



## Técnicas de Identificación Gemológica

FERNANDO H. ROMERO-ORDOÑEZ & MANUEL RUBIANO L.

*Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 14490, Santafé de Bogotá*

*E-mail: fromero@ciencias.Ciencias.Unal.edu.co*

FERNANDO H. ROMERO-ORDOÑEZ & MANUEL RUBIANO L. (1997): Técnicas de Identificación Gemológica.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 22, pgs. 189-198, 9 Figs., 2 Microfotografías, Santafé de Bogotá.

**Resumen:** El análisis de las propiedades físicas y características internas de las gemas es ampliamente conocido. Cualidades como vida, brillo, lustre y color son determinantes para su comercialización; aún así, el análisis de sus propiedades físicas es el único método para identificarlas y caracterizarlas como una gema preciosa, semipreciosa, orgánica, sintética o natural. Las gemas colombianas presentan amplias perspectivas en el mercado mundial; sin embargo, el país no cuenta con laboratorios que realicen análisis rápidos y confiables. Con el deseo de contribuir al conocimiento de algunas técnicas de análisis gemológico, se describe brevemente su principio y se presentan algunos ejemplos, donde estas técnicas fueron determinantes en la identificación y caracterización del material.

*Palabras claves: Gemas, Análisis Gemológico.*

**Abstract:** Due to the value and demand of the gem varieties of corundum (ruby, sapphire) as well as beryl (emerald, aquamarine), diamond and quartz (amethyst, citrine), an increasing number of synthetic stones of these gem varieties is produced. With improving techniques it is easy for synthetic gems to grow with properties similar to those of their natural counterparts or even stones without significant inclusions of diagnostic value. For this reason, the determination of physical properties of gems, using techniques such as infrared spectrometry, laser Raman microprobe spectrometry, fluid inclusions, solid inclusions, cathodoluminescence, luminescence and fluorescence, is becoming increasingly important as additional and easily performable methods for the distinction of natural and synthetic gemstones.

*Key words: Gems, Gemological Analysis.*

### INTRODUCCION

Exceptuando las perlas y los corales, la mayoría de los minerales usados como gemas se destacan por su belleza, duración y rareza, lo que justifica su uso como adorno. La belleza es sin duda el criterio más importante, relacionada con la transparencia y el color en el rubí y la turquesa, con el brillo del diamante o con fenómenos ópticos como el juego de colores que presenta el ópalo. La vida media depende de la dureza del material y significa la resistencia a la abrasión y a los ataques químicos, siendo imprescindible en la selección de objetos para uso ornamental. La rareza es un concepto variable y depende de la oferta y la demanda de la gema (WEBSTER & ANDERSON 1983).

Como consecuencia de la diferencia de valor entre los minerales usados como gemas, se han empleado numerosas técnicas en su identificación. Estas pueden determinar la especie mineral o reconocer una falsificación, como en el caso del vidrio, usado como imitación de la turquesa por los egipcios (O'DONOGHUE 1988), o la espinela

sintética con cromo, utilizada para simular el cambio de color de la alejandrita (WEBSTER & ANDERSON 1983).

Los mismos equipos empleados en la identificación mineralógica son usados en estudios gemológicos, generalmente con algunas adaptaciones en el instrumental, para no perjudicar el material.

El reconocimiento de propiedades físicas y ópticas: dureza, densidad e índices de refracción, constituye el procedimiento básico en la identificación gemológica. Sin embargo, el avance en los métodos de fabricación de gemas sintéticas y el empleo cada vez más frecuente de tratamientos para mejorar la apariencia de las gemas naturales, como en la esmeralda colombiana (ICONTEC 1996), hacen que la simple determinación de esas propiedades sea insuficiente, siendo necesaria la utilización de técnicas más sofisticadas.

Para algunas variedades naturales, un certificado de origen, como en el Rubí de Birmania, es interesante desde el punto de vista comercial (HANNI 1994). Esto exige un examen detallado de la gema en cuestión, en el que se

incluye la catodoluminiscencia, la espectroscopía de absorción en el ultra violeta, luz visible e infrarrojo, la espectroscopía de resonancia magnética, la espectroscopía micro-Raman y la microtermometría, entre otras.

Son varias las técnicas gemológicas empleadas hoy día; en este trabajo se abordarán las básicas, refractometría y dicroscopía, pues constituyen métodos usados sólo para la caracterización de gemas. Respecto a los métodos más avanzados, se seleccionaron aquellos que según la bibliografía especializada (*Gems & Gemology, Journal of Gemmology y Lapidary Journal*), son ampliamente usados en laboratorios gemológicos internacionales, con resultados determinantes. Adicionalmente se muestra su uso en la caracterización de algunas gemas colombianas.

## I. METODOS BASADOS EN PROPIEDADES OPTICAS

En el análisis de una gema tallada y montada en una pieza de joyería, sólo se dispone por lo general de una cara del cristal, denominada "tabla" o "mesa" (Fig. 1). Aún así, es necesario considerar que tratándose de cristales no isométricos, la orientación de la "mesa" respecto a las direcciones ópticas y cristalográficas del mineral puede ser variable; lo mismo sucede con algunas propiedades físicas medidas en esa dirección.

### 1. El Refractómetro

Como su nombre lo indica, este instrumento se usa en la medida de los índices de refracción (IR). Fue diseñado para permitir el estudio de gemas talladas, y junto con el microscopio o el espectroscopio, son herramientas esenciales en gemología.

El fenómeno utilizado es la reflexión total interna, que ocurre cuando un rayo luminoso que viaja de un medio más denso a uno menos denso, alcanza la interfase entre esos dos medios con un ángulo de incidencia mayor que el

ángulo crítico, siendo así reflejado de vuelta al medio más denso.

En el Refractómetro (Fig. 2), el medio más denso corresponde al prisma invertido de un vidrio especial sobre el que se coloca el material a analizar, el cual debe poseer una superficie pulida. El contacto óptico entre ambos es hecho a través de un líquido de índice de refracción intermedia. Los rayos que llegan a la interfase gema/vidrio con un ángulo mayor que el crítico, son reflejados y vuelven al interior del instrumento donde iluminarán parte de una escala visible en el ocular del equipo. El valor del IR de la gema corresponde a la separación, en la escala, entre la parte oscura y la iluminada. Aunque se presentan prismas de materiales con IR elevado, el límite superior está dado por el IR del líquido de contacto, aproximadamente 1,81, pues líquidos más densos generalmente son difíciles de manipular y presentan altos índices de toxicidad.

En la Tabla 1, se observa que los valores de IR de algunos materiales son próximos, como en el diamante y el material sintético titanato de estroncio; por lo tanto el simple uso del Refractómetro generalmente no es concluyente, siendo necesario estudiar otras propiedades.

### 2. El Dicroscopio

Se utiliza en la observación del pleocroismo en una gema; supera al microscopio petrográfico pues permite la visualización de dos colores de absorción, lado a lado, lo cual facilita la comparación en el caso de cristales donde el fenómeno es poco intenso.

Es un instrumento compuesto por un tubo con una abertura en un extremo (ventana) y una lente en el otro; posee en su interior un cristal de calcita (Fig. 3).

La gema, al ser analizada, se sujeta frente a la ventana de manera que permita que la luz transmitida a través de la gema llegue al interior del aparato. Esa luz, compuesta por dos rayos que vibran en direcciones perpendiculares entre

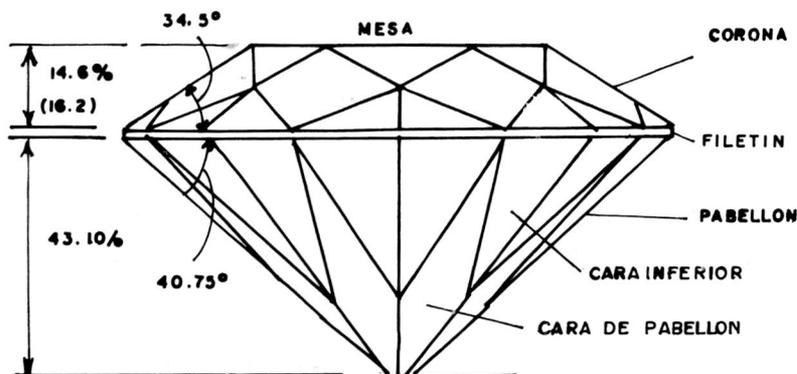


Fig. 1. Talla tipo brillante: tabla o mesa, corona, filetín y pabellón.

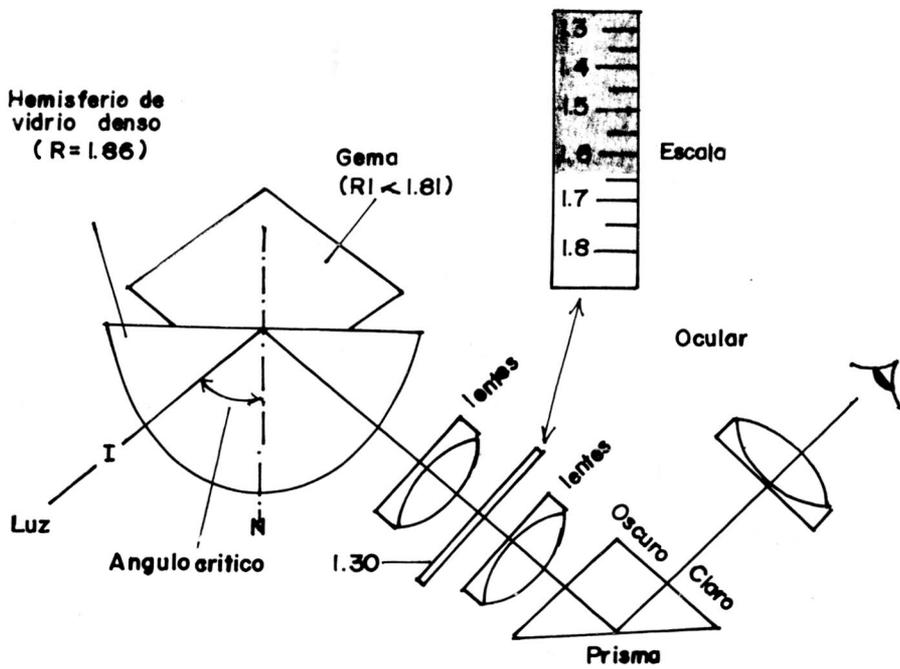


Fig. 2. Esquema de un refractómetro, con el camino recorrido por la luz. La lectura del refractómetro indica 1.64 (O'Donaghue 1988)

sí y que sufrieron absorciones diferentes, es descompuesta por el cristal de calcita, observándose dos colores de pleocroismo lado a lado (ANDERSON 1980).

La observación del pleocroismo de una gema o su ausencia, no constituye una técnica de identificación definitiva; aún así no se debe descartar como una manera

simple y rápida de análisis. Este método es ampliamente usado en la distinción entre rubí uniaxial, granate y espinela roja, estos dos últimos minerales isotrópicos; entre espinela azul y turmalina azul, uniaxial, así como para distinguir zafiro uniaxial y espinela azul sintética (ANDERSON *op. cit.*).

Los rubíes naturales y los sintéticos suelen ser separados por la diferencia de orientación en la talla: el color más intenso de la gema está ligado al rayo ordinario y es realizado al tallar, cuando la mesa se corta perpendicularmente al eje óptico del mineral. El mineral sintético es muchas veces cortado de manera incorrecta, con pleocroismo resultante, en tanto que en el rubí natural la correcta orientación se facilita por el hábito de los cristales; por lo tanto, la gema tallada se presenta isótropa cuando se observa perpendicularmente a la mesa (WEBSTER & ANDERSON 1983).

**TABLA 1. Índices de refracción para algunos minerales y materiales sintéticos utilizados como gemas.**

ESPECIE	IND. DE REFRACCION
Diamante	2,417
Titanato de Estroncio	2,41
Circonio cúbico	2,17
Circón (High)	1,925 - 1,984
YAG (Granate)	1,83
Espesartita	1,79 - 1,81
Circón (Low)	1,78 - 1,81
Almandino	1,78 - 1,81
Corindón	1,76 - 1,77
Crisoberilo	1,75 - 1,76
Estaurólita	1,74 - 1,75
Grosularia	1,73 - 1,74
Piropo	1,73 - 1,75
Espinela sintética	1,728
Taaffeita	1,718 - 1,722
Cianita	1,715 - 1,732
Espinera natural	1,718
Tanzanita	1,692 - 1,701

**II. METODOS BASADOS EN EL ANALISIS ESPECTRAL**

**1. Espectroscopio**

El color de una gema es el resultado de la interacción entre el espectro visible y la estructura cristalina del mineral, donde la presencia de ciertos elementos cromóforos (Cr, Mn, V, entre otros) o defectos cristalinos, dan como resultado la absorción de determinadas longitudes de onda ( $\lambda$ ). El

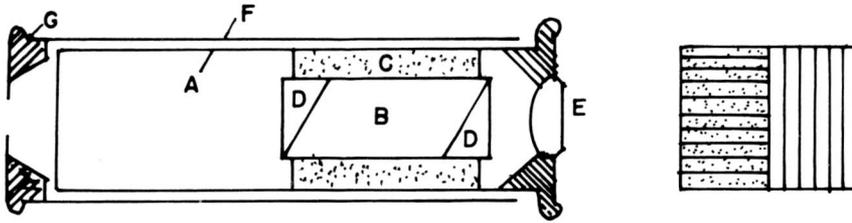


Fig. 3. Esquema de un microscopio. A, tubo de metal interno; B, cristal de calcita; C, soporte; D, prisma de vidrio; E, ocular; F, tubo de metal externo; G, ventana. A la derecha se representan las imágenes de la ventana formadas por el cristal de calcita (ANDERSON 1980).

conjunto de esas  $\lambda$  constituye el espectro de absorción, típico para cada material.

En el espectroscopio, la luz transmitida a través de una gema o reflejada por su superficie es refractada, lo que genera un espectro con los colores del espectro visible (rojo a violeta), menos aquellos correspondientes a los  $\lambda$  absorbidos por el material. Estos aparecerán como líneas o franjas oscuras perpendiculares al espectro, cuyas posiciones e intensidades son utilizadas en la identificación de la gema.

El equipo (Fig. 4) está formado por un tubo de metal o plástico con una abertura en uno de sus extremos, por donde entra la luz transmitida o reflejada por el objeto analizado. En el interior del espectroscopio, esa luz es refractada por un conjunto de prismas o por una celda de difracción (placa de vidrio transparente sobre la cual se imprimen 15.000 a 30.000 líneas paralelas por pulgada), originando el espectro que puede ser observado a través del ocular. Algunos aparatos presentan escalas en milímetros, lo que permite la lectura de los valores de la longitud de onda, no imprescindible en un trabajo rutinario de identificación gemológica (O'DONOGHUE 1988; ANDERSON 1980). Los espectros de absorción de los diamantes del Guainía (Fig. 5) (ROMERO ORDÓÑEZ *et al* 1996), así como del

zafiro de Mercaderes, Cauca (Fig.6), muestran la sensibilidad de esta técnica.

## 2. Luminiscencia

El fenómeno de luminiscencia, la propiedad de algunas sustancias de emitir radiación luminosa, es conocido desde la antigüedad. Cuando alguna forma de energía incide sobre determinadas sustancias, parte de esa energía es absorbida en

la interacción con los electrones del material, los cuales sufren transición del estado neutro al de excitación (Fig. 7). Al retornar al estado neutro, la liberación de energía anteriormente absorbida puede ocurrir en forma de calor, vibración o como emisión de radiación visible, ocurriendo entonces el fenómeno de la luminiscencia (FRITSCH & ROSSMAN 1987; MARSHALL 1988). Sobre este término debe diferenciarse la fluorescencia y la fosforescencia, siendo la primera el término correcto para el proceso en donde la emisión de radiación cesa inmediatamente cuando se retira la fuente de excitación; la segunda ocurre cuando aún después de retirar la fuente de excitación se presenta emisión por cierto intervalo de tiempo (LEVERENZ 1968, según MARSHALL 1988).

El nivel de energía empleado en luminiscencia es variable, como un haz de electrones (50KeV), radiación ultravioleta (1,8 a 4,9eV) o con menor energía, cuando se usa radiación en el visible; sin embargo, es necesario aclarar que el espectro de emisión puede ser el mismo, independientemente de la fuente de excitación, pues los niveles de transición disponibles son característica intrínseca de cada material. Al usar una fuente de energía mayor, como la catodoluminiscencia (CT), se está en capacidad de estimular transiciones no alcanzadas por niveles bajos de

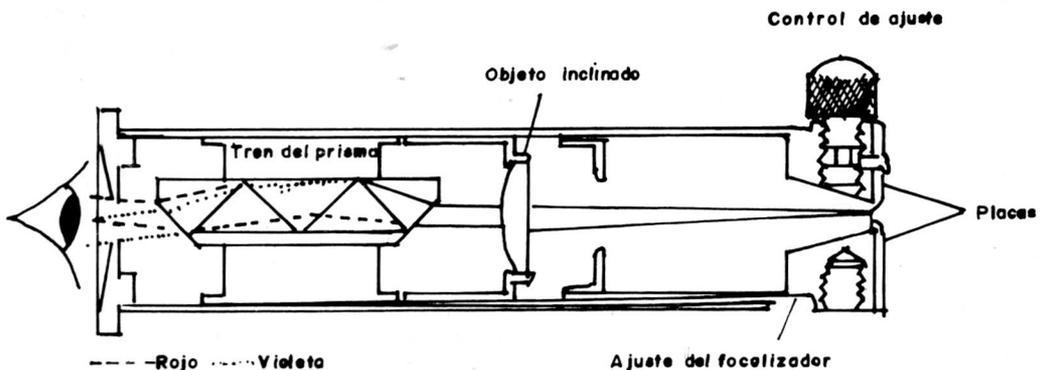


Fig. 4. Esquema de un espectroscopio de prisma (O'DONOGHUE 1988)

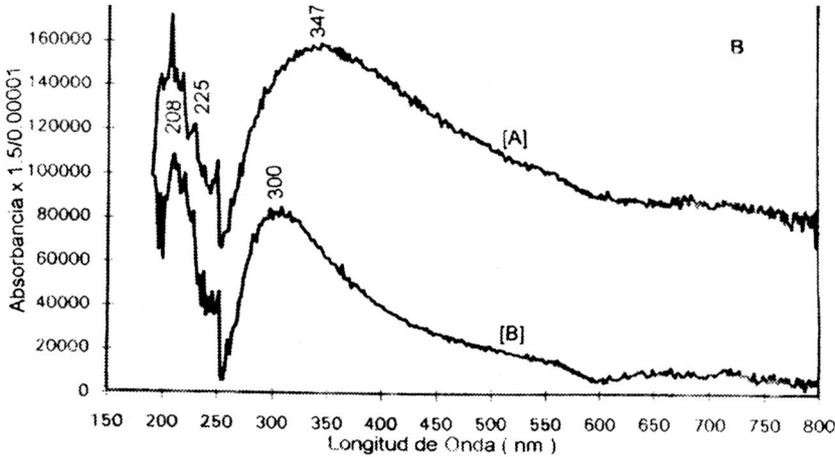


Fig. 5. Espectro de absorción de alta resolución a baja temperatura en los diamantes de la quebrada Alba Rosa, Caño Guapayito, Guainía (ROMERO ORDÓÑEZ *et al.* 1996). La curva A pertenece a un diamante colorado y la B a un diamante translúcido.

energía, por ejemplo, en la fluorescencia sobre radiación ultra violeta (MARSHALL *op. cit.*). A continuación se ilustran algunos métodos caracterizados por presentar diferentes fuentes de excitación luminosa, como los Filtros Cruzados y Fluorescencia en UV, empleados desde hace muchos años en gemología; la CT es restringida a casos especiales.

**3. Filtros Cruzados**

Es un método que excita la fluorescencia; consiste en la incidencia de la luz azul sobre la gema y su observación a través de un filtro rojo. Como la radiación emitida en la fluorescencia es de menor energía que la luz incidente, o sea de mayor longitud de

onda, cualquier brillo rojo observado a través del filtro debe ser atribuido a la fluorescencia, pues en la luz incidente no habría ningún componente de esa radiación (O'DONOGHUE 1988).

Cualquier mineral que contenga cromo, presentará fluorescencia roja desde que el hierro no se encuentre en trazas suficientes para inhibir el fenómeno; por ejemplo, esmeraldas colombianas, rubí, espinela roja, alejandrita, topacio rosa y minerales sintéticos como zafiro con cromo simulando alejandrita, espinela azul, rubí y zafiro verde (ANDERSON 1980).

La alejandrita y la esmeralda son ejemplos en donde los tenores de hierro suelen ser altos o suficientes para enmascarar en parte o totalmente el fenómeno de fluorescencia roja; un rojo muy fuerte sugiere un origen sintético para la esmeralda (O'DONOGHUE 1988). Aunque el uso de tal criterio en la identificación de la alejandrita debe hacerse con cuidado, los cristales de alejandrita de Lake Manyara, Tanzania, presentan fuerte fluorescencia roja, según DIRLAM *et al.* (1992).

La prueba de filtros cruzados es decisiva en la distinción entre perlas negras naturales y aquellas teñidas con nitrato de plata; las primeras presentan fluorescencia a través del filtro (ANDERSON 1980).

**4. Fluorescencia en el Ultra Violeta (UV)**

La radiación ultra violeta puede poseer una longitud de onda larga (365nm) o corta (253,7nm), siendo la última la aplicada en gemología.

Los minerales portadores de cromo, rubí y espinela roja, presentan buena respuesta a la

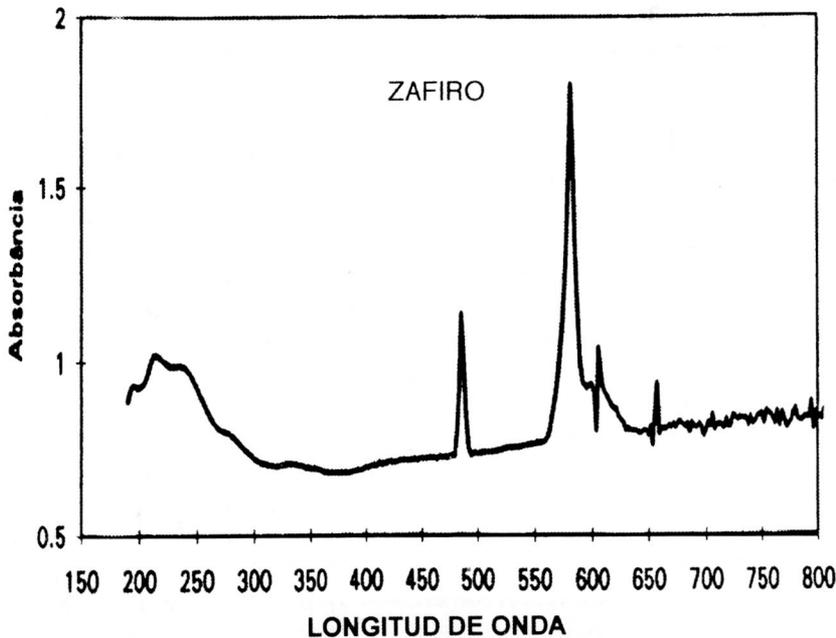


Fig. 6. Espectro de absorción en un zafiro de Mercaderes, Cauca

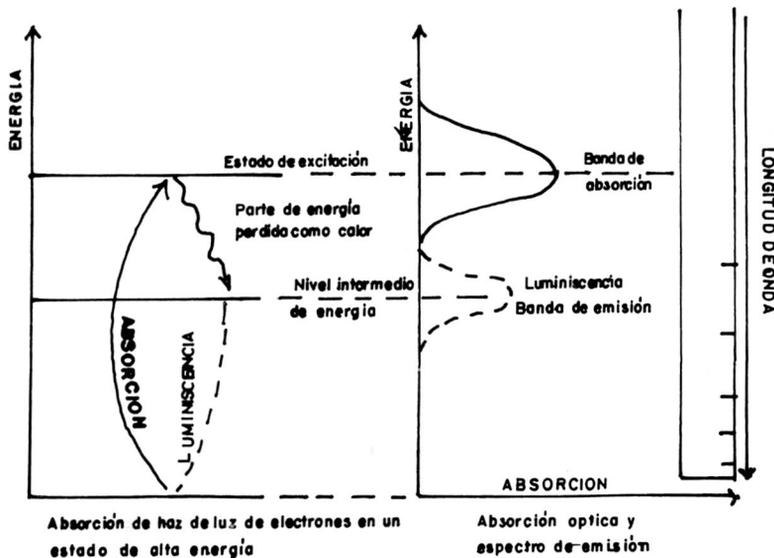


Fig. 7. Representación gráfica de los mecanismos de absorción y luminiscencia (izquierda); en el centro, espectro de absorción espectrofotométrico con la banda de emisión de la luminiscencia (FRITSCH & STOCKTON 1987)

radiación UV de onda larga; las esmeraldas y alejandrita son más fácilmente estimuladas por el método de filtros cruzados (O'DONOGHUE 1988).

Entre los minerales que presentan fluorescencia sobre el UV podemos mencionar la espinela sintética amarillo-verdosa con trazas de manganeso; la kuncita y algunos topacios amarillos del Brasil; circón incoloro y apatito amarillo; zafiro amarillo de Sri Lanka, y el diamante con intensidad azul-celeste.

El comportamiento de las gemas sobre la radiación UV de onda corta solo en pocos casos es más fácilmente diagnosticable que la fluorescencia sobre el UV de onda larga. Este método se usa en la observación de pequeñas piezas de joyería con incrustaciones de diamantes de menos de un quilate (brillantes); también en la separación de rubíes sintéticos y naturales, cuando no se encuentran fracturas internas, pues la fluorescencia roja de los primeros es marcadamente más brillante (ANDERSON *op cit.*).

### 5. Catodoluminiscencia (CL)

En la catodoluminiscencia, la

excitación primaria es causada por un haz de electrones, siendo el cátodo la fuente de tales electrones (MARSHALL 1980). Con relación a los otros medios anteriormente mencionados, la ventaja de la CL es la capacidad de excitar la luminiscencia en la mayoría de los minerales debido a la alta energía del haz de electrones empleado, ya que pocos minerales presentan reacción frente a la radiación visible o UV.

Las características catodoluminiscentes de algunas gemas son mencionadas a continuación: en el diamante la luminiscencia azul es común; sin embargo pueden presentarse colores rojos, verdes y amarillos; así mismo se muestra zonas y defectos cristalinos; en el crisoberilo se presenta amarilla clara, roja-marrón, rojo intenso en el rubí (independiente de la tonalidad de la gema); ceniza-azul en el zafiro, rojo o ausente en la esmeralda, ausente en agua marina y azul o ausente en el topacio.

Tal como lo resalta MARSHALL (*op. cit.*), a pesar que las informaciones sobre CL son dispersas, en la mayoría de los casos la posibilidades ofrecidas por esta técnica, como el reconocimiento de zonamiento y elementos

traza, hacen de ella una importante herramienta.

La aplicación de la CL en el estudio de materiales gemológicos es restringida a pocos trabajos, entre ellos GAAL (1977) y PONAHL & KOROSCHETZ (1985), ambos mencionados en MARSHALL (1988) y LASNIER *et al.* (1992), según HANNI 1994.

### 6. Espectroscopía de Absorción en el Infrarrojo

La técnica no es nueva; inicialmente fue aplicada en la década de los 50 para estudios de mineralogía; ha sido usada en gemología desde los años 80s, y a ella se debe la solución de la mayor parte de los problemas en la identificación de gemas (FRITSCH & ROSSMAN 1990).

El método consiste en el análisis del espectro de absorción del material en la región del infrarrojo. Sin embargo, en cuanto las absorciones en el espectro visible ocurren debido a transiciones electrónicas, inclusive aquellas que resultan en color, en el infrarrojo determinadas longitudes de onda son absorbidas por moléculas y grupos de átomos en vibración en la estructura cristalina, resultando espectros típicos para cada material (FRITSCH & STOCKTON 1987).

Como el espectro normalmente utilizado es aquel transmitido por el material, el análisis de la gema es relativamente problemático, pues la talla refleja la mayor parte de la luz. La solución es el uso de un haz de luz concentrado, de pequeño diámetro, capaz de atravesar pequeñas porciones más delgadas de la gema (FRITSCH & ROSSMAN *op. cit.*).

El espectro reflejado puede ser usado en la espectroscopía de reflectancia del infrarrojo, lo que hace aún más simple el análisis, donde la gema es colocada sobre el aparato de reflexión con la mesa dirigida al haz de luz (MARTIN *et al.* 1989).

Según la región del espectro infrarrojo a ser analizada, se obtendrá

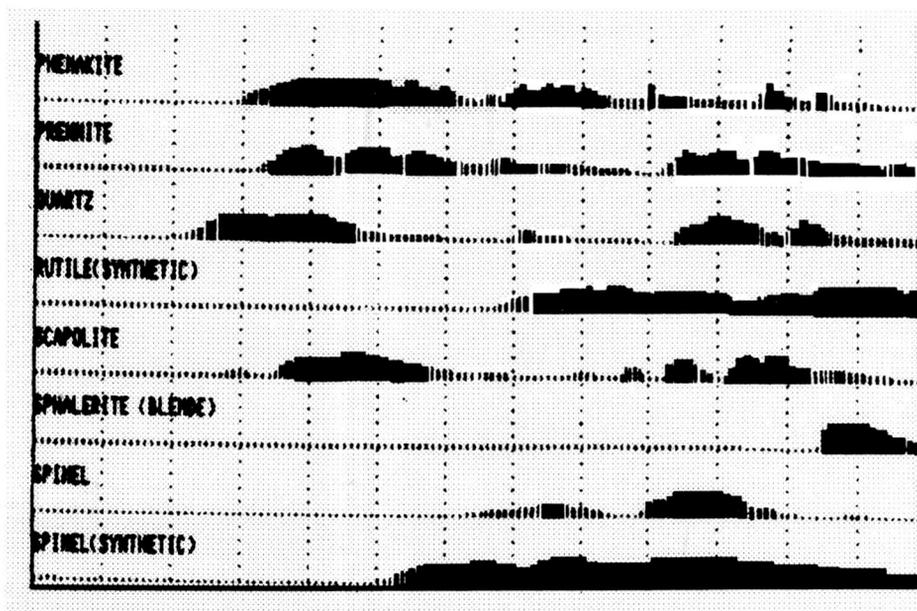


Fig. 8. Representación por barras de los espectros de absorción en el infrarrojo de algunos minerales. La distinción entre cuarzo y escapolita es inmediata (MARTIN *et al.* 1989).

un mejor desempeño en las variantes del método. La espectroscopía de reflectancia, que actúa en la región entre  $1.500\text{ cm}^{-1}$  ( $6.600\text{ nm}$ ) hasta  $100\text{ cm}^{-1}$  ( $100.000\text{ nm}$ ) donde se encuentran las energías de vibración fundamentales de los átomos en las estructuras cristalinas, es de gran utilidad en la identificación de minerales.

La distinción entre cuarzo y escapolita, que presentan dureza, densidad e índices de refracción muy semejantes, se dificulta cuando se usan técnicas básicas de identificación; no obstante, con el empleo de la espectroscopía de reflectancia el reconocimiento es inmediato (Fig. 8) (MARTIN *et al.* 1989).

En la espectroscopía de transmisión, el espesor del material analizado resulta generalmente en una completa absorción en esa faja, razón por la cual las lecturas son realizadas por encima de los  $4.000\text{ cm}^{-1}$ ; así, son detectadas las impurezas como  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_4$ , entre otras, lo que permite reconocer por este método gemas naturales y sintéticas, así como diferenciar gemas teñidas y tratadas (MARTIN *et al.*, *op. cit.*).

STROCKTON & KANE (1988), al analizar 15 muestras de alejandrita natural y 28 sintéticas, confirmaron la eficacia del método en la identificación de gemas con muy pocas inclusiones. En el intervalo entre  $2.000$  y  $4.200\text{ cm}^{-1}$  (Fig. 9), la alejandrita natural muestra absorciones en  $2.160$ ,  $2.403$ ,  $4.045$  y  $4.150\text{ cm}^{-1}$ , las cuales no se presentan en el material sintético; este último también muestra absorción débil entre  $2.800$  y  $3.300\text{ cm}^{-1}$ , posiblemente debido a la ausencia de agua.

## 7. Inclusiones

Las inclusiones en una gema indican las condiciones de formación del mineral, lo que permite en la mayoría de los casos diagnosticar su origen, sintético o natural y localidad de procedencia, además de ser parámetro importante en el precio del material (pocas inclusiones fluidas y cristalinas hacen valorizar el material y viceversa). La observación y estudio de las inclusiones se constituye en una herramienta importante, ya que es una técnica no destructiva y puede ser aplicada a gemas montadas o no, necesitando solamente un microscopio y una fuente de luz adecuada.

Las inclusiones se clasifican de acuerdo a su relación temporal con la formación de la gema, según nomenclatura propuesta por GUBELIN (1979 según O'DONOGHUE 1988), la cual es diferente a la aplicada en estudios microtermométricos-petroológicos (ROEDDER 1984). En este sentido, cabe destacar que ciertas características internas, como líneas de crecimiento, áreas de zonamiento, planos de geminación, entre otros, se incluyen en la clasificación de GUBELIN.

Inclusiones cristalinas protogenéticas son aquellas formadas antes que el mineral huésped; revelan la naturaleza de la roca encajante de la mineralización. ORDÓÑEZ ROMERO *et al.* (1994a), estudiaron las inclusiones cristalinas presentes en las esmeraldas colombianas y determinaron que ellas son de origen protogenético, como es el caso de la inclusión de apatito mostrada en la Microfotografía 1. Algunos ejemplos dados por O'DONOGHUE (1988) incluyen actinolita en esmeraldas del Brasil, cuarzo y granate, apatito en

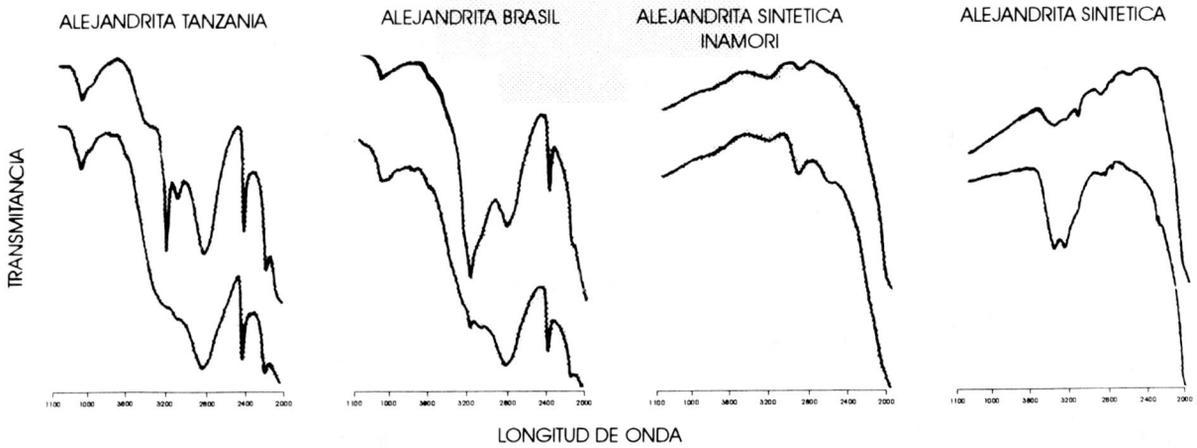


Fig. 9. Espectros de absorción en el infrarrojo de cuatro tipos de alejandrita (STROCKTON & KANE 1988).

granate, corindón y espinela, diamante en diamante, hematita en topacio, euclasa y pirita en corindón y esmeralda, rutilo en cuarzo, espinela en rubí, entre otros.

Inclusiones cristalinas singenéticas son aquellas formadas a partir del mismo fluido mineralizante que cristalizó el mineral que las contiene. Este tipo de inclusiones representa el ambiente de formación de la gema, de ahí su importancia. Algunas inclusiones minerales singenéticas son mencionadas por O'DONOGHUE (1988); biotita en andalucita, crisoberilo y zafiro de Sri Lanka, calcita en rubí de Burma, olivino en diamantes, cuarzo en agua marina, topacio en esmeralda y uraninita en zafiro de Sri Lanka.

Las inclusiones fluidas singenéticas de las esmeraldas y minerales asociados en Colombia, son de carácter trifásico o polifásico (Microfotografía 2); su composición química fue determinada por ORDÓÑEZ ROMERO *et al.* (1994a) y ORDÓÑEZ *et al.* (1994b). Tales inclusiones fluidas son una herramienta importante para caracterizar la esmeralda, así como su procedencia (SCHWARZ 1987).

Las inclusiones epigenéticas se forman después de la cristalización del material, como resultado de procesos de exsolución, desarrollo de planos de clivaje y metamictización.

El reconocimiento de inclusiones y otras características internas suele ser decisivo en la identificación de gemas sintéticas, pues ellas presentan algunas propiedades físicas semejantes a las de las gemas naturales. Las inclusiones reflejan las condiciones de formación del cristal huésped. En la naturaleza el crecimiento del material es lento a partir de un magma o de soluciones acuosas en un ambiente químicamente complejo, lo que resulta en la inclusión de sólidos, líquidos y gases de varias especies. En materiales sintéticos, los métodos de síntesis conocidos como de flujo e hidrotermal simulan parcialmente esas condiciones; el proceso ocurre sobre sistemas químicamente homogéneos,

resultando inclusiones poco variadas (ANDERSON 1980).

### III. APLICACION DE LOS METODOS EN LA IDENTIFICACION GEMOLOGICA

KANE (1987) describe las características de una alejandrita "ojo de gato" sintética, comercializada con el nombre de "Inamori Created". Tanto las propiedades físicas como las ópticas del material se presentaron iguales a las de la gema natural: índice de refracción entre 1,745 y 1,755; densidad de 3,73; pleocroismo rojo-púrpura, naranja y verde-ceniza; al observarse en el filtro Chelsea, el aspecto era rojo brillante, mostrando líneas de absorción de 680,5; 678,5; 665; 655; 645 y 472. Su carácter sintético fue determinado al realizar los siguientes análisis:

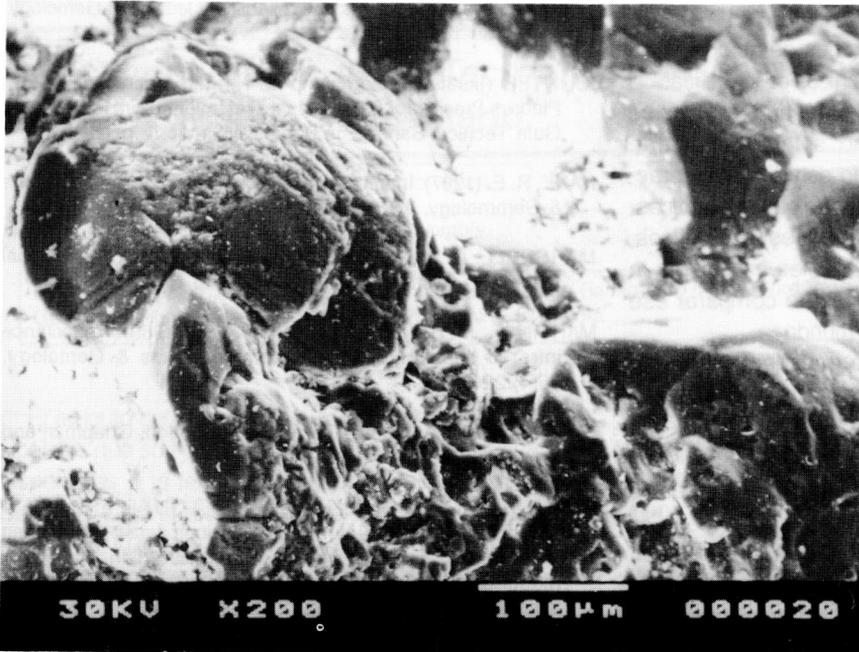
a) En el UV de longitud de onda corta el material mostró fluorescencia amarilla a anaranjada, no siendo este el color típico para la gema.

b) Las líneas de crecimiento dentro del cristal se presentaron onduladas, diferentes de las presentadas por gemas naturales que suelen ser rectas, angulares o irregulares.

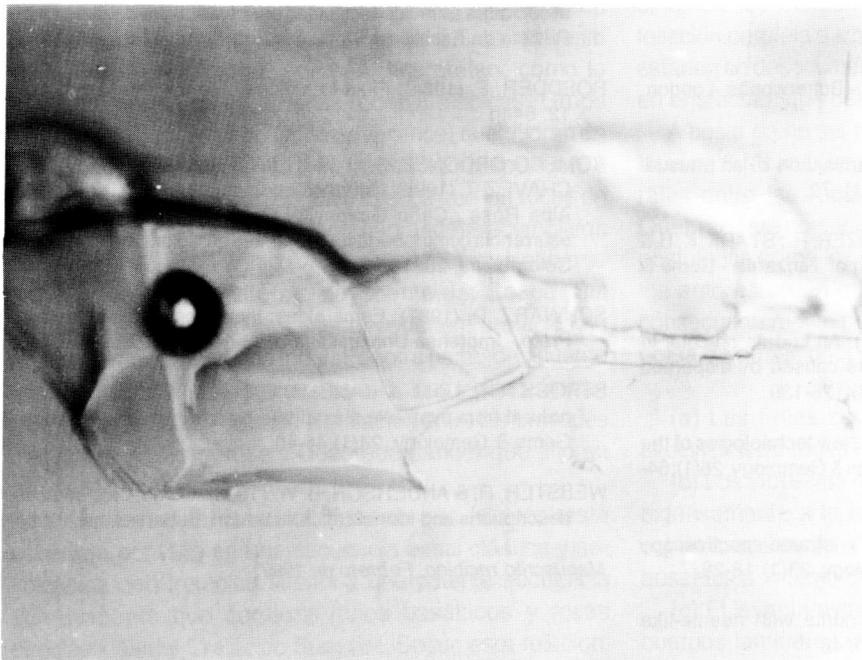
c) Se presentaron minúsculas inclusiones orientadas en los planos de líneas de crecimiento, generando el efecto "Chatoyancy", diferente de los canales y agujas del "ojo de gato" natural, el cual frecuentemente contiene inclusiones cristalinas de mica, cuarzo, apatito y actinolita.

Una muestra de alejandrita analizada por FRYER (1993), tallada, de 3,59 quilates, resultó un material sintético, posiblemente fabricado por el método "Czochralski", presentando las siguientes características:

a) Inclusiones cristalinas aciculares, probablemente un metal del grupo del platino (material usado en la fabricación de gemas sintéticas).



Microfotografía 1. Inclusiones cristalinas de apatito presente en un cristal de esmeralda colombiana



Microfotografía 2. Inclusiones fluidas trifásicas en un cristal de euclasa del Municipio de Chivor. La fase sólida es halita, la gaseosa  $\text{CO}_2\text{-N}_2$  y la acuosa  $\text{H}_2\text{O-NaCl}_2\text{-MgCl}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

b) Bandas curvadas oscuras (generadas cuando se sumerge el material en yoduro de metileno, usado en la fabricación de materiales sintéticos).

c) Presencia de cromo y vanadio, detectados por microscopía electrónica de barrido, con tenores similares a los encontrados en minerales sintéticos.

d) espectro de absorción en el infrarrojo sin bandas relacionadas con el agua.

HENN & BANK (1992) según DIRLAM (1993), estudiaron una alejandrita, con índice de refracción, fluorescencia sobre el UV e inclusiones presumiblemente correspondientes a una gema sintética; no obstante la gema resultó ser natural, cuando fue sometida a espectroscopía Raman, que identificó una plaqueta hexagonal (hematita); así mismo la espectroscopía de absorción en el infrarrojo reconoció bandas de absorción del  $\text{H}_2\text{O}$  y OH.

## CONCLUSIONES

Colombia no cuenta con laboratorios gemológicos en donde se aplique la mayoría de las técnicas de identificación mencionadas en el texto; aún así, es necesario resaltar que un país productor de gemas, no solamente puede comercializarlas. Se hace necesario estudiar sus características gemológicas, propiedades físicas y químicas, métodos de corte y talla para materiales específicos, asociación con áreas geológicas, posibles fraudes en la comercialización de la gema, además de comparar ese material con los de otras partes del mundo.

Las técnicas de reconocimiento gemológico son las únicas herramientas científicas usadas en la determinación de materiales naturales o sintéticos; estos últimos se encuentran inundando el mercado nacional e internacional; generando desconfianza y otros inconvenientes entre compradores y vendedores.

El país cuenta con minas de esmeralda, diamante, rubí, zafiro, amatista, euclasa y otras gemas semipreciosas; al contar con laboratorios gemológicos especializados, se está en condiciones de tener un control técnico sobre estos materiales y su comercio.

## REFERENCIAS

- ANDERSON, B. W. (1980): Gem Testing.- Butterworths, London, 434p.
- DIRLAM, D. M. (1993): Gem News: Examination of an unusual alexandrite.- *Gems & Gemology*, 29(1): 70.
- DIRLAM, D. M.; MISIOROWSKI, E. B.; TOZER, R.; STARK, K. B. & BASSETT, A. M. (1992): Gem wealth of Tanzania.- *Gems & Gemology*, 28(2): 80-102.
- FRITSCH, E. & ROSSMAN, G. R. (1987): An update on color in gems. Part 1: Introduction and colors caused by dispersed metal ions.- *Gems & Gemology*, 23(3):126-139.
- FRITSCH, E. & ROSSMAN, G. R. (1990): New technologies of the 1980s: Their impact in gemology.- *Gems & Gemology*, 26(1):64-75.
- FRITSCH, E. & STOCKTON, C. M. (1987): Infrared spectroscopy in gem identification.- *Gems & Gemology*, 23(1):18-26.
- FRYER, C. W. (1993): Synthetic alexandrite with needle-like inclusions.- *Gems & Gemology*, 29(1): 46.
- HANNI, H. A. (1994): Origin determination for gemstones: Possibilities, restrictions and reliability.- *Journal of Gemology*, 24(3):139-148.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) (1996): Piedras Preciosas. Esmeraldas. Tratamiento. En: Proyecto de Guía Técnica. Santafé de Bogotá.- Icontec. 10p.
- KANE, R. E. (1987): Inamori synthetic cat's-eye alexandrite.- *Gems & Gemology*, 23(3):158-162.
- MARSHALL, D. J. (1988): Cathodoluminescence of geological materials.- Boston, Unwin Hyman, 146p.
- MARTIN, F.; MERIGOUX, H.; ZECCHINI, P. (1989): Reflectance infrared spectroscopy in gemology.- *Gems & Gemology*, 25(4):226-231.
- O'DONOGHUE, M. (1988): Gemstones.- London, Chapman and Hall. 372p.
- ORDOÑEZ ROMERO, F. H.; SCHULTZ-GUTTLE, R. A. & SVISERO, D. P. (1994a): Fluid-Inclusions data of Colombian Emeralds: Total homogenization by salt dissolution. In: General Meeting, 16. Pisa, 1994. Abstracts. Pisa.- International Mineralogical Association, p. 310.
- ORDOÑEZ ROMERO, F. H.; ROCHA, E. B.; BELLO, R. M.; FUZIKAWA, K. (1994b): Inclusiones cristalinas e fases solidas asociadas as inclusiones fluidas em esmeraldas da Colombia.- *Revista da Escola de Minas de Ouro Preto*, 47(2): 128-133.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid Inclusions.- *Reviews in Mineralogy*, 12. 644p.
- ROMERO ORDOÑEZ, F. H.; SCHULTZ-GUTTLE, R. A. & GIL-CHAVEZ, T. (1996): Ocurrencias diamantíferas de la quebrada Alba Rosa, Caño Guapayito, Guainía, Colombia (primera ocurrencia comprobada de diamantes en Colombia).- *Geología Colombiana*, 20: 113-122.
- SCHWARZ, D. (1987): Esmeraldas: Inclusiones em gemas: Ouro Preto.- Imprensa Universitária/UFOP, 439p.
- STROCKTON, C. M. & KANE, R. E. (1988): The distinction of natural from synthetic alexandrite by infrared spectroscopy.- *Gems & Gemology*, 24(1):44-46.
- WEBSTER, R. & ANDERSON, B. W. (1983): Gems: their sources, descriptions and identification.- London, Butterworths. 1006p.

*Manuscrito recibido, Febrero de 1997*