



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ARTES PLÁSTICAS

Título:

“LA CIENCIA FOTOGRÁFICA”

**Tesis que para obtener el título de licenciado en
Comunicación Gráfica.**

293232

Presenta:

Daniel Herrera Castillo

Director de tesis:

Lic. Arturo Rosales Ramírez



**DEPTO. DE ASESORIA
PARA LA TITULACION**

**ESCUELA NACIONAL
DE ARTES PLÁSTICAS
XOCHIMILCO D.F.**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos:

A mis padres, hermanos y familiares.

A la UNAM, que me abrió las puertas de un mundo fascinante, el del conocimiento.

A todos mis amigos (as), con quienes compartí momentos muy gratos y que me ayudaron de una u otra forma. En especial a Cristóbal Henestrosa Matus que corrigió pacientemente cada uno de mis errores ortográficos.

A mis maestros, Arturo Rosales Ramírez y a Gale Lynn Glynn.

Al biólogo Oscar A. Chapa Fernández del Instituto de Astronomía de al UNAM, al ingeniero Gabriel Orizaga de Canon México y al doctor Luis Fernando Magaña Solís director de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

A todos GRACIAS.

2 Delimitación

Este proyecto sólo pretende enunciar *Grosso Modo* los aspectos científicos y tecnológicos que posibilitan el desarrollo de una buena toma fotográfica, conocimientos que nos permitirán decidir por ciertos Instrumentos, tecnologías o procesos para lograr el perfeccionamiento de nuestro trabajo, sin inmiscuirse en complejas fórmulas matemáticas o químicas.

De ninguna manera esta tesis pretende ser un trabajo científico, ni sujetar como verdades absolutas lo que aquí se vertiera, ya que ello sería menester de otro tipo de Investigación, y de un autor con preparación diferente.

El análisis e investigación, que incluirá a ciertos productos de marcas comerciales de equipo o productos fotográficos, está sujeto a juicio y conveniencia del autor para el desarrollo de su investigación, sin que esto establezca nexos o intereses de ninguna índole con las marcas o empresas aquí mencionadas.

Objetivos

La presente tesis tiene como objetivos:

Documentar el proyecto de investigación titulado “Fotografía: Principios Básicos” inscrito al PROBETEL.

Crear conciencia de la importancia que tiene el conocimiento de los aspectos tecnológicos que influyen en el proceso fotográfico.

Despertar el interés por la comprensión de los temas científicos que influyen en la fotografía.

Enunciar la importancia que tiene la fotografía para el desarrollo y realización de la investigación científica.

Metas del proyecto

Introducir al conocimiento y comprensión de los aspectos de la física que intervienen en la toma fotográfica (óptica y mecánica).

Introducir al conocimiento y comprensión de algunas de las “nuevas tecnologías” que tienen aplicación en el campo de la fotografía

Aclarar la importancia que la fotografía ha tenido en el desarrollo y evolución de la ciencia y la tecnología.

Indice

Introducción	6
1. Contribuciones de la fotografía a la ciencia	13
2. Óptica fotográfica	
Luz, espectro y longitud de onda	23
El foton	27
Fuentes de luz	30
Objetivos o lentes (principios)	33
El cristal óptico	34
Punto de foco	35
Distancia focal	37
Números f	39
Profundidad de foco	41
Primeros objetivos fotográficos	41
Lentes gran angular	44
Teleobjetivos	45
Objetivos de foco variable o lentes Zoom	46
Formas de enfoque	47
Defectos y aberraciones	48
Aberración esférica	51
El coma	53
El astigmatismo	54
Curvatura de campo	55
Distorsión	56
Aberraciones cromáticas	56
Aberración axial	57
Aberración cromática lateral	59
Luces parásitas	59
Lentes Canon	61
Lentes esféricos	62
Correcciones cromáticas	65
Criterios UD	66
Corrección de reflejos y luces parásitas	67
Control de la distorsión	68
Sistema IS	70
3. Mecánica fotográfica	
Tipos de cámara fotográfica	75
Avance de la película	82
Diafragmas	84

Obturadores	86
Obturadores centrales	88
Obturadores de plano focal	90
Sistemas reflex y SLR	95
4. Exposímetros (foto sensibilidad)	
Exposímetros	99
Exposímetros externos	101
Exposímetros internos	103
Exposímetro y exposición	105
Fundamentos científicos del exposímetro	106
El silencio	110
6. Química Fotográfica	
Química fotográfica	107
Emulsiones fotográficas	118
Aspectos fisicoquímicos de las emulsiones	120
Imagen latente	122
El revelado	124
Fijación de la imagen latente	129
Conclusiones	133

INTRODUCCIÓN

Al reflexionar en torno a la importancia de la fotografía hay que tomar en cuenta los distintos puntos desde los que se puede abordar: estéticos, técnicos, científicos, antropológicos, sociológicos, artísticos, etc. Del enfoque que se tome, se derivará el rumbo del análisis. Sin embargo, en todos ellos se manifiesta un parámetro fijo: la semántica de la palabra “fotografía”, y es con ella como iniciamos.

La palabra compuesta fotografía proviene de “foto”; que se refiere a la luz (derivada de la palabra foton, que es la partícula mínima de energía luminosa), y “grafos” que significa escritura, por lo que en términos generales fotografía quiere decir “escribir con luz”. Ahora bien, desde los temas concretos que nosotros tocaremos (ciencia y tecnología), analizaremos las “bases” científicas y tecnológicas que posibilitan la escritura con luz.

La luz es el tema básico de esta tesis y a lo largo de ella estudiaremos el comportamiento y composición de los fenómenos luminosos que repercuten en el proceso fotográfico, el que entenderemos como el proceso de aprehensión de imágenes luminosas en materiales fotosensibles. ¿Qué es la luz?, es una pregunta que se puede responder de muchas formas; la física moderna la describe como un fenómeno electromagnético que presenta un comportamiento dual, onda-partícula. Además, presenta características particulares según la rama de la ciencia que la estudie. Por lo general, será la óptica quien la estudie con más profundidad, mas ello no excluye el que otras disciplinas de la ciencia como la química, la mecánica cuántica, la biología y otras, aborden el tema en sus propias investigaciones, y es gracias al desarrollo que cada una de esas disciplinas ha tenido como surge la tecnología, una herramienta que facilita la labor de investigación de los científicos. Una de esas tecnologías fue la fotografía, que ha evolucionado a la par de la ciencia, enriqueciéndose con los adelantos científico-tecnológicos de diferentes disciplinas. La evolución en la investigaciones en óptica ha propiciado el perfeccionamiento de los objetivos fotográficos, partiendo desde un simple orificio, a juegos complejos de lentes que generan imágenes más precisas, nítidas y luminosas. De la cristalografía en sus aplicaciones ópticas han surgido cristales nuevos, algunos de ellos artificiales, para la construcción de objetivos libres de aberraciones ópticas, defectos producidos por los fenómenos de refracción,

difracción y reflexión que sufre la imagen al atravesar una superficie más densa que la de su medio inicial de propagación (el aire).

Fue la mecánica cuántica la que determinó el comportamiento corpuscular de la luz, pues descubrió los fotones o cuantos de energía luminosa, a quienes seguiremos a lo largo de esta tesis, fueron los estudios de estas partículas y su relación con la conducción de energía eléctrica en cuerpos sólidos, los que propiciaron el desarrollo de instrumentos fotosensibles que miden la cantidad de luz, conocidos en la fotografía como exposímetros, mismos que son casi indispensables en las tomas fotográficas que exigen suma precisión.

La mecánica clásica ha permitido la construcción de dispositivos interruptores e interceptores de los rayos luminosos que forman la imagen. En ella se basan todos los principios técnicos de construcción de las cámaras fotográficas, y hoy con el desarrollo de los micromotores electrónicos ha llegado a grados de perfección sublimes, que permiten velocidades de obturación de 1/8000 de segundo.

Y la química, que junto con la óptica dieron inicio a la fotografía de la forma en que hoy la conocemos. La óptica fue la luz (foto), la química fue la escritura (grafía). La química por años ha determinado en gran medida la evolución de esta tecnología, al desarrollar emulsiones fotosensibles, rápidas capaces de crear imágenes nítidas y duraderas, tanto en blanco y negro como a color, y en regiones del espectro luminoso más allá del alcance del ojo humano, como los rayos X o el infrarrojo. Es la química fotográfica la que acerca al fotógrafo al mundo de la ciencia, contribuyendo a la formación del profesional en la creación de la imagen.

La evolución de la tecnología fotográfica ha repercutido bastante en la creación de imágenes, no debemos olvidar que el pasado siglo fue en el que se crearon más imágenes de toda la historia del hombre. Y que aspectos estrictamente tecnológicos influyeron en el desarrollo de corrientes específicas como el pictorialismo, el paisaje o el fotoperiodismo que debieron algunas de sus características particulares a cualidades de las emulsiones fotográficas o a la óptica de sus cámaras.

La fotografía a servido como herramienta propagandística, siendo en las dos guerras mundiales cuando se aprecio su gran poder de penetración en las masas; el fotoperiodismo en cualquiera de sus modalidades (nota roja, social, documental, deportes, de guerra etc.) ha creado imágenes que han influido en la concepción que el hombre contemporáneo tiene de su sociedad. Tal vez sea esta corriente fotográfica la que más rápido ha asimilado la evolución tecnológica de la fotografía pues, este tipo de fotógrafos son los que cuentan por lo general con el equipo más adelantado, desde los años de las primeras Leica reflex hasta hoy con las cámaras digitales, ello les ha significado una gran ventaja en el desarrollo de su profesión.

Actualmente la imagen fotográfica es fundamental en la publicidad, nuestra urbe como muchas otras esta invadida de imágenes, y la gran parte son fotografías, por ello el papel tan importante que le asigna diseñado gráfico o la comunicación. En el arte, después de una lucha absurda, se a colocado como un medio más de expresión con que el creador cuenta, entendiendo que el valor de una obra va más aya de la herramienta o del objeto.

Pero no únicamente ha existido una alimentación unidireccional. También la ciencia ha recibido contribuciones por parte de la fotografía. No debemos olvidar que la fotografía surgió por y para científicos, y que posteriormente se difundió en medios distintos como el arte y la comunicación. Aun cuando muchos se valen hoy de esta herramienta, desconocen las aportaciones que ella ha dado, y por lo tanto bien valdrá la pena detenernos un poco en este punto.

Hipótesis

“Si algunas disciplinas de la ciencia, como la óptica, la mecánica y la química, entre otras, son de gran repercusión en el proceso fotográfico, y si de estas mismas disciplinas es que surge y perfecciona la tecnología fotográfica, entonces, para el comunicador gráfico, o cualquier profesional de la imagen que se apoye en la fotografía para el desarrollo de su actividad, será de vital importancia el conocimiento y la consideración de los avances científicos y tecnológicos, relacionados con su labor fotográfica, a fin de que pueda controlar, de manera optima, el resultado y la calidad final de su trabajo”.

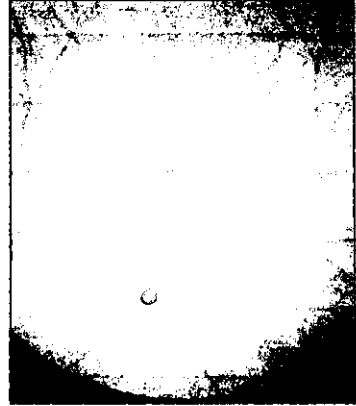
Contribuciones
de la **fotografía**
a la **ciencia**

Contribuciones de la Fotografía a la ciencia

Lo más común es ver los adelantos de la ciencia de manera aislada, sin ninguna conexión con nuestro mundo cotidiano, un error que causa el desinterés por los temas científicos en la mayoría de la población de nuestro país. Aun en las esferas más "altas", como las del gobierno, se desprecia a la ciencia como una herramienta del desarrollo, pese a que se ha comprobado históricamente que el camino de la ciencia y de la tecnología ha hecho salir de la mediocridad a pueblos que se encontraban en peores condiciones que la nuestra. Como si nuestros dirigentes, a los que legamos nuestras vidas, no quisieran, porque no les conviene, impulsar el desarrollo de la nación. Por desgracia tal parece que el pensamiento pragmático utilitarista es la directriz: negándose a planear un futuro basado en la educación y la ciencia. El mal, por desgracia, no solo es privativo de nuestro país, ya que en naciones desarrolladas, y aun cuando muchas de ellas le deben su desarrollo a la ciencia, se recortan cada día más los presupuestos a la investigación y educación científica; que no es lo mismo que tecnológica, y mucho menos que la técnica, que únicamente crea autómatas y en general a todo aquello que no reditúe ganancias inmediatas. Retomando la idea de Carlos Chimal en su libro, *Las entrañas de la materia*; los gobiernos llegan a absurdos como pensar el por qué deben de invertir varios millones de dólares en investigaciones de Física de altas energías, si con unos cuantos millones se pueden financiar investigaciones biológicas. *"Algunas veces se oye la voz de alguien que dice: «Muy bien han mantenido bajo control su presupuesto, pero aun así es más barato apoyar a un biólogo que a un físico de altas energías; por ello sólo debemos financiar proyectos biológicos». Siguiendo este camino acabaríamos haciendo teología, o terminaríamos como el personaje de (Georges) Courteune, que dice: ¿por qué debo pagar 15 francos por un paraguas si puedo comprar una cerveza por diez centavos?, (del capítulo 5, el apartado titulado Pensamientos nocturnos de un físico cuántico, Steven Weinberg)."*

Ahora bien, ¿qué relación tiene esto con el tema que da nombre a este capítulo? Como ya hemos mencionado, la fotografía es una tecnología descubierta y desarrollada por y para la ciencia. *"En 1725,*

La fotografía es la retina del científico



Retina del ojo humano

I. Carlos Chimal. Las entrañas de la materia. México, Alfaguara, 1998, p.207



Movimiento de la
rueda de un carruaje

el profesor J. Schulze de la universidad de Alemania de Altorf, notó que una botella que contenía ácido nítrico, plata y yeso, se oscurecía en la parte que daba a una ventana soleada. [...] Colocando recortes de papel perforado alrededor de la botella, Schulze pudo llegar a imprimir letras y palabras en el sedimento del yeso".²

Como se sabe, los primeros fotógrafos eran personas versadas en la ciencia, y pronto la comunidad científica tomó a la incipiente fotografía como un pasatiempo; posteriormente llegarían quienes lucrarán con ella. Una vez que la fotografía se encontró en un nivel aceptable se convirtió en una extensión de los ojos del científico; le permitió observar fenómenos que por su rapidez, lentitud, dimensiones (tamaño o distancia) o naturaleza, eran imposibles de ser detectados a simple vista.

En la física, la fotografía ha sido una herramienta invariable. El astrónomo francés Janssen dijo alguna vez, durante la presentación ante la sociedad francesa de fotografía de su invento "el revolver fotográfico", **La fotografía es la retina del científico*, este sirvió para realizar estudios sobre la mecánica del movimiento.

*"El Scientific American, al señalar la posibilidad de que las fotografías o reproducciones publicadas por Muybridue, pudieran ser usadas en un zoótropo, retomaba el argumento sobre estas instantáneas para subrayar que proporcionaban «una demostración física de la verdad establecida por las matemáticas»; es decir, «La primera demostración visual del hecho controvertido de que la parte superior de la rueda de un carruaje, mientras corre sobre el terreno, se mueve más rápidamente que la parte inferior». La evidencia era deducida por la claridad de la imagen fotográfica que en el tercio inferior de la rueda parecía detenida, mientras que en la parte superior resultaba movida."*³

En la mecánica hubo la fascinación por fotografiar diferentes movimientos, algunos eran del movimiento humano, y posteriormente serían aprovechados en la construcción de prótesis para algunos sobrevivientes de la primera guerra mundial, que habían sido mutilados.

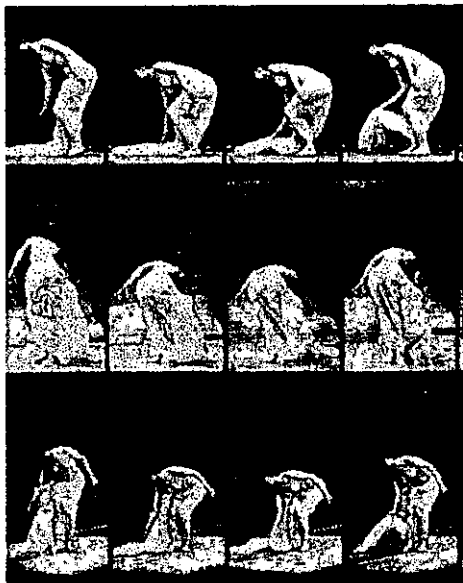
En otro lado de la ciencia, mientras el físico alemán W. Conrad Röntgen

2. Michael Langford.
Tratado de fotografía.
Barcelona. Ediciones
Omega, 1976, p. 173.

3. Virgilio Tosi.
*El cine antes de los
Lumiere*. México.
UNAM, 1992, p. 162

*Janssen presentó el
7 de abril de 1876 su
revolver fotográfico.

realizaba experimentos con tubos de Crookes (tubos de rayos catódicos) hizo un descubrimiento muy importante. *“En 1895, dejó unas placas fotográficas nuevas cerca del tubo muy bien cubiertas. Cuando quiso usarlas, encontró veladuras. Repitió el hecho y encontró lo mismo. Había una evidente relación entre el tubo de Crookes y las manchas en las placas, Una noche Röntgen regresó a su laboratorio, pues había olvidado apagar el tubo. Al encontrar en medio de la obscuridad notó un resplandor... Röntgen comprendió que este resplandor era igual al de las placas veladas; rayos invisibles de naturaleza desconocida salían del tubo de Crookes. Los bautizó como «Rayos X».”*⁴



El descubrimiento de los rayos X fue de gran importancia para la ciencia, debido a su poder de penetrar (traspasar) fácilmente muchos objetos, lo que permitió investigar la estructura interna de la materia (como el cuerpo humano), además de su capacidad de electrificar el aire. Los rayos X también dejaron en claro que existirán fenómenos lumínicos invisibles para el ojo humano, pero que a través de la fotografía podían ser estudiados, como también ocurre con los rayos infrarrojos (de gran importancia en la medicina), rayos ultravioleta, rayos beta y gamma etc. *“«Comentaba Röntgen»; ¡de especial importancia, por muchas razones es que las placas fotográficas sean sensibles a los rayos X. Ello nos permite determinar muchos fenómenos de manera más exacta y evitar fácilmente el engaño. Por eso, siempre que fue posible, he verificado mediante la fotografía todas las observaciones de importancia que he hecho a ojo con la pantalla fluorescente!”*⁵

Además de los rayos luminosos de naturaleza electromagnética la fotografía ayudó a descubrir un fenómeno muy importante para la física moderna. En 1896 el físico Henry-Antoine Becquerel descubrió un fenómeno inherente al mundo físico la radio actividad. En 1903 junto con Marie y Piere Curie recibieron el premio novel. *“Lo que había descubierto Becquerel, aunque él no lo podía saber entonces, era que átomos de uranio se habían convertido, en forma espontánea*

Estudios del movimiento humano

4. Carlos Chimal, op. cit, p. 128

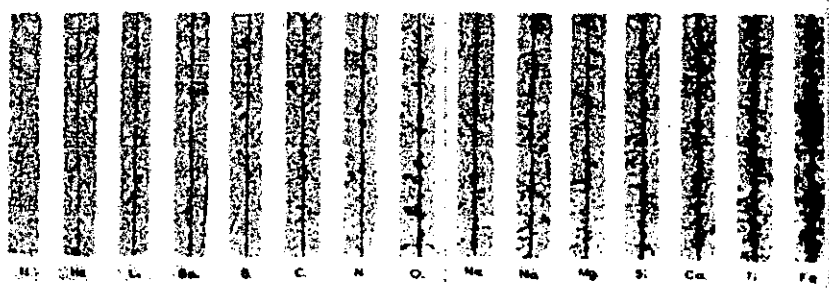
5. *Ibidem*, p. 131

y natural (lo que ahora se llama decaimiento) en otros y habían conformado un nuevo elemento, poco menos pesado que el uranio. La radiación emitida había dejado sus huellas atómicas en unas placas fotográficas, como lo hacía la luz. Eran los primeros rastros del mundo subatómico por descubrirse.”⁶

Este descubrimiento condujo a nuevos horizontes en el mundo de la física, uno de ellos la energía nuclear, cuya mayor notoriedad tal vez sea la bomba atómica que sin duda cambió el concepto de energía que se tenía hasta entonces.

“El descubrimiento de los rayos X y la radioactividad provocaron una nueva serie de hallazgos que culminaron, en 1911 con el modelo atómico de Ernest Rutherford (1871-1937)[...] El teórico danés Neils Bohr, una de las figuras más queridas de la ciencia contemporánea, retomó la idea de Rutherford y, en 1913, desarrolló una minuciosa teoría de los electrones, donde explicaba con éxito los espectros luminosos emitidos por ciertos átomos, en particular el hidrógeno.”⁷

La nueva concepción del átomo (perfeccionada por Bohr) permitió el estudio de los elementos de la materia y su estructura interna.



Huellas que dejan los diferentes elementos en un papel fotográfico

“Los núcleos de estos elementos pesados, que mantienen una gran cantidad de carga eléctrica, ejercen una influencia de la misma naturaleza e intensidad en la materia. Cuando uno de estos núcleos pasa sobre una emulsión fotográfica, por ejemplo, estas poderosas fuerzas eléctricas ionizan átomos y dejan tras de sí un rastro que aparece cuando la placa se revela. Entre más grande sea la carga

6. *Ibidem*, p. 136

7. *Ibidem*, p. 150

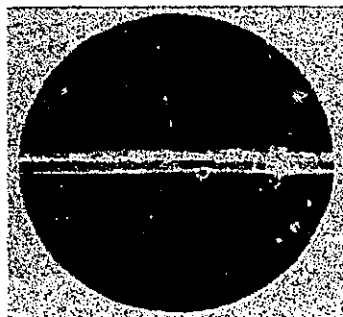
del núcleo, más densa es la huella que deja en la emulsión.”⁸ Conforme fueron evolucionando los estudios de la física “cuántica”, fue necesario el desarrollo de nuevos aparatos diseñados, para medir o producir partículas nuevas, aun más pequeñas que el átomo, los quarks y todo un nuevo catálogo de subpartículas.

“Por su parte el joven ruso Dimiti Skobeltzjin trataba de resolver un problema con los rayos gamma que interferían su conteo de electrones, pues dichos rayos, la forma más penetrante de radioactividad, no solo tocaban los electrones dentro de su cámara de niebla elemento primordial de los modernos ilustradores científicos, sino también afectaban a los electrones fuera de la cámara... El joven ruso tomó fotografías y noto los rastros de algo que seguía una ruta casi recta. Aunque creyó que se trataba de los electrones expulsados por los rayos cósmicos gamma, pues aún no había sido montado el telescopio basado en el Geiger (contador Geiger) que demostró que los rayos cósmicos son en realidad partículas cargadas, Skobeltzjin fue la primera persona en observar directamente e ilustrar las huellas de tales rayos.”⁹

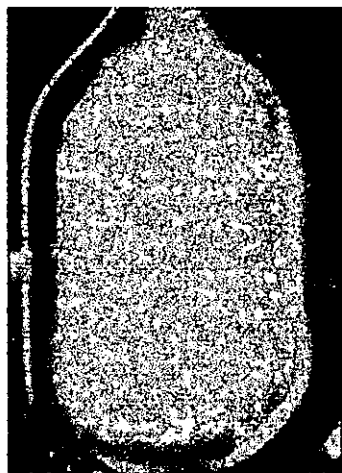
Junto con la cámara de niebla en los años comprendidos de 1950 a 1960 se utilizó la cámara de burbujas, que recibía su nombre debido a que las partículas cargadas eléctricamente en su interior se movían dejando rastros de diminutas burbujas que posteriormente eran fotografiadas. La importancia de la fotografía en estos aparatos era debida a las dimensiones microscópicas (atómicas) de los rastros, por ello se fotografiaban y posteriormente se amplificaban.

Posteriormente a estos instrumentos se desarrollaron otros instrumentos más potentes, conocidos como colisionadores de partículas (cuya función la indica su nombre), que permitieron escudriñar el mundo de la materia y la energía en su estado elemental, a los físicos de altas energías.

En la física de la materia condensada aplicada a los materiales “súper conductores”, la fotografía sirvió para demostrar (visiblemente) la existencia del estado intermedio en un súper conductor tipo 1.



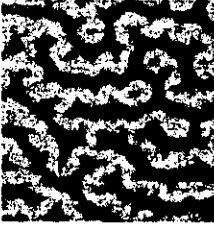
Cámara de niebla



Cámara de burbujas

8. *Ibidem*, p.185

9. Carlos Chimal. La escalera del universo. México. ADN/ Conaculta, 1996, p. 65



Fotografía del estado medio de un super conductor tipo I

Los súper conductores son fruto de los estudios de las partículas de materia como los quarks, los electrones, los neutrones, etc. Un súper conductor es un material que presenta resistencia cero a la conducción eléctrica (cosa que también ocurre con los conductores perfectos o ideales) y que además presenta el efecto Meissner asociado a un comportamiento específico de los campos magnéticos en el material. Tal vez sus aplicaciones más inmediatas que se encuentran a nuestro alcance, sean las computadoras, que en sus circuitos utilizan ciertos materiales cerámicos super conductores que son lo que posibilitan el manejo de cantidades “enormes” de energía durante el procesamiento de datos. En otras palabras, gracias a ellos, contamos con procesadores de 900MHz en un circuito que escasamente mide 15 x 10 x 3cm. Para darnos una idea, un cable normal de cobre, solo soporta la transmisión promedio de 30Hz.

Para finalizar tocaremos las contribuciones de la fotografía a la astronomía. En esta disciplina de la ciencia, la fotografía ha sido una herramienta de registro valiosísima, que además de documentar visualmente las investigaciones realizadas por los astrónomos, también amplió las posibilidades de análisis de los cuerpos celestes.

“Un avance muy importante, ocurrido hace más de cien años, fue el descubrimiento de la «espectroscopia». Ésta consiste en descomponer la luz proveniente de una fuente en sus diferentes frecuencias (longitudes de onda).”¹⁰ Para registrar cada una de las longitudes de onda, se utilizaban placas fotosensibles, algunas de ellas diseñadas para registrar una sola frecuencia de luz, por ejemplo; los rayos X, con estas técnicas se hizo factible calcular las edades y distancias de las estrellas.

“En 1962 se lanzó la primera sonda solar: Solard. Su misión fue monitorear el sol en rayos X y en el ultravioleta —en especial en una longitud de onda de 1216 Å, que corresponde a una emisión



Fotografía del sol en rayosX (NASA)

10. Julietta fierro y Miguel A. Herrera. *La familia del sol*. México. SEP/FCE/CONACIT, 1988, p. 85

muy importante de gas hidrógeno que los astrónomos conocen como «la línea Lymanol».”¹¹

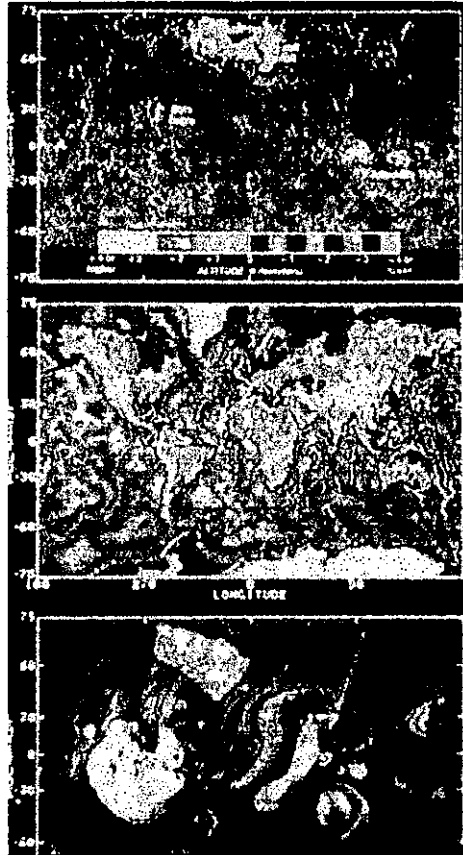
“En 1962. Los Oso fueron las primeras sondas que pudieron apuntar continuamente hacia el sol, lo monitorearon durante 17 años y en ellos se experimentó con nuevas técnicas de transmisión hacia la tierra como la fotografía.”¹²

“La superficie de mercurio. En 1974 se observó nitidamente por primera vez la superficie de mercurio, cuando la nave Mariner 10 se acercó y pudo fotografiarla.”¹³

Posteriormente se desarrolló la técnica de fotografiar con radar: permitió efectuar comparaciones entre las superficies de los diferentes planetas. También gracias a la fotografía tenemos imágenes tan bellas como las de nuestro satélite natural o de nuestro planeta, que sirven para realizar diferentes estudios (por ejemplo los meteorológicos).

Gran parte de las investigaciones astronómicas modernas se realizan a través de radio telescopios, y aunque ellas se presciden de las placas fotosensibles (química), se sigue utilizando la fotografía, ahora en imagen digital.

Sería sumamente extenso el mencionar todas las contribuciones o participaciones que la fotografía tiene en la ciencia. Concluiremos subrayando que el mayor mérito de la fotografía es ser una extensión de nuestros ojos, y mientras haya interés de conocer algo más de lo que nuestros sentidos nos brindan, la fotografía seguirá presente, evolucionando en nuevas formas de “escribir con luz”.



Fotografías de radar

12. *Ibíd.*, P. 87

13. *Ibíd.*, P. 98



Fotografía de la Tierra



Fotografía de la
Luna

Capítulo 1

Óptica fotográfica

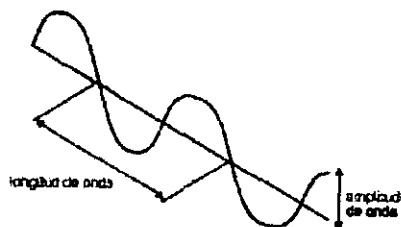
Bajo la supervisión del Biólogo **Oscar A. Chapa Hernández**
técnico académico del Instituto de Astronomía de la UNAM.

Y con la colaboración del Ingeniero **Gabriel Orizaga**
supervisor del servicio de fotografía de Canon mexicana, S.
de R. L de C. V.

Los rayos X debido a su frecuencia tan grande pueden atravesar con facilidad muchos cuerpos, desde la piel humana, hasta los metales.

La luz tal como la conocemos a través de nuestros sentidos solo es una parte de un fenómeno muy complejo, como se mencionó la luz que vemos y sentimos, se encuentra en el área de longitudes de onda de aproximadamente 4000 a 7700 angstrom ($1 \text{ angstrom} = 10^{-8}$ centímetros), en este rango se encuentran los colores o el espectro de la luz visible, en los límites superior entre 0.05 cm y $70.5 \times 10^{-5} \text{ cm}$., se encuentra el infrarrojo y en el inferior, entre $1 \times 10^{-16} \text{ cm}$., el ultravioleta, estas longitudes de onda no son visibles para el ojo humano. Pero ¿qué es la longitud de onda?

Durante muchos años un sin fin de científicos intentaron dilucidar la naturaleza de la luz, entre muchos, destacan los nombres de Michael Faraday (1791 – 1867), James C. Maxwell (1831 – 1879) y Heinrich Hertz (1857 – 1894). Fue este último quien logra concretar la teoría electromagnética y su relación con los fenómenos luminosos. Hertz concreto el estudio del espectro electromagnético y fue él quien en la década de 1890 inventó la radio, en honor a él estas ondas reciben el nombre de ondas Hertzianas.



Onda
electromagnética

La luz es un fenómeno eléctrico y magnético Maxwell postuló que *"cada cambio del campo electrónico engendra en su proximidad un campo magnético e inversamente cada variación del campo magnético, un campo eléctrico."*¹⁶ Gracias a este postulado se estableció la relación existente entre estos dos campos, unificándolos. Tanto luz como magnetismo se propagan en todas direcciones a una velocidad constante en forma ondulatoria,

en el caso de la luz, esta constante física universal tiene un valor de "C" = 2.99792458×10^8 metros por segundo. Esta velocidad constituye un límite para la física tal como lo expreso Albert Einstein, en su teoría de la relatividad, dicha velocidad fue establecida por Maxwell.

16. Carlos Ruiz Mejía.

Trampas de la luz.

México. SEP/FCE/
CONACIT, 1997, p. 36

17. Arthur Cox.

Óptica fotográfica.

Barcelona. Ediciones
Omega, 1977, p. 18

El libro de Arthur Cox nos dice respecto a la longitud de onda: *"La longitud de onda es la distancia que se encuentra entre un punto del haz de luz y otro punto en el mismo haz que se expresa de una manera constante."*¹⁷

A medida que la longitud de onda es mayor también lo es la altura que la onda alcanza (amplitud de onda), la dirección de propagación,

Capítulo 1 ÓPTICA FOTOGRÁFICA

Luz, espectro y longitud de onda

Un tema básico en la óptica y en la fotografía es la luz y su comportamiento, por lo que es de vital importancia el definir de manera concreta los conceptos que aquí se utilizarán, con el fin de estandarizar criterios y conducir a buen término lo que aquí vamos a tratar.

¿Qué es la óptica?

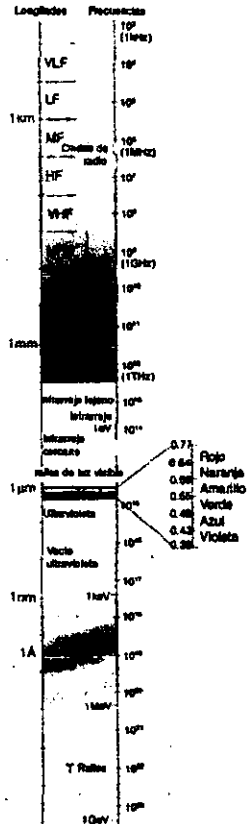
Para resolver esta interrogante es importante aclarar que se usará una definición muy sencilla o elemental, con el fin de no meter en predicamentos al lector, y para que ésta se enriquezca posteriormente con otros términos que servirán para formar una visión más amplia de lo que aquí hemos llamado **óptica fotográfica**.

*“La óptica es el estudio de los fenómenos luminosos.”*¹⁴ Esta definición nos amplía nuevas interrogantes, como ¿qué son los fenómenos luminosos? Un ejemplo sencillo de un fenómeno luminoso es el ocurrido en la formación de un arcoiris, que es producido por la difracción de la luz por las gotas de agua existentes en el espacio húmedo en que se forma.

¿Qué es la luz?

Pues bien, ataquemos la segunda pregunta. Según un diccionario luz es: 1 “Un agente físico que hace visible los objetos”, un libro especializado nos dice: 2 “*Radiación electromagnética a la que los órganos de la vista reaccionan, mientras van en una longitud de onda de aproximadamente 4000 a 7700 angstrom, 1mm por unidad y se propaga a una velocidad aproximadamente de 186, 300 millas por segundo, como los rayos ultravioletas o infrarrojos.*”¹⁵ Pese a que la definición anterior es muy completa, no cumple totalmente con nuestros propósitos. A fin de entender mejor a la luz, debemos de ahondar en la naturaleza de este fenómeno electromagnético.

Ondas electromagnéticas longitudes y frecuencias de onda



VLF	Onda ultra larga
LF	Onda larga
MF	Onda media
HF	Onda corta
VHF	Onda ultra corta
UHF	Ondas Extremadamente Ultra cortas
SHF	Ondas centimétricas
EHF	Ondas milimétricas

14. Nueva Enciclopedia autodidacta Quillet. México. Hachette latinoamericana, 1995, p. 396
15. Canon. Lens Work. Japon. Canon, 1996, p. 190

es el sentido en que puede viajar una determinada onda (Las ondas que estudió Maxwell tenían una longitud de onda de 1 km).

Estas ondas llamadas hertzianas se miden en frecuencias que se dividen en Hertz (Hz), Kilo Hertz (KHz [1000 Hz = 1 KHz]), Mega Hertz (MHz [1000 KHz = 1 MHz]), Giga Hertz (GHz [1000 MHz = 1 GHz]), Tera Hertz (THz [1000 GHz = 1 THz]). A medida que la frecuencia Hertz se amplía, disminuye la longitud de onda. Dentro del espectro de ondas Hertzianas aquellas con las que estamos familiarizadas son: Las ondas de radio y televisión, las microondas utilizadas en las comunicaciones, la banda del infrarrojo, la luz visible, la ultravioleta y los rayos "X".

Alternamente a las medidas Hertzianas se utilizan otras que definen la longitud de onda, estas son medidas de distancia, iniciando por kilómetros (km), posteriormente metros (m), centímetros (cm), milímetros (mm), micras (μ), milimicras ($m\mu$), Angstrom (\AA) y una medida "x" que corresponde a una diez mil millonésima de milímetro. Tan disímolas son las aplicaciones que tienen las distintas frecuencias, que nos da una idea de lo complejo del fenómeno electromagnético, esta misma complejidad se manifiesta en pequeñas partes del espectro como la luz visible y sus comportamientos, a las cuales se les llaman "fenómenos luminosos". Lo anterior nos introduce a otro tema: el espectro.

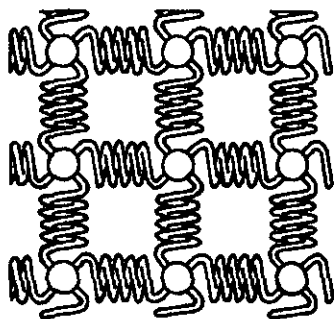
El espectro lumínico es el área del fenómeno electromagnético que engendra luz, cuyos límites son el infrarrojo y el ultravioleta.

Para los intereses fotográficos se refiere a aquellos rangos de onda o frecuencia, que son susceptibles de fotografiarse o de repercutir en la toma fotográfica. En dicho espectro, la luz visible y las bandas del infrarrojo y rayos "X", son de gran importancia para la fotografía.

También se define al espectro electromagnético como la escala de las perturbaciones electromagnéticas que ocurren en un ambiente propicio para la transmisión o propagación de las ondas Hertzianas. Los primeros conocimientos que se tienen de éste, son en la escala de la luz, ya que cuando ésta pasa a través de un prisma, se difracta en colores que van del rojo al violeta, aunque existen infinidad de tonos y variaciones entre estos colores, mas el ojo humano no puede percibir los tonos que se crean entre ondas que difieran entre sí, por menos de 0.2×10^{-7} , cm. Ni tampoco aquellas ondas que salen de los límites de la luz visible.

Einstein demostró en parte la naturaleza electromagnética de la luz durante un eclipse, al predecir matemáticamente la desviación de la luz proveniente del sol por los campos magnéticos creados por los planetas.

Algunas nuevas visiones científicas de la materia conciben la estructura molecular de forma vibratoria, ejemplificándola en forma de resortes que representan a los campos magnéticos existentes entre los distintos átomos que forman un elemento.



Estructura vibratoria de una molécula

18. Carlos Ruiz Mejía.
Op. cit, p. 49

19. Carlos Chimal. La escalera del universo.
Op. cit, p. 40

Para la óptica geométrica, que es la que se aplica en la fotografía, la luz se propaga en forma ondulatoria, con un tamaño de onda aproximadamente de 1.50×10^{-4} , a la velocidad antes mencionada. Dichas ondas pueden ser concentradas hacia un punto mediante el uso de lentes (cristales traslúcidos), que pueden hacer que las ondas converjan o diverjan de o hacia un punto.

Pero la física moderna le otorga una nueva característica a la luz, dándole la capacidad de comportarse como partícula. Esta idea fue concebida por Newton, pero fue hasta 1923, cuando mediante el experimento de "Compton" (llamado así en honor a su creador), que se pudo demostrar el comportamiento corpuscular de la luz. En dicho experimento se estableció que: *"La conclusión de estos hechos es que la energía luminosa no se propaga uniformemente en todas direcciones debilitándose conforme avanza, sino que está concentrada en forma de granos o corpúsculos cuya energía depende de la frecuencia característica y que se propagan en todas direcciones a la velocidad de la luz."*¹⁸

Esta conclusión posibilitó nuevas investigaciones como la teoría de Bohr postulaba que: *"los electrones en el átomo aparecen como «paquetes» de energía en «capas» a cierta distancia del núcleo. Un electrón puede «saltar» de una capa a otra. Si gana energía salta a una capa más alejada del núcleo, si despidе energía, se mueve a una más cercana."*¹⁹ Fueron los estudios de Henry Moseley con los rayos "X" en torno a esta teoría, los que abrieron las puertas hacia una nueva concepción del átomo y por lo tanto abrir la puerta a nuevas partículas de energía que se relacionaban con los átomos.

Desde la concepción electromagnética de la radiación, un electrón que se encuentra a una x distancia del núcleo, con una carga eléctrica (negativa), produce un campo magnético que se propaga en todas direcciones, interaccionando con otros campos magnéticos producidos por el núcleo y por otros electrones con espín diferente, al ser el electrón un paquete de radiación energética que se encuentra en un movimiento constante en torno al núcleo (principio de incertidumbre de Heisenberg), su campo magnético puede cambiar con facilidad emitiendo energía en forma de radiación o paquetes de energía.

Anteriormente los físicos concebían erróneamente esta energía emitida por el electrón, era similar la vibración emitida por las cuerdas de un violín, que suponía la emisión de una gran cantidad de radiación emitida en longitudes de onda muy cortas, esto es, en la región del violeta. Hasta que el físico Max Planck estableció que: *“La energía emitida por cualquier onda ondulatoria es proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda. Así que mientras esta última tiende a cero, la energía se va al infinito, lo cual se llama «la catástrofe ultravioleta»”*.²⁰ Esto echaba por tierra la concepción de la radiación como una simple onda. Max Planck fue el que resolvió el problema al introducir el concepto de paquetes de radiación, como la luz, de un tamaño mayor que cierto límite, dando al traste con la teoría clásica de la energía que postulaba que esta fluía de manera continua. Para Planck y su nueva teoría la energía “electromagnética” se dividía en un número finito de pedazos, se dice entonces: *“Que la energía $\langle E \rangle$ de cada pedazo de radiación está relacionada con su frecuencia $\langle f \rangle$ mediante la ecuación:*

$E=hf$ Donde H es una constante que ahora lleva el nombre de Planck”.²¹ Dicha teoría sufrió una revisión en 1950, pero estaba claro que los “cuantos” eran algo que había que explicar en la estructura atómica y no necesariamente de naturaleza electromagnética.

En el nuevo modelo atómico la energía que un electrón emitía o absorbía al pasar de un nivel energético a otro era el cuanto.

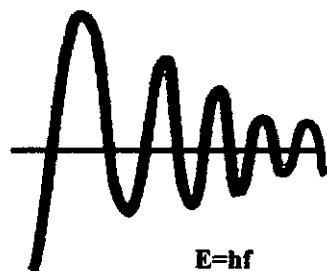
Pero, ¿cómo era posible el comportamiento dual (onda partícula) de la luz?

Albert Einstein en 1905 propuso el efecto fotoeléctrico de los fotones, contribuyendo a reforzar la confusión existente, pero ahora aparentemente resuelto. Observó que las propiedades que presentaban los fotones eran las mismas que explicaban la curva observada del cuerpo negro (fenómeno electromagnético).

El fotón

“Por lo general los electrones son invisibles, pero si por alguna razón uno de ellos tiene que abandonar su órbita, emitirá un fotón, que, según sea la intensidad de su energía, será apreciado como micrownda, radiación infrarroja (calor) o radiación ultra violeta, luz o

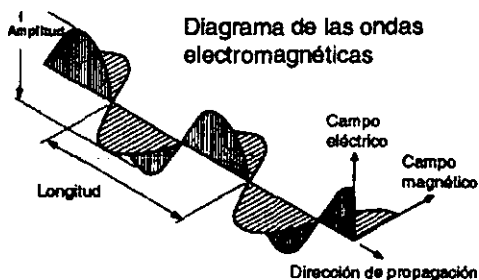
Un ejemplo sencillo de que magnetismo y electricidad son parte del mismo fenómeno, lo tenemos en los dinamos, enormes motores eléctricos que generan campos magnéticos o bien enormes imanes que al girar crean corrientes eléctricas



20. Carlos Chima. Las entrañas de la materia. Op. cit, p. 157

21. Ibidem, p. 151

rayos X. Nuestros sentidos perciben la luz visible y el calor de los rayos del sol como una corriente continua de radiación, así que no debe de extrañar que la luz y el calor (infrarrojo) y cualquier forma de radiación electromagnética pueden describirse como ondas que vibran, esto es, oscilaciones de campos magnéticos y electrónicos entrelazados. Las teorías cuánticas del siglo XX nos ofrecen otra manera de concebir la luz: como un estallido repentino de partículas con masa cero, llamadas fotones."²²



Regresemos con Einstein, quien supuso que la luz (de frecuencia ν) está formada por átomos de energía (efecto fotoeléctrico), esa hipótesis contribuyó a crear la primera ley del efecto fotoeléctrico.

La existencia de los cuantos en los movimientos en pequeña escala, en la estructura corpuscular de la radiación.

Ahora llamados fotones, se confirmó con los estudios de los fenómenos fotoeléctricos con los rayos X y por el descubrimiento del efecto Compton. Las características ondulatorias de los cuantos fueron estudiadas y establecidas por la "nueva física", llamada cuántica, la cual se encargó de dar una interpretación a la dualidad de la luz onda-partícula, utilizando la mecánica ondulatoria y la cuántica, como punto de partida, dichas mecánicas, pusieron en evidencia la existencia de corpúsculos elementales de materia y luz, electrones y protones para la primera y fotones para la segunda. La primera barrera para la mecánica cuántica fue establecida por Heisenberg y su famoso principio de incertidumbre, pero la mecánica cuántica ha permitido comprender, por qué en escalas de cantidades muy pequeñas, la luz se comporta como partícula, y en grandes cantidades como onda.

Siguiendo las leyes de la óptica y física tradicional (Newtoniana), "en el efecto Compton la luz se interpreta como un conjunto de corpúsculos y en fenómenos de difracción como onda."²³ Dicho de otra manera, en investigaciones, en que la luz sea estudiada en forma de cantidades de energía, su interpretación será corpuscular, mientras que en experimentos donde se busca determinar o se aplican medidas dimensionales (tiempo y espacio), se interpretara de forma ondulatoria.

22. Carlos Chimal. La escalera del universo.

Op. cit, p. 53

23. Carlos Ruiz Mejía.

Op. cit, p. 54

Un ejemplo que puede ayudar a entender qué es un fotón o corpúsculo de energía es la anécdota que se describe una parte del libro “las entrañas de la materia”, de Carlos Chimal. *“Mientras dormitaban en su viaje a la luna, los astronautas de la nave Apolo, creían estar soñando cuando, una y otra vez, aparecían tras sus párpados pequeños destellos de luz.*

Al despertar comprobaron que a miles de metros sobre la superficie de la tierra, hay en efecto, un intenso bombardeo de fotones y partículas subatómicas. Los fotones cubren todo el espacio de radiación electromagnética, desde las ondas de radio, la luz visible, hasta los rayos gama. La mayor parte del resto de las partículas son núcleos llenos de energía, despojados de sus electrones. Cada vez que un núcleo pesado chocaba con la retina detrás de los párpados caídos de los somnolientos tripulantes del Apolo, realmente veían un destello de luz. Estaban en contacto con verdaderos extraterrestres.”²⁴

Para concluir en esta parte también es importante hablar un poco sobre la cualidad más difundida de la luz, en términos científicos, la velocidad que ya se mencionó viaja a una velocidad que se establece como límite, puesto que sólo la energía puede alcanzar dicho límite. Esto fue establecido en la ecuación más famosa de la ciencia $E=mc^2$, de Einstein, que explica la condición física necesaria para convertir la materia en energía, de ahí se deriva la siguiente definición. *“La luz (velocidad de la). Constante física universal cuyo valor es $c=2.99792458 \times 10^8$. Esta velocidad constituye un límite superior que no podrá ser excedido por una señal que transporta una cantidad de energía distinta de cero”.*²⁵

La anterior definición da fe del límite físico antes mencionado. Aunque recientemente en algunas revistas y medios especializados han mencionado que científicos habían conseguido acelerar un rayo láser a una velocidad aparentemente superior a la antes citada.

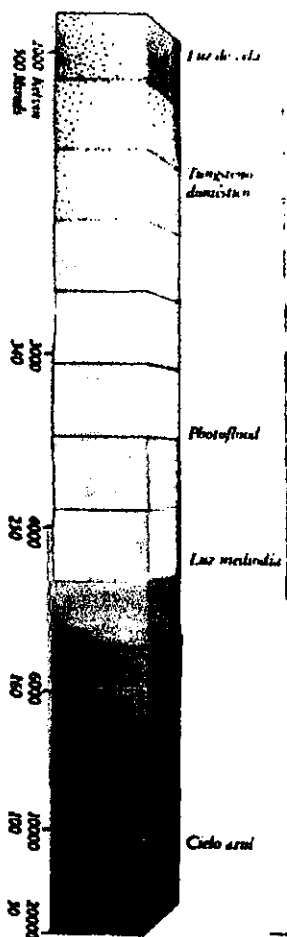
Dejando hasta aquí la definición de luz desde la perspectiva de la ciencia, conviene precisar una definición de luz apropiada para la fotografía. En el libro de la compañía japonesa “Canon” titulado “Lens Work, EF lens Work II”, se encuentra una definición muy interesante y completa de la cual nos valdremos para esta primera parte del capítulo relacionada a la óptica fotográfica. *“La definición mayormente usada en la fotografía para la comprensión de la luz es: En la fotografía*

24. Carlos Chimal. La escalera del universo.

Op. cit, p.193

25. Canon. Op. cit, p. 190

la mayoría utiliza las longitudes de onda que están en la región de la luz visible (4000- 7700 mn). Puesto que la luz es un tipo de radiación electromagnética, la luz se puede pensar como un tipo de ola en la categoría de «olas ligeras». Una luz puede verse como una ola electromagnética en el campo eléctrico y el campo magnético, que vibra en ángulos rectos a nosotros, en un plano perpendicular a la dirección de propagación. Los elementos de la onda ligera que realmente pueden cubrirse por el ojo humano son la longitud de onda y la amplitud. Se dan cuenta de las diferencias en longitud de onda como las diferencias de color (dentro del rango ligero visible) y se dan cuenta de diferencias de amplitud, como las diferencias en el brillo (la intensidad ligera). El tercer elemento que no puede ser detectado por el ojo humano es la dirección de la vibración dentro de la perpendicular del plano a la dirección de propagación de las ondas ligeras. ²⁶



La luz blanca es la mezcla de todos los colores y el negro es la ausencia de luz, cuando la luz blanca incide sobre un cuerpo, éste absorbe algunas frecuencias del espectro, mientras que otras las refleja, en teoría, el color que se observa en un objeto, es el color de las frecuencias del espectro que éste refleja, un objeto blanco es aquel que refleja todo el espectro de luz, en tanto que el negro es un objeto que lo absorbe todo.

Fuentes de luz

La luz que se utiliza para fotografiar un objeto, se rige bajo una norma convencional que es la temperatura del color, que se mide en grados kelvin, estos grados no son otra cosa que las distintas longitudes de onda en el espectro de la luz blanca, en condiciones de luz natural, éstas se dan por variaciones en el ángulo de incidencia de los rayos de sol, en torno al objeto a fotografiar. En la víspera y el ocaso la luz directa del sol, tiende a amarillos y rojos, pero en dirección opuesta del sol, la luz tiende a los azules, en el cenit, la luz es blanca. En luz artificial, la fuente de luz, emite una temperatura de color específica, que le da tonos; luces débiles como las bombillas

de luz convencional, emiten luz amarilla, fuentes de luz como el tungsteno emiten una luz verdosa. La luz blanca es la luz ideal, ésta se encuentra en el rango de los 5500°k, mientras que la amarilla en los 2865°k, y la azul en los 13000°k, la luz blanca internacional es una medida de luz estándar, bajo la cual se calibran todos las otras fuentes de luz y los exposímetros. Esta luz es ideal, porque no modifica los colores reales del sujeto fotográfico (objeto, persona, animal, cosa o motivo a fotografiar), cosa que sí ocurre con los otros tipos de luz. La luz blanca es emitida por los flashes, lámparas de descarga de Flash, unidades esclavas y otros que utilizan el principio de destello como fuente de emisión de luz. También existen algunas fuentes de luz continua que emiten luz blanca, éstas se nombran de luz fría, estas fuentes de luz son usadas mayormente en el cine, la TV, y el video, debido a su naturaleza.



Luz de día a 4500°K

Un ejemplo más claro de la temperatura del color en la luz, es el que vemos que ocurre en la luz emitida por las flamas producidas por la combustión de algo; en una vela el punto más caliente se encuentra pegado al hilo o mecha que sirve como medio de combustión, la flama que se emite en este lugar es de color azul, conforme se va alejando del hilo y se va disminuyendo la temperatura de la flama, el color cambia, hasta llegar al amarillo. Otro ejemplo, la flama en una estufa de combustión de gas en estado optimo es de color azul, que es el tipo de flama que más color emite, debido a que la combustión se realiza completamente, en cambio, una flama roja no seria la ideal, ya que ésta no calienta tanto como la azul y genera muchos gases tóxicos producto de una mala combustión.

Fuentes de luz y sus características

Temperatura del color en grados kelvin de luz de día	
Horario	Grados kelvin
Salida del sol, en dirección de él	2000
Una hora antes de la salida del sol	3500
Una hora después de la salida del sol	3500
Salida y puesta del sol, en su oposición	8000
Una hora antes de la salida, cielo descubierto	13000
Una hora después de la puesta, cielo descubierto	13000
Entre las 9 y las 11 hrs.	6500
Entre las 15 y las 17:30	6500

Luz de medio día	5000
Cielo nublado	8000
Cielo azul	13000
Sombra abierta	5500



Luz de día a 3500°K

Temperatura de color en grados kelvin de la luz artificial

Tipo de luz	Grados Kelvin
Flama de vela o cerillo	1700
Flama de bujía o candela	1850
Lámpara de filamento (foco de 100 wats)	2865
Lámpara de filamento (foco de 500 Wats)	2960
Lámpara de filamento (foco de 1000 Wats)	2990
Lámpara de tungsteno halógeno (cuarzo)	3200
Lámpara sensitométrica (luz blanca internacional S. A.)	2848
Lámpara de proyección Cuarzo)	3100
Lámpara de estudio C.P. (Color fotografic)	3350
Lámpara photoflood	3400
Tubo fluorescente blanco caliente (neón)	3700
Tubo fluorescente luz de día (neón luz de día)	4800
Lámpara de descarga (flash electrónico[mini bruto dicroico])	5500
Lámpara photoflood luz de día (azul)	4800
Lámpara barbón de arco (luz blanca)	5000
Lámpara de arco de sol (alta intensidad)	5500
Lámpara de flash azul	5500

Ahora comencemos a conocer cómo se comporta la luz en la óptica de los lentes fotográficas, lo que comúnmente se nombra el lente de una cámara, es un objetivo fotográfico compuesto de varios grupos de lentes que se utilizan para hacer converger los rayos luminosos hacia un punto, con el fin de formar posteriormente una imagen. A este grupo de objetivos que comenzaron como lentes fijos al cuerpo de la cámara, y que actualmente cada cámara cuenta con un sin fin de objetivos intercambiables denominados SLR, se le da el nombre de la óptica de una cámara y en general la óptica fotográfica. En las subsecuentes páginas describiremos de manera detallada.

Objetivos o lentes (principios)

¿Qué es un objetivo o lente?

*“La combinación de cristales que desvían los rayos luminosos es lo que llamamos objetivo.”*²⁷ La anterior definición nos abre a nuevas interrogantes, la primera ¿qué es una lente? Para lo anterior y ampliar dudas, se debe abordar un tema propio de la física al que se denomina “Física de la materia condensada o del estado sólido”, los cristales. *“La mayoría de los sólidos son cristalinos. Esto quiere decir, que los átomos o moléculas están acomodados de tal manera que un cierto motivo o patrón de ellos se repite de manera regular a lo largo de grandes distancias. Entonces la idea de cristal (en el lenguaje cotidiano vidrio y cristal son sinónimos) está asociada con la regularidad u orden de largo rango. En contraste un sólido amorfo tiene un orden de corto rango.”*²⁸

Existen tres tipos de cristales básicos, la estructura de éstos obedece a las fuerzas interatómicas y moleculares que determinan la formación de estos. Los tres cristales son:

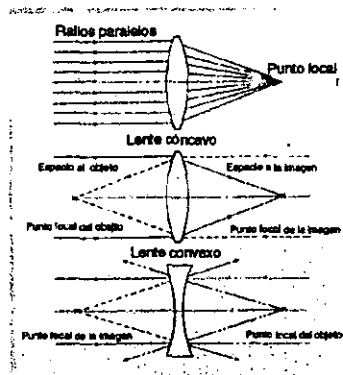
- Cristales iónicos
- Cristales covalentes
- Cristales metálicos

Además existen otras dos formas de cristales, aunque no se les denomina así, se les conoce sólo por su tipo de amarre; el “Van der Waals”, que sería el cristal molecular y el amarre hidrogenoide. En realidad los otros tres cristales también se sujetan a las fuerzas de amarre, cada uno de ellos obedece a una y por ello es que consideramos al enlace molecular y al hidrogenoide como cristales.

Pero, ¿qué son las fuerzas de amarre?

*“La dureza de un cristal depende de las fuerzas que hay entre el átomo y los iones. En otras palabras dependen del tipo de amarre.”*²⁹

El amarre hidrogenoide se comporta como iónico y se cree que se forma con los átomos más electronegativos. Un ejemplo del amarre hidrogenoide es el responsable de las propiedades del hielo y el agua, de las estructuras geométricas de las moléculas de proteínas y controla los amarres de las moléculas de ADN.



Tipos primarios de lentes

27. Arthur Cox. Op. cit, p. 12

28. Carlos Rutz Mejía. Op. cit, p. 55

29. *Ibidem*, p. 62



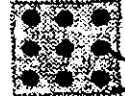
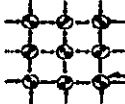
Iónico	 <p>los negativo los positivo</p>	Atracción electrostática
Covalente	 <p>electrones compartidos</p>	Electrones compartidos
Metálico	 <p>los metálicos Gas electrónico</p>	gas electrónico
Molecular	 <p>Carga instantánea repulsión de la molécula</p>	Van der Waals

Tabla de tipos de amarres atómicos

El cristal que más interesa a la fotografía es el cristal covalente en estos tipos de cristales que se forman los dos tipos de cristales que más interesan a la fotografía; los primeros son los cristales ópticos con los que se construyen las lentes y los objetivos fotográficos, entre estos están los cristales de silicio, los de fluorita, las resinas plásticas artificiales de fluorita, entre otros. El segundo tipo, son los cristales de cloruro de plata (AgCl) que son de vital importancia en la química fotográfica, debido a sus cualidades fotosensibles.

El cristal óptico (lentes ópticas)



Cristales ópticos

¿Qué son los lentes?

Los lentes son elementos o piezas de cristal pulido con formas esféricas o asféricas, es decir, no esféricas. Al juntarse dos o más de estos lentes forman un

objetivo. Los tipos de lentes más comunes, son las lupas, los lentes de los anteojos, lentes usadas para corregir los defectos físicos del globo ocular.

“El cristal óptico es construido especialmente para el uso de precisión en el producto óptico como las lentes fotográficas y de

microscopios. En general se proporcionan para el cristal óptico los contrastes, las características de refracción, la dispersión y el uso del vidrio (con una precisión de seis lugares a la derecha del punto decimal), y esta sujeto ha estrictos requisitos respecto a las transparencias y defectos como las burbujas y urdimbres."³⁰

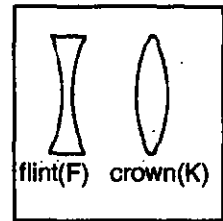
Las lentes o cristales fotográficos son clasificados, de acuerdo a su composición, por su número Abbe (una constante óptica que indica la dispersión del cristal, el símbolo griego que representa al número Abbe es ν), y por el rendimiento de los lentes, los materiales seleccionados y los diferentes tipos de vidrio óptico que existen, hoy día se conocen más de 250 diferentes. Un cristal con un ν de 50 o menos se le llama lente flint (F), los cristales con un ν de 55 o más se conocen como lentes crown (K). Además a cada cristal se le asigna una gravedad específica (los materiales con una fuerte gravedad específica son clasificados como S, mientras que aquellos de gravedad específica ligera son clasificados como L).

"El número Abbe es muy importante para la clasificación de la lente, es este el que posteriormente nos indicará si un objetivo produce o no aberraciones ópticas".

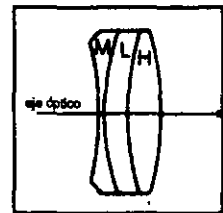
Punto de foco

Antes de hablar del punto focal definamos un término con el que suele confundirse al punto de foco, el llamado en inglés "optical axis" (eje óptico), que es muy importante para la construcción de los objetivos fotográficos. "El eje óptico es una línea hipotética en el centro de la curvatura de cada superficie de la lente, en lentes (objetivos) fotográficos comprendidos de lentes de varios elementos, el eje óptico es de suma importancia para que cada elemento de un lente sea alineado perfectamente con los ejes ópticos de todos los otros elementos de la lente. Particularmente en lentes Zoom que se construyen con varios grupos de lentes que se mueven de una manera compleja en la construcción del lente de barril, es necesario mantener la alineación sumamente precisa del eje óptico apropiado."³¹

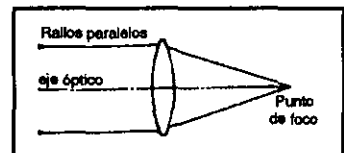
Como punto de foco se conoce a el lugar en donde convergen los rayos luminosos provenientes del sujeto fotográfico. "La divergencia



Lentes Principales



Eje óptico



Punto focal

30. Canon. Op. cit., p. 201

31. Ibidem, P. 191

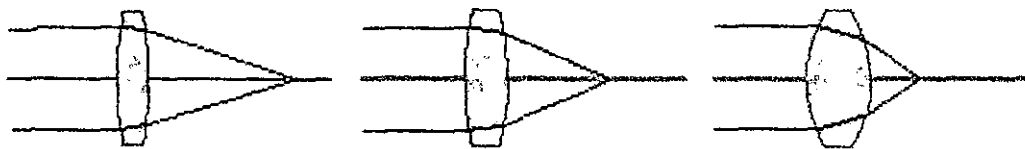
*y convergencia de los rayos luminosos de un punto cualquiera que llega a un objetivo, vendrá determinada únicamente por la distancia que separa a éste junto del objetivo. Y por lo tanto, la posición del foco correspondiente a cada uno de los puntos. Por ello el punto de foco de distintos puntos luminosos no recaerá en el mismo punto".*³²

El punto focal o punto de foco, es similar al haz de luz que se crea cuando se concentran los rayos de luz en un punto mediante una lupa, la lupa es una lente cóncava simple.

En una lente ideal, todos los rayos deberían convergir en un sólo punto, esto ocurriría si los rayos luminosos que llegan a la lente fuesen pancromáticos, es decir, de un sólo color. O si la lente tuviese índices de refracción y dispersión similares para todos los colores del espectro de luz visible, pero no es así, y por ello es que ocurren los problemas más comunes en una lente, dichos problemas tienen como origen la distintas convergencias de sus puntos de foco (se les nombra aberraciones de la lente). En la fotografía, el punto de foco es el lugar en el que la imagen que pasa a través de un objetivo o lente, llega a un lugar determinado en donde convergen y posteriormente divergen para ser abiertos en forma de abanico, formado en la parte posterior del cuerpo de la cámara, el plano en donde se encuentra la película o material sensible o cristal esmerilado, una imagen de forma circular, a causa de ello que la imagen (los rayos de luz provenientes de ella), llega de forma invertida, los rayos superiores se pasan a la parte inferior y viceversa, al plano posterior de la cámara (de la misma manera que en el globo ocular).

Una forma de juzgar el poder de una lente, con las características anteriormente descritas, depende del poder que ésta tiene para hacer converger o divergir los rayos luminosos provenientes de la imagen o punto focal frontal, hacia el punto focal. El punto focal frontal es la imagen de donde emergen ondulatoriamente los rayos luminosos hacia la lente.

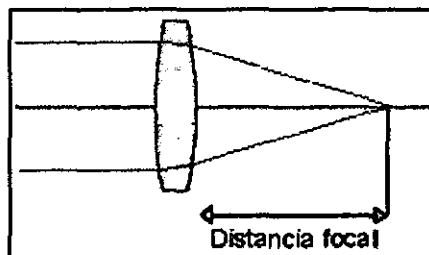
32. Arthur Cox. Op.
cit, p. 14



Poderes de las lentes

Distancia focal

En consideración de los fenómenos de convergencia y divergencia de los rayos luminosos, es que surgen nuevos elementos ha considerar; uno de ellos es la distancia focal. *“Cuando el rayo ligero entra en la lente, paralelo al eje óptico, la distancia a lo largo del eje óptico de la lente, del punto principal secundario (el punto principal trasero) a el punto focal, es llamada distancia focal. En términos simples, la distancia focal de una lente es la distancia a lo largo del eje óptico de la lente hacia el segundo punto focal principal, el plano de la película, cuando la lente enfoca al infinito.”*³³



La distancia focal determina muchas de las cualidades de un lente u objetivo fotográfico, de su precisión dependerá la calidad de la imagen. Un problema convencional que es ignorado comúnmente, consiste en el cambio de la óptica de la cámara, al sustituirla por otra que es factible de usar en el cuerpo de nuestra cámara. En ocasiones cuando la gente compra un nuevo objetivo, en lo único en que presta atención que el tipo de entrada del objetivo coincida con el de la cámara, y no en la distancia focal de la lente. El manejo inapropiado de las distancias focales ocasiona problemas en la calidad de la imagen ya que la discriminación que se haga de ella repercutirá en el producto final, por ejemplo. Cuando se quiere un motivo grande de primer plano, en una fotografía, hay dos maneras de conseguirlo, una es optar por el objetivo convencional, otorgado por el fabricante junto con la cámara (que por lo general son objetivos de foco corto o moderado, de 50mm en formatos de 35mm, de 80mm en formatos medios o 6x6, y de 135mm en gran formato o cámara de placas), y hacer que éste se acerque a el sujeto o motivo. La segunda opción consiste en usar un objetivo de foco largo, 80 ó 100mm en formato de 35mm, 135 ó 180mm en formato medio y 180 ó 250mm en gran formato.

Si se opta por el primer método, se abre la puerta a los principales problemas de distorsión de perspectiva que consiste en un exageramiento visual de ella; narices deformadas, labios largos, etc.

Este método solo es aconsejable si el sujeto fotografiado no tiene mucho volumen o si es plano o sin relieves.

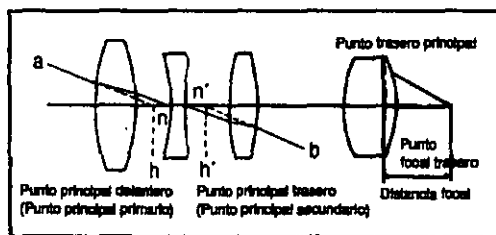
La mejor opción sería usar un objetivo de foco largo, que evita los problemas de perspectiva antes mencionados (la segunda opción).

Otros aspectos muy importantes a considerar, son las relaciones de distancia existentes entre los puntos focales de un objetivo. En los objetivos o lentes simples el punto principal se sitúa en el centro de la lente. Sin embargo en objetivos más complejos, de varios elementos, situar realmente donde se encuentra el punto principal, es un problema, ya que existen más puntos focales. Para resolver esa interrogante, los fabricantes de lentes aplican el siguiente criterio.

“El principal punto de un lente multielementos es por consiguiente definido como el punto en el eje óptico a igual distancia de la distancia focal media trasera hacia el punto focal de la lente. El principal punto medido para el frente focal se llama punto focal principal delantero, y el principal punto medido hacia el punto focal trasero se llama punto focal principal trasero.

La distancia entre estos dos puntos principales se llama el intervalo del punto principal.

El punto principal delantero / punto principal trasero.



Puntos nodales

La luz que entra en una lente del punto a, refracta, pasos a través de n y n' y llega a b. Cuando esto ocurre, ángulos similares se generan entre $a-n$ y $n'-b$ con respecto al eje óptico, y puntos h y h' pueden definirse como, dónde estos ángulos cortan el eje óptico. Estos puntos, h y h' son los principales puntos, indicando la posición de referencia de la

lente respecto de la imagen de un sujeto. h se llama el punto principal delantero (o primer el punto principal) y h' se llama el punto principal trasero (o segundo punto principal). En general en las lentes fotográficas, la distancia de h' al punto focal (plano de la película) es la distancia focal. Dependiendo del tipo de la lente, la relación frente - trasera de los puntos principales puede invertirse, o h' puede quedar totalmente fuera del ensamble del la lente, pero en todo caso la distancia del punto principal trasero h a el punto focal es igual a la distancias focal.

** Con los lentes de tipo de teleobjetivo, punto principal trasero h' es realmente posicionado en elemento de la lente del «frontmost», y con el retroenfoque las lentes tipo h' se posicionan al último elemento trasero de la lente. »³⁴ A los puntos h y h' se les conoce como puntos nodales.*

Para aterrizar la importancia que tienen los diferentes puntos y sus distancias, hemos de decir que por lo general la distancia focal grabada en el objetivo, presenta un error de 1x100 0 por lo menos. En un objetivo de 150mm, se maneja un error de 0.025mm Para poder determinar la distancia focal, es necesario determinar primero las posiciones del punto focal principal trasero o punto focal posterior o plano focal.

Una vez que se ha determinado la distancia focal, entramos a uno de los puntos más importantes en la toma fotográfica, los números f.

Números f

Los números f son la expresión que se le asigna al brillo de una lente, que se entiende como el inverso de la proporción de la abertura; es decir, el brillo en la imagen producido por un objetivo o lente es proporcional al cuadrado de la proporción de la abertura F/D) donde D es el diámetro de la abertura de la lente y F su distancia focal, a esta relación se le llama el número "f", en otras palabras: *"El número f/ señala la luz efectiva que pasa por él mismo. Cuanto más pequeño sea el número f/ mayor será la cantidad de luz concentrada por le objetivo en la imagen."*³⁵

Los números f sirven como una guía al fotógrafo, para establecer la relación entre la cantidad de luz que pasa a su lente (el brillo). Esta cantidad de luz total o parcial depende en cierta medida de las cualidades físicas de su lente, por ejemplo: El diámetro de la lente principal del objetivo determina la cantidad de luz promedio que dejará pasar, entre más grande sea el diámetro de esa lente, mayor será la cantidad de luz que el objetivo podrá concentrar (la proporción de la apertura), y por consecuencia alcanzará un número f menor. También el poder de concentración de luz depende en cierta medida de la cantidad de elementos (cristales o lentes pulidos y segmentados por grupos), entre más elementos tenga un objetivo menos luminoso

En los telescopios de tipo reflejante el número f esta íntimamente ligado con el ángulo de visión o ángulo de aceptación, de esta manera un telescopio de 9 pulgadas en su espejo principal, a f/8 tendrá un ángulo de visión de 2°05', equivalente a un objetivo fotográfico de distancia focal de 1200mm, mientras que el mismo telescopio a f/6 tendrá un ángulo de visión de 3°06', equivalente a una distancia focal de 800mm.

34. *Ibidem*, p. 192

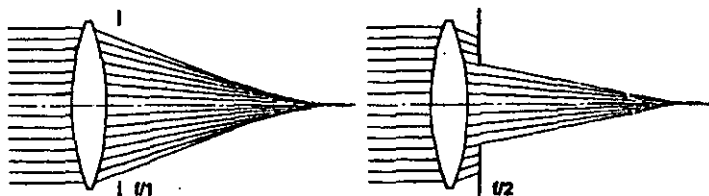
35. *Ibidem*, p. 56

será, y por lo tanto si se quiere ampliar su brillo, se deberá aumentar el diámetro en su lente principal y en consecuencia su proporción de abertura.

Otra cualidad interesante de los objetivos que se relaciona con los números f es el tipo de tecnología aplicado en la construcción del objetivo, en los objetivos más recientes se puede llegar hasta un diafragma de $f/45$ y en algunos más, aunando la capacidad de precisar pasos intermedios o paradas intermedias entre los diafragmas que pueden ser de $1/2$ paso o de $1/3$ de paso. Mientras que en muchos de los objetivos viejos, los diafragmas máximos (en número) eran $f/16$ o $f/22$ y en muchos no existía la posibilidad de aplicar los pasos o paradas intermedias. Estos números f o aberturas del objetivo son reguladas a través de un diafragma en forma de iris (similar al iris del ojo humano) que mueve unas laminillas por medio de una arandela (DIR: s. f. Pieza plana y redonda, con un agujero en el centro en el que puede introducirse un vástago) que se gira sobre la montura o electrónicamente, permitiendo regular la cantidad de luz que este deja pasar.

Ahora bien, ¿cuáles son los números f ?

“Los valores de los números f se expresarán como una serie geométrica que empezando en 1 con una proporción común de (raíz cuadrada), como sigue: 1.0, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 16, 22, 32... (sin embargo en muchos casos el valor máximo de la abertura se desvía de esta serie) Los números de esta serie, que pueden parecer en un principio difíciles se vuelven familiares con meramente indicar los valores que están cerca de los reales F/D valores basados en el diámetro (D) de cada diafragma, poniendo en lo sucesivo las disminuciones de la cantidad de luz que atraviesa por la mitad de la lente.”³⁶

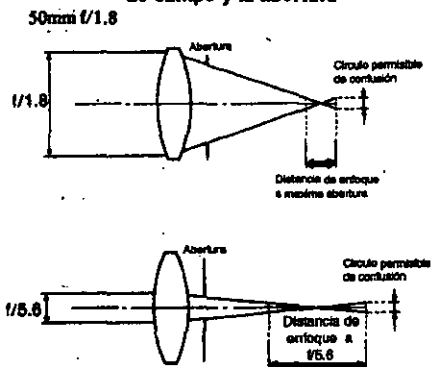


Para concretar, un objetivo $f/2$ concentra cuatro veces más luz que uno de $f/4$ y el doble que uno de $f/2.8$, esta relación continúa proporcionalmente.

Profundidad de foco

Se define como profundidad de foco al área o región en que la imagen no es perfectamente nítida, pero no está desenfocada, conservando un estándar de definición aceptable. Precisando, la profundidad de foco es ese rango existente en el eje óptico, en el cual se conserva el estándar de definición aceptable.

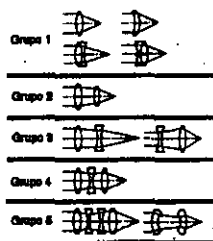
Relación entre la profundidad de campo y la apertura



Primeros objetivos fotográficos

Los primeros objetivos fotográficos constaban del acomodo de grupos o lentes solas sementadas con una sola longitud focal, y posteriormente con un sistema de retroenfoque que permitía mayor versatilidad.

Para comenzar debemos mencionar que existen diferentes construcciones básicas de lentes con una sola distancia focal, ellas dependen de la cantidad de elementos que componen el objetivo. En el libro "Lens Work II", de Canon, se establecen estos cinco tipos de construcción: "1. El más simple - el tipo único - comprendido de un solo elemento o un doble, hecho de dos conjuntos de elementos. 2 y 3. Son de doble tipo comprendido de dos elementos independientes. 4. Es el triple tipo, comprendido de tres elementos de lente independientes en una sucesión convexo - cóncavo - convexo. 5. El tipo simétrico que consiste en dos grupos de una o más lentes de la misma forma y configuración simétricamente orientada alrededor del diafragma."³⁷

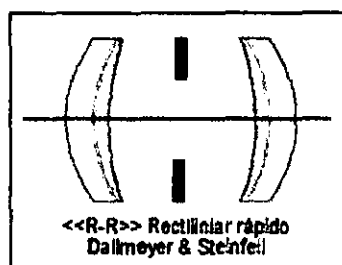


Tipos clásicos de construcción de objetivos fotográficos

En consideración de lo anterior el tipo más sencillo de objetivo o lente es la clásica lupa. El problema que presenta usar este tipo de lente como objetivo fotográfico, es el sin fin de aberraciones que presenta; la aberración cromática axial, la esférica, el coma y el

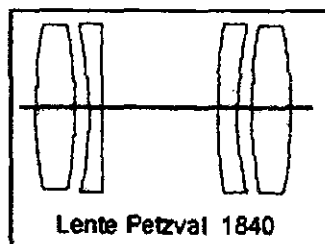
astigmatismo. En algunas cámaras de muy bajo costo y de máxima sencillez, se utiliza este tipo de objetivo, con una lente de menisco don un diafragma adelante o atrás de ella, con lo que se consigue aminorar a un término aceptable algunas aberraciones de la imagen; la esférica y el coma.

Prosiguiendo en orden de simplicidad, El tipo 2 y 3, un objetivo construido con dos lentillas corregidas para el acromatismo y la aberración esférica, el coma se puede corregir con la utilización de diferentes tipos de cristal óptico, dejando sin revertir los efectos del astigmatismo y la distorsión.



Este objetivo es un simétrico muy simple, fue muy popular, constituido de dos grupos de lentes con un diafragma intermedio, fue llamado el «R-R» o rectilinear-rápido inventado por Dallmeyer & Steinheil, con el «R-R» se corrige en mucho el coma, la distorsión y la aberración cromática lateral y la aberración cromática axial. De una elección correcta de los cristales ópticos dependía la corrección del astigmatismo. Dejando libre las aberraciones de curvatura de campo y la esférica.

Otro objetivo de este tipo es el Petzval, (inventado en 1840 por el Húngaro José Petzval) compuesto de dos juegos acromatizados de lentes, en la mayoría de los objetivos se prescindía del diafragma intermedio. Posteriormente Dallmeyer perfeccionó estos objetivos, para crear su objetivo para retrato que trabajaba a $f/3$, la modificación consistió en invertir el orden del juego posterior de lentes. Este tipo de objetivo sigue siendo usado hasta nuestros días. Otra empresa que trabaja y ha perfeccionado los objetivos PETZVAL es Kodak con aplicaciones en cámaras cinematográficas de 8 y 6 mm, con apertura de $f/1,9$. Aun cuando estos tipos de objetivos están corregidos cromáticamente, sus limitaciones ópticas, como su aberración cromática, los hace casi exclusivos para la proyección y no para la toma fotográfica o el registro de la imagen.



Los objetivos del cuarto tipo son construidos con una secuencia de lentes convexo - cóncavo - convexo. La forma clásica del triple

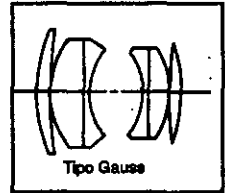
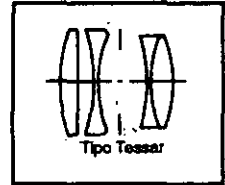
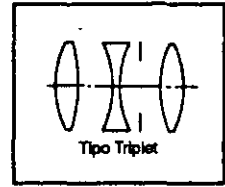
tipo es el Cooke triplet inventado por H. D. Taylor, con su invención, se dejó atrás los objetivos Petzval y anastigmáticos. El Cooke Triplet consiste en una lente Crown en primer lugar, una divergente Flint en segundo y en tercer lugar después del diafragma una lente Crown.

Una evolución de este tipo de lentes es el Zeiss Sonnar de $f/2$ y $f/1.5$ en los que se conserva el frente Crown y el juego triple en su misma forma, pero el grupo posterior es sustituido por un juego de lentillas. Al dividir el cristal sencillo en un par de cristales, se obtiene una buena compensación de la aberración esférica zonal. Como se hace en el objetivo Cooke $f/2.5$ serie X.

Hoy día este tipo de unión de lentes convexo – cóncavo – convexo, es muy usada en muchos objetivos, como un grupo más de la construcción total del objetivo, una de sus atribuciones principales es el poder de reducción de algunas aberraciones, como la aberración esférica, y el coma, entre otras. Un ejemplo de objetivo reciente que usa como parte de su óptica este juego de lentes es el Mamiya – Secor 1:2.8 $f=80\text{mm}$ $f/2.8$, comprendido de dos grupos de lentes, en el grupo primario es donde se encuentra la configuración antes mencionada, con el diafragma intermedio y en el segundo grupo un par de lentes. Este tipo de objetivos fue muy común en las cámaras de formato medio o 6 x 6 de paralelaje (no reflex).

Por último, el tipo simétrico, en el que los dos grupos de lentes que son separados por el diafragma, tienen casi la misma configuración y forma. Los tipos más comunes del objetivo simétrico son el Gauss, “el Triplet” (antes mencionado), el tipo Tessar, el Topogon y el tipo Ortométrico. De estos, el Gauss y sus derivaciones son muy comunes actualmente, ya que tienen un buen equilibrio de corrección en las distintas aberraciones. Antes de 1951, la firma japonesa Canon sacó al mercado el 50mm $f/1.8$ que corregía el coma, que era el único punto débil de esta configuración. Hoy día esta misma marca continúa usando la construcción tipo Gauss en lentes como el EF 50mm $f/1.8$ II, el EF 50mm $f/1.0\text{L USM}$, el EF 50mm $f/1.4$ USM, el EF 85mm $f/1.2$ USM y el TS-E 90mm $f/2.8$.

Mientras que los tipos Cooke y Tessar son usados hoy en cámaras compactas equipadas con una sola distancia focal.



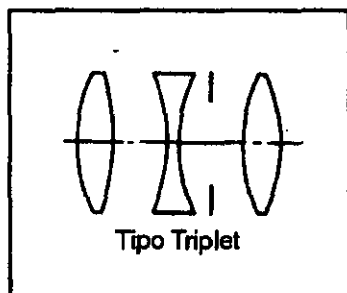
**Tipos de construcción
típicos de los
objetivos
fotográficos**

La forma más sencilla de objetivo simétrico es el «R - R». La gran ventaja que presentan éstos, es la corrección casi automática del coma, la distorsión y la aberración lateral cromática.

La forma más sencilla de objetivos simétricos son los gran angulares y los objetivos de reproducción. Algunos de los objetivos clásicos simétricos son le Ross Homocentric $f/5.6$ «R -R» que tenía una pequeña aberración esférica zonal. El Dallmeyer Pentac $f/2.9$ y $f/1.3$ que permitía un campo muy plano con una pequeña aberración astigmática. Y el T.T. & H. Speed - Panchro un objetivo muy bien equilibrado casi sin defectos.

Lentes gran angular

“Puede considerarse que el campo normal que cubre un objetivo fotográfico equivale a una diagonal igual que la distancia focal de un objetivo. Esto corresponde a un ángulo de campo de unos 53° . Cualquier objetivo que cubra apreciablemente mayor de éste, por ejemplo que cubra 65° o un diagonal de una vez y cuatro su distancia focal puede clasificarse como objetivo «Gran angular.»”³⁸



Uno de los primeros objetivos gran angular o semi angular creado, fue el Primoplane de Taylor & Hobson, que era un derivado del Cooke Triplet, cubriendo un campo de 75° a $f/8.0$. Este objetivo servía solo para componer visualmente, pues tenía un coma intolerable. Como parte de los objetivos gran angulares surgió un sistema muy peculiar de objetivos convertibles, que consistía en objetivos que podían ser montados o ensamblados entre ellos a fin de combinar sus características, creando un nuevo objetivo. Uno de los primeros objetivos convertibles fue el Cooke serie XV

convertible anastigmático de distancia focal de 67.5cm y apertura de $f/16$ que se podía combinar con otro objetivo de 48mm de distancia focal y un $f/12.5$, para formar un objetivo de 31cm de distancia focal y un $f/6.8$ que cubría una placa de 20 X 25 cm. La construcciones tipo Gauss y triplet son muy comun en estos tipos de objetivos.

38. Arthur Cox. Op.

cit, p. 144

Teleobjetivos

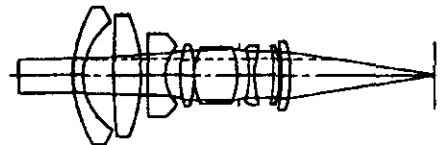
El concepto principal del teleobjetivo como lo estableció Dallmeyer es el de un objetivo de foco suficientemente largo para dar una reproducción a gran escala de un objeto distante, al propio tiempo que hubiera poca distancia focal posterior, o sea la distancia entre la parte posterior del objetivo y la placa (plano del film o película).

El siguiente principio de funcionamiento de un objetivo telefoto es extraído del libro de Óptica fotográfica de Arthur Cox.



Tipo Telefoto

*“El principio en el que se basa el tele objetivo consta de una lente o juego de lentes que construyen un lente convergente. Los rayos luminosos que pasan por esta lente delantera señalada A, que son inicialmente paralelos a su eje, se hacen convergir hacia un foco señalado F(1). Antes de alcanzar este foco, son interceptados por una lente negativa o divergente, señalada B, la cual reduce la convergencia de los rayos en forma que lleguen al foco señalado F(2). F(1) es el punto focal posterior del objetivo. La distancia que hay entre F(2) y la última superficie de cristal del objetivo es la distancia focal posterior, que es muy importante que se tenga en cuenta al montar el objetivo a la cámara. Si los rayos que se dirigen a F(2) siguieran hacia atrás para encontrarse con los rayos iniciales paralelos al eje, los puntos en que se cortarían estarían en el plano principal posterior. Este plano principal corta del eje del objetivo en el punto nodal posterior y la distancia del punto nodal posterior al punto focal posterior es la distancia focal equivalente a la del objetivo. Lo importante a señalar es que el punto nodal posterior se halla fuera, frente al objetivo y que la distancia focal posterior es mucho más corta que su equivalente distancia focal. La relación que hay entre la equivalente distancia focal con su longitud focal posterior puede definirse como la «potencia» del teleobjetivo. Por ejemplo un teleobjetivo clásico de 25cm de distancia focal y 12.5 cm de foco posterior, la potencia del teleobjetivo será de 2, o 2 diámetros, o también 2x. El efecto de un teleobjetivo 2x es aproximadamente producir una imagen de doble tamaño del que daría un objetivo normal con el mismo foco posterior.”*³⁹



Tipo telefoto invertido (retroenfoque)

Hasta hace poco los lentes zoom eran exclusivos en la fotografía, para el formato de 35mm. Hoy se cuenta con zooms para formato medio de la marca Schneider-Kreuznach y de Carl Zeiss.

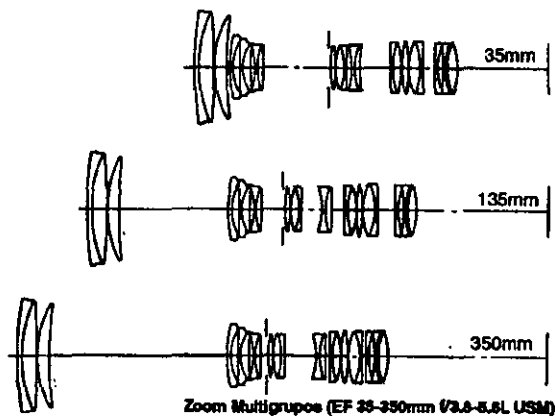
Objetivos de foco variable o Lentes Zoom

Los objetivos de foco variable fueron creados para el cine, para cubrir los movimientos de desplazamiento de la cámara dentro de la escena «Travelling», sin que la cámara cambie o se mueva de su posición. Este efecto se omite al aumentar gradualmente la distancia focal del objetivo de manera que produzca una imagen mayor o menor en la película.

El problema que se tenía que resolver en un objetivo como éste era mantener tres condiciones indispensables para la formación de la imagen: 1. La corrección de las distintas aberraciones, 2. El enfoque exacto de la imagen sobre la película, 3. Una apertura $f/$ sin variación pese al cambio de las distancias focales.

En los objetivos fotográficos estas condiciones varían respecto a los objetivos para cine. El enfoque en el desplazamiento de un objetivo de cine es automático, mediante una manivela que mueve el grupo de las lentes destinadas al enfoque al mismo tiempo que se desplazan los grupos de lentes destinadas a la ampliación de la imagen, a fin de

mantener un enfoque fijo. En el caso de los objetivos fotográficos, este enfoque no se realiza automáticamente. La otra condición en la que difieren los dos tipos de objetivos, es que en los fotográficos, la apertura $f/$ solo se mantiene fija en ciertos rangos.



En los lentes zoom que van desde gran angular hasta telefoto corto, la variación del diafragma ocurre cuando se pasa del gran angular que permite un número $f/$ más

grande, al telefoto para el cual disminuye de $\frac{1}{2}$ a 1 paso o parada de diafragma máximo de apertura total.

En una configuración ortodoxa de este tipo de objetivos, podemos encontrar cuatro grupos principales: 1. El grupo de enfoque, 2 el grupo de ampliación, 3 el grupo de corrección, 4 el grupo de formación de la imagen. De estos grupos, dos se desplazan a

distancias calculadas con mucha precisión para producir la variación en la distancia focal. Sin embargo, se puede decir que practicante todos los grupos de lentes del objetivo están sujetos, en mayor o menor medida, al movimiento.

Formas de enfoque

Ahora bien, todos los objetivos fotográficos se enfrentan a un problema, cómo conseguir el enfoque óptimo. El desarrollo de la tecnología óptico en la construcción de objetivos fotográficos ha diseñado cinco mecanismos o tipos de enfoque.

1 La extensión lineal global. Se basa en el movimiento directo de un lente hacia atrás o adelante a fin de conseguir el enfoque.

2 Extensión lineal del grupo delantero.

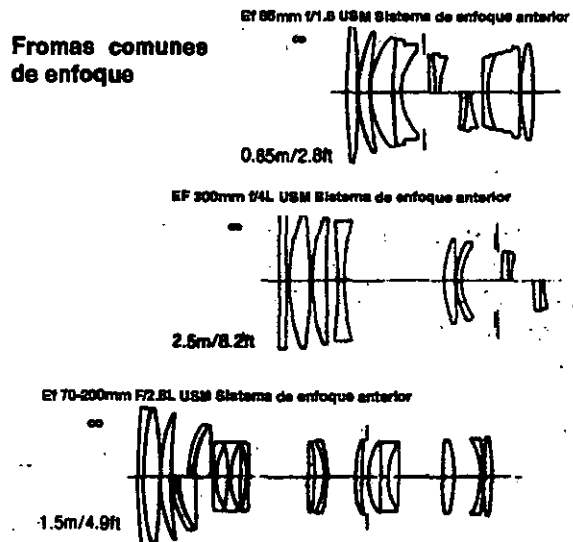
Consiste en el movimiento hacia delante o atrás, en forma lineal, del grupo delantero para conseguir el enfoque.

3 Extensión rotatoria del grupo delantero.

El movimiento de la sección de la lente del barril que sostiene el grupo de lentes delanteros gira para mover el grupo delantero hacia atrás y adelante durante el enfoque. En otras palabras, al girar el cañón del lente se inicia un movimiento de una sección del objetivo (de manera rotatoria) que desplaza al grupo delantero de lentes hacia atrás o delante, logrando el enfoque. Este sistema es exclusivo de las lentes Zoom y no se encuentra en objetivos de una sola distancia focal.

4 La convergencia interna

Este enfoque se realiza por el movimiento de uno o más grupos de lentes posicionados entre los grupos delanteros del objetivo y el diafragma.



5 La convergencia trasera

Este enfoque consta del movimiento de uno o más grupos de lentes posicionados detrás del diafragma.

Defectos y aberraciones

Hasta aquí podemos dejar de hablar, por el momento, de la construcción de objetivos, para entrar en un tema que ya se ha mencionado; las aberraciones que ocurren en los objetivos.

“Las aberraciones de una lente de este tipo (compuesta) que sería imperfecta de muy distintas maneras, recibiendo el nombre de aberraciones de las lentes.”⁴⁰

La perfección o imperfección de una lente es clasificada de acuerdo a la calidad que presenta la imagen que ella proyecta. Por ello de manera más específica podríamos decir que “las aberraciones son defectos que presenta una imagen proyectada por un objetivo o lente. Para juzgar las cualidades que debe tener una imagen perfecta o ideal, se toman en cuenta los siguientes parámetros:

1. Los puntos deben de ser reproducidos como puntos (circulares).
2. Un plano, que esté perpendicular al eje del objetivo, deberá ser reproducido como tal.
3. Debe de conservarse la silueta del objeto tal cual es al ser reproducida.
4. Los colores que se formen en la imagen creada por la lente deberán ser los verdaderos.

En la definición, se menciona el término “comportamiento de la lente”, el cual se puede definir como: La forma en que la luz que entra al objetivo se ve afectada por las distintas lentes que lo componen. A fin de entender esto último, deberemos retomar el tema de la luz y su comportamiento, como ya se mencionó para el estudio de la luz y su comportamiento en los objetivos fotográficos, ésta se debe de interpretar como onda que se propaga en todas direcciones a una velocidad constante, es decir, de forma geométrica. La óptica geométrica nos dice que cualquier rayo de luz que atraviese una superficie de diferente densidad que la de su medio de propagación (P. ej. El aire), sufrirá una modificación que puede estar en su dirección de propagación, en su frecuencia, o en su

40. H. J. Walls. La fotografía y sus fundamentos científicos. Barcelona. Ediciones Omega, 1981; p. 40

composición. A la modificación que sufre la luz en su composición se le conoce como “**refracción**”.

“Cualquier rayo de luz que atraviese una superficie que separe el aire del cristal, experimentará una súbita desviación o refracción.”⁴¹

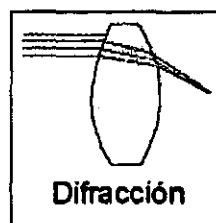
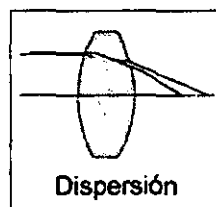
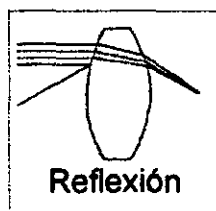
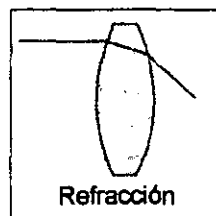
Otro cambio de dirección que sufre la luz, se le conoce como “**reflexión**”. *“La reflexión difiere de la refracción, en que es un fenómeno que causa una porción de la luz que golpea en la superficie del vidrio u otro medio para romper y propagarse completamente en una nueva dirección.”⁴²* En lentes que no son antirreflejantes, aproximadamente un 5% de la luz es reflejada. Un ejemplo claro de este fenómeno, lo observan las personas que utilizan gafas, cuyos cristales no tienen una cubierta antirreflejos; estas personas aprecian en los bordes de la lente, del lado interior, un reflejo de luz molesto.

A la modificación que sufre en su composición, se le conoce como “**dispersión**”. *“El poder de desviación del cristal no es el mismo para todos los colores de la luz. Un rayo de luz azul, se desvía más que un rayo de luz amarilla y, a su vez, este último se desvía más fuertemente que los de un rayo de luz roja.”⁴³*

El último fenómeno que tocaremos se conoce como “**difracción**”. La difracción *“desviación de los rayos luminosos alrededor de los objetos opacos, especialmente notables si el objeto o paco tiene un ángulo agudo.”⁴⁴* Este fenómeno ocurre cuando las ondas ligeras entran en el área de sombra de un objeto.

El estudio de estos fenómenos es vital, porque una parte muy importante de las aberraciones sufridas en un lente dependen de ellos. Existen dos condiciones generales para las aberraciones: El primero se le conoce como aberraciones cromáticas; por que dependen de las distintas longitudes de onda. Y son provocadas por los fenómenos de dispersión y difracción.

La dispersión es una de las cualidades más importantes de una lente, llamada “el poder de dispersión”, que es asignado mediante el número Abbe del cristal V.



41. Arthur Cox. Op. cit, p. 87

42. Canon. Op. cit, p. 190

43. Arthur Cox. Op. cit, p. 86

44. Enciclopedia focal de fotografía. Fotobiblioteca pública. Barcelona, p. 440

Las cifras que proporciona cada cristal, número Abbe e índice refractivo dependen de la composición del cristal, apoyándonos en la misma fuente, presentamos la siguiente tabla:

“Índices de refracción y números Abbe de los cristales

<u>Tipo de cristal</u>	<u>Índices de refracción</u>	<u>Números Abbe</u>
<i>Crown duro</i>	1.518	60.3
<i>Crown borosilicato</i>	1.509	64.4
<i>Crown medio al bario</i>	1.576	57.4
<i>Crown denso al bario</i>	1.613	60
<i>Flint ligero</i>	1.583	41.8
<i>Flint denso</i>	1.621	36.1
<i>Flint extradenso</i>	1.652	33.6
<i>Flint doble extradenso</i>	1.802	25.5” ⁴⁵

Existe también otros tipos de aberraciones ocasionadas por el cambio de dirección de la luz al atravesar la lente debido a los fenómenos de refracción y difracción de las lentes. Estas aberraciones son conocidas como “aberraciones monocromáticas”, porque ocurren en una sola longitud de onda. Para aclarar como repercuten estos fenómenos causando aberraciones en un objetivo fotográfico, nos valdremos de un ejemplo sencillo con una lente simple.

Cuando los rayos de luz provenientes de la imagen pasan a través de la lente, éstos son desviados en un cierto ángulo, al salir el rayo de la lente es desviado nuevamente en un ángulo recto, el problema que causa la aberración es que al salir los rayos de luz de la lente estos no cortarían en el mismo punto, debido a que la desviación que sufren los rayos es distinta dependiendo del punto en el que toquen la lente. Entre más alejado del centro de la lente o eje óptico atraviese un rayo, mayor será la desviación que éste sufra, es decir, los rayos luminosos de los bordes, convergerán en un foco más próximo al lente, mientras que los rayos cercanos al eje óptico lo harán en un foco más distante. Este problema se agrava cuando se toma en cuenta que la luz ordinaria no es monocromática y el cristal refractará los distintos colores que componen la luz en ángulos diferentes provocando que el rayo de luz tenga más de un punto de foco. Estas aberraciones son las primeras que se presentan en una lente simple, y se les conoce como aberraciones de primer orden o de Seidel (matemático Alemán que descubrió sus valores). En los primeros

45. *Ibidem*, p.88

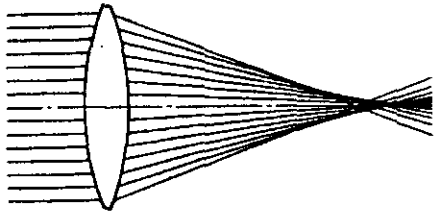
objetivos fotográficos, estas aberraciones eran muy comunes y se presentaban a diafragmas menores de $f/16$ y en campos inferiores de 10° . Estos defectos de la imagen producida por las lentes, son relativamente fáciles de corregir, en muchas ocasiones con el simple uso de un cristal óptico apropiado, o en otras, con combinar dos o más lentes distintas con características particulares para cada una.

Además de las aberraciones de primer orden existen otros tipos de defectos, éstos suelen presentarse tanto en el campo como en la abertura del objetivo fotográfico, dichas aberraciones o defectos, son más complejas y difíciles de tratar que las anteriores, de hecho no pueden ser eliminadas totalmente. A este grupo de defectos se les conoce como "Aberraciones principales" y pueden ser divididas en aberraciones de segundo y tercer orden. Las aberraciones principales son clasificadas en seis tipos.

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Aberración esférica | 4. Curvatura de campo |
| 2. Coma | 5. Distorsión |
| 3. Astigmatismo | 6. Aberraciones cromáticas |

Aberración esférica

Esta aberración ocurre debido a que como se menciona antes los rayos de luz que atraviesan la lente son desviados en ángulos distintos, dependiendo de la posición en que el rayo toque la lente. Esta condición es igual en lentes convergentes y divergentes. Esta aberración es propia de todas las lentes esféricas. Como consecuencia de esta aberración se provoca que la imagen que forma la lente no tenga un punto de foco para todos los rayos de luz que la forma, y por lo tanto el enfoque o nitidez de ella será nulo.



Aberración esférica

Aún cuando se puede pensar que esta aberración pertenece a las de primer orden y corregirse de manera simple, por ejemplo, con el uso de una lente Crown de 1.52 de índice de refracción que tiene una muy pequeña aberración esférica. El problema resulta no ser tan fácil, porque en los objetivos fotográficos que se componen de varios lentes, se debe de mantener un equilibrio entre todas las lentes que lo componen, ya que cada uno de ellos influirá en la luz. Y tampoco

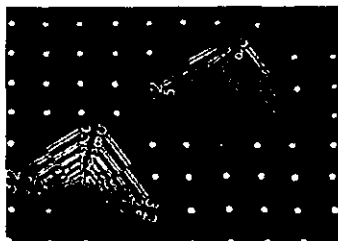


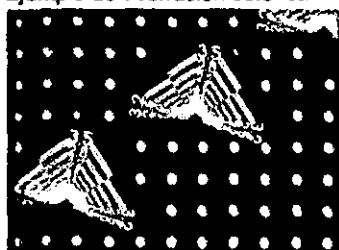
Imagen sin aberraciones

sería factible el usar un objetivo de una sola lente porque ya mencionamos que este tipo de objetivos presenta muchas otras aberraciones.

La aberración esférica ocurre en dos puntos de la imagen, uno ocurre cerca del eje óptico del objetivo "*La cantidad de cambio del punto focal a lo largo del eje óptico se llama aberración longitudinal esférica...* La otra ocurre en los puntos periféricos de la lente provocando una llamarada en la imagen. *Esta llamarada también se llama halo y su radio se llama aberración lateral esférica.*"⁴⁶

Un desequilibrio de las lentes debido a una corrección de esta aberración, provoca una aberración esférica zonal "*un desequilibrio de los rayos que al pasar por los otros lentes vuelven a sufrir modificaciones en su eje, y por lo tanto uno o más tienden a cortar en puntos diferentes al del foco principal, ocasionando una aberración de zona.*"⁴⁷ Dicho desequilibrio puede ir degenerando en el alargamiento o acortamiento sucesivos, o ambos, de los puntos de foco de algunas zonas de la imagen (el alargamiento es una aberración de primer orden, el acortamiento es de segundo orden).

Ejemplo de aberración esférica



Como se puede entender la aberración esférica afecta al área total de la imagen, produciendo un fino velo causado a la disminución del contraste. La aberración esférica se

presenta en diafragmas de diámetro grande, una disminución en la proporción de la abertura repercutirá en una disminución de este defecto. En los primeros objetivos que corregían el problema, se limitaba en mucho la abertura del diafragma. Actualmente esta aberración afecta mayormente a los lentes de gran abertura. Para concluir nos apoyaremos en la siguiente definición:

*"Aberración esférica. Un cono de ondas esféricas es transformado después de la refracción en una superficie esférica S en un grupo de ondas no esféricas. Por ello los rayos que forman ángulos distintos con el que quedan enfocados a distancias diferentes de la lente, y no existe una posición de foco nítido."*⁴⁸

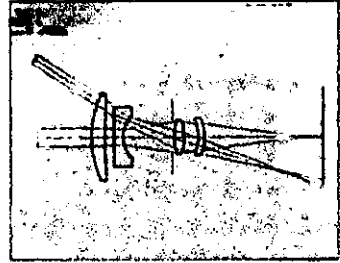
46. Canon. Op. cit, p. 195

47. Arthur Cox. Op. cit, p. 94

48. H. J. Walk. Op. cit, p. 43

El coma

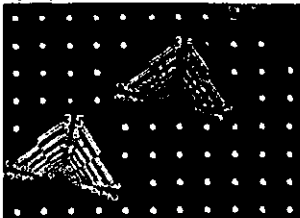
La aberración comatica afecta a la parte exterior de la imagen. El coma es consecuencia de la corrección de la aberración esférica en un lente, esta aberración es producida por los rayos de luz provenientes de un punto exterior de la imagen que atraviesan la lente por su borde en un ángulo agudo, al atravesar los rayos los lentes del objetivo, se ven afectados por el defecto esférico, que es la disparidad, antes mencionada, en los ángulos de refracción en función de la superficie de la lente, provocando que el punto de foco de estos rayos que idealmente debería de coincidir para todos ellos, se pierda. Esta condición provoca la formación de una imagen imperfecta, en la que el punto de luz del que parten los rayos hacia el objetivo sea formado en la película o material fotosensible, no como un punto, sino como una especie de cometa con un halo o cola que lo sigue, de ahí el nombre de coma. *“El coma se incrementa cuando se incrementa el ángulo del rayo principal y causa un descenso en el contraste cercano a los bordes de la imagen.”*⁴⁹



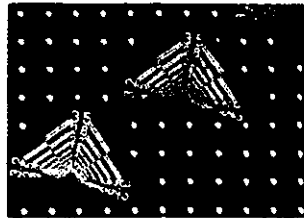
Aberración comatica

La mancha que el coma produce en la imagen varía de tamaño, según el objetivo, pero su forma es la misma y se le asigna el nombre de coma de primer orden. *“La cola del coma puede estar en dirección opuesta al eje del objetivo, en cuyo caso se llama coma exterior, o bien puede estar con su cabeza hacia el eje del objetivo y en este caso se trata de un coma interior.”*⁵⁰ Al igual que en la aberración esférica, los tipos de coma son de diferentes órdenes, que se dan en función del crecimiento del campo de la imagen y/o del diafragma, los comas de segundo y tercer orden son más difíciles de tratar, afectando notablemente a la calidad de la imagen.

Ejemplo de coma exterior



Ejemplo de coma interior

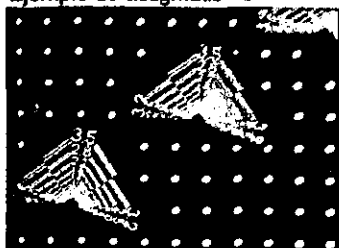


49. Canon. Op. cit, p. 195

50. Arthur Cox. Op. cit, p. 98

En un objetivo fotográfico moderno que emplea varios grupos de lentes, controlar el coma es difícil, debido a que al igual que en la anterior aberración, se debe de mantener un equilibrio en la corrección de los lentes. El coma puede ser prácticamente eliminado al reducir la proporción de la abertura (diámetro) a niveles muy bajos, por ejemplo, un $f/64$, pero esto no es muy funcional ya que se sacrifica la brillantez de la imagen, además de que las condiciones de luz que se necesitan para diafragmar tan cerrado, son inusuales. Otro aspecto que limita este tipo de corrección radica en que la gran mayoría de los objetivos fotográficos suelen manejar hasta un $f/32$ como máximo diafragma, un objetivo que lograra un $f/64$ sería muy poco luminoso e impartido. En los objetivos para astronomía o telescopios, al propietario puede introducir una correctora de coma, la que consiste en un grupo de lentes sementados con propiedades específicas para hacer converger a los rayos en cuestión en un solo punto de foco, por desgracia esto no es aplicable para los objetivos fotográficos, que no pueden ser modificados una vez que han sido construidos. Al igual que en la aberración anterior entre más luminosos sean los objetivos fotográficos (mayor proporción de apertura), se verán mayormente afectados por el coma. Los objetivos que logran eliminar la aberración esférica y el coma son conocidos como Aplanat.

Ejemplo de astigmatismo



El astigmatismo

“Con un lente corregido de la aberración comática y esférica, un punto del objeto del eje óptico se reproducirá correctamente en la imagen, pero un punto del objeto fuera del eje no aparecerá como un punto en la imagen, sino como una elipse o una línea. Este tipo de aberración se llama astigmatismo.”⁵¹ El astigmatismo es una condición provocada por un defecto en la curvatura del campo de visión, causando que una lente

astigmática enfoque distintamente las líneas verticales de las horizontales, además repercute en una pérdida de las proporciones de los objetos, un cuadrado parecerá como un rectángulo cuya base y altura difieren entre sí. Esto se expresa de acuerdo a la llamada “diferencia astigmática” que es la distancia existente entre las posiciones de enfoque que se emplean para los rayos del plano meridional y los del sagital. *“Un rayo de luz inicialmente circular en sección transversal y oblicuo al eje de la lente, después de pasar*

51. Canon. Op. cit, p. 195

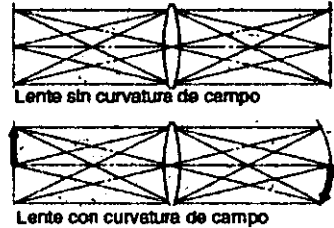
a través de una lente astigmática es llevado a un foco en dos líneas cortas y rectas perpendiculares entre sí y a distancias diferentes de la lente. La mejor aproximación a un foco puntual es entonces un pequeño círculo finito que se encuentra a la mitad del camino entre ellas."⁵² Esta condición es responsable de que en la formación de la imagen después de pasar por el objetivo, la imagen presente una duplicación, una imagen anterior y una posterior.

El astigmatismo puede ser corregido mediante el uso de cristales convergentes de distinto número de refracción, colocados en distintas posiciones dentro del objetivo, los cristales pueden ser por ejemplo cilíndricos o tóricos.

Curvatura de campo

*"La curvatura de campo es un fenómeno que causa que la formación del plano de una imagen se convierta en curva."*⁵³ Esta condición es muy común en todas las lentes, seguramente nos ha ocurrido que al reproducir un objeto plano este no se forma como tal, y que cuando la parte céntrica de la imagen se encuentra a foco, la periferia de ella no, o viceversa. A continuación enunciaremos una explicación del por qué ocurre esto: *"Si dos puntos en el plano del objeto OP se encuentran a distancias diferentes del eje, la luz procedente de ellos puede no estar enfocada en el mismo plano de la imagen IP. Entonces, las partes centrales y marginales de la imagen pueden no encontrarse conjuntamente en foco sobre una superficie plana."*⁵⁴

La curvatura de campo se deriva de la corrección del astigmatismo, una buena corrección astigmática degenerara en una curvatura de campo muy pequeña, aunque puede ser al revés. Para disminuir la curvatura de campo se modifican las formas de varios elementos de cristal (lentes), y se cambian sus posiciones dentro del objetivo. En esta aberración el cerrar el diafragma no modifica en nada la calidad final, por ello al construir un objetivo se debe tomar en cuenta "la condición de Petzval" que establece que un objetivo será bueno, si el resultado de la suma de Petzval tiende a cero, dicha suma consiste en agregar al número total de elementos de lente que conforman al objetivo, el inverso del producto del índice de refracción y la longitud focal del elemento de la lente.

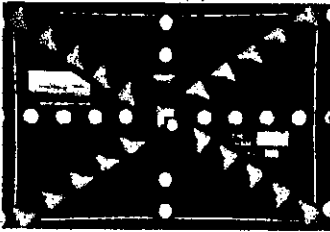


52. H. J. Walls. Op. cit, p. 46.

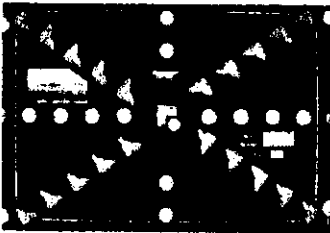
53. Cannon. Op. cit, p. 196

54. H. J. Walls. Op. cit, p. 43

Distorsión acerica (+)



Distorsión de cañón o barril (-)



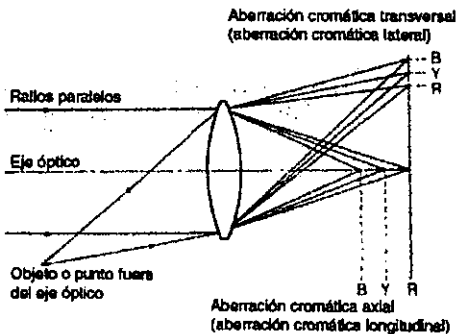
Distorsión

La distorsión es una aberración que se da en la forma de la imagen que es proyectada por el objetivo fotográfico, respecto del objeto real del que emergen los rayos de luz, esta forma o silueta se deforma debido a una curvatura en las líneas de la imagen. Esta aberración presenta dos tipos de deformación en las líneas; la acerica, que consiste en el estiramiento de las líneas, a esta condición se otorga el signo +. La segunda deformación es la llamada de cañón o barril, que consiste en el acortamiento o compresión de las líneas y se le da el signo -.

La distorsión es muy común en los objetivos asimétricos, los objetivos simétricos presentan una muy pequeña distorsión. Aunque en algunos lentes gran angulares suelen presentarse los dos tipos de distorsiones. En las lentes zoom o de foco variable, que pasan de un gran angular a un telefoto, se observan también las dos distorsiones, la de cañón cuando se está en un campo muy abierto y la acerica en un campo corto.

Las aberraciones cromáticas

Estas aberraciones son producto de la dispersión que sufre la luz blanca cuando atraviesa un cristal o lente, debido a los distintos grados de refracción que sufren las longitudes de onda que compone la luz blanca.



*"Debido a la dispersión la distancia focal varía con el color de la luz y colores diferentes se enfocan a distancias diferentes de la lente. Por ello no existe una posición de foco nítido para todos los colores."*⁵⁵ Aunado al problema de dispersión que presentan las lentes, entra en juego otro aspecto que modifica el punto de foco ideal para la formación de la imagen, éste consiste en que cuando se emplean placas o películas

azul del espectro, el enfoque real de la imagen se ve imposibilitado debido a que la sensibilidad máxima del ojo humano se encuentra en las regiones de los verdes y amarillos. Esta diferencia en las longitudes de onda hace imposible el llegar a un foco nítido para la formación de la imagen. En un objetivo fotográfico se encuentran dos tipos comunes de aberraciones cromáticas, La aberración cromática axial y la aberración cromática lateral.

Aberración cromática axial

La aberración cromática axial puede ser definida como la condición, *“donde la posición del punto focal en el eje óptico varía de acuerdo a la longitud de onda.”*⁵⁶ A esta aberración también se le conoce como “aberración cromática longitudinal”, por que ocurre longitudinalmente al eje óptico.

Las aberraciones cromáticas, y en especial ésta, son muy frecuentes en los objetivos de foco largo o telefoto, provocando que el lente no logre formar una imagen nítida por los múltiples puntos de foco que tendrá la imagen. Generalmente esta aberración es controlada con el uso de una lente convergente compuesta, de dos elementos; un lente Crown convergente que obliga a los rayos de longitud azul, a situarse más cerca del lente que los rojos, y el otro lente un Flint divergente que tiende a alejar a los rayos azules de la lente, a partir de este equilibrio se logra que los rayos azules y rojos converjan en un solo punto. A estos lentes se le conoce como acromáticos, porque corrigen la aberración cromática para dos longitudes de onda que son el rango azul-violeta y el rango amarillo-rojo. Cabe mencionar que este tipo de corrección llega hasta un cierto límite que no se puede superar con cristales ópticos comunes.



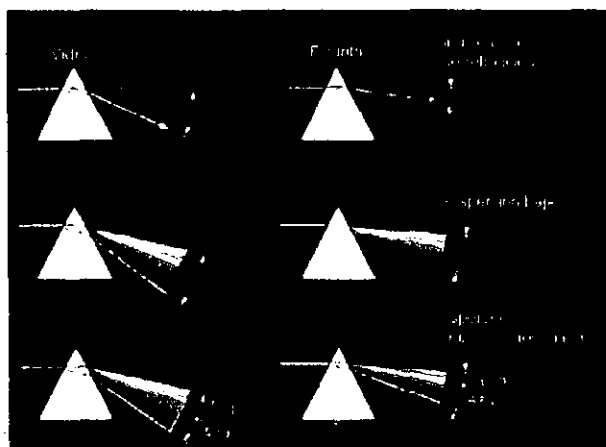
Aberración cromática axial

En teoría con la corrección acromática las demás longitudes de onda deberían converger en el mismo punto de foco, pero, realmente no ocurre esto, y las longitudes de onda no corregidas salen del punto de foco, para converger en un punto de foco más distante en el eje óptico. A esta condición se le asigna la categoría de “aberración cromática del espectro secundario”.

Para corregir este defecto residual cromático o espectro secundario, es necesario entrar a una nueva condición de corrección de la aberración cromática axial, el "apocromatismo". Una lente apocromática es *"una lente que corrige la aberración cromática de tres longitudes de onda de luz, con aberración reducida en un amplio grado particularmente en el espectro secundario."*⁵⁷ Anteriormente una lente corregida apocromáticamente era de muy limitadas aplicaciones fotográficas, debido a que su abertura máxima llegaba a un $f/11$, sus mayores aplicaciones se encontraban en la microscopía, en la que los objetivos de fluorita natural corregían totalmente las aberraciones antes mencionadas. Actualmente gracias al desarrollo de nuevos cristales ópticos es posible el desarrollo de objetivos fotográficos apocromáticos que cubren ampliamente las necesidades fotográficas. Esto último nos regresa a un tema antes mencionado, "la dispersión parcial".

La dispersión parcial extraordinaria refiere a las propiedades o características especiales de algunos elementos de cristal, Por ejemplo; el cristal de FK que ofrece un índice pequeño de refracción y una dispersión muy baja, o el Fluorita y el cristal UD, que tiene la dispersión parcial superior a longitudes de onda largas, contrario al cristal óptico común que tiene para las longitudes de onda cortas.

*"Estos tipos de cristal son clasificados por tener las características de dispersión parciales extraordinarias. Cristal con es propiedad se usa en las lentes apocromáticas para compensar la aberración cromática."*⁵⁸



57. *Ibidem*, p.195

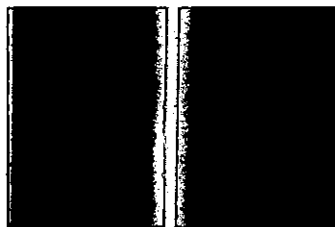
58. *Ibidem*, p.190

azul del espectro, el enfoque real de la imagen se ve imposibilitado debido a que la sensibilidad máxima del ojo humano se encuentra en las regiones de los verdes y amarillos. Esta diferencia en las longitudes de onda hace imposible el llegar a un foco nítido para la formación de la imagen. En un objetivo fotográfico se encuentran dos tipos comunes de aberraciones cromáticas, La aberración cromática axial y la aberración cromática lateral.

Aberración cromática axial

La aberración cromática axial puede ser definida como la condición, *“donde la posición del punto focal en el eje óptico varía de acuerdo a la longitud de onda.”*⁵⁶ A esta aberración también se le conoce como “aberración cromática longitudinal”, por que ocurre longitudinalmente al eje óptico.

Las aberraciones cromáticas, y en especial ésta, son muy frecuentes en los objetivos de foco largo o telefoto, provocando que el lente no logre formar una imagen nítida por los múltiples puntos de foco que tendrá la imagen. Generalmente esta aberración es controlada con el uso de una lente convergente compuesta, de dos elementos; un lente Crown convergente que obliga a los rayos de longitud azul, a situarse más cerca del lente que los rojos, y el otro lente un Flint divergente que tiende a alejar a los rayos azules de la lente, a partir de este equilibrio se logra que los rayos azules y rojos converjan en un solo punto. A estos lentes se le conoce como acromáticos, porque corrigen la aberración cromática para dos longitudes de onda que son el rango azul-violeta y el rango amarillo-rojo. Cabe mencionar que este tipo de corrección llega hasta un cierto límite que no se puede superar con cristales ópticos comunes.



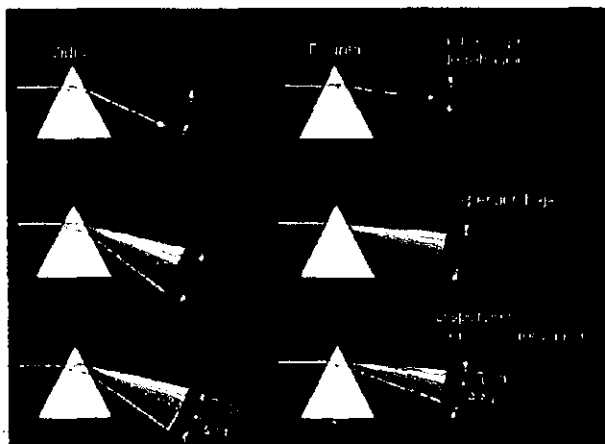
Aberración
cromática axial

En teoría con la corrección acromática las demás longitudes de onda deberían converger en el mismo punto de foco, pero, realmente no ocurre esto, y las longitudes de onda no corregidas salen del punto de foco, para converger en un punto de foco más distante en el eje óptico. A esta condición se le asigna la categoría de “aberración cromática del espectro secundario”.

Para corregir este defecto residual cromático o espectro secundario, es necesario entrar a una nueva condición de corrección de la aberración cromática axial, el "apocromatismo". Una lente apocromática es *"una lente que corrige la aberración cromática de tres longitudes de onda de luz, con aberración reducida en un amplio grado particularmente en el espectro secundario."*⁵⁷ Anteriormente una lente corregida apocromáticamente era de muy limitadas aplicaciones fotográficas, debido a que su abertura máxima llegaba a un $f/11$, sus mayores aplicaciones se encontraban en la microscopía, en la que los objetivos de fluorita natural corregían totalmente las aberraciones antes mencionadas. Actualmente gracias al desarrollo de nuevos cristales ópticos es posible el desarrollo de objetivos fotográficos apocromáticos que cubren ampliamente las necesidades fotográficas. Esto último nos regresa a un tema antes mencionado, "la dispersión parcial".

La dispersión parcial extraordinaria refiere a las propiedades o características especiales de algunos elementos de cristal, Por ejemplo; el cristal de FK que ofrece un índice pequeño de refracción y una dispersión muy baja, o el Fluorita y el cristal UD, que tiene la dispersión parcial superior a longitudes de onda largas, contrario al cristal óptico común que tiene para las longitudes de onda cortas.

*"Estos tipos de cristal son clasificados por tener las características de dispersión parciales extraordinarias. Cristal con es propiedad se usa en las lentes apocromáticas para compensar la aberración cromática."*⁵⁸



57. *Ibíd*em, p.195

58. *Ibíd*em, p.190

Aberración cromática lateral

La aberración cromática lateral recibe este nombre debido a que ocurre lateralmente, con respecto al eje óptico. También es llamada "diferencia cromática de magnificación". *En las fotos actuales, la aberración cromática axial aparece como borrosa o una llamarada (bengala), y la diferencia cromática de magnificación aparece como borde de color (los bordes muestran color mas allá de sus orillas)."*⁵⁹ Esta aberración es causada por rayos de color que no convergen en el mismo punto de foco que lo demás rayos destinados a formar la imagen. Tal magnificación de los bordes o contornos trae como consecuencia que la imagen se vea fuera de foco, poco nítida.

Aberración cromática transversal



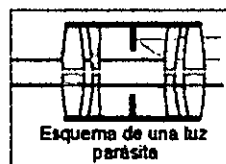
Esta aberración continúa siendo causada por la dispersión de las lentes, y para una corrección de ella, se debe recurrir a lentes con tendencias opuestas (convergente y divergente) agrupadas en juegos equilibrados que busquen hacer converger a todas las longitudes de onda en un solo punto. De igual manera el uso de cristales ópticos con dispersión parcial extraordinaria contribuye en mucho para corregir esta aberración.

Se debe tener en cuenta que las aberraciones cromáticas también afectan a las películas o placas pancromáticas (blanco y negro), causando una pérdida de definición en la fotografía.

Luces parásitas

Las luces parásitas o fantasmas, son provocadas por el fenómeno de reflexión. En objetivo fotográfico común, al entrar los rayos de luz y atravesar las lentes o elementos de cristal óptico, se provoca una cierta cantidad de reflexión, entre el 4 y el 10% en relación con el tipo de cristal. Dicha reflexión en las lentes interiores puede provocar problemas en la calidad de la imagen, algunos de estos problemas pueden ser solamente visuales, es decir, que solo afectan al momento de observar a través del objetivo, pero también pueden ser más graves y afectar a la imagen que se formara en el materia fotosensible.

Una luz parásita es creada cuando un rayo de luz que choca con el cristal óptico, rompe en una nueva dirección de propagación dentro





Cañón de Zoom

del cañón del objetivo, el cañón es la estructura o soporte en forma tubular en el que se colocan las lentes para formar el objetivo fotográfico. El rayo refractado choca nuevamente con otra lente o con la pared del cañón, se debe de recortar que dentro del objetivo existen espacios "vacíos" ocupados por aire, que sirven para el desplazamiento interno de los diferentes grupos de lentes,, al chocar este rayo forma un reflejo indeseado, que puede estar dirigido hacia el plano de la película del lente. Provocando fantasmas, especies de velos sobre el negativo.

Para corregir este problema, los constructores de objetivos fotográficos utilizan lentes antirreflejo, que reducen al máximo el fenómeno de reflexión. También se puede modificar la estructura interna del cañón, mediante un astreado en sus paredes internas, que tiene como fin, atrapar a las probables luces parásitas que se pudieran crear dentro del objetivo fotográfico.

Antes de hacer punto final en el tema de la aberraciones, es menester el reflexionar en la importancia que tienen estas, en el comportamiento de una lente.

Como ya se menciona la corrección de una aberración conlleva muchas ocasiones al surgimiento de una nueva aberración. Por otra parte hay que pensar que no existe en el mercado una lente que este corregido de todas la aberraciones, a lo más que se puede llegar es a un equilibrio de todas ellas, o a la eliminación parcial de las que más afectan a ese tipo objetivo fotográfico en particular. *"En el objetivo que se halla afectado por unas aberraciones que deben equilibrarse unas después de otras y que resulta imposible eliminar. Los rayos luminosos no convergen en puntos exactos que corten en el plano con la mancha luminosa de tamaño determinado y, por consiguiente esto debe influir en los cálculos de la profundidad focal."*⁶⁰

Anteriormente ya hablamos del error que existe en la longitud focal grabada en los objetivos fotográficos. Prácticamente todos los objetivos existentes en el mercado no aprobarían un examen óptico minucioso, por ello los fabricantes juzgan la calidad de sus lentes, en función de un estándar de calidad, que puede ser el ISO, basado solamente en la calidad de producción y no la óptica. En la mayoría de catálogos para venta, los fabricantes mencionan la eliminación o

corrección total de las aberraciones, y sitúan a sus objetivos muy alto dentro del estándar, mas la gran parte de estos catálogos no describe como es que lo han conseguido. Por ello es de mucha importancia el conocimiento de la óptica fotográfica. Es cierto que a muchos fotógrafos, no les interesa en nada los asuntos técnicos de su equipo fotográfico, pero también es cierto que la calidad final de una fotografía depende en mucho del cuidado y manejo que se tenga de la técnica y tecnología que posibilitan la toma fotográfica.

Para concluir haré referencia a Arthur Cox, quien en su libro "Óptica fotográfica" escribe lo siguiente: *"Muchas veces, un fotógrafo cree estar en posesión de un objetivo realmente preciso, hasta que, cuando se le presenta para realizar, un trabajo que requiere de una verdadera precisión, tiene ocasión de comprobar que el estándar bajo el cual clasifico aquel objetivo no era tan alto como creía."*⁶¹ Esta cita fue la estrella polar que guio el desarrollo del tema de la óptica en este muy modesto trabajo.

Lentes Canon (corrección de las aberraciones)

Para iniciar este tema, es necesario aclarar que el haber escogido esta marca de lentes fotográficos, obedece solamente a la disponibilidad de información de que gocé en ese momento, y no a un nexo o interés comercial. Además se debe puntualizar que Canon, a diferencia de otras firmas renombradas, es la única que cuenta con una filial en México, que se dedica a la distribución y comercialización de sus productos, por lo cual es más factible para el fotógrafo interesado en la corrección de las aberraciones, el adquirir alguno de los objetivos o accesorios aquí mencionados. Esto es de capital importancia, porque, aun cuando otras compañías como Carl Zeiss tienen una dependencia en nuestro país, esta solo se dedica a la microscopía, dejando sin atender totalmente a la fotografía, y resulta muy difícil conseguir con ellos información acerca del tema. Otras marcas como Olympus, Nikor, Leitz, Schneider-Kreuznach, Meyer O, Goerliz, Rodenstock y Mamiya-Sekor, solo cuentan en México con un distribuidor oficial de sus productos, mismo que no es una dependencia especializada, sino un proveedor de artículos fotográficos en general.

De igual manera se debe hacer la aclaración, que aun cuando existan

paginas oficiales de estas compañías, en el mayor número de ellas, la información de que se dispone esta más enfocada al mercadeo de sus productos, que a sus cuestiones técnicas.

Son muchas las compañías dedicadas a la óptica fotográfica que buscan continuamente el desarrollo de tecnologías que permitan la eliminación de las aberraciones y defectos ópticos que limitan el rendimiento de sus lentes, dichas tecnologías mayormente se encuentran bajo patente, por lo que su uso corresponde casi exclusivamente a la compañía que la desarrollo. La firma japonesa Canon, se ha distinguido por su continúa innovación en este campo. Actualmente es una de las compañías más reconocidas y utilizadas por fotógrafos profesionales que trabajan en 35mm, al grado de que revistas especializadas en fotografía sitúan a la serie "L" de lentes Canon, como un estándar en la fotografía de deportes, naturaleza y paisaje. Revistas especializadas como "National Geographic", reconocen ampliamente la calidad de los objetivos Canon. El reconocimiento que se ha otorgado a Canon, es producto de la calidad y versatilidad de sus equipos, fotógrafos como Arthur Morris, Hideo Kawazu, Hans Strand, Sheila Metner, Philip quirk, Kaory Soehata, Stefan Buntentbach y Hiroyuki Yakushi, certifican la calidad de la serie "L" de lentes canon.



Imagen de lente esférico

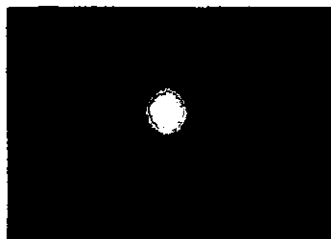


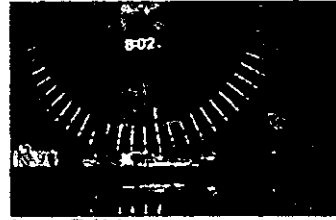
Imagen de lente esférico

Lentes Asféricos

Para la corrección de las aberraciones, Canon ha desarrollado tecnologías de ultra alta precisión, apoyados en procesos complejos de computo, como los lentes esféricos (no esféricos), que superan los límites teóricos que imposibilitaban la "eliminación" de las aberraciones más comunes, que eran provocadas por la naturaleza esférica de las lentes, como los distintos niveles de refracción que se dan según el punto de la superficie de la lente en que choque el rayo de luz.

Los lentes asféricos son lentes de naturaleza no esférica, que fueron desarrollados por Canon a mediados de los años 60, y que en el año 1971 culminaron con el lanzamiento al mercado del primer lente SLR que incorporaba un elemento de cristal asférico, el FD 50mm

71.2 Al. Para producir un lente esférico se debe de formar en el cristal una silueta no esférica, mediante el uso de equipos de alta precisión, después la lente es pulida, para llegar a una superficie uniforme, sin perder la silueta esférica. Dicha silueta esta calculada para provocar un mismo índice de refracción en la superficie total de la lente. Actualmente estos lentes son creados con materiales sintéticos (silica), que abaratan los costos con respecto al cristal óptico. *“Alrededor de 1978, Canon tuvo éxito en aplicar esta tecnología de procesamiento no esférico (asférico) en un procesamiento de cuño de moldura y el desarrollo de un sistema de moldeado plástico de alta precisión para producir lentes abertura no esféricos de pequeña en cantidades industriales... En 1990 Canon agregó una cuarta tecnología de producción de lentes esféricos a su arsenal, al desarrollar tecnologías para la producción de replicas de lentes esféricos utilizando resina de luz ultravioleta enfurecedora para formar una capa no esférica en un lente de cristal esférico.”*⁶²



Lente Esférico



Lente Asférico

La producción de estas tecnologías trajo como consecuencia el desarrollo de lentes como el EF 50mm/1.0 L USM y el EF 14mm f2.8 L USM de gran abertura, en los que se alcanzan una estupenda compensación de las aberraciones comaticas, esféricas, de distorsión, alcanzando un límite significativamente más bajo de la curvatura de campo, que es responsable al mismo tiempo del astigmatismo. *“Una mirada ilustra la gran contribución que un lente esférico puede hacer en términos de reducción de tamaño.”*⁶³ Hay que recordar la relación entre el número de elementos que compone un objetivo fotográfico y la curvatura de campo, “suma Petzval”.

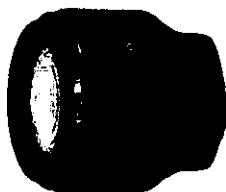
La utilización de elementos de lente esféricos en los objetivos Canon, contribuye en mucho a la calidad de la imagen y la versatilidad de estos, pues si bien no eliminan totalmente las aberraciones, si ayudan a un equilibrio optimo de ellas, superando a los lentes convencionales. Se reduce así la necesidad de que el fotógrafo tenga que contar

62. Canon. Op. cit, p. 173

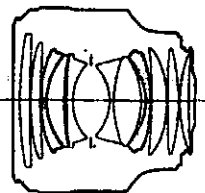
63. Idem.

con mucho equipo, muy especializado y limitado, en el que un lente solo sirve para un tipo muy particular de fotografía, como es el caso de los objetivos de reproducción.

Los lentes canon que utilizan elementos de lente esféricos son:
 El EF 17-35mm f/2.8L USM, El EF 28-70mm f/2.8L USM,
 EF14mmf/2.8L USM, EF 28mm f/1.0L USM, EF 50mm f/1.0L
 USM, EF85mm f/1.2L USM, EF 135mm f/2.8 Softfocuss y el TS-E
 24mm f/3.5L.



Lente esférico



Lente Canon EF50mm
f/1.0L USM



Lente Canon EF
28mm f/1.0L USM

Fotografía tomada con el Lente
Canon EF 28mm f/1.0L USM



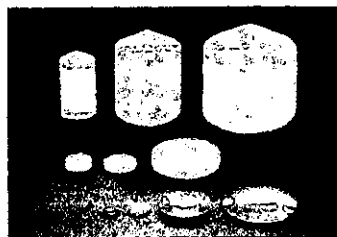
Correcciones Cromáticas

En la corrección de estas aberraciones Canon es reconocida por los grandes aciertos de su serie "L", de cañón blanco. Es de reconocer la incomparable definición que brindan. *"la llave para este rendimiento es la completa eliminación del espectro secundario a través del uso liberal de la fluorita y los lentes UD."*⁶⁴

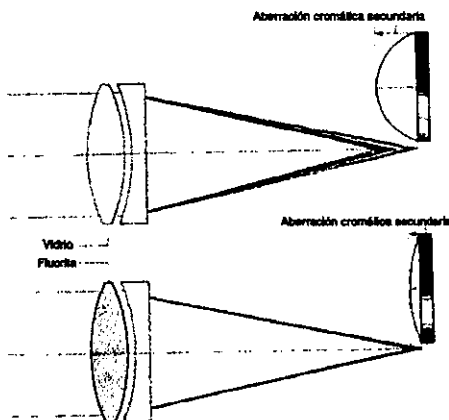
La Fluorita

Los cristales de fluorita artificial, tiene importancia para la construcción de objetivos de foco largo o teleobjetivos, y en objetivos de foco variable (zoom) de campo de visión corto. Ya que la corrección de las aberraciones cromáticas con cristales ópticos comunes llega hasta un cierto límite insuperable, el acromatismo. El defecto residual secundario causado por los rayos de luz que no son llevados al mismo punto de foco que los rayos rojo y azul (acromatismo), como no puede ser reducido a menos de una longitud focal $\times 2/1000\text{mm}$, libera una aberración "el espectro secundario". Para la corrección de esta última aberración es que se utiliza la fluorita.

La fluorita es un cristal de dispersión parcial extraordinaria; bajo índice de refracción y baja dispersión. *"Las características de dispersión la fluorita son casi idénticas a los cristales ópticos para longitudes de onda en un rango de rojo al verde, pero difieren mucho para longitudes de onda en el rango del verde al azul."*⁶⁵ Esto provoca la convergencia de tres longitudes de onda en un mismo punto de foco o "apocromatismo". Los objetivos apocromáticos corrigen las aberraciones del espectro secundario, la aberración cromática axial y la aberración cromática lateral, marcas como Canon, Carl Zeiss, Minolta, Nikor, ofertan objetivos de este tipo.



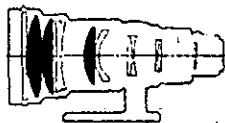
Cristales de Fluorita



Pese a las propiedades de la fluorita natural son conocidas desde 1800, su uso en objetivos fotográficos se vio restringido, debido a

64. *Ibidem*, p. 174

65. *Idem*.



- Cristal UD
- Fluorita

Lente Canon
EF400mm f/2.8L II
USM

que las formaciones cristalinas de este elemento, son muy pequeñas, por lo tanto solo se pueden construir lentes pequeños, para microscopios. Fue hasta el final de los años 60 cuando Canon desarrolló la tecnología para formar cristales de fluorita de calcio sintéticos (CaF_2). Los cristales ópticos son formados por "silica", que es la materia prima del cristal sintético, adicionada de oxido de "barium y Lanthanum", en un orno donde se funden a una temperatura de 1300 a 1400°C, para posteriormente ser enfriada a temperatura ambiente, para formar la llamada solución sólida, a esta solución se le pueden adicionar otros elementos para formar los cristales sintéticos de fluorita y los UD.

Los cristales sintéticos de fluorita permitieron el superar el limite teórico del apocromatismo, colocando a Canon a la vanguardia de la corrección cromática del espectro secundario.

Los lentes canon que utilizan cristales de fluorita son:

El EF 100-300mm f/5.6L, EF 300mm f/2.8L USM, EF 400mm f/2.8L II USM, EF 500mm f/4.45L USM, EF 600mm f/4L USM y el EF 1200mm f/5.6L USM.



Fotografía (Canon EF
400mm f/2.8L II USM

Cristales UD

Los cristales UD (Ultra baja dispersión) son cristales ópticos de dispersión parcial extraordinaria usados en las correcciones cromáticas.

Pese a que con la fluorita se corrigen satisfactoriamente las aberraciones cromáticas, su uso aun sigue siendo afectado

por el altísimo costo de producción, para resolver este problema, los ingenieros de Canon buscaron desarrollar un nuevo tipo de cristal óptico con propiedades similares a la fluorita pero, con un costo significativamente menor. Fue en la segunda mitad de los años 70, que se consiguió este objetivo al crear los cristales UD.

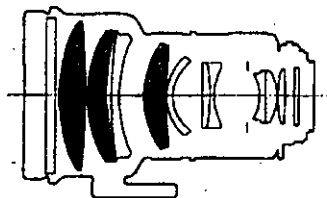
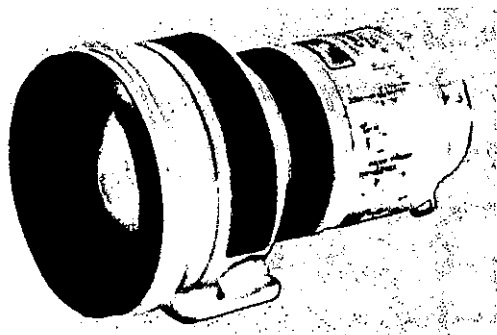
*"El índice de refracción y dispersión del cristal UD, aunque no es tan bajo como el de la fluorita, es significativamente más bajo que otros tipos de cristal óptico".*⁶⁶ Los lentes UD bajaron los costos de

producción, sin menoscabo de la calidad de corrección, ya que dos elementos de cristal UD, equiparan a uno de fluorita.

Los objetivos canon que utilizan los cristales UD son:

El EF 70-200mm $f/2.8L$ USM, el EF 35-350mm $f/3.5-5.6L$ USM, EF 100-300mm $f/5.6L$, EF 200mm $f/1.8L$ USM, EF 200mm $f/2.8L$ II USM, EF 300mm $f/2.8L$ USM, EF 300mm $f/4L$ USM, EF 400mm $f/2.8L$ II USM, EF 400mm $f/5.6L$ USM, EF 500mm $f/4.5L$ USM, EF 600mm $f/4L$ USM.

El uso de lentes de fluorita, y de cristales UD, reducen la cantidad de elementos de lente necesarios para construir un objetivo fotográfico corregido de las aberraciones cromáticas, acromáticos y apocromáticos, repercutiendo de nueva cuenta en la condición de Petzval para la curvatura de campo, además de volver al objetivo más practico, por la reducción significativa de peso y tamaño.



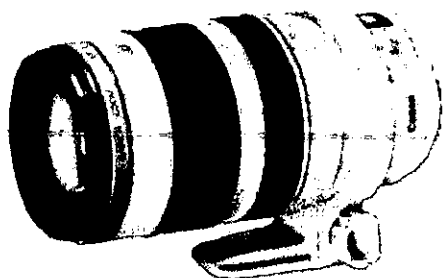
Lente Canon EF
200mm $f/1.8L$ USM

Correcón de reflejos y luces parásitas

Para minimizar las luces parásitas y otros defectos en la imagen, Canon recubre los cristales ópticos con una película transparente extremadamente delgada, llamada cubierta super spectra, dicha emulsión reduce las bengalas de luz y los fantasmas, que se crean en el interior de la lente, alcanzando un nivel optimo de color y el endurecimiento del cristal. La cubierta antirreflejos spectra consta de un recubrimiento multi capas de diferentes índices de refracción.

"Todos los lentes EF son cubren los estándares originales que son

incluso más estrictos que el rango de tolerancia CCI puesto por la ISO (Organización Internacional para la Estandarización). Este proceso de recubrimiento se llama recubrimiento super spectra y ofrece una alta transmisión, filtración de luz ultravioleta, dureza de la superficie altamente durable y características estables."⁶⁷ Con la cubierta spectra se obtiene una alta definición y contraste, colores reales y balance óptimo del color. Esta cubierta, posee alto índice de refracción y granos ultra finos



Canon también busca eliminar cualquier posible reflejo dentro del cañón del lente, mediante el uso de tres tecnologías; 1. Técnicas especiales de cubierta antirreflejo, 2. Técnicas electrostáticas en masa, y 3. Técnicas de construcción antirreflejo. El primer método del que ya hablamos, se usa en los cristales y grupos de lentes, para prevenir reflejos de luz que escapen del perímetro del cristal.

El segundo método, el proceso electrostático en masa, aplica directamente una acumulación (carga eléctrica) extremadamente fina, para crear superficies antirreflejo.

Tercer método, las técnicas de construcción antirreflejo o técnicas estructurales. *"El uso de surcos bloqueadores de luz y bordes de cuchillo para reducir el área de reflexión; el uso de los surcos bloqueadores de luz en la superficie de la orilla abierta del lente (el surco se llena con una cubierta antirreflejos y actúa como diafragma.*"⁶⁸ Las hojas de diafragma iris, unidad EDM, son también cubiertas con el spectra que por sus propiedades, cumple la función de lubricante.

Control de la distorsión

Para el control de los defectos de distorsión que ocurren en los objetivos SLR, Canon ofrece sus lentes TS-E, que pueden corregir la distorsión de perspectiva, en fotografías de arquitectura, paisaje, producto etc., que crea un adelgazamiento de las líneas paralelas de la imagen, o una variación en los ángulos de las líneas verticales y horizontales de la imagen. La corrección de estas distorsiones, que

67. *Ibidem* p. 176

68. *Ibidem*, p. 179

son provocadas por la inclinación que presenta el lente respecto a la dirección de los rayos ligeros de luz provenientes del sujeto fotográfico, se da a voluntad del fotógrafo, a partir del desplazamiento manual de la posición del objetivo, mediante dos movimientos que son realizados en el cuerpo o cañón: El primero es el “cambio”, que se usa para reforzar o corregir la distorsión de la perspectiva. El segundo es el “inclinación”, que se usa para girar el plano de enfoque y el plano de la película, evitando el paralelismo entre ambos.

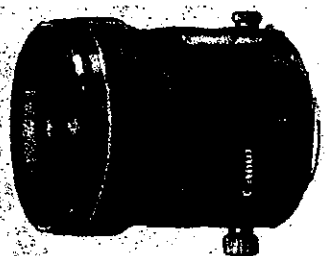
*“Las lentes TS-E de Canon son las únicas lentes disponibles que hacen posible realizar estas dos funciones en una cámara 35mm SLR. Claro, estas funciones pueden usarse separadamente o pueden combinarse.”*⁶⁹ El mecanismo de “cambio” y el de “inclinación”, son modificados en su posición usando una escala en grados, creando variaciones a voluntad de los ángulos de incidencia de los rayos de luz respecto al objetivo.

Con el uso de estas dos funciones no se repercute en nada al enfoque y a la abertura que el fotógrafo asigna.

Los lentes canon que tienen este principio son:

El TS-E 24mm f/3.5L, El TS-E 45mm f/2.8 y el TS-E 90mm f/2.8.

El TS-E 24mm, cuenta con un elemento de lente esférico.



Lente Canon TS-E
90mm f/2.8.



Imagen Canon EF 90mm TS-E



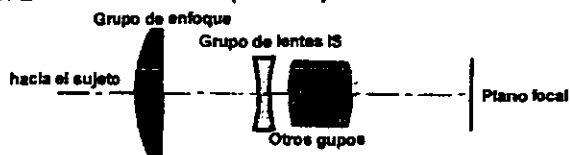
Imagen sin corregir perspectiva

Sistema IS

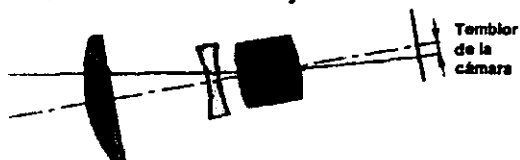
El último adelanto tecnológico del cual hablaremos, es el sistema “Estabilizador de la Imagen” (IS), dicho sistema previene la formación de imágenes borrosas (fuero de foco), cuando se usan lentes zoom o telefoto de campos de visión reducidos.

Estabilizador de la Imagen Principio de Movimiento Paralelo

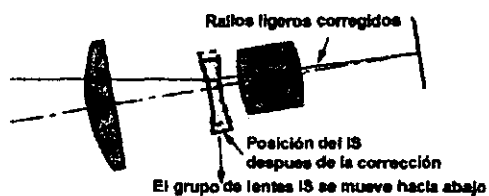
1. Lente sin vibración (temblor)



2. Lente cuando vibra hacia abajo



3. Corrección del grupo de lentes IS



La falta de foco o nitidez en las imágenes tomadas con lentes de distancia focal larga; 100mm, 200mm, 300mm etc., es causada por los ángulos de visión muy pequeños que abarcan estos objetivos (hasta $2^{\circ}05'$, en un lente 1200mm), en los que cualquier movimiento puede ocasionar un desenfoque, este puede ser producido por el desplazamiento del espejo “reflex”, por el movimiento del obturador o por un simple temblor en el pulso del fotógrafo, al detener el objetivo. Para compensar este problema, comúnmente se aplica una regla muy simple; “La velocidad de cortillineo (obturación) rápida o lenta, es reciproca a la distancia focal de la lente (EX. :

1/300 sec. para 300mm).”⁷⁰ En una distancia focal determinada, se debe utilizar una velocidad de obturación mayor a ella. Dicho de otra forma; “el tiempo de exposición (velocidad de obturación) es inversamente proporcional a la distancia focal del lente que se usa. La aplicación de esta regla condición, elimina los problemas de enfoque que hemos mencionado, pero, limita en mucho el rendimiento del objetivo, ya que la velocidad mínima disponible será muy rápida, provocando muchos problemas cuando las condiciones de luz o la sensibilidad de la película sean bajas.

Para sortear estas vicisitudes, Canon emplea el sistema IS, "cuando la lente da tirones(se mueve) debido al temblor de la cámara, los rayos ligeros del sujeto se tuercen, relativamente al eje óptico, mientras que se produce una imagen borrosa. Cuando la lente se descentra, los rayos ligeros se desvían. Cambiando el grupo de lente IS en un plano perpendicular al eje óptico, se satisface el grado de temblor de la imagen, pudiendo sostener (alinearse) los rayos ligeros que alcanzan el plano de la película."⁷¹ Para lograr lo anterior Canon emplea un grupo de lente IS (estabilizador de la imagen), un PSD (Dispositivo de Posición Sensible), el IREDs (Diodos de Emisión Infrarroja) y los sensores de giro, que son controlados por un microprocesador, quien detecta el movimiento de la lente, para posteriormente ajustar el grupo de lente IS, corrigiendo el torcimiento de los rayos ligeros. Dicho mecanismo puede ser activado o desactivado por el fotógrafo.



Unidad IS
(estabilizadora de
imagen) Canon

Con el Estabilizador de la imagen, la velocidad de obturación, se vuelve dos pasos más rápida, permitiendo así que 1/60 sec. tenga un efecto equivalente a 1/250 sec. Esto le permite usar 1/60 sec. en una distancia focal de 300mm. Actualmente el uso de este sistema es limitado, pero se continúan desarrollando investigaciones, que ampliarán su uso.

Los lentes que emplean este sistema son:

El EF 75-300mm f/4-5.6 IS USM y el EF 100mm f/4 IS USM.

Imagen sin estabilizador



71. *Ibidem*, p. 186

Imagen con estabilizador



Para concluir con este capítulo, debo precisar en que repercutió el desarrollo de la óptica fotográfica en el trabajo de los fotógrafos. Pues bien, si duda alguna fue el fotoperiodismo el que más rápidamente asimiló estos beneficios, pues al poder contar con lentes más luminosos y de mejor calidad en la producción de imágenes, fue obteniendo ventajas, los tiempos de exposición se acortaban debido a los números "F" más chicos que permitían los nuevos objetivos además de la gran versatilidad que ellos les proporcionaban, también la creación de objetivos de distancia focal larga permitió capturar imágenes más impacientes en la fotografía de deportes, permitiendo acercamientos antes insospechados, algo que después fue aprovechado por fotógrafos amarillentas para buscar crear escándalos.

En el caso concreto de la comunicación gráfica la óptica a influido en el Producshot, en la foto de glamur, en la foto de modas y prácticamente en toda la fotografía publicitaria, favoreciendo la creación de imágenes más perfectas y de colores más reales.

Ahora bien, en cualquier tipo de fotografía una óptica de excelente calidad brindara mejores resultados, acercándose por lo tanto a una imagen perfecta, tal y como el fotógrafo la concibió, trayendo con sigo un control total del registro fotográfico, es decir, no dejar ciertas cuestiones al azar, lo que implica la profesionalización del trabajo fotográfico.

Por ultimo, debemos de tener en cuenta que estos adelantos son producidos por la óptica, rama de la ciencia (física) que estudia el comportamiento de la luz, y por la cristalografía (física) que se encarga de estudiar las propiedades de los cristales.

Capítulo 2

Mecánica fotográfica

Capítulo 2

MECÁNICA FOTOGRÁFICA

El tema a tratar a lo largo de este capítulo es de gran importancia e influencia en el proceso fotográfico. Para iniciar definiremos que es la mecánica fotográfica.

Mecánica es: *“Una rama de la física que se ocupa de estudiar los movimientos de los cuerpos. Se divide en dos partes: la cinemática (que describe el movimiento sin atender a las causas que lo producen) y la dinámica (causas que producen los movimientos). La dinámica a su vez se divide en dos partes: Estática (cuerpos en estado de equilibrio) y Cinética (cambios de movimiento producidos por una o más fuerzas no equilibradas).”*⁷²

Por tanto, en este capítulo entenderemos que la mecánica fotográfica se encarga de estudiar los movimientos, sus causas y sus efectos, que repercuten o se relacionan con el proceso fotográfico. Este tema es muy importante pero sería burdo intentar estudiar todos los movimientos implícitos en la fotografía. Por ello, limitaremos nuestro análisis a los movimientos que se producen dentro de la cámara fotográfica, abordándolos desde el punto de vista tecnológico o de la ciencia aplicada.

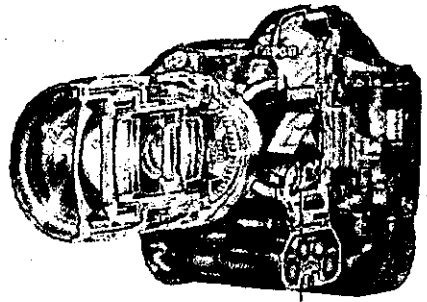
Tipos de cámara fotográfica

La evolución en las cámaras fotográficas esta ligada a necesidades específicas de los fotógrafos, como consecuencia del desarrollo de nuevas técnicas fotográficas y de los procesos científicos-tecnológicos ligados a ellas.

*“Una cámara es básicamente una caja impenetrable a la luz con un objetivo, un obturador, un diafragma iris o abertura y un mecanismo que sujeta la película. También lleva un mecanismo de visión que permite encuadrar y componer el motivo. El objetivo proyecta una imagen sobre la película”.*⁷⁴

El tipo más simple es la cámara oscura de la que se tiene un

*“Fuerza: es toda manifestación de energía capaz de producir un movimiento o de magnificarlo. La fuerza se representa gráficamente por un vector.”*⁷³



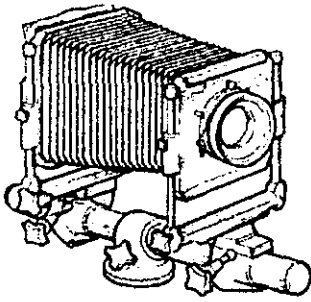
Cámara Canon EOS

72. Alonso Rocha León y Alvaro Rincón Arco.

ABC de Física, México,
Herrero S. A., 1969, p. 19

73. Idem.

74. Adrian Holloway.
Manual del equipo y técnicas fotográficas.
España, H. Blume ediciones, 1981, p. 42

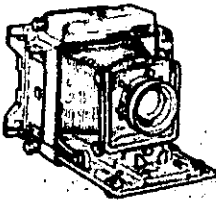


Cámara de rieles de gran formato

conocimiento antiquísimo, pero es en el Renacimiento que se convierten en una herramienta para artistas. En estas primeras cámaras la mecánica era nula. Ópticos, mas todavía se prescindía de la mecánica. La siguiente evolución ocurre cuando se anexan objetivos.

De un salto llegamos a finales del siglo anterior, e inicios de este, donde surgieron los primeros prototipos formales de cámaras fotográficas: el daguerotipo, el calcotipo y una variante de ésta última que se usaba para las fotos de colidion. En ellas la obturación se hacía por

obstrucción manual (de sombrero) de la abertura del lente o cámara, y los diafragmas eran fijos. En concordancia con los nuevos procesos fotográficos, estas cámaras evolucionaron. Actualmente existen distintos tipos de cámaras fotográficas que comprenden principios mecánicos para su funcionamiento, en las que tanto cuerpos como objetivos dependen de movimientos precisos.



Cámara de placas

A continuación describiremos, de manera general, algunos tipos de cámaras profesionales, iniciando por aquella cuyos principios mecánicos son menos complejos; la cámara de gran formato.

Este tipo de cámaras se compone de dos paneles principales; uno porta el objetivo, y el otro porta el material fotosensible, este último tiene una pantalla de enfoque, que consiste en un vidrio esmerilado, en el que se indican los márgenes de la toma, situada delante del contenedor de la película. Ambos paneles están montados en un riel o un par de rieles, de acuerdo con el modelo. Los paneles se unen entre sí por un fuelle de dimensiones variables, según la necesidad precisa de la toma. Dichos paneles se pueden desplazar en movimientos laterales y de arriba a bajo o en variaciones de su ángulo, esta característica le otorga al fotógrafo el control total de la perspectiva y la profundidad de campo. El panel porta negativos soporta películas en placas de dimensiones de 4X12 y 20X30cm. El cambio de las placas se realiza manualmente rotando o sustituyendo el porta negativos. El porta negativos externo es una caja de plástico y/o metal con capacidad para dos placas, sus dimensiones se ajustan al tamaño del negativo y a un tamaño predeterminado por el sistema mecánico que lo une a la cámara, que consiste de un par de muelles tensados por una palanca que oprimen al porta negativos contra la pantalla de enfoque en el panel de la cámara, impidiendo la filtración

de luz. La emulsión sensible es protegida de la luz, por una lámina delgada de metal, que se retira en el momento de la toma.

La obturación y el diafragma se encuentran en el objetivo, quien además tiene una modalidad en la que mantiene el obturador abierto y al diafragma en su máxima abertura, para permitir el enfoque; posteriormente se regresa a la posición normal en la que el diafragma tiene la abertura indicada por el fotógrafo, y el obturador cerrado, listo para ser disparado. El enfoque en este formato se logra mediante el desplazamiento del fuelle, que aleja o acerca a los dos paneles, a partir de engranes dispuestos en torno al riel que los une.

*"El gran formato, hace a estas cámaras muy adecuadas para cualquier trabajo que exija una cálida (de imagen) muy elevada."*⁷⁵

El segundo tipo de cámaras que veremos son las de formato medio, en las que se encuentran dos modelos básicos: las TLR y las SLR.

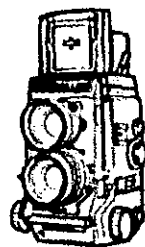
La TLR es la primer cámara que surge con el formato de 6 X 6 cm. Una TLR consiste en una cámara rectangular con un panel porta objetivos, que pueden ser fijos o intercambiables, un cuerpo dividido en dos cuadrados de iguales dimensiones: en uno se encuentra un espejo colocado a 45° (sistema reflex) fijo, cuya función es reflejar la imagen proveniente del lente a una pantalla de visión (un lente tipo fresnel), y en el segundo se encuentra el plano focal donde encontramos la película. Para unir al cuerpo de la cámara con el panel porta objetivos se utiliza un fuelle que también cumple la función del enfoque, o una carátula de metal se desplaza al igual que el fuelle, sellando cualquier filtración no deseada de luz.

En el panel porta objetivos se encuentran dos objetivos ópticos (lentes) de misma longitud focal; el lente superior, el que envía la imagen al panel donde se encuentra el espejo reflex, es muy luminoso, para facilitar el enfoque y la composición, y generalmente no ésta corregido de las aberraciones ópticas, salvo las de primer orden. El segundo lente esta destinado a la toma de la imagen, su construcción óptica es más compleja, corrige algunas aberraciones, tiene un diafragma iris y un obturador central.

Este diseño de cámaras fotográficas fue muy popular en el fotorreportaje, antes del surgimiento de las 35mm, debido a que presentaba muchas ventajas para su tiempo, entre las que podemos

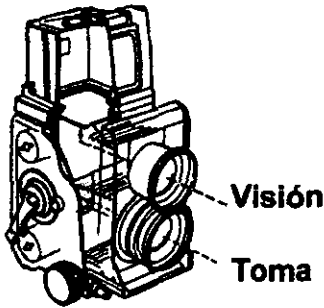
Los movimientos de basculaje son de las características de mayor relevancia en las cámaras de este tipo, con ellos se consigue la corrección de los fenómenos de distorsión creados en las tomas con perspectiva.

La corrección se consigue al modificar los ángulos de incidencia de los puntos focales o del eje óptico, mediante un sistema de engranes que realiza los movimientos necesarios.



Cámara Mamiya de lentes gemelos, formato medio

75. Adrian Hollway. *Op. cit.*, p. 42



Cámara Rolleiflex

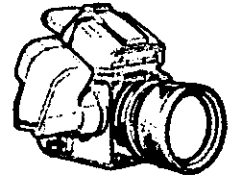
citar: el fotógrafo nunca perdía la visión del sujeto, ni durante la toma, la toma se podía hacer a nivel de ojo, de cintura o sobre la cabeza del fotógrafo, eran prácticas, su formato permitía una calidad de imagen elevada, además de una sincronización óptima con el flash a cualquier velocidad. Mas no era una cámara perfecta, entre sus inconvenientes el más serio es el error de paralaje; *"El paralaje es la denominación científica de un fenómeno que afecta al punto de vista. Si mantenemos un dedo próximo a la cara y lo miramos primero cerrando un ojo y luego el otro, las dos vistas del dedo con relación al fondo, resultan distintas, ello se debe a que cada ojo mira desde un punto distinto."*⁷⁶

Este fenómeno óptico se presenta en los acercamientos, aun cuando algunas cámaras indican en la pantalla de enfoque la corrección correspondiente del paralaje, mediante un sistema de engranes ligados a los destinados al enfoque, que mueven una flecha colocada en la pantalla de enfoque, ella se desplaza indicando el corte en el formato para el objetivo de visión, pero dicho señalamiento no muestra el error provocado por la discrepancia en los ángulos de visión de los dos lentes; por lo tanto, pese a que el fotógrafo atienda a la corrección señalada, nunca tendrá la visión real de la toma que realiza. Estas cámaras tampoco cuentan con basculaje, y por lo tanto no tienen control de la distorsión de perspectiva.

Existen tres variantes de diseño básicas en las TLR, cada uno perteneciente a un fabricante. El primero y más simple utiliza una óptica fija (inamovible), y un sistema de enfoque de carátula de metal mecánico; sus fabricantes son Yashica, Minolta y otros. El segundo también es de óptica fija, pero brinda la posibilidad de anexas suplementos ópticos que modifican la distancia focal, mismo sistema de enfoque que el anterior, su fabricante es Rolleiflex. El tercero, prosiguiendo en orden de calidad, tiene ópticas intercambiables que se suministran en pares (visión y toma), que van desde un angular de 55mm hasta un telefoto de 250mm. Cada óptica cuenta con su propio diafragma y obturador. El sistema de enfoque es mecánico de fuelle; su fabricante Mamiya. Este último tipo de cámaras es el más completo, versátil y de mejor calidad, cuenta con una amplia gama de accesorios como ópticas intercambiables, visores de cintura, visores de pentaprisma para tomas a nivel de ojo, con o sin

76. Clyde Reimols. Las cámaras fotográficas.
 Barcelona. Ediciones
 Omega, 1979, p. 76

exposímetro, un suplemento para tomas individuales (tipo placa), emulando a las cámaras de gran formato. Las TLR utilizan película fotográfica en rollo de 120 que brinda 12 tomas o la ya casi extinta 220 de 24 tomas.



**Cámara SLR
formato medio**

El otro tipo de cámara la SLR de formato medio supera todos los inconvenientes de las TLR. Constan de cuatro módulos: el primero, porta objetivos intercambiables; el segundo, modulo en el que se encuentra el espejo reflex, un obturador de plano focal, el disparador de los obturadores, la palanca de avance y carga y un mecanismo mecánico de cortinillas que impide el paso de luz durante el cambio de óptica, aunque en la mayoría de ocasiones esta función la realiza el obturador de plano focal. El tercer módulo, que modifica los tipos de visión que pueden ser al nivel de cintura, de ojo, a partir de un pentaprisma u otro, con o sin exposímetro. El cuarto modulo, que puede ser intercambiable, que porta el material fotosensible. El sistema de enfoque puede ser de dos formas, por fuelle o por retroenfoque en el objetivo, que puede ser manual o electrónico (determinado por la cámara).

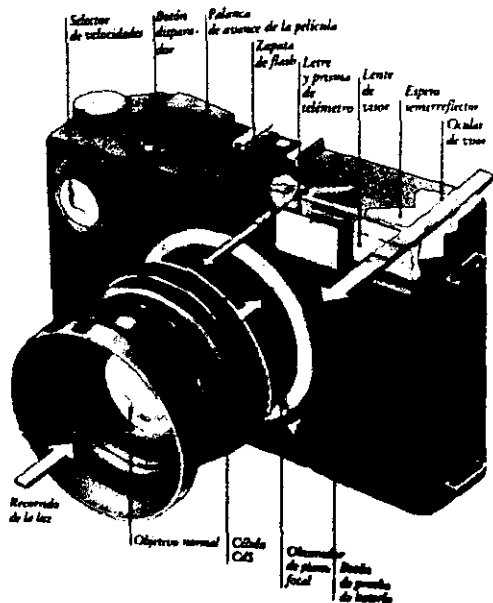
Estas cámaras son las profesionales más versátiles del mercado, es por ello que algunos las consideran como las mejores cámaras fotográficas. Sus grandes ventajas son: En la óptica: lentes intercambiables que van desde el ojo de pez que cubre un ángulo de visión de 180°, grandes angulares, lentes normales, de reproducción lentes macro, telefotos hasta de 1000mm y lentes zoom, todos de gran calidad (si se usan marcas prestigiadas), gran corrección de la aberraciones, incluyendo la distorsión de perspectiva mediante el uso de suplementos como el "Flex Body" y el "Arc Body". Los diafragmas y obturadores de muy alta precisión, sincronización óptima con el flash a cualquier velocidad.

Cámara Hanselblac

En el chasis: Visión reflex, exposímetros, obturadores planofocales, puede usar película en rollos de 70mm en longitudes de 120 y 220 o película en hojas y la gran ventaja de los respaldos intercambiables con formatos de 6X6, 6X7, 4.5X6 y 4.5X4.5cm., el respaldo Polaroid y hasta un 35mm. La película de 70mm le brinda una calidad elevada (cuatro veces mayor que una de 35mm).

El tercer tipo de cámara es la de 35mm, en él también existen dos tipos la TLR y la SLR

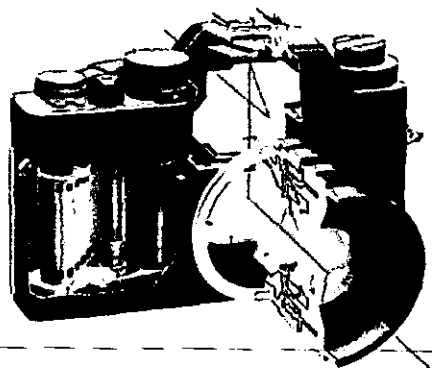
**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



La TLR de 35mm fue el primer diseño de esta cámara. Hoy día, muchas de las cámaras más baratas mantienen este diseño, que consiste en un cuerpo con dos objetivos, uno de visión y otro de toma. El objetivo de visión consiste en un par de lentes sencillos tipo lupa, uno de ellos puede llevar grabado un rectángulo que indica el encuadre. El objetivo de toma era un poco más complejo, aunque según el precio o su antigüedad, podía ser igual de sencillo que el anterior, en un principio era de construcción muy simple y fijo, pero fue evolucionando hasta llegar a objetivos intercambiables; angular, normales y telefoto ligero. En un principio el diafragma solía ser fijo y posteriormente fue ajustable, el cuerpo podía tener un obturador de plano focal, o llevar un central en el lente.

Al igual que en las TLR de formato medio, el fotógrafo nunca le perdía la vista al sujeto fotográfico, pero se tenía que enfrentar a los mismos problemas de paralaje. Gran parte de los objetivos de estas cámaras presentaban muchas aberraciones ópticas, los modelos más sofisticados y de mayor calidad fueron creados por "Contax", y por "Leica", ellos contaban con exposímetros, óptica intercambiable que corregía algunas de las aberraciones y con sistemas de arrastre de película muy sencillos.

La evolución de estas cámaras fue la SLR de objetivos intercambiables, que mantenía el mismo principio, pero le fue anexado la gran ventaja del sistema de visión reflex, mediante la adición de un espejo abatible colocado en un ángulo de 45° entre el objetivo y el obturador, que se levanta instantes antes de la toma, el espejo envía la imagen a un lente tipo fresnel que sirve para el enfoque, posteriormente la imagen pasa por un pentaprismo que corrige la inversión de la visión. Con la adición del sistema reflex también evolucionaron los exposímetros que



pasaron de ser incorporados a exposímetros TTL o de lectura a través del objetivo.

La óptica de estas cámaras es intercambiable, con enfoque en el objetivo (retroenfoco), y cuenta con la línea más extensa de objetivos (marcas y modelos) que van desde el ojo de pez, gran angulares, normales, telefotos, zooms, TSE o correctores de perspectiva, objetivos macro, de reproducción, especiales de retrato etc. Las distancias focales parten de 8mm, 14mm, a 1200mm, algunos cuentan con sistemas de auto enfoque, además de contar con duplicadores de distancia focal extensores, filtros lentillas entre otras cosas. La óptica para estas cámaras es muy perfecta, libre de muchas aberraciones, y con diafragmas muy exactos.

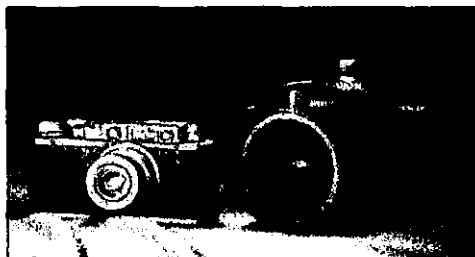
*"La 35mm SLR (reflex de un solo objetivo) es la más flexible de todas las cámaras. Permite acercarse a cualquier tema, desde retrato, a la acción, desde la fotografía subacuática, al paisaje, desde le acercamiento a la larga distancia."*⁷⁷

Los cuerpos de las 35mm cuentan con obturadores planofocales que pueden situarse en rangos de 30 seg. a 1/8000 y 1/10,000 seg., con desplazamientos del cristal reflex super ligeros y sin vibración, o con espejo reflex fijo que pueden ser translúcido y reflejante al mismo tiempo, con arrastres de película super silenciosos, sistemas de exposición muy precisos, respaldos intercambiables, entre otras cosas.

Los únicos inconvenientes de estas cámaras son el formato tan pequeño de película (35mm) y la sincronía con el flash.

El último tipo de cámara que veremos es la cámara de registro electrónico (digital), que no utilizan ninguna clase de película. El registro de la imagen se realiza convirtiéndola en bits digitales o información electrónica, que es guardada en disquetes, CD's, tarjetas de memoria, entre otras, y que pueden ser impresas en impresoras especiales, papel químico, o reproducidas en computadoras y posteriormente impresas. La óptica es fija y de una sola distancia focal. La pieza más importante de estas cámaras es el llamado CCD, que es quien se encarga de recibir y convertir la imagen en información

*"El panorama de las Cámaras de registro electrónico está fluctuando en el momento de escribir estas líneas. Puesto que todos los fabricantes más importantes tienen en exposición cámaras prototipo, algunas sólo para el uso de aficionados y otras con potencial para profesionales, sobre todo en la fotografía de reportajes."*⁷⁸



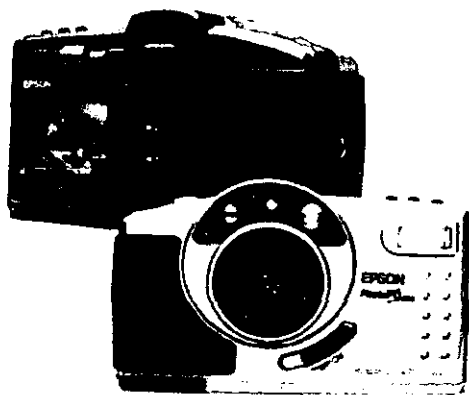
Evolución de la cámara de 35mm

77. Clyde Reihns. Op. cit, p. 80

78. Michael Freeman. Gua completa de fotografía. Barcelona. H. Blume Ediciones, 1991, p. 22

digital, también se encarga del zoom in o zoom out, y de la resolución de la imagen. También existe la modalidad de respaldos adaptables a cámaras análogas con compatibilidad, es decir suplementos que se incorporan a las cámaras convencionales para guardar información digital.

Estas tecnologías se siguen perfeccionando aún hoy, sus puntos más débiles son la relación entre resolución dimensiones de la imagen y peso o cantidad de bits necesarios para almacenar la imagen, y el precio. Aunque hoy todavía no logre superar a su contraparte química análoga, Pero sin duda este es el nuevo rumbo de la fotografía. Claro ejemplo de ello es que las tres principales marcas de productos químicos fotográficos, Kodak, Fuji y Polaroid, venden y desarrollan cámaras y/o respaldos digitales adaptables a cámaras análogas.



**Cámara digital
Epson**

Avances de película

Una condición *sine qua non* para hablar de avance de película es que el material sensible usado este en rollo y no en placas. Esta característica del material sensible se debe a la compañía inglesa Kodak, que desarrolló y comercializó la película fotográfica en rollo. En un inicio la película en rollo constaba de una tira de papel fotosensible que se vendía en un formato de 70mm, con todo y cámara. Posteriormente evolucionó cambiando el papel por un acetato sobre el que se coloca la emulsión fotosensible, y como último paso se anexó al rollo de película una tira de papel de mayores dimensiones que sirve para envolver la película protegiéndola de la luz, facilitando ello la venta individual del rollo fotográfico que hoy conocemos como 120 y 220.

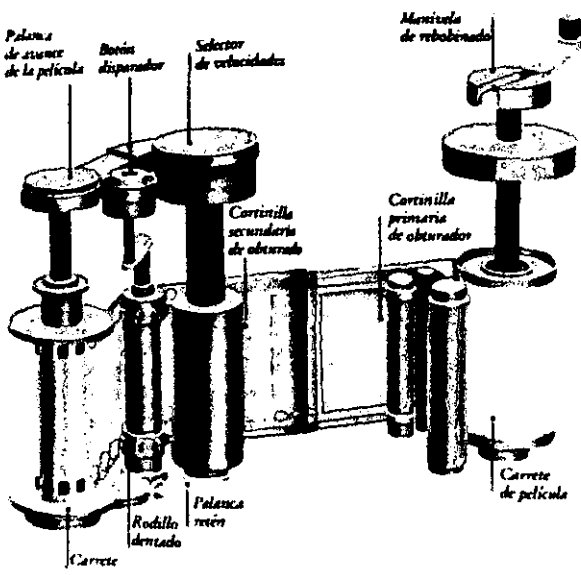
La siguiente evolución también la dio Kodak, pero todo fue consecuencia del trabajo de un celebre científico; *“Thomas Edison trabajaba en un instrumento (para estudiar al locomoción), se dirigió a Easman en 1884 para que le facilitase una longitud adecuada*

de la nueva película Flexible. El rollo Kodak de 2 3/4 de pulgada (70mm) se corto por medio a 1 3/8 de pulgada (35mm), y Edison hizo taladrar perforaciones a lo largo de cada borde, para desplazamiento de la cinta. Más tarde esto sería normalizado como película de cine.⁷⁹

Los primeros sistemas de avance consistían en el movimiento de perillas conectadas a unos rodillos en los que se fijaba el papel protector del rollo de película. El usuario hacía avanzar la emulsión, girando las perillas, percatándose del número y la posición correcta de la toma observando el número de exposición en una pequeña ventanilla situada en el respaldo de la cámara en la que se veía un número grabado en el papel protector del rollo de película. Posteriormente el sistema evolucionó y se anexó un sistema de arrastre mecánico que consta

en una serie de engranes conectados a una palanca o manivela, y al rodillo sobre el que se fija la película. Los engranes están diseñados para que den "n" número de vueltas, hasta llegar a un sitio en el que se activa un seguro que fija la posición correcta de la película para permitir la toma, posteriormente a la obturación el seguro se libera permitiendo que los engranes giren nuevamente, el sistema de engranes se ajusta para proporcionar "n" número de tomas, por ejemplo; en un rollo de 120 a un formato de 6X6 cm, se obtienen 12 fotos, a formato de 6X7cm, 10 tomas, a formato 4.5X6 cm, 16 tomas. Este tipo de sistema de avance es característico de las cámaras de formato medio.

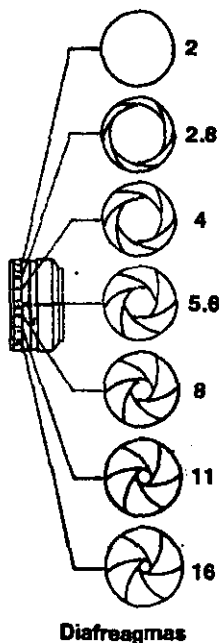
Con las cámaras de 35mm el sistema sufre ciertas modificaciones, pues al rodillo en que se atora la película se le anexan en los bordes unos engranes que se ajustan a los orificios de la película de este formato conocidos como "sprokets", que sirven para realizar el avance de la emulsión, esta película se vende en rollo que



Sistema de avance en Cámaras de 35mm

79. Michael Langford. Tratado de fotografía. Barcelona. Ediciones Omega, 1976, p. 183

“La abertura de la cámara es precisamente eso, un agujero a través del cual pasa la luz que va desde el sujeto hasta la película.”⁸¹



proporcionan 12, 24 y 36 tomas, contenidas en un magasin de metal. Posteriormente a la exposición total del rollo, se libera otro seguro que permite el reembobinado del rollo en el magasin, dicho acto se logra la hacer girar una segunda palanca que se conecta al cilindro del magasin.

Actualmente estos sistemas de avance son automáticos. En ellos se sustituyen las palancas o manivelas que efectuaban el movimiento de los engranes al aplicarles una fuerza “x” proveniente del fotógrafo, por un motor eléctrico alimentado por una batería de corriente alterna, el motor mueve los engranes a partir de pulsos eléctricos que recibe, cada pulso eléctrico se regula para que produzca un movimiento determinado del motor, suficiente para hacer avanzar la película en la toma siguiente. El reembobinado también es producido por el motor. Existen dos tipos de secuencias de avance; la primera, la tradicional, consiste en el avance paulatino en orden de la película, y al finalizar la exposición del rollo es reingresada al magasin. La segunda, consiste en hacer avanzar totalmente la película hacia el cilindro de la cámara, y las fotografías se toman en orden inverso, es decir, se empieza con la última toma, la 36 y se finaliza con la 1. La ventaja de este tipo de orden es que el fotógrafo conoce exactamente el número de tomas que le quedan por hacer, ya que la cifra de 36 exposiciones por rollo no siempre es exacta. Pero su inconveniente radica en que el rollo no puede ser cortado parcialmente y reutilizado.

Diafragmas

Diafragma: abertura ajustable que controla la cantidad de luz que atraviesa el objetivo. A menudo se denomina diafragma de abertura o abertura.”⁸⁰

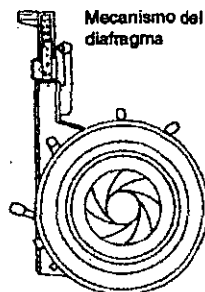
Los objetivos ópticos más simples generalmente tienen un número f fijo, prescindiendo del diafragma; en algunos modelos de cámaras se incorporaba un diafragma muy sencillo de dos o tres pasos ajustables con una palanca que indica escenas típicas de toma: sol, nublado y tarde/noche. El principio de este diafragma es el siguiente: una lamina de metal con tres perforaciones de diferentes diámetros que se interpone en el objetivo, de dos lentillas generalmente, regulando así la cantidad de luz que entra en la cámara. Existen algunas variaciones de este tipo de diafragmas, algunos son de forma circular, que gira a fin de cambiar la abertura.

80. Michael Freeman.

Op. cit., p. 329

81. *Ibidem*, p. 94

El diseño más perfeccionado y utilizado es el diafragma iris, que consiste en una serie de laminillas entrelazadas o yuxtapuestas, que forman una abertura de forma pentagonal o octagonal (generalmente) en medio del objetivo. Su dimensión de abertura se puede modificar mediante el movimiento de las laminillas, pasando de un agujero extremadamente pequeño, al diámetro total del objetivo. A este diafragma se le denomina iris, porque está basado en la cinemática del iris del ojo humano.



Para conseguir el movimiento exacto de este iris, se sincronizan las laminillas a un sistema de engranes, clavijas y conexiones mecánicas, que son las encargadas del movimiento, graduando la abertura. Dicho sistema es activado al girar manualmente un anillo que está integrado al cuerpo o cañón del objetivo fotográfico, o por una manivela situada en el cuerpo del lente, en el extremo más próximo a la posición real del diafragma dentro del lente. Cuando se aplica una fuerza determinada para hacer girar cualquiera de los dos sistemas anteriores, el mecanismo del diafragma se activa, ya sea cerrando o abriendo el iris, según el sentido del giro; en las cámaras de telémetro TLR y en algunas SLR, se puede apreciar este movimiento del iris al mirar desde la parte frontal del objetivo. En la gran mayoría de los objetivos SLR se modifica el sistema, debido a que intentar enfocar con un diafragma pequeño resultaría muy difícil, por la escasa cantidad de luz que entra. Para resolver este problema, el diafragma iris permanece en su máxima abertura durante el enfoque, e instantes antes de la toma se coloca en el diámetro deseado por el fotógrafo; a este tipo de diafragma se le llama "diafragma completamente automático". Esto se logra anexando al sistema mecánico del diafragma unos sensores o resortes que regulan el movimiento del sistema, permitiendo su acción sólo antes de la aplicación de una fuerza en el botón de obturación; y posteriormente, cuando se ha dejado de aplicar dicha fuerza, crea una nueva fuerza contraria que regresa al diafragma a su abertura máxima.



Unidad de diafragma electrónico EMD de Canon

*Motor de pulso electrónico de muy pequeñas dimensiones

En los equipos contemporáneos el sistema mecánico del diafragma ha sido sustituido por un sistema electrónico de servo o micro motores,* que reaccionan a pulsaciones eléctricas que los hacen generar movimiento. Actualmente los fabricantes han prescindido

“El sistema del número f resuelve el problema (de tener una misma unida de medida para todos los objetivos) porque es independiente de la distancia focal. Un número f es una proporción, no una medida real, de modo que una apertura de $f8$, en un objetivo de 50 mm, admite exactamente la misma cantidad de luz que una apertura de $f8$ en un objetivo de 400mm.”⁸²

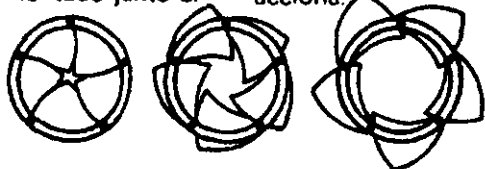
del anillo o manivela del diafragma sustituyéndolos por un juego de botones o por un dial electrónico en el cuerpo de la cámara. *“El mando del diámetro de la apertura se lleva a cabo por una señal de pulso eléctrico que corresponde a un valor seleccionado manualmente en el dial electrónico de la cámara o automáticamente determinado por el microordenador de la cámara.”⁸²*

Algunas unidades como la EMD (mando electrónico digital) de diafragmas electromagnéticos usadas por compañías como Canon en su línea de objetivos EF, funcionan a partir de micro ordenadores. El primero de ellos situado en el cuerpo de la cámara, que recibe y procesa la señal manual dada por el fotógrafo, o automática en relación con el exposímetro, y la envía hacia un segundo micro ordenador colocado en el lente, que está montado en la cámara; éste último convierte la señal en el número correspondiente de pulsos electrónicos, que son enviados a un control digital de precisión, ajustando el diámetro requerido en el diafragma. Una vez hecha la toma, el control digital de precisión libera el diafragma para que regrese a su abertura total. Estos sistemas, al igual que los mecánicos, permiten al fotógrafo observar la profundidad de campo (la imagen con el diafragma escogido) con simplemente apretar un botón.

Todos los diafragmas son calibrados mediante una serie de números o valores. *“Estos números se llaman puntos f , o números f , y miden el tamaño de la apertura del objetivo. Sin embargo, cada número no es el diámetro de la apertura sino el número por el cual hay que dividir la distancia focal del objetivo, para obtener el diámetro de la apertura.”⁸³* Es decir, $50\text{mm}/f2 = 25\text{mm}$, $50\text{mm}/f4 = 12.5\text{mm}$, etc.

Central (de laminillas) Es un conjunto de laminillas opacas montado junto al

objetivo o en su interior, que se abre a partir del centro cuando se acciona.



82. Canon. Op. cit, p. 183

83. Michael Freeman.

Op. cit, p 94

84. Idem.

Obturadores

Los obturadores son un elemento de la cámara o del objetivo fotográficos, que realiza la función de regular el tiempo de exposición del material sensible. La primera forma de controlar la exposición

consistía en cubrir y descubrir la apertura de la cámara, manualmente, interviniéndola con un objeto opaco; ésta recibió el nombre de “sombbrero”, porque era con este aditamento que se realizaba el

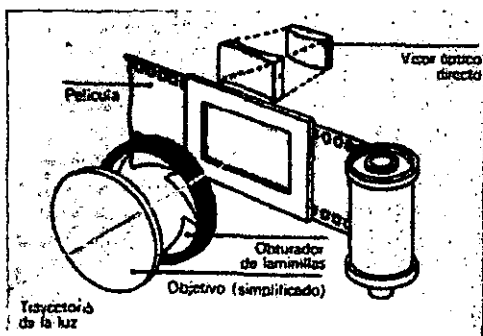
proceso antes citado. Pero a medida que las fotoemulsiones se hicieron más sensibles y por ende los tiempos de exposición más cortos, se tuvieron que desarrollar formas de obturación más precisas. El desarrollo de los obturadores mecánicos consecuencia de los conocimientos ya existentes de la mecánica física y la tecnología permitió construir dispositivos pequeños y de precisión, que satisficieron las necesidades fotográficas.

Los mecanismos de obturación más sencillos que aún hoy día se usan, consisten en una lámina conectada a un resorte en un extremo y a un botón en el otro, que al ejercerse sobre éste una fuerza dada, descubre la abertura de la cámara, al tiempo que se comprime el resorte del extremo opuesto; una vez que se le deja de aplicar la fuerza, el resorte genera una nueva fuerza, contraria, que regresa a la lámina a su posición inicial, cubriendo la abertura. Pero para satisfacer la necesidades de una fotografía más profesional o precisa, el sistema de obturación debe ser más complejo. Actualmente existen dos sistemas construcción de obturadores; el mecánico y el electromecánico o electrónico.

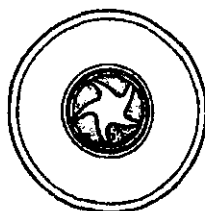
Un obturador mecánico es aquel que basa su funcionamiento en una serie de engranes, que realizan y gradúan el movimiento, un mecanismo de tensión producido por resortes y/o muelles, que sirven de generadores de la fuerza necesaria para generar un trabajo (tal como si fuese una cuerda de reloj). Graduando la tensión en el sistema, aumentando o disminuyendo el número de engranes, es como se controlan las velocidades.

El obturador eléctrico o electromecánico es aquel que sustituye el sistema mecánico por un sistema eléctrico. *“El sistema se mejora eliminando toda serie de engranajes. Si bien todavía puede emplearse un resorte para abrir y cerrar rápidamente el obturador, el tiempo que éste permanece abierto se controla por medio de un solenoide. Este a su vez se dispara por medio de un condensador alimentado por una pequeña batería a través de uno o de una serie de transistores.”*⁸⁵ El regulado de las velocidades se realiza por medio

Los obturadores “mecánicos” y “eléctricos” se sustentan en principios físicos de mecánica, por lo que los dos están sujetos a las leyes mecánicas, así que científicamente ambos son mecánicos, aun cuando en su funcionamiento intervengan otras disciplinas.



Esquema de un obturador



Obturadores centrales

de transistores y el movimiento lo producen una serie de servomotores.

Además de estos dos sistemas de construcción, también existen dos tipos básicos de construcción de obturadores; el central y el de plano focal, que se refiere al lugar en el que son colocados.

Obturadores centrales

*“Es frecuente el obturador formado por varias láminas que se abre desde un centro, como un diafragma. La mayoría de ellos se abren por completo y otros hasta un diámetro predeterminado, con lo cual actúan también como diafragma del objetivo.”*⁸⁶ En este obturador las láminas se entrelazan entre sí, variando en número de 3, 5 y 8, de manera concéntrica con respecto al eje óptico, de ahí su nombre. Este tipo de obturadores son colocados en los objetivos fotográficos, existiendo tres posiciones comunes: la primera, frente al lente frontal primario del objetivo; la segunda a un lado del diafragma en la parte “media del objetivo” o bien en el punto específico en que todos los rayos luminosos que atraviesan el objetivo convergen en un punto para posteriormente divergir hacia el plano focal; la tercera atrás del lente posterior principal final.

Al igual que el diafragma, estos obturadores basan su funcionamiento en torno al iris del ojo humano, por ello es que en algunos sistemas el mismo obturador cumple la función de diafragma. La cinética de estos obturadores consiste *grosso modo* en el sistema de tensión o de energía, que libera una fuerza determinada para que el sistema de movimiento realice un trabajo en sus componentes, a fin de lograr un movimiento que permita a las laminillas del obturador se desplacen desde el centro a los extremos, creando una abertura que permite el paso de los rayos luminosos. La fuerza empleada es graduada para que determine un tiempo “x”, en el que se realiza el trabajo, posteriormente el sistema de movimiento realiza el mismo trabajo pero de forma inversa, es decir, el desplazamiento de las laminillas hacia el centro, cerrando la abertura antes creada. La fuerza necesaria para realizar este trabajo puede ser proporcionada por el mismo sistema de tensión o de energía, o bien, por un tercer sistema que consiste en un resorte o muelle que es tensado durante el tiempo que se generó la abertura, y al liberarse de la fuerza inicial, este sistema crea una segunda fuerza contraria que provoca el cierre de la abertura.

86. Clyde Reibols. Op. cit, p. 38

El tiempo en el que se realiza la acción antes mencionada comprende dos momentos; el primero es el tiempo total que el sistema requiere para abrir y cerrar el iris del obturador, este tiempo es constante e invariable. El segundo momento es el tiempo que permanece abierto el iris, que es controlado por el fotógrafo, valiéndose para ello de una serie de valores predeterminados conocidos como velocidades de obturación. *“Para facilitar el cálculo de la exposición, los obturadores se calibran de modo que cada posición duplica el tiempo de la exposición siguiente. Una sucesión típica es: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500. Pasar por ejemplo, 1/60 a 1/125 supone reducir a la mitad la cantidad de luz que llega a la película y, por lo tanto, equivale a cerrar la abertura un diafragma.”*⁸⁷ Estas velocidades son graduadas en la montura del lente o pueden ser activadas por un dial desde el cuerpo de la cámara. Además de estas velocidades existen otras posiciones: la “B”, en la que el obturador permanece abierto el tiempo que el fotógrafo presione el botón de disparo. Y una “T”, en la que el obturador permanece abierto hasta que se abandona esta posición, que sirve para enfocar en las cámaras de formato grande. La mayoría de los obturadores centrales manejan la siguiente sucesión de velocidades: T, B, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 125, 250, 500.

La mayor parte de estos obturadores son precisos, pero, ninguno es 100% eficaz, ya que se sujetan a ciertas condiciones que limitan su precisión. El libro *Tratado de fotografía* de Michael Langford señala tres condiciones básicas que determinan la eficacia de un obturador central.

1, *Diámetro de la abertura.* Para que el obturador realice su función debe de abrirse y cerrarse completamente, como el diafragma se encuentra antes del obturador, exceptuando los colocados en el lente frontal primario- entonces, a medida que el diafragma se cierra, es menor la distancia que las laminillas del obturador recorren para descubrir totalmente la abertura. *“El menor tiempo que se necesita para abrir y cerrar esta abertura más pequeña significa que la eficacia del obturador aumenta. Valores típicos para un objetivo de 55mm (1/125 seg.)= 75% a f/2; 90% a f/4.”*⁸⁸

2. *Ajuste de la velocidad.* El tiempo total que requiere un obturador para realizar su función (abrir y cerrar el iris)

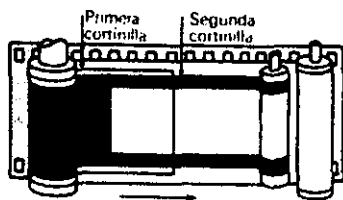
87. Michael Langford. El manual fotográfico para cada situación. Barcelona. H. Blume Ediciones, 1987, p. 201

88. Michael Langford. Tratado de fotografía. Op. cit, p. 20

debe ser tomado en cuenta para obtener valores reales de exposición, de no ser así, este tiempo repercute en la exposición, reduciendo el tiempo de exposición. "A la velocidad de obturación de 1 segundo, por ejemplo, la abertura y cierre representan una proporción tan pequeña del tiempo que el obturador permanece abierto, que la eficacia puede estar por encima del 98%. El mismo obturador, a la misma abertura, cuando se ajusta a 1/125 seg., su eficacia desciende hasta 68%."⁸⁹

3. Posición y diseño del obturador. Un obturador colocado inmediatamente después del diafragma cota un haz luminoso más estrecho que un obturador de láminas suelto colocado delante o detrás del conjunto que forma el objetivo."⁹⁰ Por lo tanto, sus dimensiones pueden ser más pequeñas, reduciéndose el tiempo que necesita para efectuar su trabajo. Respecto al diseño, al igual que todos los aparatos fotográficos a medida que se utilizan materiales más resistentes y una tecnología más avanzada, la eficacia y durabilidad aumenta.

Obturador de planofocal



Tambor conectado al mando de velocidades



Los obturadores centrales colocados atrás del diafragma son considerados como los mejores por muchos fotógrafos, pues, presentan grandes ventajas, sobre todo en la sincronización con el flash, y en las tomas de objetos en movimiento, aunque, su mayor desventaja radica en el tope de velocidad, un 1/500 seg.

Obturadores de plano focal

"Este obturador consta de dos cortinillas. La primera de ellas se desplaza instantáneamente en dirección horizontal o vertical. Para descubrir la película, al cabo de un intervalo medio, la segunda cortinilla cubre de nuevo la película."⁹¹ También existe otro diseño de obturador de plano focal, el electrónico, que consta de un grupo de laminillas colocadas horizontalmente que se pliegan y despliegan una por una, para exponer la película.

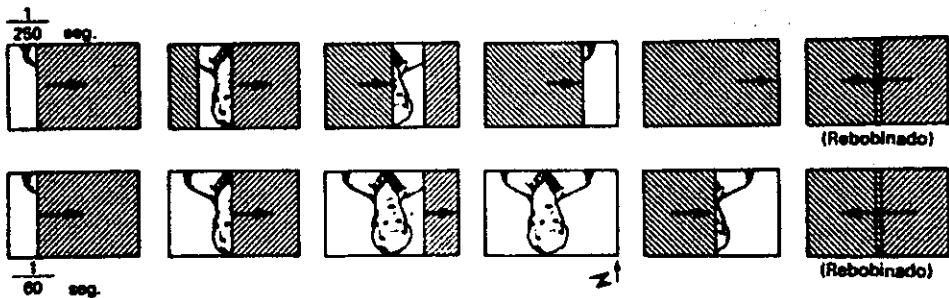
89. *Ibidem*, p. 88

90. *Ibidem*, P. 8920.

91. Clyde Reins. Op. cit., p. 39

Considerando que este tipo de obturador mantiene los mismos sistemas de funcionamiento que el central, el sistema de tensión o de energía, y el sistema de movimiento, sólo describiremos la cinemática de ellos. Al activar el obturador, una de las cortinillas avanza a una cierta velocidad, descubriendo la película; en una fracción de tiempo graduable, una segunda cortinilla parte del mismo punto que la anterior, cubriendo de nueva cuenta al material sensible. De ello que a velocidades cortas, la película se expone seccionadamente, en tiempos iguales, porque el obturador actúa como una rendija de cierta dimensión que recorre la emulsión, exponiéndola.

En el obturador electrónico, las cortinillas, cuatro generalmente, se pliegan una sobre la otra, desplegándose posteriormente. Esta misma acción la realizan secuencialmente todas las cortinillas, creando así la misma rendija que recorre la emulsión de manera horizontal.



Los obturadores de plano focal, como su nombre lo indica, son colocados a una distancia muy próxima del plano focal (a 3mm de separación aprox.), es decir, se encuentra en el cuerpo de la cámara y no en el objetivo; por lo tanto, sus velocidades se gradúan por medio de una perilla o un dial colocado en el chasis, prescindiendo de la función "T". Estos obturadores alcanzan velocidades más rápidas que los obturadores centrales, hasta $1/10,000$ seg., y en su funcionamiento se comprende un nuevo elemento: la interacción con el espejo reflex, situado inmediatamente delante de él. Su uso es muy común en los sistemas SLR (Single Lens Reflex) de lentes intercambiables, pues abarata los costos al evitar tener que colocar un obturador en cada objetivo fotográfico. Su dimensión es equivalente al tamaño del formato de película empleado, por ello su uso se restringe a formatos 70mm y 35mm.

Atendiendo al libro antes citado, señalaremos tres condiciones que determinan la precisión de los obturadores de plano focal.

1. *Posición de la cortina.* Si las cortinas del obturador realmente se situasen en el plano focal, este obturador sería 100% eficaz, pero, como realmente se colocan a una cierta distancia de la película, su movimiento genera un “desvanecimiento” de la iluminación que recibe la emulsión. Por lo tanto a medida que el obturador de plano focal se encuentra más cercano a la emulsión aumenta su eficacia.
2. *Anchura de la rendija.* Una rendija mayor necesita de un menor tiempo de recorrido para abarcar el formato utilizado. Un tiempo mayor tendría que ser restado o compensado a la velocidad que se ha escogido. *“La eficacia de un obturador de plano focal aumenta, por lo tanto, con la anchura de la rendija.”*⁹²
3. *“Numero f. A medida que se diafragma el objetivo, el cono de luz se hace más estrecho. Los bordes de la rendija tardan menos tiempo en dejar pasar y obstruir la totalidad de la luz del objetivo. Lo mismo ocurrirá si cambiamos a otro objetivo con el mismo diámetro de abertura pero mayor distancia focal. Tenemos en cuenta ambos aspectos al decir que el rendimiento de un obturador de plano focal aumenta cuando se emplea un numero f mayor.”*⁹³

Para estos obturadores se puede realizar una prueba muy simple que nos indica su eficacia, calculándose con la siguiente fórmula: $W \times 100 / W + D/f$

W = anchura de la rendija

D = su distancia de separación con el plano focal

f = número f del objetivo

92. Michael Langford.

Tratado de fotografía.

Op.cit, p. 90

93. Idem.

Ejemplo; W = 6mm, D = 3mm, f = 8. La eficacia será de 94.117%

Un obturador plano-focal es ideal para velocidades muy rápidas, hasta 1/10,000 seg. Pero no lo son tanto para objetos en movimiento

muy rápido, ya que el desplazamiento de un móvil en sentido paralelo del las cortinas ocasiona imprecisiones en el registro de la imagen.

También presentan problemas con la sincronización con el flash, limitando la velocidad máxima a $1/60$, en las cámaras menos sofisticadas, y a $1/250$ en las más sofisticadas. Si cualquiera de las dos excede su límite, la imagen no saldrá expuesta totalmente, sólo una proporción de la imagen, en relación con la dimensión de la rendija.

Tanto obturadores centrales como plano focales se enfrentan a los siguientes problemas: 1. error de calibración, 2. inconsistencia y 3. defectos mecánicos.

1. El error de calibración consiste en diferencia en los tiempos reales de exposición y las velocidades indicadas por el fotógrafo, debido a que no se toma en cuenta el tiempo que el sistema requiere para efectuar su movimiento, por ello una velocidad de $1/300$ seg., realmente puede ser de $1/250$ seg (la imagen se apreciara subexpuesta).
2. La inconsistencia, como su nombre lo indica, son fallas en el tiempo de exposición que se presenta continua o esporádicamente, causando en el fotógrafo una incertidumbre sobre el tiempo de exposición.
3. Los defectos mecánicos, que pueden ser inercia y rebote. La inercia consiste en diferencias en el tiempo que ocupa el obturador para realizar el movimiento, debido al desgaste o deficiencias en el sistema mecánico. El rebote se presenta de manera más común en los obturadores centrales: consiste en un rebote momentáneo de las laminillas del iris, después de haberse cerrado, provocando un aumento sutil en el tiempo de exposición real, pero desfasado, teniendo el riesgo de producir dobles imágenes.

Cabe debemos mencionar que muchos de los problemas de los obturadores descienden en los sistemas electrónicos, ya que gran parte de estos tienen como causa deficiencias de los sistemas de los

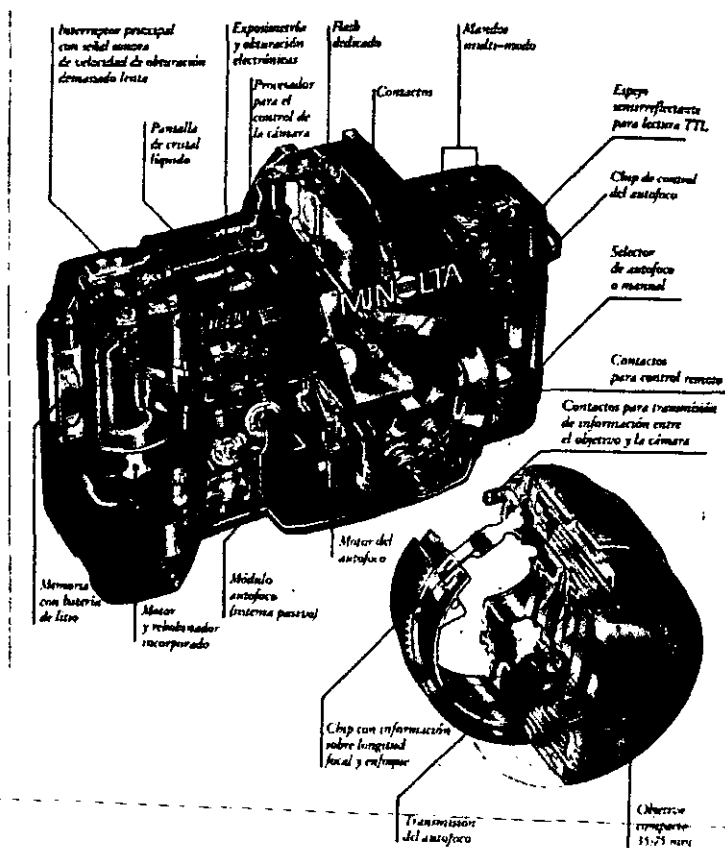
El pentaprisma, que es un sistema óptico, consistente en una serie de espejos dispuestos de manera que logren corregir la inversión que sufre la imagen al pasar por el objetivo fotográfico.



Imagen con defecto de rebote

sistemas de tensión y de movimientos mecánicos. Por otra parte, los sistemas electrónicos brindan mayor versatilidad y precisión; por ejemplo, las velocidades que se manejan estos sistemas tienen un rango mayor, desde 30 seg. Hasta 1/10,000 seg. Con pasos intermedios, P, ej. 60- 90- 125.

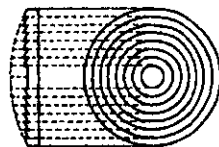
Los sistemas electrónicos también brindan la posibilidad de exposiciones automáticas o con prioridades, determinadas por la medida obtenida por el exposímetro interno de la cámara. Esto funciona someramente de la siguiente manera: el exposímetro mide la intensidad lumínica de la escena y manda una señal (pulsos eléctricos) a un microordenador (micro procesador), éste registra la señal, convirtiéndola en ordenes



(nuevos pulsoseléctricos) para que tanto el diafragma como el obturador se ajusten a ciertos comandos predeterminados. También existe la posibilidad de que el fotógrafo asigne uno de los dos valores, diafragma o tiempo, y el micro ordenador determina el otro de acuerdo con la señal que recibe del exposímetro.

Sistema reflex y SLR

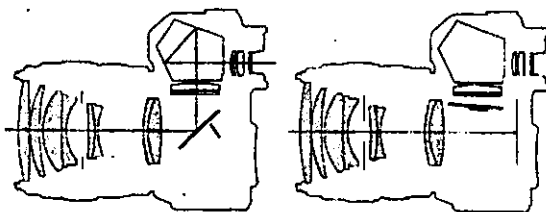
El sistema de reflex se refiere al sistema de visión mediante el cual el fotógrafo observa a través del objetivo gracias a un espejo colocado a 45° que refleja los rayos de luz, que forman la imagen provenientes del sujeto, hacia un lente fresnel y posteriormente el pentaprisma, o hacia una lupa simple, o a un visor de cintura.



Lente fresnel

El sistema SLR sigue este mismo principio, pero es un poco más complicado, porque el fotógrafo observa por el mismo objetivo destinado a la exposición del material sensible. En este sistema el espejo reflex se coloca adelante del obturador. Por ello, instantes antes de que el obturador de plano focal o central se abra, el espejo se levanta hasta casi hacer contacto con el lente fresnel: este movimiento cumple la doble función de liberar el paso de los rayos luminosos hacia el plano focal y obstruir el paso de rayos luminosos ajenos a los de la toma provenientes del visor de la cámara. Una vez realizada la toma, el espejo reflex regresa a su posición inicial, desviando de nuevo los rayos luminosos hacia el visor, regresando la imagen que se había perdido durante la toma.

Para el desplazamiento del espejo reflex, es necesario un sistema mecánico o electrónico de movimiento conectado al sistema de obturación, logrando con ello que éste se active instantes antes de la apertura de las cortinas o del diafragma, ocupando los mismos sistemas que el obturador para efectuar su trabajo.



Sistema reflex

La evolución tecnológica que las cámaras fotográficas han tenido, desde los primeros prototipos de cámaras de 35mm que contaban con un obturador central, lo que permitió el abaratamiento de la óptica al liberarla de esta responsabilidad, hasta hoy con las cámaras de registro electrónico o digitales que eximen al fotógrafo del laboratorio químico, todos en busca de la comodidad del usuario, aun cuando esta no baya de la mano con la calidad, han afectado de una u otra forma a aquellos que toman a la fotografía como medio de expresión, y también en los que simplemente son espectadores de ella.

Hoy, con el surgimiento de la fotografía digital probablemente muchas cosas cambien, incluso tal ves los parámetros bajo los cuales juzgamos el valor de una fotografía, ya sean estéticos o artísticos, de la misma manera que la fotografía análoga lo hizo, sobretodo si situamos a este nuevo medio (el digital) en la apoteosis de la producción de imágenes.

Capítulo 3

Exposímetros (Mecánica Cuántica)

Con la ayuda del Doctor en Física **Luis Fernando Magaña Solís** investigador titular “C” tiempo completo y director de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Capítulo 3

EXPOSÍMETROS (Mecánica cuántica)

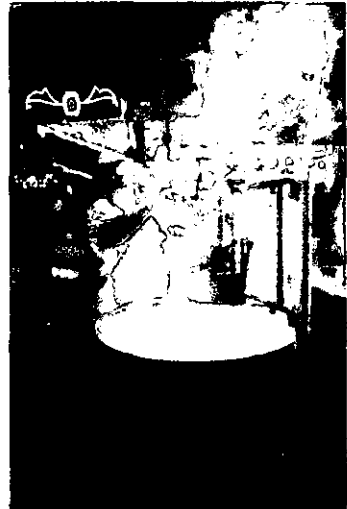
*“El exposímetro es un instrumento que transforma la respuesta de una célula sensible a la luz en una lectura aplicable directamente a valores de apertura y velocidad de obturación”.*⁹⁴

Para la fotografía análoga reciente es preciso contar con un instrumento que mida la intensidad luminica del sujeto fotográfico en relación con la sensibilidad de la película o material fotosensible utilizado. En sus inicios, la exposición fotográfica era de horas; al evolucionar la química fotográfica la exposición se redujo a minutos, segundos y fracciones de segundo. Para estos dos últimos, el calculo mental hecho por el fotógrafo resultaba insuficiente. Fue entonces que científicos interesados por la fotografía se abocaron a la tarea de encontrar una forma práctica de calcular el tiempo de exposición. La respuesta a este problema fue el desarrollo tecnológico del exposímetro, el cual registraba un valor “x” de cantidad de luz recibida, que posteriormente el fotógrafo interpretaba asignándole valores de exposición (tiempo/diafragma).

El exposímetro consiste esencialmente en un material de características físicas específicas que le permitan reaccionar al contacto con la luz, ya sea generando una corriente eléctrica o variando su capacidad de conducción eléctrica (resistencia). El flujo de corriente eléctrica que genera o conduce es registrado por un instrumento que mide la electricidad llamado “Galvanómetro”. Posteriormente se calculan los valores específicos de luz en relación con una sensibilidad “x” determinada por el material sensible o película fotográfica, obteniendo así datos específicos para la toma fotográfica.

Los primeros exposímetros utilizaban como material fotosensible al selenio (Se), que es un fotogenerador de electricidad. La mayoría de exposímetros de selenio eran externos, sólo algunos modelos de cámaras fotográficas incorporaron un exposímetro de este tipo, debido a que las dimensiones que la célula de selenio necesita para registrar eficientemente la luz eran relativamente grandes. Estos exposímetros requerían de segundos y en ocasiones minutos de exposición, para registrar una lectura que, la mayoría de veces, era

“Exposición es la acción de la luz sobre la capa sensible de la película”.⁹⁵



Fotografía con excelente exposición (cortecía Canon)

94. Michael Freeman. Op. cit, p. 88

95. Leonard Gaunt. La Cámara de 35mm. Barcelona. Ediciones Omega, 1976, p. 92

El rango dinámico de una película es una escala de exposición, comprendida en valores de grises, dentro de la cual una película es capaz de reaccionar óptimamente con la luz, si la intensidad luminosa se sale de ella, la película no reaccionará eficientemente.



sólo aproximada. El tipo de lectura que hacían generalmente era de luz reflejada (luz que refleja el sujeto fotográfico) e incidente (luz que llega a la escena), obteniendo el fotógrafo, por lo general, una lectura global de toda la escena que era ajustada dentro del rango dinámico de la película o emulsión. Estos exposímetros se caracterizan por una gran celda o célula cubierta por un vidrio esmerilado o una media esfera opaca, y son totalmente análogos, además de que no requieren de ninguna fuente de energía, más allá de la luz, para ser alimentados.

Posteriormente a los exposímetros de selenio, surgieron los de sulfuro de cadmio (CdS), es un material perteneciente al grupo de los semiconductores y reacciona a la luz variando su resistencia eléctrica, es decir, a mayor luz, mayor flujo eléctrico conduce. Debido a esto, a la configuración antes descrita del exposímetro de selenio (célula sensible y galvanómetro) se le anexa una fuente de alimentación de energía externa (una pila), que se conecta en circuito con los otros dos elementos. La célula de CdS presenta la gran ventaja de ser más sensible a la luz, lo que trajo consigo tres nuevas condiciones muy importantes.

1. Al reaccionar el CdS mucho mejor a la luz, el tiempo de exposición necesario para obtener una lectura precisa es mucho menor (segundos y fracciones de segundo), reaccionando aun en condiciones de luz muy bajas (noche).
2. Las lecturas obtenidas por el CdS son mucho más precisas que las del selenio, en relación con la sensibilidad de la película.
3. Gracias a su gran sensibilidad, la célula de CdS es mucho más pequeña (milímetros), en comparación las de selenio (centímetros), lo que la vuelve más versátil y económica.

Ante estas ventajas el CdS sustituyó rápidamente al selenio, además de que abrió la puerta al desarrollo a gran escala de los exposímetros internos en las cámaras.

El último tipo de exposímetro es el de silicio, *“La primera dificultad en el diseño de un exposímetro es encontrar un material que tenga el mismo tipo de sensibilidad a la luz que la película fotográfica.*

*Se dice que el silicio es superior al CdS en este respecto.*⁹⁶ El silicio (Si) al igual que el CdS, pertenece al grupo de los semiconductores que reaccionan con luz, por lo que tiene el mismo diseño de construcción que los exposímetros de CdS, pero el silicio presenta ciertas ventajas que hacen que desplace a su antecesor:

El silicio por sí solo es menos sensible que el CdS, pero puede ser conectado a un circuito de amplificador, proporcionando mediciones más precisas.

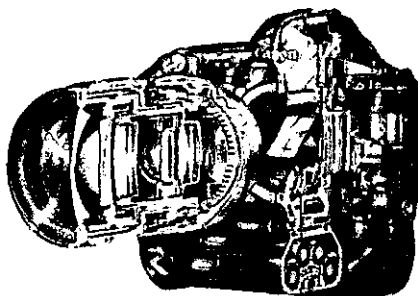
La producción del silicio es menos costosa, porque se crea a partir de simples arenas (como las de los desiertos); de hecho es el material semiconductor más popular por su gran número de aplicaciones.

Junto con el silicio y debido en parte a él, ha llegado la era digital. Los modelos más recientes de exposímetros de silicio incluyen un microprocesador que efectúa cálculos para establecer lecturas muy precisas, teniendo en cuenta diferentes variables como el ISO*, prioridades en el tiempo o diafragma, luz continua, luz de destello, exposición por escalas, exposición acumulada, memorias, entre otras funciones; el micro procesador "sustituye" al galvanómetro y al amplificador (los dos instrumentos son incluidos en el microprocesador), enviando su señal a una pantalla de cristal líquido que indica al fotógrafo los datos obtenidos de la medición.

En la fotografía existen dos tipos básicos de exposímetros: los externos o independientes de la cámara y los internos colocados en el interior de la cámara.

Exposímetros externos

Los exposímetros externos fueron los primeros en crearse, partiendo desde el selenio hasta el silicio, estos instrumentos son muy versátiles y precisos. En ellos se encuentran los cuatro tipos básicos de medición: luz incidente, luz reflejada, puntual y luz de destello o flashímetro. Existen algunos exposímetros que integran todas las funciones, pero los más comunes sólo integran dos o tres de ellas y,



Célula de Silicio

*Medida regulada por la Organización Internacional de Estandarización (International Standard Organization).

96. *Ibidem*, p. 106

“Las lecturas más exactas de todas las proporcionan los exposímetros puntuales, que miden luz reflejada con un ángulo de tan solo 1°. Estos instrumentos se usan de forma muy parecida a los incorporados a la cámara cuando ésta lleva montado un teleobjetivo”.⁹⁷



Exposímetro puntual

de hecho, anteriormente tanto el puntual como el flashímetro se vendían cada uno por separado. A continuación explicaremos en que consiste cada tipo de aparato.

De luz incidente. Consiste en una media esfera de plástico opaco blanco, que cumple la función de recibir todos los rayos luminosos de la escena, no solo los de la fuente de luz, integrándolos todos en un haz de luz uniforme, por lo que la medición obtenida es un promedio de la luz total.

De luz reflejada. Consiste en una placa plana de cristal o plástico que cubre la célula del material sensible a nivel del chasis del exposímetro. En algunos modelos, la media esfera de plástico se hunde al nivel antes mencionado. Por lo tanto, se reduce el ángulo de entrada permitido para los rayos de luz con dirección al material sensible, por ello, la lectura obtenida no es general, solo comprende los rayos provenientes de la fuente de luz (cuando se apunta a ésta), o los rayos que refleja el sujeto fotográfico.

Exposímetro para luz incidente y reflejada



Puntual. Este exposímetro es una perfección del anterior, tiene una ventana de cristal donde un lente crown gradúa el ángulo de aceptación de luz, reduciéndolo a 4°, 3°, 2° y 1°, por lo que la medida de luz obtenida pertenece exclusivamente a la sección comprendida por el ángulo de visión. La medida que se obtiene es puntual, es decir, no es un promedio, sino la cantidad exacta de luz existente en el objeto enfocado por el visor del instrumento. Algunos de estos exposímetros son conocidos también como de pistola, y en algunos de ellos el ángulo de visión se puede graduar a criterio del fotógrafo.

Flashímetro. En este instrumento el objetivo es sincronizar el momento de registro de la luz con el tope de iluminación emitido por la fuente artificial de luz (flash). La sincronización se realiza conectando un cable sincro entre el exposímetro y la fuente de luz, al oprimir el botón de registro en el exposímetro; éste cierra el circuito eléctrico, que fluye por el cable, produciendo el disparo de la fuente de luz. En los modelos más recientes, esta lectura se puede realizar sin el uso de cables, a partir de una función en la que el instrumento

97. Ibidem, p. 88

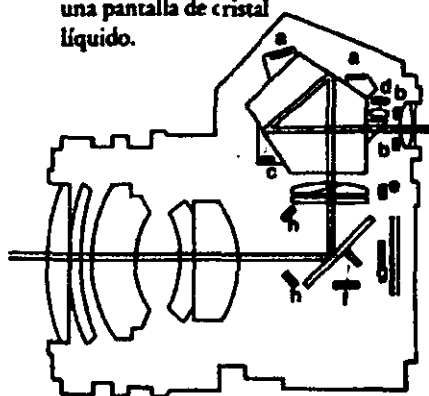
realiza dos mediciones. La primera, de la luz ambiente antes del disparo, y una segunda que se activa cuando el material sensible registra un aumento súbito de la intensidad luminosa, producto del destello del flash; ésta última es registrada y mostrada al fotógrafo. En los exposímetros más sofisticados el flashmetro se puede combinar con los otros tres tipos de medición.

En los exposímetros externos las marcas más importantes son: Minolta, Gosen y Seconic.

Exposímetros internos.

Con el uso del CdS como material sensible surgió la posibilidad, a gran escala, de anexas a cada cámara un instrumento de medición de luz, facilitando la fotografía "amateur". El primer tipo de exposímetro interno fue el incorporado de visión TTL, característico de las cámaras TLR, que consta de una ventana pequeña colocada en uno de los lados del cuerpo, de forma circular (cuando la célula es de CdS) o rectangular y grande (cuando era de selenio). Estos exposímetros daban lecturas aproximadas de la escena. *"La precisión de un exposímetro depende de su ángulo de aceptación, y éste suele ser de 50° aproximadamente el mismo que el del objetivo estándar"*.⁹⁸ Ellos no comprendían el uso de filtros, y la mayoría de cámaras que lo usaron eran de óptica fija.

El valor de la medida suele indicarse en el visor por medio de una aguja móvil, de un diodo emisor de luz (LED), o de una pantalla de cristal líquido.



Posiciones de colocación de las células fotosensibles TTL

Cuando surge la Cámara TLR, se buscó la manera de que el exposímetro tomara en cuenta el cambio de óptica y las distintas distancias focales de ellas. Esto se consiguió gracias al CdS, que permitía colocar una célula sensible muy pequeña (mm) en el interior de la cámara, detrás de la óptica, permitiendo mediciones muy exactas.

*"El resultado es que el exposímetro a través del objetivo mide la luz del área que va a ser reproducida en la película y sólo de esta área. Su ángulo de aceptación es el del objetivo incorporado a la cámara"*⁹⁹

98. Leonard Gaunt.

Op. cit., p. 108

99. *Ibidem*, p. 110

Este sistema no sólo comprende la distancia focal del objetivo; también la luminosidad de los cristales del objetivo, el uso de filtros.

Para este sistema de exposición existen cuatro posiciones clásicas para el acomodo de la célula de CdS o Silicio:

1. Detrás de la zona semirreflejante del espejo reflex.
2. Inmediatamente delante del plano focal. (este diseño también se usa en el sistema de visión TTL y en reflex de objetivos gemelos, TLR).
3. En el ocular del pentaprisma.
4. Entre la pantalla de enfoque y el pentaprisma, en el que una parte del pentaprisma desvía un haz de luz hacia la célula sensible.

Las posiciones 1 y 2 efectúan lecturas puntuales o de tono dominante, debido a que la célula recibe solamente la luz del área central de la imagen.

Las posiciones 3 y 4 efectúan lecturas generales del campo entero, pues integran todo el conjunto de luz en una sola lectura, sin discriminar entre los diferentes tonos. *“La tendencia es hacia la combinación de dos tipos de posición de la célula para construir un sistema compensador que, por ejemplo, mide un 60% del área central y un 40% del campo situado a su alrededor”*.¹⁰⁰

Actualmente, los exposímetros incorporados tienen la ventaja de tomar en cuenta la cantidad exacta de luz que entra por la óptica. Las mediciones que realiza son de luz reflejada, y en ocasiones puntual.

Sus desventajas radican en que ninguno puede tomar en cuenta la medición de luz incidente, ni sincronizarse con el flash (flashímetro), aunque algunas cámaras (las profesionales más completas) hacen algo similar mediante el uso de un flash digital que intercambia información con el microprocesador de la cámara en torno a la distancia de enfoque, la potencia del flash (variable), la velocidad de obturación, el diafragma.

100. Michael Langford.
Tratado de fotografía.
Op. cit., p. 97

Este flash emite un primer destello que sirve para obtener lecturas, permitir el autofocus y quitar el efecto de ojos rojos en el sujeto

fotográfico (en el caso de un ser humano). Pero esto para nada es un flashímetro, porque se deben cumplir ciertas condiciones para que se realice esta medición. La primera de ellas, el flash debe ser digital, contar con un microprocesador y por lo general, ser de la misma marca que la cámara. La segunda, esta montado sobre la cámara, para que se realice el intercambio de datos entre el cuerpo y el flash.

Exposímetro y exposición.



X

IX

VIII

VII

VI

V

IV

III

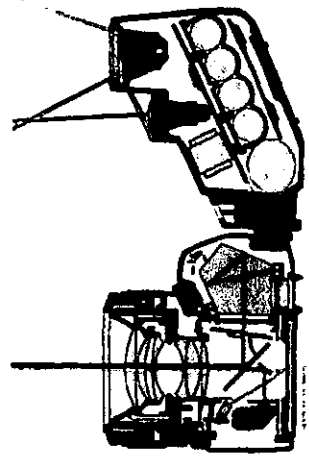
II

I

Para comprender cómo funcionan los exposímetros debemos aclarar que casi todos estos instrumentos (sean internos, externos, puntuales etc.) realizan una medición cuyos valores generales son enviados o ajustados en la zona V dentro de la escala o rango total de la película. Esta escala consta de once valores o zonas del negro al blanco. "El termino valor se refiere al grado de claridad o oscuridad de un color y no al tono en sí. En una impresión fotográfica llamaremos escala continua de grises a todos los valores del blanco al negro."¹⁰¹ Ansel Adams simplifico por conveniencia teórica la exposición de una película negativa pancromática en tres escalas: la total de once zonas del 0 (negro) al X (blanco), la dinámica de nueve (del I al IX), y la de texturas de seis (del II al VIII). En esta escala, la zona V, que es la intermedia, corresponde a un gris medio del 18%. El ajustar una exposición a esta zona equilibra la cantidad de grises en el negativo, permitiendo la existencia de tonos más o menos intensos.

"por lo general un exposímetro mide un ángulo de 30°, y el resultado de la lectura es un valor promedio de todos los valores presentes en la escena.

El exposímetro indica siempre una exposición justa necesaria para obtener un negativo que se imprima en un valor medio de gris de 18% de reflexión,



Exposición en
cámara profesional

101. Eric Jervaise. Taller de sistema de Zonas (manual), curso de fotografía impartido en la ENAP, UNAM, p. 3

“Lo que se llama exposición «correcta» no existe. Las diferentes exposiciones de una misma escena dan lugar a diferentes imágenes y la finalidad de una lectura no es obtener la combinación idónea de velocidad y abertura, sino crear, a partir de la escena, la imagen que el fotógrafo desea.”¹⁰³

conocido en sistema de zonas como zona V. Por ejemplo si exponemos a una pared blanca, la impresión de este negativo presentara una pared con un valor de gris medio del 18%.

*Motivo claro > exposímetro > Impresión al 18%.
Motivo oscuro > exposímetro > Impresión al 18%.”¹⁰²*

Otro aspecto a considerar es la sensibilidad real de la película. En una película existen dos sensibilidades, la primera es la sensibilidad comercial, determinada por una prueba hecha bajo una norma de la International Standard Association (ASA, o ISO). La segunda, la sensibilidad real que es el índice de exposición real que tiene una película de acuerdo a variables no comprendidas por el ISO, propias del equipo fotográfico y/o discrepancias en el valor real respecto al valor marcado en el empaque de la película.

Fundamentos científicos del exposímetro

Hasta ahora se ha hablado de como funciona un exposímetro, pero no se a tocado la parte más importante. ¿Por qué es posible que un aparato pueda medir luz? ¿Cuáles son los principios físicos que permiten que un elemento sea fotosensible? La respuesta a estas interrogantes están en la física y, más correctamente, en la mecánica cuántica.

¿Qué es la mecánica cuántica?

Durante muchos años la mecánica clásica desarrollada por Newton, (que estudiaba el movimiento de los cuerpos y las fuerzas que los provocan, y cuya ley máxima es la gravitación universal), fue suficiente para explicar “todos” los fenómenos conocidos por el hombre, hasta el momento en que los científicos comenzaron a escudriñar el interior de la materia y a su partícula fundamental el átomo. Se percataron que muchas de las leyes de la mecánica clásica no servían para resolver los nuevos dilemas que se les presentaban. Entonces, los recientes estudios realizados sobre el electromagnetismo por Maxwell y Hertz, las investigaciones sobre la naturaleza cuántica de la luz de Planck, la teoría de la relatividad de Einstein, y los Principios de incertidumbre de Heisenberg,

102. *Ibidem*, p.7

103. Michael Langford.

Manual fotográfico para cada situación.

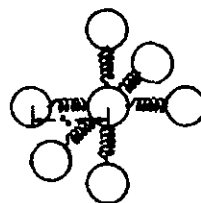
Op. cit, p. 90

terminaron por crear una nueva disciplina conocida como mecánica cuántica, que servía para el estudio de los movimientos a nivel microscópico, para el estudio de las partículas fundamentales de la materia, los átomos, los fotones, los quarks, los electrones, etc.

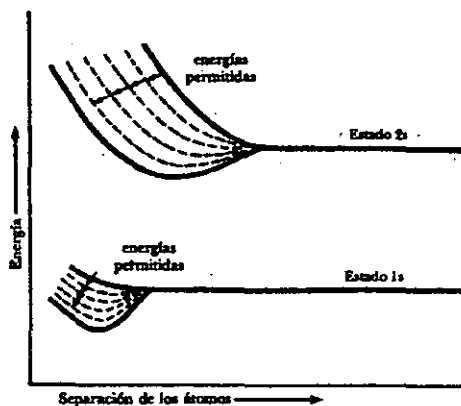
Actualmente la física divide a los sólidos en cuatro grupos: aislantes, semiconductores, conductores y superconductores, de acuerdo a su reacción ante la aplicación de un flujo de corriente eléctrica o un campo magnético. Para explicar las propiedades de cada tipo de sólido debemos recurrir a la teoría de bandas y, en particular al análisis de los niveles de energía moleculares.

Los átomos de un sólido se acomodan en estructuras cristalinas, en forma de red, formando moléculas. Cada átomo de un elemento tiene "N" número de protones (de carga positiva), y "N" número de neutrones (de carga neutra), en el núcleo, alrededor del cual orbitan "N" número de electrones (de carga negativa). Por ejemplo: el hidrógeno (H) tiene un protón, un neutrón, y un electrón, el helio (He) tiene dos protones, dos neutrones y dos electrones. Los electrones se agrupan en niveles energéticos. Cada nivel puede aceptar un número específico de electrones, de acuerdo a la tabla 1.

Los electrones viajan por pares a condición de que cada electrón tenga un "spin" diferente (dirección de movimiento, principio de exclusión de Pauli). Dependiendo del número de electrones que tiene cada elemento, se van ocupando los distintos niveles energéticos, partiendo desde el hidrogeno, que únicamente ocupa parcialmente el primer nivel, pues sólo tiene un electrón; hasta elementos como el nobelio (No), de 102 electrones, el curio (Cm), de 96 electrones, o el torio (Tr), de 90 electrones, que ocupan todos los niveles energéticos. Existe una separación entre los distintos niveles y sus núcleos, llamada distancia interatómica, que se mide en e.V. (electro volts). Dicha separación es causada tanto por las fuerzas repulsivas como las fuerzas atractivas existentes en el átomo. Una distancia interatómica equivale a la separación existente entre el núcleo del hidrogeno y su electrón.

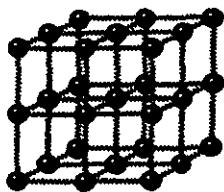


Modelo simplificado de un sólido



Molécula de seis átomos de He

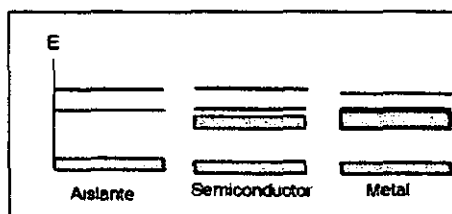
“Cada nivel atómico debe separarse en un número de niveles tal que se puedan acomodar los electrones de los átomos.”¹⁰⁵



Estructura molecular cristalina

Quando los átomos se juntan formando moléculas, los niveles de energía y sus distancias respecto al núcleo sufren modificaciones debido a la proximidad con los niveles energéticos de otros átomos. *“La presencia de un átomo en la cercanía del otro altera los niveles energéticos de éste. El cambio del estado es gradual... A cuatro distancias interatómicas el nivel de la molécula de hidrógeno, coincide con la del átomo, pero conforme disminuye esta distancia el nivel atómico empieza a abrirse en dos”.*¹⁰⁴ Al abrirse en dos subniveles o estados, se satisface el principio de exclusión de Pauli, que dice que no puede haber más de un electrón por estado.

La cantidad de estados que se abren por nivel energético depende de la cantidad de átomos existentes en la molécula: en una molécula de seis átomos de He, existirán seis estados por nivel. Al nivel energético más próximo al núcleo se le conoce como “nivel de coraza”, al nivel más alejado se le llama “nivel de valencia”. En estructuras cristalinas como las de los sólidos (moléculas enormes en forma de red), los niveles atómicos constituyen bandas de energía, y a partir de ellas se explicará la clasificación antes descrita de los sólidos.



■ Banda llena
— Banda vacía

“Las bandas que originan los electrones de valencia, pueden o no estar totalmente ocupadas. Si se aplica un campo eléctrico externo al sólido, los electrones podrán adquirir energía extra sólo si tienen niveles vacíos disponibles dentro del intervalo de energías que el electrón puede adquirir por la intensidad del campo aplicado. Si no se tienen niveles vacíos disponibles, entonces, el electrón no podrá obtener energía y el sólido se comportará como un aislante.”¹⁰⁶

“En los sólidos formados de átomos monovalentes, como el sodio alcalino, la banda que contiene los electrones de valencia, no se puede llenar y por lo tanto, el sólido se comporta como un conductor [...] por lo tanto, los electrones en el sólido fácilmente pueden adquirir una pequeña cantidad de energía adicional. De esta manera cualquier campo eléctrico aplicado será efectivo para proporcionar energía a los electrones y el sólido será un conductor.”¹⁰⁷

104. Carlos Ruiz Mejía.

Op. cit., p. 119

105. *Ibidem*, p. 119

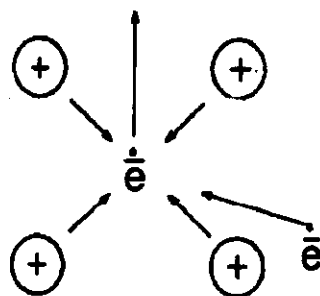
106. Robert Martin
Eisberg. Fundamentos
de física moderna.

México. Limusa, 1978,
p. 520

107. *Ibidem*, p. 522

A temperaturas de 0 absoluto (en grados kelvin), la banda superior tanto del aislante como del semiconductor presentan una banda llena (la inferior) y una banda vacía por encima de ellas. Esta banda recibe el nombre de "banda de conducción". En el caso del metal (conductor y superconductor), esta banda de conducción se encuentra parcialmente llena. Entre las bandas antes mencionadas existen otras conocidas como "bandas prohibidas", debido a que no puede existir ningún electrón en ellas.

Cuando se aplica un flujo de energía eléctrica sobre la estructura cristalina de un sólido, a temperatura de 0°k. sólo los metales pueden conducir dicho flujo eléctrico, debido a la banda parcialmente llena con que cuentan. Dicho de otra manera, lo que ocurre es que en un conductor, por ejemplo el sodio, en su último nivel energético (el 3s), sólo tiene un electrón cuando a ese nivel le caben dos. Este espacio vacío es aprovechado para que el electrón de este último nivel pueda desplazarse por los demás niveles 3s de los átomos vecinos, pero para ello es necesario que reciba una cantidad X de energía. *"Cuando se aplica un campo eléctrico al metal los electrones de la banda 3s reciben la energía que le proporciona el campo eléctrico y la gastan como energía cinética para moverse por el sólido."*¹⁰⁸



Un electrón que, al viajar, puede atraer a otro electrón por medio de la red de iones con lo cual puede dar lugar a un par de Cooper.

En el caso del aislante y el semiconductor, su última banda de energía se encuentra llena, por lo que no existe el espacio necesario para que los electrones se desplacen por el nivel; y su siguiente banda (la de conducción), se encuentra vacía, y al aplicarse el flujo eléctrico o campo magnético, éste no puede ser conducido, debido a que en la banda llena no existe espacio para el movimiento, y en la banda de conducción no existe el medio de transporte de la carga eléctrica (el electrón) que habilite (cree) el campo magnético de ese nivel. El campo magnético es creado por el electrón o electrones que viajan por el nivel, en lo que se conoce como nube electrónica o gas electrónico. Al desplazarse por la red, los electrones crean un campo magnético, producido por los protones de los átomos cercanos, que intentan atrapar a los electrones libres, durante su movimiento por la red. Cuando la temperatura se eleva de 0°k en el semiconductor y en aislante, algunos electrones pueden ganar energía térmica suficiente y saltan de la banda llena (banda de valencia) a la próxima

108. Carlos Ruiz Mejía.
Op. cit. p. 125

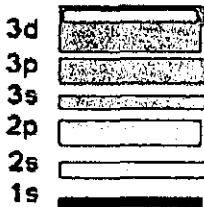
“La energía necesaria para que salte el electrón se le puede dar en forma de energía térmica (calentando el cristal), de energía eléctrica (aplicando un campo eléctrico), por transferencia de energía cinética (choque con otras partículas que están en movimiento).”¹¹⁰

banda vacía (banda de conducción). *“La probabilidad de que esto ocurra aumenta con la temperatura y depende fuertemente de la anchura de la banda prohibida. Las sustancias en que la brecha de energía es pequeña se les llama semiconductores.”¹⁰⁹*

La distancia de la banda prohibida que separa a las dos bandas (de conducción y de valencia), se mide en electro volts. En el caso de los aislantes esta distancia es de varios e. V. Por ejemplo, para el diamante es de 7 e. V. En cambio, en el caso de los semiconductores intrínsecos esta separación es de 1 e. V. o menos, y en consecuencia son muchos los electrones que logran saltar a la banda de conducción.

“Si un semiconductor absorbe un cuanto de energía (fotón) los electrones de la banda de valencia, adquiriendo una energía suplementaria, que supera o es igual ala anchura de la banda prohibida, transitarán a la banda de conducción, tal absorción se le llama intrínseca o fundamental.”¹¹¹

El silicio



Bandas de energía del silicio (Si)

En el caso específico de los exposímetros se usan semiconductores como materiales sensibles, pero estos materiales, además de la energía térmica, necesitan de otro tipo de energía que les ayude a llegar al estado de semiconductor. Para explicar mejor como ocurre este proceso veremos es caso concreto del silicio, el material fotosensible usado en la actualidad para la construcción de los exposímetros, tanto internos como externos.

El silicio (Si) pertenece al cuarto grupo de la tabla periódica de elementos, su número atómico es 14, en su último nivel el 3p sólo tiene 2 electrones, por lo que sus bandas de energía se verían más o menos como la gráfica que se muestra aquí. Como vemos, a temperatura de 0°K el silicio sería un aislante, pero conforme se eleva esta algunos electrones pueden adquirir la energía que los impulse hacia otras bandas, pero esta puede no ser suficiente, para que libren la banda prohibida. Por ello, además de la energía térmica es necesario del choque de fotones con la estructura cristalina del elemento, para que los electrones, en cantidades suficientes, logren superar la banda prohibida y la conducción de corriente eléctrica se lleve acabo.

109. Robert Martín Eisberg. Op. cit, p. 522

110. Carlos Ruiz Mejía. Op.cit, P. 127

111. K. V. Shalimova.

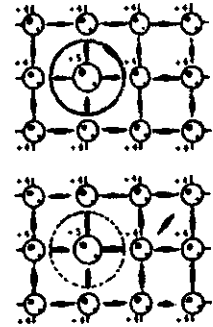
Física de los semiconductores. Moscú.

«Mln». 1975, p. 265

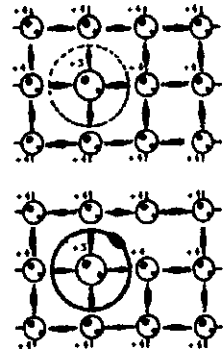
Existe otro tipo de factor que pueden influir en la conductividad de un semiconductor, dado por la presencia de una impureza en el cristal de silicio. *"Una impureza es un átomo o una molécula extraña al material base."*¹¹² En el libro "Trampas de luz" del Dr. Carlos Ruiz Mejía, que es el que se usa como guía en lo referente a semiconductores, se presentan dos ejemplos de impurezas en el cristal de silicio, y como afectan a los niveles de energía del sólido.

El primer caso es el de un átomo de arsénico (As, número atómico 33) que cuando se mezcla con moléculas de silicio provoca que un electrón de los tres que tiene en su último nivel (el 4p) quede libre en la red cristalina del silicio, cuyos átomos (dos) de su último nivel, únicamente puede realizar dos enlaces covalentes (cada átomo de silicio puede realizar cuatro enlaces covalentes, dos en su nivel 3s y dos en su nivel 3p). El electrón arsénico que queda libre necesitará de muy poca energía para comenzar a saltar entre los diferentes átomos de silicio, lo que modifica la configuración de las bandas de energía del cristal. *"Desde ese punto de vista el átomo de arsénico da lugar a una serie de niveles de energía muy cercanos a la banda vacía del cristal de silicio, y con una energía muy pequeña que reciba el electrón del átomo de arsénico podrá saltar a esa banda y se moverá libremente a través del cristal."*¹¹³

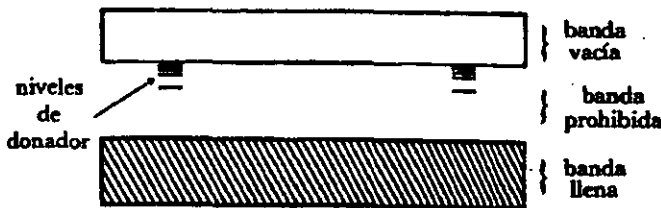
Estos niveles de energía muy cercanos a la banda de conducción reciben el nombre de niveles de donador (porque donan un electrón para favorecer la conducción). Cuando esto ocurre, el semiconductor se considera que es del tipo-n.



Impureza de arsenico



Impureza de Galio



Niveles de donador

El otro ejemplo es el de una impureza de galio. El galio (Ga, número atómico 31) tiene un solo electrón en el nivel 4p, lo que genera un electrón quede libre, pero en este caso es el del nivel 3p del átomo

112. Carlos Ruiz Mejía.
Op. cit, p. 127

113. *Ibidem*, p. 127

Hueco es la ausencia de un electrón en la estructura cristalina de un sólido.

de silicio, favoreciendo de nueva cuenta a la conducción, ya que se crean de nuevo niveles de energía adicionales a los del silicio, pero próximos a la banda llena (de valencia). Estos niveles llevan el nombre de niveles de aceptor (porque reciben un electrón). *"Al aplicar un campo eléctrico, un electrón de la banda llena requiere poca energía para saltar al agujero en el átomo del que ha salido. Los electrones se moverán hacia el ánodo saltando de un agujero a otro."*¹¹⁴



Niveles de aceptor

Para concretar ahora explicaremos los mecanismos finales que hacen posible el salto de los electrones a la banda de conducción. Estos son la excitación electrónica, la excitación térmica, y la óptica; de ellas sólo veremos la última, porque es la que ocurre en los exposímetros convencionales.

Para que los electrones de la banda de valencia brinquen a la próxima banda vacía o de conducción, deben recibir suficiente energía que los impulse. *"Esa energía la pueden recibir en forma de calor, absorbiendo un fotón (partícula luminosa), o recibiendo la energía cinética (por choque) de una partícula, tal como un electrón. Al sólido lo podemos imaginar entonces como una gelatina que está vibrando y cuando un electrón recibe el impacto de un fotón pasara de la banda de valencia a la banda de conducción."*¹¹⁵

La energía que recibe el electrón producto del impacto del fotón, anexada ala energía térmica que excita a la molécula haciéndola vibrar, impulsa a "N" cantidad de electrones, en relación con el número de fotones recibidos, hacia la banda de conducción permitiendo que fluya la corriente eléctrica proveniente de la pila hacia el galvanómetro o el microprocesador del exposímetro.

114. *Ibidem*, p. 131

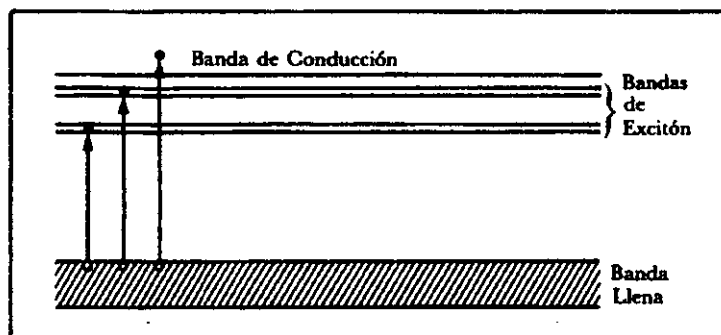
115. *Ibidem*, p. 143

— Cuando un electrón es tocado por un fotón, gana energía para saltar

a la banda de conducción. Se dice entonces que se encuentra excitado, pasando de un estado B (normal), al estado B' (excitado). "La energía absorbida ópticamente (aquí pensamos que el electrón absorbió un fotón de energía $h\nu$) es la que lleva al electrón del estado B de la molécula al estado B'."¹¹⁶ (ver capítulo de óptica)

Ahora bien, no todos los electrones excitados que brincan a la banda de conducción logran superar la banda prohibida debido a que la energía que los impulsó no fue suficiente. En el caso de los semiconductores intrínsecos como el silicio el ancho de la banda prohibida es alrededor de 1 e.V. Por lo tanto para que un electrón brinque a la banda de conducción deberá recibir una energía superior o igual a la de la banda prohibida (1 e.V.).

$E=h\nu$, donde E es energía, ν frecuencia (en ocasiones le asigna la letra f) y h es la constante de Planck; esta fórmula explica que la cantidad de energía de fotones que fluyen depende de la frecuencia de la onda electromagnética.



Esquema (teoría de bandas)

Capítulo 4

Química fotográfica

Capítulo 4

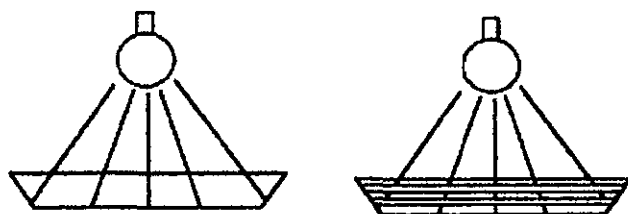
QUÍMICA FOTOGRAFICA

Para iniciar debemos de decir que sin la química la fotografía probablemente no se hubiese descubierto. La evolución de la fotografía, desde su descubrimiento hasta el presente, ha sido en gran parte gracias a la química fotográfica aunque hoy, con la entrada de la fotografía digital, se puede vislumbrar un camino "apartado" al de la química.

*"La química trata de la composición de la materia[...] y de las transformaciones por las cuales una materia se convierte en otra."*¹¹⁷

La fotoquímica, como se conoce a la rama de la ciencia que estudia las interacciones de la luz con la materia, surge después del descubrimiento de la fotosensibilidad de algunos elementos, sustancias y/o compuestos. Por ello, gran parte de los primeros procesos fotográficos fueron fruto del empirismo, aunque apoyados en una base científica carecieron de un respaldo teórico que permitiera el análisis de los principios químicos que los generaban. Conforme se fue desarrollando la ciencia, con el surgimiento de nuevas teorías convincentes sobre el efecto fotoquímico, se pudo postular algunas leyes para dicho efecto, entre las que destacan tres:

Ley de Grothius-Draper. La luz que pasa a través de un líquido en la bandeja y que no es absorbida no produce acción fotoquímica. Si ocurre tal acción la luz ha de ser absorbida a fin de proporcionar la energía necesaria.

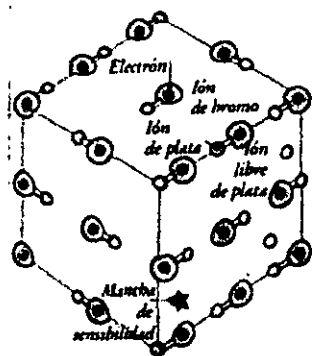


Ley de Bunsen-Roscoe. La proporción de cambio químico es proporcional al tiempo por intensidad (Una exposición de 40w durante 10s produce la misma intensidad que una de 100w durante 4s).

Ley de Einstein de la equivalencia fotoquímica. Las reacciones fotoquímicas son cambios químicos producidos mediante el

117., H. J. Walls. *Opus.*
cit, p. 60

suministro de energía en forma de cuantos de radiación llamados fotones, en el caso de la radiación visible (luz). Esta ley concreta que a una absorción de "N" número de cuantos reaccionará un número igual de átomos, es decir, el número de reacciones atómicas es proporcional al número de cuantos absorbidos. Se debe precisar que todavía no se ha logrado concretar una teoría general sobre el proceso fotoquímico en la fotografía, en particular lo concerniente a la imagen latente.



Elementos físicos-químicos que integran una emulsión

Emulsiones fotográficas

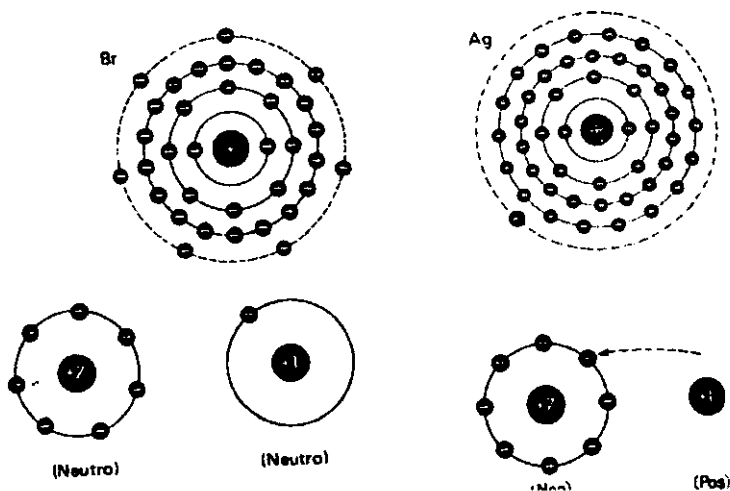
Para comprender mejor el proceso fotoquímico de la fotografía observaremos lo que ocurre en las emulsiones fotográficas. Las emulsiones fotográficas actuales son sistemas fotosensibles de compuestos iónicos de metal, generalmente sales de plata, que reaccionan a la acción de las partículas de luz (fotones) que inciden en ellos, reduciendo los iones de plata (Ag^+) a átomos de plata. Algunos otros iones metálicos (como los iones ferrosos) son fotosensibles, pero la plata presenta ventajas sobre ellos; crea emulsiones más sensibles y estables, sus iones

se reducen a átomos, la imagen que produce es más estable, de mejor calidad y puede ser fijada.

En las fotoemulsiones son tres los compuestos argénicos utilizados: el cloruro de plata ($ClAg$) utilizado en emulsiones lentas, el bromuro de plata ($BrAg$) utilizado en emulsiones rápidas, y el yoduro de plata (IAg) utilizado como complemento en las emulsiones junto con el bromuro de plata. A estos tres compuestos se les conoce como aluros de plata, porque los tres radicales (bromuro, cloruro y yoduro) pertenecen a la familia de los halógenos. El más utilizado es el bromuro de plata. *"La forma en que se presenta el bromuro de plata a la imagen óptica [...] esencialmente consiste en la dispersión de diminutos cristales de bromuro de plata en gelatina; a esto se le conoce por emulsión."*¹¹⁸

Una emulsión consiste en una solución fluida llamada gelatina, que puede ser la goma arábiga, cola de conejo, goma simple, albúmina (clara de huevo), un compuesto de plata soluble como el nitrato y un bromuro o halógeno soluble como el potasio o el amoníaco, se

obtienen así cuatro tipos de iones en la emulsión: iones de plata (Ag^+), de nitrato (NO_3^-), de amoníaco (NH_4^+) y de bromuro (Br^-). El bromuro y la plata se mezclan instantáneamente formando un compuesto iónico, el bromuro de plata (BrAg) en forma de cristales, que bajo la influencia del amonio comienzan a crecer formando cristales complejos mas sensibles a la luz (fenómeno conocido como maduración física o de Ostwal). Después de esta etapa de crecimiento la gelatina, ya solidificada, vuelve a ser calentada a fin de anexar a la emulsión nuevas sustancias conocidas como aditivos que adhieren a la mezcla nuevas propiedades fotográficas. Esta etapa es conocida como maduración química o digestión. Por último, se añaden algunos agentes preservadores que detienen en el punto elegido la maduración química y favorecen el almacenaje de las emulsiones y que evita cambios indexados en sus propiedades. Una vez que la emulsión se encuentra en el punto deseado es vertida sobre un soporte, que puede ser acetato de celulosa (película), cristales pulidos (placas) o papeles (fibras o resinas), extendiéndolo uniformemente sobre la superficie de aproximadamente $2.5\mu\text{m}$ de espesor.



Estructuras atómicas del bromuro y de la plata

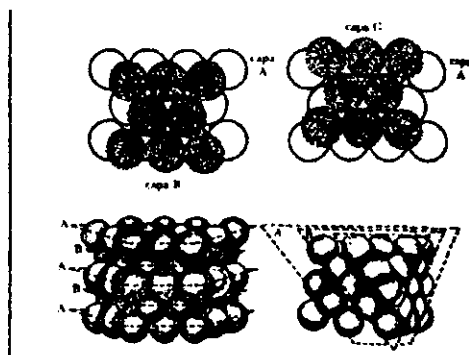
También existen emulsiones basadas en otros compuestos diferentes a la plata, como la Goma bicromatada, este tipo de emulsiones se basan en los bicromatos, el proceso descubierto en 1855 por Alphonse-Louis Poitevin (1819-1892) mostraba como algunas gomas naturales y sintéticas se endurecían bajo la acción de la luz, cuando

Cristalografía es una rama de la física que estudia las propiedades, características y estructuras de los cristales.

ellas estaban presentes dicromatos de potasio o amónico, en 1856 John Pouncy obtuvo las primeras imágenes con este proceso, que consiste en mezclar la emulsión de goma bicromatada con pigmentos coloreados como la acuarela o la anilina entre otras, al ser expuesta a la luz la goma se endurece y retiene el pigmento en aquellas zonas en las que la luz incidió, mientras que aquellas que no fueron alcanzadas por los fotones, continúan fluidas y son solubles al agua.

El proceso de la goma bicromatada fue antecesor de los procesos basados en la plata, proporcionaba una gran riqueza cromática y de texturas pero, en cambio no otorgaba una buena nitidez y su rango tonal era muy limitado (fundamentales en los procesos contemporáneos). Otra condición que limitó su uso posterior, es que ambos elementos, el bicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) y el bicromato amónico ($(NH_4)_2Cr_2O_7$) son altamente venenosos.

Aspectos fisicoquímicos de las emulsiones



Estructuras moleculares o redes cristalográficas

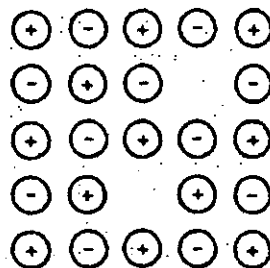
La gelatina, como se conoce a la sustancia en la que se encuentran suspendidos los iones complejos de plata y otros, sirve de catalizador e inhibidor al mismo tiempo para reacciones fundamentales en la creación de la emulsión. En su presencia se forman los iones complejos de bromuro de plata, e inhibe la formación de cristales sumamente masivos indeseados, permitiendo el crecimiento de los cristales de plata a dimensiones de entre $4\mu m$ y $0.02\mu m$ según el tipo de emulsión.

Por motivos pedagógicos, explicaremos qué es un cristal. Un cristal es un conjunto de átomos o iones acomodados de cierta manera que se repite, formando "redes" en tres dimensiones. *"La red cristalina es un conjunto de puntos que representan a los átomos o moléculas que componen un cristal."*¹¹⁹

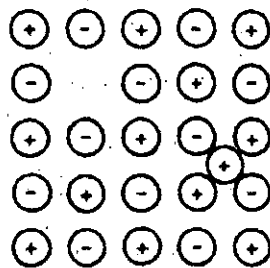
Cada átomo o ion se encuentra unido a otros formando moléculas. La fuerza que los mantiene unidos se conoce como amarre o enlace. En el caso de los cristales de plata, es un enlace iónico: cada molécula

119. Carlos Ruiz Mejía.
Opus . cit, p. 91

se encuentra unida a las demás por fuerzas electromagnéticas conocidas como atractivas, pero al mismo tiempo intervienen fuerzas repulsivas que la mantienen a cierta distancia, evitando así que dos elementos ocupen el mismo espacio y tiempo (una de las leyes fundamentales de la materia). Para darnos una idea de la distancia existente entre los elementos de un cristal iónico daremos el ejemplo de la sal común (NaCl). En ella la separación entre los iones de cloro y sodio es de 2.81 Å (amstron Å = 10^{-8} cm.). A esta distribución se le conoce como estructura. "En otras palabras, cuando hablamos de estructuras del cristal nos referiremos a la forma como están acomodados los átomos o moléculas en el espacio real; la red cristalina en cambio es una abstracción geométrica construida por puntos que tiene la particularidad de representar las mismas simetrías que el cristal real."¹²⁰



(a)



(b)

En lenguajes cristalográficos existen catorce tipos distintos posibles de redes cristalinas, de los cuales los cristales presentes en la emulsión presentan tres tipos básicos: la red cúbica, en la que sus tres vectores (dimensiones) son iguales, la red tetragonal, en la que sus vectores base son perpendiculares entre sí pero las magnitudes de a, b y c no son iguales, y la red hexagonal que tiene $a = b$ y diferente de c.

Una emulsión fotográfica es un sistema complejo en el que el bromuro de plata forma una estructura cristalina, en la que el cristal queda cargado negativamente (BrAg-) debido a la mayor presencia de iones bromuro, y se extienden en pequeños bloques separados por planos de tensión existentes en la red, también conocidos como centros de sensibilidad. "Los centros de sensibilidad son características esenciales de los granos de una emulsión realmente sensible. Pueden hallarse en una red cristalina modificada por la presencia de iones extraños que no se ajustan exactamente a su estructura. Esta parece ser la función de la pequeña proporción de yoduro de plata presente en las emulsiones rápidas, los iones yoduro al ser mayores que los bromuro, deforman la estructura reticular."¹²¹

Además de los cristales de bromuro de plata con impurezas de y yoduro, en la formación de complejos cristalinos fotosensibles,

Deformación de la estructura molecular

120. Ibidem, p. 94

121. H. J. Walls. Opus. cit, p. 94

intervienen otras sustancias conocidas como sensibilizadores, algunas de estas sustancias se encuentran en la gelatina misma, y otras son añadidas a la mezcla. Los sensibilizadores se dividen en dos grupos: químicos y espectrales.

Los sensibilizadores químicos a su vez se dividen en: sensibilizadores de reducción, cuya función es generar átomos de plata metálica mediante la substracción de átomos de bromuro. No son muy eficaces ya que el proceso de reducción se efectúa aún cuando la emulsión no haya sido expuesta a la luz.

Los sensibilizadores de azufre (presentes en la gelatina). Se introducen en el cristal de BrAg contribuyendo a la formación de plata sólida, ya que de ellos es muy fácil extraer un átomo de azufre, lo que neutraliza la carga de la molécula (solidificándola). Un ejemplo de estos sensibilizadores es el hipo sulfito (triosulfato sódico)

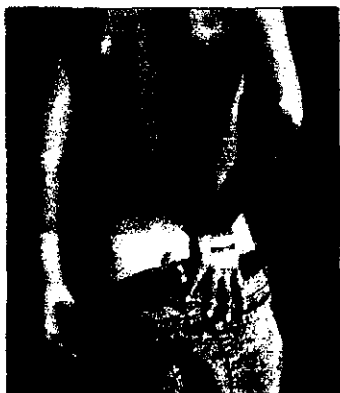


Imagen fotográfica,
plata sobre gelatina

Los sensibilizadores de oro (compuestos solubles de oro), que tienen la misma función que los de azufre y son usados conjuntamente con ellos. Los sensibilizadores actúan como impurezas en la estructura cristalina.

Sensibilizadores espectrales. *“Los sensibilizadores espectrales son colorantes que son absorbidos por los granos de la emulsión, y para los cuales los poderes de absorción de la luz y de sensibilización se hallan en la misma región del espectro (ley de Gothus-Draper). Por ejemplo, los colorantes que sensibilizan a la luz verde son de color rojo purpúreo o magenta.”*¹²² Estos sensibilizadores son utilizados en las emulsiones para color.

Imagen latente

Una vez que una emulsión fotográfica es expuesta a la luz ocurren distintos procesos físicos que provocan la formación de una imagen, a partir de la conversión de iones complejos de plata en plata sólida. Pero el proceso no es tan simple, porque para que la imagen sea visible son necesarios procesos químicos que propicien su formación.

El primer paso consiste en la absorción de cuantos de luz (fotones) por los cristales de plata. A mayor dimensión de un cristal, mayor sensibilidad, pero mayor también el número de fotones que necesitará absorber para lograr que el grano sea revelable, cumpliéndose con la ley de equivalencia fotoquímica: "el número de fotones necesarios para volver revelable al cristal, es proporcional al número de átomos que lo integran". La absorción de los fotones conduce a la expulsión de electrones de bromuro de la molécula, dejando átomos de bromuro. El electrón que se libera se aleja del complejo y es absorbido como energía en algún otro lado formando lo que se conoce como imagen latente.

Pero, ¿cómo se da la absorción de un fotón de carga negativa en un cristal cuya carga superficial es también negativa? (cargas iguales se repelen, cargas opuestas se atraen.) La solución a este dilema es dada aparentemente por una teoría reciente, que maneja la existencia de un ion de plata intersticial de carga positiva que se desplaza a través de los huecos existentes en la red, o centros de sensibilidad, cuya función es precisamente atraer al fotón de carga opuesta, generando lo que se conoce comúnmente como fotoelectrón y que es aprisionado en el cristal.

*"Según la teoría de Gurney y Mott, la generación inicial del fotoelectrón es seguida por el aprisionamiento de éste, ya sea por el agujero positivo [...] un electrón así aprisionado sólo posee una estabilidad transitoria pero, se cree que queda localizado durante el suficiente tiempo para que un átomo de plata móvil sea atraído y se combine con el ion aprisionado, produciendo un solo átomo de plata. Este átomo de plata aumenta el aprisionamiento local, con lo cual se hace más probable la captura de los fotoelectrones generados posteriormente."*¹²³ Una vez formado un átomo de plata de la estabilidad es mayor, pero todavía de corta vida, aumenta la posibilidad de que el mismo proceso se repita en el cristal, con lo que se formaran motitas (moléculas) más grandes y estables, conocidas como sub imagen latente. Posteriormente, el crecimiento de estas moléculas se incrementa hasta cierto tamaño en que se forma una imagen latente revelable.

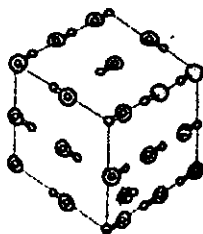
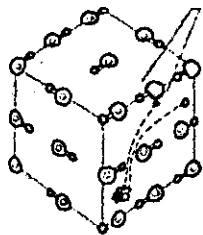
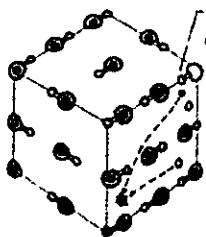
El libro de Michael Langford *Tratado de fotografía*, establece que: *"Se puede considerar como hechos bien establecidos, aunque basados en la evidencia indirecta, lo siguiente:*

*"Los materiales fotográficos actuales, basados en la plata, funcionan porque los haluros de plata se descomponen por la acción de la luz. Se forma durante la exposición una imagen latente que consiste en unos cuantos átomos de plata."*¹²⁴

123. *Ibidem*, p.187

124. Michel Langford. *Opus. cit.*, p. 187

*“El revelado es una reacción de oxidación-reducción. La oxidación significa, por derivación, la adición de oxígeno o (lo que equivale a lo mismo) la eliminación de hidrógenos, la reducción es el proceso inverso.”*¹²⁵



- 1) *La imagen latente consiste en cantidades de plata metálica. Aunque éstas, con una exposición normal, son demasiado pequeñas para ser detectadas por algún método conocido que no sea el revelado, con una exposición prolongada a la luz actínica (luz a la que la emulsión fotográfica es sensible) se producen cantidades de plata detectables. También si se trata de una emulsión que contiene una imagen latente, con reactivos (p. E. Permanganato ácido) capaces de atacar la plata sin afectar a los haluros de plata, la imagen latente se destruye.*
- 2) *La plata formada por la acción de la luz (plata fotolítica) se concentra en algunas partículas de la superficie del grano llamadas «partículas sensibles». Esto se observa con un microscopio electrónico, observando la aparición de los granos o la acción del revelado en los granos expuestos.”*¹²⁵

Además es importante mencionar que el bromuro es un semiconductor que reacciona a la luz.

El revelado

Una vez formada la imagen latente en centros de sensibilidad y bajo la acción de un agente revelador, se inicia un proceso químico de reducción, que parte de los centros de sensibilidad, por lo que también se les da el nombre de centros de revelado, cuyo fin es convertir la imagen latente (invisible) en una imagen óptica (visible).

La función del revelador consiste en producir plata metálica en la emulsión. Cabe recordar que la emulsión por sí sola la genera al ser expuesta a la luz, pero el revelador amplifica la cantidad que se produce.

“El revelador puede ser considerado como un proceso de ampliación, el cual aumenta la imagen latente de plata en una «señal» lo suficientemente intensa como para poder obtener copias de ella.

La imagen latente es «ampliada» mediante la reposición de más cantidad de plata sobre ella. Esta plata puede provenir de la solución del revelador, o puede venir del bromuro de plata de los granos de

125. *Ibidem*, p. 187.

126. H. J. Walls. *Opus*,
cit., p. 141

la emulsión. En ambos casos, los iones de plata son convertidos en átomos de plata. Para conseguir esto, los electrones han de ser transferidos a ellos. Ello significa que son reducidos. En consecuencia, un revelador es un agente reductor."¹²⁶

Existen revelados físicos y reveladores químicos. Un revelado físico consiste en la producción de plata soluble, a través de procesos físicos en los que la imagen latente adquiere más átomos de plata, para ampliarse y revelarse de la misma emulsión. Estos reveladores son poco prácticos, actualmente se usan en una parte del revelado de la película positiva (transparencias).

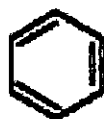
Un revelador químico consiste en introducir un agente químico, "solución reveladora", que suministra plata a la imagen latente de la emulsión, a fin de provocar la reducción de los iones de plata. La fuerza de un revelador, como de cualquier agente reductor, se basa en su tendencia a ceder electrones que se unan a los iones de un elemento para formar átomos del mismo. Esto es conocido como el potencial REDOX (reducción-oxidación).

Un revelador químico usualmente contiene los siguientes componentes.

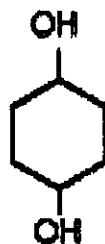
1. Un agente revelador

Un agente revelador es un compuesto químico con potencial REDOX efectivo para producir la plata metálica. Este compuesto o agente debe ser formado por moléculas lo suficientemente pequeñas como para que entren fácilmente en los poros de la gelatina. Otro aspecto importante es el grado de toxicidad, que debe ser bajo para que pueda ser usado sin grandes riesgos a la salud del fotógrafo.

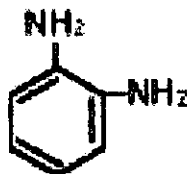
"Casi todos los agentes reveladores utilizados en la práctica son derivados sencillos del benceno. Benceno (C 6 H 6), fenol (C 5 H 5 OH), anilina (C 6 H 5 NH 2). Estos se dividen en dos grupos principales:



BENCENO



P-DIHIROXIBENCENO
(Hidroquinona o Quinol)



O-FENILENDIAMINA

Fórmulas químicas
de los agentes
reveladores
comunes

Los agentes fenólicos, al ser formados mediante la pérdida de un protón, habrán de ser negativos, lo que facilita el revelado en el cual el agente revelador ha de perder un electrón. Las amidas, que se forman por la adición de un protón, habrán de tener iones positivos.



Imagen fotográfica,
plata sobre gelatina

Los fenoles, entre los que encontramos a la hidroquinona, el pirogalol y el metol o elon, entre otros.

Y las amidas en las que se encuentran a dos principales agentes reveladores: el O-fenilendiamida, y el P-fenilendiamina.¹²⁷

También existe la posibilidad de decidir entre un agente alcalino (los fenoles que se caracterizan por tener un pH alto, que produce altas concentraciones de grupos hidróxilo), y agentes cercanos a la neutralidad (las amidas, que crean un exceso de iones positivos).

En los fenoles, entre más alto sea el pH, más eficaz será como revelador.

*"El pH equivale al «potencial de hidrógeno». Un pH de 4 o de 8.7 significa concentración de ion hidrógeno de 10 a la menos cuatro o de 10 a la menos ocho punto siete respectivamente. Tenga en cuenta lo siguiente (1) Un pH bajo significa una alta concentración de iones de hidrógeno y viceversa; (2) Un cambio de pH de una unidad, significa el incremento o decremento de diez veces la concentración de iones Hidrógeno. [...] Si $[H^+]$ es mayor que $[OH^-]$ esto es, si el pH es menor de 7, la solución es ácida. Si el pH es superior a 7, es alcalina. Una solución que no es ni ácida, ni alcalina (pH 7) es neutra."*¹²⁸

2. Un antirevelador, o inhibidor de velado.

También conocidos como restringentes, consisten en iones de bromuro en pequeñas cantidades en forma de bromuro potásico. Su función es evitar el velo durante el revelado, haciendo que sólo la imagen latente sea revelada (reducida) y dejando sin modificar a aquellos cristales no expuestos (excitados por un fotón). *"Ajustando las propiedades del revelador – esto es, añadiendo una cantidad adecuada el antirevelador, usualmente un 0.1 por ciento de bromuro potásico – así, aparentemente, sólo los núcleos que se encuentran por encima de cierto tamaño producen revelado de un grano, y los granos no expuestos no revelan."*¹²⁹

127. *Ibidem*, p. 180

128. *Ibidem*, p.134

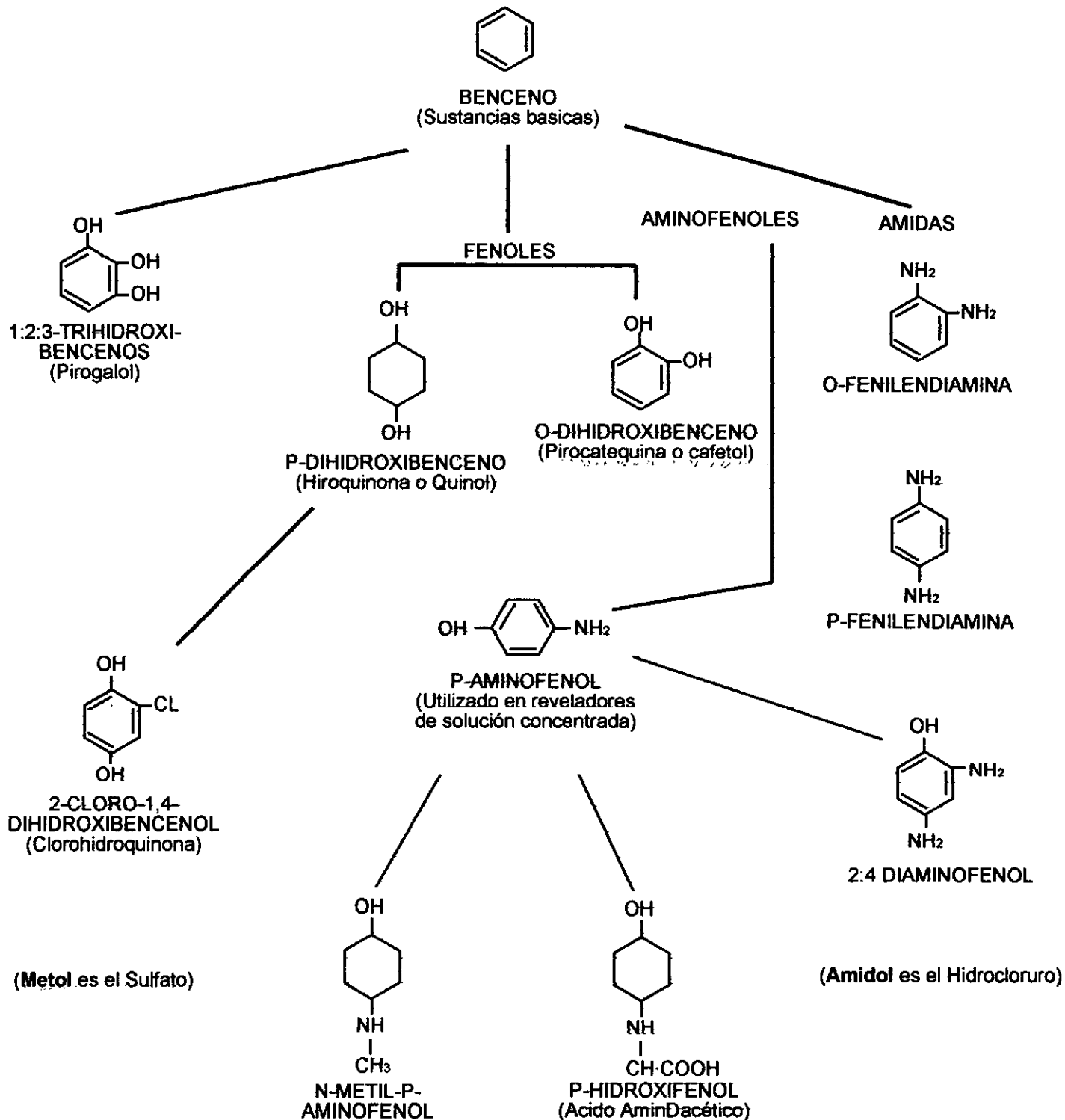
129. *Ibidem*, p.-193

3. Un preservativo o conservador.

Un conservador evita que los reveladores se deterioren

TABLA 2

Arbol de los agentes reveladores

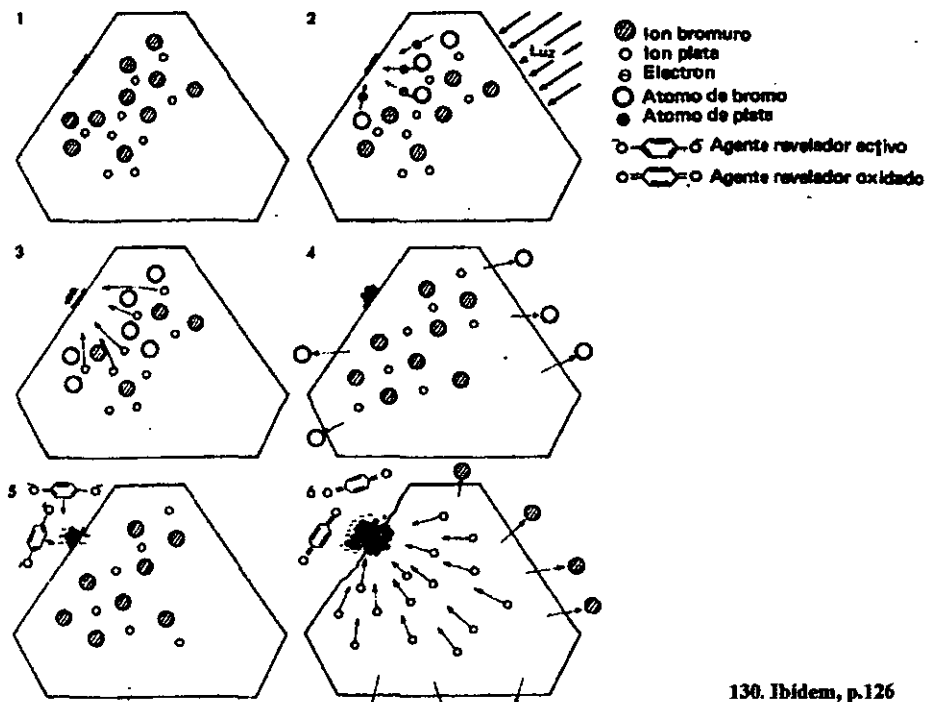


rápidamente (se oxidan), perdiendo su potencial REDOX. Usualmente se utiliza el sulfito de sodio (hipo).

4. Un acelerador.

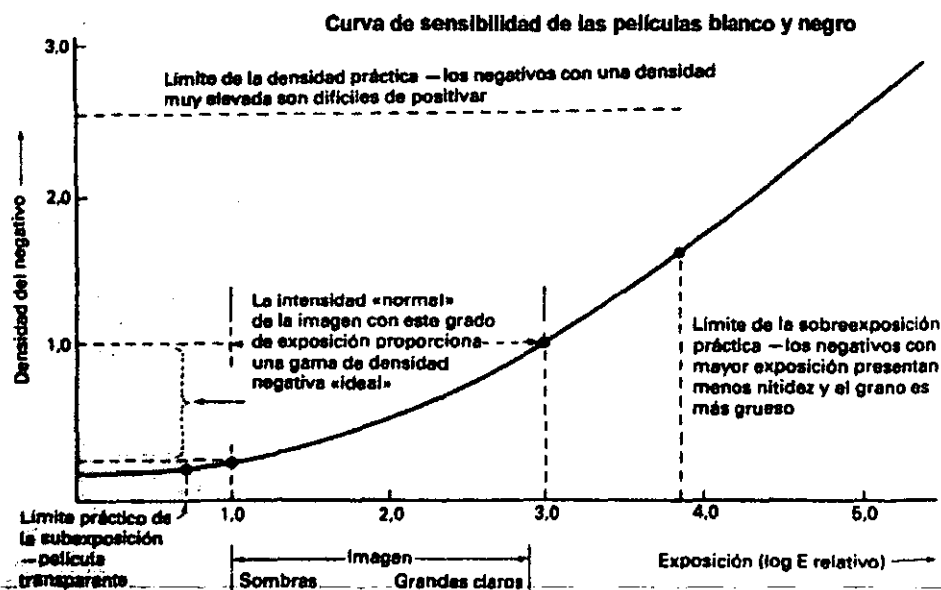
Estos son compuestos que elevan la alcalinidad de la solución haciendo que adquiera un pH alto (más de 7), acelerando el proceso de revelado al incrementar la cantidad de iones de hidroxilo. Los agentes aceleradores más comunes son: carbonato de potasio o de sodio, bórax, metaborato de sodio o hidróxido de sodio o de potasio, sosa cáustica.

"La reacción producida por los reveladores son exotérmicas, es decir, una vez que se inicia una reacción, ésta no necesita de mayor energía para continuar por si sola." ¹³⁰

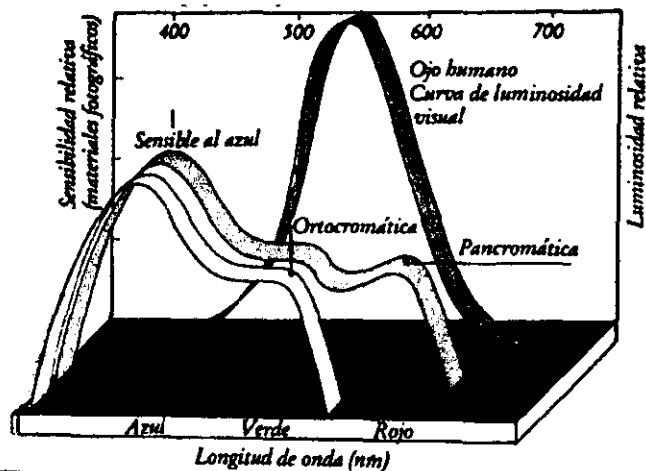


Ahora hablaremos del factor físico más importante que interviene en el revelado químico, la temperatura. Debajo de cierta temperatura el revelado se inhibe (menos de 13°C) y si se eleva demasiado (más de 40°), las moléculas del revelador no reducen eficientemente a las moléculas de la emulsión. Para entender esta influencia hay que regresar a los átomos y moléculas de las sustancias que lo componen. Un aumento en la temperatura significa un incremento en la energía térmica que el átomo o molécula utiliza para desplazarse (la energía térmica se convierte en energía cinética), conocido como agitación térmica de la sustancia, lo que provoca un aumento del número de colisiones entre las moléculas del revelador y las de la emulsión, incrementando la velocidad de reducción. En un revelador común el número de colisiones por centímetro cúbico por segundo es de billones.

Por último comentaremos algo sobre cómo la dilución del revelador influye en el proceso de reducción. Esto es muy fácil, lo que ocurre al diluir un revelador (generalmente en agua) se crea una solución menos fuerte, ya que en lugar de que las colisiones entre partículas sean únicamente entre moléculas de la emulsión y del revelador, existirán también colisiones entre las moléculas de la emulsión y moléculas de agua, las cuales son irrelevantes en el proceso de reducción.



En otras palabras, el número de colisiones efectivas (que provocan reducción) en centímetro cúbico por segundo se reduce.

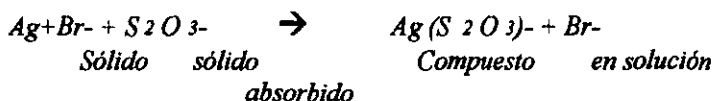


Fijación de la imagen latente

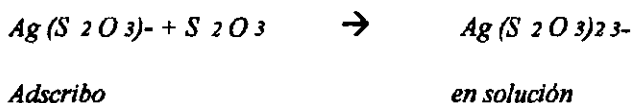
A continuación abordaremos *grosso modo* este proceso fotoquímico, que no es el inmediato siguiente al revelado, antes hay que dar un baño de paro cuya función es detener la acción del agente revelador.

El fijado cumple la función de eliminar todo aluro de plata que no fue expuesto ni reducido durante el revelado, con el propósito de evitar que queden activos y causen un velo o ennegrecimiento de la imagen al contacto con la luz. La fijación química de una emulsión consiste en la formación de iones complejos, conocidos como compuestos de coordinación, a partir de los aluros de plata y una sustancia iónica que administra grandes cantidades de iones. Estos se juntan con los iones de plata, bromo, etc., formando moléculas de iones complejos en las que los iones simples que las componen pierden su identidad, es decir, adquieren nuevas propiedades físico químicas. Las dos sustancias iónicas más eficaces para el fijado son el tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) y el ion cianuro (CN^-), éste último es muy eficaz, pero extremadamente tóxico, por lo que no se usa.

“De acuerdo con las investigaciones más recientes, el proceso de fijación tiene lugar como a continuación se indica. [...] Los iones de tiosulfato son primeramente absorbidos al bromuro de plata.



El ion $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)^-$; Absorbido e insoluble, reacciona entonces con un segundo ion monoargentofitiosulfato $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$:



Y esta es la química de la fijación.”¹³¹

A las sustancias fijadoras en solución se les puede agregar un dilatador de la gelatina como el tiocianato amoniacal (NH_4CN), cuya función es abrir los poros de la gelatina para que la sustancia fijadora penetre más fácilmente, además de que también contribuye por sí mismo a la formación de iones complejos.

Posteriormente al fijado se recomienda un lavado profundo con agua corriente por 5 o más minutos, para extraer el fijador de la emulsión, que de lo contrario propiciaría manchas en la emulsión.

Para concluir con este último capítulo e de precisar que la química en la fotografía fue y seguirá siendo de mucha importancia, dado que ella tal vez es quien más aportes a dado a nuestra disciplina ella fue la que permitió que los tiempos de exposición se acortarán, al grado de poder detener el movimiento, como lo que ocurre en la fotografía de deportes y aun cuando hoy con la fotografía digital parece que se abandonará el camino del laboratorio químico, debemos recordar que las tintas que se usan en la impresión en plotters, también son productos químicos, de la misma manera que lo son los papeles sobre los que imprimen estas máquinas, así que como vemos, todavía queda química para rato.

Conclusiones

CONCLUSIONES

Una vez terminada la investigación y el desarrollo de este trabajo, arribamos al momento de precisar si hemos satisfecho o no el punto central de toda tesis, la hipótesis, la cual dice:

“Si algunas disciplinas de la ciencia, como la óptica, la mecánica y la química, entre otras, son de gran repercusión en el proceso fotográfico, y si de estas mismas disciplinas es que surge y perfecciona la tecnología fotográfica, entonces, para el comunicador gráfico, o cualquier profesional de la imagen que se apoye en la fotografía para el desarrollo de su actividad, será de vital importancia el conocimiento y la consideración de los avances científicos y tecnológicos, relacionados con su labor fotográfica, a fin de que pueda controlar, de manera óptima, el resultado y la calidad final de su trabajo”.

Para ello haremos una reflexión final sobre el grueso de esta investigación. Tal vez lo que refiere a las contribuciones de la fotografía a la ciencia esté sobrando, aunque ningún conocimiento es banal, y por ello lo saltaremos. Ahora bien, entrando al primer y más extenso tema, el de la óptica, podemos decir que cumple a cabalidad con nuestra hipótesis, porque desde hace mucho tiempo la óptica fotográfica ha sido tema de interés de muchos fotógrafos; una pequeña muestra de ello es que gran parte del valor comercial de una cámara depende del objetivo o lente que ésta trae. ¿Pero en qué beneficia al profesional de la imagen saber lo tratado en el capítulo de óptica? En el arte se dice que para que una obra de arte sea considerada como tal, debe ser creada con el único fin de ser arte, persiguiendo fines estéticos, y haber sido controlada totalmente por su creador. En la fotografía de arte, que sí es arte, porque lo que importa es el concepto y no la técnica que se use para expresarlo, ¿acaso se puede hablar de un control total de la obra en manos del artista, si éste no conoce las características propias del lente que usa (luminosidad, tipo de enfoque, etc.), y las posibles aberraciones que podrían afectarlo (coma, astigmatismo, cromáticas, etc.)?

En el caso de un fotógrafo comercial, al que se le solicita reproducir a la perfección alguna obra o producto, ¿lo podrá hacer si el lente que usa tiene una aberración esférica? La respuesta es no. Aún cuando algunas de las aberraciones se pueden corregir al digitalizar una

imagen y trabajarla en la computadora, para ello primero hay que estar consciente de la existencia de la aberración.

En la mecánica ocurre lo mismo, en el control y conocimiento que el fotógrafo tenga de su equipo estribará gran parte de los resultados que logre. Se podría hacer una fotografía perfecta, tal y como la planeó el autor, con un obturador que presenta inconsistencia o rebote, y si se desconoce la existencia de este fenómeno.

En el particular de la mecánica cuántica (exposímetros).

Cuando se comienza a aprender fotografía un tema básico es saber exponer, para lo que nos valemos del exposímetro, y si no fuera por la utilización de un semiconductor foto sensible, ¿cómo se lograrían medir los niveles o intensidades luminosas de una escena? Para un fotógrafo (llámese artista o comunicador gráfico) se podría afirmar que las imágenes que crea son tal y como él las piensa, si siempre toma como única exposición la brindada por el exposímetro incorporado a su cámara, cuando él desconoce qué tipo de lectura brinda su exposímetro (puntual o de tono dominante, o generales de tono medio), y más aun si ignora el hecho de que la lectura dada por un exposímetro comprende únicamente la zona V del rango total de una película.

En las cámaras “nuevas” ocurre un fenómeno curioso: a bajas temperaturas las lecturas que brinda el exposímetro tienden a ser erróneas. Cuando yo pregunté a distintas personas la razón de ello, la respuesta fue: “porque la pila se descarga”. Hoy sé que es por asuntos relacionados a la célula fotosensible del exposímetro, que al ser un semiconductor convencional, baja el nivel de conducción al reducirse su temperatura, y no porque realmente la pila se descargue.

En química, aún cuando aquí se abarca algo muy general y abstracto, es sabido que en el conocimiento y dominio que el fotógrafo o impresor tiene de las cualidades específicas de los diferentes reveladores, papeles y técnicas existentes, se obtiene un *plus* en la imagen. No es lo mismo una imagen revelada o ampliada con un revelador de grano fino y tonos medios (basado en metol), que con un revelador de grano grueso y tonos contrastados (basado en hidroquinona o de sosa cáustica), o en cianotipia (basada en cianuro).

Con todo lo anterior, si se desconocen muchos de los temas de la ciencia que repercuten en la fotografía (como los que aquí tratamos), ¿qué parte de la toma, depende del azar? Por lo anterior, podemos concluir que nuestra hipótesis es cierta, y que se satisface totalmente.

Todo lo anterior me permite destacar la gran importancia que tiene el conocimiento de los temas científicos en el ámbito de la fotografía y en cierta medida en el arte, una comprensión sobre la ciencia, permitirá una comprensión mejor de la técnica fotográfica, es decir, si uno entiende que el diafragma a medida que se cierra va acortando el área de la lente que se usa para formar la imagen, y si uno sabe que una lente modifica su propiedades de difracción a medida que se aleja de su centro, entonces le será a uno más fácil entender porque a medida que se cierra el diafragma de un lente se disminuyen las aberraciones que este pueda producir. Ahora bien, alguien podría decir, y que me importan a mí las aberraciones, lo importante es la imagen y no la técnica (lo importante es el fotógrafo no la cámara), lo que en gran medida puede ser cierto, pero también es cierto que si se habla de fotografías echas por un profesional de la imagen, no se le puede permitir el desconocimiento de ellas, ya que si ello fuese así la imagen sería en parte producto del azar y por lo tanto estaría fuera de las manos de su creador, lo que truena con la idea de profesionalización a la que tanto se alude en una universidad. Con lo anterior tampoco quiero decir que lo más importante la técnica, de echo lo niego, pero si estoy seguro que la técnica es un primer paso que obligatoriamente hay que dar.

De hecho creo que para poder llegar a resultados satisfactorios en la creación de imágenes hay que superar el estadio de la técnica, ya que si esta no se supera será un lastre difícil de librar, es decir, el explotar todas las calidades y cualidades que un medio nos brinda, desde algo tan simple como el lápiz hasta algo tan complejo como la computadora, cada uno tiene sus especificidades técnicas expresivas que determinan el lenguaje propio de cada medio, de tal caso que, el dominio de la técnica permite la fotografía y a cualquier creador de imágenes el realizar cabalmente sus proyectos de lo contrario se puede quedar solamente en un intento, tomemos dos ejemplos para ello; un fotógrafo de paisajes que no domina la técnica de exposición y de ampliación de la imagen en blanco y negro, realiza una fotografía que compositivamente es muy buena, pero no tiene profundidad, es muy gris, sin contraste, su imagen habrá

quedado limitada por un mal dominio de la técnica, en cambio un Hansel Adams de técnica impecable logra crear paisajes fabulosos muy expresivos aun cuando los elementos que intervienen es sus imágenes puedan ser mínimos o simples.

El otro ejemplo, cuando nos acercamos por primera vez a un nuevo medio o tecnología de la cual no dominamos su técnica, es muy probable que nos dejemos llevar por la herramienta y perdamos los objetivos, con lo que nuestro trabajo se convierte en un mero catalogo de las posibilidades técnicas de un medio, y no en una autentica búsqueda estética. Esto mismo creo ocurre hoy con la computadora, caso concreto con la fotografía digital, en la que los filtros de Photoshop inundan las imágenes, con lo que se cae en ese falso surrealismo o en ese collage sin sentido.

Ahora bien, en lo que respecta a al relación de la ciencias con la fotografía, no existe problema hasta que se presenta a la fotografía como producto de arte, entonces algunos echan el grito en el cielo, de la misma manera que sus antecesores lo hicieron con el arribo de la cámara fotográfica, cuestionado que eso es absurdo, ciencia y arte son otra cosa, y si en cierta medida así lo es, pero también debemos recordar que ya la corriente filosófica llamada "escuela de los anales" se encargo de mostrar la relación tan íntima existente entre las distintas corrientes; positivismo (ciencia), historicismo (arte) y empirismo (religión). La misma ciencia no tiene problemas al entender esta relación, ya que ella misma se vale de los dos tipos de lógicas para el desarrollo de sus campos de acción, estas son la "lógica formal", por mucho tiempo asociada solamente a las ciencias, y la "lógica informal" asociada a las artes, y no veo el porque deba existir un conflicto irreconciliable, ya que como lo postulan las nuevas teorías artísticas, las matemáticas también son arte.

También creo que en la medida en que el profesional de la imagen se interese por las ciencias, este coadyuvara a la divulgación científica en el país, lo que propiciara un desarrollo más amplio de las ciencias, generando el círculo benéfico que en esta tesis proponemos.

Para terminar, debemos precisar que una fotografía, como en cualquier imagen, se evalúa según su calidad técnica y su nivel conceptual (en ambas interviene la estética). Y lo que aquí hemos visto sólo se refiere a la parte técnica, sin que ello constituya un desprecio al otro aspecto de la imagen. También debemos aclarar que este trabajo parte desde el razonamiento propio del autor (el lógico formal), pero ello no descarta la existencia de otros tipos de pensamiento. En otras palabras, si en esta tesis abordamos ciertos temas de la fotografía desde un enfoque semi científico, en el que se da prioridad a la técnica, ello es sin menoscabo de aquellos personajes que prefieran concretar sus esfuerzos en puntos de vista distantes al científico. Por el contrario, el presente trabajo es totalmente perfectible y constituye un pequeño aspecto del gran tema de la fotografía, que a su vez también es una pequeña parte del universo del conocimiento humano.

Bibliografía

Arnol, Christopher. Fotografía aplicada. 1ª ed. Barcelona, Omega, 1974.

Canon. Lens Work, EF lens work II. Japan, Commons, Canon, 1996.

Chimal, Carlos. Las entrañas de la materia, antología de relatos científicos. 1ª ed. México, Alfaguara, 1998.

La escalera del universo, colección viaje al centro de la ciencia. 1ª ed. México, ADN Editores/Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CNA), 1996.

La cibernética, colección tercer milenio. 1ª ed. México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 1999.

Cohen, Stuard. Objetivos para cámaras de 35mm. 1ª ed. Barcelona, Folio, 1988

Cox, Arthur. Óptica fotográfica, traducción de Rosendo Sagrera Duran. 1ª ed. Barcelona, Omega, 1979.

Eisberg, Robert Martin. Fundamentos de física moderna. 4ª ed. México, Limusa, 1978.

Fierro, Julieta / Herrera M. Ángel, La familia del sol, colección La ciencia para todos, 3ª ed. México, Secretaría de Educación Pública (SEP)/Fondo de Cultura Económica (FCE)/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACIT), 1997.

Freeman, Michael. Guía completa de fotografía. 2ª ed. Barcelona, Naturat, 1991

Gaunt, Leonard. La reflex de un solo objetivo de 35mm. 3ª ed. Barcelona, Omega, 1976.

Holloway, Adrian. Manual de equipo y técnicas fotográficas. 4ª ed. Madrid, H. Blume, 1981.

Jervaise, Eric Taller de sistema de Zonas. Curso de fotografía impartido en la Escuela Nacional de Artes Plásticas (manual), 1998.

Kodak . Productos químicos y formulas. folleto

Langford Michael. Enciclopedia completa de fotografía. Tomos 1-2. Madrid, H. Blume 1983.

El manual fotográfico para cada situación 2ª ed. Barcelona, H. Blume, 1989

Tratado de fotografía, un texto avanzado para profesionales. 2 ed. Barcelona, Omega, 1976.

L. Lobel y M. Dubois. Manual de sensitometría. 1 ed. Barcelona, Omega, 1981

Magaña Solís, Luis Fernando. Los super conductores, colección la ciencia para todo. 2ª ed. México, SEP/FCE/CONACIT, 1998.

Nueva Enciclopedia Autodidacta Quillet. Tomos 1-4. México, Hachette Latinoamérica, 1995.

Química para fotógrafos. 1ª ed. Xalapa Veracruz, México, Universidad Veracruzana Facultad de Artes Plásticas, 1984.

Rat, Robert. Luz y colores óptica y química. 1ª ed. Buenos Aires, Leru, 1954.

Reynolds, Clyde. Las cámaras fotográficas, una guía para aficionados, traducido por Luis Ma. L. De Cisneros Panela, 2ª ed. Barcelona, Omega 1979.

Rocha León, Alonso y Rincon Arce Alvaro. ABC de física. México, Editorial Herrero, 1969.

Ruiz Mejía, Carlos. Trampas de luz, colección la ciencia para todos. 2ª ed. México, SEP/FCE/CONACIT, 1997.

Stewart, Ian. De aquí al infinito. Las matemáticas de hoy. 1ª ed. Barcelona, Critica Grijalbo Mondadori, 1998.

Shallmova, K.V. Física de los semiconductores, traducido del ruso por el Ing. Akop Grdian. 1ª ed. Moscú, Editorial Mir, 1975.

Tosí, Virgilio. El cine antes de Lumiere. 1ª ed. México, UNAM, 1993

Walls, H. J. La fotografía y sus fundamentos científicos, traducción de Antonio Juárez. 1ª ed. Barcelona, Omega, 1986.