

Origen de la construcción de instrumentos ópticos en México

M.A. Moreno Corral y E. Luna

*Instituto de Astronomía Universidad Nacional Autónoma de México Campus Ensenada,
Carretera Tijuana-Ensenada, Col. Pedregal Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México,
e-mails: mam@astro.unam.mx; eala@astro.unam.mx.*

Recibido el 13 de mayo de 2010; aceptado el 3 de diciembre de 2010

En 1769 ocurrieron varios fenómenos astronómicos de importancia que fueron observados desde diversas partes de la Nueva España. Del estudio de los trabajos que entonces publicaron nuestros astrónomos, surgen datos, hasta ahora no tomados en cuenta por los especialistas, que muestran que en aquellas fechas, Antonio Alzate y Ramírez, notable criollo que mucho hizo por introducir y divulgar la ciencia moderna en México, fue el primer constructor de instrumentos ópticos -en particular telescopios- en esta nación. Al comparar su actividad con la de otros americanos notables de fines del siglo XVIII, se encuentra evidencia que indica que pudo ser el primer constructor de telescopios de América.

Descriptor: Óptica en México; historia de la física; ciencia en México colonial.

In 1769 there were several important astronomical phenomena which were observed from diverse parts of New Spain. From the study of the work then published by our astronomers, data emerge so far not taken into account by specialists, which show that at that time, Antonio Alzate y Ramírez, remarkable New Spaniard who did much to introduce and popularize modern science in Mexico, was the first manufacturer of optical instruments -in particular telescopes- in this nation. By comparing his activity with that of others noteworthy Americans of the late eighteenth century, we get evidence that he might be the first builder of telescopes in America.

Keywords: Optics in Mexico; history of physics; colonial science in Mexico.

PACS: 01.65.+g; 07.60.-j

1. Introducción

Desde al menos el siglo XVI, el desarrollo de la óptica mucho ha tenido que ver con la necesidad de los astrónomos de contar con telescopios cada vez más potentes, por lo que no es de extrañar que esa rama de la física con frecuencia haya sido cultivada por ellos. Después de las primeras observaciones telescópicas de cuerpos celestes hechas por Galileo y Thomas Harriot entre 1609 y 1612, fueron muchos los científicos y técnicos que se interesaron en mejorar esos instrumentos y en encontrar nuevos diseños [1], lo que propició una simbiosis entre astronomía y óptica que persiste y que es productiva para ambas disciplinas. Aunque con un considerable retraso, en México esta situación también se ha dado y así hallamos que el primer grupo profesional de ópticos mexicanos, se formó y consolidó en la segunda mitad del siglo XX alrededor de proyectos astronómicos [2].

El interés por la óptica en nuestro país no es nuevo, pues a lo largo de la época colonial y del primer siglo como nación independiente, se encuentran ejemplos de mexicanos que se interesaron en esta disciplina científica [3]. Uno fue Alzate, personaje polifacético que tuvo su máximo de actividad en el último tercio del siglo XVIII [4]. Naturalista, astrónomo, arqueólogo, periodista, divulgador y gran polemista, este personaje ha llamado la atención de muchos estudiosos, pero seguramente por un enfoque sesgado de nuestra historia, casi nada se sabe de su actividad en el terreno de las ciencias físico-matemáticas, razón que nos ha llevado a estudiar algunos de sus trabajos, lo que ha permitido establecer que pudo ser el primer constructor de telescopios mexicano.

2. La obra científica de Alzate

Fueron varios los trabajos astronómicos realizados y publicados por Alzate. La mayoría resultaron de observaciones puntuales de diversos fenómenos astronómicos, que dio a conocer a través de su *Gaceta de Literatura de México* [5], o en opúsculos de poco tiraje, que en la actualidad son difíciles de conseguir, como su *Suplemento a la famosa observación del tránsito de Venus ...*, la *Observación del paso de Mercurio por el disco del Sol* [6], el *Eclipse de Luna del doce de diciembre de mil setecientos sesenta y nueve años* [7], o bien su nota relativa a la *Observación sobre el eclipse total de Sol del año de 1778* [8], y sus reportes sobre manchas solares [9]. Todas esas obras muestran que fue un observador preparado que se hallaba informado sobre los principales sucesos celestes ocurridos en su época y al tanto de la literatura científica de su tiempo. Para quien se interesa en reconstruir nuestro pasado técnico y científico, tienen valiosa información sobre las técnicas y los instrumentos que utilizó. Como se verá a continuación, esa información, aunque incompleta, permite, si se hacen algunas hipótesis razonables, establecer qué tipo de telescopios construyó, lo que indirectamente dice mucho sobre el estado de conocimiento de la óptica alcanzado en nuestro país al finalizar el siglo XVIII.

3. Evidencias sobre los primeros sistemas ópticos hechos en México

Las dificultades que los novohispanos de la segunda mitad del siglo XVIII tuvieron para conseguir instrumentos y equipos

científicos fue grande, tal y como el mismo Alzate informó en su publicación sobre el eclipse lunar, donde se refirió a los instrumentos que entonces se utilizaban en Europa y dijo:

... pero esos instrumentos los poseemos con el deseo; pues acá, ni los traen de venta, ni se pueden fabricar, porque necesitan Maestros muy ejercitados, los que después de todo, para uno bueno que construyen, les salen muchos erradosⁱ.

Sin duda, esos hechos fueron los que obligaron a nuestro personaje a construir sus propios instrumentos científicos. La confirmación de que así lo hizo, se encuentra en varios de sus trabajos y en algunos publicados por otros novohispanos que fueron sus contemporáneos. Al escribir sobre la geografía novohispana, Alzate discutió las determinaciones hechas hasta su época de la longitud de la ciudad de México y mencionó que existía un desacuerdo importante entre los valores utilizados sobre todo por los europeos. Acerca de las observaciones que realizó con ese fin, se expresó de la siguiente manera:

...al ver esta diferencia estaba perplejo; por una parte conocía había puesto todo el esmero en ejecutarlas; por otro veía podía haber algún error en mis instrumentos, que como contruidos por mí o a mi dirección, eran susceptibles de error... [4].

Joaquín Velázquez de León, otro importante criollo novohispano, que entre sus méritos tuvo varias observaciones exitosas de sucesos astronómicos, el haber sido catedrático por varios años de astronomía y matemáticas de la Real y Pontificia Universidad de México y ser uno de los principales creadores del Real Seminario de Minería [10], confirmó indirectamente la existencia de los instrumentos de Alzate, ya que al escribir sobre sus propias observaciones de los satélites de Júpiter escribió:

... pero estemos en hora buena precisamente a las observaciones de los satélites; ello es cierto que para que éstas sean dignas de fe no basta la suficiencia del observador, sino que es menester también la de los instrumentos y el mismo Don José Alzate confiesa de los suyos haber sido hechos aquí y a su dirección. Yo no los he visto, dóilos por buenos; pero nunca los crearé comparables a los ejecutados por Dollond, Canivet y Berthoud, que fueron los que yo usé en las mismas observaciones ... [11].

En 1770, Alzate comunicó por escrito a la Academia de Ciencias de París, algunos resultados de sus observaciones astronómicas y meteorológicas. Al respecto les escribió:

Envío las observaciones que se han podido hacer de los Tránsitos de Venus, Mercurio, Eclipse de Luna y observaciones meteorológicas, por

saber el aprecio que todo esto tiene en la benignidad de Ustedes, ellas debían avergonzarse de ponerse en su presencia, pero las disculparán, pues en nosotros es una aplicación que no ha tenido Maestros sino en los libros de Ustedes, y que carecemos de Instrumentos necesarios, por lo que los que manejamos ha sido preciso construirlos con nuestras propias manos [12].

Estas citas muestran que, en efecto, Alzate construyó al menos algunos de los telescopios que utilizó, desgraciadamente ninguno parece haber sobrevivido. A pesar de los esfuerzos que se han hecho, no ha sido posible localizarlos, ni se han encontrado diagramas sobre ellos, solamente se conoce un dibujo con poco detalle, que muestra parte de dos de ellos, así que para tratar de determinar cómo fueron contruidos, debe recurrirse a la escasa información técnica que aparecen en sus escritos.

4. Datos ciertos sobre los telescopios alzatianos

En su reporte sobre el eclipse lunar, Alzate mencionó que “para la observación usé un Telescopio de refracción de siete pies, y tres pulgadas”, que prefirió sobre uno de quinceⁱⁱ, y aclaró que lo hizo así, porque para estudiar el movimiento de la sombra proyectada por la Tierra sobre la Luna, es preferible hacerlo utilizando un telescopio de menor foco, pues de esa manera se observa una sombra mejor definida. No dio mayor información respecto de aquellos dos telescopios, pero según costumbre de la época, esos valores se referían a las distancias focales. En una nota de pie de página de ese trabajo, reproducida a continuación, Alzate señaló aspectos que arrojan mayor información sobre aquellos telescopios:

Por telescopio de refracción se entiende lo que regularmente llaman antejo de cañones y se compone de dos vidrios, el ocular y el objetivoⁱⁱⁱ, ambos pueden ser o plano convexos o convexo convexos; cuando tan solamente tiene dos vidrios, se ve el objeto al revés, pero esto importa muy poco para las observaciones astronómicas. Para que los objetos se vean en su situación natural, se le añaden otros dos oculares, o al menos uno que sea de menor foco.

Como en ese trabajo Alzate aclaró también que la imagen que su instrumento produjo era invertida, debe concluirse que se trató de un telescopio refractor de tipo kepleriano; que son instrumentos formados por dos lentes convexas separadas entre sí por una cierta distancia, que además de amplificar la imagen del objeto en estudio, tienen la propiedad de invertirla [13]. Otro dato relevante es que Alzate también informó que sus telescopios “tenían la posibilidad de ser montados sobre una horquilla”, lo que permitiría moverlos libremente para apuntarlos al objeto bajo estudio, lo que indica que debieron ser de tamaño no muy grande.

Más información sobre aquellos telescopios se encuentra en su trabajo titulado *Inmersiones de los satélites de Júpiter hechas en la ciudad de México el año de 1770 con un telescopio de 7 pies 3 pulgadas que hace un efecto mayor que un gregoriano de 2 pies*. Con este largo título, nuestro personaje hizo referencia a un telescopio de fabricación inglesa propiedad de Velázquez de León, del que se conocen bien sus características de diseño óptico. En la narración que este último hizo de su viaje a Baja California [11], puede leerse que llevó “un telescopio gregoriano de veintidós pulgadas de Short, excelente...” Este dato es muy valioso, pues al comparar el telescopio alzatiano con el fabricado en Inglaterra por James Short, es posible acotar las suposiciones sobre el que construyó Alzate, lo que se hará en la Sec. 7.

Para tener idea sobre la calidad de los telescopios en estudio, es importante señalar que Alzate observó los satélites jovianos y luego escribió que “las dos inmersiones las tomé con un antejo dióptrico hecho por mí de 7 pies, 3 puls., pero que representa a Júpiter, y a los satélites, con notable claridad”. Cuando esos satélites se encuentran en sus elongaciones máximas (mayor alejamiento respecto de Júpiter), se hallan separados de él hasta por 11 minutos de arco, entonces el telescopio con el que Alzate los observó, debió tener un campo de visión con buena definición de al menos 25 minutos de arco, pues solamente así podría medir adecuadamente las inmersiones de esos satélites.

5. La información mínima necesaria para construir telescopios como los de Alzate

Los principales aspectos involucrados en el diseño y construcción de lentes y sistemas ópticos como los utilizados en los telescopios, fueron desarrollados durante el siglo XVII. Para la época de Alzate, la difusión de esas técnicas había ocurrido principalmente a través de diversas obras europeas de física y astronomía, que con gran probabilidad tuvo o conoció, pues existían en algunas de las ricas bibliotecas mexicanas de su tiempo [14]. Libros como el *Dioptrice* de Kepler publicado en 1611, donde por primera vez se mencionó un telescopio refractor con ocular positivo, cuya ventaja sobre el galileano fue proporcionar un campo de visión mayor, aunque invertía la imagen, o bien la *Opticks* de Newton publicada en 1704, que incluyó diagramas detallados del telescopio reflector y considerables aspectos técnicos de su construcción [15], contenían la teoría necesaria para comprender correctamente el funcionamiento de los telescopios. Estas obras ya eran clásicas en la época de Alzate, y se sabe que al menos la segunda estaba en la biblioteca de Antonio León y Gama [16], quien colaboró con él en algunas observaciones, mientras que del primer texto existe constancia escrita que se hallaba en la Nueva España al finalizar el siglo XVII, formando parte de la rica biblioteca de Don Carlos de Sigüenza y Góngora, catedrático de astronomía y matemáticas en la Real y Pontificia Universidad de México [14]. Éste fue también el caso de un texto de óptica muy importante en el desarrollo de los telescopios y los oculares, el *Oculus Enoch et Eliae*, pu-

blicado en 1645 por el jesuita checo Anton María Schyrleus Rheita. Esta obra, además de analizar con detalle el funcionamiento de los telescopios refractores de tipo kepleriano, incluyó un estudio del ocular positivo, mejorado respecto del original de Kepler, ya que además de proporcionar un campo de visión más amplio, dio la posibilidad de equiparlo con una retícula de finos hilos de seda y posteriormente con micrómetros más elaborados. También conocido como “ocular terrestre”, estaba formado por dos lentes adicionales: uno de campo y otro el erector, este último tenía la función de formar la imagen correctamente orientada. Sin duda Alzate conoció esos oculares, pues el final de la última cita de la Sec. 4 así lo muestra. Sobre la obra de Rheita debe mencionarse que a dicho autor se le acredita la introducción de los términos ocular y objetivo con el significado que ahora tienen en óptica. Y así los usó el novohispano. En el *Oculus Enoch et Eliae*, también se mostró con claridad un grabado de una máquina sencilla para pulir lentes.

El aspecto práctico de la construcción de telescopios se discutió ampliamente en textos como *De Astronomica Specula Domestica et Organico Apparatu Astronomico*, de Giovanni Giacomo Marinoni publicado en Viena en 1745, así como en la *Selenographie sive Lunae descriptio* de Hevelio, publicada desde 1647. Ambas obras muestran excelentes ilustraciones de talleres de pulido de lentes. El último fue explícitamente mencionado por Alzate en su trabajo sobre el eclipse de 1769. Un notable libro sobre el aspecto práctico de la construcción de telescopios fue *A Compleat System of Opticks in Four Books, viz a Popular, a Mathematical, a Mechanical, added Remarks upon the Whole*, escrito por el inglés Robert Smith y publicado en Cambridge en 1738 [15]. La traducción al francés de esta obra salió de las prensas de Aviñón en 1767 y se sabe que formó parte de los textos originales de la biblioteca del Real Colegio de Minería fundado en la ciudad de México en 1790, pero que años antes Velázquez de León comenzó a reunir, así que es probable que Alzate lo haya conocido entonces.

Otros textos sobre diversos aspectos de la óptica que Alzate debió conocer, ya que se han identificado formando parte de las bibliotecas de Antonio de León y Gama [16] e Ignacio Bartolache [17], son las *Lecons élémentaires d'Optique* de Nicolás La Caille y el texto sobre *Theorie de la Lumiere* de Antonio Lecquio.

Con el fin de reconocer los diferentes accidentes de la superficie lunar que fueron siendo tocados por la sombra terrestre durante el eclipse del 12 de diciembre de 1769, Alzate utilizó un mapa lunar que, según lo que se lee en la nota G de su opúsculo, debió ser de la ya mencionada *Selenographia* de Hevelio, sin embargo este dato no parece ser correcto, ya que la terminología utilizada por nuestro autor fue introducida en 1651 por Riccioli, quien en su *Almagestum Novum* bautizó los cráteres lunares más sobresalientes con nombres de filósofos y astrónomos como Platón, Arquímedes, Eratóstenes, Tolomeo, Tycho, Copérnico, Kepler y Galileo. Como el grabado lunar que ilustra el reporte de Alzate tiene ya incorporada esa nomenclatura, debió copiarlo no del texto de

Hevelio, sino del de Riccioli. Esta aparente confusión se explica si se acepta que Alzate dispuso de ambas obras. Pero hay más sobre ese mapa. Tal y como aparece en el opúsculo de nuestro astrónomo, muestra a la Luna orientada con el sur en la parte de arriba y el norte en la de abajo, pero además, la imagen está invertida, tal y como se vería a través de un telescopio kepleriano simple. En la iconografía lunar de su tiempo esto ya no era común, lo que refuerza la idea de que dispuso del *Oculus Enoch et Eliae*, pues en esa obra aparece un mapa lunar con las mismas características del que Alzate incluyó en su trabajo sobre el eclipse lunar.

En cuanto a las habilidades prácticas que pudo tener nuestro personaje, que le permitieran construir o dirigir la construcción de telescopios sencillos, hay constancia de que las tuvo. No fue un sabio de gabinete. Realizó viajes de exploración a la zona arqueológica de Xochicalco y otros lugares como el volcán Popocatepetl, escribió sobre máquinas de vapor y sobre equipos para ventilar las minas, también se ocupó de los aspectos técnicos de la construcción de una máquina para procesar el algodón, escribió un *Método para probar la bondad de los relojes de bolsa* e hizo la *Descripción del barreno inglés*: una herramienta para taladrar pozos profundos. Finalmente hay que mencionar que publicó un *Modo de pulir acero*, donde mencionó algunas técnicas que también se aplicaban en el pulido de lentes.

6. Características técnicas de los telescopios de Alzate

El principal elemento que se tiene para determinar los parámetros ópticos de los telescopios que pudo construir Alzate, es a través de la comparación que hizo con el telescopio gregoriano de Short, propiedad de Velázquez de León. Hay una pequeña discrepancia sobre ese instrumento, ya que se le menciona como de “2 pies” o como “un telescopio gregoriano de veintidós pulgadas de Short, excelente ...”. Pensamos que esa divergencia puede resolverse gracias a que se conoce una lista con la información técnica precisa de los telescopios de aquel importante fabricante inglés del siglo XVIII [1], donde se ve que no construyó instrumentos de 22 pulgadas, pero sí de 24, por lo que puede aceptarse con alto grado de certeza, que Velázquez de León al mencionar aquel telescopio no se equivocó, sino que no aclaró de que tipo de pulgadas estaba hablando, pues existían diferencias en los sistemas de medida, ya que la pulgada usada por los españoles, era ligeramente mayor que la inglesa [18].

De acuerdo a esa lista del fabricante, el telescopio Short contra el que Alzate comparó el suyo, tenía las siguientes características:

- distancia focal (pulgadas) 24
- apertura (pulgadas) 4.5
- número de oculares 4
- Poder de amplificación de cada uno 90, 150, 230, 300.

7. Análisis técnico

Sobre el sistema óptico que utilizó Alzate, hay dos hechos que, correctamente interpretados, sirven para fijar dos parámetros necesarios para caracterizar aquellos telescopios. El primero se relaciona con la capacidad de resolución de la óptica utilizada, o poder para distinguir con nitidez dos objetos cercanos. Este valor está acotado por los comentarios que Alzate hizo sobre el telescopio con el que observó a Júpiter y los cuatro satélites galileanos. Con él también observó los tránsitos de Venus y Mercurio y el eclipse lunar, sucesos que lo llevaron a publicar los reportes correspondientes, que fueron ilustrados con dibujos de la superficie del Sol y de la Luna, en los que representó algunas manchas solares, así como accidentes de la topografía lunar.

Tomando en cuenta los datos arriba comentados, intentaremos deducir las características del sistema óptico que construyó Alzate.

Es conocido que el poder resolutor angular de un sistema óptico esta definido por el disco de Airy. Matemáticamente el disco de Airy está dado por la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D}, \quad (1)$$

donde λ se refiere a la longitud de onda y, para nuestro cálculo, será de 550 nanómetros, que corresponde a la media de respuesta del ojo humano. D es el diámetro mayor del elemento que colecta la luz. Para hacer la estimación del diámetro del objetivo del telescopio de Alzate, es necesario tomar en cuenta que la turbulencia atmosférica, comúnmente conocida como *seeing*, (fenómeno inherente a las observaciones astronómicas hechas a cielo abierto desde cualquier punto de la superficie terrestre) es una medida de la capacidad que un sistema óptico tiene para resolver imágenes muy cercanas. Vamos a suponer varios casos que van desde el mejor de 0.5 hasta uno burdo de 2.0 segundos de arco. Como puede observarse en la Ec. (1), las unidades son radianes, entonces, luego de tomar en cuenta que 1 radián=206265 segundo de arco, de esa ecuación se obtiene el diámetro D , lo que permite generar la siguiente tabla:

θ (segundos de arco)	D (mm)
0.5	277
1.0	138
1.5	92
2.0	69

De ella puede verse que los diámetros de los 3 últimos casos resultan ser de tamaño razonable para su construcción en la Nueva España del siglo XVIII y con la tecnología que conoció Alzate. Si se consideran las condiciones geográficas de la Ciudad de México, es probable que la turbulencia atmosférica permitiera resolver imágenes de aproximadamente un segundo de arco, por lo que el diámetro más probable del telescopio que fabricó Alzate fue de alrededor de 14 cm.

Una lente con estas dimensiones no era nada extraordinario en aquel tiempo, sólo como ejemplo, citaremos que en el inventario de los bienes que al morir dejó Ignacio Bartolache, quien participó con Alzate en las observaciones del tránsito venusino de 1769, se menciona “un lente de aumento de once pulgadas de diámetro” [17].

Por otra parte, Alzate informó haber usado un telescopio de 7 pies, 3 pulgadas, valor que en general en aquella época se refería a la distancia focal efectiva de esos aparatos, así que si se toma ese dato como tal y se estima que la distancia focal del telescopio de nuestro criollo, era de $f=2209.8$ mm. Para el caso de telescopios astronómicos donde el objeto bajo observación está muy lejos, la amplificación tal y como se conoce, es decir la razón entre la posición de la imagen y la del objeto, deja de tener significado físico; sin embargo existe una relación, llamada escala de placa (EP), que se define como la razón entre el tamaño angular del objeto, en segundos de arco (\hat{n}) y el tamaño lineal de la imagen (en mm) que se forma en el plano focal. Geométricamente debemos entenderla como la variación del ángulo de un rayo de entrada y el ángulo del rayo que emerge del telescopio de distancia focal f . Matemáticamente esta expresión se representa como

$$EP = \frac{206265}{f} = \left[\frac{\hat{n}}{\text{mm}} \right] \quad (2)$$

donde nuevamente el factor 206265 es la conversión de un radián a segundos de arco. En el caso que analizamos, la

$$EP = 93.34 \frac{\hat{n}}{\text{mm}}.$$

Utilizando esta definición de EP, y si se toma en cuenta que Alzate observó con ese telescopio al Sol y a la Luna y los tuvo completos en el campo de su aparato, lo que significa que al menos podía cubrir un campo de $32^{\hat{n}}$ (minutos de arco), es decir, $1920 \hat{n}$, sustituyendo este valor y despejando el tamaño de la imagen, tenemos que

$$\text{Tamaño de la imagen} = \frac{1920}{93.34} = 20.6 \text{mm}.$$

El resultado anterior implica que el telescopio bajo estudio producía una imagen de un campo de $32^{\hat{n}}$ en aproximadamente 2 cm, tamaño suficiente para observar gran detalle en la superficie solar. El ocular que Alzate pudo utilizar proveyó amplificación adicional, aunque con el campo limitado. Dado que por entonces sólo se conocían los oculares tipo de Huygens, nuestro personaje debió utilizar uno de ellos, que, debido a sus dimensiones y estructura, pudo construir con facilidad.

Otro asunto también importante es en referencia a la calidad de imagen que emergía de este telescopio. Es de esperarse que una lente simple produciría una aberración cromática grande ($\propto D^2/f$), por lo que resultaba necesario usar filtros para acotar el ancho de banda de longitudes de onda. Un análisis en un programa de diseño óptico de las probables lentes usadas por este distinguido criollo, proporciona la

siguiente información: Suponiendo que Alzate usó una lente simple biconvexa (lente positiva), entonces el tamaño de la imagen que se obtiene, conservando la distancia focal y el diámetro, es de 80 micrómetros en campo máximo; este valor significaba 8 veces más grande la imagen en las orillas que en el centro del campo. Otra suposición es que la lente simple fuera plano convexa, en este caso el tamaño de imagen en las orillas del campo resulta ser de 40 micrómetros, es decir, sólo 4 veces mayor que en el centro. Una tercera suposición es que el objetivo de este telescopio fuera un doblete, en este caso tendríamos que la imagen estaría al límite de difracción, es decir, imágenes de 10 micrómetros en todo el campo, aunque por la distancia focal grande, sería necesario también usar filtros, pues la aberración cromática aún persistiría. La solución práctica al problema presentado por esta aberración, que implicó la construcción de objetivos compuestos u acromáticos, llegó posteriormente a la época de Alzate, aunque desde 1664 se habían hecho los primeros trabajos sobre este tema (ver [15]).

8. Conclusiones

Por toda la información que se conoce, estimamos que tanto desde el punto de vista teórico como del práctico, Alzate debió construir lentes plano convexas, con diámetros entre 10 y 15 cm, pues de las tres soluciones que se han señalado, es la opción que requería menor tecnología. En efecto, un telescopio refractor de tipo kepleriano con esas características no era difícil de fabricar en la Nueva España de fines del XVIII, ya que el vidrio para pulir los lentes estaba disponible, pues desde el siglo XVI había fábricas de este material en Puebla. Al estudiar el desarrollo de la óptica en México, se ha visto que la información teórica y práctica necesaria para tallar ese tipo de lentes era conocida por Alzate y sus contemporáneos^{iv}, así que bien pudo hacerlo.

Alzate no proporcionó ninguna información sobre si tuvo algún tipo de ayuda para tallar las lentes que construyó, aunque sí hay mención en la documentación generada por las observaciones que realizó, que implica que sus telescopios fueron hechos bajo su dirección, seguramente por alguno o algunos de los artesanos que en la Nueva España de ese tiempo, formaban los diferentes gremios laborales, tanto en la Ciudad de México, como en las principales poblaciones novohispanas. Para el caso que aquí nos ocupa, está comprobado que existían los gremios de los herreros, vidrieros, plomeros, carpinteros y ebanistas. Con su colaboración, Alzate pudo construir sus telescopios y otros aparatos que usó en algunas de sus actividades, sin embargo, como con frecuencia ocurre en estos casos, los nombres de esos posibles ayudantes se han perdido.

El comentario de Alzate respecto a que su telescopio amplificaba más que el gregoriano inglés construido por Short es correcto. Si se comparan las escalas de placa de ambos instrumentos usando la Ec. (2), resulta que el de nuestro autor es de $93.34 \hat{n}/\text{mm}$, mientras que el usado por Velázquez de León tenía $338.36 \hat{n}/\text{mm}$. De estas escalas, se desprende que para

un milímetro de campo se tiene $1.5'$ y $5.6'$, respectivamente, e implicaría 3.7 veces más amplificación; claro está que el refractor tendría menor campo. Esta última característica no sería una desventaja para observaciones como las que reportó Alzate, en particular las que realizó de los tránsitos venusino y mercurial, pues ello haría que el Sol se viera menos luminoso, lo que permitiría hacer la observación en forma más cómoda y apreciar detalles como las manchas solares que reportó.

El uso de filtros en los trabajos astronómicos no resulta nuevo por esas fechas, incluso en la Nueva España, pues en 1769, Velázquez de León cuando realizó los estudios del paso de Venus por el disco del Sol, usó filtros para estudiar a nuestra estrella y en fecha tan temprana como 1660, ya había,

al menos en Puebla, filtros que fueron enviados desde Europa para el uso de Alejandro Favián [19], un religioso que los usó junto con un heliógrafo, a los que se refirió como “vidrios de colores”.

Finalmente queremos señalar que en caso de encontrar documentación que confirme técnicamente nuestra afirmación sobre los telescopios que fabricó Alzate, este personaje se convertiría con gran probabilidad en el primer constructor americano de telescopios, ya que según la información disponible, no parece haber en el mundo hispanoamericano otra persona que hiciera eso antes que él, y por lo que respecta a los Estados Unidos, la construcción de ese tipo de instrumentos comenzó hasta el siglo XIX [1].

-
- i.* De alguna forma el comentario final que aparece en esta cita, indica una cierta experiencia en la fabricación de ese tipo de instrumentos, que deja ver que Alzate debió proceder por prueba y error.
 - ii.* El subrayado es nuestro.
 - iii.* Estos dos términos técnicos son relevantes, porque como se verá más adelante en el texto, indican que Alzate conoció una obra publicada desde 1645, que trató con amplitud el tema de los telescopios refractores.
 - iv.* Moreno Corral y Luna, 1999.
1. H.C. King, *The History of the Telescope* (Dover Publications, Inc. New York, 1979).
 2. A. Cornejo, *Bol. Soc. Mex. Fís.* **2** (1990) 8.
 3. M.A. Moreno Corral y E. Luna, *Bol. Soc. Mex. Fís.* **13** (1999) 71.
 4. R. Moreno, *José Antonio Alzate y Ramírez. Obras I* (UNAM, México, 1980).
 5. R. Moreno, *Historia de la Astronomía en México* (FCE, México, 1986).
 6. M.A. Moreno Corral, *Los Tránsitos de Mercurio* (Anuario del Observatorio Astronómico, Año CVI. UNAM, México, 1985).
 7. E. Trábulse, *Historia de la ciencia en México* (Vol III, CONACYT-FCE. México, 1986).
 8. E. Trábulse, *Ibid*
 9. J.M. Vaquero, R.M. Trigo, M.C. Gallego, and M.A. Moreno-Corral, *Solar Phys.* **240** (2007) 165.
 10. S. Ramírez, *Joaquín Velázquez de León y Andrés Manuel del Rto.* (SEFI. UNAM, 1983).
 11. R. Moreno, *Joaquín Velázquez de León y sus trabajos científicos sobre el Valle de México* (UNAM, México, 1977).
 12. P. Bret, *Periodismo científico en el siglo XVIII* P. Aceves (ed.), (UAM. México, 2001). pp. 123.
 13. F.A. Jenkins and H.E. White, *Fundamentals of Optics.* McGraw-Hill. New York, 1957
 14. M.A. Moreno Corral, *Implantación de la ciencia europea en el México colonial. Siglos XVI y XVII* (Edición del autor. Ensenada, B.C. México, 2004)
 15. A.D.C. Simpson, “*The beginnings of commercial manufacture of the reflecting telescope in London*” (JHA, XL, 2009). pp. 421.
 16. R. Moreno, *Ensayos de bibliografía Mexicana* (UNAM. México, 1989).
 17. R. Sánchez Flores, “*José Ignacio Bartolache. El sabio humanista a través de sus bienes, sus libros e instrumentos de trabajo*” (Bol. Archivo General de la Nación. T. XIII, México 1972-1976). pp. 189.
 18. J.A. Alzate, *Eclipse de Luna del doce de diciembre de mil setecientos setenta y nueve* (Joseph Jáuregui. México, 1770). Véase la nota E de ese trabajo.
 19. M.A. Moreno Corral, *Elementos* (1986) 23.