

Introducción

Es bien sabido que a los alumnos de bachillerato les gustan los minerales, aunque la mayoría desconoce que se usan como gemas, y que gemas como el rubí (rojo) y el zafiro (todos los demás colores) son corindones, y la esmeralda (verde) y el aguamarina (azul mar) son berilos, ya que en esos minerales se han introducido átomos de elementos químicos distintos, y ésta es la causa del cambio de color. Todos estos datos les llaman mucho la atención y les aumenta sus ganas de saber más sobre las propiedades de los minerales y su aplicación.

Por ello se ha propuesto la realización de este taller. En él se sugieren una serie de actividades prácticas a fin de iniciar al alumno en el estudio de las propiedades de los minerales y de su aplicación en la identificación de gemas.

Uno de los objetivos es determinar el por qué del uso de determinados minerales como gemas a partir del estudio de algunas de sus propiedades físicas y ópticas. Estas últimas son las que nos servirán para confirmar en muchos casos la identificación de la gema, teniendo en cuenta que se deben utilizar técnicas de análisis no destructivas, aspecto muy importante cuando se trata de gemas talladas.

Para desarrollar las actividades se utilizaran minerales, gemas talladas de baja calidad y equipos sencillos (que se encuentran en el laboratorio o pueden conseguirse prestados). Al utilizar estos aparatos introducimos al alumno en el manejo de equipos de investigación sencillos, a la vez que se le enseña cómo conocer sus partes, sus posibilidades, sus limitaciones y su correcta puesta a punto para poder obtener datos fiables.

Desarrollo del taller

Para la realización del taller se propone la formación de siete grupos de trabajo, cada uno formado por tres alumnos, cuyo objetivo será la realización, estudio y observación de las actividades que se proponen. El elegir el mismo número de grupos que de actividades se debe a que así pueden prepararse todos

* Licenciada en Ciencias Geológicas. Gemóloga. Profesora de Biología y Geología del IES Francesc Ribalta.

Ribalta. Quaderns d'aplicació didàctica i investigació, núm. 21 (abril 2014), ps. 11 - 22.
© IES Francesc Ribalta · Castelló de la Plana · ISSN: 1132-1814

los minerales, gemas e instrumentos necesarios y puede comenzarse el taller simultáneamente con todos los grupos. Cada uno de ellos debe trabajar todos y cada uno de los siete aspectos que se contemplan en la práctica y dedicará a los mismos un tiempo determinado. Al final, por rotación, todos los participantes habrán realizado la totalidad de los trabajos prácticos que se proponen.

Las actividades a desarrollar en el taller son las siguientes:

1. Identificar los minerales en bruto, de sus formas cristalinas y estudiar su importancia en relación a los fenómenos ópticos y talla de las gemas.
2. Obtener la medida del peso específico de las gemas talladas, utilizando una balanza adaptada y aplicando el principio de Arquímedes.
3. Observar directamente la existencia o no de pleocroísmo.
4. Medir la dureza mediante la utilización del lápiz de dureza
5. Estudiar las inclusiones de las gemas talladas, utilizando la lupa binocular.
6. Obtener los valores de los índices de refracción de las gemas talladas, utilizando el refractómetro.
7. Observar los espectros de absorción más característicos de algunas gemas, utilizando el espectroscopio

Es importante conocer los aspectos conceptuales, el material objeto de estudio y la descripción del equipo utilizado para la realización de la observación o la medida de la propiedad física determinada.

1. Formas cristalinas

Una forma cristalina es la expresión externa de un orden interno de los átomos que constituyen el mineral. Si la materia cristalina dispone de espacio, tiempo y reposo, lo más habitual es que se obtengan cuerpos homogéneos, geométricos con caras planas que es lo que llamamos normalmente cristal.

Para obtener una gema tallada necesitamos un cristal con un cierto tamaño ya que en estas condiciones es posible apreciar muchas de sus características morfológicas, además muchas de ellas nos pueden ser útiles para la identificación. La forma geométrica de los cristales con sus caras, nos sirve además para demostrar una de las propiedades esenciales del cristal: su anisotropía de crecimiento, ya que si la velocidad de crecimiento de las caras del cristal fuese uniforme, los cristales deberían ser esféricos y sin embargo no es así.

Un aspecto a destacar de las formas cristalinas en el campo de la gemología es su relación con la talla. La talla es el conjunto de procesos que lleva a cabo el hombre sobre un cristal natural en bruto, para transformarlo en una gema tallada. La talla y el pulido de las gemas son operaciones que tienen por objeto resaltar al máximo sus cualidades de color, brillo, transparencia, dispersión y resplandores, aún a costa de perder material y, en consecuencia, peso.

Los dos estilos de talla clásicos más conocidos, la brillante y la esmeralda, derivan de la forma de los cristales en bruto que presentan con más frecuencia el diamante y el berilo. Así la talla brillante del diamante deriva de la forma octaédrica que presenta este mineral en la mayoría de los casos. De esta forma el tallador consigue mantener el máximo peso posible una vez tallado en relación al peso del cristal en bruto.

De un octaedro de diamante cortado por la mitad se pueden obtener dos piezas talladas en estilo brillante. También en el caso de la talla esmeralda ocurre lo mismo. Una de las formas cristalinas más frecuentes del berilo es el prisma hexagonal que, partido por la mitad a lo largo de su eje senario de simetría, nos suministra dos futuras tallas de estilo esmeralda.

Para poder llevar a cabo con éxito la tarea de facetar un mineral-gema, el tallador necesita conocimientos de cristalografía y mineralogía. (El conocimiento de las formas cristalinas ayuda a orientar correctamente los cristales durante el proceso de la talla para poderlos cortar adecuadamente) debe conocer también la existencia de exfoliación en los materiales y los efectos ópticos, por ejemplo el dicroísmo, ya que debe tener presente la mejor orientación para evitar la presencia de este fenómeno.

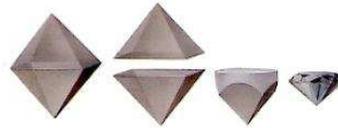


Fig 1. Talla brillante a partir de un octaedro

El objetivo de esta actividad es observar algunos ejemplos de cristales en bruto y comentar aspectos en relación a la talla y propiedades ópticas. Los minerales que se va a utilizar son:

- Sistema cúbico: granate, fluorita.
- Sistema tetragonal: zircón, casiterita
- Sistema hexagonal: berilo, apatito
- Sistema ortorrómbico: crisoberilo, topacio
- Sistema trigonal: cuarzo, turmalina
- Sistema monoclinico: ortosa, diópsido
- Sistema triclinico: cianita, turquesa

2. Peso específico

Es la relación entre el peso de una determinada sustancia y el peso de su volumen equivalente en agua destilada a 4°C y a la presión atmosférica al nivel del mar. Para la determinación del mismo aplicamos el principio de Arquímedes.

Para la identificación de una gema, conocer el peso específico puede ser de gran utilidad. En el taller las gemas utilizadas para realizar la práctica son: andalucita, iolita, granate, zafiro y turmalina. En esta actividad y puesto que el

tamaño de las gemas oscila entre 15 y 30 mm podemos utilizar la balanza de precisión.

Para efectuar los cálculos primero procedemos a pesar cada uno de los ejemplares con la balanza. El peso nos vendrá expresado en gramos, no obstante en esta práctica y puesto que trabajamos con gemas de reducido tamaño se utilizara como unidad de medida el quilate que es una unidad más pequeña que el gramo. Un quilate métrico es igual a 1/5 de gramo o, lo que es lo mismo 0,200 mg; por tanto 1g = 5 quilates.

Cuando ya se han pesado los ejemplares en la balanza, los sumergimos en una probeta graduada llena de agua y enrasada, observamos el volumen de agua desplazada en relación a la existente anteriormente, es decir, antes de sumergir la muestra. Como cada mililitro de agua pesa 1g, observando el volumen desplazado se puede calcular el peso del mismo, y esto equivale al empuje o pérdida de peso que nos indica el principio de Arquímedes. Dividiendo el peso de la muestra obtenido en la balanza por el peso del volumen de agua desplazada, tendremos directamente el valor del peso específico:

$$P.E. = \text{Peso de la muestra} / \text{Peso del volumen de agua desplazada}$$



Fig 2. Balanza de precisión

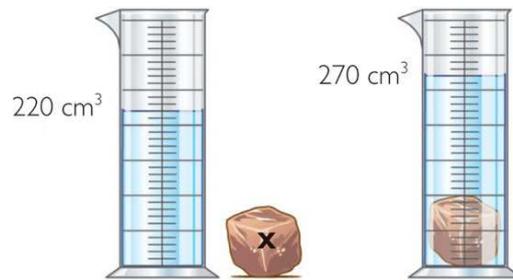


Fig 3. Probetas graduadas para obtención del peso específico

3. Pleocroísmo

Cuando la luz pasa a través de un cristal anisótropo puede ser absorbida de un modo distinto según las diferentes direcciones de vibración, lo que permite que algunas gemas transparentes y de color ofrezcan distinta intensidad o coloración dependiendo de la dirección de observación. A este efecto se le llama genéricamente pleocroísmo y, más específicamente, dicroísmo cuando se dan dos colores principales -solo en los cristales de los sistemas tetragonal, hexagonal y trigonal- y tricroísmo si se dan tres, como ocurre en los sistemas ortorrómbico, monoclinico y triclinico.

En esta práctica se utilizará un dicroscopio. Consta de un tubo metálico con una abertura rectangular en un extremo y una lente en el otro, dentro del tubo hay un cristal de calcita óptica o espató de Islandia. Debido a la intensa doble refracción

de la calcita se observarán dos imágenes ya que tiene la propiedad de desdoblarse el rayo luminoso en dos rayos polarizados perpendiculares entre sí.

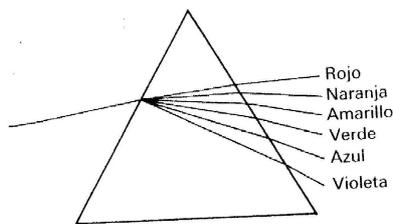


Fig 4. Dispersión del color

Debido a la polarización de la luz, cada una de las imágenes que se producen estará coloreada de forma diferente y se verán simultáneamente dos de los colores de la gema pleocroica.

El tallista debe tener este fenómeno en cuenta y saber si se trata de una gema con pleocroismo débil, medio o fuerte, para evitar varias tonalidades en una misma gema o tonalidades excesivamente claras o oscuras.

Las gemas pertenecientes al sistema cúbico, así como las amorfas, no poseen pleocroismo ya que la velocidad de la luz es la misma en todas sus direcciones.

Las gemas empleadas son: amatista, rubí, turmalina, alexandrita y topacio azul.

4. Dureza

La dureza de un mineral es la oposición que presenta a ser rayado, se determina por la escala de Mohs, comparativa con materiales de dureza conocida. Hay que probar a qué mineral raya él y cual le raya, quedando su dureza fijada entre la de ambos. Si su dureza coincide con la de uno de la escala se rayarán mutuamente. Hay que tener en cuenta que los números no son cantidades sino representan únicamente un orden.

1. Talco
2. Yeso
3. Calcita
4. Flúor
5. Apatito
6. Ortosa
7. Cuarzo
8. Topacio
9. Corindón
10. Diamante

La dureza normalmente se verifica en materiales en bruto dado que la comprobación de dureza es una prueba destructiva aunque se puede utilizar con mucho cuidado en piedras talladas y siempre en las zonas menos visibles. No obstante, es importante conocer la dureza de las gemas ya que es la principal característica que determina su durabilidad, siendo aconsejable una dureza mayor de 7 ya que esta se considera el límite de resistencia que debe poseer una gema para soportar la acción atmosférica, pues en el aire existen siempre partículas de

arenilla, causantes de la erosión, la arena es cuarzo y la dureza de este 7. Las gemas de menor dureza que se usaran continuamente perderían su brillo rápidamente debido al roce con las partículas sólidas atmosféricas indicadas.

La dureza es una propiedad vectorial, y un mismo cristal puede presentar distintos grados de dureza dependiendo de la dirección según la cual se raya.

El conocimiento de las distintas durezas es imprescindible para el tallador, para evitar posibles fisuras o clivajes

Esta práctica se realizará sobre los minerales y gemas empleados en actividades anteriores, de forma que en minerales se usarán los minerales indicados en la escala de Moshs y en gemas los lápices de dureza que son puntas de acero especial o fragmentos de mineral montadas a modo de lápices con los cuales se traza la raya sobre el filetín. Van desde el número 6 hasta el 10 y el número que raya la piedra indica que la gema tiene la dureza del número anterior.



Fig 5. Lápices de dureza

5. Las inclusiones

Llamamos inclusiones a todas aquellas sustancias sólidas, líquidas, gaseosas o mixtas que pueden apreciarse en el interior de un cristal y que han quedado englobadas en él en el proceso de su formación. También aquellos defectos y variaciones de aspecto y color de las gemas.

El estudio de las inclusiones permite averiguar muchos datos referentes a las gemas. Aporta datos básicos para diferenciar las gemas naturales de las sintéticas, puede identificar muchas imitaciones, ya que muchas inclusiones van asociadas a determinados minerales y, en ocasiones, incluso se puede identificar la mina de procedencia de las gemas.

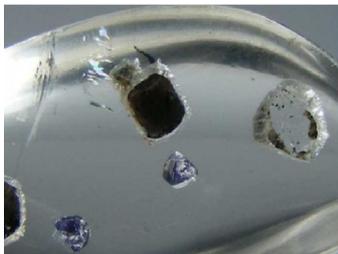


Fig 6. Inclusiones de fluorita en cuarzo

Las inclusiones sólidas suelen ser cristales microscópicos del mismo o de otros minerales hospedados en un cristal, pueden presentar estructura cristalina con caras, aristas y vértices identificables.

Las inclusiones líquidas son diversos líquidos como agua, ácidos, anhídridos y varias soluciones procedentes de la solución madre, retenidos en el proceso de formación, o que han penetrado por fisuras y/o cicatrices.

Ocurre en muchas ocasiones que encontramos asociados en la misma cavidad elementos en dos estados, en estos casos las inclusiones se llaman bifásicas cuando



Fig 7. Inclusiones líquidas en rubí

hay líquido con gas, líquido con sólido o dos líquidos inmiscibles. Trifásicas cuando hay sólido con líquido y gas o dos líquidos inmiscibles con gas. Son Polifásicas cuando se encuentran dos líquidos inmiscibles con sólido y gas.

Un ejemplo típico y determinante de estas inclusiones, son las trifásicas compuestas de aire, agua y un cristalito de otro mineral.

Las inclusiones pueden tener formas diversas, de aguja, de lámina, de cristal alargado, de cristal globular, cavidades rellenas de líquido, etc.

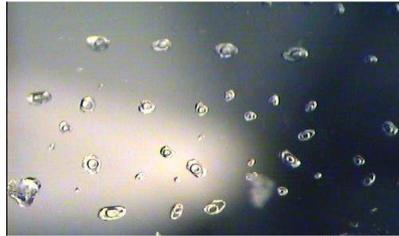


Fig 8. Inclusiones bifásicas líquido-gas en aguamarina



Fig 9. Inclusiones trifásicas sólido-líquido-gas en esmeralda

Según el origen de las inclusiones, estas se clasifican en: *protogenéticas* que ya existían antes de formarse el cristal, *singenéticas* que se forman al mismo tiempo que el cristal y *epigenéticas* que se desarrollan una vez el cristal ya está formado. El estudio de las inclusiones en las gemas es muy importante porque en muchos casos nos permite diferenciar entre los materiales naturales, los materiales sintéticos, los de imitación o los materiales naturales que han sufrido un tratamiento para mejorar el color.

Las piedras utilizadas en esta práctica son de esmeralda, rubí, cuarzo, aguamarina y vidrio, elegidas para poder ver la variedad de inclusiones anteriormente citadas.

Para observar las inclusiones es suficiente una lupa binocular en la que su rango de aumento oscila generalmente entre 4x y 40x aumentos. Un aspecto importante para la visión correcta de las inclusiones es la iluminación, para ello se



Fig 10. Lupa binocular

recomienda el uso del llamado campo oscuro que consiste en una iluminación indirecta de las inclusiones teniendo como fondo una placa oscura, para conseguir esto basta con utilizar una linterna y tapando parcialmente su parte central con un disco opaco negro. Para sujetar la muestra objeto de estudio, debemos utilizar unas pinzas que permitan en todo momento variar la posición de la misma para observar todas las zonas del ejemplar.

6. Índices de refracción

La luz al pasar de un medio menos denso a otro más denso sufre una desviación en su velocidad. Se denomina índice de refracción al número que expresa la relación existente entre la velocidad de la luz en el aire y la velocidad de la luz en el medio más denso, la gema. El grado de refracción de la luz es constante en todos los cristales de la misma gema, esto hace que la medida del índice de refracción o de los índices de refracción de una gema sea fundamental para su determinación.

La luz al atravesar la mayor parte de los cristales, anisótropos, da lugar a dos rayos refractados, que se desvían de diferente modo y que vibran en planos perpendiculares, con diferentes velocidades de propagación. Esto significa que, en un determinado punto de un cristal, existe un índice de refracción máximo y otro mínimo para cada dirección de propagación de la luz.

Si el cristal es isótropo o monorrefringente sólo existirá un índice, constante para todas las direcciones de observación puesto que la luz se mueve dentro de ellos a la misma velocidad en todas las direcciones; normalmente se tratará de minerales que cristalizan en el sistema cúbico, diamante, espinela y granate.

Si el cristal es anisótropo o birrefringente se podrán observar dos índices en cada dirección de observación ya que en ellos la velocidad de la luz varía según el eje cristalográfico. La diferencia de las medidas entre el mayor y el menor índice observados se denomina *birrefringencia* y caracteriza muy acertadamente la naturaleza de la gema, porque depende tanto de su estructura como de su composición.

En los cristales anisótropos se puede establecer una clasificación teniendo en cuenta la constancia o variabilidad de los índices observados en el refractómetro. Podemos clasificar los cristales anisótropos en:

- minerales *uniáxicos*, que cristalográficamente corresponden a los sistemas hexagonal, tetragonal y trigonal cuando uno de los índices observados permanece constante.

- minerales *biáxicos*, correspondientes a los sistemas rómbico, monoclinico y triclinico cuando los índices medidos son variables.

Los índices de refracción de las gemas se encuentran entre 1,37 en el ópalo y 3,22 que presenta la hematita.

Su determinación se lleva a cabo mediante refractómetros, que son aparatos ópticos de precisión basados en el concepto de ángulo límite, que es el mayor ángulo de incidencia de un rayo luminoso en una gema que permite la refracción del rayo.

La observación de los índices de refracción es un procedimiento sencillo; basta con poner una gota de líquido específico, con el fin de crear un contacto óptico entre el hemcilindro y la gema que se coloca con la tabla en contacto con el líquido. Por el ocular se pueden leer directamente los valores en una escala. Hay que realizar lecturas cada 90^a para comprobar todas las direcciones de propagación de la luz.

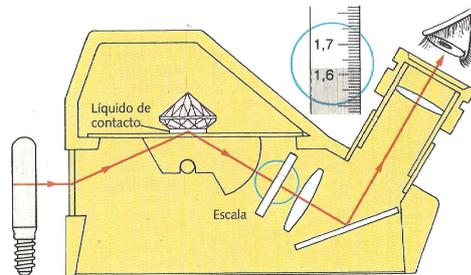


Fig 11. Esquema del funcionamiento del refractómetro



Fig 12. Refractómetro gemológico

Sin embargo, con un refractómetro normal, sólo es posible alcanzar un valor máximo de 1,81, valor del índice de refracción del líquido de contacto, y únicamente en gemas que posean una cara plana, normalmente la tabla.

En esta actividad se observaran los índices de refracción de las gemas utilizadas en las actividades anteriores, añadiendo zircón y rutilo, con el fin de comprobar que no pueden observarse índices de refracción de estas dos gemas por ser este superior al del líquido de contacto, el zircón con valores de refracción de 1,810 - 2,024 y el rutilo con 2,166 - 2,903. Ocurre lo mismo con el diamante, valor de 2,417 - 2,419.

Puesto que los valores de los índices de refracción de cada gema son únicos y constantes, el método es idóneo para la identificación. Los valores de cada gema se encuentran tabulados y aparecen en los libros especializados.

7. Espectros de absorción

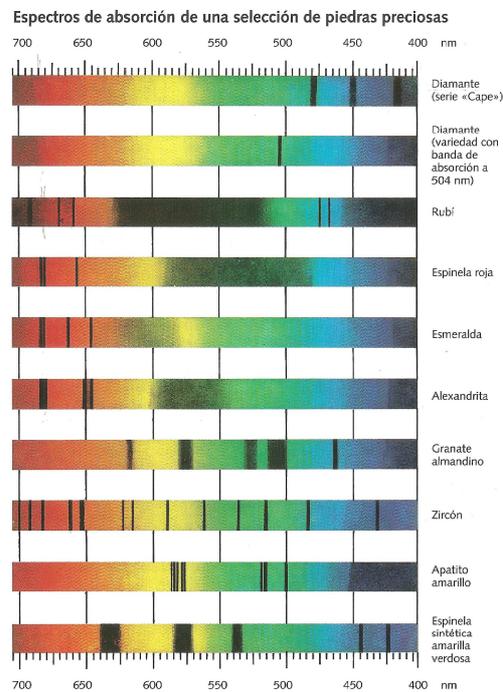
El análisis de los espectros de absorción es uno de los métodos mas importantes para la determinación de las gemas y se realiza mediante un espectroscopio. Dichos espectros de absorción son las bandas de luz descompuestas en los colores del espectro que salen de las gemas de color.

Tal como se ha comentado anteriormente, determinadas longitudes de onda de la luz son absorbidas en su paso a través del cristal,. El color de la gema resulta de la mezcla del resto de la luz inicialmente blanca. Sin embargo, el ojo humano no es capaz de percibir las minúsculas diferencias cromáticas, de forma que solo con un análisis visual se puede confundir la espinela roja con el rubí. Sin embargo, los espectros de absorción diferencian con toda claridad a las gemas mencionadas.

Estas variaciones se manifiestan en los espectros de absorción por un conjunto de líneas o bandas negras verticales superpuestas sobre el fondo del espectro visible, dichas líneas y bandas negras son las longitudes de onda que han sido absorbidas por la sustancia en cuestión. La unidad de medida de la longitud de onda es el nanómetro, que equivale a una millonésima de milímetro.

Cuando otros elementos químicos sustituyen en parte a los originales del mineral provocan la aparición de un determinado color que no existiría si la sustancia fuese pura. En este caso decimos que el mineral es alcromático y puede presentar distintas coloraciones en función de las impurezas que pueda contener.

Los elementos químicos que aparecen con mayor frecuencia son los denominados elementos de transición, como el vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel y cobre, de todos ellos el hierro es el mas abundante. Todos estos elementos químicos originan espectros de absorción característicos.



De «Gemmologist's Compendium» de R. Webster, editorial Butterworths & Co. Ltd., Londres. Tomado del «Edelsteinkundliches Handbuch» del Prof. Dr. Chudoba y del Dr. Gübelin, editorial Stollfuss, Bonn, 1974. (Ligeramente modificado.)



Fig 13. Espectroscopio

Fig 14. Espectros de absorción de las gemas observadas

Analizamos los espectros de absorción con un espectroscopio manual. La fuente de luz ha de ser puntual, concentrada sobre el objeto, lo cual se consigue con una fibra óptica o una lámpara de bolsillo.

El mérito de este método de investigación reside en que gemas con un peso específico y refracción semejantes pueden distinguirse con gran claridad, permitiendo también la identificación de gemas en bruto, cabujones e incluso piedras engarzadas.

Los materiales que utilizamos en la práctica son: granate almandino, apatito amarillo, rubí, zircón y espinela roja ya que todos ellos poseen espectros característicos bien visibles.

Los elementos cromóforos responsables de estos espectros son el hierro en el granate almandino, el didimio (neodimio + praseodimio) en el apatito, el hierro en el peridoto, el cromo en el rubí, el hierro y el titanio en el zafiro y el cromo en la espinela.

Existen tablas con la representación de los espectros de absorción de gran cantidad de gemas.

Conclusiones

Como resumen al desarrollo y explicación detallada de las actividades realizadas en el taller, destacamos aquellos aspectos importantes a tener en cuenta:

- Este taller está pensado para realizarlo básicamente con alumnos de bachillerato.
- Las actividades que se proponen en el taller introducen al alumno en el manejo y puesta a punto de equipos de observación y medición. También se le indica la importancia del cuidado y limpieza de los equipos para obtener los mejores resultados en sus observaciones.
- Aprenden a conocer distintas metodologías de trabajo, acordes con la problemática que puede presentarse en cada caso en función de la muestra objeto de estudio.
- El material para las prácticas así como los equipos que son necesarios para realizarlas se pueden encontrar en el instituto o, como en este caso, ser proporcionados por el encargado del taller.
- Los aspectos derivados de la realización de estas actividades en el laboratorio, contribuyen a relacionar la teoría con la práctica y estimulan al alumno a progresar en los conocimientos teóricos, que a veces rechazan porque no le ven una aplicación práctica.

- La realización de las actividades permiten establecer el uso de equipos muy sencillos como la balanza, la lupa binocular y los lápices de dureza con otros mas sofisticados como el refractómetro y el espectroscopio manual.
- El desarrollo de las prácticas con igual número de grupos que de actividades permite montar el taller con todo lo necesario para el desarrollo de cada actividad, de forma que cada grupo puede empezar con una distinta, de forma que al final del taller todos los grupos habrán realizado por rotación todas las actividades.

Cada grupo de alumnos deberá anotar cuidadosamente sus observaciones y resultados para poderlos comparar con los obtenidos por sus compañeros. Al mismo tiempo se obliga al estudiante a tener que esforzarse en presentar un informe detallado que sea comprensible.

Bibliografía

Cavenago-Bignami Moneta, Speranza (1991): *Gemología*, Barcelona , Omega

Hall, Cally (1994): *Piedras preciosas*, Barcelona, Omega

Hurlbut, Cornelius (2000): *Gemología*, Barcelona, Omega

Nassau, Kurt (1978): "The origins of color in minerals", *American Mineralogist*, 63, 219 - 229

Shumann, Walter (1997): *Guía de piedras preciosas y ornamentales*, Barcelona, Omega

Solans Huguet, Joaquin (1984): *Gemas de ayer, de hoy y de mañana*. Barcelona, Edicions Universitat Barcelona

Webster, Robert (1987): *Piedras preciosas*, Barcelona , Omega