

David Flikier, M.D.
Director Médico
Instituto de Cirugía Ocular
david@flikier.com
www.institutodecirugiaocular.com
San José, Costa Rica

MANEJO AVANZADO DEL ASTIGMATISMO

1-Introducción:

Actualmente, no basta con tener un resultado anatómico perfecto luego de la cirugía de catarata mediante facoemulsificación (con una técnica bien depurada y limpia), más el implante de un lente intraocular plegable perfectamente centrado dentro del saco capsular. Es imperativo que el resultado refractivo sea lo más preciso posible, para lograr, el objetivo esperado por el paciente; 20/contento-excelente. El éxito de la cirugía ya no se mide por la ausencia de complicaciones trans o post operatorias sino por el resultado refractivo obtenido; siendo los defectos residuales de los mismos, la principal causa de litigios legales en los Estados Unidos de Norte América (18).

Esta precisión en el resultado óptico, no solo se obtiene por los avances en el procedimiento quirúrgico, utilizando equipos modernos de facoemulsificación y lentes intraoculares Premium (de alta tecnología) (2), sino también, por el abordaje preoperatorio y el cálculo del poder del lente intraocular (LIO) de la manera más precisa, con fórmulas de cuarta y quinta generación, así como biómetros (24) y tomógrafos que permiten utilizar una mayor cantidad de variables en busca de la exactitud deseada. Para poder obtener un resultado refractivo óptimo, no podemos conformarnos con la corrección de la esfera, la presbicia, y la manipulación de la aberración esférica. Un resultado astigmático mayor a las 0,5 dioptrías (D) (91) no es aceptado por el paciente sometido a cirugía faco-refractiva, debido a los síntomas de sombras e imágenes fantasmas percibidas.

Si observamos la distribución del astigmatismo en la población general (21), encontramos reportes de incidencia muy variables, del 30% al 75%, de acuerdo al equipo utilizado y al valor considerado como significativo. Estudios recientes, como el de Warren Hill (28) indican que un 35% de la población presenta un astigmatismo preoperatorio corneal (cara anterior), superior a los 0,75 D y superior a las 0,50 D en el 75%. Además encuentran astigmatismos mayores de 2,00 D entre el 3 al 15% (21, 28). Sin lugar a duda, actualmente el paciente operado de catarata busca eliminar la necesidad de utilizar anteojos y esto solo se alcanza con el implante de un lente intraocular que corrija la presbicia (69, 90), y que reduzca o corrija la aberración esférica y el astigmatismo residual (23, 25, 49, 50, 66, 67, 70, 72, 77, 78, 80, 81).

La distribución del eje de estos astigmatismos es variable, considerándose que lo más frecuente es encontrar astigmatismos con la regla (meridiano más curvo a 90 grados), y una tendencia a aumentar el porcentaje de astigmatismos contra la regla en la tercera edad.

Ho et al (29, 30), demuestran que en las primeras décadas de la vida, estos astigmatismos tienden a ser en su mayoría con la regla (mayor curvatura en el meridiano vertical 90 grados). Además reportan un encurvamiento progresivo corneal con la edad, siendo mayor en el meridiano horizontal, por lo que existe una rotación del meridiano de mayor poder a 180 grados (contra la regla) después de la séptima década. Este incremento de la curvatura corneal en promedio es menor a 0.1 mm de radio, lo que produce un cambio total en la esfera menor de 0,3 D.

El cambio que se observa con la edad en el eje del astigmatismo corneal (con la regla, hacia contra la regla), pone en discusión la opción de dejar al paciente joven operado de catarata, con un grado pequeño de astigmatismo con la regla, para que tenga una reserva, y así evitar con los años, la aparición de un astigmatismo contra la regla mayor.

En 1997 Trindade et al (82), recomendaron la idea de dejar un pequeño astigmatismo contra la regla, para aumentar la profundidad de foco con lentes monofocales, induciendo una especie de multifocalidad al aumentar el conoide de Sturm,

sin embargo estudios más recientes como el de Savage et al (69) recomiendan dejar el resultado refractivo lo más esférico posible .

Las investigaciones de Novis et al (60), Singh et al (73) y Vinas et al (87, 88), aportan información valiosa en cuanto a la agudeza visual alcanzada y a la tolerancia del astigmatismo, en diferentes distancias y en diferentes ejes astigmáticos. La mayor tolerancia del astigmatismo para visión lejana (mayor agudeza visual) se obtuvo con un pequeño astigmatismo con la regla, y en visión cercana para lectura con un pequeño astigmatismo contra la regla (82). Esto se debe a que la tipología utilizada (las letras greco-latinas) se conforma principalmente de imágenes verticales y horizontales. En este estudio se encontró que en orden de frecuencia de disminución de la calidad visual en tolerancia de astigmatismo era primero el astigmatismo con la regla, con agudezas visuales de 20/30 (con 1,00 D de astigmatismo con la regla), en segundo lugar el astigmatismo contra la regla, con agudezas visuales de 20/40 (con 1,00 D de astigmatismo contra la regla) y por último los astigmatismos oblicuos que alcanzan agudezas visuales menores de 20/40 (con 1,00 D de astigmatismo oblicuo) (73, 87). Por lo tanto se concluye que si dejáramos algún astigmatismo residual, el ideal sería un astigmatismo de bajo grado con la regla.

Para determinar el astigmatismo residual que se desea obtener luego de un procedimiento quirúrgico, la medición preoperatoria de la curvatura corneal y su eje astigmático es muy importante (3, 24). Existe discusión en cuanto a cual es el mejor método para obtener los datos de esta queratometría preoperatoria (76). Usualmente se utiliza el queratómetro manual, el auto-refracto-queratómetro, los topógrafos de plácido, los tomógrafos, y las queratometrías automatizadas de biómetros ópticos. Estas últimas se consideran las más adecuadas, por lograr estudiar zonas ópticas más pequeñas (Lenstar 32 puntos en dos círculos de 1,65-2,3 mm).

Sin embargo a pesar que el utilizar las queratometrías del Lenstar (después de validar la desviación estándar de las medidas, < 0.3 D y eje $< 3,5$ grados) (28), e introducirlas en el calculador para lente intraocular tórico, es una práctica considerada

como el estándar, existen casos que aún con una técnica quirúrgica ideal en cuanto a marcación y colocación del lente intraocular, no se obtienen resultados óptimos.

Las causas de esta situación serán discutidas en detalle.

2- Cuáles son los vectores astigmáticos que deben ser tomados en cuenta en la corrección del astigmatismo en una cirugía de catarata?

a- Astigmatismo corneal preexistente, influencia del astigmatismo de cara posterior. (Poder astigmático total y eje real del astigmatismo total de la córnea).

Las investigaciones de Dubbelman et al (22) en el 2006, Atchison et al (14) en el 2008 y Jau-Der Ho et al (38) en el 2009, encontraron que existe un astigmatismo de cara posterior. Esta diferencia de curvatura de la cara posterior, coincide con la curvatura mayor en el meridiano vertical (90 grados), en un alto porcentaje de los casos. La mayor curvatura vertical de cara posterior, a diferencia de la cara anterior, produce un pequeño astigmatismo contra la regla, debido a la diferencia entre los índices de refracción de la córnea y el humor acuoso. Debido a esta diferencia entre los índices de refracción entre aire-córnea-humor acuoso, el cambio de curvatura de la cara anterior produce un cambio del poder de la córnea 8 veces mayor que el de la cara posterior.

La cara posterior de la córnea compensa en promedio, un 22% el astigmatismo de cara anterior. Por ejemplo un astigmatismo con la regla de 1,00 D en la cara anterior, presenta en promedio una disminución de unas 0,22 D, por un astigmatismo contra la regla de la cara posterior, siendo el astigmatismo total de la córnea de 0,78 D con la regla.

En promedio el astigmatismo de cara anterior es 3 veces mayor que el de la cara posterior, siendo el promedio de astigmatismo de cara anterior $-0,80\text{ D } (+_0,41\text{ D}) \times 8,8^\circ$, y el de cara posterior $0,33\text{ D } (+_0,12\text{ D}) \times 3,9^\circ$.

Los siguientes conceptos ópticos fueron confirmados por los estudios del Dr.

Douglas Koch (40, 41):

- La cara posterior de la córnea induce un cierto grado de astigmatismo de $\pm 0,3$ D
- En un alto porcentaje este es contra la regla (86.6%).
- Esta curvatura vertical posterior, induce un astigmatismo contra la regla de $\pm 0,22$ D, siendo en un 5%, mayor a las 0,50 Dioptrías.
- Con la edad disminuye este astigmatismo de cara posterior en forma mínima, (0,025 mm en radio por año), con un efecto clínico casi de 0 y aumenta el anterior (0,029 mm por año) contra la regla (efecto mayor de la cara anterior contra la regla con la edad), por eso la tendencia a disminuir el astigmatismo con la regla con la edad.
- La correlación del astigmatismo de cara posterior contra la regla es muy alto en casos de astigmatismo con la regla de cara anterior. Esto quiere decir que un astigmatismo con la regla elevado de cara corneal anterior, tiene un mayor astigmatismo de cara posterior contra la regla, por lo que el valor total del astigmatismo corneal con la regla es mucho menor. La correlación en astigmatismos oblicuos o contra la regla (de cara anterior) es muy baja.
- En astigmatismos con la regla, el astigmatismo de cara posterior es proporcional al de la cara anterior. El astigmatismo posterior es $\pm = (\text{Astigmatismo anterior} \times 0,1) \pm 0,3$ (dato derivado estadísticamente).

Con respecto al eje astigmático, S. Srivannaboon, et al (76), encontraron que en astigmatismos altos puede existir un cambio del eje del astigmatismo mayor de 10 grados cuando se calcula el astigmatismo total de la córnea vs. el de la cara anterior. Este dato es fundamental para la colocación de un lente intraocular tórico, en relación a la pérdida del poder efectivo del lente por cada grado de error en el eje correcto a colocar (ver explicación más adelante).

b- Astigmatismo inducido por la incisión quirúrgica

Múltiples estudios (Lyle et al (44), Maloney et al (45), Masket et al (46, 47)) evidencian que la inducción astigmática no debe ser obviada. El promedio de los cirujanos tiene una inducción astigmática de 0,38 D, con una incisión corneal principal de 2,2 mm (faco micro-coaxial), aplanándose el meridiano donde se realiza la incisión (28, 44, 45, 46, 47).

Si uno desea utilizar esta inducción astigmática para reducir el astigmatismo residual después de la cirugía, se propone realizar la incisión primaria de la cirugía en el meridiano más curvo (39, 53), y en caso de requerir mayor corrección, ampliarla (aumentar el arco) y/o hacerla más central (más próxima al eje visual, y alejada del limbo). Además se puede realizar una segunda incisión a 180 grados de la principal, para aumentar el efecto de corrección astigmática (43, 53, 58).

Todo cirujano debería calcular su propio astigmatismo quirúrgico inducido. Una opción para este cálculo es el de utilizar aplicaciones ya existentes en la web, como la propuesta por Warren Hill, en su página <http://www.doctor-hill.com/physicians/download.htm>, con su SIA (surgical induced astigmatism calculator), con una hoja de Excel desarrollada por Haigis, requiriendo de al menos 200 casos completos, para determinar adecuadamente el astigmatismo inducido.

Kaufmann et al (39) proponen que es más sencillo intentar una incisión neutra y la corrección del astigmatismo restante por incisiones arqueadas o con LIO's tóricos.

Existen varios motivos para una confusión que se observa con frecuencia entre los cirujanos de faco en cuanto al astigmatismo inducido dependiendo del sitio de la incisión principal, temporal vs. superior. Se trata de la falsa sensación por parte de los cirujanos temporales (incisión en el eje horizontal), que su incisión no induce astigmatismo. Esta idea se produce por dos factores, el primero es la distancia mayor entre el eje visual y el sitio de la incisión en el limbo temporal comparado con la incisión superior, reduciéndose el factor de inducción astigmática, pero el más importante y a veces no tomado en cuenta, es el hecho de que existe como mencionamos anteriormente un astigmatismo contra la regla de la cara posterior de unos 0,3 D en el 86,6% de los casos. La incisión temporal está corrigiendo este astigmatismo de cara posterior y el resultado óptico final (no el

queratométrico de la cara anterior) es el de una inducción astigmática de 0, cuando se ve el resultado óptico final. En el caso de la incisión superior, el efecto es inverso y por eso la sensación de mayor inducción astigmática en el meridiano a 90 grados, donde se suman el efecto de la incisión, aplanamiento del meridiano vertical, con el astigmatismo contra la regla de cara posterior, sumando el efecto y pudiendo llegar a ser de 0,6-0,7 D. Por esta razón el Dr. Douglas Koch (40, 41) desarrolló el nomograma de Baylor para el cálculo de la corrección astigmática con lentes tóricos, de acuerdo si la incisión principal se realiza a 90 o 180 grados.

En mi opinión lo ideal es incluir en un programa ambos astigmatismos, tanto el inducido en la cara anterior por la incisión quirúrgica (SIA)(cambio queratométrico), como el que el paciente tiene en la cara posterior, para tener el mejor resultado óptico. Es importante entender que el astigmatismo de cara anterior no va a coincidir con el resultado óptico, por lo que para observar resultados estadísticos en lentes tóricos, lo importante será la corrección del astigmatismo total ocular y no el relacionado con el queratométrico.

**c- Poder real del astigmatismo corregido por los lentes intraoculares tóricos.
Influencia de las características del ojo.**

Aunque está demostrada la estabilidad en la corrección del astigmatismo con lentes intraoculares tóricos (17, 48, 49, 67, 78, 81, 84, 86), debe de tomarse en cuenta un factor muy importante que no está incluido en todos los calculadores que se encuentran en la web. Este factor es la longitud axil. Otras características que deben ser tomadas en cuenta incluyen la ACD (cámara anterior preoperatoria), el espesor del cristalino y la curvatura corneal, las cuales pueden variar la ELPo (posición efectiva del lente intraocular). El poder de toricidad del lente intraocular que se requiere para corregir un mismo astigmatismo corneal a nivel del lente intraocular es diferente en un ojo grande o un ojo pequeño. Por ejemplo, para corregir un astigmatismo corneal de 4,00 D, (córnea promedio de 43,50 D, 41,5-45,5 D), en un ojo extremo, grande con longitud axil de 31 mm, donde el poder que se requiere en el lente intraocular para corregir este astigmatismo de 4,00 D es de 7,1 D, mientras que en un ojo pequeño extremo de 22 mm de longitud axil, el poder de corrección

astigmático que se requiere en el lente intraocular es un poder de 5,55 D para corregir las mismas 4,00 D de astigmatismo corneal. Estos datos dan una diferencia mayor de 1,50 D en el poder de toricidad del lente intraocular tórico entre un ojo grande y uno pequeño, para corregir la misma cantidad de astigmatismo corneal, por lo que se deduce que el lente intraocular tórico a colocar en cada caso debería ser diferente. (fig. #1)

Plano LIO	T9	6.0 D	corrección deseada
Plano corneal	4.11 D		
Longitud axil (mm)	se requiere en plano lio (D)	% que va a corregir	T9 corrige plano corneal (D)
21	5.55	108%	4.44
22	5.66	106%	4.36
23	5.78	104%	4.27
24	5.92	101%	4.17
25	6.07	99%	4.06
26	6.23	96%	3.96
27	6.38	94%	3.87
28	6.53	92%	3.78
29	6.70	90%	3.68
30	6.86	87%	3.59
31	7.04	85%	3.50

Fig #1. Ejemplo del cálculo de un lente intraocular tórico en un ojo promedio con córnea de 43,00 D. Corrección astigmática deseada de 4,11 D en plano corneal y supuesta de 6,00 D en plano del lente intraocular. Se evidencia la hiper corrección en ojos pequeños y la hipo corrección en ojos grandes.

La mayoría de los programas que se encuentran para el cálculo del lente intraocular tórico, no toman en cuenta este factor, por lo que en ojos miopes grandes, recomiendan colocar un lente intraocular tórico que subcorrige el defecto astigmático corneal y en ojos hipermétropes, un lente intraocular tórico que hipercorrige el defecto del cilindro corneal. (Fig. #2)

longitud axil (mm)	sub o sobre corrección (%)
21	108%
22	106%
23	103%
24	101%
25	98%
26	95%
27	94%
28	92%
29	90%
30	86%
31	85%

Fig #2. Cálculo del porcentaje de hiper corrección (>100%), e hipo corrección (<100%), del astigmatismo en el plano del lente intraocular tórico en relación a la longitud axil. Cálculos fueron realizados sobre un ojo con queratometría promedio de 43,00 D.

El Dr. Jack Holladay describió este efecto hace algunos años, y en sus programas HICSOAP (Holladay IOL Consultant Software & Surgical Outcomes Assessment) ya incluye la corrección de este error. Recientemente Savini et al (71), retoma el tema y da sus recomendaciones, dando importancia a la longitud axil y a la cámara anterior preoperatoria en el cálculo del poder tórico.

d- Astigmatismo y eje residual deseado

Existen varios factores por los cuales uno podría dejar un astigmatismo residual bajo a un eje determinado. Como ya fue discutido anteriormente, debido a la tendencia del incurvamiento dirigido contra la regla con la edad, en pacientes jóvenes optaríamos por dejar un astigmatismo residual con la regla. Este pequeño astigmatismo residual con la regla, permitiría una mejor calidad visual a este meridiano astigmático que cualquier otro, como se describió anteriormente, debido al predominio de la tipología vertical en la escritura greco-latina.

Por lo tanto si intentamos corregir el astigmatismo, deberíamos promover la rotación del eje hacia los 180 grados, dejando un defecto residual de unas 0,2-0,3 D. Si al colocar un lente tórico el calculador nos muestra dos posibles lentes, el primero dejando un astigmatismo bajo con la regla, y el otro un astigmatismo bajo contra la regla, deberíamos escoger el lente tórico que nos produzca el primer defecto residual (con la regla). Además es importante saber que dentro de los programas de cálculo de lente intraocular tórico de las casas comerciales, algunos buscan el lente intraocular tórico que corrija el cilindro, más cercano sin pasarse o cambiar el eje (Ej: Calculador de Alcon, para Lente intraocular tórico IQ, SN6ATx), y otros calculan el lente intraocular tórico que corrija buscando el menor cilindro residual (más cercano al cero) aunque se pase (produce un cambio del eje residual a 90 grados, Ej.: Calculador de Alcon, para lente intraocular Restor® toric, SND1Tx) . (Fig. #3)

	Restor toric	IQ toric
LIO Tórico	SND1 T5	SN6A T4
Equivalente esférico	22.00 D	22.00 D
Eje a colocar	86	86
Poder cilíndrico (plano del LIOI)	3.00 D	2.25 D
Poder cilíndrico (plano corneal)	2.06 D	1.55 D
Detalle de cálculos		
Astigmatismo preoperatorio corneal	2.50 D X 90	2.50 D X 90
Astigmatismo quirúrgico inducido	0.75 D X 10	0.75 D X 10
Resultado de cilindro-cruzado (plano corneal)	1.81 D X 86	1.81 X 86
ASTIGMATISMO RESIDUAL ANTICIPADO	0.25 D X 176	0.26 D X 86

Fig #3. Cálculo de lente intraocular Tórico, con características biométricas idénticas.

Primer columna calculado con el calculador de Alcon Lab. Restor® toric, Observándose que el cálculo tiende a una sobre-corrección (T5), produciendo un residual con un eje a 90 grados. En la segunda columna, calculado con el calculador de Alcon Lab para Lente intraocular tórico monofocal, Subcorrige (T4), sin pasarse , dejando el mismo eje.

e- Corrección parcial del astigmatismo con lentes intraoculares tóricos y del residual con incisiones arqueadas o relajantes limbares

Desde los años 80's el Dr. Osher (62, 63), viene proponiendo la corrección del astigmatismo en la cirugía de catarata con cirugía incisional. Se han desarrollado muchos nomogramas (19, 43, 51, 53), pero el resultado depende de múltiples factores que no siempre son predecibles. Estos factores incluyen, correcciones elevadas, la edad, el eje astigmático, el espesor de la córnea en el sitio de la incisión, y sobre todo el inducido por la mano del cirujano. La gran acogida que tienen estas incisiones relajantes limbares en los

Estados Unidos de América es que los seguros médicos las remuneran adicionalmente al procedimiento de faco.

Dichas incisiones se pueden agrupar bajo el término de queratotomías astigmáticas e incluyen el grupo de las incisiones relajantes limbares (IRL) (19, 51, 53-58) y las queratotomías arqueadas. Las IRL, son consideradas más estables, fáciles de realizar, pero logran menores correcciones, debido a la distancia entre el limbo y el ápice corneal, permitiendo correcciones en general bajas. Las queratotomías arqueadas, permiten correcciones más elevadas, pero son dependientes de múltiples factores, como la edad (mayor corrección a mayores edades), zona óptica (mayores correcciones a zonas ópticas menores), y aumentando el efecto de coupling (encurvamiento del meridiano a 90 grados de la incisión), el arco de la incisión (a mayor arco, mayor corrección), la profundidad de la incisión (% en relación a espesor corneal, a mayor profundidad, mayor corrección), la apertura de la incisión (Epitelio y Bowman, el abrir Bowman y epitelio aumenta la corrección en el caso del Femtosecond laser, donde la incisión se puede realizar sub-Bowman). Estos factores hacen de la cirugía incisional poco predecible (16), con pérdida de la corrección en el tiempo por cicatrización o sobre corrección si la incisión se entreabre y se producen micro quistes epiteliales dentro de la misma, principalmente en el caso de incisiones en el meridiano de 180 grados (horizontal), donde por el efecto de los párpados, y el efecto mano/ojo (rascado y frote ocular), las incisiones tienden a entreabrirse, y en el caso de queratotomías trapezoidales (Ruiz L), tienden a abrirse en el cuadrante inferior por efecto del párpado inferior. Esta inestabilidad de la incisión y la cicatriz podrían ser evitadas con las técnicas de femtosecond láser subepiteliales.

Poll et al (66), encontraron que en correcciones pequeñas de astigmatismo, menores de 1,50 D, se lograban resultados finales promedio de astigmatismo residual con incisiones relajantes corneales periféricas de 0,46 D, en comparación con los resultados con Lios tóricos de 0,42 D.

Con el advenimiento de los equipos modernos de láser de femtosegundo, se pasa a una nueva era, donde algunas de las variables descritas anteriormente ya pueden ser controladas, como:

1. Espesor del sitio de la incisión, controlado por paquimetría de OCT *in vivo*.

2. Exactitud en la profundidad y colocación de la incisión, con ángulos predeterminados.

3. Posibilidad de realizar las incisiones intraestromales (no penetrantes) (85).

El femtosegundo permite resultados más estables no solo para IRL (incisiones limbares relajantes) consideradas hasta ahora más seguras y predecibles, por producir menores cambios en el eje astigmático, inducir menos astigmatismos irregulares y ser más predecibles en el factor de incurvamiento del meridiano opuesto (efecto coupling 1:1), sino también en incisiones arqueadas con zonas ópticas mayores a los 7,5 mm.

Estas ventajas han hecho que aún los cirujanos más escépticos se hayan vuelto proponentes del láser de femtosegundo.

Slade (74), logra correcciones de astigmatismos bajos $<1,50$ D, con incisiones arqueadas con femto, con resultados de cilindros residuales de 0,41 D, equivalentes a los obtenidos con lentes intraoculares tóricos. La clave en la cirugía con láser de femtosegundo, se basa en el guiado por imágenes, permitiéndose colocar la incisión en el eje exacto, a la profundidad determinada en vivo, con un arco predeterminado preciso, con incisiones sub-epiteliales, evitándose el riesgo de entre-abertura, y reduciendo el riesgo de pérdida o sobre corrección. Si sabemos que un 75% de los pacientes tienen al menos 0,50 D de astigmatismo, y un 36% mayores de 0,75 D, porqué no corregir a este alto porcentaje de pacientes con defectos bajos con cirugía incisional?

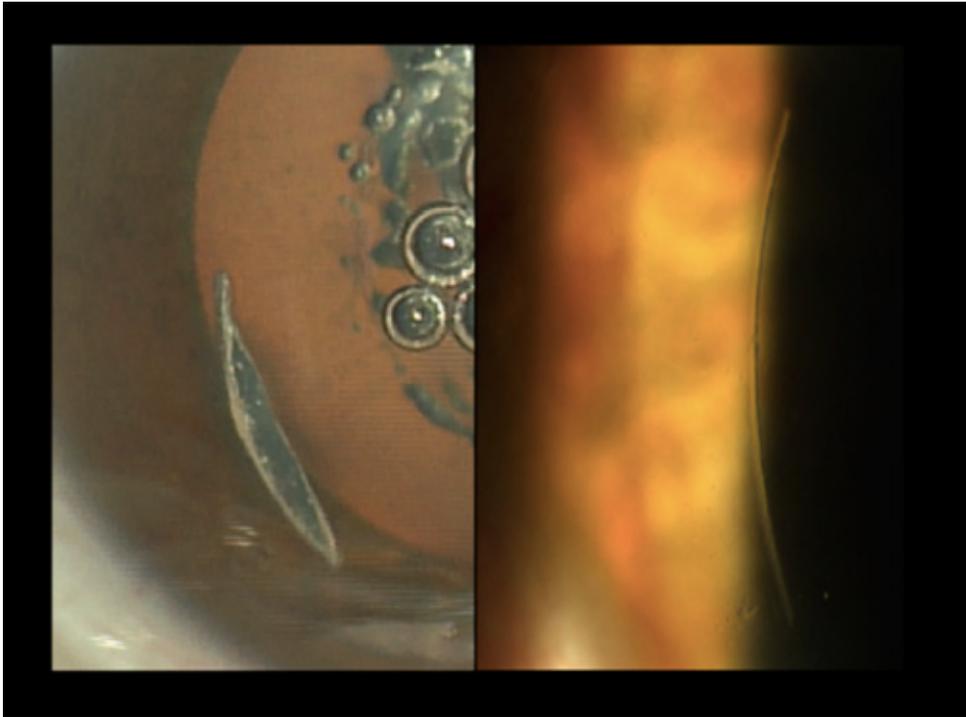


Fig.#4. Fotografía de lámpara de hendidura de incisión arqueada realizada con láser de Femtosegundo, subepitelial, al 88% de profundidad, transoperatorio (exciclotorsión en decúbito dorsal) y dos días postoperatorios (lámpara de hendidura).

Debido a que los lentes intraoculares tóricos vienen en pasos de aproximadamente 0,50 D y que no existen lentes intraoculares tóricos para defectos bajos (menores de 1,00 D) o muy elevados (mayores de 4-4,5 D) (36), es comprensible que siempre quede un defecto residual astigmático, que en ocasiones no es deseado. Este defecto residual, si es pequeño, puede ser corregido con los sistemas nuevos de IRL o queratotomías arqueadas con Femtosegundo (Fig. #4.). Los nomogramas para estas correcciones están en desarrollo y permitirán en algunos casos realizar correcciones asimétricas para corrección de astigmatismos irregulares por medio de tomografía.

En casos de bajos astigmatismos, donde se desea colocar un lente intraocular multifocal, la queratotomía astigmática puede ser una opción para realizar la cirugía, sin tener que colocar un lente intraocular tórico, y alcanzar un resultado visual bueno.

f- Asegurar el eje del astigmatismo al que se desea colocar el lente intraocular tórico.

El error en la colocación del lente intraocular tórico en relación al eje astigmático produce una pérdida rápida del poder de corrección tórica. Este error es de 3,3% con solo un grado de rotación del lente intraocular tórico, casi del 15 % con el error de 5 grados, y es del 100% con 30 grados de rotación (1) (Fig. #5). Este error se puede calcular de acuerdo a la fórmula:

$$\text{ERROR DIÓPTRICO} = 2 * \text{CILINDRO} * \text{SENO} (\text{ERROR ANGULAR})$$

ERROR DIOPTRICO vs.ERROR ANGULAR
Ejemplo para 2.0 D de astigmatismo
Error Dioptrico = 2 * Cyl * seno (error angular)

ERROR ANGULAR (º)	ERROR DIOPTRICO (D)	% ERROR
0	0.00	0%
15	1.04	52%
30	2.00	100%
45	2.83	141%
60	3.46	173%
75	3.86	193%
90	4.00	200%

Fig. #5. Tabla que muestra el error dióptrico en relación al error angular en la colocación del lente intraocular tórico. Ejemplo de un astigmatismo de 2,00 D.

Si queremos tener resultados reproducibles, debemos ser muy cuidadosos con la forma de determinar y marcar el eje predeterminado y la posición final en que se coloca el lente intraocular tórico. Por lo tanto es importante que el lente que coloquemos tenga demostrada una estabilidad rotacional muy alta (2, 15, 17, 52, 65, 81, 84).

Existen dos factores importantes. El primero es el de decidir si se va a colocar el lente intraocular en el eje del astigmatismo queratométrico (cara anterior), o en el eje del astigmatismo corneal total. La medición del astigmatismo queratométrico se realiza por queratómetro, Lenstar o IOL Master, o topográfico de cara anterior. Si se desea medir el astigmatismo corneal total, se debe hacer la medición adicional del astigmatismo de cara posterior mediante la tomografía (Pentacam® o Galilei®). En teoría este último es el ideal, sin embargo el problema que se presenta está, en si los equipos con los que actualmente contamos son capaces de medir en forma realmente adecuada tanto el astigmatismo total como el eje real.

El segundo punto está en tener a la hora de cirugía, la oportunidad de colocar el lente intraocular tórico en el eje deseado. Para esto existen varias opciones:

1- Marcar el paciente en posición supina, para evitar el error por ciclorsión con el decúbito dorsal (61). Esta marca se puede realizar con diferentes métodos:

A: Con la luz coaxial de la lámpara de hendidura, y una marca con aguja y/o bolígrafo

B: Marca con un accesorio montado sobre el tonómetro Goldmann en la lámpara de hendidura

C: Marcas con coagulación bipolar, fotocoagulación o Yag láser.

D: Marcador pendular o de burbuja con el paciente sentado en pre anestesia.

E: Marcador eléctrico de Akahoshi.

F: Observación y foto de estructuras episclerales o iridianas sobre ejes específicos.

1- Utilizar equipos más modernos que tomen características del ojo (iris o vasos episclerales), como el VERION™® (Image Guided System, Alcon) , y el Callisto® eye (Carl Zeiss Meditec) que permiten dar una imagen en el microscopio, para la colocación con eye tracking activo, del eje exacto.

2- Equipos de aberrometría transoperatoria como el ORA® (Wave Tec Vision), y el Holos Surgical Wavefront Aberrometer (Clarity Medical System, Inc.), que nos den el resultado en tiempo real de la corrección del astigmatismo y permitan la rotación

transoperatoria del lente intraocular tórico, en busca del menor defecto tórico residual (64, 93).

g- Técnica quirúrgica adecuada

Además de los factores mencionados en el punto anterior, existen algunos pasos de la cirugía que deben ser tomados en cuenta (34):

1- Es importante que la capsulorrexis debe ser circular y continúa, de un diámetro inferior a la óptica del lente intraocular, para asegurar un adecuado centrado y evitar la rotación o tilt postoperatorios que produzcan un resultado final inesperado (32, 34).

2- Aspiración completa del visco elástico, incluyendo el espacio retro lenticular, para evitar la rotación del eje del lente intraocular en el postoperatorio inmediato.

3- Asegurar una incisión principal sellante al final del procedimiento, para evitar la despresurización de la cámara y posible rotación del lente intraocular.

h- Corrección del defecto residual postoperatorio con excimer láser.

Las técnicas combinadas de faco y posterior excimer se agrupan bajo el nombre de Bioptics. Estas fueron descritas por Zaldivar (94), quien recomendaba la producción de un flap corneal previo al momento de la cirugía de faco y posteriormente una vez estabilizada la refracción, la corrección del defecto esférico y cilíndrico residual, levantando el flap previo. También se popularizó (56, 57, 58) la opción de la corrección con PRK o LASIK completo (haciendo el flap en el momento de la corrección astigmática), con buenos resultados. La opción de PRK resulta atractiva debido a la edad de los pacientes de catarata, tomando en cuenta los problemas de epitelio, membrana basal, ojo seco y problemas de superficie ocular en estos pacientes.

3- Cómo estudiar el astigmatismo? Entendiendo los programas vectoriales

Estamos acostumbrados a anotar el defecto refractivo en una forma óptica, con descripciones polares de la esfera, astigmatismo y del eje astigmático positivo o negativo. Esta terminología no nos permite tener la posibilidad de hacer estudios estadísticos, ni la posibilidad de hacer sumas algebraicas para determinar cual sería la resultante (poder cilíndrico y eje), en especial al tener múltiples factores astigmáticos como los descritos en los temas anteriores.

Cualquier inducción esfero-cilíndrica puede ser escrita fundamentalmente en 4 formas. Todas muestran un valor idéntico, pero cada una permite entender mejor los efectos en diferentes circunstancias.

- 1- Cilindro positivo. $-4,00 (+ 2,00 \times 180)$
Permite observar el incurvamiento corneal por meridiano (suturas corneales, refractiva hipermetrónica)
- 2- Cilindro negativo. $-2,00 (- 2,00 \times 90)$
Permite entender el aplanamiento corneal por meridiano (queratotomía radial, refractiva miópica)
- 3- Cilindro cruzado o cruz astigmática. $-4,00 \times 90 / -2,00 \times 180$
Describe el efecto en cada meridiano, negativo aplanamiento, positivo incurvamiento.
- 4- Equivalente esférico + mínimo cilindro cruzado $-3,00 (-1,00 \times 90/+1,00 \times 180)$

Desde hace más de 160 años se ha propuesto el uso de la matemática para estudiar los cambios refractivos inducidos por la cirugía (1849, Strokes GG 19th Meeting of the British Association for the Advancement of Science). Se han publicado múltiples métodos (algunos aproximados) para determinar la inducción astigmática, describir astigmatismos inducidos, y el estudio estadístico de los cambios refractivos. La realidad es que muchos de estos métodos son inexactos y presumen múltiples factores. No recomendaría utilizarlos ya que tanto la estadística como los cambios refractivos son términos exactos, sin importar si

se utilizan métodos matemáticos, vectoriales gráficos o por coordenadas polares o cartesianos, todos deben obtener el mismo resultado.

Existen fundamentalmente dos formas de hacer estos estudios, el primero donde se requiere convertir el astigmatismo a estudios vectoriales, por medio de fórmulas trigonométricas (se detalla a continuación) y el segundo por medio de transformación a coordenadas cartesianas (se explica más adelante).

- El primer método, descrito por Alpíns (4-13), estudia el astigmatismo de forma vectorial y por fórmulas trigonométricas se obtienen resultados de las sumatorias cilíndricas, mostrados sobre plataformas de diagramas en 180 grados (Fig. #6) o de 360 grados con doble ángulo (DAVD, double-angle vector diagram).
- Alpíns desarrolla los programas de ASSORT (Alpíns Statistical System for **Ophthalmic Refractive Surgery Techniques**) o VectrAK (Estudio Vectorial del Astigmatismo) (4-13).
- Con el método de Alpíns, lo que se busca es facilitar la planeación y análisis del astigmatismo en cirugía, a través del estudio vectorial (trigonométrico) de cada uno de los factores que influyen, siguiendo un camino, adicionando cada vector, con su magnitud y dirección, permitiendo determinar:
 - A: Vectores de astigmatismo inducido (TIA o VAI),
 - B: Vectores de astigmatismo inducido quirúrgicamente (SIA, o AIQ), y
 - C: Diferencias vectoriales (DV), que miden en cantidad y dirección el astigmatismo requerido para alcanzar la meta inicial deseada en forma efectiva (Fig. #6).

Estos estudios no sirven solo para la planeación quirúrgica, sino para determinar efectividad de los resultados, en cuanto a si el tratamiento se efectuó en el eje adecuado (on-axis, off-axis), y también en magnitud, y permite programar en caso necesario, la corrección adicional de un astigmatismo residual.

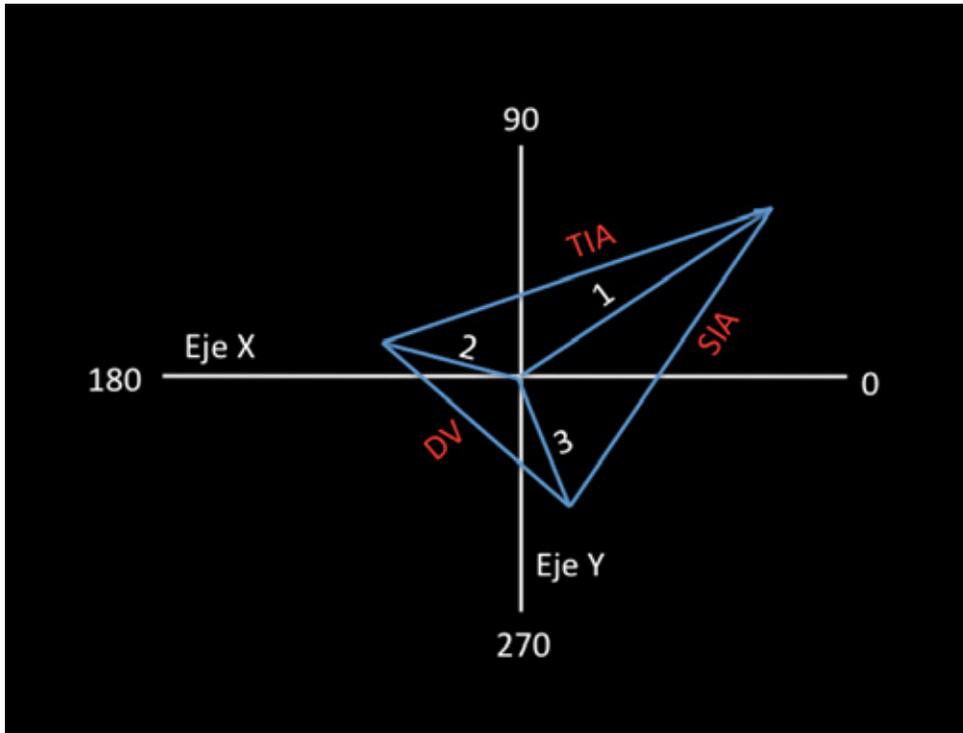


Fig #6. Graficación vectorial según Alpíns. El vector del astigmatismo inducido buscado (TIA), el vector del astigmatismo inducido en cirugía (SIA), el vector de diferencias (DV). El TIA, SIA, y el DV son calculados a partir del (1) astigmatismo preoperatorio del paciente, (2) del astigmatismo buscado calculado en el plan quirúrgico y (3) el efecto quirúrgico logrado en la realidad.

- Los programas mencionados, muestran estos resultados con índices de corrección (CI o IC) alcanzados (siendo ideal 1,0). En cuanto al ángulo (torque), nos da el resultado , positivo que representa el movimiento del eje en contra las manecillas del reloj (CCW), o negativo, a favor de las manecillas (CW).

Evaluando, reportando y mostrando astigmatismo en forma gráfica:

Analizar los datos de astigmatismo es difícil, debido a la forma en que el astigmatismo es definido. El eje del astigmatismo regresa al mismo punto, cuando este pasa los 180 grados, mientras que en geometría y trigonometría uno debe pasar los 360 grados para regresar al mismo punto. Para poder aplicar la geometría, trigonometría y el

análisis vectorial del astigmatismo se debe doblar el eje astigmático para que el 0 y 180 grados representen el mismo valor. Una vez realizada esta duplicación angular, los métodos vectoriales geométricos y trigonométricos pueden ser utilizados, obteniendo resultados equivalentes, al calcular agregados o sumatorias vectoriales.

La graficación de estos astigmatismos, ya no se presentan en tablas de 180 grados, sino que pueden ser presentados en gráficas polares de doble ángulo, donde el meridiano de 90 grados representa el eje de 45 grados, el de 180 grados, el eje de 90 grados, el meridiano de 270, representa el de 135 grados y el de 360, representa tanto el de 180 como el de 0 grados. Por lo que el eje de 0 y 180 grados quedan en el mismo sitio en el meridiano de 0 (360) grados, a diferencia de una gráfica común donde el eje de 0 y 180 grados quedarían en sitios inversos aunque representan ejes equivalentes. (Fig. #7).

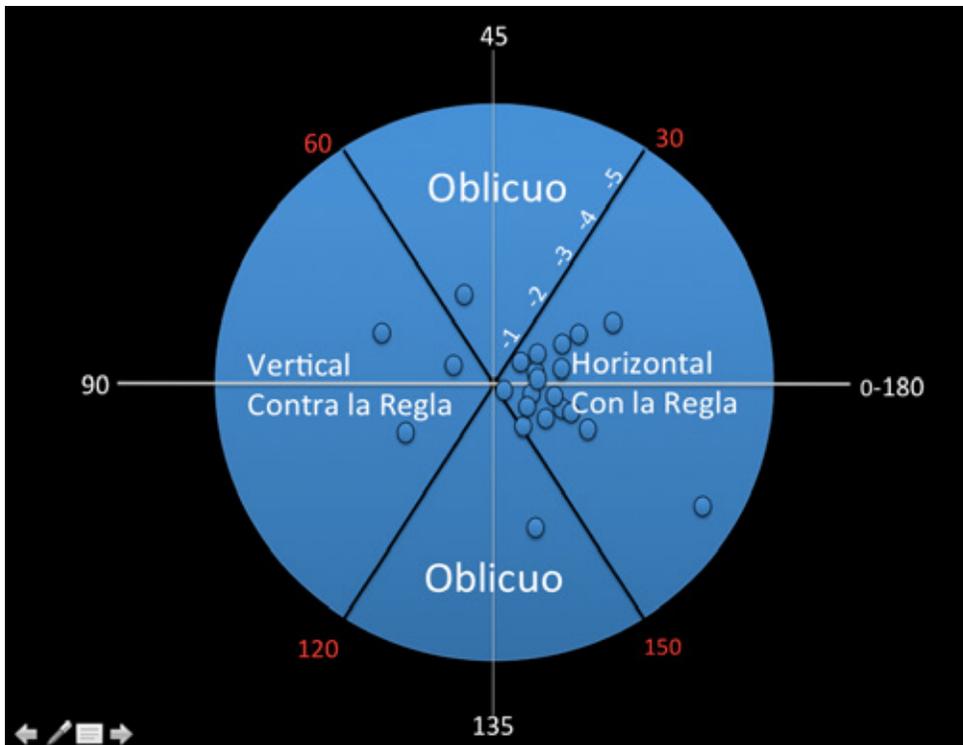


Fig. #7. Gráfico de doble ángulo con cilindro negativo, desarrollado a partir de sistema de Thibos de coordenadas cartesianas (x,y).

Además este tipo de gráfico permite que el centroide, y la desviación estándar, se puedan graficar (31-32)(Fig. #8). El centroide muestra un punto central que equivale a la media, pudiéndose mostrar el índice deseado, MAE (error absoluto medio), Mean (media), el error aritmético u otros, y la elipse muestra la desviación estándar, que puede ser oval no circular, evidenciando el mayor aplanamiento hacia un meridiano, en relación a otro. Mientras más pequeña la elipse, menor será la desviación estándar. Es imperativo que cuando se realicen estudios estadísticos de astigmatismo se muestren gráficos de doble ángulo, con el centro del centroide (x,y), y con la desviación estándar mostrando el ancho de la elipse en (x,y).

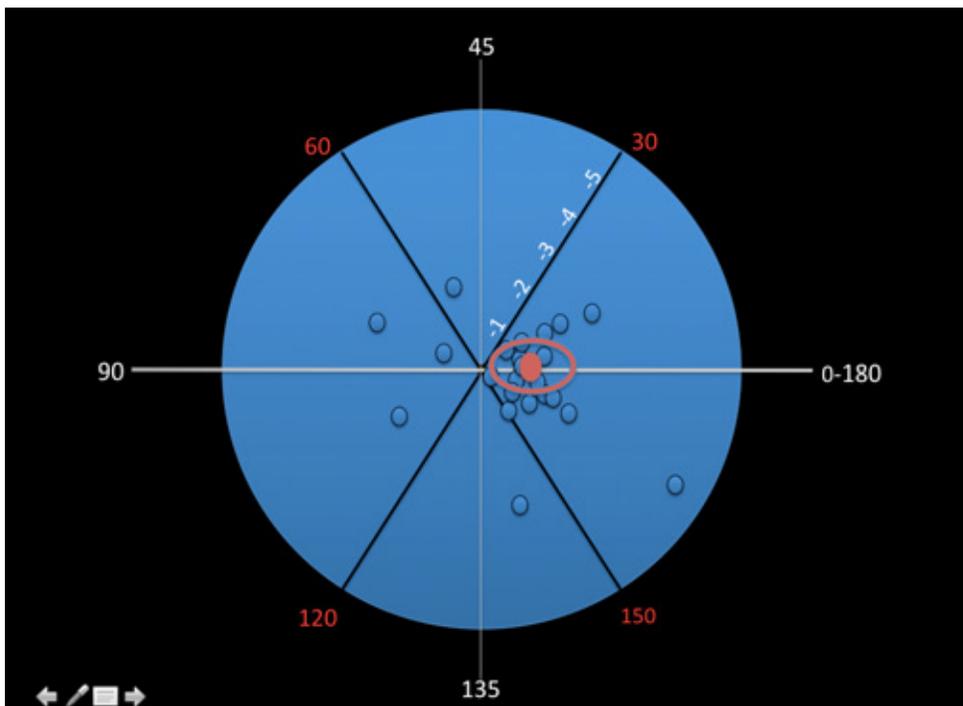


Fig. #8. Gráfico de doble ángulo con cilindro negativo, evidencia centroide y su desviación estándar en el meridiano de 180 grados.

La graficación con datos cartesianos, permite la incorporación tanto de los valores en magnitud y del eje astigmático, a través de la conversión del astigmatismo a coordenadas cartesianas (x,y) por medio de las fórmulas de doble ángulo de seno y coseno: (Fig. #9)

$X = \text{Cilindro} \times \text{Coseno} (2 \times \text{eje})$

$Y = \text{Cilindro} \times \text{Seno} (2 \times \text{eje})$

Estas coordenadas son descritas por Thibos et al (79), y por Holladay et al (31, 32), como $J_0(x)$, y $J_{45}(y)$.

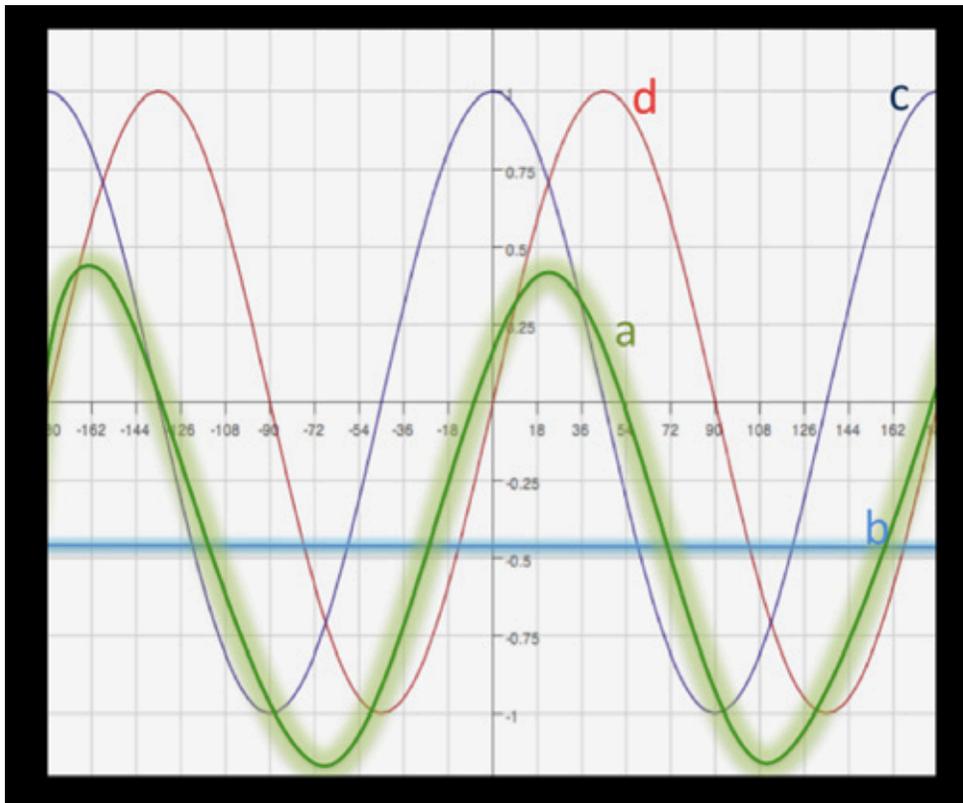


Fig. #9. Diagrama de la descomposición de Fourier del lente esfero-cilíndrico (a), esf(cilindro x eje) en su superficie de 360 grados. Los tres componentes de Fourier son: (b) el equivalente esférico, (c) J_{45} el cilindro x seno ($2 \times \text{ángulo}$), (d) J_0 el cilindro por el cilindro x coseno ($2 \times \text{ángulo}$).

Una vez realizados los estudios estadísticos deseados (media, centroide, desviación estándar, coeficientes de correlación, etc) con los datos cartesianos, o realizadas las sumas de los astigmatismos, para obtener resultantes, como astigmatismos inducidos, se regresan

los resultados de (x,y) cartesianos de vuelta a descripciones optométricas polares de astigmatismo y eje, a través de las siguientes fórmulas:

$$\text{Cilindro} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\text{Angulo} = \frac{1}{2} \times \text{ArcTan}(y/x)$$

Si $x \& y > 0$ entonces el eje = ángulo

Si $x < 0$ entonces el eje = ángulo + 90

Si $x > 0 \& y < 0$ entonces el eje = ángulo + 180

El segundo método que existe, es el descrito por Thibos (79), y que consiste en convertir el astigmatismo de coordenadas polares (cilindro-eje) a través de una conversión transformando el astigmatismo en la forma de Fourier a coordenadas cartesianas (x,y), (Datagraph-med).

El método descrito por Thibos (79), consiste en:

- Desarrollo de sistema con Serie de Fourier, con una armónica, y tres coeficientes de Fourier. (esf, cil, eje) (es simplemente transformar anotación óptica a una fórmula de equivalente esférico, y un cilindro cruzado)
- Ejemplo: neutro (-3,00 x 180), conversión Fourier: equivalente esférico = -1,50 D, cilindro cruzado menor (+1,50 x 90, -1,50 x 180)
- Sobre a una plataforma de doble-ángulo (x,y), (J0, J45), pasando de la forma polar (Fourier) a rectangular con coordenadas cartesianas. Se puede inclusive agregar un tercer factor (x,y,z), donde en el eje z se incluya el factor del equivalente esférico (Fig. #10).

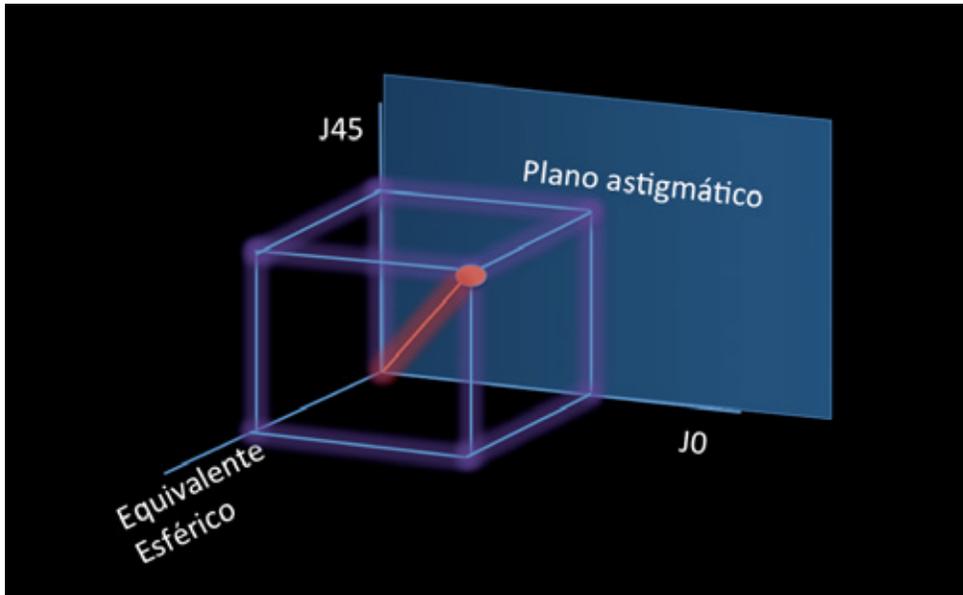


Fig. #10. Graficación en una forma rectangular, con coordenadas cartesianas del poder esfero-cilíndrico, a través de la conversión de Fourier en (x,y,z) , $x = J0$, $y=J45$, y z =equivalente esférico.

- El programa es muy sencillo de aplicar, y permite colocarlo sobre una hoja electrónica tipo Excel (Fig. #11), pudiéndose agregar el número que uno desee de variables (astigmatismo corneal de cara anterior, o total, inducido por incisión, toricidad del lente intraocular, incisiones arqueadas etc), o de hacer estudios estadísticos sobre las coordenadas cartesianas y el resultado transformarlo nuevamente a coordenadas polares para obtener anotaciones optométricas entendibles.(31)

	ESFERA	CILINDRO	EJE
DEFECTO	0.00	-0.50	180
POST-CIRUGIA	0.00	-0.40	80
CONVERSION DE FORMA POLAR A FOURIER			
	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>alpha</i>
DEFECTO PRE-CIRUGIA	-0.25	-0.25	90.00
DEFECTO POST-CIRUGIA	-0.20	-0.20	-10.00
CONVERSION A LA FORMA RECTANGULAR DE FOURIER			
	<i>M</i>	<i>J0</i>	<i>J45</i>
DEFECTO PRE-CIRUGIA	-0.25	0.25	0.00
DEFECTO POST-CIRUGIA	-0.20	-0.19	0.07
CALCULO Delta Rx (Rect. Fourier)			
	<i>M</i>	<i>J0</i>	<i>J45</i>
Diferencia	0.05	-0.44	0.07
Conversión del Delta Rx a la forma Polar Fourier			
	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>alpha</i>
	0.05	0.44	85.56
Conversión a la forma cilíndrica			
	ESFERA	CILINDRO	EJE
	-0.39	0.89	175.56
INDUCCION QUIRURGICA	0.49	-0.89	265.56

Fig. #11. Cálculo del astigmatismo inducido en cirugía a partir del astigmatismo inicial y el astigmatismo final. Tras la descomposición de Fourier en equivalente esférico y J_0 , J_{45} , para crear coordenadas cartesianas que son posteriormente sumadas para obtener el efecto inducido por la incisión quirúrgica y posteriormente regresarlas a una forma esfero cilíndrica comprensible.

Las recomendaciones de Holladay et al (31), para poder estudiar estadísticamente el astigmatismo o hacer agregados (sumatorias) son:

- 1- Llevar el poder al plano corneal (vertex: tomado de mediciones subjetivas, u objetivas del auto refractómetro o foróptero). En caso de astigmatismo miópico el astigmatismo en el plano corneal es menor. En caso de astigmatismo hipermetrópico, el astigmatismo en el plano corneal siempre es mayor.
- 2- Convertir el poder corneal queratométrico en poder corneal neto o de superficie frontal (por error en asumir índice queratométrico 1.3375)
- 3- Convertirlo en coordenadas cartesianas, por medio del

- a. Poder esférico del equivalente esférico
- b. Convertir el cilindro cruzado mínimo residual en coordenadas por medio de fórmulas de seno y coseno
- c. Como el astigmatismo corneal simétrico, es considerado ortogonal y presenta simetría rotacional, al describirlo con terminología óptica, el eje de 0 a 180 grados, es considerado equivalente al de 180 a 360 grados. Es por este motivo que no tiene sentido el graficar estos ángulos en una tabla de 360 grados a menos que esto se realice con una conversión previa a un sistema de doble ángulo.

4- Diseño de un programa vectorial que incluya todos los factores.

Utilizando el sistema vectorial antes mencionado , se puede desarrollar un programa, donde se incluyan los factores preoperatorios de astigmatismo corneal total (anterior y posterior) (26, 29, 38), inducción astigmática de la incisión corneal, el astigmatismo residual que se desea, así como el cálculo del lente intraocular tórico, con el factor de corrección para ojos grandes o pequeños (lentes de alto o bajo poder), (Fig. #12).

NOMBRE DEL PACIENTE	70 AÑOS	
	DERECHO	IZQUIERDO
EDAD	70	AÑOS
OJO	DERECHO	IZQUIERDO
ASTIGMATISMO CORNEAL cara ANT	1.75	2.00
EJE	90	90
ASTIGMATISMO CORNEAL cara POST	0.3	0.3
EJE	180	180
ASTIGMATISMO CORNEAL TOTAL	1.45	1.70
EJE	90.00	90.00
INCISION PRINCIPAL	100	100
INDUCCION DE ASTIGMATISMO	-0.45	-0.45
DEFECTO RESIDUAL DESEADO		
CILINDRO	-0.25	-0.25
EJE	180	180
LONGITUD AXIL	22.40	22.40
PODER DEL LIO A COLOCAR	22.50	22.50
LIO TORICO A COLOCAR	3	3

Fig. #12. Colocación de todas las variables de toricidad en un programa basado en el sistema de Thibos.

También debe permitir determinar el astigmatismo residual sobre el lente intraocular tórico, que se ha programado colocar, para decidir si se desea corregir con incisiones arqueadas asistidas por Femtosegundo, ya sea intraestromales o trans-Bowman pero sin abrir el epitelio, y que estas incisiones también estén graduadas para dejar el astigmatismo deseado al final del procedimiento (Fig. #13).

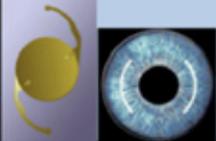
LIO TORICO T RECOMENDADO		2.48	2.94
	EJE1	264	266
	EJE2	84	86
DEFECTO RESIDUAL SOBRE LIO TORICO			
CILINDRO		-0.06	-0.22
EJE		236.31	180.61
CORRECCION LRI RESIDUAL LIO TORICO		Para dejar defecto deseado ZO 8.5	
	TOTAL DE ARCO	23	3
	EN DOS INCISIONES	11	1
	EJE1	354	356
	EJE2	174	176
CORRECCION CON LRI		Para dejar defecto deseado ZO 8.5	
	TOTAL DE ARCO	65	85
	EN DOS INCISIONES	32	42
	EJE1	264	266
	EJE2	84	86

Fig. #13. Resultados según sistema de Thibos para la corrección del astigmatismo total con lente intraocular tórico / queratotomía astigmática o la combinación de ambas. En la porción superior, el programa recomienda el poder de toricidad del lente intraocular tórico, y los ejes respectivos en los que se recomienda colocar, de acuerdo a la suma vectorial de todos los astigmatismos suministrados. En la zona media, se describe la posibilidad de corrección combinada del lente intraocular a colocar y corrección del residual con incisiones arqueadas. Por último en la porción inferior se coloca la posibilidad de la corrección de todo el componente tórico con incisiones arqueadas, dando la posibilidad de corregir con una sola incisión o con un par de incisiones una a

180 grados de la otra. El número observado del las incisiones es en grados de arco que deben realizarse, para obtener el resultado del defecto deseado según la Fig. #12.

Recordar que debido al edema estromal, en especial en el área de la incisión principal, es recomendable esperar al menos un mes para verificar el resultado óptico final. Esta espera está fundamentada en el hecho que aunque la agudeza visual y el defecto se estabiliza antes, existe evidencia de este edema, en tomografías con mediciones del espesor corneal y cambios de la curvatura posterior en ojos operados hasta 4 semanas después del procedimiento (Fig. #14).

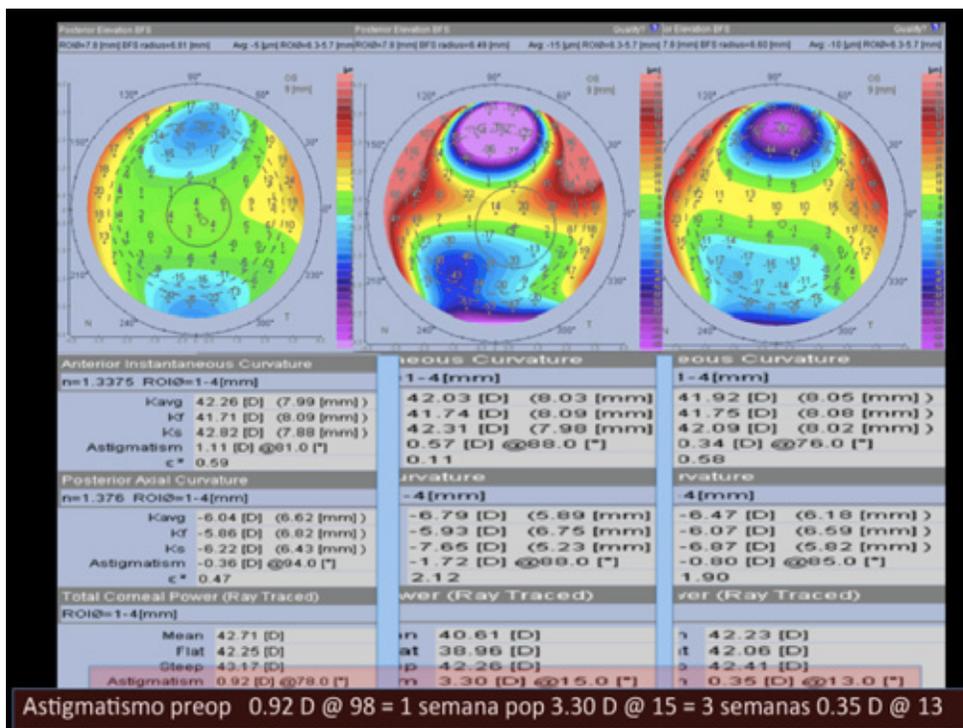


Fig. #14. Presencia de edema corneal (aumento del espesor), sobre el sitio de la incisión principal, aún 3 semanas después de una cirugía de facoemulsificación sin complicaciones. Demostrándose la reducción del astigmatismo corneal total, aún en el postoperatorio tardío. Subjetivamente el astigmatismo del paciente desde el postoperatorio inmediato era muy bajo y el cambio en el tiempo fue pequeño.

5- Defecto residual inesperado

A pesar de todas las medidas tomadas anteriormente, es posible obtener resultados inesperados, debido a:

- a- Tomografía inicial de mala calidad (ojo seco, enfermedad de superficie ocular, parpadeo) y error en el poder o eje del astigmatismo original calculado, tanto queratométrico como total (incluyendo cara posterior)
- b- Diferente inducción astigmática de la incisión, por tamaño, edema o error en el eje de la incisión principal.
- c- Error en la colocación del eje del lente intraocular tórico. En este caso existe la posibilidad de corrección postoperatoria, dentro del postoperatorio inmediato o mediano, utilizando fórmulas que nos indiquen cuantos grados rotar en el sentido horario o contra-horario para disminuir el defecto residual (79, 83). Estas fórmulas se pueden encontrar en la Web, y dentro de ellas se pueden nombrar:
 - i. astigmatismfix.com
 - ii. goniotrans.com
 - iii. recalculatoritoric.com

También se puede hacer la corrección con el aberrómetro transoperatorio, buscando el menor defecto residual. Si el defecto no es corregible con la rotación del lente intraocular tórico, y el paciente no alcanza una buena calidad visual o se está quejando por el astigmatismo o el defecto esférico residual, se puede pensar en una corrección refractiva con el femtosegundo con incisiones arqueada, o con excimer láser con PRK o LASIK si la córnea y el estado de la superficie ocular lo permiten.

Conclusión:

Si queremos aumentar el porcentaje de pacientes satisfechos, debemos siempre tomar en cuenta la corrección del astigmatismo en el momento de la faco. Como menciona el Dr. Osher: si corregimos el astigmatismo en las refracciones diarias de los pacientes, es obligación hacerlo en la cirugía de catarata.

El manejo avanzado del astigmatismo debe incluir, una valoración preoperatoria de la curvatura anterior y posterior de la córnea, el conocimiento de la inducción astigmática de la incisión principal. El cálculo correcto de la toricidad que se requiere en el LIO para corregir el astigmatismo corneal depende de programas vectoriales que deben incluir estos tres factores. Es indispensable que se tomen en cuenta las características anatómicas individuales del ojo. Además se requiere de una técnica quirúrgica depurada donde se asegure un resultado anatómico íntegro, con una adecuada marcación y colocación del lente intraocular en el eje del astigmatismo corneal total. Finalmente el cirujano debe tener los medios para corregir astigmatismos residuales esperados (IRL o queratotomía arqueada con láser de femtosegundo) (26, 66) o inesperados postoperatorios (Rotación del lente intraocular, IRL, queratotomía arqueada, PRK, LASIK).

Bibliografía:

- 1- Abrams D. Ophthalmic optics and refraction. In: Duke-Elder SS, ed. System of Ophthalmology. St. Louis, MO: Mosby; 1970:671-674.
- 2- Ahmed II, Rocha G, Slomovic AR, et al. Visual function and patient experience after bilateral implantation of toric intraocular lenses. J Cataract Refract Surg. 2010; 36:609- 616.
- 3- Ale Magar JB, Cunningham F, Brian G. Comparison of automated and partial coherence keratometry and resulting choice of toric IOL. Optom Vis Sci. 2013 Apr;90(4):385-91
- 4- Alpíns N: A re-analysis of astigmatism correction. Br J Ophthalmol 86:832, 2002.
- 5- Alpíns N: Astigmatism analysis by Alpíns method. J Cataract Refract Surg 27:31-49, 2001
- 6- Alpíns N: Wavefront technology: a new advance that fails to answer old questions on corneal vs. Refractive astigmatism correction. J Refract Surg 18:737-9, 2002
- 7- Alpíns NA: The treatment of irregular astigmatism. J Cataract Refract Surg 24:634-46, 1998
- 8- Alpíns NA: Vector analysis of astigmatism changes by flattening, steepening and torque. J Cataract Refract Surg 23:1503-14, 1997
- 9- Alpíns NA: New method of targeting vectors to treat astigmatism. J Cataract Refract Surg 23:65-75, 1997
- 10- Alpíns NA: Excimer laser keratectomy for astigmatism after RK (letter). Ophthalmology

103:1985, 1996

- 11- Alpíns NA: a new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 19:524-33, 1993
- 12- Alpíns NA, Tabin GC, Adams L: Refractive versus corneal changes after photorefractive keratectomy for astigmatism. *J Refract Surg* 14:386-96, 1998
- 13- Alpíns NA, Goggin M, Practical Astigmatism analysis for refractive outcomes in cataract and refractive surgery, *Surv Ophthalmol* 49:109-122, 2004
- 14- Atchison DA, Markwell EL, Kathurirangan S, et al. Age related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes. *J Vis* 2008;8:29.1-20.
- 15- Bachernegg A, Rückl T, Riha W, Grabner G, Dexl AK. Rotational stability and visual outcome after implantation of a new toric intraocular lens for the correction of corneal astigmatism during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2013 Sep;39(9):1390-8.
- 16- Barraquer JI, Barraquer C. Cirugía refractiva de la córnea. Tomo II. 1989. Capítulo XXI, Carmen Barraquer. Corrección quirúrgica del astigmatismo 754-793.
- 17- Bauer NJ, de Vries NE, Webers CA., et al. Astigmatism management in cataract surgery with the AcrySof toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*. 2008; 34(9):1483-1488.
- 18- Brick DC. Risk management lessons from a review of 168 cataract surgery claims. *Surv Ophthalmol*. 1999;43(4):356-360.
- 19- Budak K, Friedman NF, Koch DD. Limbal relaxing incisions with cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 1998; 24(4):503-508.
- 20- Bühren J, Nagy L., Yoon G et al. The effect of the asphericity of myopic laser ablation profiles on the induction of wavefront aberrations. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51(5):2805-2812.
- 21- Buzard K, Shearing S, Relyea R. Incidence of astigmatism in a cataract practice. *J Refract Surg*. 1988;4:173.
- 22- Dubbelman M, Sicam VA van der Heijde RGL. The Shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. *Vision Res* 2006;46:993-1001.
- 23- Ferreira TB, Marques EF, Rodrigues A, Montés-Micó R. Visual and optical outcomes of a diffractive multifocal toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*. 2013 Jul;39(7):1029-35.

- 24- Findl O, Drexler W, Menapace R, et al. High precision biometry of pseudophakic eyes using partial coherence interferometry. *J Cataract Refract Surg.* 1998;24(8):1087-1093.
- 25- Fox.P. Lens Results Promising for Astigmatism Reduction. *Cataract and Refractive Surgery Today Europe*, 2007;November/December
- 26- Gills J, Van der Karr M, Cherchio M. Combined toric intraocular lens implantation and relaxing incisions to reduce high preexisting astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2002;28:1585-1588.
- 27- Hasegawa Y, Okamoto F, Nakano S, Hiraoka T, Oshika T. Effect of preoperative corneal astigmatism orientation on results with a toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2013 Oct 17.
- 28- Hill W. Expected effects of surgically induced astigmatism on AcrySof toric intraocular lens results. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:364-367.
- 29- Ho JD, Liou SW, et al. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement. *Am J Ophthalmol* 2009;147:788-795.
- 30- Ho JD, Liou SW. et al. Effects of aging on anterior and posterior corneal astigmatism. *Cornea* 89(6):632-637.
- 31- Holladay JT, Dudeja DR, Koch DD. Evaluating and reporting astigmatism for individual and aggregate data. *J Cataract Refract Surg* 1998 Jan;24(1):57-65
- 32- Holladay JT, Moran JR, Kezirian GM. Analysis of aggregate surgically induced refractive change, prediction error, and intraocular astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:61-79.
- 33- Horn JD. Status of toric intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol.* 2007;18(1):58-61.
- 34- Humbert G, Colin J, Touboul D. [AcrySof® Toric (SN60T) intraocular lens implantation: refractive predictability and aberrometric impact of decentration]. *J Fr Ophtalmol.* 2013 Apr;36(4):352-61.
- 35- Igarashi A, Kamiya K, Shimizu K. Clinical evaluation of accuracy of horizontal meridian limbal marking. *Optom Vis Sci.* 2013 Jun;90(6):540-5.
- 36- Iovieno A, Yeung SN, Lichtinger A, Alangh M, Slomovic AR, Rootman DS. Cataract surgery with toric intraocular lens for correction of high corneal astigmatism. *Can J Ophthalmol.* 2013 Aug;48(4):246-50.
- 37- Jaffe SN, Jaffe SM, Jaffe FG; *Cataract Surgery and its complications* ; 6^a Ed Mosby 1997,

pp 132-146 -

- 38- Jau-Der Ho, Shio-Wen Liou. Accuracy of Corneal Astigmatism Estimation by Neglecting the Posterior Corneal Surface Measurement. *Am J Ophthalmol* 2009;147:788-795.

- 39- Kaufmann C, Peter J, Ooi K, et al. For The Queen Elizabeth Astigmatism Study 17 Group. Limbal relaxing incisions versus on-axis incisions to reduce corneal astigmatism at the time of cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31(12):2261- 2265.

- 40- Koch D, et al. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38:2080–2087

- 41- Koch D et al. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: Effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(11): *in Press Corrected Proof.*

- 42- Kunert KS, Russmann Ch, Blum M, et al Vector analysis of myopic astigmatism corrected by femtosecond refractive lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:759-769.

- 43- Lever J, Dahan E. Opposite clear corneal incisions to correct preexisting astigmatism in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2000, 26(6):803-805.

- 44- Lyle WA, Jin G. Prospective evaluation of early visual and refractive effects with small clear corneal incisions for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 1996; 22(10):1456-1460.

- 45- Maloney WF. Refractive cataract replacement: a comprehensive approach to maximize refractive benefits of cataract extraction. Paper presented at: Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; 1986; Los Angeles, CA.

- 46- Masket S, Tennen DG. Astigmatic stabilization of 3.0mm temporal clear corneal cataract incisions. *J Cataract Refract Surg.* 1996;22(10):1451-1455.

- 47- Masket S, Wang L, Belani S. Induced astigmatism with 2.2 and 3.0-mm coaxial phacoemulsification incisions. *J Refract Surg.* 2009;25:21-24.

- 48- Medicute J,Irigoyen C,Aramberri J,et al.Foldable toric intraocular lens for astigmatism correction in cataract patients.*J Cataract Refract Surg.*2008;34(4):601-607.

- 49- Mencucci R, Giordano C, Favuzza E, Gicquel JJ, Spadea L, Menchini U. Astigmatism correction with toric intraocular lenses: wavefront aberrometry and quality of life. *Br J Ophthalmol.* 2013 May;97(5):578-82.

- 50- Morlet N.,Minassian D., Dart J. Astigmatism and the analysis of its surgical correction. *Br J Ophthalmol* 2001;85:1127-1138

- 51- Muller-Jensen K, Fischer P, Siepe U. Limbal relaxing incisions to correct astigmatism in clear corneal cataract surgery. *J Refract Surg.* 1999, 15(5):586-589.
- 52- Musat O, Ochinciuc U, Gutu T, Cristescu TR, Coman C. [Refractive stability of artificial lens in Acrysof Toric. *Oftalmologia.* 2012;56(1):90-3. Romanian.
- 53- Nichamin LD. Changing approach to astigmatism management during phacoemulsification: peripheral arcuate astigmatic relaxing incisions. Paper presented at: Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; 2000; Boston, MA
- 54- Nichamin LD. Opposite clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg.* 2001, 27(1): 7-8.
- 55- Nichamin LD. Bioptics: expanding its role to pseudophakia. Paper presented at: Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; 2002; Philadelphia, PA.
- 56- Nichamin LD. Expanding the role of bioptics to the pseudophakic patient. *J Cataract Refract Surg.* 2001;27(9):1343-1344.
- 57- Nichamin LD. Bioptics for the pseudophakic patient. In: Gills JP, ed. *A complete guide to astigmatism management: An ophthalmic manifesto.* Thorofare, NJ: SLACK Incorporated; 2003:37-39.
- 58- Nichamin LD. Results of CK after cataract surgery. Paper presented at: Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; 2004; San Diego, CA
- 59- Ninomiya Y, Kanazawa Y, Kojima Y, Maeda N. [Simulation of toric intraocular lens results: the effect of repeatability and increments of automated keratometry]. *Nihon Ganka Gakkai Zasshi.* 2013 Aug;117(8):621-8. Japanese.
- 60- Novis C. Astigmatism and toric intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol.* 2000, 11(1):47-50.
- 61- Nuijts RM, Visser N. Assessment of cyclotorsion errors in marker-based toric IOL. Paper presented at: Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; April 9-4, 2010; Boston, MA.
- 62- Osher RH. Combining phacoemulsification with corneal relaxing incisions for reduction of preexisting astigmatism. Paper presented at: Annual meeting of the American Intraocular Implant Society; 1984; Los Angeles, CA.
- 63- Osher RH. Transverse astigmatic keratotomy combined with cataract surgery. In: Thompson K, Waring G, eds. *Contemporary Refractive Surgery-Ophthalmology Clinics of North America.* Philadelphia, PA: W.B. Saunders Co; 1992:717-725.

- 64- Packer M. Effect of intraoperative aberrometry on the rate of postoperative enhancement: Retrospective study. *J Cataract Refract Surg.* 2010; 36:747-755.
- 65- Peckar.C, *Rayner Centreflex Toric IOL shows stability in astigmatic eyes.*
- 66- Poll JT, Wang L, Koch DD, Weikert MP. Correction of astigmatism during cataract surgery: toric intraocular lens compared to peripheral corneal relaxing incisions. *J Refract Surg.* 2011;27(3):165-171.
- 67- Ruhswurm I, Scholz U, Zehetmayer M, et al. Astigmatism correction with a foldable toric intraocular lens in cataract patients. *J Cataract Refract Surg.* 2000;26(7):1022-1027.
- 68- Ruíz-Mesa R, Carrasco-Sánchez D, Díaz-Alvarez SB, et al. Refractive lens exchange with foldable toric intraocular lens. *Am J Ophthalmol.* 2009;147(6):990-996.
- 69- Savage H, Rothstein M, Davuluri G, et al. Myopic astigmatism and presbyopia trial. *Am J Ophthalmol.* 2003;135:628-632.
- 70- Savini G, Hoffer KJ, Ducoli P. A new slant on toric intraocular lens power calculation. *J Refract Surg.* 2013 May;29(5):348-54.
- 71- Savini G, Hoffer KJ, Carbonelli M. et al. Influence of axial Length and corneal power on the astigmatic power of toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(11): *in Press Corrected Proof.*
- 72- Scialdone A, De Gaetano F, Monaco G. Visual performance of 2 aspheric toric intraocular lenses: comparative study. *J Cataract Refract Surg.* 2013 Jun;39(6):906-14.
- 73- Singh A, Pesala V, Garg P, Bharadwaj SR. Relation between uncorrected astigmatism and visual acuity in pseudophakia. *Optom Vis Sci.* 2013 Apr;90(4):378-84.
- 74- Slade SG. Comparative analysis of corneal endothelial density after phacoemulsification performed by femtosecond laser-assisted and conventional cataract surgery. Paper presented at the American Society of Cataract and Refractive Surgery; April 20-24, 2013; Chicago Il.
- 75- Slade SG. Toric Cover Stry: Lens or Astigmatic Keratotomy? *Cataract and Refractive Surgery Today,* October 2013;54-55.
- 76- Srivannaboon S., et al. Comparison of corneal astigmatism and axis location in cataract patients measured by total corneal power, automated keratometry, and simulated keratometry. *J*

Cataract Refract Surg 2012; 38:2088-2093

- 77- Statham M, Apel A, Stephensen D. Comparison of the AcrySof SA60 spherical intraocular lens and the AcrySof Toric SN60T3 intraocular lens outcomes in patients with low amounts of corneal astigmatism. *Clin Exp Ophthalmol* 2009;37(8):775-779.
- 78- Sun XY, Vicary D, Montgomery P, et al. Toric intraocular lenses for correcting astigmatism in 130 eyes. *Ophthalmology*. 2000;107(9):1776-1781. ‘
- 79- Thibos, L.N. Wheeler, W. & Horner, D. (1994). A vector method for the analysis of astigmatic refractive errors. *Vision Science and its applications*, 2, 14-17.
- 80- Till JS, Yoder PR, Wilcox TK, et al. Toric intraocular lens implantation: 100 consecutive cases. *J Cataract Refract Surg*. 2002, 28(2):295-301.
- 81- Toto L, Vecchiarino L, D'Ugo E, Cardone D, Mastropasqua A, Mastropasqua R, Di Nicola M. Astigmatism correction with toric IOL: analysis of visual performance, position, and wavefront error. *J Refract Surg*. 2013 Jul;29(7):476-83.
- 82- Trindade F, Oliveira A, Frasso M. Benefit of against-the-rule astigmatism to uncorrected near acuity. *J Cataract Refract Surg*. 1997;23:82-85.
- 83- Tseng SS., Ma JJ., Calculating the optimal rotation of a misaligned toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1767-1772.
- 84- Tsinopoulos IT, Tsaousis KT, Tsakpinis D, et al. Acrylic toric intraocular lens implantation: a single center experience concerning clinical outcomes and postoperative rotation. *Clin Ophthalmol*. 2010; 24(4):137-142.
- 85- Venter J, Blumenfeld R, Schallhorn S, Pelouskova M. Non-penetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in patients with mixed astigmatism after previous refractive surgery. *J Refract Surg*. 2013 Mar;29(3):180-6.
- 86- Vicković IP, Loncar VL, Mandić Z, Iveković R, Herman JS, Sesar A. Toric intraocular lens implantation for astigmatism correction in cataract surgery. *Acta Clin Croat*. 2012 Jun;51(2):293-7.
- 87- Vinas M, de Gracia P, Dorronsoro C, Sawides L, Marin G, Hernández M, Marcos S. Astigmatism Impact on Visual Performance: Meridional and Adaptational Effects. *Optom Vis Sci*. 2013 Oct 17.
- 88- Vinas M, Sawides L, de Gracia P, Marcos S. Perceptual adaptation to the correction of natural astigmatism. *PLoS One*. 2012;7(9):e46361.

- 89-** Visnjić MB, Zrinsćak O, Barisić F, Iveković R, Laus KN, Mandić Z. Astigmatism and diagnostic procedures. *Acta Clin Croat.* 2012 Jun;51(2):285-8.
- 90-** Wallace RB. Refractive cataract surgery and multifocal IOLs. Thorofare, NJ: SLACK Incorporated, 2000
- 91-** Watanabe K, Negishi K, Kawai M, Torii H, Kaido M, Tsubota K. Effect of experimentally induced astigmatism on functional, conventional, and low-contrast visual acuity. *J Refract Surg.* 2013 Jan;29(1):19-24.
- 92-** Werner L, Olson RJ, Mamalis N. New technology IOL optics. *Ophthalmol Clin North Am.* 2006;19: 469-483. K.J. Hoffer, Biometry of 7,500 cataractous eyes. *Am. J. Ophthalmol.*, 1980;90:360-368.
- 93-** Wiley W. Reducing residual cylinder with toric IOLs guided by Orange®. Program and abstracts of the Annual Meeting of the American Society of Cataract and Refractive Surgery; April 9-14, 2010; Boston, MA.
- 94-** Zaldivar R, Davidorf JM, Oskerow S, et al. Combined posterior chamber phakic intraocular lens and laser in situ keratomileusis: bioptics for extreme myopia. *J Refract Surg.* 1999;15:299-308.