

¿Índice 1,3375?

Gabriel Merchán de Mendoza*

RESUMEN

Para convertir las mediciones obtenidas de la superficie corneal a un valor dióptrico, el keratómetro de Bausch & Lomb Optical Company utiliza la fórmula $(n' - n)/R$ y asume un índice n' de 1,3375 (diferente al índice real de la córnea de 1,376). Este valor ficticio incluye una compensación para contrarrestar el pequeño pero significativo poder negativo de la

superficie posterior de la córnea. Esto permite hacer la lectura directamente tanto del radio de curvatura como del poder dióptrico de la córnea.

Palabras clave: índice de refracción, keratómetro, oftalmómetro, córnea, superficie anterior, superficie posterior.

* Doctor en Optometría Pennsylvania College of Optometry, Filadelfia. Docente investigador Universidad de La Salle y Fundación Universitaria del Área Andina. Correo electrónico: gamerchan@unisalle.edu.co

Fecha de recepción: 10 de agosto de 2009.

Fecha de aprobación: 7 de septiembre de 2009.

¿1,3375 index?

ABSTRACT

To convert the measurements obtained from the corneal surface into dioptric value, the B&L keratometer uses the general lens formula ($n'-n/R$) and assumes an n' of 1,3375 (compared to the actual corneal refractive index of $n'=1,376$). This is a fictional value, which includes an allowance for the

small, yet significant, negative power of the posterior corneal surface.

Keywords: index of refraction, keratometer, ophthalmometer, cornea, anterior surface, posterior surface.

El origen del índice de refracción 1,3375 como índice promedio del ojo no es completamente conocido.

1,3375 es una cifra que representa un índice de refracción o, al menos, se usa como tal. Ciertamente, los oftalmómetros, mal llamados keratómetros, lo utilizan para calcular la curvatura de la córnea. Esto es bien conocido por optómetras, en particular por optómetras contactólogos, que frecuentemente manejan la familiar tabla de conversión de dioptrías a radio de curvatura y viceversa. Así, por ejemplo, en dicha tabla, un radio de curvatura de 7,5 mm corresponde a un poder corneal de 45,00 dioptrías, y el radio de una córnea de 44,00 dioptrías es 7,67 mm.

El fundamento óptico de la relación curvatura y radio en las superficies refractivas que separan dos medios de diferente índice de refracción es la conocida fórmula:

$$\text{Dioptrias} = (n_2 - n_1) / R$$

Donde n_2 representa el índice del segundo medio, n_1 el índice del primer medio y R , el radio de curvatura expresado en metros. Ahora bien, los oftalmómetros están diseñados expresamente para calcular el radio de curvatura del espejo corneal, de acuerdo con la fórmula para reflexión:

$$R = 2dI / O$$

Donde R es radio, d , distancia de la córnea a las miras, I , tamaño de la imagen y O , tamaño del objeto. Una vez obtenido el radio, el instrumento, gracias a sus engranajes internos, hace la conversión de milímetros de radio a dioptrías de curvatura de la córnea, utilizando para ello el índice 1,3375. Algunos oftalmómetros solamente expresan la dioptrías y otros, las dioptrías y el radio. Cabe anotar que no todos los oftalmómetros utilizan dicho índice, lo que significa que el poder corneal en dioptrías varía de un instrumento a otro, aunque todos coinciden en la magnitud del radio de curvatura, dado que, como se dijo antes, el radio se calcula por reflexión, en la cual no interviene ningún índice de refracción. El punto importante hasta aquí es el índice 1,3375. ¿De dónde salió? ¿Dónde se encuentra? ¿Qué parte del ojo tiene tal índice? La respuesta es la misma para las tres preguntas. El índice 1,3375 no existe, no se encuentra en ninguna parte y ninguna parte del ojo lo tiene.

Las investigaciones de Gullstrand (1862-1930), aceptadas universalmente, revelan datos importantes y estadísticamente comprobables sobre las constantes del ojo. Según el esquema de la figura 1, el índice global de refracción de un ojo esquemático, sin cristalino, es 1,38, que resulta de calcular el índice del ojo por la conocida fórmula de refracción de Snell, conociendo el índice del aire, el ángulo que forma el rayo incidente con la proyección del radio de curvatura de la córnea y el ángulo que forma el rayo refractado en el interior del ojo con el mismo radio de curvatura de la córnea.

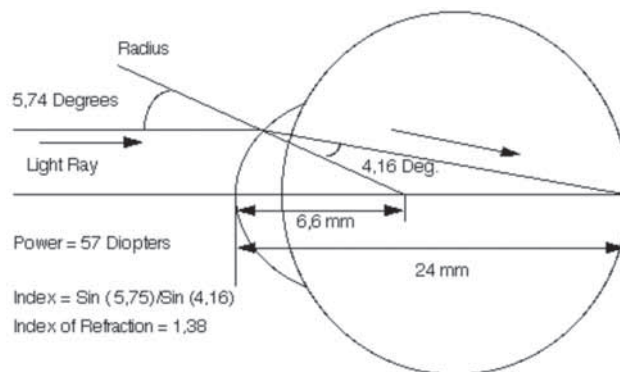


FIGURA 1. ÍNDICE GLOBAL DE REFRACCIÓN DEL OJO ESQUEMÁTICO DE GULLSTRAND.

También debemos a Gullstrand la determinación más detallada de las características ópticas del ojo así:

- Radio superficie anterior córnea: 7,8 mm.
- Radio superficie posterior córnea: 6,5 mm.
- Índice de refracción córnea: 1,376.
- Índice de refracción acuoso: 1,336.
- Índice promedio cristalino: 1,338.
- Índice de refracción vítreo: 1,336.

Como puede verse, el índice 1,3375 no parece tener origen conocido. Sin embargo, Bausch & Lomb Optical Company diseñó su keratómetro con dicho índice con el objeto de compensar el poder negativo de la superficie posterior de la córnea y así proporcionar una potencia óptica de la córnea como si fuera una superficie refractiva única. Otros fabricantes (la mayoría) siguieron el ejemplo y hoy tenemos como resultado

unas cifras ficticias de poder corneal en dioptrías, cifras que se toman como base para adaptar lentes de contacto, realizar cirugías refractivas e interpretar todas las variedades de topografía corneal.

OFTALMOMETRÍA Y PODER CORNEAL

Hagamos un ejercicio para ilustrar dónde se encuentra el problema. Calculemos el poder de la córnea de dos maneras:

1. Teniendo en cuenta el índice del aire, el índice real de la córnea, la superficie anterior, la posterior y el acuoso. El espesor se omite, dada su mínima influencia en los resultados.
2. Con el índice 1,3375, tomando solamente la superficie anterior en contacto con el aire, como lo hace el keratómetro de B & L.

TABLA 1. COMPARACIÓN DEL PODER CORNEAL CALCULADO SEGÚN GULLSTRAND Y EL PODER SEGÚN ÍNDICE DE BAUSCH & LOMB.

Poder Corneal (Gullstrand)				
(Se omite el espesor)				
Índice aire	1,000			
Índice córnea	1,376			
Índice acuoso	1,336			
Radio superficie anterior	7,800	mm		
Poder superficie anterior			48,21	dpt.
Radio superficie posterior	6,500	mm		
Poder superficie posterior			-6,15	dpt.
Poder total córnea			42,05	dpt.
<hr/>				
Poder corneal (B & L)				
(Se omite el espesor)				
Índice aire	1,000			
Índice córnea	1,3375			
Radio superficie anterior	7,800	mm		
Poder total córnea			43,27	dpt.
Diferencia			1,22	dpt.

Según este ejercicio, la diferencia de 1,22 dioptrías puede ser importante o no, dependiendo de la actividad clínica que se esté realizando. Ciertamente, no es lo mismo un examen rutinario de refracción que una adaptación de lentes de contacto o los cálculos para programar una cirugía refractiva que se fundamente específicamente en la curvatura y el poder corneales.

La magnitud de la diferencia entre calcular el poder de la córnea con un índice o con otro no es constante, como se puede ver en la tabla 2: cuanto más corto el radio, mayor poder corneal y menor la diferencia entre los dos cálculos.

TABLA 2. COMPARACIÓN DEL PODER CORNEAL CALCULADO CON ÍNDICE 1,376, INCLUYENDO LA SUPERFICIE POSTERIOR, Y CON ÍNDICE 1,3375, EXCLUYENDO LA SUPERFICIE POSTERIOR.

Radio córnea mm.	Poder córnea n = 1,376, y Superficie Posterior dioptrías	Poder córnea n = 1,3375, sin Superficie Posterior dioptrías	Diferencia dioptrías
8,50	38,08	39,71	1,63
8,40	38,61	40,18	1,57
8,30	39,15	40,66	1,51
8,20	39,70	41,16	1,46
8,10	40,27	41,67	1,40
8,00	40,85	42,19	1,34
7,90	41,44	42,72	1,28
7,80	42,05	43,27	1,22
7,70	42,68	43,83	1,15
7,60	43,32	44,41	1,09
7,50	43,98	45,00	1,02
7,40	44,66	45,61	0,95
7,30	45,35	46,23	0,88
7,20	46,07	46,88	0,81
7,10	46,80	47,54	0,74
7,00	47,56	48,21	0,65

Si centramos nuestro estudio en la superficie anterior de la córnea omitiendo todo lo demás encontramos la siguiente tabla:

TABLA 3. COMPARACIÓN DEL PODER DE LA SUPERFICIE ANTERIOR DE LA CÓRNEA CALCULADA CON ÍNDICE 1,376 Y 1,3375.

Radio mm	Superficie anterior córnea			Diferencia %
	Poder n = 1,376 Dioptrías	Poder n = 1,3375 Dioptrías	Diferencia Dioptrías	
8,50	44,24	39,71	4,53	11,41
8,40	44,76	40,18	4,58	11,41
8,30	45,30	40,66	4,64	11,41
8,20	45,85	41,16	4,70	11,41
8,10	46,42	41,67	4,75	11,41
8,00	47,00	42,19	4,81	11,41
7,90	47,59	42,72	4,87	11,41
7,80	48,21	43,27	4,94	11,41
7,70	48,83	43,83	5,00	11,41
7,60	49,47	44,41	5,07	11,41
7,50	50,13	45,00	5,13	11,41
7,40	50,81	45,61	5,20	11,41
7,30	51,51	46,23	5,27	11,41
7,20	52,22	46,88	5,35	11,41
7,10	52,96	47,54	5,42	11,41
7,00	53,71	48,21	5,50	11,41

Podemos apreciar fácilmente que el poder de la superficie anterior obtenida con el keratómetro de B & L (o la mayoría de los oftalmómetros) es un 11,41% inferior a la lectura real que obtendríamos si el instrumento estuviera calibrado para el índice real de la córnea.

CIRUGÍA REFRACTIVA

El caso de la cirugía es un poco preocupante. Siendo un procedimiento de alta precisión, no es fácilmente

entendible que el fundamento de sus cálculos sea un índice de refracción ficticio, aunque sorprende que a pesar de ello sus resultados sean óptimos. Supongamos un ejemplo: pacientes con diversas ametropías, pero todas con una curvatura corneal inicial de 44,00 dpt. En la tabla 4 aparecen las ametropías con sus signos usados corrientemente: miopía negativa, hipermetropía, positiva. Esta tabla representa una situación clínica real y se fundamenta en índice 1,3375 (ficticio).

TABLA 4. PROCEDIMIENTO CLÍNICO REAL PARA DIVERSAS AMETROPIAS.

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
$(N_2 - N_1) * 1000$	Ametropía	K inicial	Radio inicial	K deseada	Radio final
		(1,3375)	(1,3375)	(1,3375)	(1,3375)
337,5	-5,00	44,00	7,67	39	8,65
337,5	-4,00	44,00	7,67	40	8,44
337,5	-3,00	44,00	7,67	41	8,23
337,5	-2,00	44,00	7,67	42	8,04
337,5	-1,00	44,00	7,67	43	7,85
337,5	0,00	44,00	7,67	44	7,67
337,5	1,00	44,00	7,67	45	7,50
337,5	2,00	44,00	7,67	46	7,34
337,5	3,00	44,00	7,67	47	7,18
337,5	4,00	44,00	7,67	48	7,03
337,5	5,00	44,00	7,67	49	6,89

Columna 1: factor resultante de restar el índice 1 del índice 2 y multiplicar la diferencia por 1000.

Columna 2: ametropías; signo negativo, miopías; signo positivo, hipermetropías.

Columna 3: curvatura corneal inicial (valor K) de 44,00 dioptías.

Columna 4: radio de curvatura calculado a partir del valor K con índice 1,3375. Este radio es verdadero.

Columna 5: curvatura corneal deseada para corregir la ametropía.

Columna 6: radio final, correspondiente con la curvatura deseada (columna 5).

Anotemos que los radios (columnas 4 y 6) son absolutamente reales y verdaderos por lo dicho antes: los oftalmómetros miden radios de curvatura por reflexión. Además, los valores de ametropías también son reales y resultan del examen de refracción anterior a la cirugía. Veamos qué ocurre cuando aplicamos el índice real de la córnea de 1,376.

La tabla 5 muestra que en todas las ametropías los resultados son de hipercorrección. Las córneas de los miopes quedan más planas de lo que se pretende (ligeramente hipermétropes) y las de los hipermétropes, más curvas de lo deseado (ligeramente miopes).

Desde luego, todo lo anterior es un estudio puramente teórico que se podría contrastar de manera estadística con resultados clínicos de pacientes reales. Los reportes conocidos muestran que en general los miopes quedan con una corrección adecuada y la refracción final es muy cercana a la emetropía. En los hipermétropes mayores de 45 años, son frecuentes las hipocorrecciones, lo cual va en contravía con las cifras presentadas. La conclusión final es que se hace necesaria una confrontación estadística entre los resultados teóricos y los clínicos.

TABLA 5. REALIDAD DEL ACTO QUIRÚRGICO APLICANDO EL ÍNDICE REAL DE LA CÓRNEA, 1,376

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-
Ametropía	$(N_2 - N_1) * 1000$	Radio inicial	K inicial (1,376)	Radio final Post Qx	K final (1,376)	Dioptrias corregidas	Diferencia con Rx deseada
-5,00	376	7,67	49,02	8,65	43,45	5,57	0,57
-4,00	376	7,67	49,02	8,44	44,56	4,46	0,46
-3,00	376	7,67	49,02	8,23	45,68	3,35	0,35
-2,00	376	7,67	49,02	8,04	46,79	2,23	0,23
-1,00	376	7,67	49,02	7,85	47,91	1,12	0,12
0,00	376	7,67	49,02	7,67	49,02	0,00	0,00
1,00	376	7,67	49,02	7,50	50,13	-1,11	-0,11
2,00	376	7,67	49,02	7,34	51,25	-2,23	-0,23
3,00	376	7,67	49,02	7,18	52,36	-3,34	-0,34
4,00	376	7,67	49,02	7,03	53,48	-4,45	-0,45
5,00	376	7,67	49,02	6,89	54,59	-5,57	-0,57

Columna 1: factor resultante de restar el índice 1 del índice 2 y multiplicar la diferencia por 1000.

Columna 2: radio inicial que corresponde al valor K (B & L) de 44,00 dioptrías.

Columna 3: valor real de la curvatura corneal aplicando el índice de 1,376.

Columna 4: radio final proveniente de la columna 6 de la tabla 4.

Columna 5: curvatura corneal final obtenido con el radio final (columna 4) e índice 1,376.

Columna 6: corrección lograda quirúrgicamente en dioptrías (K inicial-K final).

Columna 7: diferencia entre la corrección deseada y el resultado final de la cirugía.

REFERENCIAS

- Borish, I. (1975) *Clinical refraction*. Chicago: The Professional Press.
- Duke-Elder, S. (1970). *Ophthalmic optics and refraction*. Londres: Henry Kimpton.
- Pascal, J. (1952). *Selected studies in visual optics*. St. Louis: The C. V. Mosby Company.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Keratometer>