

# ESTIMACIÓN BIOMÉTRICA DEL VOLUMEN DE HUMOR ACUOSO EN OJOS CON ACEITE DE SILICONA EN MEDIOS OPACOS<sup>1</sup>

## BIOMETRIC ESTIMATION AQUEOUS VOLUME IN EYES WITH SILICONE OIL IN OPAQUE MEDIA

<sup>2</sup> Elena Oudovitchenko.

<sup>3</sup> Oscar Correa.

<sup>4</sup> Álvaro Ferrer.

<sup>5</sup> E. Leonardo Rodríguez

### Resumen

**Propósito:** Estimar el volumen de humor acuoso como índice de viabilidad ocular.

**Métodos:** El método de cálculo integral de sólidos en revolución por discos, es el utilizado para calcular el volumen del humor acuoso con forma de menisco depositado debajo del aceite de silicona gracias al efecto de la gravedad, y basando dichos cálculos en la mediciones biométricas de diferentes cortes ecográficos, que abarquen tanto el aceite de silicona como el humor acuoso, mediante ecografía ocular.

**Resultados:** De tres modelos matemáticos realizados para el cálculo del volumen del menisco, uno de ellos es el que más se acerca a los valores empíricos, mostrando menor volatilidad en los resultados.

### Abstract

**Purpose:** To estimate the volume of aqueous humor as an ocular viability index.

**Methods:** The integral calculus of solids in revolution by disks is the method used to calculate the volume of aqueous shaped meniscus deposited under the silicone oil through the effect of gravity, and basing such calculations on biometric measurements of different ultrasound sections, covering both silicone oil as the aqueous humor, by using ocular ultrasound.

**Results:** From the three mathematical models made for calculating the volume of the meniscus, one of them is the closest to the empirical values, showing less volatility in results.

Recibido el 19/03/2013

Aprobado 27/05/2013

1. Artículo de investigación original.
2. Oftalmóloga, Universidad Javeriana. Profesora, Universidad el Bosque. Departamento de Retina y Vítreo. Hospital Simón Bolívar. lenaudovichenko@hotmail.com
3. Oftalmólogo, Universidad el Bosque. Profesor Universidad el Bosque. Coordinador académico Hospital Simón Bolívar. oscar.correajaramillo@gmail.com
4. Oftalmólogo, Universidad el Bosque, Medico Oftalmólogo, Hospital Santa Clara. Alvarof10@yahoo.com
5. Ingeniero Mecánico, Universidad de América. Especialista en Física, Universidad Javeriana. Departamento de matemáticas, Universidad el Bosque. edgarrodriguezsolozano@yahoo.es

**Conclusión:** La tercera alternativa conformada por dos elipses de diferente largo, simula de manera más precisa la forma del menisco ocular observado en el ecógrafo.

**Palabras clave:** Sólidos en revolución, profundidad del menisco, volatilidad, elipses, aceite de silicona, humor acuoso, ecografía.

**Conclusion:** The third option that consists of two ellipses of different lengths simulates in a better way, the shape of the ocular meniscus observed by ultrasound.

**Key words:** Solids of revolution, depth of meniscus, volatility, ellipses, silicone oil, aqueous humor, ultrasound.

## INTRODUCCIÓN

El trauma ocular con compromiso vítreo-retiniano es una patología frecuente, donde la vitrectomía con uso de aceite de silicón hace parte integral del tratamiento (1,5). Asociado a lo anterior encontramos pacientes con córneas opacificadas de origen traumático o infeccioso, lo cual ensombrece más el cuadro clínico en cuanto a función visual y dificultad de la realización del examen clínico del paciente para determinar pronóstico y viabilidad del mismo disponiendo de la ecografía como ayuda diagnóstica se puede estandarizar un método dirigido a la medición de humor acuoso como índice de viabilidad ocular. Al crear un método estandarizado, este podrá ser usado en cualquier centro especializado a nivel mundial que posea la infraestructura indicada, logrando planificar determinados tratamientos quirúrgicos como la extracción del aceite de silicona y posibles queratoplastias como parte de su rehabilitación visual. De igual manera éste estudio puede ser la base para muchas investigaciones posteriores o de estudios comparativos en diferentes centros especializados.

En la literatura revisada no hay reportes de este tipo de trabajos, lo cual brinda importancia e impacto a nuestra iniciativa.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las medición biométrica del menisco de humor acuoso se realizó con paciente en decúbito supino, favoreciendo por fuerza de gravedad, que el humor acuoso se deposite debajo del aceite de silicona gracias a la densidad de los mismos ( $1,01 \frac{g}{cm^3}$  contra  $0,96 \frac{g}{cm^3}$  respectivamente). Esta posición del paciente favorece la medición biométrica axial, y de diferentes cortes ecográficos, que abarquen tanto el aceite de silicón como el humor acuoso (2, 4, 7). Las mediciones se hicieron con ecógrafo OTI Scan 3000

Con base en las imágenes del ojo mostradas en la pantalla del ecógrafo, se procedió a determinar el tipo de funciones matemáticas, que más se relacionaban con la forma del menisco (fig. 1).

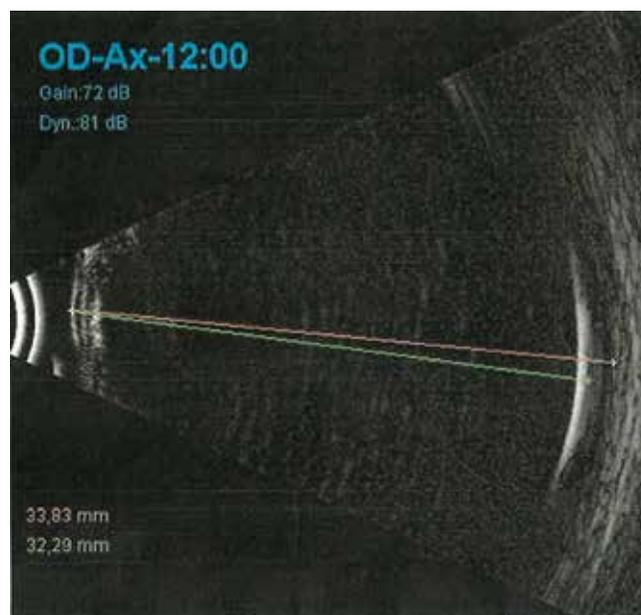


Figura 1. Longitudes larga y corta mostradas en la pantalla del ecógrafo, para dimensionar el menisco ocular.

La circunferencia y la elipse son funciones que al cruzarse y ser rotadas en el eje x, generan volúmenes similares al menisco ocular observado en la pantalla del ecógrafo (8).

Al rotar en el eje x una circunferencia de radio  $r$  con centro en el origen, genera una esfera y por ende se le puede calcular el volumen por integración utilizando la fórmula:

$$V_m = \pi \int_a^b (f(x))^2 dx \quad (1)$$

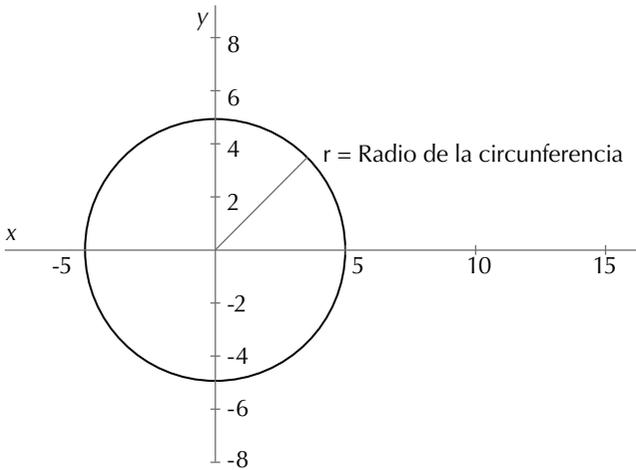


Figura 2. Función básica que al ser rotada en el eje x genera una esfera

Con base en la figura. 2 la ecuación de la circunferencia con centro en el origen y radio r es:

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (2)$$

Despejando y:

$$y = \sqrt{r^2 - x^2} \quad (3)$$

Sustituyendo (3) en (1)

$$\begin{aligned} V_{hemisf} &= \pi \int_0^r (\sqrt{r^2 - x^2})^2 dx \\ &= \pi \int_0^r (r^2 - x^2) dx = \frac{2\pi}{3} r^3 \end{aligned} \quad (4)$$

El volumen de un hemisferio.

Para que sea el volumen total de una esfera se multiplica (4) por 2

$$V = 2 \left( \frac{2\pi}{3} r^3 \right) = \frac{4\pi}{3} r^3$$

**Alternativa 1:** los dos círculos, el grande cortando al pequeño.

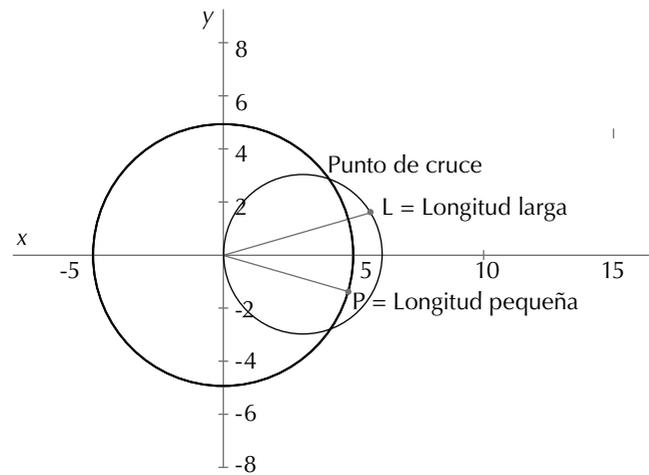


Figura 3. Alternativa con dos círculos cruzados y centro de la circunferencia grande en 0,0

En esta alternativa, el círculo más pequeño es el del ojo, donde su diámetro coincide con la longitud más larga en la pantalla del ecógrafo, es decir  $L = 2r$ , el radio de la circunferencia más grande, coincide con la longitud más pequeña del ecógrafo,  $R = P$ .

Ecuación de la circunferencia pequeña:

$$y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2} \text{ con centro en } (r, 0).$$

$$\text{Sustituyendo } r = \frac{L}{2} \text{ se tiene que } y = \sqrt{xL - x^2}.$$

Y la ecuación de la circunferencia grande:  $y = \sqrt{R^2 - x^2}$  con centro en (0,0)

$$\text{Sustituyendo } R = P \text{ se tiene que } y = \sqrt{P^2 - x^2}$$

Igualando las dos ecuaciones se obtiene el punto de corte de las dos circunferencias:

$$\sqrt{xL - x^2} = \sqrt{P^2 - x^2}$$

$$\text{De aquí: } x = \frac{P^2}{L}$$

El volumen del menisco viene dado por:

$$\begin{aligned} V_m &= \pi \int_{\frac{P^2}{L}}^L (xL - x^2) dx - \pi \int_{\frac{P^2}{L}}^P (P^2 - x^2) dx \\ V_m &= \frac{\pi(L^4 - 4LP^3 + 3P^4)}{6000L} \end{aligned}$$

**Alternativa 2:** dos circunferencias una muy grande corta a la pequeña. Figura 4.

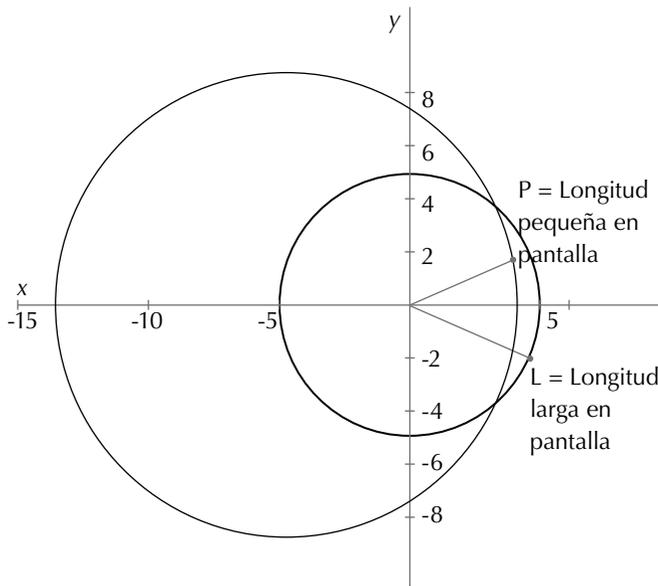


Figura 4. Alternativa de 2 círculos cruzados y centro de la grande (-r, 0).

En esta alternativa, la circunferencia que corta a la pequeña es mucho mayor que la de la alternativa 1, ya que de esta forma se le puede reducir más la curvatura a la parte interior del menisco, asemejándose más a la que se observa en la pantalla del ecógrafo (6, 8).

Ecuación de la circunferencia pequeña:

$$y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2} \text{ con centro en } (r, 0).$$

Sustituyendo  $r = \frac{L}{2}$  se tiene que  $y = \sqrt{xL - x^2}$ .

Ecuación de la circunferencia grande:

$$(x + r)^2 + y^2 = (r + p)^2 \text{ con centro en } (-r, 0)$$

$$y = \sqrt{(r + p)^2 - (x + r)^2}$$

Sustituyendo  $r = \frac{L}{2}$  se tiene  $y = \sqrt{\left(\frac{L}{2} + P\right)^2 - \left(x + \frac{L}{2}\right)^2}$

Igualando las dos ecuaciones se obteniendo el punto de corte e integrando se obtiene el volumen del menisco (3).

$$V_m = \frac{\pi(2L^4 - 3L^2P^2 - 2P^3L + 3P^4)}{12000L}$$

**Alternativa 3:** dos elipses

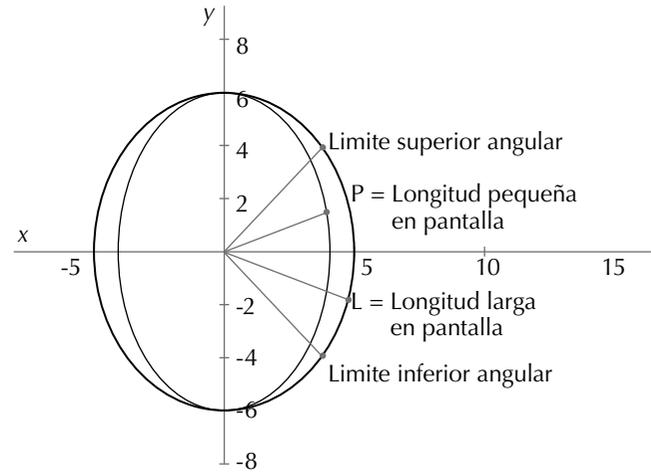


Figura 5. Alternativa de dos elipses concéntricas y centro en 0,0

En esta alternativa hay dos elipses de diferente largo pero de igual ancho limitadas por un ángulo promedio de apertura.

Ecuación de la elipse pequeña:

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2} \tag{1}$$

Ecuación de la elipse grande:

$$y = \frac{b}{g} \sqrt{g^2 - x^2} \tag{2}$$

El volumen del menisco está dado por:

$$V_m = \pi \int_0^g \frac{b^2}{g^2} (g^2 - x^2) dx - \pi \int_0^a \frac{b^2}{a^2} (a^2 - x^2) dx$$

$$V_m = \frac{2\pi b^2 (g - a)}{3} \tag{3}$$

Dónde:  $g = \frac{L}{2}$  y  $a = \frac{P}{2}$

Sustituyendo en la ecuación de volumen se tiene que:

$$V_m = \frac{\pi b^2 (L - P)}{3} \tag{4}$$

Como b es igual en ambas elipses, se procede a dejarla en términos de L y P

$$b = \frac{(L+P)}{4}$$

Sustituyendo en (4) y dividiendo por 1000 para que la respuesta quede en  $Cm^3$

$$V_m = \frac{\pi \left( \frac{L+P}{4} \right)^2 (L-P)}{3000} \quad (5)$$

Multiplicando a (5) por  $\frac{\theta}{180}$  para tener en cuenta la apertura angular, se obtendrá

$$V_m = \frac{\pi \theta (L-P)(L+P)^2}{8640000}$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de apertura promedio.

## RESULTADOS

### Con la alternativa 1

Paciente	Longitud Pequeña (mm)	Longitud Larga (mm)	Volumen del menisco ( $Cm^3$ )
1	28.37	30.32	0.33
2	29.76	34.42	1.94
3	29.02	32.62	1.14
4	32.37	35.55	1.00
5	29.58	33.31	1.25

Con esta alternativa, algunos resultados se alejan mucho de los teóricos.

### Con la alternativa 2

Paciente	Longitud Pequeña (mm)	Longitud Larga (mm)	Volumen del menisco ( $Cm^3$ )
1	28.08	29.71	0.17
2	30.48	33.15	0.51
3	31.60	33.62	0.30
4	33.20	34.88	0.22
5	29.71	33.20	0.85

Con esta alternativa los valores del volumen se acercan más a los prácticos.

### Con la alternativa 3

Paciente	Longitud Pequeña (mm)	Longitud Larga (mm)	Volumen del menisco ( $Cm^3$ )
1	28.08	29.71	0.06
2	30.48	33.15	0.12
3	31.60	33.62	0.09
4	33.20	34.88	0.08
5	29.71	33.20	0.15

Con esta alternativa, los resultados son mucho más cercanos a los empíricos.

## DISCUSIÓN

Se evidencia inconsistencia en los resultados de los volúmenes obtenidos con el primer modelo ya que son muy elevados con respecto a lo esperado. El volumen de humor acuoso en cámara anterior es de  $0.25 Cm^3$ , de los cuales hay un rango entre el 70% y el 80% que se desplaza hacia polo posterior del globo ocular, cuando el paciente se coloca en una posición decúbito supino, mostrando valores aproximados de 0.1 a  $0.2 Cm^3$  de volumen aproximado del menisco de humor acuoso calculado en el presente estudio. Según estos valores las fórmulas 2 y 3 son bastante aproximadas a los valores teóricos, mientras que los valores arrojados por la fórmula número uno, son demasiado elevados y alejados de la realidad. Es de resaltar que las mediciones para los cálculos de la fórmula matemática número uno, dos y tres son basadas en mediciones realizadas por el mismo programa de computador del ecógrafo, dándole más certeza y objetividad a las mismas.

Otro tópico interesante de mencionar es que los modelos están basados en el hecho que el ojo es totalmente esférico, para efectos de la creación de los modelos matemáticos. Sumado a lo anterior, en los modelos matemáticos número 1 y número 2, se parte de la premisa que el menisco es un segmento de esfera donde cada uno de sus límites es curvo, situación que se acerca bastante a la realidad pero no es del todo exacto.

Consideramos importante en próximos trabajos complementar con un mayor número de pacientes, para realizar las mediciones iniciales como se planearon en el trabajo, y repetir la medición ecográfica a las dos semanas con el fin de corroborar las mediciones tomadas inicialmente.

De igual manera también se debe determinar si el método ecográfico y el modelo matemático son reproducibles en diferentes partes del mundo.

Las mediciones obtenidas de los volúmenes de humor acuoso en algunos pacientes fueron bajos volúmenes con respecto a lo esperado, lo cual atribuimos a tres causas:

1. Un porcentaje mayor de humor acuoso se mantuvo en cámara anterior.
2. Traumas severos pueden ser causantes de hipoproducción de humor acuoso.
3. La imagen ecográfica obtenida no da la totalidad del contorno ocular, sino un segmento del polo posterior y del segmento anterior ocular, motivo por el cual se realiza una aproximación de dicho contorno a una esfera para poder realizar nuestros modelos matemáticos. Si se pudiese obtener el contorno completo en el barrido ecográfico, se observaría la forma del contorno real, que usualmente sería una figura elipsoide y partiendo de éste hecho diseñar un modelo más exacto.

## CONCLUSIÓN

Los valores obtenidos del primer modelo son sobredimensionados con respecto a la realidad esperada, y tiene un carácter más complejo y subjetivo al momento de realizar la medición, mientras que los dos siguientes, se acercan bastante a la realidad esperada y son de fácil ejecución, de una manera objetiva.

Por lo anterior se postula como mejor opción el modelo 3, formado por dos elipses utilizando la medición ecográfica de dos diámetros (diámetro axial del ojo y diámetro de la interface aceite de silicón-humor acuoso) teniendo en cuenta la parte más ancha del menisco de humor acuoso en la imagen ecográfica, que correspondería a la porción macular del globo ocular.

El tiempo para la medición fue a los 5 y a los 20 minutos después de haber adquirido la posición decúbito supina, dando un tiempo prudencial para la acumulación del humor acuoso en la porción posterior del ojo.

Es conveniente realizar mediciones con tiempos diferentes más extensos, para valorar si se logra una mayor acumulación de humor acuoso en el polo posterior.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés en este artículo.

## REFERENCIAS

1. Barr CC, Lai MY, Lean JS, Linton KLP, Trese M, Abrams G, Ryan SP, Azen Study Group. Postoperative intraocular pressure abnormalities in the silicone Study Group. *Silicone Study Report#4. Ophthalmology*. 1993; 100: 1629-35.
2. Sampaolesi R. *Biometría ocular (ecometría)*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1983: 428-29.
3. Rodríguez E. *Integración básica*. Bogotá: AutoresEditores; 2012: 15-75.
4. Coleman DJ, Silverman RH, Lizzi FL, Reinstein DZ, Rondeau MJ, Lloyd HO, Daly SW. *Ultrasonography of the Eye and Orbit*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006: 47-122.
5. Ghoraba H, El-Dorghamy A, Atia A,
6. Ghoraba, Hammouda Hamdi MD, El-Dorghamy, Alaa Amer MD; Atia, Ahmed Fahmy MD; Ismail Yassin, Bd el-Aziz MD. The problems of biometry in combined silicone oil removal and cataract extraction: a clinical trial. October 2002; 22: 589-596. Disponible en: [http://journals.lww.com/retinajournal/abstract/2002/10000/the\\_problems\\_of\\_biometry\\_in\\_combined\\_silicone\\_oil.9.aspx](http://journals.lww.com/retinajournal/abstract/2002/10000/the_problems_of_biometry_in_combined_silicone_oil.9.aspx). Consultado 24 septiembre de 2012.
7. Sampaolesi R. *Física del sonido. Ultrasonido. Ecos*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1983: 21-23.
8. Sampaolesi R. *Principio del diagnóstico con ultrasonido*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1983: 36-40.
9. Sampaolesi R. *Principios físicos y fundamentos del ecograma ocular*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1983: 82-92.