



Advertencia: esta versión ha sido completada con Google Translate , ciertamente contiene errores o inexactitudes.

EL Refractómetro (gemológico)

<p>Nombre y Apariencia</p>	<p>(Italiano - Rifrattometro) (inglés - (gem) refractometer) (Francés - (gemas) réfractomètre) (Español - (refractómetro (para gemas))) (portugués - (refractómetro (gemológico))) (Tailandés - (อัญมณี) เครื่อง วัด การ หักเห ของ แสง (X a y m n̄ī) kher p̄` xng w Ạ d Kar h`ạ kh`e k`hxng s`æ ng) (Alemán - (Edelstein) Refractómetro) (árabe - الانكسار مقياس (جوهرة)) ((jawharat) miqyas aliankisar) (Ruso - (драгоценный камень) рефрактометр (dragotsennyy kamen ') refractómetro) (Mandarín - (宝石) 折射计 (Bǎ osh í) zh é sh e j i) (Swahili - refractómetro (gemológico)) (hindi - (मणि) रेफ्रेक्टोमीटर (manos) rephrektomeetar)</p>	<p>Foto</p> 
<p>Historia</p>	<p>Año del descubrimiento/invencción: 1869 Thomas Young fue supuestamente el científico que inventó el término "índice de refracción" en las ciencias ópticas en 1807 . No solo creó el lema, sino que redefinió la refracción (término anterior a él) como un solo valor, reemplazando el número anterior que proporcionaba la relación de dos cantidades. En los años siguientes, se definió por varios símbolos: n, m y μ , pero fue la n la que prevaleció gradualmente. Posteriormente este número se relacionó con la ecuación de transmisión de Cauchy , una relación empírica entre el índice de refracción y la longitud de onda de la luz de los materiales transparentes. El matemático francés Augustin-Louis Cauchy teorizó este vínculo en 1837 . El índice de refracción de los materiales varía con la longitud de onda (y la frecuencia) de la luz. Esta variable se conoce como dispersión y hace que los prismas dividan la luz blanca en sus colores espectrales constituyentes (arcoíris). En algunos materiales, el índice de refracción depende de la polarización y la dirección de propagación de la luz. Cuando se divide, debido a las propiedades del material que atraviesa, se crean 2 haces de luz. Su divergencia crea una birrefringencia o anisotropía óptica . El índice de refracción de líquidos o sólidos se puede medir con un refractómetro. Por lo general, este instrumento mide el ángulo de refracción o el ángulo crítico asociado con la reflexión interna total. El primero en construir un refractómetro fue el físico, astrónomo y empresario alemán Ernst Karl Abbe (1840–1905), en 1869 . Este dispositivo innovador se introdujo en el apogeo de la revolución industrial, cuando muchas actividades productivas y comerciales de fabricación en masa requerían la comprensión constante de algunas propiedades de los objetos que promovían (por ejemplo, el contenido constante de azúcar en una bebida). Al medir el índice de refracción de una solución de azúcar, fue posible, por ejemplo, determinar su concentración y, por lo tanto, mantener su nivel constante durante toda la producción. Para completar su trabajo, Abbe se basó en lentes de Carl Zeiss Optical Works de Jena (una empresa famosa hasta el día de hoy, por ejemplo, suministra las lentes para algunos modelos de teléfonos móviles producidos por Nokia y Vivo). En 1874 , publicó el folleto <i>Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs - Zerstreuungsvermögens und fester Körper und flüssiger</i> (Nuevo aparato para la determinación de la refracción - poder de dispersión y cuerpos sólidos y líquidos), que describía la construcción y el principio de funcionamiento del refractómetro que diseñó cinco años antes. Unos años más tarde, en 1881 . Zeiss comenzó a comercializar el instrumento. La</p>	





construcción básica del aparato original era similar a las versiones modernas con la diferencia de que no tenía una escala graduada. Los primeros modelos se producían únicamente por encargo, para clientes especiales y no aparecían en los catálogos de Carl Zeiss antes de 1881. En los años siguientes, nuevamente en estos registros de ventas, encontramos datos importantes sobre estos prototipos. Por ejemplo, los modelos marcados con los códigos "N° 148 Carl Zeiss Jena" y "Alemania", fueron entregados a JW Queen & Co., un importante comerciante de instrumentos en Filadelfia (EE. UU.) el 2 de julio de **1890**, quien los revendió en Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Michigan.

Las evoluciones posteriores del refractómetro se relacionaron con la practicidad, la facilidad de uso y/o la estabilidad del instrumento y, en consecuencia, el desarrollo de herramientas específicas para operadores profesionales de diferentes campos industriales.

En **1888** salió al mercado un segundo aparato, de nuevo basado en el ángulo crítico, el creado por Carl Pulfrich (1858-1927), diferente al de Abbé, especialmente indicado para medir el índice de refracción de líquidos. Inicialmente, este nuevo dispositivo fue fabricado por Max Wolz en Bonn, luego Pulfrich también se unió a Carl Zeiss.

El refractómetro como instrumento fue cambiando lentamente. Si bien el principio general fue (y sigue siendo) siempre el mismo, con el tiempo se desarrollaron nuevos modelos para aumentar la precisión de las mediciones. De los cambios importantes, uno de los más significativos fue la introducción de prismas de temperatura con camisa, que tuvo lugar alrededor de **1893**. La tecnología siguió progresando.

La situación cambió con la Primera Guerra Mundial, cuando otros fabricantes, alemanes y no alemanes, comenzaron a comercializar refractómetros Abbé. Las razones fueron diferentes: una fue la transferencia de patentes a nuevos propietarios como parte de las reparaciones de guerra alemanas, la otra fue económica, las empresas que durante el período de guerra se dedicaron a la producción de instrumentos ópticos para el ejército, buscaban nuevos mercados y refractómetros adaptados a su perfil de producción.

La refractometría se utilizó inicialmente en análisis químicos para determinar las concentraciones de soluciones y como ayuda en la identificación de sustancias desconocidas. Más tarde sus aplicaciones se expandieron y finalmente **se volvieron útiles también en el campo de las piedras preciosas**. El mineralogista británico Henry Miers (1858-1942), en sus conferencias para la Royal Society, en **1896**, ya subrayaba la importancia de considerar no sólo la historia o interés artístico de las piedras preciosas, sino también algunas de sus más curiosas.

Al examinar su índice de refracción y gravedad específica, Miers demostró cómo herramientas como el transportador, el refractómetro, el microscopio y el polariscopio ayudaron a **determinar la identidad de las gemas**.

1905, en Inglaterra, otro mineralogista británico. El Dr. **George Frederick Herbert Smith** (que trabajaba para el Museo Británico de Historia Natural) **produjo uno de los primeros** refractómetros gemológicos, un instrumento diseñado específicamente para medir el índice de refracción de las piedras preciosas (a este le siguió en 1907 una versión de latón más grande). Smith mejoró las herramientas preexistentes para proporcionar a la industria un medio para medir el índice de refracción de una piedra preciosa en segundos (incluso sin quitarla del engaste). Este fue un momento emocionante de innovación en el mundo gemológico. Los años posteriores a la llegada del refractómetro vieron la introducción del espectroscopio en **1907** y la creación del primer instituto/asociación de gemología, el Comité Educativo de la Asociación Nacional de Orfebres, **en 1908**, (que se convirtió en la **Asociación Gemológica de Gran Bretaña** - nombre asumido recién en 1938 - que hoy también se conoce como Gem -A),

Smith también publicó un libro innovador titulado *Gemstones* en **1912**, que ofrece el **primer texto sobre gemas** con instrucciones completas sobre cómo usar equipos especializados. Aunque la industria de la gema y la joyería era un oficio antiguo, este equipo permitía a los joyeros mirar dentro de las piedras y estos años marcan los primeros avances en la gemología práctica.

Después de la **Primera Guerra Mundial**, los alemanes se vieron obligados a pagar reparaciones de guerra, algunas de las cuales requirieron la transferencia de patentes y diseños de equipos fabricados por la industria alemana a empresas estadounidenses y británicas.





	<p>Los dispositivos ópticos producidos en las fábricas de Carl Zeiss en Jena, incluidos los refractómetros Abbé y Pulfrich, fueron puestos a disposición por Bausch & Lomb (EE. UU.) y Adam Hilger (Reino Unido), mientras que muchas empresas que durante la guerra se habían dedicado a la producción de dispositivos ópticos instrumentos para el ejército con el fin de los conflictos buscaron nuevos mercados. Los refractómetros se ajustan bien a su perfil de producción, lo que llevó a la producción de muchos modelos nuevos.</p> <p>La creciente importancia de la identificación del refractómetro en el mundo de la gemología llevó a la introducción, en 1925, de un nuevo modelo, diseñado por el famoso joyero-gemólogo BJ Tully. Esta versión utilizó un hemisferio de vidrio giratorio.</p> <p>En 1931, Robert Shipley, habiendo recibido el Diploma de Gemología de la Asociación Gemológica Británica (1929), a través de un curso por correspondencia en los Estados Unidos, fundó el Instituto Gemológico de América (GIA). A mediados de la década de 1930, se unió a él su hijo mayor, Robert Shipley Jr, quien ayudó a desarrollar una serie de equipos de prueba de gemas que incluían un microscopio, un colorímetro de diamante, un nuevo refractómetro y un polariscopio. En los años de depresión de la década de 1930 en el Reino Unido, Basil Anderson y CJ Payne investigaron varias técnicas de prueba/identificación de gemas. En particular, desarrollaron una versión experimental actualizada del refractómetro de Tully y formularon un nuevo líquido de contacto (una solución de azufre y tetrayodoetileno en diyodometano) que hasta el momento fue utilizado en todo el mundo gemológico. Tras los intentos fallidos de <i>Rayner Optical Company</i>, fabricante del refractómetro Tully, de fabricar el prisma hemisférico de un material más resistente que el vidrio, crearon una versión de prisma truncado y la insertaron en un pequeño instrumento diseñado por Rayner. El cambio de un hemisferio a una "mesa" de refractómetro en forma de prisma permitió un modelo de vidrio estándar menos costoso. Este diseño se convirtió en la base de todos los futuros refractómetros de Rayner. En 1936, el modelo Rayner valía 65 dólares (en EE. UU.) mientras que el Tully valía el doble, 125 dólares. Según la American Gem Society (AGA), esta última era más grande y daba resultados más precisos (fuente: revista G&G del invierno de 1936).</p> <p>La fábrica de Zeiss en Jena produjo refractómetros hasta su destrucción por los bombardeos aliados durante la Segunda Guerra Mundial. Al final del conflicto, Alemania estaba dividida, lo mismo le pasó a Carl Zeiss. La fábrica de Jena estaba ubicada en la zona rusa, los rusos ocupantes trasladaron la mayoría de las fábricas y equipos Zeiss existentes a la Unión Soviética, junto con documentos y planos. Entonces, la parte occidental de la empresa comenzó a trabajar en un nuevo dispositivo: un nuevo refractómetro que usaba un solo telescopio tanto para posicionar el límite entre las áreas claras y oscuras como para leer el índice de refracción, lo que lo hacía mucho más fácil de usar.</p> <p>El Dr. Herbert Smith, presidente de Gem -A de 1942 a 1953, desarrolló, durante el mismo período, el nuevo modelo Herbert Smith que mejoró el instrumento más allá del reconocimiento y proporcionó a la industria un medio para determinar el índice de refracción de una piedra preciosa en segundos. (sin siquiera tener que quitarlo de la configuración). Desde entonces, no ha habido grandes cambios en la tecnología de estos dispositivos. La noticia más importante en la industria fue la entrada en el mercado de modelos chinos a partir de principios de la década de 2000. Algunas de estas herramientas, incluso las más pequeñas, pueden costar entre \$ 70 y \$ 100, incluido el líquido RI. La mayoría dan resultados que no siempre son fiables, sin embargo algunas empresas (como Fable por ejemplo) han creado instrumentos con nuevos diseños (y no basados en dispositivos ya existentes), que compiten con los de asociaciones más reconocidas por su menor coste. .</p>
Leyes científicas de referencia	<p>Historia de la teoría:</p> <p>el gran astrónomo y geógrafo Ptolomeo (100-170 dC) fue uno de los primeros eruditos en intentar comprender la luz y cómo variaba su trayectoria en el cielo. Entendió correctamente que el paso a través de masas atmosféricas de diferentes densidades influyó en este fenómeno.</p> <p>El mérito del descubrimiento de la ley de la refracción, durante mucho tiempo se atribuyó a Willebrord Snellius (1580-1626), quien la derivó utilizando métodos trigonométricos en 1621. Sin embargo, estudios recientes indican que esta ley fue descubierta casi 600 siglos antes, durante la edad de oro islámica de Bagdad, por un científico llamado Ibn Sahl (Abu</p>





Sad Al Alla Ibn Sahl , 940–1000 asociado con la corte abasí). De hecho, en **984 Ibn Sahl** escribió el tratado " *Sobre espejos y lentes ardientes* ". En él, el erudito árabe expone su comprensión de cómo los espejos y lentes curvos doblan y enfocan la luz. En este trabajo, a Ibn Sahl se le atribuye haber descubierto por primera vez la ley de la refracción, generalmente llamada **ley de Snell** .

Otra importante contribución provino del matemático, astrónomo y físico árabe Hasan Ibn al - Haytham , latinizado en **Alhazen** (965-1040), definido como "el padre de la óptica moderna". Él también estudió los principios de la percepción visual y realizó estudios sobre el potencial de las esferas de vidrio para concentrar la luz para crear fuego, examinando **la doble refracción de los materiales utilizados** . Su obra más influyente de él se titula Kitāb al-Manāẓir (árabe: المناظر كتاب , "Libro de la Óptica"), escrito en el período 1011-1021, que ha sobrevivido en una edición latina. El trabajo en el mundo musulmán no terminó con ellos; tres siglos más tarde, otro erudito, Kamal al Din al - Farisi (1267-1320), pudo dar una primera explicación correcta del fenómeno del arco iris. A finales del siglo XVI, **Sir Francis Bacon** (Francesco Bacon, 1561-1626) había expresado el deseo de desarrollar un microscopio que permitiera el examen de las " **irregularidades de las gemas** ". Sin embargo, aquellos que compraban y vendían gemas todavía confiaban en su propia experiencia en el comercio, y hay poca evidencia de que estuvieran muy involucrados en la ciencia.

Habían pasado otros 300 años desde el trabajo de al- Farisi y, en **1669**, un médico danés, llamado **Bartholinus** , notó que un plato de mineral transparente de Islandia (llamado "Ice-land- spar", una forma de calcita), poseía la extraordinaria propiedad **de dar una doble imagen de los objetos cercanos** cuando se miran a través de él. Investigaciones posteriores mostraron que muchos cristales/minerales eran doblemente refractivos. La separación aparente del par de imágenes dadas por una placa cortada en cualquier dirección depende de su espesor.

También en el mismo período, **Sir Isaac Newton** (1643-1727), en 1672, describió **la refracción y la doble refracción** . Isaac Newton argumentó que la naturaleza geométrica de la reflexión y la refracción de la luz solo podría explicarse si la luz estuviera hecha de partículas, llamadas *corpúsculos* porque las ondas no tienden a viajar en línea recta. El erudito británico indicó la "proporción de los senos de incidencia y refracción" y la registró como una **relación de dos números** , como "529 a 396" (o "casi 4 a 3") para el agua. Al mismo tiempo, otro científico británico, **Hauksbee** Francis Hauksbee (o Hawksbee , 1660-1713) definió la " **relación de refracción** " y la escribió como una relación con un **numerador fijo** , mientras que el geólogo escocés James Hutton (1726-1797), lo identificó como una relación con un denominador fijo, como 1,3358 a 1 (agua) . Estas primeras concepciones de la teoría de partículas de la luz sentaron las bases para la comprensión moderna del **fotón** . Hacia fines del siglo XVII, se introdujeron otros valores nuevos e importantes que contribuyeron no solo a la comprensión de los fenómenos ópticos en general, sino también a los involucrados en los efectos de luz asociados con las piedras preciosas. Un valor numérico importante en este sentido es el vinculado a la **velocidad de la luz** en el vacío. Este valor fue determinado por primera vez en 1676 por el danés Olaf Romer (1644-1710), a partir de las observaciones astronómicas de las lunas de Júpiter. Tiene el valor inimaginablemente alto de 299.792.458 m/s (o 1.079.252.848,8 (1.070 millones) km/h): Un rayo de luz del Sol tarda sólo 8 minutos en llegar a la Tierra. La velocidad de la luz está correlacionada con el índice de refracción, cuanto mayor sea su cociente, mayor será la densidad de la piedra, más significativo será el cambio de dirección de la luz dentro de la gema y su reducción de velocidad. Para calcular su ralentización a través de las distintas piedras preciosas, basta con dividir su valor por el RI de una gema (son valores indicativos, ya que se consideran situaciones prácticamente perfectas).

A través de un **diamante** : (RI: 2.418) sobre 123.984 m/s

A través **de cuarzo** : (RI: 1.544-1.553) aproximadamente 193.041-194.167 m/s

A través **de vidrio** : (RI: 1.440-1.900) sobre 157.786-208.190 m / s

A través de **berilio/esmeralda** : (RI: 1.565-1.602) aproximadamente 187.137-191.561 m/s

A través **de corindón/rubí/zafiro** : (RI: 1.762-1.770) aprox.169.375-170.144 m/s

El siguiente paso se debe al físico francés Augustin-Jean Fresnel (1788-1827). que estudió la teoría ondulatoria de la luz. Desarrolló lo que más tarde se conoció como índice de





refracción **a partir de la ecuación de Fresnel**, para la cual el componente superficial del brillo de una piedra preciosa (es decir, su brillo o reflectividad) es proporcional a la luz reflejada desde su interior y depende del estilo de corte, que en El giro está dictado en parte por el ángulo crítico del material de la gema.

El brillo, la reflectividad o la reflectancia de una piedra preciosa pueden describirse cualitativamente como adamantino, vítreo, resinoso, etc. Sin embargo, también se pueden medir en términos absolutos a través de la relación entre la intensidad del rayo reflejado y la del rayo incidente: el grado de brillo o reflectividad de una gema (asumiendo un pulido "perfecto") se **debe principalmente a su índice de refracción**, pero es modificada por otros factores como su estructura molecular y su transparencia.

Conceptos importantes

Refracción : cambio de dirección de una onda cuando pasa de un medio a otro causado por su cambio de velocidad. Por ejemplo, las olas viajan más rápido en aguas profundas que en las cercanas a la superficie.

refracción de un material es un número adimensional que describe la **velocidad a la que la luz lo atraviesa**. se define como

$$n = c/v$$

donde **c** es la velocidad de la luz en el vacío y **v** es la velocidad de la luz a través del medio. Por ejemplo, el índice de refracción del agua es **1,333**, lo que significa que la luz viaja 1,333 veces (33 %) más despacio en el agua que en el vacío. **Aumentar el índice de refracción corresponde a disminuir la velocidad de la luz en el material.**

El índice de refracción determina cuánto se dobla o se refracta la trayectoria de la luz cuando entra en un material. Esto se describe mediante la ley de refracción de Snell, $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$, donde θ_1 y θ_2 son los ángulos de incidencia y refracción, respectivamente, de un rayo que cruza la interfaz entre dos medios con índices de refracción n_1 y n_2 . Los índices de refracción también determinan la cantidad de luz que se refleja cuando llega a la interfaz, así como el ángulo crítico de reflexión interna total, su intensidad (ecuaciones de Fresnel) y el ángulo de Brewster. El ángulo de Brewster (también conocido como ángulo de polarización) se refiere a un fenómeno óptico que lleva el nombre del físico escocés Sir David Brewster (1781–1868). El ángulo de Brewster es un ángulo particular tal que si una onda golpea una superficie según este ángulo, se encuentra que la onda reflejada está polarizada perpendicularmente al plano de propagación. Cuando la luz pasa de un material principal a otro material que tiene un índice de refracción diferente, generalmente parte de la onda se refleja en la interfaz entre los medios. Sin embargo, en un ángulo de incidencia específico, la luz con una polarización particular no puede reflejarse. Este ángulo de ataque específico se denomina "ángulo de Brewster".

Ángulo crítico: el ángulo crítico (también conocido como ángulo límite) es aquel ángulo de incidencia a partir del cual **se obtiene una reflexión interna total** (la luz permanece en el interior de una gema, por ejemplo). El ángulo de incidencia se mide en relación con la normal (la línea perpendicular a la superficie) en la interfaz entre dos medios. La importancia del ángulo crítico de una piedra preciosa tiene un aspecto que no siempre es apreciado por el propietario de joyas con piedras preciosas. Si las facetas del pabellón de una piedra preciosa se velan con grasa o jabón, el resultado será una **reducción del brillo general de la piedra**. Esto se debe a que el RI de la grasa o el jabón es mayor que el del aire y esto aumentará el ángulo crítico de la gema. El efecto es particularmente evidente en el caso de un diamante talla brillante, el **83% de cuyo brillo se deriva de la reflexión interna total**, y es una razón importante para mantener la piedra limpia.

Reflexión interna total: cuando la luz viaja de un material ópticamente más denso (con un índice de refracción más alto) a un material ópticamente menos denso (con un índice de refracción más bajo), toda la luz que alcanza el límite de los dos materiales se refleja de regreso al interior de el material más denso o refractado en el material menos denso, dependiendo del ángulo de incidencia de la luz. La refracción no ocurre cuando un haz de luz es de 90 grados (perpendicular) al área de entrada del haz.





El **refractómetro gemológico estándar** puede explotar este fenómeno porque los rayos de luz reflejados aparecerán como un área brillante en la escala, mientras que los rayos refractados no son visibles (y por lo tanto aparecen oscuros). El límite claro/oscurito que se muestra en la escala del refractómetro es **una representación visible del ángulo crítico**. Luego, el refractómetro mide el ángulo crítico entre el medio cilindro de vidrio y la gema y lo muestra en una escala graduada.

Efecto Kerez: algunas **turmalinas verdes** pueden mostrar hasta **8 bordes de sombra** (la turmalina es uniaxial y solo debe mostrar dos bordes de sombra en una lectura). Esto de acuerdo al conocimiento actual debido al calor y/o choque térmico durante el pulido de las facetas de la mesa. Se dispone de poca documentación sobre este tema. Este fenómeno lleva el nombre de CJ Kerez.

Carácter óptico

El carácter óptico es el valor relacionado con la forma en que los rayos de luz viajan en el interior de las piedras preciosas.

En los materiales de doble refracción, **la luz entrante se polariza en dos (uniaxiales) o tres (biaxiales) direcciones vibratorias**.

Esto significa que la luz se separa, dentro de las piedras, y viaja a diferentes velocidades y en diferentes ángulos (curvas) dependiendo de la dirección. Esto se debe a la densidad molecular dentro de la piedra. Esta cualidad puede ser importante en la identificación de algunas especies y permite dividir las piedras preciosas en tres categorías, indicadas como **caracteres ópticos**:

1. **isotrópico**
2. **uniaxial**
3. **biaxial**

1. Cuando en el refractómetro, después de girar la piedra en varias direcciones, se nota una lectura constante, esto indica que son piedras **isotrópicas** o **de refracción única**. En ellos, la luz viaja en todas direcciones a la misma velocidad. Se forman en el sistema cristalino cúbico (**granate, diamante, espinela**) o amorfo (que no tiene una forma regular y repetida), como el vidrio.

2. En el caso de **las piedras de doble refracción**, a veces se miden valores, uno de los cuales muestra una lectura constante y el otro una variable. Son gemas de **carácter óptico uniaxial**. Dentro de ellos, la luz viaja de manera diferente **en dos direcciones**.

Un rayo de luz (el llamado rayo ordinario (ω)) vibra en el plano horizontal, mientras que el otro (rayo extraordinario (ϵ)). vibra en la vertical, a lo largo del eje c. Este extraordinario rayo es también el eje óptico a lo largo del cual la luz se comporta como si fuera isotrópica. Las piedras preciosas pertenecientes a los sistemas cristalinos **tetragonal (zircón), hexagonal (berilio) y trigonal (corindón)** tienen un carácter óptico uniaxial.

3. **piedras doble refracción** caracterizada por dos valores ambos con lecturas variables en el refractómetro. son las gemas de dos ejes. En ellos, la luz entrante se divide, dentro de sus cristales, en dos extraordinarios rayos, denominados rayos α , γ y β .

piedras con un carácter óptico biaxial tienen **dos ejes ópticos** y son típicas de los sistemas cristalinos **ortorrómbico, monoclinico y triclinico**. Estas gemas son tricoicas (muestran 3 colores cuando se ven a lo largo de los 3 ejes cristalinos).

Alternativas al refractómetro - el Método Hodgkinson

método Hodgkinson es un interesante sistema para determinar los índices de refracción de las piedras preciosas. No depende de ningún equipo, pero requiere algo de experiencia, mucha práctica, un cuarto oscuro y una pequeña fuente de luz incandescente. Simplemente mirando a través de una piedra facetada, iluminada por una tenue fuente de luz, se puede estimar su RI moviendo la imagen que se ve en su interior: la birrefringencia se puede determinar por separación de la imagen y la dispersión por franjas de colores fantasmales en la misma. Este sistema es útil para aquellos que viajan mucho o trabajan sin equipo gemológico estándar.

Después de limpiar cuidadosamente la gema, sosténgala muy cerca, pero sin tocarla, del ojo para que pueda mirar a través de su tablero (la cara superior principal). Ver, a través





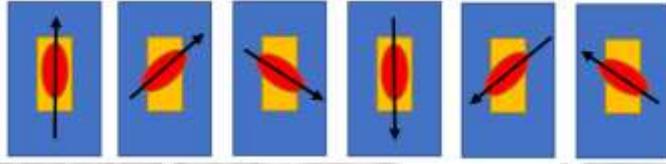
	<p>de la piedra, una fuente de luz colocada a lo lejos, como una lámpara o una bombilla. Notarás una serie de reflejos de la luz de fondo a medida que rebotan dentro de la piedra. Haga rodar la piedra alrededor de su eje e inclínela ligeramente mientras observa sus reflejos. Debido a sus propiedades refractivas, cada reflejo aparecerá como un pequeño arco iris de cierto tamaño. Según el material de la gema en cuestión, esta iridiscencia tendrá diferentes propiedades. Si la gema es isotrópica, es decir, de refracción simple, no se verá duplicación. Si, por el contrario, la gema es doblemente refractiva, es probable que se vean imágenes duplicadas o fantasma (arco iris). La distancia entre los bordes de los dobleces o los iridiscentes puede indicar la birrefringencia de la gema. Dado que la gema se puede cortar en cualquier orientación con respecto a la estructura cristalina (que es responsable de estos fenómenos), puede ser necesario examinar la piedra desde una variedad de ángulos para asegurarse de que sea doblemente refractiva.</p>	
<p>Uso</p>	<p>Un refractómetro gemológico es una de las principales herramientas para identificar piedras preciosas. Mide el ángulo crítico, el índice de refracción de piedras facetadas, de transparentes a opacas (algunos modelos), la birrefringencia y, en muchos casos, también el carácter óptico. Estos factores suelen ser decisivos pero no suficientes para garantizar una identificación eficaz.</p>	<p>Limitaciones</p> <p>Muchas gemas tienen un RI similar, por lo que este método casi nunca es suficiente para distinguir las distintas especies (sin embargo, los resultados siempre deben verificarse mediante otras pruebas). En piedras con superficies curvas los valores son aproximados. Tampoco se puede utilizar en la separación de gemas naturales de las sintéticas.</p>
	<p style="text-align: center;">Cómo utilizar</p> <p>Para usar el refractómetro:</p> <p style="text-align: center;">Superficies planas (gemas facetadas)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpie la gema con un paño y asegúrese de que el portaobjetos del instrumento esté limpio y sin manchas. • Asegúrese de que el instrumento esté en una posición cómoda para su uso, estable y nivelado. • Abra la tapa, • Coloque una pequeña cantidad de líquido IR (Índice de refracción o RI, más común) en el centro del portaobjetos de vidrio superior del refractómetro usando el gotero integrado en la botella. La gota debe ser de unos 0,5/1 mm de diámetro. Este fluido es necesario para crear un "contacto óptico" entre el vidrio y la piedra preciosa. • Luego coloque una cara pulida de la piedra sobre el vidrio graduado (usando las manos y no pinzas, para no rayar el portaobjetos), colocándola primero sobre la parte metálica y dejándola deslizar suavemente (sin ejercer presión) hacia el centro de la diapositiva, por encima de la caída de RI. Cierre la tapa del refractómetro para protegerlo de la luz extraña. • Encienda la luz integrada o preposicionada en la parte posterior del instrumento • Retire el filtro polarizador (se utilizará en un paso posterior). • Coloque la cabeza y los ojos a unos 20-25 cm del ocular, ajuste la postura y la pieza óptica para una visión óptima. • Mire a través del ocular y lea la escala en el punto de división entre la parte iluminada y la parte sombreada creada por el ángulo crítico de la gema en particular. Puede cambiar el enfoque de la imagen girando el ocular. • Si la gema se refracta individualmente, solo verá una línea que mueve cuando se gira la piedra (esta característica puede confirmarse mediante un examen polariscópico). • Registre el valor hasta el tercer decimal (los instrumentos muestran solo 2, estime el tercero a ojo cuando sea posible). • Verifique girando la gema en la misma faceta en otras 2 posiciones. Los brazos deben colocarse con los codos bien colocados, cómodos <div style="text-align: right;">  <p>no se</p> </div>	





para dar estabilidad a los movimientos y reducir el cansancio (sobre todo si hay que examinar muchas piedras).

- Si la gema es **doblemente refractiva**, lo mejor es verla subiendo y bajando con la cabeza.
- Gira la piedra, en la misma cara, con 6 ángulos diferentes (como muestra en la imagen). El valor más alto siempre tiene un tono menos se menos



- Si los 2 valores están cerca, puede usar el filtro polarizador como ayuda, girándolo hacia adelante y hacia atrás con los dedos, varias veces, mientras mira la escala, para visualizar las diferencias imperceptibles en la sombra).
- **carácter óptico** de cada piedra se puede determinar a través de esta prueba. Si solo se mueve una línea (la otra está estática), la gema es uniaxial, si ambas se mueven, es biaxial. Si se mueve con un margen más amplio, la línea inferior (la más marcada) el signo es negativo, si es la línea más clara la que más cambia de posición es positiva. Para encontrar el resultado óptimo, gire la piedra 360 grados, identificando las posiciones donde los valores son extremos (el más y el menos ancho).
- Anota las parejas de valores anotados en una hoja, eligiendo al final del proceso el mayor y el menor (con 3 decimales).
- La diferencia máxima corresponde a la **birrefringencia** de la gema.
- Asegúrate no solo de medir el IR/RI del tablero (la cara superior), sino también del pabellón (para asegurarte, por ejemplo, de que no es una piedra compuesta).
- Piedras con RI superior a 1,80 no mostrarán ninguna línea, en este caso se registrarán como OT (Over the Top, por encima del límite alto). En este caso, notará una sombra hasta el límite de la escala de lectura del líquido RI (1.785 / 1.800) o, a menudo, un ámbar con manchas irregulares de color.

superficies curvas

- Para gemas con **superficies curvas**, solo algunos tipos de refractómetros pueden identificar sus valores, a través de una prueba llamada "Spot RI" (Spot RI en inglés). Esta es una prueba más compleja y no funciona igual para todas las gemas.
- Es importante identificar la superficie más lisa y uniforme de la gema, recordando que algunas piedras (especialmente las cortadas en cabujones) pueden estar **compuestas de diferentes materiales** (con IR relativamente distintos), que se alternan en sus superficies.
- Limpiar el yeso (el procedimiento es el mismo que el anterior) y colocarlo sobre la gota de líquido RI (un poco más abundante) sujetándolo con un dedo, pero cuidando de no ejercer presión para no rayar el portaobjetos.
- Cree un punto de aproximadamente 1 mm (si el punto es demasiado pequeño o demasiado grande, los valores serán no ajustables o compensados).
- Observe la diferencia en el lado claro y oscuro del punto, coloque la línea divisoria en el centro del punto.
- El punto puede ser visible como **A.** una distinción clara (50-50), **B.** de sombra distintas o **C.** una figura que va gradualmente de un claro a uno oscuro. En cualquier caso, intenta centrar la parte entre los 2 tonos y estima el valor, considerando un margen de error dependiendo de la claridad del mismo (50-50 dará un valor más cercano al real y requerirá un redondeo menor)
- Evalúe el resultado en función de la claridad de las mediciones (si es demasiado vago, se preferirán otras pruebas).



los carbonatos





	<p align="center">(" birrefringencia / parpadeo de carbonato " o "birrefringencia/parpadeo de carbonato/parpadeo")</p> <p>Algunas gemas como (rodocrosita, calcita, mármol, etc.) contienen altas cantidades de carbonato y muestran una amplia birrefringencia . Esta característica puede ayudarlo a identificarlos más rápido. Para ello, una vez asumido que el material en cuestión pertenece a uno de los tipos de piedras que presentan esta característica, se debe utilizar un sistema ligeramente diferente al que se utiliza para medir el IR de una gema común. Usar un punto de fluido más grande y girar el filtro polarizador con una mano (por lo que se requiere una coordinación adecuada) puede inducir un "parpadeo de carbonato" si la birrefringencia es muy grande y a veces es posible una estimación aproximada de la birrefringencia. Mirando a través del ocular del refractómetro desde una distancia entre 25 y 40 cm . mueva un poco la cabeza hacia arriba y hacia abajo como si estuviera asintiendo y, al mismo tiempo, girando el filtro polarizador hacia adelante y hacia atrás con la otra mano, mire el punto líquido RI en la diapositiva del refractómetro, identifique la posición en la que el color cambia de oscuro a claro y viceversa. Moviéndose con precisión podrá observar, en condiciones ideales (con piedras con superficies bien alisadas y limpias), notará una transición de color (de rojo a verde o de oscuro a claro, según el modelo de refractómetro utilizado). en 2 zonas distantes de la refracción. A menudo, incluso los valores estimados pueden contribuir a una identificación eficaz, en combinación con el análisis visual y la verificación a través de otras pruebas.</p>
Accesorios	<p>Líquido RI (o IR) : El líquido de contacto (líquido RI) se utiliza para crear contacto óptico entre el medio cilindro y la piedra preciosa, evitando que el aire quede atrapado entre la superficie de la piedra y la herramienta.</p> <p>El líquido tiene su propio índice de refracción, que interactúa con otros materiales , por lo que la cantidad utilizada debe ser mínima, lo justo para crear una "película delgada". Con una película delgada, el impacto del líquido sigue siendo muy marginal con un efecto mínimo en los valores de lectura.</p> <p>Las dos lecturas resultantes son 1. de la reflexión interna total y 2. del límite líquido-piedra (que debe ser mínimo, como si no se usara líquido). Es por eso que también ve una lectura tenue cerca del índice más alto de la escala en el refractómetro, esta es la lectura líquida. El índice de refracción del líquido establece el límite (especialmente para valores altos) dentro del cual se pueden probar piedras en el refractómetro. Por lo general, este valor es de alrededor de 1,79 , pero muchos tienen un índice de refracción de 1,81 . Muchas de las gemas comerciales caen dentro de este límite (a excepción, por ejemplo, de los diamantes en algunos granates y muchas piedras sintéticas) No es posible medir el RI de las piedras que tienen un valor mayor que el del líquido utilizado . Las piedras con un IR más alto que el líquido le dan una "lectura negativa o no indicativa". (a menudo esto se indica con el acrónimo OT - Over the Top, por encima del máximo).</p> <p>Por lo general, se agregan sales particulares para aumentar el RI. Su capacidad para aumentar el RI generalmente está limitada por su solubilidad en el solvente, por lo que el RI de una solución dada puede cambiarse del líquido puro (por ejemplo, agua con RI de 1.333) hasta el máxima obtenible de una solución salina saturada. Sin embargo, esta solubilidad puede verse alterada por otros aditivos, como los éteres de corona.</p> <p>Están disponibles líquidos con un IR más alto , pero son tóxicos y, por lo tanto, no son adecuados para personal cauteloso y no capacitado. Están reservados para laboratorios especialmente equipados y también necesitan un medio cilindro especial que tenga un IR más alto que el líquido.</p> <p>Los líquidos deben protegerse de la exposición a la luz fuerte (especialmente para el tipo 1.81) y deben usarse con relativa rapidez ya que cristalizan en unos pocos minutos. Si se dejan en el portaobjetos del refractómetro durante demasiado tiempo, pueden secarse y su extracción puede dañar el instrumento.</p> <p>Las composiciones químicas de los líquidos son: 1.79 - Solución saturada de azufre y diidrometano 1.81 - Solución saturada de azufre, diidrometano y tetraidioetileno</p> <p>Es importante lavarse las manos después de tener contacto físico con estos líquidos, no solo por el olor.</p>





	<p>Tipos de luz: La iluminación adecuada es una de las características clave cuando se utiliza el refractómetro. La luz blanca se puede usar para refractar piedras preciosas individualmente o para causar una primera impresión. Sin embargo, en el caso de las gemas de doble refracción, para obtener valores precisos, se debe cambiar a una fuente de luz de sodio. La lectura de los valores de RI relacionados con las gemas con doble refracción pueden superponerse fácilmente al recibir luz blanca, lo que dificulta la lectura correcta.</p> <p>Por esta razón, el estándar de iluminación para todas las gemas (con una precisión de 0,001) decimal es luz amarillo monocromático con una longitud de onda de aproximadamente 589,3 nm. Esta fuente de luz está históricamente ligada a los inicios de la práctica cuando, a un costo muy bajo, este color podía producirse fácilmente quemando sal de mesa sobre una vela.</p>	
Precauciones	<p>Evite rayar el vidrio.</p> <p>Evite inhalar o tragar líquido RI. Asegúrese de realizar los análisis en áreas adecuadamente ventiladas (especialmente si tiene que realizar numerosas pruebas).</p> <p>Evite dejar que el líquido RI se seque en el portaobjetos (límpielo con cuidado con un paño suave en uno o dos minutos después de aplicar el líquido).</p> <p>Si el líquido RI cristaliza en la superficie del vidrio, no lo retire directamente, pero agregue más líquido para disolver el presente.</p> <p>Para algunos instrumentos, puede ser necesario reemplazar periódicamente la diapositiva si se vuelve permanentemente amarilla o rayada.</p> <p>Mueva las gemas en la diapositiva verticalmente a lo largo de la sección alargada de la diapositiva. Si el mismo se rayara accidentalmente, las señales verticales tienen menos impacto en el análisis del IR que las horizontales (paralelas a las medidas de los valores).</p> <p>Deseche los paños utilizados para limpiar gemas y herramientas en recipientes adecuados. Revise el instrumento periódicamente.</p>	
Activar	<p>Aparato (refractómetro) equipado con ocular y medio cilindro con soporte de vidrio (donde se coloca la piedra) y una tapa para proteger la parte de visualización cuando el instrumento no está en uso.</p> <p>Filtro polarizador (normalmente unido al ocular)</p> <p>Fuente de luz (si no está ya incluida en el instrumento).</p> <p>Líquido RI (requerido para el modelo)</p>	
Unidad de medida	<p>El refractómetro gemológico mide el índice de refracción de piedras facetadas y no facetadas (algunos modelos), de transparentes a opacas, tanto sueltas como montadas (donde existe la posibilidad práctica de hacerlo), generalmente entre los valores de 1,30/1,35 y 1,79/1,81.</p>	
Tipos (para aplicaciones en gemología)	<p>Las piedras preciosas son a menudo (pero no siempre) minerales transparentes y, por lo tanto, pueden examinarse mediante métodos ópticos. El índice de refracción es una constante material, que depende de la composición química de una sustancia. El refractómetro se utiliza para identificar materiales de gemas midiendo su índice de refracción, una de las principales propiedades utilizadas para determinar el tipo de piedra preciosa. Debido a la dependencia del índice de refracción de la longitud de onda de la luz utilizada (es decir, dispersión), la medición normalmente se realiza en la longitud de onda de la línea D de sodio (NaD) de ~ 589 nm. Esto se filtra con la luz del día o se genera con un diodo emisor de luz (LED) monocromático. Algunas piedras como rubíes, zafiros, turmalinas y topacios son ópticamente anisotrópicas. Demuestran birrefringencia basada en el plano de polarización de la luz. Los dos índices de refracción diferentes se clasifican utilizando un filtro de polarización. Los refractómetros de piedras preciosas están disponibles como instrumentos ópticos clásicos y como dispositivos de medición electrónicos con pantalla digital.</p>	
Modelos famosos	<p>El refractómetro Duplex / Duplex II (GIA) - EE. UU.</p> <p>Fabricado en EE. UU., este refractómetro tiene una ventana de visualización extragrande. Simplifica la búsqueda de sombras.</p> <p>No hay fuente de luz incorporada, se debe usar una externa. (precio 2022 - desde 1000 + €)</p>	<p>Costos</p> <p>Los modelos para aficionados se pueden comprar en</p>





El refractómetro GemPro - India

Rival del dúplex II del GIA. con lente acromática removible + ocular que permiten la medición del RI **de gemas con superficies curvas** y semicilindro (hecho de vidrio especial) resistente a químicos y antivaho con filtro monocromático, líquido RI e iluminación externa (Maglight). (precio 2022 - 600 + €)

El refractómetro Eickhorst - Alemania

Este instrumento ofrece una escala calibrada ligeramente más precisa que la mayoría de los instrumentos del mercado (0,005 frente a 0,01). Eickhorst ofrece el modelo GemLED (precio 2022 - 1.000 + €) que se puede combinar con el Docking Station 7 (soporte ligero, precio 2022 - 500 + €)

El refractómetro Kruess - Alemania

La empresa ofrece modelos portátiles y estándar, con o sin iluminación incorporada. (precio 2022 - de 500+€ a 1.100+€)

Refractómetro The Fable - China

Equipado con un vidrio de soporte CZ (alta dureza, con muy baja dispersión), peso ligero y posibilidad de probar **gemas con superficies curvas**. Batería de bajo consumo con diseño único y luz interior. No es una copia de otros modelos (precio 2022 - 300 + €).

Refractómetro de gemas -A - Reino Unido

El modelo propuesto por el Instituto Gemológico de Gran Bretaña. (precio 2022 - desde 500 + €, incluido en RI líquido)

refractómetros digitales

Estos dispositivos son simples y sencillos, sin embargo, no siempre son confiables y deben usarse con conocimiento de los límites asociados con los modelos individuales y con la precaución necesaria.

medidor de índice de refracción Presidium II (PRIM II) - Singapur

Refractómetro electrónico único, que ofrece la posibilidad de medir el RI de piedras con alto índice de refracción como diamantes, moissanitas, etc., pudiendo medir un amplio rango de **RI, desde 1,00 hasta 3,00** . Los valores se muestran instantáneamente en una pantalla LED digital y **no requiere líquido RI**. (precio 2022 - 300 + €).

Refractómetro digital GEM-N-EYE - EE. UU.

El Gem -n-Eye III es un refractómetro digital equipado con una pantalla OLED fácil de leer y se ha actualizado internamente con capacidades de procesamiento avanzadas para una mayor precisión en las mediciones. No requiere líquido RI y proporciona una lectura digital en forma de índice de refracción con 3 decimales, junto con los nombres de las piedras preciosas que comparten ese valor. (precio 2022 - 370 + €).

A diferencia de un refractómetro de ángulo crítico tradicional, el Gem -n-Eye no requiere fluidos tóxicos y proporciona una lectura digital en forma de índice de refracción con 3 decimales, junto con los nombres de las piedras preciosas que comparten ese valor RI.

refractómetro de Rayner Dialdex - Reino Unido - discontinuado

Este refractómetro ofrecía una forma de leer los valores de RI que era diferente de la mayoría de los refractómetros estándar porque no tenía una escala graduada interna. La medición se realizó, en cambio, a través de una ventana con un área brillante (de iluminación externa) que debía alinearse con una banda negra vertical que aparecía al girar una rueda en el costado del instrumento. La lectura se realizó en la rueda calibrada (usada - 400 + €).

refractómetro Topcon - Japón - discontinuado

Robusto y fiable, pero no tiene fuente de luz interna. Era uno de los refractómetros más caros que existían.

varias plataformas de comercio electrónico por alrededor de **100 USD** . Generalmente pequeñas en tamaño y no siempre confiables, estas herramientas son de China. No puedo probar gemas con superficies curvas.





	Nota adicional Hay muchas otras empresas menos conocidas que fabrican estas herramientas. La lista que se muestra aquí solo pretende ser indicativa de algunos modelos comúnmente vendidos a quienes se ocupan de la gemología (expertos y no expertos).	
Innovación	Se esperan futuros modelos En las últimas décadas, la ciencia de los refractómetros ha perdido el impulso innovador que condujo a su desarrollo hace más de un siglo. Los gemólogos todavía se basan en modelos creados a finales del siglo pasado. A pesar de la entrada de China en el mercado, todavía no hay modelos innovadores significativos (2022).	Mejorar Los análisis gemológicos que utilizan esta herramienta son a menudo bastante forajidos. Las versiones electrónicas aún no son confiables.
Datos curiosos	Los refractómetros modernos son de 4 tipos principales : Tradicionales manuales, digitales de mano, de laboratorio y de proceso online. Estas herramientas no solo se utilizan para distinguir piedras preciosas, sino en muchas otras áreas, principalmente en el campo de la producción de vino y en las cervecerías, pero también se utilizan en varios campos como el tostado. Por ejemplo: En la agricultura de acuarios marinos , se utiliza un refractómetro para medir la salinidad y la gravedad específica del agua. En la industria automotriz , se utiliza un refractómetro para medir la concentración del refrigerante. En la industria mecánica , se utiliza un refractómetro para medir la cantidad de refrigerante concentrado que se ha agregado al refrigerante a base de agua para el proceso de fabricación. En la elaboración de cerveza casera , se utiliza un tipo de refractómetro para medir la gravedad específica y determinar la cantidad de azúcares fermentables, antes de la fermentación, que finalmente se convierten en alcohol. Algunos refractómetros son utilizados por aficionados para hacer conservas , mermeladas y miel. En apicultura, se utiliza un modelo de este aparato para medir la cantidad de agua en la miel. Para medir la concentración de leche de soya , que se usa para hacer bebidas energéticas, se puede usar un refractómetro especial para leche de soya. El refractómetro para salmueras . equipado con una escala de 0 a 35%. es adecuado para la preparación de salmueras en productos horneados, para carnes a la parrilla y quesos salados (por ejemplo , Jadel , mozzarella, queso feta griego, queso de los Balcanes, queso búlgaro, queso Bjalo sirene, queso blanco, queso para ensalada, queso de oveja) El mismo tipo de La herramienta se puede utilizar para el mantenimiento de carreteras en invierno (soluciones salinas para derretir el hielo). Otros modelos incluyen la medición de agua para lavar mariscos , para preparar soluciones de inhalación, para hacer mezclas de café, para diagnóstico de drogas, en medicina veterinaria, en mantenimiento de acuarios y en agricultura.	

