

El polvo procedente de la industria se puede clasificar en función de diferentes aspectos:

#Clasificación por TAMAÑO:

- Sedimentable*: se deposita de manera rápida, por su peso. Con tamaño entre 10 y 15 micras.
- Inhalable*: capaz de penetrar en el sistema respiratorio. Con tamaño menor a 10 micras.
- Respirable*: Capaz de penetrar en los pulmones. Con tamaño inferior a 5 micras.
- Visible*: puede ser observado a la vista, mayor de 40 micras.

#Clasificación por la FORMA:

- Polvo*: partículas sólidas en suspensión, que no sean fibras.
- Fibras*: partículas mayores de 5 micras de longitud, con un diámetro de sección transversal menor de 3 micras y una relación longitud–anchura mayor de 3.

#Clasificación por COMPOSICIÓN:

- Animal*: pluma, pelo, hueso.
- Vegetal*: polen, cereales, paja, tabaco, cáñamo.
- Mineral*: metales, asbesto, etc.

#Clasificación por sus EFECTOS:

Polvo tóxico, neumoconiótico, cancerígeno, tóxico, etc.

Estudiaremos la toxicidad de una sustancia, y para eso hay que definir unos parámetros; la ACGIH recomienda la aplicación de los valores límite umbral con selección de tamaño de la partícula: *PSS-TLV's*, definiendo tres fracciones de masa particulada: Inspirable, Torácica y Respirable, que se identifican a su vez con las zonas anatómicas del tracto respiratorio. En función de estas tres fracciones de masa particulada, los *PSS-TLV's*, se expresarán de tres formas:

- Valores TLV de la masa inspirable de partículas (*IPM-TLV's*), correspondientes a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio.
- Valores TLV de la masa torácica de partículas (*TPM-TLV's*), para aquellos materiales que son peligrosos al depositarse en cualquier parte de las vías respiratorias y la región de intercambio de gases.
- Valores TLV de la masa respirable de partículas (*RPM-TLV's*), para aquellos que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

Estas tres fracciones de masa particulada se definen en términos cuantitativos de la siguiente forma:

a) La masa particulada *inspirable* consiste en aquellas partículas que son captadas de acuerdo con la siguiente eficacia de recogida, con independencia de la orientación del muestreador con respecto al viento:

$$E=50(1-\exp -0,06 da) \pm 10$$

Expresión para $0 < da < E \ 100$ micras.

Las características de recogida para $da > 100$ micras son desconocidas en la actualidad. **E** es la eficacia de recogida expresada porcentualmente y **da** es el diámetro aerodinámico en micras.

b). La masa *torácica* consiste en aquellas partículas que penetran en un separador cuya eficacia de recogida por tamaños viene descrita por una función log-normal acumulativa con un diámetro aerodinámico medio de $10 \text{ }\mu\text{m} \pm 1.0 \text{ }\mu\text{m}$ y una desviación geométrica normal igual a 1.58 ($\pm 0,1$).

c). La masa *respirable* de partículas consiste en aquellas partículas que penetran en un separador cuya eficacia de recogida por tamaños viene descrita por una función log-normal acumulativa con un diámetro aerodinámico medio igual a $3.5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,3 \text{ }\mu\text{m}$ y una desviación geométrica normal igual a 1.5 ($\pm 0,1$).

La directiva 88/642/CEE del consejo de Europa sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos, físicos y biológicos, establece el siguiente anexo:

a). *Fracción Inspirable*: es la fracción que se inspira de todo el conjunto de materias en suspensión presentes en el aire que respira el trabajador. A este respecto son determinantes las velocidades de aspiración por la nariz y la boca, así como las condiciones de circulación del aire alrededor de la cabeza.

b). *Fracción respirable*: es la parte de la fracción inspirable que penetra en los alvéolos pulmonares. Para su captación se utilizará un separador por sedimentación que separe el 50% de las partículas que tengan un diámetro aerodinámico de 5 micras.

Existen criterios para las sustancias químicas, según la ACGIH. Anualmente se publica una relación de

valores admisibles en el ambiente de trabajo (TLV); estos son límites recomendables y no frontera entre condiciones seguras y peligrosas.

Debido a la variedad de efectos que las sustancias químicas pueden provocar en las personas expuestas, se han definido tres tipos de valores límite:

#**TLV-TWA**: (valor límite umbral ponderado en el tiempo), se trata de la concentración límite ponderada en el tiempo para una jornada de 8 horas y 40 horas semanales.

#**TLV-STEL**: (Valor límite umbral de exposición de corta duración), es una concentración ponderada en el tiempo para una exposición de 15 minutos. No puede sobrepasarse en ningún momento de la jornada y no debe repetirse más de cuatro veces al día, con un espacio mínimo de 60 minutos entre dos exposiciones sucesivas.

#**TLV-C**: (Valor límite umbral – valor techo), representa la concentración que no debe sobrepasarse en ningún momento.

Son recomendaciones que no pueden tomarse como una frontera.

–Parámetros menos frecuentes para expresar dosis tóxicas son **DLM** (dosis letal mínima); **DMNF** (dosis máxima nunca fatal); **PT** (expresión logarítmica de la concentración molal que produce efectos tóxicos) [3].

OBJETIVO

Se pretende realizar un muestreo selectivo por tamaño de partícula mediante el empleo de un **impactador en cascada**. Una vez obtenidos los resultados se aplicarán correctamente los Valores Límite Umbral con selección del tamaño de partícula (PSS –TLV's) para los IMP –TLV's.

PROCEDIMIENTO

El tipo de selector de partícula utilizada va a depender del tipo contaminante a estudiar, en esta práctica se usa un impactador en cascada provisto de ocho filtros con diferente diámetro de partícula, colocados en orden decreciente de tamaño y un filtro colector en la base del impactador.

Se pesan los filtros que se van a utilizar, dentro de una *caja petri* con el fin de no perder muestra a la hora de la pesada final. Una vez pesados los filtros se monta el impactador y se introduce en la campana extractora.

Cuando todo está preparado, se crea una corriente de aire contaminado (con TALCO y luego con SÍLICE) y se hace un muestreo durante un tiempo aproximado de quince minutos.

Una vez finalizado el muestreo hay que desmontar el impactador y pesar los filtros, con precaución para evitar las pérdidas de muestra.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Tanto para la SÍLICE como para el TALCO, los datos de referencia que se han tomado en el laboratorio para elaborar la tabla son los siguientes:

Caudal de muestreo, Q 1.5 Lpm (litros por minuto)

#Tiempo de muestreo, T..... 15 minutos

SÍLICE

Nº TAMIZ	P. corte tamiz Dp (micrones)	Peso inicial	Peso final	Peso de plas	W2 (mg)	W (mg)
				W1 (mg)		
1	21,3	150,6	151,2	0,60		
2	14,8	150	150,7	0,70		
3	9,8	150,4	151,2	0,80		
4	6	150,1	151,6	1,50		
5	3,5	148,6	149,6	1,00		
6	1,55	148,9	149,8	0,90		
7	0,93	149,5	150,7	1,20		
8	0,52	149	149,4	0,40		
colector	0,25	150,2	151,1	0,90		
W total	--	--	--	8,00		

TALCO

Nº TAMIZ	P. corte tamiz Dp (micrones)	Peso inicial	Peso final	Peso de plas	W2 (mg)	W (mg)
				W1 (mg)		
1	21,30	151,3	151,8	0,5		
2	14,80	150,4	151,4	1,0		
3	9,80	150,2	151,1	0,9		
4	6,00	150,6	151,0	0,4		
5	3,50	149,6	150,6	1,0		
6	1,55	150,2	151,3	1,1		
7	0,93	149,3	149,7	0,4		
8	0,52	150,4	150,4	0,0		
colector	0,25	150,8	150,8	0,0		
W total	--	--	--	5,3		

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Una vez que tenemos los resultados experimentales, se elabora una tabla para cada uno de los contaminantes.

Las expresiones utilizadas son:

#Volumen de muestreo, $V = (16,7) \cdot 10^{-3} \cdot Q \cdot T$

Talco y sílice: $V = 1,347 \text{ l} = 1,347 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

#Concentración total, $C_{\text{total}} = W_{\text{total}} / V$

$C_{\text{total}} (\text{SÍLICE}) = 5939,12 \text{ mg} / \text{m}^3$

$C_{\text{total}} (\text{TALCO}) = 3934,67 \text{ mg} / \text{m}^3$

$\delta C = W / V$

$$\# \delta \log_{10} D_p = \log_{10} D_{p\ i-1} - \log_{10} D_{p0}$$

GMD = $(D_{pi} \cdot D_{pi-1})^{0,5} \cdot D_{p0}$, siendo D_{p0} el tamaño de partícula más grande muestreado, como no se conoce se considera 50 micras.

SÍLICE

Nº TAMIZ	δC (mg/m ³)	Log ₁₀ D _p	$\delta \log_{10} D_p$	$\delta C / \delta \log_{10} D_p$ (mg/m ³ /log micron)	GMD micron	W/Wt (total)	%<D _p
1	445,43	1,33	0,37	1.203,88	1.631,70	7,50	92,50
2	519,67	1,17	0,16	3.247,96	887,80	8,75	83,75
3	593,91	0,99	0,18	3.299,51	602,20	10,00	73,75
4	1113,59	0,78	0,21	5.302,79	383,40	18,75	55,00
5	742,39	0,54	0,23	3.227,78	229,10	12,50	42,50
6	668,15	0,19	0,35	1.909,00	116,50	11,25	31,25
7	890,87	-0,03	0,22	4.049,40	60,00	15,00	16,25
8	296,96	-0,28	0,25	1.187,82	34,80	5,00	11,25
Soporte	668,15	-0,60	0,32	2.087,97	18,00	11,25	0,00

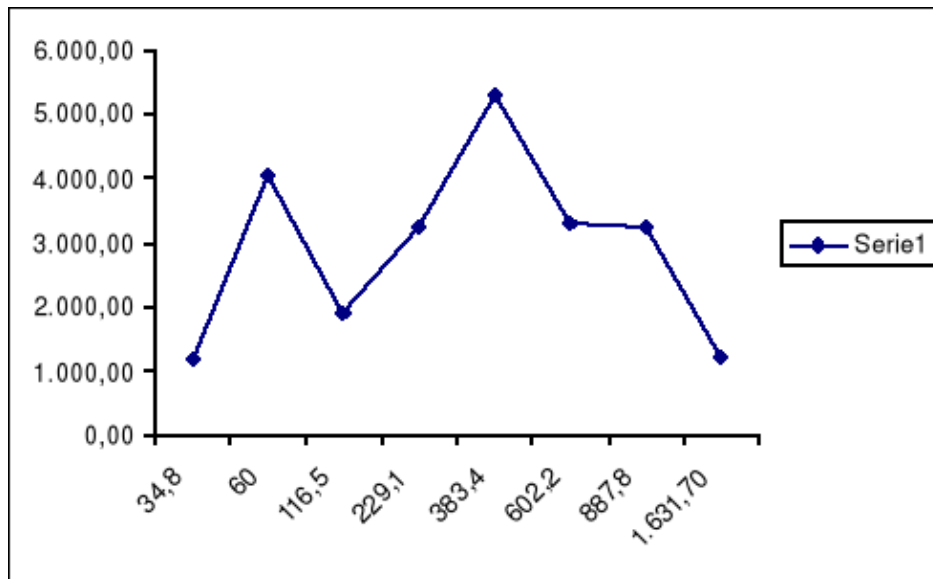
TALCO

Nº TAMIZ	δC (mg/m ³)	log ₁₀ D _p	$\delta \log_{10} D_p$	$\delta C / \delta \log_{10} D_p$ (mg/m ³ /log micron)	GMD micron	W/Wt (total)	%<D _p
1	371,20	1,33	0,37	1.003,23	1.631,70	9,43	90,57
2	742,39	1,17	0,16	4.639,94	887,80	18,87	71,70
3	668,15	0,99	0,18	3.711,95	602,20	16,98	54,72
4	296,96	0,78	0,21	1.414,08	383,40	7,55	47,17
5	742,39	0,54	0,23	3.227,78	229,10	18,87	28,30
6	816,63	0,19	0,35	2.333,23	116,50	20,75	7,55
7	296,96	-0,03	0,22	1.349,80	60,00	7,55	0,00
8	0,00	-0,28	0,25	0,00	34,80	0,00	0,00
Soporte	0,00	-0,60	0,32	0,00	18,00	0,00	9,43

Con los resultados obtenidos para la sílice y el talco, haremos una representación doble logarítmica de $\delta C / \delta \log_{10} D_p$ vs GMD:

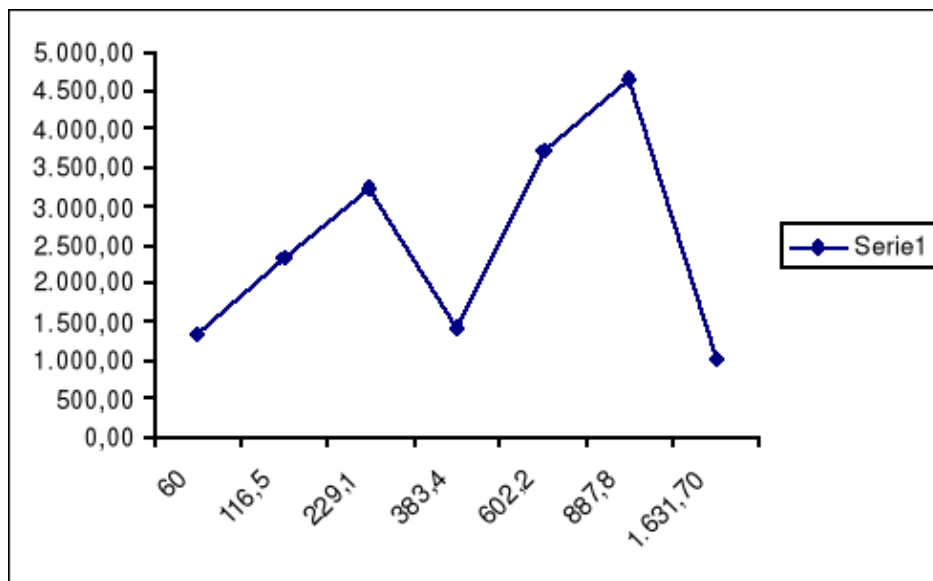
SÍLICE

$\delta C / \delta \log_{10} D_p$ vs GMD



TALCO

$\delta C / \delta \log_{10} D_p$ vs GMD



Por último determinaremos las eficacias, que vienen dadas con la siguiente expresión:

$$E = 50 [1 + \exp (-0.06 d_a)] \pm 10$$

Hemos trabajado con diámetros con valores comprendidos en el intervalo;

$$0 < d_a \leq E \text{ 100 micras.}$$

Para este cálculo se considera a las partículas totalmente esféricas, y de esta forma podremos considerar prácticamente iguales al diámetro de partícula y al diámetro aerodinámico.

Podemos considerar como referencia un $d_a = 50 \mu m$, obteniendo así una eficacia de retención:

$$E = 52,49 \pm 10$$

De esta forma podemos calcular la eficacia de retención para cada uno de los diámetros de partícula usados en la práctica:

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Vemos como a pesar de trabajar en las mismas condiciones y con el mismo instrumental para la Sílice y para el Talco, se obtienen valores de concentraciones distintos y por lo tanto, todos los parámetros difieren.

A la vista de los resultados obtenidos, cabe destacar la gran dispersidad que presentan los resultados en las gráficas de $\delta C / \delta \log_{10} D_p$ frente a GMD (no se obtiene una forma definida en la gráfica, no se trata de rectas, ni ningún tipo de curvas; sino que se observan picos hacia arriba y hacia abajo que prueban la falta de homogeneidad). Esto refleja las distintas retenciones que sufren las partículas en función de su tamaño.

Las tablas muestran como a medida que disminuimos al D_p , el porcentaje de partículas de tamaño igual o menor que el D_p es más pequeño. En cuanto a las eficacias de retención, se observa como aumenta según va disminuyendo el D_p ; esto es muy comprensible, ya que si el diámetro de partículas pequeño será más difícil que las distintas partículas pasen a través de dicho tamiz; quedando así retenido en éste.

CONCLUSIONES

La penetración por vía respiratoria es la más importante en toxicología industrial. Al ser necesaria la inhalación del aire para el funcionamiento normal del organismo, el contaminante que le acompaña penetra fácilmente, posibilitando el contacto del tóxico con zonas muy vascularizadas, o incluso, donde se van a realizar los intercambios sangre-aire, en los alvéolos pulmonares.

Los contaminantes sólidos, polvo y fibras, suspendidos en el aire inspirado, pueden ser eliminados mediante los organismos de limpieza del propio sistema respiratorio. Se sabe en las vías respiratorias altas se retienen partículas de tamaño mayor a 10 micras, en los bronquios se encuentran partículas de hasta 5 micras y a los alvéolos llegan partículas de 1 micra.

El tamaño y la densidad de las partículas será fundamental, ya que la posibilidad de que la partícula llegue a la zona alveolar, disminuye con el tiempo:

Pulmón: el 95% del polvo encontrado es $< 2\mu m$; el 99.8% es $< 5\mu m$ y el 99.99% es $< 10 \mu m$.

En la *laringe y la faringe*, se depositan por gravedad entre la inspiración y la expiración.

En los *alvéolos* las partículas $< 2\mu m$, se acercan a las paredes por difusión molecular.

Dicho esto, se puede concluir diciendo que tanto los gases como los vapores penetran con facilidad por acompañar al aire inspirado, mezclándose así con la masa de aire pulmonar.

Con las concentraciones obtenidas:

$$C_{total} (SÍLICE) = 5939,12 \text{ mg} / m^3$$

$$C_{total} (TALCO) = 3934,67 \text{ mg} / m^3$$

Se puede pensar que tanto el Talco como la Sílice, serán capaces de alcanzar cualquier parte de las vías respiratorias. Dicho esto, se pueden representar de forma esquemática, las partes del organismo afectadas por los distintos tóxicos (extracto de la guía de riesgo químico WLOSH/OSHA).

Estos son datos basados en la observación de efectos en animales.

Cabe destacar, que la *silicosis* (enfermedad profesional del pulmón más conocida); se produce por inhalación de sílice cristalina o polvo que contenga más de del 1% de sílice libre cristalina.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Ingeniería ambiental*. Gerard Kiely. Editorial Mc Graw Hill.
2. *Introducción a la QUIMICA INDUSTRIAL*. Vian. Editorial Reverté.
3. *Manual de higiene industrial*. Fundación Mapfre. Ed. Mapfre S.A.

3

ustin

ustin