



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“MÉTODOS UTILIZADOS PARA MEJORAR LA CALIDAD GEMOLÓGICA DE LOS MINERALES”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
I N G E N I E R O G E Ó L O G O
P R E S E N T A :
JUAN CARLOS VILLARREAL MORÁN



DIRECTOR DE TESIS: ING. MIGUEL I. VERA OCAMPO

CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A ti **Irmita**, madre mía
Por todo el esfuerzo que hiciste por sacar adelante a tus hijos,
Por los regaños y palabras de aliento cuando fueron necesarios,
Porque me das tu amor incondicional,
Por hacer de mi un hombre con valores y principios,
Y sobre todo por ser mi mamá.
Gracias.

A ti **Carlos**,
Por ser el compañero de mi madre,
Por el apoyo que me diste a mi y a mis hermanos,
Por ser un amigo en quien confiar,
Gracias.

A ti **Victor**,
Por ser siempre el ejemplo de cómo se deben de hacer las cosas,
Por todos los sacrificios que hiciste para ver a tu “bro” terminar la escuela,
Por contar contigo bajo cualquier circunstancia,
Y por el orgullo que siento de poder tener un hermano como tú,
Gracias.

A **Gaby y Arturo**,
Por estar ahí cuando los he necesitado,
Por el amor de hermanos, que aunque no somos
muy expresivos estoy seguro que lo sentimos.
Gracias.

A toda mi demás familia,
Por estar siempre unida y poder disfrutar de su cariño.
Gracias.

A todos mis profesores de la Facultad,
Por compartir su conocimiento tanto académico como
de vida y hacer de nosotros los estudiantes hombres
de provecho.
Gracias.

A todos mis compañeros de la Facultad,
Quienes fueron parte importante de mi desarrollo escolar,
principalmente a Wendy, José Luis y Fernando.
Gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. CONCEPTOS BÁSICOS.....	8
1.1 DEFINICIÓN DE MINERAL.....	8
1.2 DEFINICIÓN DE CRISTAL.....	8
1.3 DEFINICIÓN DE GEMA.....	11
1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS GEMAS.....	11
1.5 VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS GEMAS.....	12
1.5.1 Color.....	13
1.5.2 Claridad.....	17
1.5.3 Corte.....	21
1.5.4 Peso.....	22
CAPÍTULO II. TRATAMIENTOS EN LAS GEMAS.....	25
2.1 CAUSAS DEL COLOR EN LAS GEMAS.....	25
2.1.1 Impurezas.....	25
2.1.2 Transiciones orbitales moleculares.....	25
2.1.3 Centros de color.....	26
2.2 DEFINICIÓN DE TRATAMIENTO.....	26
2.2.1 TRATAMIENTO TÉRMICO.....	28
2.2.1.a Método del tratamiento.....	29
2.2.2.b Resultados.....	29
2.2.2 TRATAMIENTO DE PENETRACIÓN DEL COLOR (SURFACE DIFFUSION).....	30
2.2.2.a Método del tratamiento.....	30
2.2.2.b Resultados.....	32
2.2.3 IRRADIACIÓN.....	32
2.2.3.a Resultados.....	34
2.2.4 TINCIONES (DYEING).....	34
2.2.4.a Método del tratamiento.....	35
2.2.4.b Resultado.....	36
2.2.5 RECUBRIMIENTO (SURFACE COATING).....	36
2.2.5.a Recubrimientos con sustancias de color.....	38
2.2.5.b Recubrimientos con sustancias incoloras.....	38
2.2.6 RELLENO DE FRACTURAS (FRACTURE FILLING).....	39
2.2.6.a Método del tratamiento.....	40
2.2.6.b Resultado.....	40
2.2.7 RAYO LÁSER Y ELIMINACIÓN DE INCLUSIONES.....	42
CAPÍTULO III. DIAMANTE.....	44
3.1 PROPIEDADES.....	44
3.1.1 Propiedades físicas.....	44
3.1.2 Tipos de diamantes.....	46
3.2 TRATAMIENTOS PARA MODIFICAR EL COLOR.....	47
3.2.1 Recubrimiento.....	47
3.2.2 Irradiación.....	48
3.2.3 Tratamiento de alta presión y alta temperatura (HPHT).....	50
3.3 TRATAMIENTOS DE LA CLARIDAD.....	51
3.3.1 Rayo láser y eliminación de inclusiones.....	52
3.3.2 Relleno de fracturas.....	53
CAPÍTULO IV. ESMERALDA.....	58
4.1 PROPIEDADES.....	58
4.2 TRATAMIENTOS PARA MODIFICAR EL COLOR.....	60
4.2.1 Recubrimientos y tinciones.....	60

4.3 TRATAMIENTOS PARA MODIFICAR LA CLARIDAD.....	61
4.3.1 Relleno de fracturas.....	61
CAPÍTULO V. CORINDÓN.....	65
5.1 PROPIEDADES.....	65
5.2 TRATAMIENTOS PARA MODIFICAR EL COLOR.....	67
5.2.1 Tratamiento térmico.....	67
5.2.2 Penetración del color (surface diffusion).....	70
5.2.3 Irradiación.....	72
5.2.4 Otros tratamientos.....	73
5.3 TRATAMIENTOS PARA MODIFICAR LA CLARIDAD.....	74
5.3.1. Relleno de fracturas.....	74
CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
REVISTAS.....	78
PÁGINAS DE INTERNET.....	79

Índice de figuras.

- Figura 1.1. Sistemas cristalinos y ejemplos de la forma de algunos minerales en ese sistema.
- Figura 1.2. Luz visible para el ser humano, con respecto al espectro electromagnético.
- Figura 1.3. Ejemplo de la selección del Tono, según el comparador de la GIA.
- Figura 1.4. Ejemplo de la selección del tinte y saturación de las gemas.
- Figura 1.5. Diferentes tipos de cortes en gemas.
- Figura 1.6. Corte en el diamante y sus distintas características.
- Figura 2.1. Esquema del resultado de aplicar a zafiros incoloros el tratamiento de penetración del color “surface diffusion”.
- Figura 2.2. Diferente capacidad de penetración para cada tipo de ondas radioactivas.
- Figura 3.1. Celda unitaria del diamante en donde se puede ver su estructura cristalina.
- Figura 5.1. Características de identificación de tratamiento térmico en corindón.
- Figura 5.2. Esquema de detección del tratamiento de penetración del color en zafiro.

Índice de fotografías.

- Fotografía 1.1. Diferentes características utilizadas para calificar la claridad en el diamante.
- Fotografía 2.1. Circonias tratadas con el método Tavalite.
- Fotografía 2.2. Ejemplo de relleno de fracturas u “oiling” en esmeraldas.
- Fotografía 2.3. Ejemplo de relleno de fracturas en diamante.
- Fotografía 2.4. Rayo laser en diamante.
- Fotografía 3.1. Características de identificación de irradiación en el diamante.
- Fotografía 3.2. Resultado del nuevo proceso HPHT, en donde se aclara el color en diamantes tipo IIa.
- Fotografía 3.3. Grafitización en algunos diamantes debido al proceso de HPHT.
- Fotografía 3.4. Ejemplos de perforación laser y la nueva perforación microkm.

Fotografía 3.5.	Efecto flash en diamante debido a relleno de fracturas.
Fotografía 3.6.	Otros colores vistos en el efecto flash.
Fotografía 3.7.	Influencia del color en la detección del tratamiento de relleno de fracturas.
Fotografía 3.8.	Diferencia entre fracturas sin relleno a diferencia del efecto flash.
Fotografía 3.9.	Estructuras de flujo debido al relleno de fracturas en el diamante.
Fotografía 3.10.	Burbujas de aire debido a la inyección de sustancias para relleno de fracturas.
Fotografía 3.11.	Características extra para la identificación de relleno de fracturas en diamante.
Fotografía 4.1.	Aquí se tiene toda la variedad de colores del berilo.
Fotografía 4.2.	Ejemplo de inclusión trifásica.
Fotografía 4.3.	Concentración de color en fracturas debido al tratamiento de teñido.
Fotografía 4.4.	Desgaste de la sustancia que cubría al berilo y deja al descubierto el tratamiento de recubrimiento.
Fotografía 4.5.	Efecto flash y burbujas de aire, características que sirven para identificar el relleno de fracturas en esmeraldas.
Fotografía 4.6.	Deterioro de sustancia de relleno y pone en evidencia el tratamiento de relleno de fracturas.
Fotografía 5.1.	Gama de colores en los que se pueden presentar las variedades del corindón.
Fotografía 5.2.	Características de identificación de tratamiento térmico en corindón.
Fotografía 5.3.	La seda del zafiro que se ve afectada por el tratamiento térmico.
Fotografía 5.4.	Características de identificación del tratamiento de penetración del color e irradiación en zafiro.
Fotografía 5.5.	Ejemplo de teñido y como detectar recubrimientos en corindón.
Fotografía 5.6.	Características de identificación del relleno de fracturas en corindón.

Índice de tablas.

- Tabla 1.1. Clasificación química de las gemas.
- Tabla 1.2. Escalas de graduación del color para el diamante.
- Tabla 1.3. Escalas de graduación de la claridad para el diamante.
- Tabla 1.4. Escala de claridad de la GIA para gemas de color.
- Tabla 2.1. Ejemplos de minerales cuya coloración es debida a elementos de transición.
- Tabla 2.2. Ejemplos de minerales cuya coloración es debida a transiciones orbitales moleculares.
- Tabla 2.3. Ejemplos de minerales cuya coloración es debida a centros de color.
- Tabla 2.4. Resumen de los resultados del tratamiento térmico, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas.
- Tabla 2.5. Resumen de los resultados de irradiación de gemas, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas.
- Tabla 2.6. Resumen de los resultados del teñido (Dyeing) de gemas, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas.
- Tabla 2.7. Resumen de los resultados del relleno de fracturas en las gemas, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas.
- Tabla 3.1. Resumen de las propiedades del diamante.
- Tabla 4.1. Resumen de las propiedades de la esmeralda.
- Tabla 4.2. Diferentes tipos de sustancias utilizadas en relleno de fracturas de esmeraldas.
- Tabla 5.1. Fluorescencia de corindones no tratados.
- Tabla 5.2. Procesos de tratamiento térmico para corindón.

Resumen

Las gemas siempre han llamado la atención de la gente, principalmente de aquellos que tienen el poder de adquirirlas debido a los altos costos, pero en la actualidad el avance de la tecnología y los nuevos productos para imitar, modificar o crear gemas es tal que es necesario llegar a conocer sus características y poderlas identificar. Dentro de este trabajo se hace un recopilado de información de los procesos que sirven para modificar las principales características gemológicas de los especímenes y que a su vez afectan tanto su belleza como su precio en el mercado.

En el capítulo I se hace un recordatorio sobre los conceptos fundamentales de la mineralogía y la gemología, también se hace referencia a términos relacionados con la calidad gemológica que son de importancia para poder determinar el valor comercial de las gemas terminadas.

En el capítulo II se tiene una pequeña introducción sobre las causas del color en las gemas, únicamente se ven tres teorías de todas las que existen por ser las más referidas, además de ver los tratamientos utilizados principalmente, así como el método y los resultados obtenidos al someter a las gemas a estos tratamientos.

Los restantes tres capítulos se enfocan a las cuatro gemas de mayor importancia en el mercado de las piedras preciosas, el diamante, la esmeralda, el rubí y el zafiro. El estudio de los tratamientos se agrupa con base en el resultado que se obtiene de ellos, es decir, si modifican su color o su claridad, por lo que cada capítulo se divide en tratamientos que modifican estas propiedades.

El capítulo III está enfocado exclusivamente al diamante, que es la gema de más renombre en el mundo y, que por los altos precios que puede tener, es una de las gemas a la que más tratamientos se le da, por lo que se ven sus propiedades y sus principales tratamientos que afectan su color: recubrimiento, irradiación, HPHT y tratamientos que modifican su claridad como son: el rayo laser y la eliminación de inclusiones y el relleno de fracturas. Se puede hacer notar que casi cualquier tratamiento que se aplique al diamante puede ser utilizado en otras gemas.

El capítulo IV está enfocado al berilo pero principalmente a la esmeralda, sus propiedades y sus principales tratamientos que son el relleno de fracturas u "oiling" así conocido desde hace mucho tiempo y que realmente es un tratamiento antiguo para modificar el color de la esmeralda.

En el capítulo V se habla acerca del corindón en sus dos principales exponentes, el rubí y el zafiro y se enfoca al tratamiento térmico que es ampliamente utilizado para la modificación del color en estas gemas y que es aplicado a casi todos los especímenes del mundo, también se hace mención de los métodos de irradiación, penetración del color en el zafiro y el relleno de fracturas para mejorar la claridad del corindón.

Capítulo I. Conceptos básicos

1.1 Definición de mineral.

“Un mineral es un componente de la corteza terrestre, homogéneo y originado de forma natural –después de los viajes espaciales se deben incluir también a los componentes de la corteza lunar-. La mayoría de los minerales tiene determinadas formas cristalinas” (Schumann, W., 1983).

“Un mineral es un sólido homogéneo por naturaleza, con una composición química definida (pero generalmente no fija) y una disposición atómica ordenada. Normalmente se forma mediante un proceso inorgánico.” (Klein, C. y Hurlbut, C. S. Jr., 1997).

De estas definiciones se puede aclarar que un mineral debe de ser homogéneo, por lo que se compone de una sustancia y que no puede ser dividida en sus componentes químicos. De forma natural o por naturaleza se refiere a distinguir entre sustancias formadas por la naturaleza y por el hombre. Con una composición química definida, implica que se puede identificar a cada mineral con una fórmula química específica. Con una disposición atómica ordenada se da por hecho un orden interno de los átomos en un modelo geométrico y como resultado formas cristalinas. Y que se forme mediante un proceso inorgánico, ya que existen varios organismos que producen sustancias similares a los minerales.

Se sabe que los minerales se encuentran en la naturaleza en formas geométricas que se llaman cristales, los que no cumplen con esta característica, se les conoce como mineraloides y no cuentan con una disposición atómica ordenada.

1.2 Definición de cristal.

“Un cristal es una forma poliédrica regular limitada por caras lisas, que adquiere un compuesto químico bajo la influencia de sus fuerzas interatómicas, cuando pasa en condiciones apropiadas, del estado líquido o gaseoso al sólido” (Dana, E. S., 1969).

“Es un sólido homogéneo que posee un orden interno tridimensional de largo alcance” (Klein, C. y Hurlbut, C. S. Jr., 1997).

Este arreglo tridimensional o red espacial es de mucha importancia para el estudio de los minerales, ya que es la que determina las propiedades que éstos tendrán.

Ya que en la naturaleza se dan hasta 230 arreglos tridimensionales que se pueden repetir indefinidamente, estos arreglos tridimensionales se han agrupado en siete sistemas cristalinos, con base en su simetría relativa. Esta simetría relativa se basa en la relación que guardan ejes imaginarios llamados “ejes cristalográficos”,

que son paralelos a las aristas de intersección de las caras cristalinas principales; y a los ángulos entre dichos ejes. Los sistemas cristalinos son:

1.- Sistema Cúbico o Isométrico. Los tres ejes cristalográficos que componen este sistema, tienen la misma longitud y forman ángulos rectos entre sí, como ejemplos de gemas de este sistema se tiene al diamante y al grupo del granate (Figura 1.1.a).

2.- Sistema Hexagonal. Este sistema está compuesto de cuatro ejes cristalográficos, tres de la misma longitud y con un ángulo entre ellos de 120 grados, el cuarto eje es perpendicular a éstos y puede ser más largo o más corto. El berilo (esmeralda, aguamarina, heliodoro, morganita, etc.) pertenece a este sistema cristalino (Figura 1.1.b).

3.- Sistema Trigonal o Romboédrico. Debido a que este sistema tiene los mismos ejes y ángulos que el sistema hexagonal, algunos autores los agrupan en uno solo como sistema hexagonal. Pero la diferencia está en los elementos de simetría, ya que en la sección transversal del prisma fundamental del sistema hexagonal es un hexágono y en el del sistema trigonal es triangular. El rubí y el zafiro son gemas que forman parte de este sistema cristalino (Figura 1.1.c).

4.- Sistema Tetragonal. Lo componen tres ejes perpendiculares entre sí, dos de estos ejes tienen la misma longitud y se encuentran sobre un mismo plano, el eje principal o eje c puede ser más largo o más corto. El circón es una gema de este sistema cristalino (Figura 1.1.d).

5.- Sistema Rómbico u Ortorrómbico. Está formado por tres ejes cristalográficos de diferente longitud pero perpendiculares entre sí. A este sistema pertenecen el peridoto y el topacio (Figura 1.1.e).

6.- Sistema Monoclínico. Los tres ejes cristalográficos que componen este sistema son de diferente longitud, dos de estos ejes son perpendiculares entre sí y forman un ángulo oblicuo al tercero (Figura 1.1.f).

7.- Sistema Triclínico. En este sistema los ejes cristalográficos son todos de diferentes tamaños y con ángulos diferentes entre sí. A este sistema pertenecen la turquesa y el grupo del feldespato. (Figura 1.1.g).

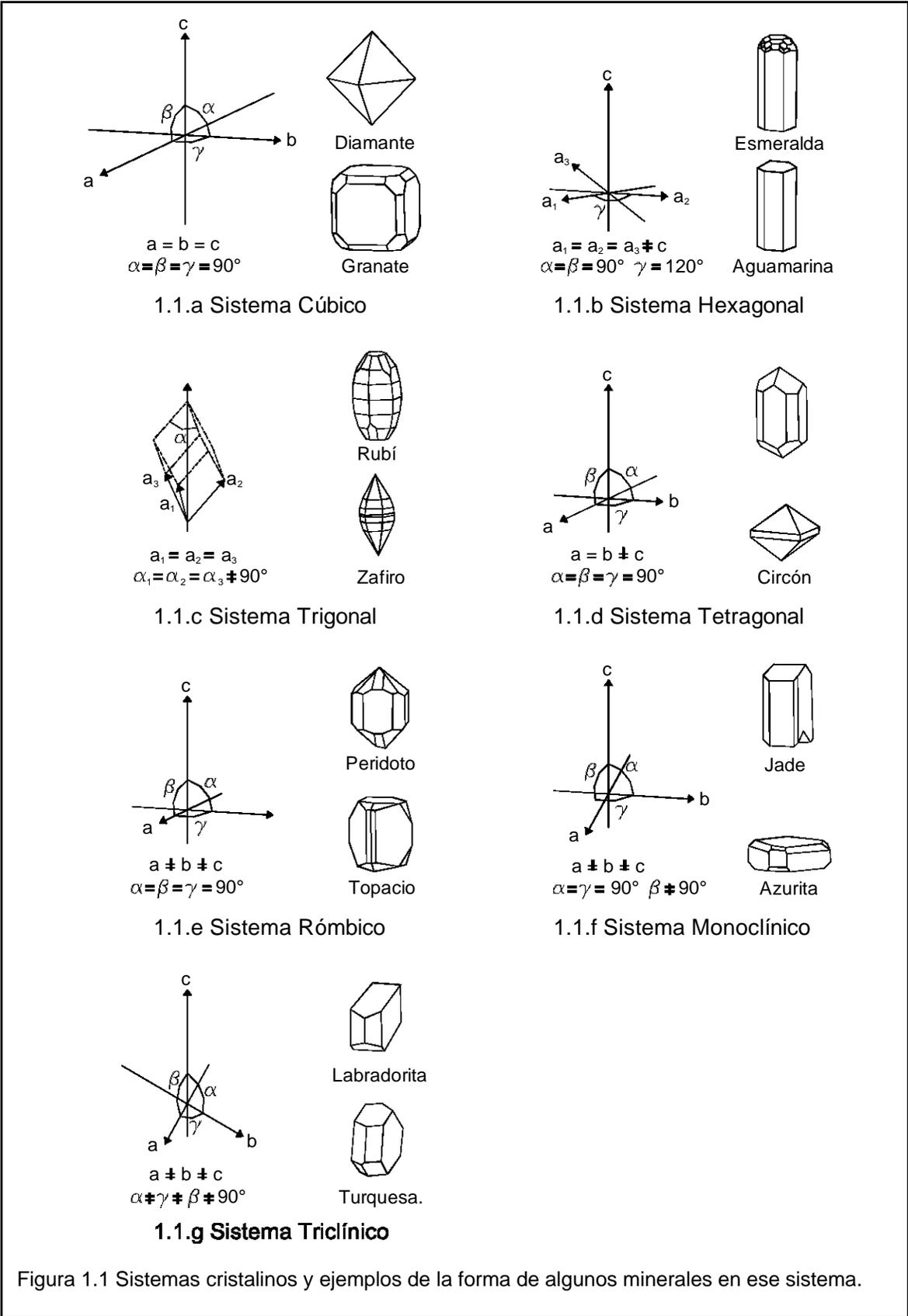


Figura 1.1 Sistemas cristalinos y ejemplos de la forma de algunos minerales en ese sistema.

1.3 Definición de gema.

Gema es un mineral tallado y pulido que sirve como objeto de adorno personal, que entre sus principales características posee:

Belleza, que es un término subjetivo y sujeto a una gran cantidad de variantes como son la moda y el gusto de cada persona, pero con componentes objetivas, tales como el color, brillo, transparencia, dispersión y otras propiedades ópticas de las gemas.

Durabilidad, que es la capacidad de resistir sin daños, los golpes y roces con otros materiales. Es sabida la admiración que los pueblos antiguos sentían por el diamante, no sólo por su brillo, que sólo pudo descubrirse completamente al lograr su talla, sino también por su dureza.

Escasez o rareza, ya que las pocas posibilidades de encontrarlas en abundancia en la corteza terrestre, crea en la persona que la posee un sentimiento de poder e individualidad.

La mayoría de la gemas son minerales, que han sido objeto de una talla para poner en evidencia todas sus propiedades que las hacen resaltar como gemas, también existen gemas que son agregados minerales (rocas) como el lapislázuli y el jade; y existen gemas de origen orgánico como son las perlas, el ámbar, el azabache, coral, marfil, etc.

1.4 Clasificación de las gemas.

Las gemas se pueden clasificar en una gran cantidad de formas, ya sea por sus propiedades físicas como la dureza; propiedades ópticas como índices de refracción; propiedades químicas como sucede con los minerales, que de acuerdo a sus clases minerales se agrupan en Elementos nativos, Sulfuros, Sulfosales, Óxidos, Haluros, Carbonatos, Nitratos, Boratos, Fosfatos, Sulfatos, Volframatos (Tungstos), Silicatos (Tabla 1.1).

Desde el punto de vista de ventas al público en general, es conveniente saber que las gemas se suelen denominar de la siguiente manera:

Gemas naturales. Aquellas de origen geológico o biológico en cuya formación no ha intervenido la tecnología humana. Ejemplos: Diamante, coral, perla natural.

Gemas sintéticas. Las que tienen igual composición que las naturales, pero se han fabricado por el hombre. Ejemplos: Rubí, Esmeralda y Zafiro sintéticos.

Gemas artificiales. Gemas fabricadas por el hombre, que no tienen equivalente natural. Ejemplos: Granate de gadolinio y galio (GGG), titanato de estroncio.

Tabla 1.1 Clasificación química de las gemas.	
1 Elementos Nativos	Diamante.
2 Sulfuros	Pirita.
3 Sulfosales	Pirargirita, Proustita.
4 Óxidos	Corindón (rubí y zafiro), espinela, crisoberilo.
5 Haluros	Fluorita.
6 Carbonatos	Calcita.
7 Nitratos	Nitratina.
8 Boratos	Kernita.
9 Fosfatos	Turquesa.
10 Sulfatos	Yeso.
11 Volframatos (Tungstatos)	Scheelita.
12 Silicatos	Berilo (esmeralda, aguamarina, morganita, heliodoro, etc.), cuarzo (cristal de roca, amatista, rosado, ahumado, citrino, ojo de tigre, etc.), topacio, granate (piropo, almandino, etc.), circón, peridoto, jade.

Gemas de imitación. Gemas naturales, sintéticas o artificiales que se asemejan en el aspecto, pero no en la composición, a gemas de más valor. Ejemplo: Plástico, vidrio verde, cuarzo teñido, dobles o tripletes para imitar rubí, espinela sintética o turmalina como imitación de esmeralda.

Gemas tratadas. Materiales gemológicos que han sufrido tratamientos para modificar su aspecto. El tratamiento de las gemas es tan común que muchos tratamientos se dan por supuestos, y ni siquiera se mencionan. Ejemplo: El calentamiento de esmeraldas en aceite para mejorar su aspecto y hacer desaparecer las fracturas.

Gemas reconstituidas. También llamadas sinterizadas, se fabrican por presión y calentamiento de polvo de la misma sustancia. Solamente se suele aplicar el término al ámbar y a la concha de tortuga.

1.5 Valoración de la calidad de las gemas.

Para la venta de las gemas es necesario establecer un acuerdo en cuanto a las características de estas, es por esto que se toman estándares para que se puedan establecer sus calidades y, con base en esto, su precio en el mercado.

Las características que afectan el precio de una gema son el color, la claridad, el corte y el peso, conocidas en el comercio como las 4 c's. Es común utilizar el término "piedra", para referirse a alguna gema en especial y que es utilizado usualmente en el comercio.

1.5.1 Color.

El color es una de las propiedades de las gemas de mayor importancia, debido a que es el rasgo que primero se observa al analizar una gema, además de ser una característica distintiva, ya que puede variar el tono y la saturación, pero un rubí siempre será rojo o una esmeralda siempre será verde.

"El color es la respuesta al ojo del intervalo de luz visible del espectro electromagnético" (Klein, C. y Hurlbut, C. S. Jr., 1997). La luz visible es sólo una pequeñísima parte del espectro electromagnético, en un intervalo que comprende de los 350 a los 750 nanómetros (nm) aproximadamente (Figura 1.2).

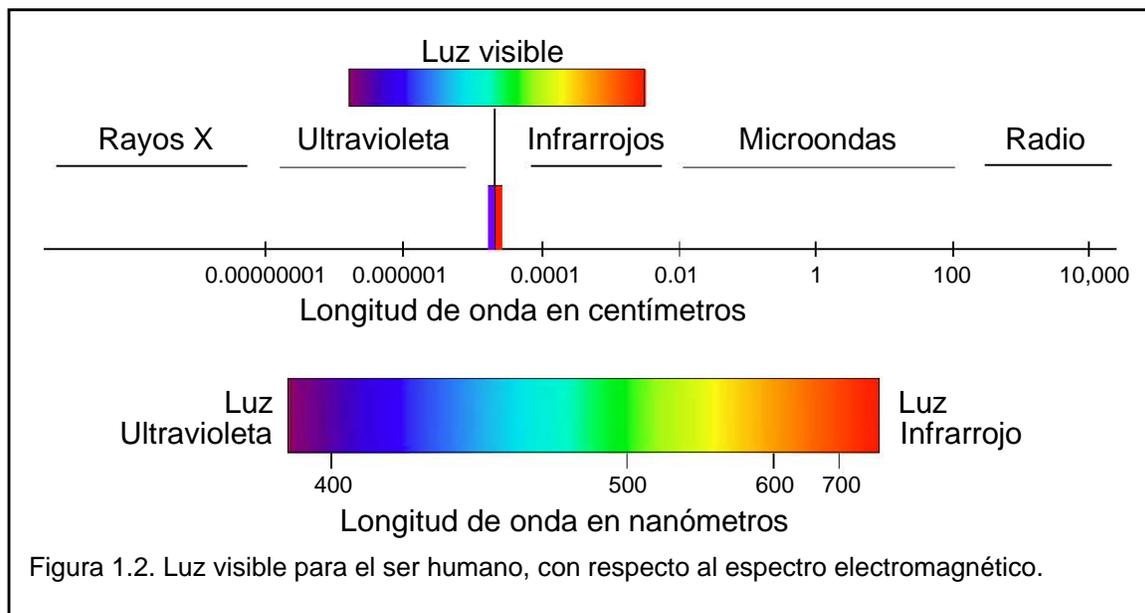


Figura 1.2. Luz visible para el ser humano, con respecto al espectro electromagnético.

El color que se observa en los minerales es causado por la absorción de ciertas longitudes de onda de la luz que incide sobre ellos, el color resultante es la combinación de las longitudes de onda que el ojo percibe. La luz blanca que incide sobre el mineral, puede ser transmitida, dispersada, reflejada, refractada o absorbida. Si la luz no es absorbida el mineral será incoloro en luz transmitida y dará como resultado una mineral transparente.

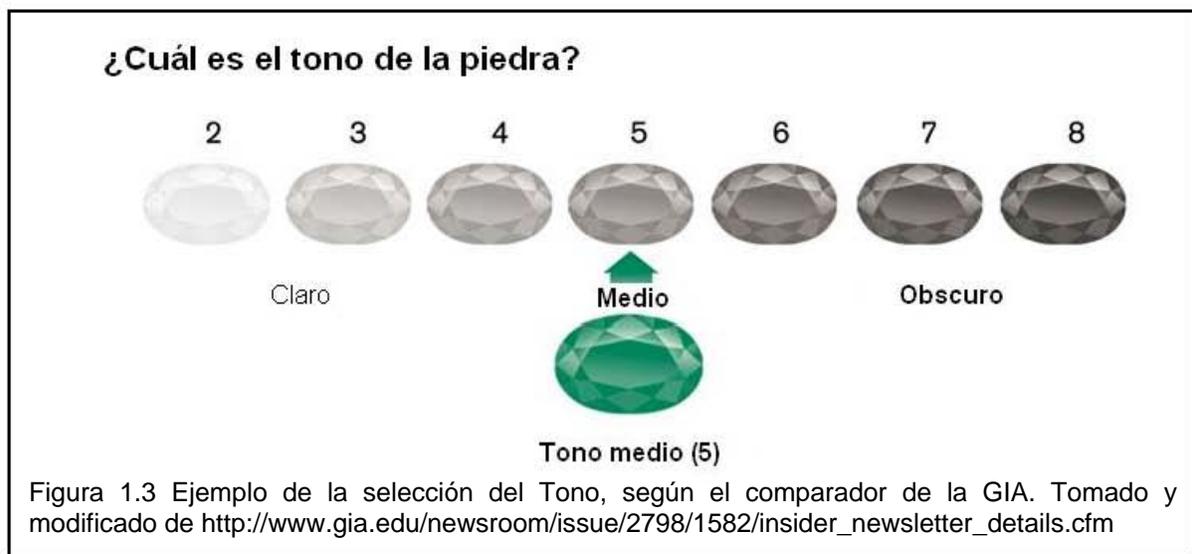
Existen gemas que dentro de su estructura cristalina tienen impurezas que son las causantes del color, estas gemas son llamadas alochromáticas, en tanto que las gemas que deben su color a su composición química se llamas idiochromáticas.

Las gemas alocromáticas sufren una absorción selectiva por parte de las impurezas que poseen, algunas son llamadas elementos de transición, como por ejemplo el vanadio, cromo, hierro, níquel, manganeso, cobre, cobalto, titanio; que son los responsables del color que se observan en algunas gemas.

La graduación del color es una de las propiedades más variables, por tanto, difícil de realizar. Existen varios organismos que han tratado de establecer un estándar en cuanto a la calidad del color en las gemas. Para los diamantes, que por ser la gema de mayor importancia se tiene que mientras un menor grado de color tenga, mayor llega a ser su precio en el mercado y existe una clasificación separada (Tabla 1.2).

Para las gemas de color, no hay un estándar, pero existen comparadores de color, tono y saturación, para poder acercarse lo más posible al color exacto de la gema.

Lo primero que se necesita para poder graduar el color de una gema es conocer el tono de la gema, el tono se puede definir como la claridad u oscuridad del color en la gema (Figura 1.3).



Como segundo paso, se elige el tinte, ya que la mayoría de las veces el color se compone de un color base y un color secundario que es el tinte de la piedra. Y por último la saturación, que se puede describir como cantidad de color en la gema (Figura 1.4). El comparador de color de la GIA consta de 324 muestras de color con sus respectivas variaciones de tono, tinte y saturación.

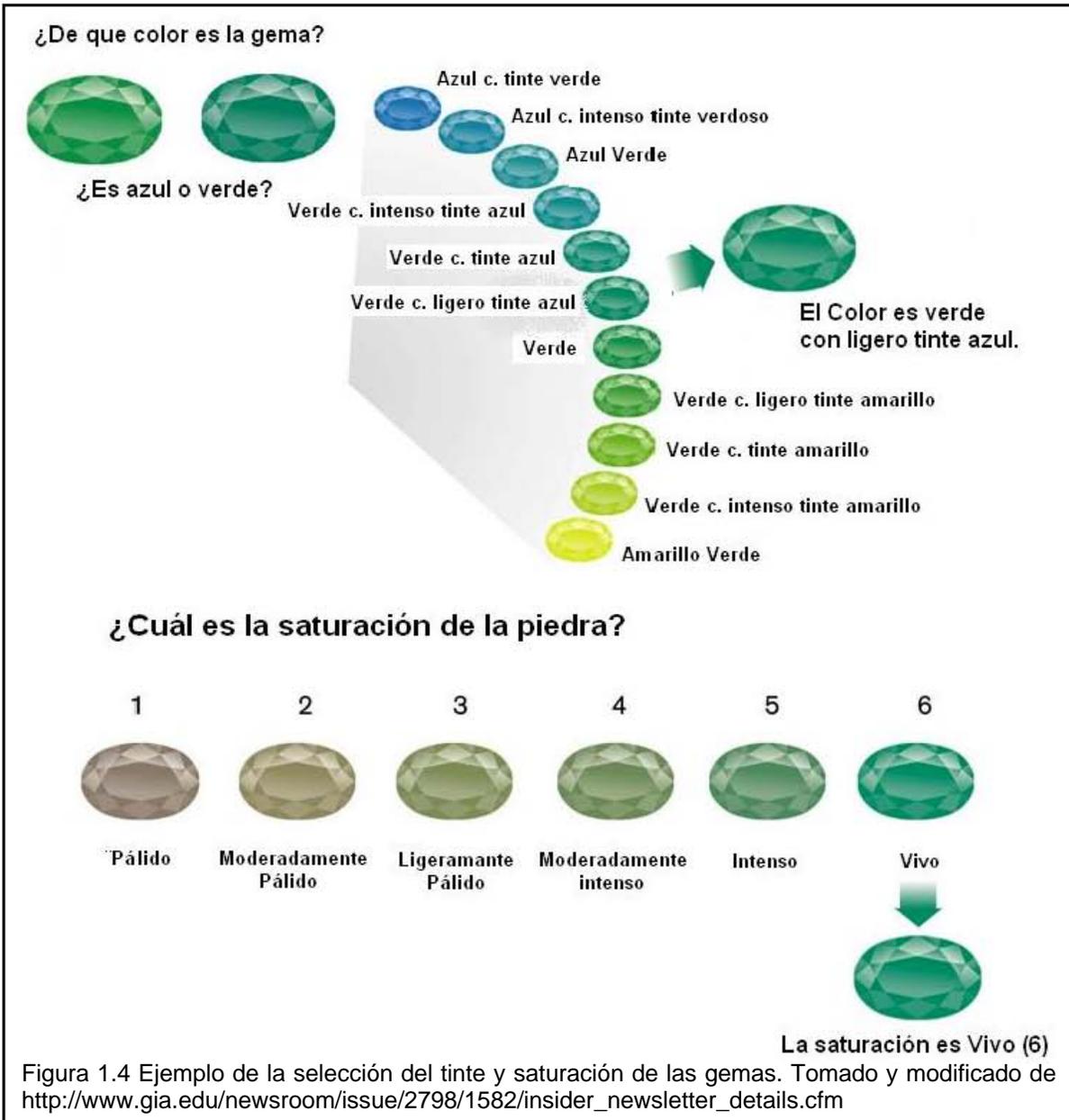


Tabla 1. 2 Escalas de graduación del color para el diamante.						
	GIA	CIBJO/IDC	Scan D.N.	AGS		
Incoloro (colorless)	D	Blanco Excelente (Exceptional White+)	River	0		
	E	Blanco Excelente (Exceptional White)		1		
	F	Blanco Raro (Rare White+)	Top Wesselton	2		
Casi Incoloro (near colorless)	G	Blanco Raro (Rare White)		3		
	H	Blanco (White)	Wesselton	4		
	I	Blanco con ligero Tinte (Slightly Tinted White)	Top Crystal	5		
Apenas Amarillo (faint yellow)	J			Blanco con Tinte (Tinted White)	Top Cape	
	K					
	L					
Amarillo muy claro (very light yellow)	M	Color con Tinte (Tinted color)	Cape	7		
	N					
	O					
	P					
	Q					
Amarillo claro (light yellow)	R			Color con Tinte (Tinted color)	Cape	8
	S					
	T					
	U					
	V					
	X					
	Y					
Z	9					
				10		
Colores de fantasía en el diamante						
GIA (Gemological Institute of America) CIBJO (Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie, des Diamants, Perles et Pierres) IDC (International Diamond Council) Scan. D.N. (Scandinavian Diamond Nomenclature) AGS (American Gem Society)						

1.5.2 Claridad.

La claridad es uno de los factores de mayor importancia en la determinación del valor comercial de la gema. Se puede definir como todas las imperfecciones, ya sean internas o externas que afecten la transparencia y belleza de una gema.

De las imperfecciones internas o inclusiones, se pueden mencionar a los cristales incluidos, fracturas, nudo, nube, puntas de alfiler.

Cristales incluidos.- Son minerales que se encuentran dentro de la gema, estos minerales se formaron antes que ella y fueron rodeados al momento de su crecimiento. Estas inclusiones a simple vista con luz ordinaria se ven de color negro o color oscuro por lo que se les llegó a llamar “carbones”, pero al analizar la gema con iluminación de campo oscuro se puede observar el color de los cristales e inclusive su forma. Estas inclusiones afectan la claridad, pero sirven desde el punto de vista de identificación, ya que son inclusiones que se pueden ubicar en un diagrama y hacer única a esa gema (Fotografías 1.1.a y 1.1.b).

Fracturas.- Son roturas internas o que inclusive pueden encontrarse en la superficie y que llegan a afectar la durabilidad de la gema, además de disminuir mucho su precio en el mercado. Estas fracturas o plumas como la llaman los joyeros (por la apariencia que dan al observarlas) generalmente son de forma irregular y tienen una apariencia curva (Fotografía 1.1.e).

Nudo.- Es un cristal incluido que aflora en la superficie de la gema. Esto es debido a que antes de ser tallado, este cristal se encontraba totalmente dentro de la gema, pero al cortarlo y tallarlo queda expuesto en la superficie; se puede comparar con los nudos que se ven en la madera.

Nube.- Se utiliza este término para describir áreas nebulosas en el interior de la gema. Estas nubes son diminutos cristales incluidos que no se alcanzaron a formar al momento de la cristalización de la gema.

Puntas de alfiler.- Este término es utilizado para llamar así a un cristal incluido de diminuto tamaño que es muy difícil de observar con una lupa de aumento 10x.

Las imperfecciones externas son aquellas que se deben a la talla, como son las naturales, facetas extra, rondista en bruto, granulado superficial, o debidas al uso, como ejemplo las rayaduras, astilladuras, abrasión y marcas de golpes.

Naturales.- Es una superficie no pulida en un diamante tallado, esta imperfección es utilizada para ganar peso de una gema tallada y procuran ocultarlos con la montura de la gema.

Facetas extras.- Son aquellas facetas colocadas, se podría decir al azar, fuera de la simetría del corte, para tratar de ocultar alguna falla, ya sea natural, golpe o pluma sobre la superficie de la gema.

Rondista en bruto.- Debido a la gran cantidad de tiempo que toma y a la destreza necesaria del tallador, la rondista es dejada en bruto en lugar de tener la apariencia de vidrio despolido (Fotografías 1.1.c y 1.1.d).

Granulado superficial.- También llamado líneas de grano o líneas de nudo, son irregularidades en la cristalización y se pueden ver como una superficie ligeramente acanalada (Fotografía 1.1.g).

Rayaduras.- Se ven como una línea blanca curva o recta, que se forma al ser frotado contra minerales de una mayor dureza, algunas veces es el resultado de efectuar pruebas de dureza en la gema (Fotografía 1.1.h).

Astilladuras.- Son cavidades superficiales diminutas en una superficie pulida, se forman principalmente debido a que en ese lugar existía un cristal incluido que al ser pulida la piedra desaparece este cristal dejando el espacio libre.

Abrasión.- Son raspones de las aristas, debido al frotamiento entre gemas de la misma dureza o de dureza superior, en un lote.

Marcas de golpes.- Son contusiones resultado de golpes recibidos por la gema, y se ven como puntos blancos en donde el tamaño varía y por lo regular tienen una silueta cuadrada o hexagonal (Fotografía 1.1.f)

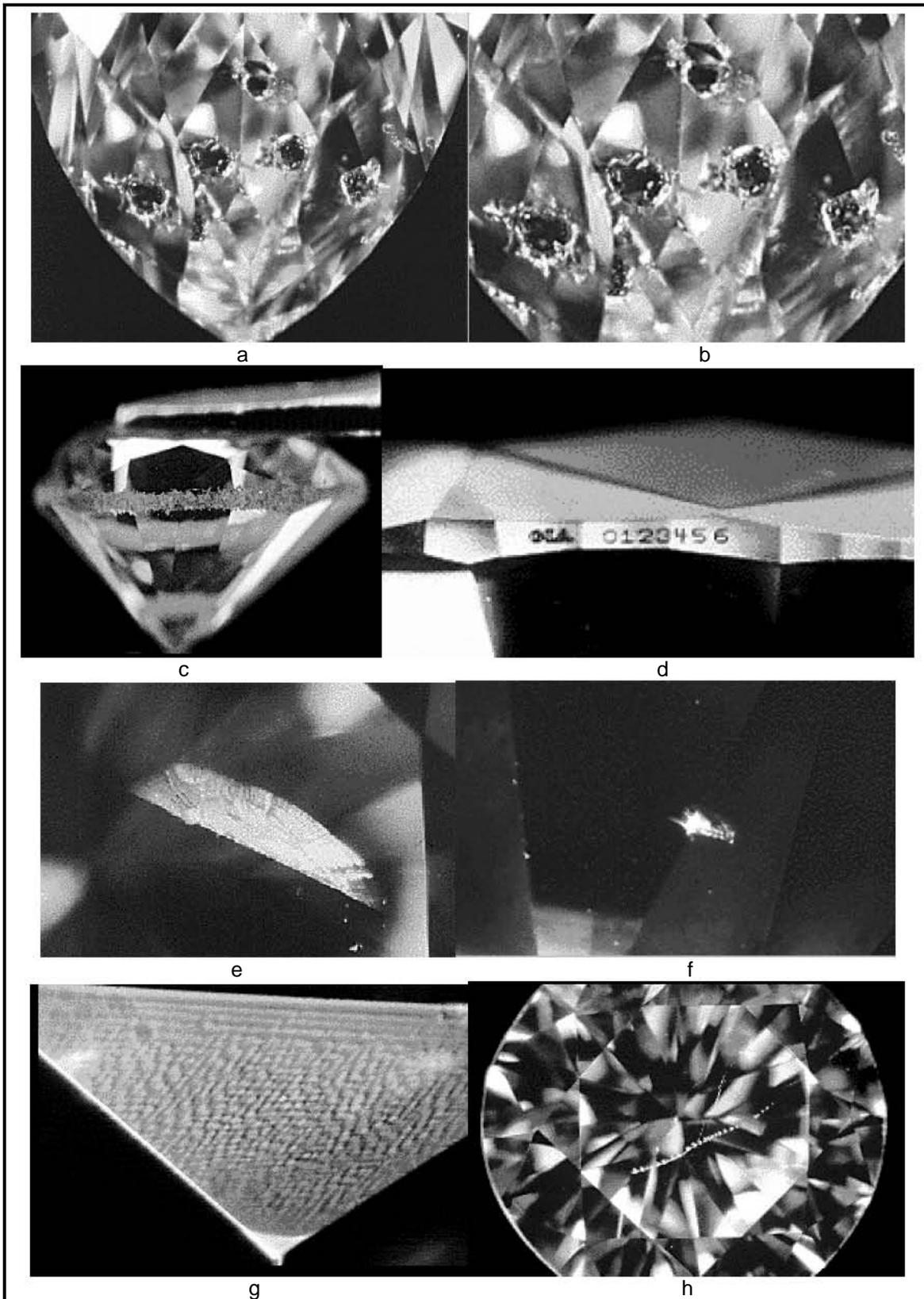
En el comercio existen una gran variedad de escalas para la graduación de la claridad, esta graduación varía de escala a escala y de persona a persona. Hay que tener en cuenta que para la graduación de la claridad es necesario considerar los siguientes aspectos:

1.- La gema a analizar debe de estar completamente limpia antes de comenzar la graduación, ya que el polvo o la suciedad puede llevar a una graduación incorrecta.

2.- Una iluminación correcta. Se sugiere iluminación fluorescente (luz de día), así como una lupa de calidad de 10x (triplet), que es una restricción impuesta para el comercio, ya que al utilizar mayor aumento, se incrementará el número de las imperfecciones observadas.

Los grados de claridad para el diamante se pueden ver en la Tabla 1.3.

A diferencia del diamante, en las gemas de color no existe una estandarización aceptada internacionalmente, pero la GIA tiene una clasificación que es la más aceptada hasta el momento.



Fotografías 1.1 Diferentes características utilizadas para calificar la claridad en el diamante. a y b) Cristales incluidos dentro de un diamante, c y d) La diferencia aparente entre una rondista en bruto c y una facetada d. e) Fractura interna en el diamante con forma de pluma. f) Marca de un golpe debido al uso cotidiano de la joyas. g) En esta figura se observa el granulado superficial en forma de una superficie acanalada, también llamada piel de lagarto. h) Una rayadura en un diamante al ser frotado con otro material de la misma dureza. Tomado de "The GIA Diamond Dictionary Cd-Rom".

Esta escala divide a las gemas de color en tres grados o tipos (Tabla 1.4).

Grado o tipo 1 son aquellas gemas que normalmente se encuentran libres de inclusiones, como son el topacio, aguamarina, amatista, tanzanita, etc.

Grado o tipo 2 está compuesto de gemas que generalmente se encuentran con algunas inclusiones, como ejemplo de este grado se tiene al rubí, zafiro, espinela, peridoto, alejandrita, etc.

Grado o tipo 3 son gemas que se encuentran normalmente con inclusiones, dentro de este tipo están la esmeralda, el ámbar, el ópalo, la turmalina, etc.

Tabla 1.3 Escalas de graduación de la claridad para el diamante.			
GIA	CIBJO / IDC	Scan D.N.	AGS
F	LC	F	0
IF		IF	1
VVS ₁	VVS ₁	VVS ₁	
VVS ₂	VVS ₂	VVS ₂	3
VS ₁	VS ₁	VS ₁	
VS ₂	VS ₂	VS ₂	5
SI ₁	SI ₁	SI ₁	
SI ₂	SI ₂	SI ₂	7,8
I ₁	P ₁	P ₁	
I ₂	P ₂	P ₂	9,10
I ₃	P ₃	P ₃	

F Limpio (Flawless)
 IF Internamente limpio (Internally Flawless)
 VVS Muy, muy insignificantes inclusiones (Very Very Slightly Included)
 VS Muy insignificantes inclusiones (Very Slightly Included)
 SI Ligeras inclusiones (Slightly Included)
 I Imperfecto (Included)
 LC Limpio a simple vista (loupe clean)
 P Piqué

GIA (Gemological Institute of America)
 CIBJO (Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie, des Diamants, Perles et Pierres)
 IDC (International Diamond Council)
 Scan. D.N. (Scandinavian Diamond Nomenclature)
 AGS (American Gem Society)

Tabla 1.4 Escala de claridad de la GIA para gemas de color.					
Tipo 1 Gemas libres de inclusiones		Tipo 2 Gemas con algunas inclusiones		Tipo 3 Gemas con inclusiones	
VVS	Diminutas a no perceptibles	VVS	De menor importancia	VVS	Ligeramente visibles a visibles
VS	De menor importancia	VS	Ligeramente visibles a visibles	VS	Ligeramente visibles a visibles
SI ₁	Ligeramente visibles a visibles	SI ₁	Ligeramente visibles a visibles	SI ₁	Ligeramente visibles a inclusiones moderadas
SI ₂	Visibles a inclusiones moderadas	SI ₂	Visibles a inclusiones moderadas	SI ₂	Visibles a inclusiones moderadas
I ₁	Abundantes, afecta moderadamente la apariencia y durabilidad	I ₁	Abundantes, afecta moderadamente la apariencia y durabilidad	I ₁	Abundantes, afecta moderadamente la apariencia y durabilidad
I ₂	Abundantes, afecta severamente la apariencia y durabilidad	I ₂	Abundantes, afecta severamente la apariencia y durabilidad	I ₂	Abundantes, afecta severamente la apariencia y durabilidad
I ₃	Abundantes, afecta severamente la apariencia, durabilidad y belleza.	I ₃	Abundantes, afecta severamente la apariencia, durabilidad y belleza.	I ₃	Abundantes, afecta severamente la apariencia, durabilidad y belleza.
VVS	Muy, muy insignificantes inclusiones (Very Very Slightly Included)				
VS	Muy insignificantes inclusiones (Very Slightly Included)				
SI	Ligeras inclusiones (Slightly Included)				
I	Imperfecto (Included)				

1.5.3 Corte

El corte es el proceso de obtener piedras facetadas con superficies planas, o curvas, con el propósito de resaltar sus propiedades, como son la transparencia y el color, efectos ópticos como el asterismo y el juego de colores.

Es otro de los factores que se toman en cuenta para establecer el valor comercial de una gema. Ésta es una actividad en la que requiere tener un conocimiento amplio sobre la gema que se va tallar, esto se considera como un arte, ya que es necesario saber qué corte es el apropiado para obtener de la piedra el mejor color, el mayor tamaño y la mayor belleza de la piedra a tallar.

Existe una gran cantidad de cortes que se pueden hacer a las piedras en bruto, siendo los cortes básicos el corte facetado y el corte cabujón.

El corte facetado se limita a caras pulidas (facetas) que tienen diferentes nombres según su posición. Dentro de la talla facetada los cortes más importantes son el corte brillante, que como su nombre lo dice, es el corte ideal en el diamante, corte esmeralda, corte marquise, princess, baguette, entre una gran gama de cortes que abarca hasta cortes de fantasía, se emplean principalmente en gemas translúcidas.

El corte cabujón es el corte más común en las gemas, también es el más antiguo, ya que se han encontrado piedras talladas en esta forma en tumbas faraónicas.

Este corte consta de una superficie curva convexa en la parte superior y puede ser plana, cóncava o convexa en la parte inferior y tener forma cuadrada, redonda, ovalada, triangular o en forma de corazón, etc. Este tipo de corte se aplica principalmente a gemas opacas (Figura 1.5).

Entre los factores que se deben de tomar en cuenta al valorar el corte están:

1.- La simetría del corte, ya que al no ser un corte simétrico la piedra presentará irregularidades en el color y el brillo.

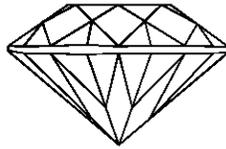
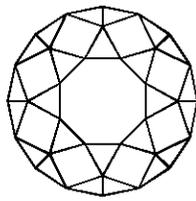
2.- La proporción del corte, este factor es muy importante ya que de estas proporciones depende el efecto de la luz en el interior de la gema, por ejemplo, si un corte tiene el pabellón muy profundo la piedra se verá muy oscura y sin brillo, ya que la luz que entre por la mesa se escapa por el pabellón y no regresa por la mesa, al contrario de una piedra con el pabellón muy corto la piedra se verá clara pero sin brillo (Figura 1.6).

1.5.4 Peso

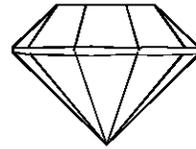
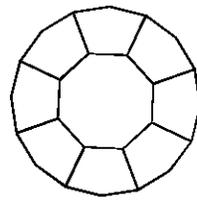
El peso es un factor de importancia al momento de establecer su valor en el mercado, al igual que las tres características anteriores, ya que la venta de la gemas se da con base en precio por quilate y es necesario tomar en cuenta que no tienen el mismo valor cien piedras de 1 punto que una piedra de 1 quilate.

Dentro de las unidades de peso en la actualidad se encuentran:

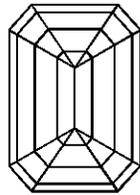
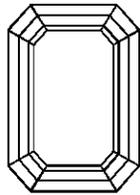
Quilate (carat). A fines del siglo pasado la equivalencia del término quilate variaba de país a país, pero para 1871 se iniciaron en París los primeros intentos por unificar la equivalencia del quilate internacionalmente. En 1907, el comité internacional de pesos y medidas propuso la equivalencia de 200 miligramo (mg) por quilate, el cual fue aceptado por todos los países y se aceptó como patrón legal de medida en 1914.



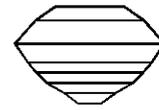
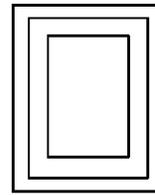
Corte Brillante



Corte 8x8



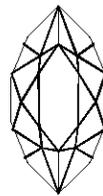
Corte Esmeralda



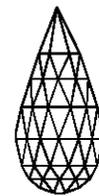
Corte Escalera



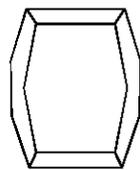
Corte Pendeloque



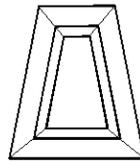
Corte Naveta



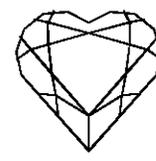
Corte Briolette



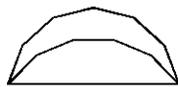
Corte Tonel



Corte Trapecio

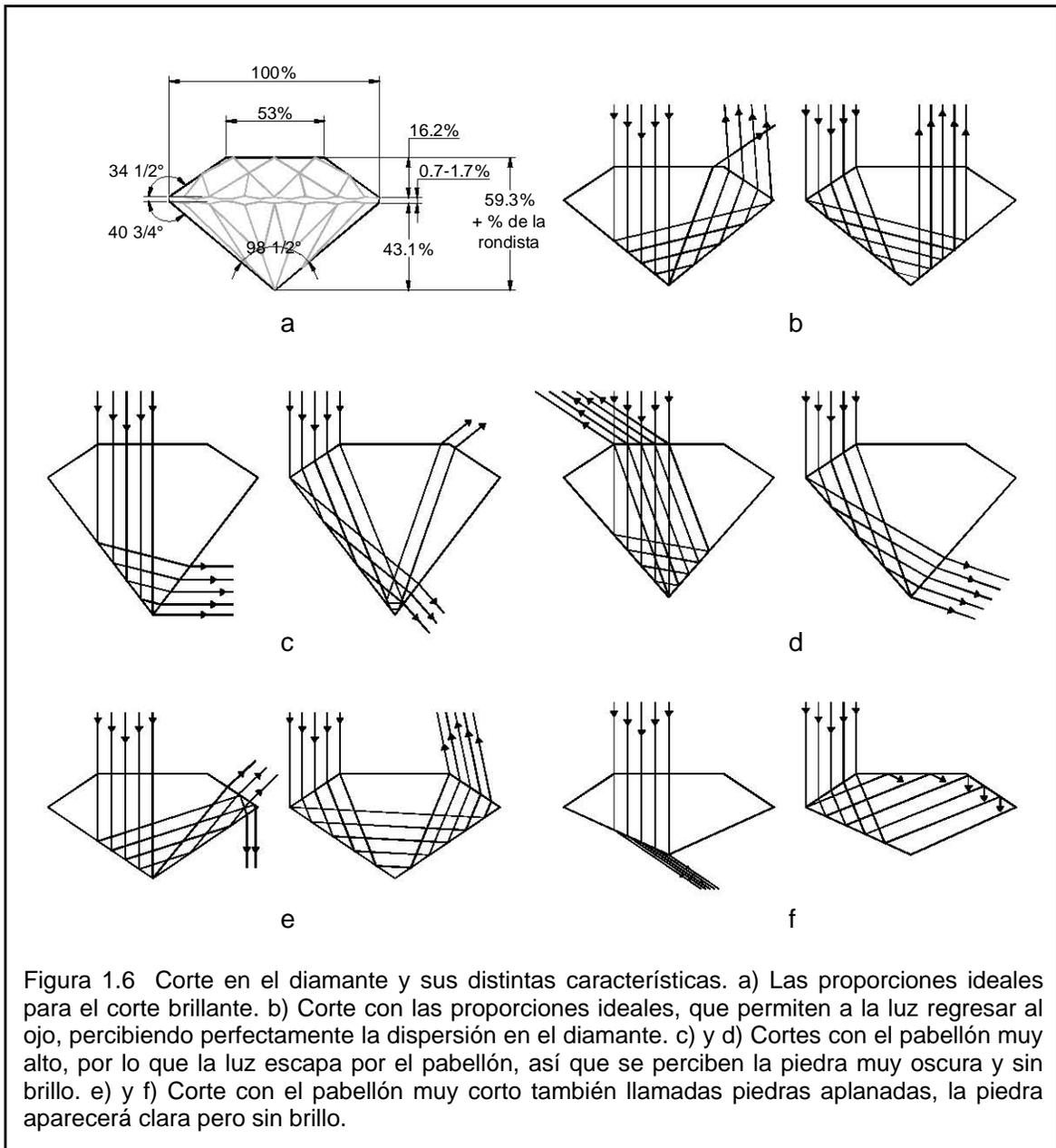


Corte Corazón



Corte Cabujón

Figura 1.5 Diferentes tipo de cortes en gemas, desde el clásico corte brillante del diamante hasta corte de fantasía como el corte corazón.



Punto: es la medida que se utiliza para pesos menores del quilate, en equivalencia 1 quilate es igual a 100 puntos.

1 gramo	=	5 quilates	=	500 puntos
0.200 gramos	=	1 quilate	=	100 puntos
0.100 gramos	=	0.50 quilate	=	50 puntos
0.050 gramos	=	0.25 quilate	=	25 puntos
0.020 gramos	=	0.10 quilate	=	10 puntos
0.002 gramos	=	0.01 quilate	=	1 punto

Capítulo II. Tratamientos en las gemas

2.1 Causas del color en las gemas

Para entender completamente los efectos de los tratamientos, es necesario conocer cuáles son las principales causas del color en las gemas, el color en la mayoría de las gemas se debe a procesos de absorción de la luz, pocos casos son debidos a características físicas tales como las inclusiones, textura o estructura de los componentes que las constituyen.

Los procesos de absorción se pueden dividir en 4 amplias categorías. Primero, absorción causada por impurezas en la gema. Segundo, cuando ciertos iones cercanos permiten la transferencia de carga entre ellos, también llamados transiciones orbitales moleculares. Tercero, defectos en la estructura del cristal que permite la absorción de la luz o centros de color. (Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., 1988).

Estas tres primeras categorías son las que interesan por ser las que se pueden modificar, remover o mejorar por medio de los tratamientos, mientras que la cuarta categoría conocida como la teoría de la banda afecta directamente a la estructura del cristal y no puede ser modificada por ninguno de los tratamientos conocidos hasta el momento para las gemas.

2.1.1 Impurezas

Existen elementos químicos llamados de transición, que se presentan en baja proporción en la gema y no aparecen en la composición química, estos elementos son: el Titanio, Vanadio, Cromo, Manganeso, Hierro, Níquel, Cobre y Cobalto y son los responsables de la coloración en las gemas (Tabla 2.1).

Un ejemplo de estas impurezas se da en el rubí, que puede contener menos del 1% de cromo y ser de color rosa o rojo, pero el mismo material sin cromo puede ser completamente incoloro.

Se toma al berilo y se combina con hierro el resultado es una aguamarina (azul), Heliodoro (amarillo) o berilo verde; pero al mezclarlo con manganeso se obtiene Morganita (rojo) o berilo rojo y al mezclarlo con cromo y vanadio se tendrá la tan preciada esmeralda.

2.1.2 Transiciones orbitales moleculares

También llamadas transiciones con transferencias de carga, se presentan en los minerales cuando los electrones de valencia efectúan un movimiento de vaivén entre iones adyacentes y puede ocurrir únicamente en compuestos que tengan al menos dos compuestos en diferentes y con variables estados de oxidación.

Tabla 2.1 Ejemplos de minerales cuya coloración es debida a elementos de transición. Recopilada de Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., 1987.

Ion Absorbente	Mineral	Gema	Color
Cr ³⁺	Berilo	Esmeralda	Verde
	Corindón	Rubí	Rojo
Mn ³⁺	Berilo	Morganita	Rojo
	Turmalina	Rubelita	Rosa
Mn ²⁺	Berilo	Berilo rosa	Rosa
	Granate	Espesartita	Amarillo–Naranja
Fe ³⁺	Granate	Andradita	Verde
Fe ²⁺	Olivino	Peridoto	Amarillo verdoso
	Granate	Almandino	Rojo oscuro
Cu ²⁺	Turquesa	Turquesa	Azul claro

Entre las transiciones más comunes son el $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, en donde Fe^{2+} en la posición 1 transfiere 1 electrón y lo convierte en Fe^{3+} y viceversa, $Fe^{2+}_{(1)} + Fe^{3+}_{(2)} \leftrightarrow Fe^{3+}_{(1)} + Fe^{2+}_{(2)}$; como resultado de este movimiento del electrón, la energía resultante de este movimiento corresponde con las longitudes de onda del color visible.

Otra transición muy común y de gran importancia es el de $Fe^{2+} \rightarrow Ti^{4+}$, ya que esta transición da como resultado el color azul del zafiro, que dentro de su composición química (Al_2O_3), contiene como impurezas comúnmente pequeñas cantidades de hierro y titanio (Tabla 2.2).

2.1.3 Centros de color

“La coloración puede ser también debida a defectos estructurales. Éste es el caso de un electrón en exceso, liberado de cualquier átomo y que ha sido atrapado en algún defecto estructural, tal como un ion ausente o una pureza intersticial. El mismo efecto puede causar “un agujero” o ausencia de un electrón. Estos defectos estructurales se denominan centros de color o centro F (del alemán Farbe, Color).” (Klein, C. y Hurlbut, C. S. Jr., 1997) (Tabla 2.3).

2.2 Definición de tratamiento

“El tratamiento de una gema es el proceso, aparte del corte y el pulido, que mejora la apariencia (claridad, color, fenómeno óptico), durabilidad y disponibilidad de una gema”. (Hurlbut, Cornelius S. Jr. y Kammerling, Robert C. 1991).

Tabla 2.2 Ejemplos de minerales cuya coloración es debida a transiciones orbitales moleculares. Recopilada de Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., 1988.

Par de iones	Mineral	Gema	Color
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	Berilo	Aguamarina	Azul - Amarillo
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	Glaucofana	-	Azul
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	Jadeita	-	Violeta
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	Lazurita	-	Azul
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	Cordierita	-	Azul
$Fe^{2+} \rightarrow Ti^{4+}$	Corindón	Zafiro	Azul
$O^{2-} \rightarrow Cr^{6+}$	Crocoita	-	Naranja - Rojo
$O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$	Cuarzo	Citrino	Amarillo - Naranja
$O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$	Berilo	Heliodoro	Amarillo

Existen diferentes factores por los cuales las gemas son tratadas, el principal y más importante es el precio, la demanda y la belleza.

El precio de una gema puede mejorarse notablemente al utilizar el tratamiento adecuado, debido a que una de las características de las gemas es su escasez y de la producción mundial de gemas, es poca la cantidad de gemas finas, las cuales tienen un costo elevado. El porcentaje de gemas que no reúne las características de color y claridad tiene un costo mucho menor en el mercado por ser más abundantes, pero el valor de la producción de estas piedras se puede aumentar al mejorar la apariencia de estas piedras y a un costo menor que las piedras naturales.

Al existir en el mercado una demanda de cierta gema y no encontrarse en el mercado, es necesario encontrar la forma de sustituir ese faltante ya sea con gemas sintéticas o dar tratamiento a piedras de calidades inferiores para cubrir la demanda de esa gema.

Al tratar una gema se mejora notablemente su apariencia, la gema tendrá un mejor color, una mejor claridad y en algunos casos se puede mejorar hasta la durabilidad de la gema.

Entre los tratamientos que existen hoy en día en el mercado se tienen al tratamiento térmico, irradiación, tinciones (dyeing), recubrimientos (surface coating), penetración de color (surface diffusion), relleno de fracturas (fracture-filled), blanqueado de inclusiones y rayo láser (bleaching, lasering).

Tabla 2.3 Ejemplos de minerales cuya coloración es debida centros de color. Recopilada de Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., 1988.

Mineral	Gema	Color
Topacio	-	Azul, verde, amarillo, naranja y rojo.
Circón	-	Rojo
Cuarzo	Cuarzo ahumado	Marrón - negro
Berilo	Berilo tipo maxixe irradiado	Azul
Corindón	Zafiro amarillo irradiado	Amarillo
Corindón	Zafiro rosa o padparadscha	Rosa
Corindón	Zafiro naranja	Naranja
Diamante	Diamante irradiado	Verde, amarillo, marrón, azul, rosa.
Cuarzo	Amatista	Morado

2.2.1 Tratamiento térmico

Es el tratamiento más común y más utilizado en las gemas debido a que el resultado del método es estable bajo condiciones de uso y cuidados normales, con el objetivo de mejorar el color haciéndolo más oscuro, más claro, más intenso o simplemente cambiar completamente de color.

Este tratamiento es conocido desde la antigüedad y existen varias referencias históricas sobre este tratamiento en gemas, el árabe Teifaschi escribió un tratado de gemas aproximadamente en 1240 a.c. en donde describe un método utilizado por gente de Sri Lanka, para aclarar el color del rubí.

En el sexto libro "Natural Magic", de John Baptist Porta (ca. 1535-1615) se hace mención a cierto tratamiento térmico para falsificar y adulterar piedras preciosas; lo cierto es que este tratamiento ha sido practicado por siglos y posiblemente viene desde tiempo de los romanos (Hughes, Richard W. 1997).

La historia del tratamiento térmico de la actualidad comienza con el siglo XX, en el momento que los hornos son capaces de alcanzar temperaturas mayores a los 1500°C. Para mediados de los 80's, virtualmente cada especie gemológica, había sido tratada térmicamente para saber si su aspecto podía ser modificado satisfactoriamente.

2.2.1.a Método del tratamiento

Hay que tomar en cuenta que este método se aplica principalmente en gemas en bruto, ya que al ser expuestas al tratamiento no se sabe dónde quedará el color más fino y de ahí aprovechar esto al tallar y pulir la gema, esto no quiere decir que no se aplique a gemas talladas. Es necesario que las gemas procedan del mismo depósito, ya que se supone tienen una composición química similar.

1.- Preparar las gemas a tratar; consiste en remover cualquier mineral ajeno al material, por medio de selección manual, baños ácidos, o por pruebas gemológicas. Esto es importante debido a que minerales ajenos pueden provocar fracturas o inclusive que las piedras a tratar se fundan. Se procura también evitar inclusiones de largos cristales y cristales negativos, que pueden provocar fracturas cuando la gema se calienta.

2.- Una vez limpio y seleccionado el material se coloca en un recipiente de alúmina que puede soportar temperaturas mayores de 1900°C y entre el material se coloca polvo de alúmina para evitar que las gemas se lleguen a pegar y que al ser separadas se rompan, funcionando también como aislante. Ayuda a soportar los cambios bruscos de temperatura evitando fracturas en las gemas.

3.- Tomar en cuenta los factores que intervienen en la obtención del resultado requerido:

- a) Tiempo vs Temperatura, varía de gema a gema y de acuerdo al resultado al que se quiera llegar, en algunos casos es necesario únicamente el calor de una lámpara de alcohol para llegar al cambio querido, como el caso del topacio pardo rico en cromo, para cambiarlo a color rosa, sin embargo, en algunos casos son necesarias temperaturas de hasta 2050°C para desarrollar la coloración azul del zafiro.
- b) Atmósfera que puede ser oxidante (añadiendo oxígeno en el horno) o reductiva (añadiendo gases que reaccionen con el oxígeno libre y así removerlo de la reacción).
- c) Composición química de las gemas, al tener los elementos y la cantidad necesaria de ellos es posible llegar al resultado requerido.
- d) Composición química del material incluido en el calentamiento, es necesario que no vayan impurezas dentro del material a tratar ya que éstas pueden actuar en la reacción.

4.- Después de terminar el calentamiento de las gemas, se enfrían lentamente para evitar fracturas. Una vez completamente frías, las gemas son retiradas y analizadas. Si el resultado no es el requerido para alguna de las gemas éstas son de nuevo tratadas y así sucesivamente hasta obtener el resultado.

2.2.2.b Resultados

Este método se aplica con la finalidad de mejorar o cambiar el color original y también para mejorar la claridad de las gemas. Este método es aceptado dentro del comercio de gemas como una práctica normal.

Se aplica generalmente en el ámbar, del grupo del cuarzo a la amatista, carnalina y el citrino; dentro del grupo del berilo a la aguamarina y al berilo rosa; dentro del grupo del corindón al rubí y al zafiro, que es considerado un método muy común en estas dos gemas, al diamante, a la turmalina, a la kunzita, y a la tanzanita, como las más comunes y de mayor importancia comercial, un resumen de la aplicaciones del método en estas gemas se presenta en la Tabla 2.4.

2.2.2 Tratamiento de penetración del color (Surface diffusion)

Es un tratamiento que comenzó a utilizarse a finales de la década de los 70's únicamente en el zafiro y conforme ha pasado el tiempo se utiliza en el rubí, sin ser ampliamente utilizado en esta gema y posteriormente se utilizó en el topacio pero sin tener los mismos resultados que en el zafiro.

Es un complemento del tratamiento térmico, ya que es aplicado a gemas que no responden adecuadamente a este tratamiento y consiste en añadir una mezcla de óxido de aluminio y los óxidos del cromóforo faltante, si se quiere una piedra azul hay que añadir óxidos de hierro o titanio, si se desea un color rojo o rosa hay que añadir óxido de cromo y si se busca una amarilla éste puede ser un compuesto de níquel.

2.2.2.a Método del tratamiento

Este tratamiento se aplica a corindones incoloros o con poco color y las piedras se tallan pero no se pulen, ya que esto evita que el color penetre en la gema.

- 1.- Las gemas prefacetadas se colocan en un crisol con polvo de alúmina, más los óxidos metálicos que funcionan como colorantes. La alúmina por sí sola no tiene ningún efecto, mientras que el titanio ayuda a la penetración y disminuye las bandas de color.
- 2.- Se somete a una temperatura entre 1600-1800° C por prolongados períodos, días hasta semanas, con la finalidad de que el polvo penetre en la superficie y como resultado se crea una pequeña capa debajo de la superficie de la gema (Figura. 2.1).
- 3.- Debido al daño que sufren las facetas de la gema por las altas temperaturas, son ligeramente pulidas teniendo cuidado de no remover el material con el color, que no excede de algunas décimas de milímetro.

Tabla 2.4 Resumen de los resultados del tratamiento térmico, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas. Recopilado de AGTA (American Gem Trade Association) Gemstone Enhancement Manual.

Aplicado en:	Resultado	Frecuencia	Estabilidad del método	Cuidados
Ámbar	Mejorar la apariencia, elimina burbujas de aire al calentarlo en aceite, y mejora el color.	Frecuente	Muy Buena a Buena	Evitar sustancias químicas como cloroformo, benceno, éter, acetona y alcohol, también lavados ultrasónicos
Amatista	Utilizado para crear citrino al calentarlo entre 450°C – 750°C, o remover zonas oscuras.	Ocasional	Excelente	No exponer al sol por tiempo prolongado.
Carnalina	Para conseguir el color rojo.	Frecuente	Buena a Mala	Ninguno
Citrino	Para conseguir diferentes variedades de cuarzo.	Frecuente	Excelente	Ninguno
Aguamarina	Mejora el color removiendo el componente amarillo y produciendo así un color azul puro.	Frecuente	Excelente	Ninguno
Berilo rosa	Mejora el color al eliminar el componente amarillo produciendo así un color rosa puro.	Común	Excelente	Ninguno
Rubí	Mejora el color al remover el componente azul a temperaturas entre 800-1900° C. Desarrolla la estrella de seis puntas en rubíes ricos en Ti.	Frecuente	Excelente	Ninguno
Zafiro	Produce un color más intenso. Aclarar el color y/o uniformidad en el color y apariencia. Desarrollar la estrella de seis puntas en zafiros ricos en Ti.	Frecuente	Excelente	Ninguno
Diamante	Induce colores de fantasía. Alterar el color por medio de un nuevo método llamado HPHT, (alta presión y alta temperatura).	Raro	Desconocida	Ninguno
Turmalina	Mejora el color de la gema.	Común	Excelente	Ninguno
Kunzita	Mejora el color de las gemas de ciertas localidades.	Común	Poca	Evitar químicos y lavados ultrasónicos.

Para la tabla anterior y posteriores se hará uso de la siguiente escala:

Escala para frecuencia:

- (+) Siempre
- Frecuente
- Común
- Ocasional
- (-) Raro

Escala para estabilidad:

- (+) Excelente
- Muy buena
- Buena
- Variable
- Poca
- (-) Desconocida

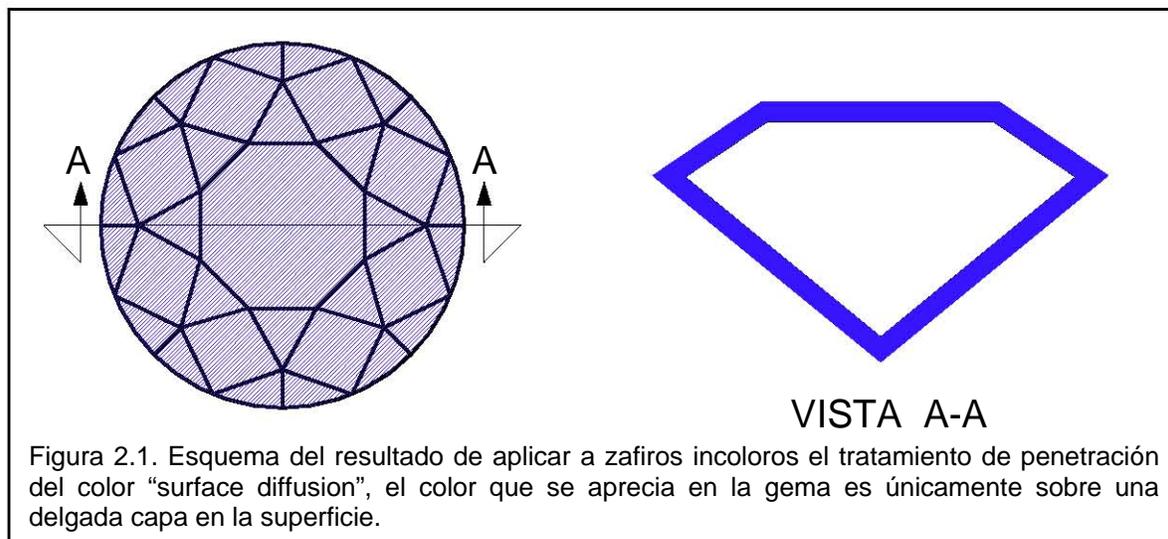
2.2.2.b Resultados

Cuando el método es aplicado correctamente, los colores que se obtienen son muy similares a los más finos que se presentan en la naturaleza. Se utilizan principalmente zafiros incoloros y los colores más comunes que se obtienen son principalmente el azul (zafiros), el rojo (rubíes) y pocos naranjas (padparadschas).

Existe en el mercado una variación del método llamada "Deep Diffusion" que en metodología y resultados del color es el mismo, pero que permite obtener una mayor penetración del color (0.50 mm), mientras que con el tratamiento normal la mayor penetración alcanza un orden máximo de hasta 0.40 mm.

Las gemas que han sido tratadas por este método corren el riesgo de perder el color si no se tienen los cuidados adecuados como no golpear la gema, ya que hacerlo provoca la pérdida de la capa de color.

Este tratamiento no es aceptado por los comerciantes de gemas, como lo son los tratamientos térmicos por sí solos. Los minerales sujetos a este tratamiento son diferenciados y rechazados por el comercio, de ahí la importancia de reconocer las diferencias entre uno y otro tratamiento.



2.2.3 Irradiación

Es el proceso por el cual las gemas son expuestas a radiaciones ionizantes, con la finalidad de alterar el color de las mismas. Este tratamiento es responsable de que existan colores en gemas que de forma natural no existirían o los habría pero en cantidades muy limitadas.

La radiación es energía en movimiento, la cual es el resultado de la acción de cualquier partícula, ya sea átomo, neutrón, protón, o electrón. Esto no hubiera sido conocido si Wilhelm Konrad Roentgen no hubiera descubierto los rayos X en 1895.

Desde ese momento, el anhelo de saber más sobre estos temas llevó a gentes como Antoine Henri Becquerel, Pierre y Marie Curie a establecer las bases del conocimiento sobre esta área a principios del siglo XX. Todos estos investigadores fueron merecedores del premio Nobel en Física de 1903.

Esta energía no es necesariamente transportada por la partícula, sino que se desplaza por medio de ondas, estas ondas forman parte de la radiación electromagnética.

Dentro de la radiación electromagnética se tiene a la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos infrarrojos, las ondas de radio, así como también a los rayos gamma, beta, alfa, los rayos X y la radiación neutrónica, estos cinco últimos pertenecientes al tipo de radiación ionizante.

Las radiaciones ionizantes son las radiaciones capaces de causar ionización, es decir, formación de iones (partículas cargadas) a partir de átomos o moléculas.

La única diferencia entre cada uno de los tipos de radiación ionizante es la cantidad de energía que transportan, lo cual ocasiona diferentes características y distinto poder de penetración.

Cuando las ondas penetran en un material, chocan con las partículas constituyentes de ese material transfiriéndoles su energía, así los rayos alfa actúan únicamente en la superficie de las gemas, ya que pierden toda su energía al entrar en contacto con ellas. Los rayos o partículas beta poseen un poder de penetración muy limitado, mientras que los rayos gamma, los rayos X y la radiación neutrónica atraviesan por completo a las gemas (Figura 2.2).

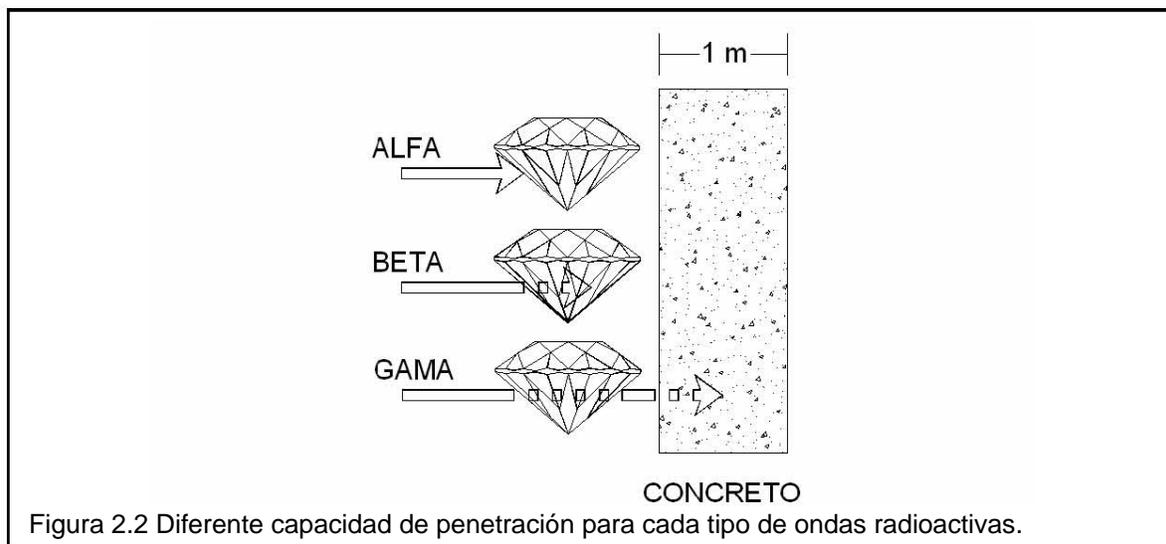


Figura 2.2 Diferente capacidad de penetración para cada tipo de ondas radioactivas.

Comercialmente existen tres tipos de instalaciones para tratar a las gemas: instalaciones de rayos gama que utilizan cobalto 60, aceleradores lineales (partículas alfa y beta) que tiene como finalidad incrementar la energía emitida por los núcleos radiactivos y por último, los reactores nucleares (radiación neutrónica),

estos últimos pueden producir radiación residual, por lo cual, a las gemas sometidas a estas pruebas se les deben de aplicar controles radiológicos antes de salir al mercado.

2.2.3.a Resultados

Al irradiar las gemas se produce un defecto en la estructura cristalina de la gema, que afecta la absorción del espectro de luz visible (centros de color) alterando el color en las gemas.

Las dos principales gemas que modifican su color por este método son el diamante y el topacio; pero también se aplica a gemas como el rubí, zafiro, berilo rosa (morganita) o incoloro (goshenita), espodumena y turmalina.

Los diamantes y topacios son expuestos a radiación neutrónica debido a que es más rentable, abarca toda la gema y con poco tiempo de exposición. Los diamantes se vuelven de color verde de manera general y negro si se prolonga demasiado el tratamiento y por medio de posterior tratamiento térmico se obtienen colores de fantasía (amarillo, ámbar, rojo, pardo o anaranjado). Del topacio se obtiene un magnífico color azul, que en la naturaleza es una variedad muy rara y por consiguiente muy cara.

Las radiaciones con partículas alfa y beta también se utilizan en diamantes y topacios y se obtienen las coloraciones arriba mencionadas, pero con la desventaja de que actúan únicamente en la superficie de la gema.

La utilización de rayos gama procedentes del cobalto 60 es principalmente en tratamiento de cuarzos, para producir cuarzo ahumado; en topacios de donde se obtienen tonos pardo y rojizos; en berilos para obtener colores amarillos, amarillo-verdosos y azul-violeta; en espodumenas en las que se tendrán colores amarillo-verdoso y verde esmeralda; con la desventaja de que estos colores se pierden al ser expuestos a la luz del sol o al calor.

Un resumen de la aplicación de este proceso en algunas gemas se muestra en la tabla 2.5.

2.2.4 Tinciones (dyeing)

Éste es el método conocido más antiguo en el tratamiento de gemas y consiste en colorear la gema con un pigmento adecuado, esto para mejorar, cambiar o uniformar el color en la gema y es únicamente aplicable en materiales porosos que permitan la penetración del líquido.

Tabla 2.5 Resumen de los resultados de irradiación de gemas, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas. Recopilado de AGTA (American Gem Trade Association) Gemstone Enhancement Manual.

Aplicado en:	Resultado	Frecuencia	Estabilidad del método	Cuidados
Berilo rosa o incoloro	Se obtiene berilo azul.	Siempre	Poca	Evitar calor o luz intensa.
Crisoberilo ojo de gato	Cambia el color.	Ocasional	Excelente	Ninguno
Diamante con color	Más tratamiento térmico para obtener colores de fantasía.	Ocasional	Excelente a muy buena	Ninguno, a excepción del verde que no se debe exponer a la luz o al calor.
Kunzita	Más tratamiento térmico para obtener un color más intenso.	Común	Poca	Evitar calor o luz intensa.
Perla cultivada	Produce color azul, gris oscuro y color bronce.	Ocasional	Muy buena	Evitar los químicos.
Rubí	Cambia el color.	Raro	Desconocida	Ninguno
Zafiro	Provee temporalmente un intenso color amarillo o naranja.	Ocasional	Poca	Evitar calor o luz intensa.
Espodumena	Se obtiene color amarillo y verde.	Raro	Poca	Evitar calor o luz intensa.
Topacio café	Más tratamiento térmico para obtener color azul.	Usual	Excelente	Ninguno
Topacio Amarillo/Naranja	Intensifica el color.	Ocasional	Variable	Evitar calor o luz intensa.
Turmalina Amarillo/Naranja	Mejora el color.	Raro	Muy buena	Ninguno
Turmalina Rosa/Rojo/Púrpura	Intensifica el color.	Común	Excelente	Ninguno

Escala para frecuencia:

(+) Siempre
Frecuente
Común
Ocasional
(-) Raro

Escala para estabilidad:

(+) Excelente
Muy buena
Buena
Variable
Poca
(-) Desconocida

Debido a esta última restricción este tratamiento se reduce a pocas gemas, las cuales son el ámbar, calcedonia, coral, esmeralda, lapislázuli, jade, ópalo, serpentina, turmalina y turquesas.

2.2.4.a Método del tratamiento

Los detalles del proceso son celosamente guardados por las casas comerciales, por lo que sólo se conoce algo sobre el método de teñido de las ágatas, de donde se podrá quizá extrapolar el proceso a las demás gemas.

Hay que tener en cuenta que el teñido variará dependiendo de las condiciones de porosidad y la cantidad de agua existente en la gema. Se utilizan principalmente colorantes inorgánicos, ya que los orgánicos no son estables a la luz y su acción colorante es más débil.

La gema a teñir es cortada en su forma final, tallada y pulida. El método de teñido está basado en un proceso de dos pasos de precipitación, primero la gema es sumergida en una solución que permite la penetración del color, seguido de una segunda inmersión en una solución que precipita un compuesto del color deseado.

Dependiendo del color que se desea teñir al ágata se tendrá:

Rojo: el colorante óxido de hierro, se introduce en nitrato de hierro y se somete a altas temperaturas, dependiendo la variación de la temperatura será la tonalidad roja que se desea.

Amarillo: el colorante óxido de hierro, se introduce en ácido clorhídrico y con un calentamiento de baja temperatura se tendrá una tonalidad amarillo limón.

Negro: el colorante carbono, se introduce con una disolución concentrada de azúcar y con un tratamiento con ácido sulfúrico caliente dan como resultado el color negro y con variaciones se obtienen tonalidades pardas.

Verde: colorante hierro ferroso, se introduce en una disolución de nitrato de níquel y sometido a alta temperatura da el color verde.

Azul: el colorante hierro ferroso, se introduce en una disolución de ferrocianuro potásico y posteriormente sometido a altas temperaturas con sulfato de hierro hidratado con lo que se obtendrá el color azul.

2.2.4.b Resultado

Es un método poco utilizado en la actualidad, por todos los cuidados necesarios para que no se pierda el color. Se utiliza muy comúnmente en el teñido de las ágatas (grupo de la calcedonia), en donde el resultado es estable y para mejorar el color en la turquesa y el lapislázuli (Tabla 2.6).

2.2.5 Recubrimiento (Surface coating)

Es un método que consiste en cubrir las facetas de una gema con una capa delgada que no penetra en la gema y pueden utilizarse diferentes sustancias con dos principales finalidades: una aplicar recubrimientos con color para mejorar el color de la gema o cambiarlo; y dos, emplear recubrimientos incoloros para mejorar la estabilidad de las gemas.

Tabla 2.6 Resumen de los resultados del teñido (Dyeing) de gemas, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas. Recopilado de AGTA (American Gem Trade Association) Gemstone Enhancement Manual.

Aplicado en:	Resultado	Utilizado	Estabilidad del método	Cuidados
Ámbar	Mejora el color.	Raro	Variable	Evitar tallar la gema, baños ultrasónicos, y solventes como acetona, benzal, alcohol, etc.
Grupo de la calcedonia	Cambia el color.	Usual	Excelente a Muy buena	No exponerse al sol ya que las tonalidades azul, verde y rojo pueden perder el color.
Coral	Cambia de color.	Ocasional	Variable	Evitar baños ultrasónicos, y solventes como acetona, benzal, alcohol, etc.
Esmeralda	Mejora el color.	Ocasional	Variable	Evitar cambios bruscos de temperatura, baños de vapor, baños ultrasónicos, y solventes como acetona, benzal, alcohol, etc.
Jade verde, blanco y púrpura	Cambia el color, para imitar color verde.	Ocasional	Variable	Evitar la luz del sol, solventes como acetona, benzal, alcohol y baños ultrasónicos.
Jade/Nefrita	Altera el color selectivamente en algunas piezas talladas.	Raro	Desconocida	Evitar la luz del sol, solventes como acetona, benzal, alcohol y baños ultrasónicos.
Lapislázuli	Mejora el color y/o lo uniforma.	Común	Variable	Evitar solventes como acetona, benzal, alcohol, etc. y baños ultrasónicos.
Ópalo	Cambia a un color base negro, para mejorar el juego de colores.	Común	Buena	Evitar solvente y no pulir.
Perla	Cambia el color, colores gris a negro, da tonos rosa, azul y dorado.	Usual	Muy buena a buena	Evitar solventes como acetona, benzal, alcohol y baños ultrasónicos.
Turmalina rosa/rojo/púrpura	Cambia el color.	Ocasional	Poca	Evitar cambios bruscos de temperatura, baños de vapor, baños ultrasónicos, y solventes como acetona, benzal, alcohol, etc.
Turquesa	Mejora el color.	Raro	Poca	Evitar solventes como acetona, benzal, alcohol y agua caliente.

(+) Siempre
Frecuente
Común
Ocasional

(-) Raro

(+) Excelente
Muy buena
Buena
Poca

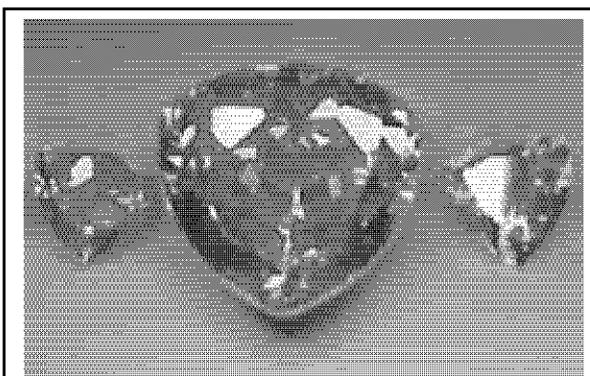
(-) Desconocida

2.2.5.a Recubrimientos con sustancias de color.

Este método fue muy popular en los años noventa para cambiar o mejorar el color de la gemas, con la finalidad de imitar gemas de gran valor, como por ejemplo al berilo verde para hacerlo pasar como esmeralda, o en otras ocasiones crear una gema con características que no se ven en la naturaleza, como es el caso del tratamiento llamado Aqua Aura que provoca un fenómeno de iridiscencia en las facetas del cuarzo.

Para este tipo de tratamientos se utilizan sustancias que van desde compuestos orgánicos, tintas indelebles hasta esmaltes y compuestos metálicos, sustancias muy parecidas a las películas de antirrobo o las usadas para polarizar los vidrios.

Los métodos empleados para recubrir una gema dependen de la sustancia con la que se quiera hacer el tratamiento. Se tienen recubrimientos con delgadísimas capas de óxidos metálicos, como los tratamientos realizados por la empresa "Tavalite", que garantiza su tratamiento de por vida bajo condiciones de uso normal, utilizado principalmente en gemas artificiales como en la circonia pero puede ser utilizado en gemas naturales, este proceso crea una variedad de seis diferentes colores con diferente apariencia dependiendo de la incidencia de la luz (Fotografía 2.1). El proceso es secreto, pero la empresa menciona que es un método similar en algunos aspectos al utilizado para hacer "chips" de computadora.



Fotografía 2.1 Circonias tratadas con el método de Tavalite, es notorio que la presencia de estos colores indica que algo no es normal en estas gemas. Tomado de <http://www.users.interport.net/l/p/lpierce/about.html>.

Este tratamiento se puede aplicar a todas las gemas y es aplicado principalmente en el diamante, para mejorar el color en piedras con tinte amarillo o crear diamantes con colores de fantasía. En el cuarzo y el topacio es bastante utilizado para tratar de imitar gemas de diferentes colores. En el ópalo, para hacer negro el color base y así resaltar el juego de colores. En las perlas cultivadas las cuales son tratadas con cierto tipo de silicón para darle una tonalidad negra.

2.2.5.b Recubrimientos con sustancias incoloras.

Es lógico pensar que una gema por más belleza que tenga no puede ser utilizada si puede ser dañada, para ello es necesario recurrir a recubrimientos incoloros que mejoren la estabilidad de las gemas porosas, o que se encuentran compuestas de

varios minerales, así como también para preservar y hacer más duraderos los tratamientos hechos en la gema.

Las sustancias de mayor uso para aplicar este método son las ceras, parafinas y plásticos, estos últimos son los más utilizados debido a que son mucho más durables que las otras dos sustancias.

Estos recubrimientos son aplicados generalmente en gemas como la turquesa de mala calidad para mejorar el color. En el ópalo para cubrir tratamientos previos de mejoramiento del color base. En el jade y el lapislázuli se utiliza para cubrir imperfecciones del pulido, ya que al estar formado por minerales de diferente dureza los más inestables son eliminados con el pulido dejando cavidades que se rellenan con el plástico, además de mejorar la estabilidad y durabilidad de la gema.

2.2.6 Relleno de fracturas (*Fracture filling*)

La principal finalidad de este tratamiento es mejorar la claridad, por medio de la introducción de una sustancia, con un índice de refracción (IR) similar al de la gema, en las fracturas y cavidades que lleguen hasta la superficie, para hacerlas menos visibles.

Es un proceso muy utilizado principalmente en esmeraldas y diamantes, en la esmeralda se le conoce con el nombre de Oiling y se utilizan principalmente sustancias incoloras, o con un ligero tinte, ya que la finalidad no es cambiar el color y en ocasiones colorear la sustancia afecta la tonalidad final de la gema.

Las sustancias más utilizadas para la esmeralda son el aceite de cedro (IR 1.51), clásica sustancia utilizada en este tratamiento y que no es estable, aceite de palma (IR 1.57) que por tener un índice de refracción muy parecido al de la esmeralda es excelente para ocultar las fracturas con la desventaja de ser muy inestable, resinas naturales como el bálsamo de Canadá (IR 1.53) y resinas epóxicas sintéticas (IR 1.52-1.58). Existe una gran variedad de resinas sintéticas y la mayoría pueden ser endurecidas por un polimerizador, con el fin de hacer permanente o más durable este tratamiento, algunas veces estas resinas son coloreadas con anilinas para mejorar el color.

En el diamante se utiliza un tipo de vidrio fundido, la composición exacta del mismo es un secreto de Zvi Yehuda, creador del método de relleno de fracturas en el diamante (a mediados de los años 80's), pero se sabe que entre los elementos que lo constituyen se encuentra el Plomo (Pb), Bismuto (Bi), Boro (B) y Oxígeno (O).

Los competidores de Yehuda utilizan Plomo (Pb) y Bromo (Br) en el material de relleno, por ser más económico que el de Yehuda, con la desventaja de que se decolora y se vuelve nebuloso con el tiempo al ser expuesto a la luz ultravioleta

que hay en la luz del sol y a diferencia del material de Yehuda no soportan los baños ultrasónicos ni los baños de vapor.

Es por esto que Yehuda garantiza su tratamiento de por vida, sin importar la causa de la falla del tratamiento.

2.2.6.a Método del tratamiento

El tratamiento se aplica a piedras que se encuentran cortadas, talladas y pulidas. En la mayoría de los tratamientos el procedimiento exacto es guardado celosamente por las compañías que realizan estos procedimientos.

1.- Las gemas son lavadas en una solución de agua regia (relación 2:1 de ácido clorhídrico y nítrico), con la finalidad de remover el polvo residual del corte y pulido, que se encuentre acumulado en las fracturas y cavidades.

2.- Después son calentadas en alcohol para eliminar el residuo del ácido y preparadas para el relleno de las fracturas.

3.- Las gemas se calientan suavemente en la sustancia que se va a utilizar para el relleno.

4.- Las gemas se enfrían y se limpian nuevamente para eliminar el exceso de relleno adherido a la gema.

2.2.6.b Resultado

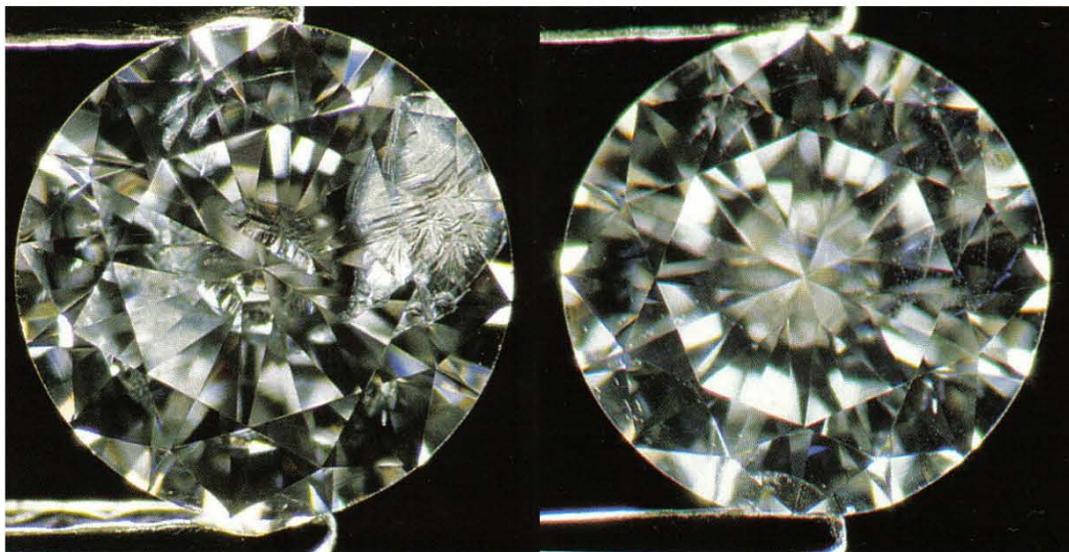
El resultado es observable a simple vista, la claridad de la gema se incrementa notoriamente, que al ser comercializada aumenta su valor económico. Es necesario que se comente al cliente que la piedra ha sido tratada, ya que este tratamiento no es estable cien por ciento y se han de tener ciertos cuidados con la gema, como evitar el alcohol y los baños de vapor y los baños ultrasónicos, que pueden remover el relleno.

En las esmeraldas, la duración del tratamiento dependerá de la sustancia utilizada para el relleno de las fracturas; se utiliza aceite de palma que oculta perfectamente las fracturas pero por pocos meses, en cambio resinas como el opticon, lo hacen mucho más durable (Fotografía 2.2).



Fotografía 2.2 Ejemplo de relleno de fracturas u “oiling” en esmeraldas, donde se puede ver en estas imágenes que las fracturas prácticamente desaparecen, dando la apariencia de una esmeralda de buena calidad. Tomada de McMaclure, Shane F. and Smith Christopher P. 2000.

En el diamante se puede alcanzar un grado o dos en la escala de claridad del diamante, elevando bastante su precio, por lo que es necesario identificar las gemas que han sufrido tratamiento de las gemas naturales (Fotografía 2.3).



Fotografía 2.3. Ejemplo de relleno de fracturas en diamante, se observa el resultado de este método y el aumento en el grado de la claridad. Es notorio de un diamante de grado de claridad I a claridad SI. Tomada de McMaclure, Shane F. and Smith Christopher P. 2000.

Por supuesto que este tratamiento no es único para el diamante y la esmeralda, también se sabe que ha sido utilizado en alejandrita (variedad del crisoberilo) y en algunas variedades del grupo del granate, rubí y en el peridoto (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Resumen de los resultados del relleno de fracturas en las gemas, la frecuencia con que es utilizado, la estabilidad y los cuidados en estas gemas. Recopilado de AGTA (American Gem Trade Association) Gemstone Enhancement Manual.

Aplicado en:	Resultado	Utilizado	Estabilidad del método	Cuidados
Diamante	Mejora la claridad de la gema, por la intrusión de vidrio fundido en las fracturas.	Ocasional	Muy buena	Calor en exceso puede dañar el material de relleno.
Peridoto	Mejora la apariencia de la gema, con un relleno incoloro y con un endurecedor.	Raro	Buena	Evitar cambios repentinos de temperatura, baños ultrasónicos y químicos abrasivos, como algunos ácidos.
Rubí	Mejora la apariencia de la gema por medio del relleno de aceite y vidrio.	Común	Muy buena a poca	Evitar baños ultrasónicos y productos químicos abrasivos, como algunos ácidos. El relleno en rubíes es frágil y puede perder el relleno si se aplica presión a la gema.
Esmeralda	Mejora la apariencia de la gema, por medio de aceites y resinas artificiales.	Usual	Muy buena a poca	Evitar cambios bruscos de temperatura, baños de vapor, baños ultrasónicos, y algunos productos químicos abrasivos, como algunos ácidos.

Escala para frecuencia:

- (+) Siempre
Frecuente
Común
Ocasional
(-) Raro

Escala para estabilidad:

- (+) Excelente
Muy buena
Buena
Variable
Poca
(-) Desconocida

2.2.7 Rayo Láser y eliminación de inclusiones

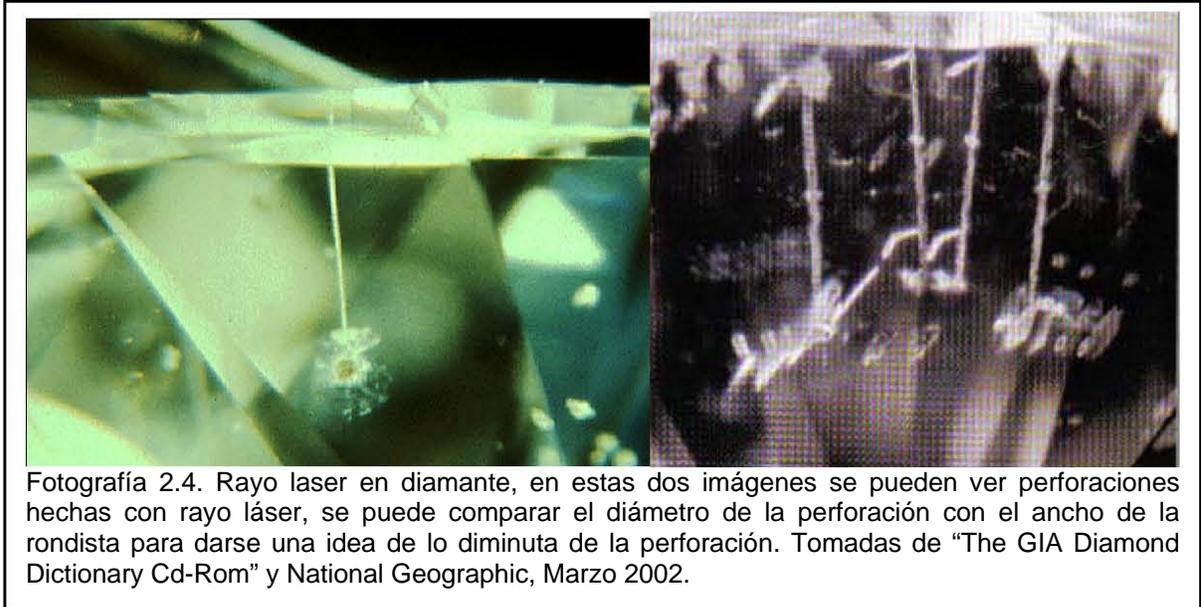
Éste es un método creado por Zvi Yehuda a mediados de los años 60's, para mejorar la claridad de los diamantes y se basa en la perforación de un conducto para llegar a las inclusiones oscuras embebidas dentro del diamante y eliminarlas o blanquearlas.

Esto se logra por medio de un rayo laser (**L**igth **A**mplification by **S**timulated **E**mision of **R**adiation) que surge de un aparato que emite un rayo de luz monocromática en un punto, concentrando una gran cantidad de energía calorífica perforando así al diamante. Debido a la buena conductividad térmica del diamante, este calor no daña a la gema, por lo que el método es estable e irreversible.

Como evidencia de este tratamiento son las diminutas perforaciones hechas por el láser (Fotografía 2.4) y que dependiendo de la ubicación de la inclusión es la manera en que se lleva a cabo, buscando siempre sea el camino más corto y

perpendicular a la mesa del diamante para hacerla menos visible. La perforación por medio de rayo laser ha llegado a un punto en el que es posible llegar, por medio de la reflexión interna, a varias inclusiones con un único punto de entrada.

La eliminación de las inclusiones se realiza por medio del uso de fuertes ácidos como el peróxido de hidrógeno concentrado, con lo cual se logra blanquear o eliminar la inclusión completamente. El resultado es una inclusión mucho menos visible.



Hay que añadir que este método puede ser utilizado simultáneamente con el relleno de cavidades, haciendo que la perforación y la inclusión sean mucho menos visibles y por tanto mejorar por mucho la claridad del diamante.

Este método no es aceptado en el comercio, por lo que el vendedor de la gema tiene la obligación de advertir al comprador del tratamiento en la piedra.

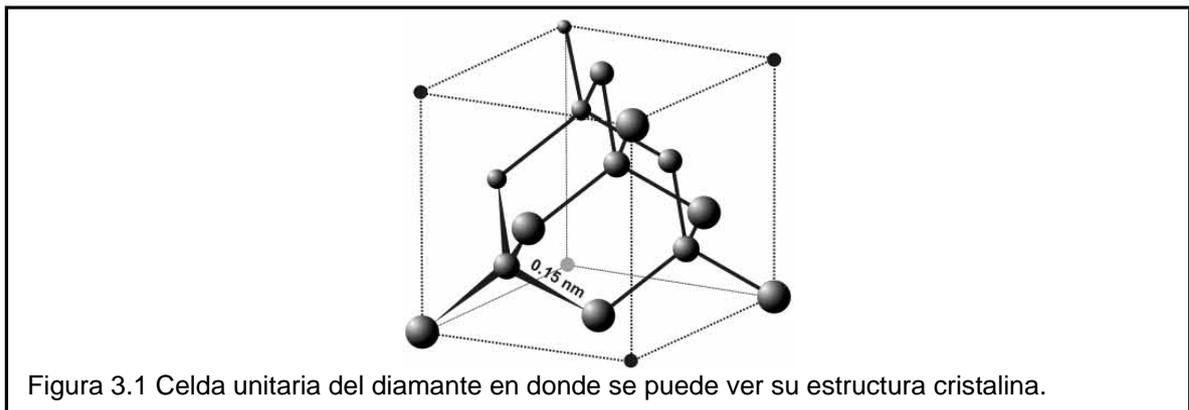
Capítulo III. Diamante

3.1 Propiedades

En la actualidad el diamante es utilizado en una gran variedad de aplicaciones, que van desde abrasivos, semiconductores, aisladores eléctricos, hasta su uso más conocido como gema. Todo gracias a sus propiedades físicas tan notables como su extrema dureza y dispersión.

3.1.1 Propiedades físicas

El diamante está compuesto por cristales de carbono puro, que pertenecen al sistema cristalino cúbico y se pueden presentar en formas como el octaedro, cubos o dodecaedros; constituidos por átomos de carbonos rodeado de otros cuatro átomos de carbono próximos en coordinación tetraédrica. Esto da como resultado un fuerte enlace covalente, en el cual cuatro electrones de valencia presente en cada carbono completan los orbitales de enlace de los cuatro átomos por compartimiento electrónico (Figura 3.1).



Se puede presentar un color normalmente amarillo pálido a incoloro, pero se llega a tener en tonalidades pálidas como rojo, anaranjado, verde, azul y pardo. Existe una variedad criptocristalina de color oscuro también llamado carbonado.

Es la sustancia más dura conocida, dentro de la escala de dureza de Mohs con 10, en esta escala el mineral más cercano es el corindón con un dureza de 9, si se toma como referencia del corindón en 1000 el diamante tendría una dureza de 140,000, que equivale a una dureza absoluta de 167 a 231 gigapascales (GPa). Esta característica es una de las cuales por la que lo han hecho, entre las gemas, la más importante.

A diferencia de la dureza del diamante que es excelente, la tenacidad va de mala a buena, esto quiere decir que aunque el diamante no puede ser rayado con otra sustancia, no es resistente a golpes ya que se puede romper. Ésta es una de las propiedades que el tallador de diamantes debe de conocer completamente para cortar y tallar un diamante.

Dos minerales diferentes que ocupen el mismo volumen no tienen el mismo peso; y viceversa, dos minerales diferentes con el mismo peso no tendrán el mismo volumen, para el diamante esta relación entre masa y volumen conocida como peso específico es de 3.52, que como referencia de peso específico de 1 se tiene al agua.

El clivaje en el diamante sigue las caras del ordenamiento interno de los átomos, es decir, que se puede romper a lo largo de superficies planas siguiendo las caras del octaedro.

La fractura en los diamantes es una rotura que no sigue una superficie plana; en el diamante se ve con forma de concha o mejor conocida como fractura concoidal.

Otra de las propiedades de importancia en el diamante es su conductividad térmica, la cual es muy elevada, por lo que en la industria se le utiliza como disipadores de calor. Así como también hay aparatos diseñados para identificar diamantes gracias a esta propiedad.

Dentro de las gemas no hay otra que presente la “vida” del diamante. Todo este conjunto de características se deben a sus características ópticas.

Desde tiempos antiguos el diamante ha cautivado a todos por sus destellos. La belleza de su resplandor se debe a que posee un alto índice de refracción de la luz y un gran poder dispersivo: al penetrar, los rayos de luz sufren innumerables reflexiones interiores y la luz blanca se dispersa, regresando al interior convertida en un abanico de múltiples colores.

Su índice de refracción, que se define como la relación entre la velocidad de la luz en el aire y su velocidad en un medio más denso, es de 2.417. Como la luz en el interior viaja a la misma velocidad en cualquier dirección, es isotrópico, y por tanto tiene un solo índice de refracción.

Su alta dispersión de 0.044, es el fenómeno que causa la separación de un rayo de luz en los componentes del espectro, que en un diamante tallado se observa como el “fuego” o “vida”.

Algunos diamantes pueden tener fluorescencia, se tienen datos de que 65% de los diamantes, calidad gema, fluorescen y sólo de un 10 a un 12% lo hace intensamente. El color dominante de la fluorescencia es el azul, con diferentes tonalidades rosa y muy pocos la tienen amarilla.

Estas son las propiedades físicas más notables del diamante, y las cuales sirven para identificarlo y no confundirlo con algunas otras gemas o imitaciones (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Resumen de las propiedades del diamante.	
Composición química	Carbono nativo
Fórmula	C
Color	La mayoría de la veces incoloro, pero con tintes amarillos a pardos. Raramente se presenta en colores rosa, naranja, verde o azul.
Hábito	Octaedros, masivo.
Sistema cristalino	Cúbico
Clivaje	Octaédrico, perfecto.
Fractura	Concoidal.
Dureza	10
Lustre	Adamantino a graso.
Índice de refracción	2.417
Raya	No presenta
Pleocroísmo	No presenta
Peso específico	3.516-3.525

3.1.2 Tipos de diamantes.

Durante la fase de cristalización, a unos 150 y 200 km debajo de la corteza terrestre con presiones de $70,000 \text{ kg/cm}^2$ y con temperaturas entre 1300°C a 2000°C , los diamantes pierden su estructura tetraedral permitiendo así la absorción de otro tipo de átomos, como resultado se presentan ciertas impurezas contenidas en su composición química.

Debido a esto, los diamantes se clasifican en dos categorías principales, divididas en dos subcategorías cada una.

Diamantes Tipo I, son diamantes que presentan impurezas de nitrógeno.

Diamantes Tipo Ia, donde los átomos de nitrógeno se encuentran juntos en la estructura cristalina. Tienen un color amarillo pálido (no considerado color de fantasía) y un 98% de la producción de diamantes naturales corresponde a esta categoría.

Diamantes Tipo Ib, presentan también impurezas de nitrógeno, pero estos átomos se encuentran aislados dentro de la estructura cristalina. Estos diamantes tienen un color amarillo intenso, naranja, pardo o verde. A esta categoría corresponde solamente el 0.8% de la producción natural de diamantes.

Diamantes Tipo II, son diamantes que no tienen nitrógeno o lo tienen pero en mínimas cantidades.

Diamantes Tipo IIa, se pueden considerar como los diamantes más puros, no contienen impurezas o las tienen pero en cantidades mínimas y son casi siempre incoloros, aunque imperfecciones en la estructura cristalina darán

como resultado colores amarillo, pardo, e inclusive color rosa o rojo. Estos diamantes son el 1.1% de los diamantes naturales extraídos en el mundo.

Diamantes Tipo IIb, no contienen nada de nitrógeno, pero contienen impurezas de boro, por lo que adquieren comúnmente una tonalidad azul, pero también pueden aparecer en colores grises o casi incoloros. Todos los diamantes naturales azules pertenecen a esta categoría (el más importante, el diamante Hope). En la naturaleza son extremadamente raros, cerca del 0.1% de la producción mundial de diamantes naturales.

3.2 Tratamientos para modificar el color

Como es bien sabido, el color en el diamante es una de las propiedades que le otorgan su valor económico, no sólo por no tenerlo sino también porque los diamantes que presentan un color de fantasía son en extremo raros y muy valiosos. Es por eso que dentro de la industria del diamante se han tratado de encontrar las formas de obtener esos colores tan escasos en la naturaleza, ya sea modificándolo de un diamante existente o por medio de la síntesis de diamantes.

Para mejorar el color se pueden utilizar recubrimientos, irradiación y un nuevo método que utiliza la combinación de alta presión y alta temperatura (HPHT). Los dos primeros se utilizan únicamente para cambiar el color, mientras que el tercero se utiliza ya sea para modificar o remover el color del diamante.

3.2.1 Recubrimiento

Este tratamiento ya casi no se utiliza en el mercado, sin embargo, todavía se encuentran tintes de color azul-violeta que se aplican en el pabellón de la gema para neutralizar el tinte amarillo en los diamantes, ya que estos colores son complementarios y se neutralizan. Para descubrir estos tintes se utiliza un cotonete con acetona, el tinte se quedará en el hisopo.

Existen sustancias de alta tecnología como las que reporta el Instituto Gemológico de América o GIA por sus siglas en inglés, éstas consisten de un recubrimiento con una sustancia llamada Diamond-Like Carbon (DLC) que es una delgadísima película de carbono amorfo, que entre sus propiedades tiene una resistencia ubicada entre la del diamante y el corindón, es anticorrosiva y esto la hace útil para recubrir una gran variedad de productos.

Este tratamiento es utilizado para dar un color negro al diamante y se puede identificar por medio del uso del microscopio, existen áreas en donde la película no se adhiere perfectamente al diamante permitiendo que se acumulen burbujas de aire entre las dos superficies, así como también porque en casos de películas que ya han sufrido desgaste se verán áreas donde se ha rasgado la película por golpes recibidos, o también se identifican por métodos sofisticados como análisis Raman (fotoluminiscencia), que consiste en un láser de bajo poder de diferentes longitudes de onda (405, 514 y 532 nm), que se enfoca a la gema, el material absorbe parte de la energía emitida y como

consecuencia emite energía (luminiscencia), estos datos se plasman en una gráfica como picos que permiten identificar al material en cuestión.

3.2.2 Irradiación.

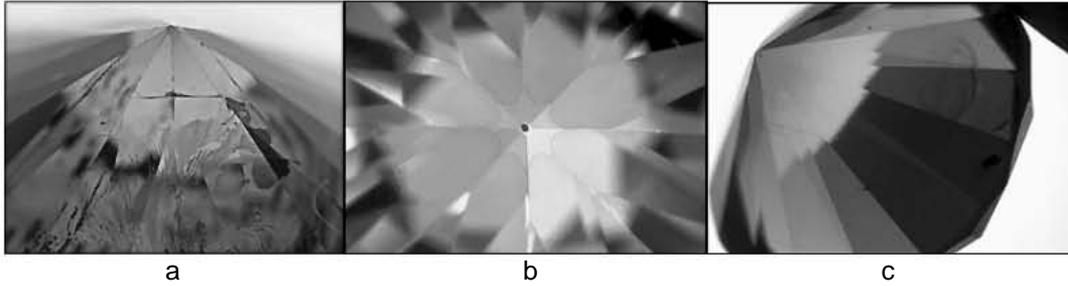
William Crookes, a principios de siglo, comenzó con los experimentos en diamantes, los cuales se expusieron a sales de radio, obteniendo los primeros diamantes irradiados que se volvieron de color verde oscuro, pero con radioactividad remanente. Un cristal de diamante fue donado por Crookes al museo Británico en 1914, en donde todavía se encuentra y no ha perdido su color, ni tampoco su radioactividad.

Hoy en día se utilizan cuatro métodos seguros para irradiar gemas talladas: por medio de bombardeo de protones y neutrones en ciclotrones; bombardeo de rayos gama al ser expuestos a cobalto 60; bombardeos de neutrones en los reactores nucleares y por último, bombardeo de electrones por medio de generadores de Van de Graaff.

Las partículas de alta energía de la irradiación alteran la estructura cristalina del diamante, produciendo espacios libres en la estructura donde antes había átomos de carbón, fenómeno conocido como centros de color. Como resultado de la irradiación se obtienen colores verde, negro y azul después del tratamiento; pero la mayoría son expuestos a un tratamiento térmico para cambiar el color resultante en diamantes amarillos, naranjas, pardos y rosas. El calentamiento produce movimiento de los átomos de carbón, corrigiendo así los defectos provocados por la irradiación, el color final dependerá de la composición química del diamante, la temperatura y el tiempo del tratamiento.

El color en los diamantes tratados por medio de ciclotrones es únicamente superficial, es decir la radiación no penetra en la piedra, y terminan con un color verde a azul con tinte verdoso. Después se someten a tratamiento térmico a 800°C para obtener colores amarillos o anaranjados. Este tipo de diamantes presentan una radioactividad remanente durante unas horas después de haber terminado el tratamiento.

Para identificar diamantes que han sido tratados por este método se pueden observar fenómenos de concentración de color a través de la corona con forma de sombrilla (Fotografía 3.1 si fue bombardeado por el pabellón) o como un anillo oscuro alrededor de la rondista si fue bombardeado por la corona, piedras bombardeadas de lado tendrán un color disparejo en un lado. En la actualidad este método ya casi no está en uso y los métodos recientes de irradiación eliminan este efecto por completo.



Fotografía 3.1 Características de identificación de irradiación en el diamante, en estas imágenes se puede observar la concentración del color alrededor del colete (Figuras a y c), mientras que vista desde la mesa se percibe la concentración del color formando una semejanza con una sombrilla abierta (Figura b). Tomadas de www.gia.com

El bombardeo con rayos gama es también poco común, aunque es el método más económico y seguro, el tratamiento se puede llevar varios meses. Se producen diamantes en colores azul o azul con tinte verdoso, el cual penetra en toda la piedra. Estos diamantes no son sometidos a tratamientos posteriores. El color azul de los diamantes tratados puede semejar al color de los naturales tipo IIb y se puede diferenciar por las propiedades semiconductoras que tiene el diamante natural y que no poseen los diamantes tratados, debido a que la coloración azul en los diamantes naturales se debe a la presencia del boro que es el responsable también de la conductividad eléctrica en estas piedras.

Los dos métodos más comunes de irradiación son los bombardeos de neutrones y electrones, el primero produce diamantes de colores verde o negro que penetra toda la piedra, el segundo produce diamantes de color azul, azul verdoso o verde el cual sólo penetra cerca de 1mm en la gema. Este tipo de bombardeos son seguidos por tratamientos térmicos, a una temperatura de 500-900°C para las piedras con bombardeos de neutrones y entre 500-1200°C para piedras bombardeadas por electrones, dando como resultado diamantes de color fantasía como naranjas, amarillos, pardos o rosas. Los diamantes de buena tonalidad azul no son sometidos a calentamiento.

Para identificar estos tratamientos es necesario recurrir a espectrómetros de escritorio con los cuales será posible identificar el espectro de absorción de los componentes de las gemas, en algunas ocasiones es necesario realizar estas pruebas con las gemas sumergidas en nitrógeno líquido a una temperatura de -196°C, para observar mejor estas líneas de absorción. Para diamantes irradiados existe una línea conocida como GR1 que es un fuerte indicador de gemas tratadas. Esta línea GR1, en una fina línea en el espectro de color rojo a 741nm.

Tratamiento térmico posterior a la irradiación destruye la línea GR1 (741nm), pero aparece una nueva línea a 595 nm. Calentamiento a más de 1000°C, destruye la línea a 595 nm; pero deja dos nuevas líneas más a 1939 nm y 2024 nm. Se puede decir entonces que diamantes que no presenten líneas de absorción en 595 nm; 741 nm; 1939 nm; y 2024 nm, no han sido tratados por medio de irradiación y posterior tratamiento térmico.

3.2.3 Tratamiento de alta presión y alta temperatura (HPHT)

Para 1999, General Electric introdujo en el mercado un nuevo proceso para cambiar o remover el color en un diamante. Los diamantes tratados por este método son del Tipo IIa que poseen un color pardo y deben su color a defectos estructurales formados durante el crecimiento del cristal, conocidos como deformaciones plásticas y no tanto a las impurezas de nitrógeno que contienen como es el caso de la mayoría de los diamantes pardos tipo Ia.

Bajo condiciones de 5 a 6 Gpa y temperaturas de 1800 a 2300°C, se corrigen los defectos estructurales de los diamantes Tipo IIa y así se remueve el color de la piedra (Fotografía 3.2).



En los diamantes tipo Ia, donde las impurezas de nitrógeno se encuentran agrupadas y que no afectan el color de la gema; se puede alterar el color por este método, con colores de fantasía resultantes como el verde (sin necesidad de irradiar), rosa, amarillo y azul.

Definitivamente, la identificación de este tratamiento se deja a laboratorios muy bien equipados donde utilizan espectroscopios de transformada de Fourier (FTIR) y Raman, para detectar los espectros de absorción del espectro visible e infrarrojo, con la finalidad de encontrar líneas indicativas de exposición a altas temperaturas.

Características de identificación con microscopio gemológico son: granulado interno en diamantes Tipo Ila, aspecto nebuloso, grietas oscuras alrededor de las inclusiones (grafitización) y la rondista moldeada (Fotografía 3.3).



Fotografía 3.3 Grafitización en algunos diamantes debido al proceso de HPHT, debido a las condiciones entre los límites de transición grafito-diamante a las que son sometidos los diamantes Tipo Ia para cambiar su color, aparecen zonas negras cerca de las fracturas. Tomada de McMaclure, Shane F. and Smith Christopher P. 2000.

Los diamantes tratados por General Electric llevan una inscripción laser en la rondista con las siglas “GE POL”, que son las dos compañías que realizan el tratamiento, esta inscripción puede ser borrada, por lo cual no es cien por ciento seguro que un diamante no está tratado por este método, aunque no esté grabado.

3.3 Tratamientos de la claridad

Otra de las importantes características de un diamante es su claridad o pureza, que puede ser evaluada por el tamaño, color, número, posición y visibilidad de los defectos que puede tener; que van desde fracturas hasta inclusiones de minerales como por ejemplo: granate, diopsido, o inclusive diamantes; estos defectos disminuyen notablemente su valor.

Los comerciantes de diamantes siempre han tratado de disimular esos defectos que pueden disminuir el valor comercial de las gemas y ya ponen en manos de los talladores un dilema: sacrificar peso al dejar fuera de la talla los defectos que demeriten su claridad o ganar peso pero con demasiadas fallas internas. Esta cuestión hoy en día puede verse de otra manera al saber que existen procedimientos que pueden cambiar dramáticamente los atributos gemológicos de estas gemas.

Para esto se utilizan tratamientos como el relleno de fracturas, eliminación de inclusiones, perforación laser o una combinación de tratamientos para mejorar sus atributos gemológicos. A diferencia de los tratamientos para cambiar el color,

éstos pueden ser identificados con técnicas gemológicas al alcance de cualquier gemólogo, sin tener que utilizar aparatos que únicamente se tienen en laboratorios especializados.

3.3.1 Rayo láser y eliminación de inclusiones

Es un tratamiento que se empezó a utilizar a principios de los años ochentas y consiste en utilizar un láser infrarrojo (1060 nm) para hacer finas perforaciones de cerca de 0.2 mm de diámetro (Fotografía 3.4.a), con la finalidad de crear una ruta de acceso para eliminar impurezas oscuras dentro del diamante; esto gracias a la alta conductividad térmica del diamante que permite su uso sin sufrir daño.

De acuerdo a estudios elaborados por la GIA el tratamiento es aplicado principalmente en diamantes de claridad SI1 (24%), SI2 (41%) y I1 (27%), ya que es en estas claridades donde se presentan las características de minerales incluidos y con áreas con grandes posibilidades de ser tratadas exitosamente.

Existe una nueva técnica conocida como “km treatment” donde km significa “kiduah Meyuad” que en hebreo es perforación especial, la cual tiene un aspecto similar al de una fractura y no al de un canal, haciendo pasar el tratamiento más natural y que puede ser observado con un aumento normal de 10x (Fotografía 3.4.b).



En últimas fechas se ha desarrollado el “MicroKM” en el cual, con aumento de 10x e inclusive con 100x, se conserva la perforación embebida dentro de la piedra y la apariencia de fractura parece ser natural, así que son necesarios aumentos de 200x a 1000x para ser identificados. Para darse una idea el diámetro de la perforación en la superficie que es de 5 micrómetros, nótese que el grosor de un cabello humano es de 80 micrómetros.

La perforación es utilizada entonces para administrar un fuerte ácido que disuelve la inclusión (no funciona con cristales de diamante).

Para identificar este tratamiento es necesario un microscopio gemológico y diferentes condiciones de luz, el tratamiento común muestra pequeñas líneas rectas perpendiculares a las facetas del corte, en la superficie de la faceta se ve como un punto negro. La dificultad está en que posteriormente a la eliminación de la inclusión, se utiliza el método de relleno de fracturas para minimizar la visibilidad de los túneles, por lo que las perforaciones son casi imperceptibles al no hacer un cuidadoso estudio de la gema.

3.3.2 Relleno de fracturas

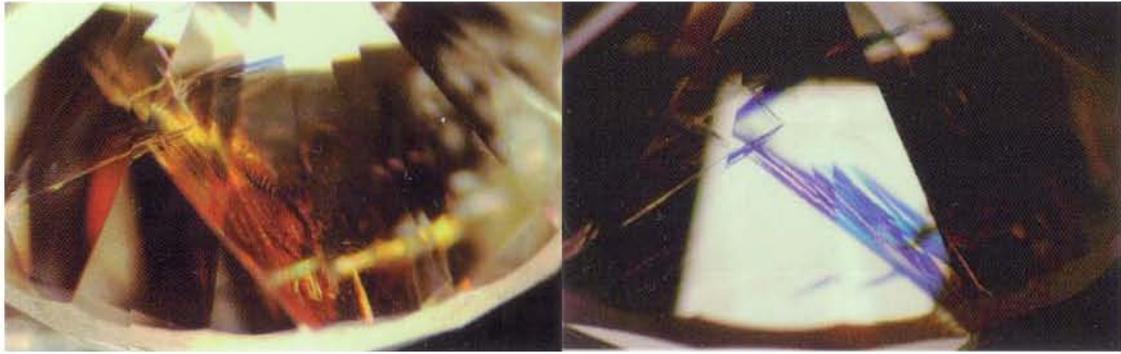
Método para rellenar con un vidrio fundido que tenga un índice de refracción similar al del diamante, las cavidades y fracturas que lleguen a la superficie, con la finalidad de hacerlas menos visibles y por tanto mejorar su claridad. También es usado después del blanqueado de inclusiones, para hacer menos notorio el tratamiento, al rellenar el lugar de la inclusión y el túnel del rayo láser.

Existen comercialmente tres compañías que se dedican a realizar este tratamiento: el primero, inventor del método y con una compañía que lleva su nombre Yehuda Diamond Co; ofrece una garantía de por vida en los diamantes tratados por su compañía. La composición exacta de la sustancia utilizada es un secreto, al igual que el proceso Koss y Goldman, que son los otros dos procesos efectuados en estas piedras y que al igual que el proceso Yehuda, el compuesto utilizado es secreto.

Lo que es cierto es que las sustancias utilizadas no son totalmente incoloras, por lo que las piedras que son sometidas a este tratamiento mejoran la claridad pero en la mayoría de las ocasiones disminuyen hasta en 1 grado su color.

Entre las características de identificación, que se pueden llevar a cabo con un microscopio gemológico, de este tratamiento se tienen al efecto flash, estructura de flujo, burbujas atrapadas y textura craquelada que son características nunca vistas en diamantes no tratados.

El efecto flash se refiere a brillantes destellos de color cuando un diamante con relleno de fractura es rotado, cuando se mueve hacia adelante y atrás, el color de estos destellos puede variar de azul o morado bajo condiciones de iluminación normal a naranja o amarillo bajo iluminación de campo oscuro (Fotografía 3.5), y recientemente se han observado en campo oscuro destellos de color rosa con tintes morados y bajo condiciones de luz normal, destellos de color verde con tintes amarillos. (Fotografía 3.6).



Fotografía 3.5 Efecto flash en diamante debido a relleno de fracturas, en estas imágenes se puede observar el efecto flash bajo diferentes condiciones de iluminación, a la izquierda con campo oscuro donde el destello es de color naranja y con ligeras tonalidades amarillas. A la derecha la misma piedra pero con iluminación normal se ve un color azul con tonalidades moradas. Fotos tomadas de "Identification Of Filled Diamond", GIA.

Estos destellos se ven mejor si se ven paralelos al plano de la fractura, hay que tomar en cuenta que en diamantes con colores intensos se puede cancelar el color del efecto flash y pasarse por alto, o por el contrario hacer más notorio el tratamiento (Fotografía 3.7).

En piedras montadas no es posible observar al diamante de diferentes ángulos, por lo que es necesario utilizar iluminación de fibra óptica, que es un haz de luz concentrado en una punta que hace más visible el efecto flash.

Es necesario hacer la aclaración de que en diamantes con fracturas no tratadas pueden verse colores de interferencia como los del arcoiris, es decir, se observa una amplia variedad de colores, mientras que en diamantes tratados se observa únicamente uno o tal vez dos colores como máximo en un mismo instante (Fotografía 3.8).



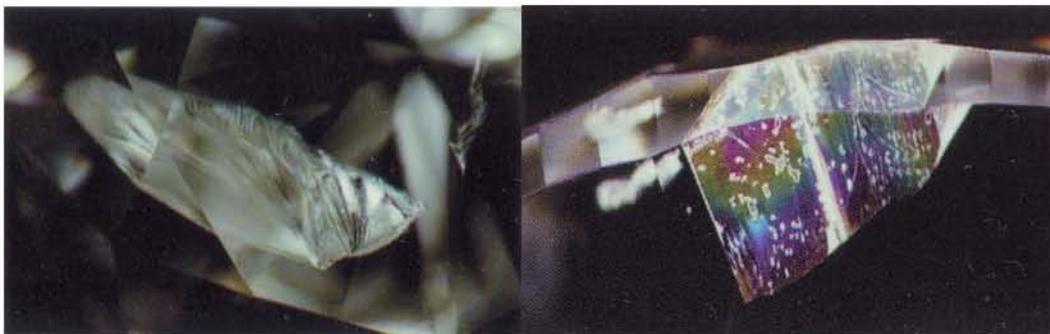
Fotografía 3.6 Otros colores vistos en el efecto flash, en campo oscuro destello rosa con tintes morados, y con iluminación normal destellos verdes con tinte amarillo. Fotos tomadas de "Identification Of Filled Diamond", GIA.



Fotografía 3.7 Influencia del color en la detección del tratamiento de relleno de fracturas, el color en el diamante puede ayudar o dificultar la tarea de identificar el tratamiento. El destello naranja en campo oscuro, con una piedra de esa tonalidad (derecha) hace muy difícil distinguir el efecto flash en ella. En contraste una piedra con color amarillo (izquierda) y efecto flash color azul bajo condiciones de luz normal hará más notorio el tratamiento. Fotos tomadas de "Identification Of Filled Diamond", GIA.

Otra característica común y distintiva en los diamantes son las estructuras de flujo de la sustancia usada para rellenar. Esto debido a que esta sustancia es forzada a entrar en la cavidad a alta temperatura en estado líquido y por capilaridad la sustancia rellena los espacios vacíos en el diamante enmascarando las fracturas. Al ser observadas con aumento tienen una apariencia de material fundido nada natural y apariencia vidriosa (Fotografía 3.9), en algunas ocasiones es de mucha ayuda la iluminación de fibra óptica para observar esta característica.

Menos comunes son las burbujas de aire atrapadas dentro de la sustancia y que se observan mediante un cuidadoso estudio microscópico. Algunas veces esas burbujas son pequeñas, pero en ocasiones son de gran tamaño y obvias. En algunas zonas pueden llegar a estar presentes en tal cantidad que parecieran inclusiones similares a huellas dactilares (Fotografía 3.10). Su formación se debe a la contracción del compuesto durante el enfriamiento y al poco aire que quedó atrapado al rellenar la fractura.



Fotografía 3.8 Diferencia entre fracturas sin relleno a diferencia del efecto flash, en diamantes con fracturas no tratadas es fácil confundir el efecto flash con la iridescencia que se crea en las fracturas del diamante, se ven una gran variedad de colores (derecha) mientras que en el efecto flash se ve uno o tal vez dos colores en un mismo instante. Otra característica de identificación de que no ha sufrido tratamiento son las fracturas con forma de pluma (izquierda). Tomadas de "Identification Of Filled Diamond", GIA.

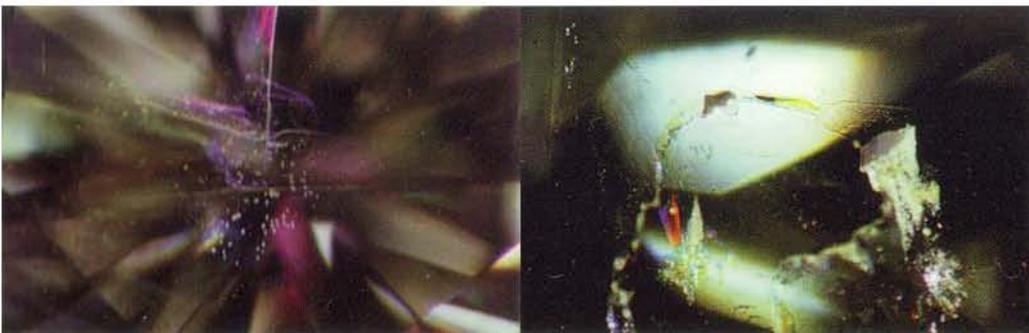


Fotografía 3.9 Estructuras de flujo debido al relleno de fracturas en el diamante, se ven en el fluido como finas líneas apenas visibles (izquierda) e indican el camino que siguió el compuesto, estas estructuras se ven únicamente en pequeñas partes del relleno (derecha). Tomadas de "Identification Of Filled Diamond", GIA.

Una característica poco común es la textura craquelada, similar a las grietas de desecación en sedimentos finos, en las zonas de unión entre la piedra y la sustancia donde el espesor del relleno es grueso, esto es debido a una cristalización parcial del compuesto o a una contracción rápida cuando se enfría. La presencia de esta textura es una prueba de que la gema ha sido tratada.

Algunas otras características que se deben de tomar en cuenta son el relleno incompleto en la superficie de la piedra, que tiene una apariencia de finas líneas blancas, como rasguños, residuos del relleno en la superficie de la piedra, alrededor de los puntos de entrada y se ven como marcas circulares. Finas líneas que se ven dentro del relleno es otra característica (Fotografía 3.11).

Hay que señalar que no todas estas características se ven en cada una de las piedras tratadas.

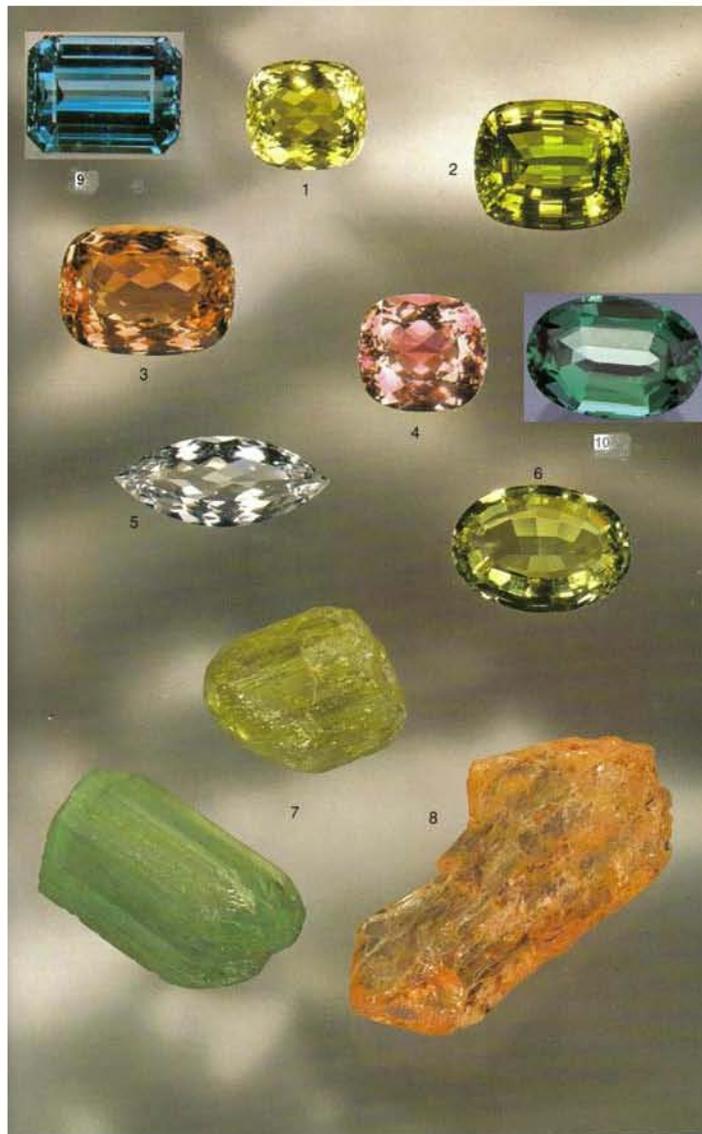


Fotografía 3.10 Burbujas de aire debido a la inyección de sustancias para relleno de fracturas, en ocasiones son tan pequeñas que se ven como puntas de alfiler (izquierda), en otras ocasiones se pueden confundir con inclusiones de dos fases (derecha). Tomadas de "Identification Of Filled Diamond", GIA.

Capítulo IV. Esmeralda

4.1 Propiedades

La esmeralda tiene un color verde con tonos medios a oscuros y por la belleza de su color se ha llegado a tomar como referencia (verde esmeralda) y al igual que las variedades: aguamarina (azul), morganita (rojo-rosa), goshenita (incoloro) y heliodoro (amarillo) pertenecen al grupo del berilo y desde un punto de vista químico son silicatos de aluminio y berilio. El berilo puro es incoloro (goshenita), por ejemplo, en la esmeralda su color se debe a las impurezas de cromo y vanadio presentes en la gema, en la aguamarina es el hierro el causante del color, en la morganita el manganeso da la coloración, en el Heliodoro el hierro y el uranio son responsables del color (Fotografía 4.1).



Fotografía 4.1. Aquí se tiene toda la variedad de colores del berilo, 1 berilo dorado, 2 heliodoro, bixbita, 4 morganita, 5 goshenita, 6 heliodoro, 7 berilo verde, 8 morganita, 9 aguamarina y 10 esmeralda. Tomada y modificada de Schumann, 1983.

La esmeralda pertenece al sistema cristalino hexagonal, en donde sus cristales son principalmente prismas de seis caras en forma de barrita. Se han encontrado cristales de gran tamaño, en Albano Maine, se encontró un cristal de berilo de nueve metros de largo y un peso de más de 25 toneladas (Klein, C. y Hurlbut, C. S. Jr., 1997).

La dureza de la esmeralda en la escala de Mohs es 7.5 a 8, que es menor que la del corindón y mayor a la del cuarzo, y con una tenacidad pobre, hay que tener en cuenta esta propiedad para evitar golpear estas gemas, ya que pueden llegar a romperse fácilmente, al romperse deja una fractura concoidea o en forma de concha y sin planos de exfoliación.

El peso específico de la esmeralda es de 2.67 a 2.75, un valor promedio de 2.71 y en otros berilos puede llegar a variar hasta 2.84.

En lo que respecta a la óptica de la gema, su índice de refracción se encuentra entre los valores de 1.576 – 1.582, dispersión de la luz en 0.014, con un grado de transparencia de transparente a opaco, en donde se puede encontrar una gran cantidad de inclusiones que son llamados “jardines” y que no afectan tan drásticamente su valor a menos que éstas afecten la durabilidad de la gema.

Los “jardines” están compuestos de inclusiones trifásicas, estas inclusiones son fácilmente detectables y están constituidas por gas, sólido y líquido (Fotografía 4.2), además también se encuentran con mucha frecuencia inclusiones de pirita y calcita y a excepción de las esmeraldas colombianas también se tienen inclusiones de mica y anfíboles.

En lo referente a la fluorescencia de la esmeralda, es principalmente inerte y cuando llega a presentarla es de color rojo anaranjado débil a rojo violeta en onda larga. Un resumen de las propiedades de la esmeralda se tiene en la Tabla 4.1.



Fotografía 4.2 Ejemplo de una inclusión trifásica, que está compuesta por los tres estados de la materia, líquido sólido y gaseoso. Tomada de <http://www.geol.vt.edu/research/fluidslab/multixl.jpg>

Tabla 4.1 Resumen de las propiedades de la esmeralda.	
Composición Química	$\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$
Color	Verde con tonos medio a oscuro.
Sistema Cristalino	Hexagonal
Hábito	Prismático
Crucero	No presenta
Fractura	Concoidal
Dureza	7.5-8
Lustre	Vítreo
Índice de Refracción	1.576 – 1.582
Raya	Blanca
Pleocroísmo	Medio: verde, azul verde hasta amarillo verde
Peso específico	2.67 a 2.75

4.2 Tratamientos para modificar el color

El color es una de las propiedades que imparte valor económico a la esmeralda, que en sus calidades más finas puede llegar a ser más cara que el diamante, por lo que se busca obtener de estas gemas las mejores calidades de color y debido a ello son sometidas a procesos como recubrimientos y teñido para modificarlo.

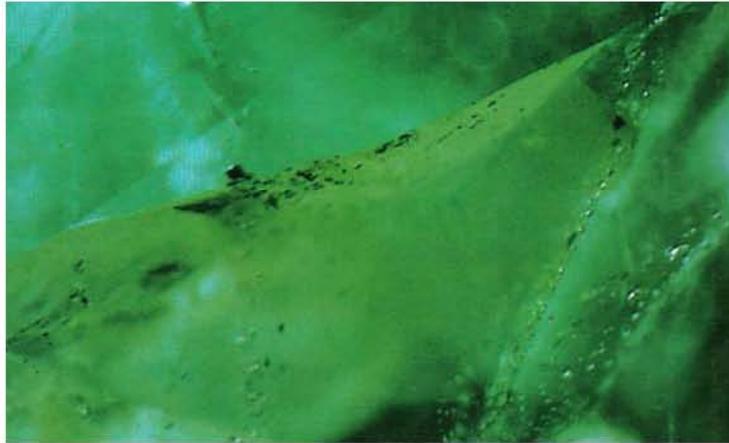
4.2.1 Recubrimientos y tinciones.

El teñido tiene como resultado convertir piedras de un color verde pálido a un color verde esmeralda. Esto es por medio de las técnicas tradicionales de teñido, por medio de calentamiento para incrementar la porosidad y hacer que la penetración del color sea mayor, o por medio de perforaciones láser rellenas de sustancias con color y que cambian la tonalidad de la gema, este tratamiento es muy poco utilizado sin embargo, en ocasiones se lleva a cabo este proceso.

Para su identificación es importante observar la concentración del color en las fracturas en donde la porosidad es mayor y por tanto mayor es el color que se concentra en esas zonas (Fotografía 4.3).

El recubrimiento se realiza en berilos verdes con un color tenue. Cuando estas gemas se recubren se mejora notablemente dicho color, sin embargo, la durabilidad y el cuidado (evitar golpes y sustancias como acetona, bencol y alcohol que pueden destruir el recubrimiento) de este tratamiento son factores que determinan que este proceso sea poco utilizado.

Para este tratamiento se utilizan plásticos y sustancias de color verde que son fácilmente identificables como áreas de color desigual, sea por remoción del material o por desgaste de la misma sustancia (Fotografía 4.4). También se



Fotografía 4.3 Concentración de color en fracturas debido al tratamiento de teñido, que alcanzan la superficie y es evidencia de que ha sido sometida a tratamiento de tinción. Tomada de Kammerling, Robert C. Koivula, John I. and Kane, Robert E. 1990.

pueden realizar pruebas con cotonetes con solvente o inclusive con agujas que arañen la superficie y dejen al descubierto el tratamiento.

4.3 Tratamientos para modificar la claridad

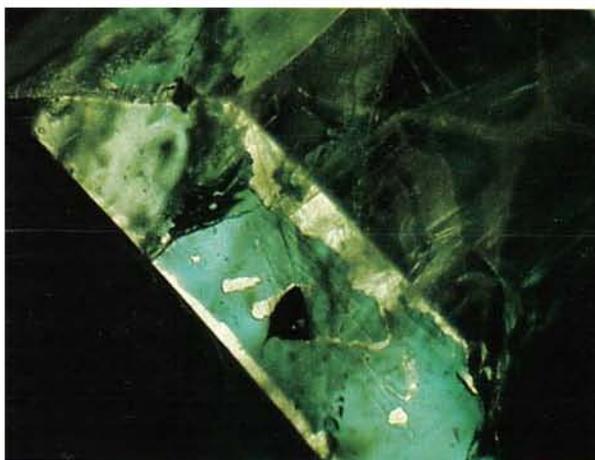
En la esmeralda es común encontrar fracturas que alcancen la superficie de la gema y que afectan tanto la belleza como la durabilidad de la gema, por lo que es necesario someterla a tratamiento para mejorar sus características gemológicas así como también su precio en el mercado. Desde la antigüedad se daba tratamiento a estas gemas al ser sumergidas en aceites que rellenaban las fracturas y las hacían menos visibles.

4.3.1 Relleno de fracturas

Éste es uno de los procedimientos, similar al tratamiento térmico del corindón, de mayor uso en esmeraldas y recibe el nombre de “Oiling” y consiste en tratar de ocultar a la vista defectos en la gema creados por fracturas que lleguen a la superficie.

El descubrimiento de este tratamiento fue una de las causas que provocó una caída en el precio de las esmeraldas a mediados de los años noventas, aunque este tratamiento es utilizado desde hace mucho tiempo, no fue hasta esas fechas que la utilización de sustancias, que ocultaban de manera muy efectiva las fracturas fueron develadas ya que al cabo de pocos meses se volvían de color blanco y volvían a su estado original. Aunado a esto hubo mucha mala publicidad en donde se ponían en evidencia estos trucos para engañar al comprador. Esta situación provocó que el comprador se decidiera a adquirir otras gemas.

Entre los principales aspectos que se deben tener en cuenta para el estudio de este tratamiento están la clase de sustancias utilizadas, la duración de éstas en la gema y la cantidad de relleno que se encuentre en la muestra.



Fotografía 4.4 Desgaste de la sustancia que cubría al berilo y deja al descubierto el tratamiento de recubrimiento, donde se puede observar el color original de la gema verde pálido y un verde esmeralda con el tratamiento. Tomada de Kammerling, Robert C. Koivula, John I. and Kane, Robert E. 1990.

Existen resinas naturales como lo son los aceites, o también resinas artificiales (Tabla 4.2), las cuales tiene un índice de refracción muy similar al de la esmeralda (1.576 – 1.582) entre 1.46 y 1.58, lo que provoca que estas fracturas al ser rellenas y tener un índice de refracción similar al de las gemas, no generan contraste entre el relleno y la gema y de ahí se dificulte su observación. Un ejemplo similar se tiene al sumergir un trozo de hielo en agua que parece desaparecer en la misma.

Algunas de las nuevas sustancias están adicionando endurecedores con la finalidad de hacer una mejora a este tratamiento y hacerlo más estable, sin embargo, para el comercio es aceptable el uso de aceites y algunas resinas naturales que no utilizan endurecedores y pueden ser removidos en su totalidad.

Tabla 4.2 Diferentes tipos de sustancias utilizadas en relleno de fracturas de esmeraldas			
Nombre	Tipo	Origen	Índice de refracción
Araldite	Resina epóxica	Sintética	1.46 - 1.58
Aceite de cedro	Aceite	Natural	1.52
Bálsamo de Canadá	Oleoresina	Natural	1.52 y 1.54
Paramasafe	Resina epóxica	Natural	
Gematrat	Resina epóxica	Sintética	
Super tres	Resina epóxica	Sintética	
Opticon	Resina epóxica	Natural	1.545 a 1.56
Aceite de palma	Aceite	Natural	1.57

Es necesario tener en cuenta que para una gema que haya sido sometida a este tratamiento es necesario evitar los baños ultrasónicos o el contacto con productos químicos que pueden provocar que la sustancia de relleno emigre de la piedra.

El proceso incluye básicamente tres pasos, el primero consiste en la limpieza de la gema y remoción de aire y gases de las cavidades de la esmeralda, enseguida se hace la aplicación del relleno usando alta presión y por último la limpieza de la gema.

La limpieza de la gema comienza con un apropiado solvente que elimina todas las impurezas que se pueden llegar a encontrar, calentándola a relativamente bajas temperaturas para ayudar al proceso de limpieza. Esta limpieza incluye remover inclusive anteriores rellenos lo cual implica utilizar el solvente apropiado para remover completamente el relleno. Este proceso puede tardar de horas hasta días.

Después es sometido a un proceso de extracción de aire y gases los cuales pueden provocar que se generen burbujas de aire al momento de aplicar el relleno.

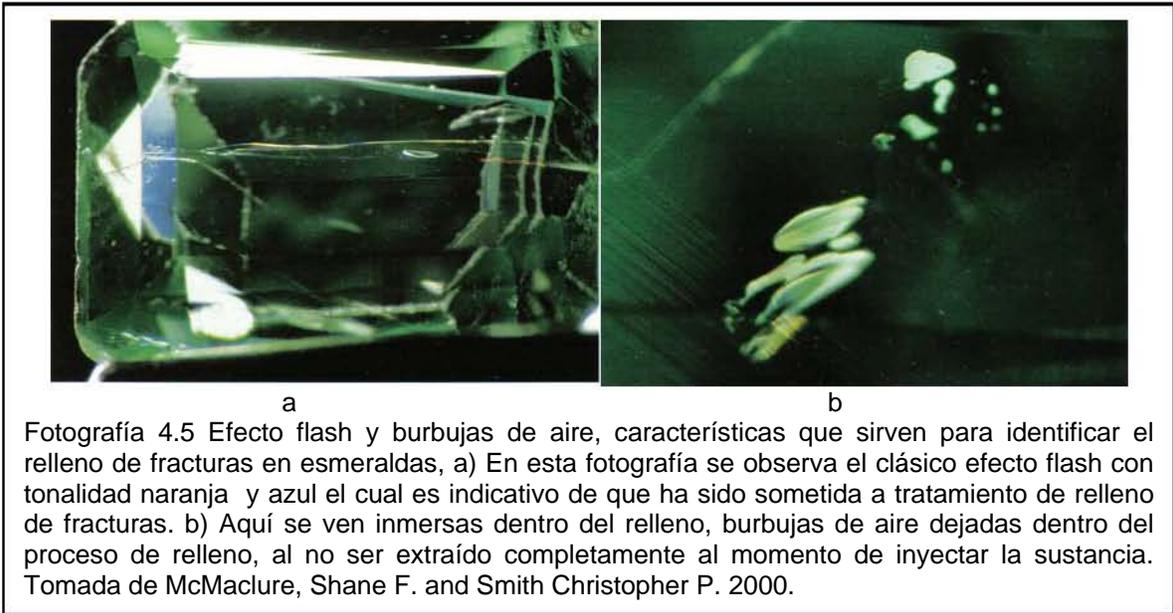
Inmediatamente después es aplicado el relleno, sumergiendo la muestra en el líquido que servirá de relleno y se aplican presiones de 3000 libras/pulg². Para ayudar a la penetración se calienta a bajas temperaturas para disminuir la viscosidad de líquido y favorecer el flujo mejor mientras se ejerce presión; ya una vez dentro de la esmeralda se deja enfriar para que vuelva a tener la misma consistencia.

En algunos casos es necesario estabilizar el procedimiento con endurecedores, ello dependerá de la sustancia que se utilizó como relleno, como ejemplo se puede realizar a través de exposición prolongada a lámparas de luz uv. En otros casos se puede someter la gema a un recubrimiento en lugar del endurecedor lo que puede prolongar un poco mas el tratamiento. Por último se somete a una leve pulida para finalizar el proceso y lustre final.

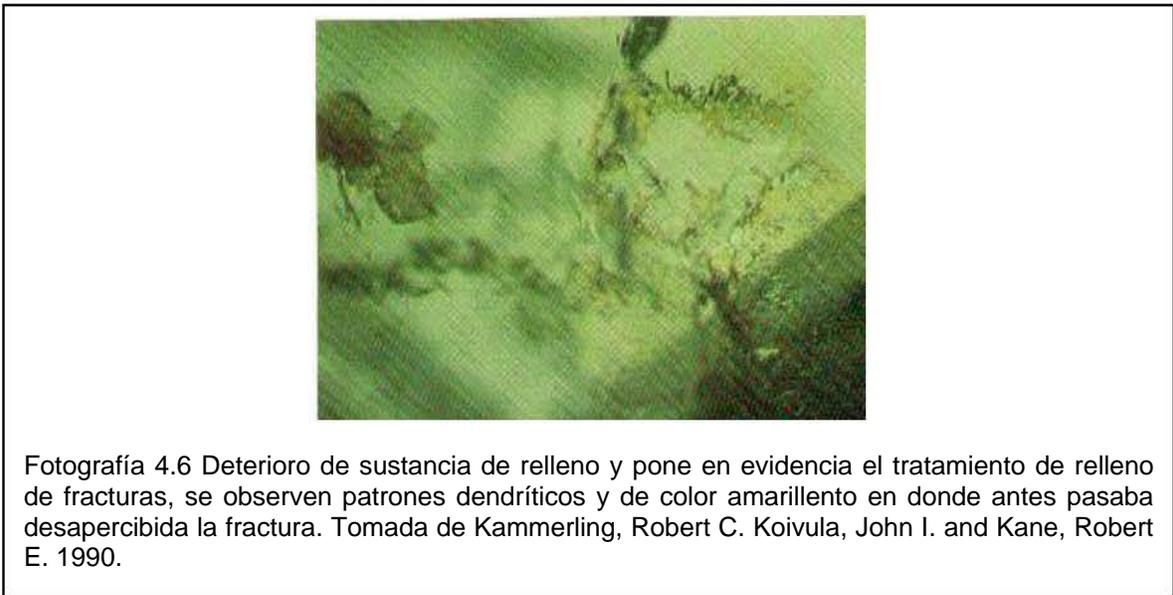
Las formas de identificación de este tratamiento se basan en las del diamante, efecto flash, áreas incompletas de relleno, burbujas de gas y relleno deteriorado dentro de las fracturas, eso se logra con un microscopio gemológico que cuente con campo oscuro y luz de fibra óptica.

El efecto flash es una característica que puede ser usada para identificar si una esmeralda ha sido sometida a relleno de fracturas o no. Los dos colores principalmente observables son el naranja y el azul, y se logran observar al girar la piedra y al penetrar la luz perpendicular al relleno (Fotografía 4.5.a).

Es común encontrar en el relleno, zonas en donde se observan burbujas dentro y que se deben al aire o gas dentro de las fracturas al momento de inyectar la sustancia de relleno (Fotografía 4.5.b).



Se pueden ver áreas incompletas en el relleno y se observan como zonas con puntos blancos; también el material de relleno que se ha descompuesto llega a verse con formas dendríticas y de color amarillento (Fotografía 4.6).



Capítulo V. Corindón

5.1 Propiedades

Son dos variedades del mineral corindón el cual es un compuesto de óxido de aluminio (Al_2O_3), que puro es incoloro, pero esto es raro. El color varía de acuerdo a las impurezas presentes en la gema, por ejemplo, la variedad de color rojo es mejor conocida como rubí y debe su color al elemento cromo (Cr^{3+}) presente en la gema, o el color azul que se conoce comercialmente como zafiro y que debe su color a las impurezas de hierro y titanio ($\text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+}$); a la par de estos dos colores principales se llegan a encontrar corindones de color amarillo, verde, rosa, naranja, violeta, negro e incoloro, lo cuales son llamados zafiros y seguido del color de la gema (Fotografía 5.1).



Fotografía 5.1. Gama de colores en los que se pueden presentar las variedades del corindón, las variedades más codiciadas son rubí y zafiro. Tomada de McMaclure, Shane F. and Smith Christopher P. 2000.

Los cristales de corindón cristalizan en el sistema trigonal, con cristales principalmente con formas bipiramidales, en el rubí son comunes prismas tabulares hexagonales terminados en cada extremo por caras romboedrales, mientras que en el zafiro los prismas tienden a tener forma de barril.

Entre las propiedades sobresalientes del corindón está su dureza, nueve en la escala de Mohs, que es únicamente superada por la dureza del diamante, además la ausencia de planos de clivaje claramente definidos y una alta tenacidad hacen que sea una de las gemas más durables. Esto se puede comprobar ya que en los depósitos de placer, donde las gemas se encuentran expuestas al medio ambiente, se encuentran cristales que conservan su forma original.

La temperatura del punto de fusión del corindón es de 2030 a 2050°C, mientras que la del punto de ebullición es de 3500°C y con un peso específico para el corindón puro, es decir incoloro, de 3.989, mientras que para el rubí y el zafiro es de 3.997, y para corindones ricos en hierro y cromo se han registrado valores de hasta 4.060.

Es claro que la belleza de estas gemas se debe mucho a las propiedades que se relacionan con fenómenos ópticos como son: el índice de refracción, que en el corindón se divide en dos rayos llamados ordinario y extraordinario, que para el corindón puro se tienen valores de 1.7606 para el rayo extraordinario y 1.7687 para el rayo ordinario; pero generalmente para el rayo extraordinario los valores están entre 1.758-1.772 y 1.766-1.780 para el rayo ordinario. Directamente de estos valores se obtiene la birrefringencia que es muy constante, de 0.008 y es la diferencia entre el mayor y el menor índice de refracción.

Dispersión, es la propiedad de descomponer la luz en los colores del arco iris al pasar por una sustancia, que en el corindón tiene un valor de 0.018, que es bajo, pero el color enmascara la poca dispersión, es decir, la “vida” de esta gema.

Los fenómenos ópticos son otra característica distintiva de estas gemas, por ejemplo, el asterismo que se debe a la reflexión la luz en inclusiones orientadas. En el asterismo, son inclusiones de rutilo (TiO_2) que también reciben el nombre de seda; mientras que en zafiros de estrella negra se deben a inclusiones de mezclas de hematita (Fe_2O_3) e ilmenita (FeTiO_3), orientadas paralelamente con ángulos de 60/120°. Para exhibir este asterismo es necesario realizar un corte cabujón con base perpendicular al eje c, ya que si la base del cabujón es paralela al eje c se tendrá un efecto de ojo de gato.

Otras de las propiedades que ayudan como una característica de identificación, son la fluorescencia (Tabla 5.1) y el pleocroismo que por ser un cristal uniaxial es dicroico, por lo que cambia de color al ser observado bajo luz polarizada y ser rotado 90°, la mayoría de las variedades del corindón tienen un fuerte pleocroismo, pero puede variar con la intensidad del color, generalmente mientras más intenso es el color más intenso es el pleocroismo y viceversa, e inclusive no

se observa este efecto en corindón incoloro o en piedras de color vistas paralelas al eje óptico (Tabla 5.2).

Tabla 5.1 Fluorescencia de corindones no tratados. (Tomada y modificada de Hughes, Richard W. 1997,)

Variedad	Luz ultravioleta Onda larga (365 nm)	Luz ultravioleta Onda corta (253.7 nm)
Rubí	Rojo a rojo-naranja. De moderada a extremadamente fuerte.	Rojo a rojo-naranja. De moderada a extremadamente fuerte.
Zafiro	Rojo. Inerte a fuerte.	Rojo. Inerte a fuerte.
Zafiro morado	Rojo a rojo-naranja. Débil a fuerte.	Rojo a rojo-naranja. Inerte a fuerte.
Zafiro amarillo y naranja	Naranja. Inerte a fuerte.	Naranja. Inerte a fuerte. Rojo. Inerte a débil.
Zafiro verde	Inerte	Generalmente inerte. Rojo a rojo-naranja. Raro débil.
Zafiro incoloro	Rojo a rojo-naranja. Inerte a fuerte.	Rojo a rojo-naranja. Inerte a moderada.

5.2 Tratamientos para modificar el color

En el rubí y zafiro existen métodos por los cuales se pueden modificar sus características gemológicas para hacerlas más deseables. La poca “vida” de estas gemas se tiene que ver recompensada por un color que cautive a la persona que la observa y que ansíe poseerlas. Por lo que las gemas se someten a tratamientos como el térmico, penetración del color (surface diffusion), irradiación y recubrimientos para mejorar su color.

5.2.1 Tratamiento térmico

Se dice que todos los corindones son sometidos a tratamiento térmico, ya que mejora el color y el tratamiento es permanente. Éste consiste en crear las condiciones para que el color mejore, recordando que el color en el corindón se debe a átomos de impurezas (por ejemplo Cr^{3+} en rubí), centros de color que son defectos de la estructura cristalina (átomos extras de Al u O o falta de ellos) o estados de valencia de los impurezas.

Estos cambios están ligados a cinco factores de gran importancia: el tiempo de tratamiento al que son sometidas a tratamiento las gemas, la temperatura a la que se someten, la atmósfera donde se lleva a cabo el método, la composición química de la gema y la composición química del entorno donde se lleva a cabo el proceso.

Tiempo y temperatura: La resistencia del corindón a los cambios bruscos de temperatura hace posible mantener a los cristales, por largos períodos, a altas temperaturas y enfriarlos relativamente rápido sin esperar que la gema se fracture.

Atmósfera: es un factor que puede ser manejado sin problemas; para obtener una atmósfera oxidante se puede introducir oxígeno en la cámara, causando que se introduzca más oxígeno en el cristal y por tanto cambiar el estado de valencia de las impurezas de Fe^{2+} a Fe^{3+} . Por el contrario con una atmósfera reductora lo que se necesita es eliminar el oxígeno libre de la cámara, por lo que se introduce un gas que reaccione con el oxígeno, por ejemplo, teóricamente el hidrógeno puro, pero debido a la peligrosidad de trabajar con él se utiliza una mezcla de hidrógeno con nitrógeno y como resultado cambia el estado de valencia de las impurezas de Fe^{3+} a Fe^{2+} . Los cambios de estado de estas impurezas son importantes para determinar el color en algunas variedades de zafiros.

Composición química de las piedras: obviamente esta característica es muy importante y varía de localidad a localidad ya que la composición química está muy relacionada con el entorno del yacimiento. Muy pocos de los elementos necesarios para el cambio resultarán sin cambio o con un color muy pobre. Por otra parte, un exceso de algún elemento puede provocar un color gris opaco en la gema, que una cantidad exacta del elemento dará como resultado su mezcla con el entorno y cambio de color favorable para la gema.

Composición química del entorno: como las gemas no son tratadas por pieza sino por lotes, es necesario tratar corindones del mismo yacimiento, en caso de haber mezclado minerales de diferentes procedencias se pueden causar alteraciones en el resultado esperado, minerales como el grupo del granate, mica y calcita son especialmente no deseables, ya que liberan elementos que reaccionan inversamente a la reacción requerida.

Como resultado del tratamiento térmico se tienen desarrollados cinco procesos para el tratamiento del corindón resumidos en la Tabla 5.2.

Para determinar si una gema ha sido tratada por este método es necesario analizar la gema con un microscopio gemológico para observar las siguientes características:

En la superficie de la gema, pueden quedar residuos en forma de gota de las impurezas que se encuentran en el crisol, que se funden y solidifican sobre la superficie, la mayoría de las gemas son repulidas después del tratamiento, pero en ocasiones en las cavidades cerca de la rondista se encuentran estas sustancias que no son alcanzadas por el disco.

Los cambios en la fluorescencia después del tratamiento pueden ayudar a identificar gemas tratadas, algunas gemas presentan zonas con color blanco a azul-verde bajo luz ultravioleta de onda corta (253.7 nm). Pero principalmente es útil para identificar zafiros amarillos y naranjas tratados, ya que los zafiros sin tratar muestran una fluorescencia naranja intenso en ambas ondas de luz ultravioleta, pero en los zafiros tratados el tratamiento elimina completamente este efecto.

Tabla 5.2 Procesos de tratamiento térmico para corindón. (Tomada y modificada de Hughes, Richard W. 1997)		
Objetivo	Condiciones del Tratamiento	Resultados
1. Eliminación de la seda (inclusiones de rutilo)	Calentar a temperaturas entre 1600-1800°C, enfriar rápidamente a 1250°C, después lentamente.	El material con áreas nebulosas se vuelve claro. Se puede utilizar en combinación con cualquier otro proceso a excepción del no. 2.
2. Desarrollo de la seda (asterismo)	Calentar a temperaturas de 1100-1400°C por 1-14 días o más.	Permite el desarrollo de la estrella en material rico en Ti; en general únicamente posible en corindón sintético, donde las concentraciones de Ti son más altas que en las naturales. Puede ser utilizado en combinación con cualquier otro proceso excepto el no. 1.
3. Desarrollo del azul	Calentar a temperaturas de 1600-1900°C en una atmósfera reductora.	Zafiro Geuda (corindón con zonas nebulosas), zafiro kashmir, etc. Son usados en combinación con el proceso no.1. Piedras con color pálido, lechoso se vuelve claro y con un azul intenso.
4. Eliminación del azul	Calentar entre 800-1900°C (puede ser tan baja como 450°C) en una atmósfera oxidante.	Mientras que en teoría es posible aclarar el color azul oscuro en zafiros australianos, tailandeses, camboyanos y nigerianos, el efecto es principalmente remover la seda (inclusiones de rutilo), incrementando así la transparencia. Altas temperaturas pueden ser utilizadas en combinación con el proceso no. 1. Remover el componente azul de rubíes púrpuras de Tailandia, Camboya, Burma, Sri Lanka, Kenia y Tanzania. Altas temperaturas pueden ser utilizadas en rubíes de Burma, Sri Lanka y del Este de África en combinación con el proceso no. 1. Remover el componente azul de zafiros verde o verde amarillentos de Australia y Montana, así intensificar el color amarillo. Esto raramente es efectivo.
5.- Desarrollo del amarillo	Calentar entre 1600-1900°C en una atmósfera oxidante.	Zafiros incoloros o amarillos pálidos de Sri Lanka obtienen un color amarillo intenso o color oro. Piedras de color rosa cambian a color anaranjado.

Otra característica importante que se debe observar y que indica tratamiento, son las fracturas de tensión, estas fracturas se crean por que las inclusiones dentro de la gema, cuando se calientan tienden a expandirse y a formar fracturas de tensión alrededor de ellas, son generalmente circulares con una apariencia vidriosa, comúnmente tienen un segundo óvalo característico en la parte exterior de la fractura (Figura 5.1.a).

En algunas ocasiones la inclusión llega a fundirse o sufrir alguna transformación, por lo que si se funde se crea una zona de derrame, los que no llegan a derretirse cambian su apariencia expresadas como blancas bolas de nieve que pueden presentar fracturas circulares alrededor de éstas (Fotografía 5.2.a).

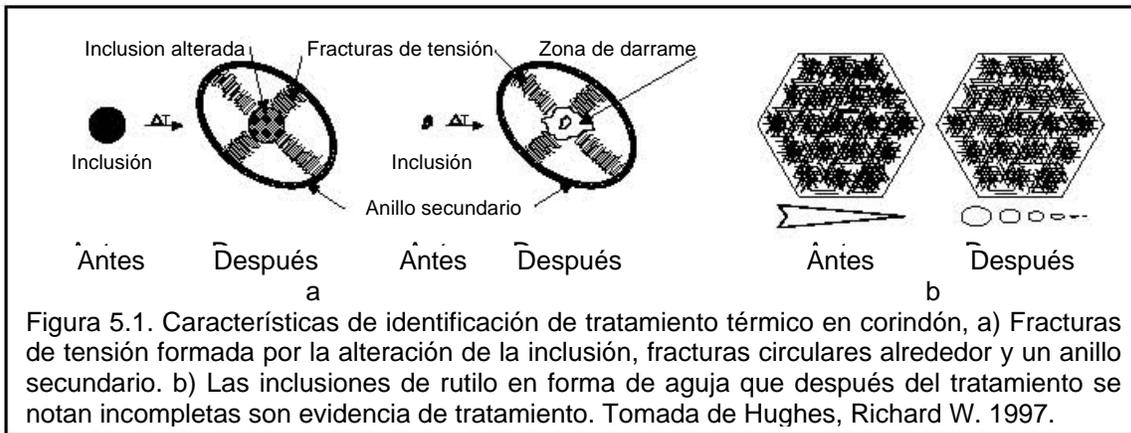
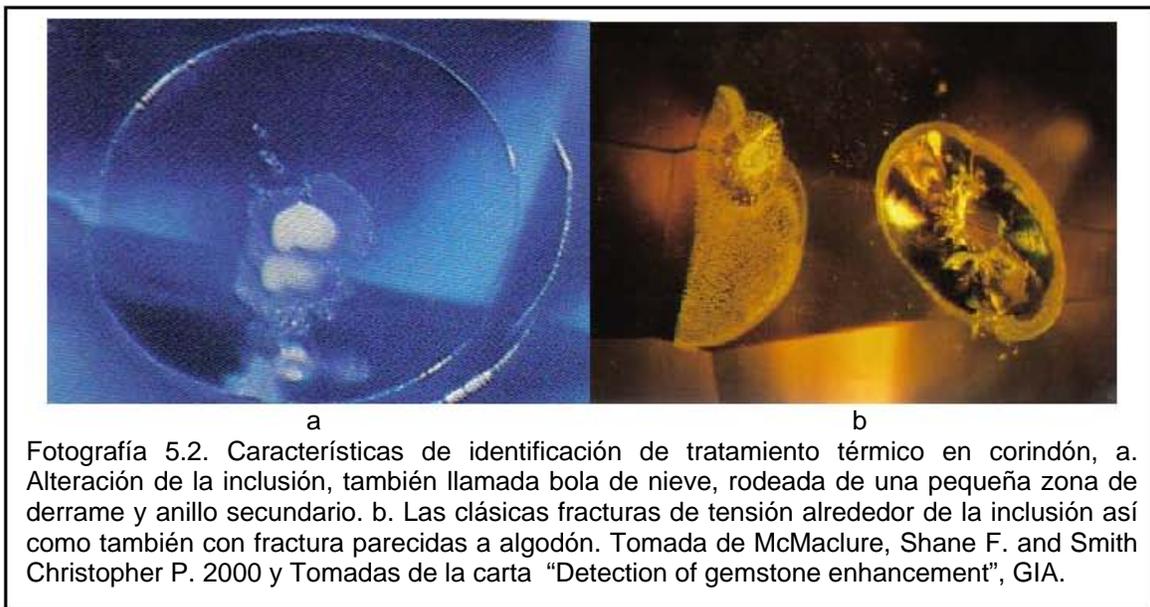


Figura 5.1. Características de identificación de tratamiento térmico en corindón, a) Fracturas de tensión formada por la alteración de la inclusión, fracturas circulares alrededor y un anillo secundario. b) Las inclusiones de rutilo en forma de aguja que después del tratamiento se notan incompletas son evidencia de tratamiento. Tomada de Hughes, Richard W. 1997.

Otras fracturas características son las llamadas “algodón”, que se ven como zonas nebulosas alrededor de la inclusión (Fotografía 5.2.b). También las inclusiones de rutilo (seda) que antes del tratamiento tienen una forma similar a agujas (Figura 5.1.b), se encuentran en conjunto con exsoluciones del rutilo y que al someterse al tratamiento estas agujas se pierden apreciándose como pequeñas marcas a lo largo de lo que era la aguja (exsoluciones de rutilo) (Fotografía 5.3).

En corindones sin tratamiento es común encontrar zonas de color que se presentan como líneas delgadas, mientras que en corindones tratados son comunes áreas de fuerte zoneamiento. Aun así, para diferenciar estas zonas es necesario observar y comparar una gema tratada con una no tratada, a menos que se tenga un amplia experiencia en la observación de estas características.



Fotografía 5.2. Características de identificación de tratamiento térmico en corindón, a. Alteración de la inclusión, también llamada bola de nieve, rodeada de una pequeña zona de derrame y anillo secundario. b. Las clásicas fracturas de tensión alrededor de la inclusión así como también con fractura parecidas a algodón. Tomada de McMaclure, Shane F. and Smith Christopher P. 2000 y Tomadas de la carta “Detection of gemstone enhancement”, GIA.

5.2.2 Penetración del color (surface diffusion)

Los corindones que requieren ser tratados por este método son principalmente aquellos incoloros, con un color pobre o con el color no distribuido uniformemente,

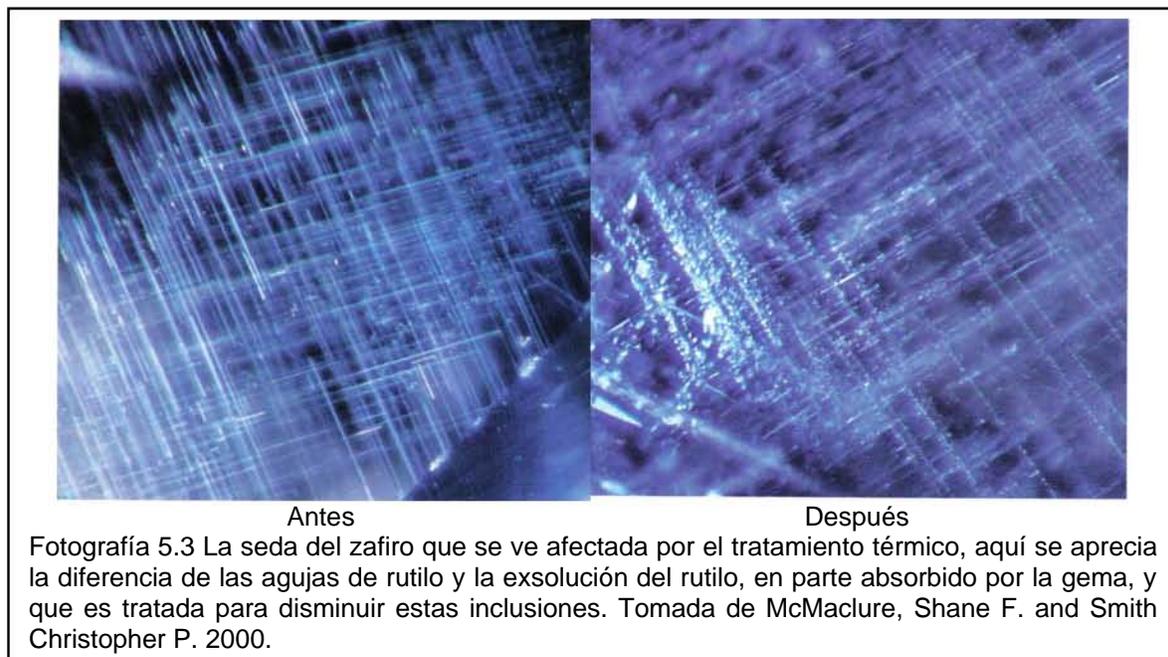
por lo que son sometidos a altas temperaturas por prolongados períodos (días o semanas) con una mezcla de titanio y óxidos metálicos como colorantes.

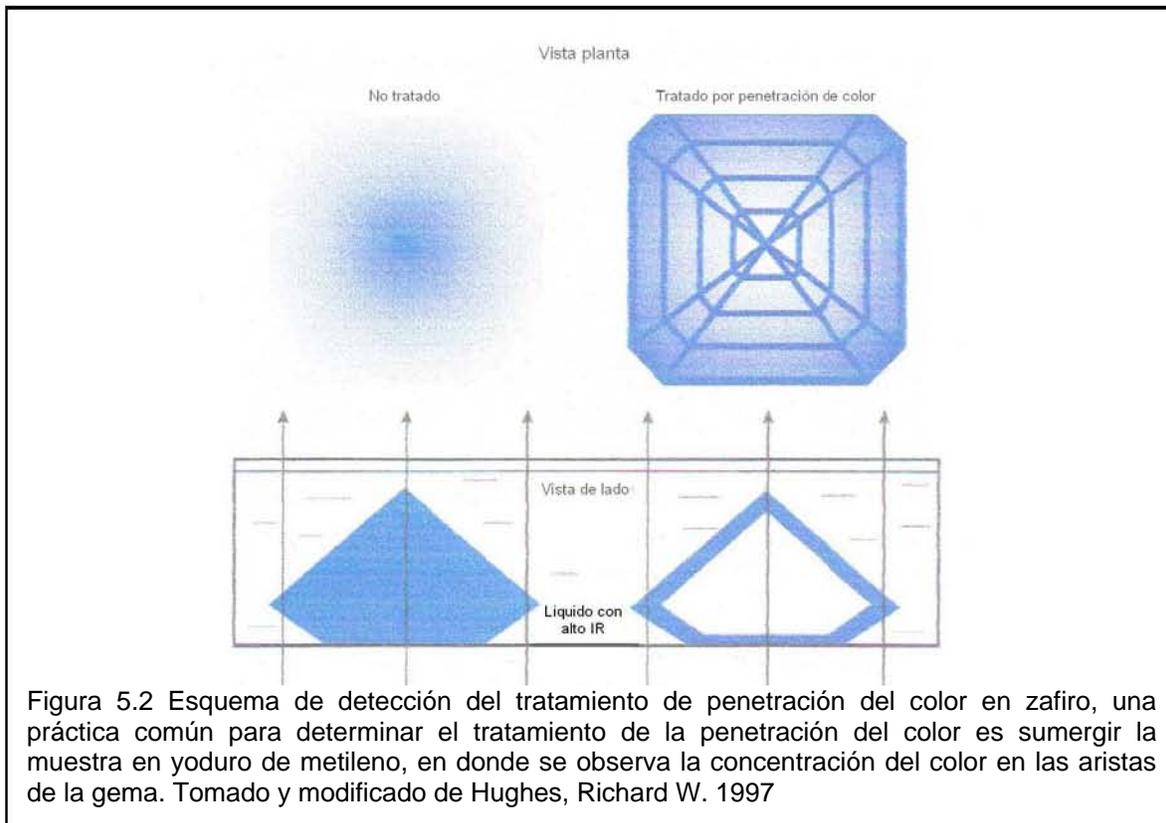
Como resultado, los átomos del titanio y óxidos metálicos penetran en la superficie de la gema creando una capa superficial de color de tan sólo algunas décimas de milímetro. Este método es utilizado casi únicamente para la creación de zafiros, por ser más fácil la penetración del titanio y la menor cantidad del mismo (pocas centésimas de porcentaje de titanio) para producir el color azul, en el cromo (por lo menos 1%) para producir el color rojo del rubí, aunque también se pueden producir rubíes, zafiros naranjas y amarillos, pudiendo alcanzar colores similares a los mejores encontrados naturalmente e inclusive se puede inducir el asterismo.

Para identificar este tratamiento se puede utilizar cualquiera de las características de identificación del tratamiento térmico, ya que se somete a las mismas condiciones y por períodos más prolongados.

La principal forma de identificación es sumergir en yoduro de metileno a las gemas y con luz difusa (Figura 5.2), revela las áreas donde el color ha sido removido por el repulido; se observan concentraciones de color en las uniones de las facetas así como zonas de color desigual (Fotografía 5.4.a).

Con ayuda de una lupa se ven algunas características como son la concentración de color en fracturas que alcancen la superficie, donde penetra más rápido el titanio, así como también en cavidades y hoyos en donde se concentra el color y que no llega a ser removido por el nuevo pulido.





Este método es utilizado en gemas con corte cabujón, induciendo el asterismo de forma superficial, donde la concentración del color en la unión de las facetas no se presenta, pero se puede apreciar una estrella de apariencia no natural y afilada, un color desigual y la concentración del color en fracturas superficiales, cavidades y hoyos, además de ser demasiado superficial por lo que se pueden ver zonas en donde la estrella esté incompleta por desgaste o golpes.

5.2.3 Irradiación

Es un método utilizado para modificar el color de corindones y hacerlo más intenso. El problema de este método es, en la mayoría de los casos, que el resultado no es permanente ya que al ser sometido a una fuente de calor o de luz, el color se desvanece.

Los principales tipos de radiación a los que se someten los corindones son: luz ultravioleta, rayos X y rayos gama. Los dos primeros afectan únicamente a la capa superficial, mientras que los rayos gama afectan por completo a la gema. Estos bombardeos afectan a la gema creando centros de color que son los responsables del cambio de color.

Se utilizan principalmente zafiros incoloros o con un color amarillo pálido, que mediante este procedimiento cambian a un color amarillo ámbar y puede ser que conserve su color al exponerlos a la luz como también puede perderlo (Fotografía

5.4.b). Existen zafiros amarillos naturales que si son estables a la luz, pero que pierden el color al ser sometidos a temperaturas mayores de 150 °C.

Existe una prueba para comprobar si un zafiro amarillo puede llegar a perder su color al ser sometido a la luz, únicamente a la luz, no al calor, al acercarlo a unos 15 cm de una lámpara de luz fría de 100 watts y un ventilador pequeño, por un par de días y si no cambia su color, se puede decir que es estable a la luz.

Este tratamiento es raramente utilizado por su poca capacidad de retener el color. En zafiro de otros colores es mejor utilizar tratamiento térmico para mejorarlo.

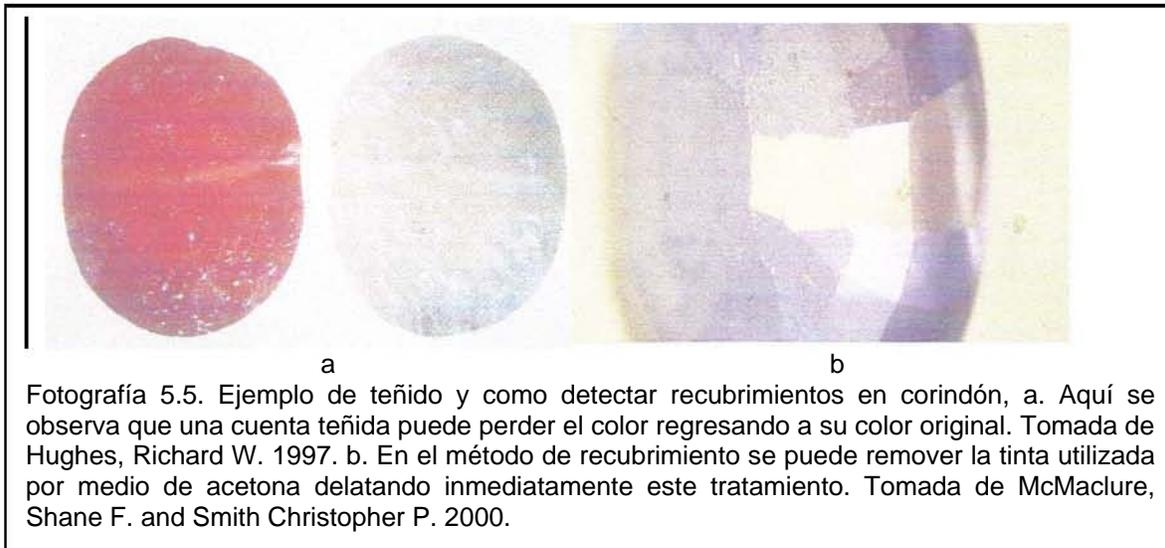


5.2.4 Otros tratamientos

Las tinciones y recubrimientos son también utilizados, pero con muy poca frecuencia.

Las tinciones son con aceites que mejoran el color, son utilizadas principalmente en gemas en forma de cuentas, el tratamiento es relativamente económico, pero fácil de perder el color (Fotografía 5.5.a). Para identificarlo se puede sumergir en di-iodometano, en donde se tendrá concentración de color en fracturas y cavidades así como también con fluorescencia (si el tinte fluoresce).

Los recubrimientos casi nunca son usados y consisten en pintar con tinta el pabellón de algunos zafiros para mejorar su color, esta tinta puede ser removida rápidamente con acetona (Fotografía 5.5.b), también se utilizan para este tratamiento sustancias naturales como resinas y sustancias sintéticas para modificar el color de la gema.



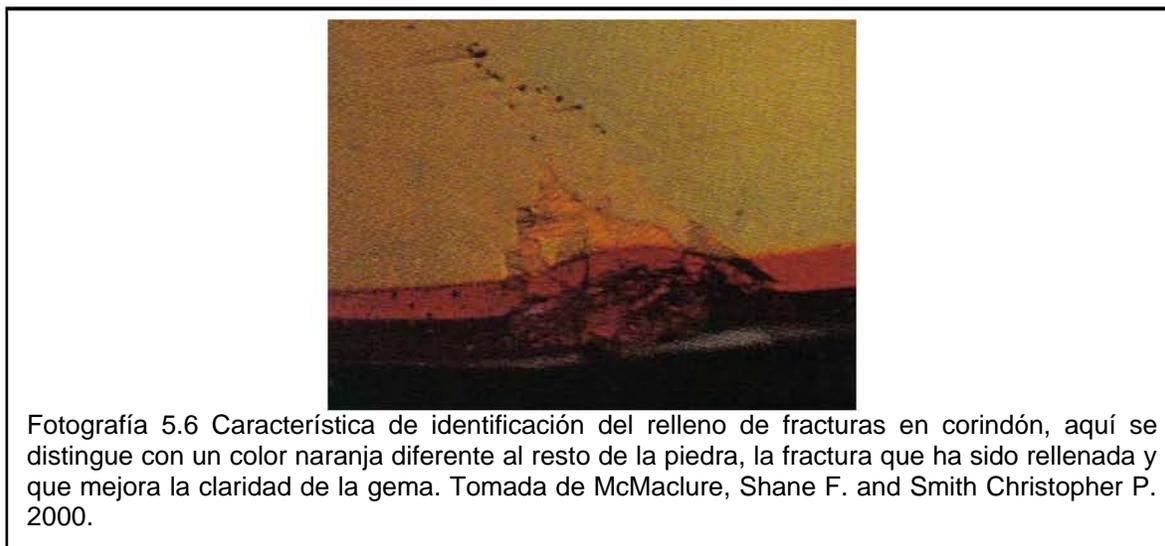
5.3 Tratamientos para modificar la claridad

Al igual que en el diamante, las imperfecciones de pulido y las fracturas afectan la claridad de las gemas (por tanto su valor se ve reducido) y es necesario tratar al corindón para cubrir esos defectos.

5.3.1. Relleno de fracturas

En un comienzo únicamente se trataba de mejorar la superficie que quedaba con hoyos y cavidades resultantes del pulido y de querer ganar la mayor cantidad de peso, por lo que eran cubiertas con un vidrio incoloro.

En la actualidad existe un método muy similar al utilizado con los diamantes y las esmeraldas. Consiste en hacer penetrar en las fracturas, hoyos y cavidades una sustancia con base de plomo y un índice de refracción muy similar al del corindón, para hacer menos visibles esas imperfecciones (Fotografía 5.6).



Las sustancias utilizadas en la actualidad son dos; la primera llamada fórmula básica y es un vidrio incoloro con base de plomo y la segunda conocida como fórmula popular, que además de mejorar la claridad también incluye óxidos metálicos para mejorar el color.

En un primer paso se eliminan las impurezas que se puedan encontrar en las fracturas. Este método es un complemento al tratamiento térmico ya que es necesario someter a las piezas primero a altas temperaturas para eliminar completamente a los elementos que pueden afectar el relleno, así como también para mejorar el color.

Dependiendo de la fórmula a utilizar, la temperatura varía, la fórmula básica se utiliza en gemas con buen color en donde únicamente es necesario mejorar la claridad y se utilizan temperaturas menores a 900 °C y que no afectan las inclusiones dando una apariencia de inclusiones naturales sin haber sido alteradas por el tratamiento térmico.

En la fórmula popular son necesarias temperaturas mayores de 1000 °C y aquí si se afectan las inclusiones y aquí aplican todas las características de detección de tratamiento térmico.

Para la identificación de este método, los laboratorios bien equipados utilizan EDXRF, por sus siglas en inglés (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence), en donde el resultado es una gráfica que arroja información cuantitativa y cualitativa de los elementos que componen la muestra, principalmente elementos pesados como el plomo; como se dijo, estas sustancias que se utilizan están hechas a base de plomo que no se encuentra en corindón natural.

Otra manera de identificar este tratamiento es por medio del microscopio gemológico, en donde al igual que en el diamante se verá un efecto flash de color azul y naranja, además de las burbujas de aire que se encuentran el relleno.

Conclusiones.

El aprovechamiento de los minerales tienen gran importancia en el desarrollo de la humanidad, algunos son utilizados como materia prima en el entorno industrial, otros son usados en el sector agropecuario y otros más en la rama de la joyería.

Para el caso de la joyería, específicamente la gemología, se busca que los minerales posean ciertas características que le den el mayor valor posible como piedras preciosas o gemas.

Es así que a través de los años, aun desde los tiempos del hombre primitivo, se ha pretendido tener las gemas más bellas. Por este motivo, cuando algún mineral presenta ciertos defectos o fallas, que disminuyan su valor como gema, se somete a procesos con el fin de anular o disimular esos defectos.

El valor de los minerales como piedra preciosa se ha considerado principalmente desde el punto de vista de su belleza y de su durabilidad. Sin embargo, existen otros factores que también pueden incrementar ese valor gemológico como son la moda, la transportabilidad y la rareza de la gema.

La belleza y la durabilidad de las piedras preciosas sin duda están influidas por las características propias de los minerales como son la composición química, el tipo de enlace químico del mineral y la estructura atómica del mismo.

Lo que se ha denominado “belleza gemológica” tiene que ver con cuatro aspectos que tienen gran importancia. Éstos son el tipo y perfección del **corte** o talla; la **claridad** de la gema que tiene que ver con la transparencia del mismo; el **peso** de la gema que se ha medido tradicionalmente en quilates o “carats” y el **color** de la piedra preciosa.

Por otra parte, la durabilidad de las gemas está relacionada tanto con la estructura atómica del mineral así como con su tipo de enlace químico.

Existen investigaciones que han proporcionado mucha información sobre la constitución y comportamiento de los minerales y debido a esos estudios se han llegado a desarrollar métodos para mejorar la calidad gemológica de los minerales. Estos métodos conocidos en el medio joyero como “tratamientos” han logrado eliminar, ocultar o enmascarar, temporal o permanentemente, los defectos de las gemas.

Para la elaboración de este trabajo, entre los tratamientos más conocidos y efectivos, se estudiaron los siguientes:

Tratamiento térmico. Tiene la finalidad de modificar el color en las gemas, es aplicado en casi todos los rubíes y zafiros utilizados en joyería, en donde el

cambio es permanente; en el diamante se aplica con altas presiones para remover el color definitivamente en diamantes Tipo Ila y también para cambiar a colores fantasía diamantes tipo Ia. Es conocido como **tratamiento de alta presión y alta temperatura** (HPHT). En la esmeralda es poco utilizado.

Penetración de color (Surface Diffusion). Es complemento del tratamiento térmico ya que a la gema, además de ser sometida a altas temperaturas, se le añaden óxidos de aluminio y óxido del cromóforo faltante para impartir color a la misma. Utilizado principalmente en zafiros y en pocos rubíes. La duración de este método está ligada a los cuidados que se tengan con la piedra preciosa, ya que un golpe o rasguño puede eliminar parte del tratamiento.

Irradiación. Es utilizado para cambiar o mejorar el color en las gemas, es un procedimiento que llega a ser peligroso por la exposición a la radiación, ya que existe radiación remanente en la gema. Aplicado principalmente en diamante y topacio. En el diamante depende de la radiación a la que se somete y la mayoría de las veces se somete a un posterior tratamiento térmico lo que da como resultado colores de fantasía definitivos en la gema; muy poco utilizado en zafiro y rubí ya que el resultado no es permanente y no es utilizado en la esmeralda.

Tinciones. Es utilizado en gemas porosas que permiten colorear y mantener el color, por lo que se restringe su uso a ámbar, calcedonia, coral, esmeralda, lapislázuli, jade, ópalo, turmalina y turquesa, tiene muy poca durabilidad por lo que no es muy utilizado en la actualidad.

Recubrimiento (Surface Coating). Se puede realizar con sustancias incoloras para mejorar la estabilidad de las gemas y con sustancias con color para mejorar o cambiar el color de las gemas. Se puede utilizar en todas las gemas y la durabilidad depende de los cuidados que reciba la gema.

Relleno de fracturas (Fracture Filling). Es un método que ayuda a encubrir las fracturas y cavidades que estén en la superficie de las gemas. Se utilizan sustancias con índice de refracción similar al de la gema para que no se distinga fácilmente la aplicación del relleno. Llega a tener buena durabilidad a menos que sea sometido a lavados ultrasónicos y solventes químicos.

Rayo laser y eliminación de inclusiones. Es aplicado en gemas que presentan inclusiones, mismas que son eliminadas al hacer una perforación que alcance dicha inclusión y que es así destruida con ácidos. Puede ser utilizado en conjunto con el relleno de fracturas para hacer imperceptible el tratamiento. La duración es permanente y mejora notablemente la claridad de las gemas.

El uso de estos tratamientos es común en la actualidad y debido a que existe mala utilización de estos métodos (con la finalidad de engañar y timar), es necesario conocer e identificar estos tratamientos para establecer las verdaderas características gemológicas de las gemas, esto puede lograrse con buenos conocimientos de cristalografía, mineraloquímica y de óptica cristalina.

Bibliografía.

Bauer, Jaroslav. 1981, Guía Básica de los Minerales, Ediciones Omega. Barcelona. 214 págs.

Dana, Edward Salisbury. 1969, Tratado de mineralogía; con un tratado extenso sobre cristalografía y mineralogía física / 4 ed. ingles rev. y aum. por William E. Ford, Cia. Editorial Continental S.A, de C.V. México. 912 págs.

Gübelin, Eduard J. y Koivula, John I. 1997. Photoatlas of inclusions in Gemstones, 3^a Ed. ABC Edition.

Hughes, Richard W. 1997, Ruby and Sapphire, RWH Publishing. 512 págs.

Hurlbut, Cornelius S. Jr. y Kammerling, Robert C. 1991, Gemology, 2^a Ed. John Wiley and Sons. 337 págs.

Klein, Cornelius. y Hurlbut Cornelius. S, Jr., 1997, Manual de Mineralogía, vol. I, II, 4^a ed. Editorial Reverté S.A. Barcelona. 679 págs.

Roskin, Gary A. 1994. Photo masters for Diamond Grading. Gemworld international, 94 págs.

Schumann, Walter. 1983, Guía de las Piedras Preciosas y Ornamentales, 2^a ed. Ediciones Omega. Barcelona. 255 págs.

Revistas

Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., (1987) An update on color in gems, part I: Introduction and colors caused by dispersed metal ions. *Gems & Gemology*, Vol 23, No. 3, Fall, pp. 126-139.

Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., (1988) An update on color in gems, part 2: Colors involving multiple atoms and color centers. *Gems & Gemology*, Vol 24, No. 1, Spring, pp. 2-15.

Fritsch, Emmanuel and Rossman, George R., (1988) An update on color in gems. part 3: Colors caused by band gaps and physical phenomena. *Gems & Gemology*, Vol 24, No. 2, Summer, pp. 81-102.

Johnson, Mary L., Elen, Shane and Muhlmeister, Sam (1999) On the identification of various emerald filling substances. *Gems & Gemology*, Vol. 35, No. 2, Summer, pp. 82–107.

Kammerling, Robert C. Koivula, John I. and Kane, Robert E. (1990) Gemstone enhancement and its detection in the 1980s. *Gems & Gemology*, Vol. 26, No. 1, Spring, pp. 32-49.

McClure, Shane F. and Smith, Christopher P. (2000) Gemstone enhancement and its detection in the 1990s. *Gems & Gemology*, Vol 36, No. 4, Winter, pp. 336-359.

Páginas de internet

<http://all-gem-stones.com.isra-shop.com/se/>

<http://asia-gems.com/index.html>

<http://geogem.com/>

<http://www.agslab.com/index.html>

<http://www.agta.org/>

<http://www.cibjo.org/>

<http://www.diamonds-gemstones-jewelry.com/>

<http://www.emporia.edu/earthsci/amber/go340/treat>

<http://www.ftc.gov/>

<http://www.gemstone.org/>

http://www.geology.wisc.edu/homepages/g306/public_html/keywords.html

<http://www.gia.com>

<http://www.geol.vt.edu/research/fluidslab/multixl.jpg>

<http://www.igiworldwide.com/spanish/index.html>

<http://www.jcrs.com/index.html>

<http://www.jewelrystore.com/>

<http://www.multicolour.com/front.html>

<http://www.palagems.com/home.htm>

<http://www.pgrgem.com/color/clarity.htm>

<http://www.tavalite.net/press.html>

<http://www.users.interport.net//p/lpierce/about.html>

<http://www.worlddiamondcouncil.com/>

Diamante

<http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond>

http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_7.htm

http://www.altobelli.com/html/enhancements___simulants.html

<http://www.color-diamond-encyclopedia.com/>

<http://www.cigem.ca/418.html>

<http://www.diamond-experts.com/index.htm>

<http://www.diamondregistry.com/news/2004/km.htm>

<http://www.diamondtalk.com/forums/t14154-diamondstreatmentsinformationcenter.html>

<http://www.gemguide.com/news/archives2.htm>

http://www.gia.edu/newsroom/608/4322/news_release_details.cfm

http://www.gia.edu/newsroom/issue/2798/1582/insider_newsletter_details.cfm

http://www.gia.edu/gemsandgemology/620/6837/this_weeks_news_details.cfm

<http://www.heavendiamonds.com/public/articles/diamondtreatments.htm>

<http://www.jewellerycatalogue.co.uk/diamonds/enhancements.php>

http://www.niceice.com/contents/fracture_filled_diamonds.htm

<http://www.oved.com/html/welcome.html>

<http://www.professionaljeweler.com/archives/articles/1999/jan99/0199fys2.html>

<http://www.professionaljeweler.com/archives/articles/2004/jun04/0604dg.html>

http://www.prudentialjewelers.com/diamond_treatments.shtml

<http://www.yehuda.com/faq.asp>

Rubí y Zafiro

http://www.australiansapphire.com/heat_treatment_of_sapphires.htm

<http://www.dailynews.lk/2003/03/31/bus03.html>

<http://www.expertgems.com/about/process.htm>

<http://www.sapphires.ca/faq.html>

<http://www.supershinegems.com/rcht.html>

Esmeralda

<http://www.emeraldmine.com/trtmt.htm>

<http://www.esmerald.com/treatments.shtml>

<http://www.ganoksin.com/orchid/archive/9812/msg00094.htm>

<http://www.gemlab.net/pdfdateien/EmeraldTreatmentsEngl.pdf>

<http://www.ruby-sapphire.com/cloak-dagger-opticon.htm>

Radiación

<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/099/htm/laradser.htm>