

CAPÍTULO  
**4.3**

## IMPLANTACIÓN DE SEGMENTOS INTRACORNEALES CON EL LÁSER DE FEMTOSEGUNDO

### 4.3.1. Características y parámetros de corte del láser de femtosegundo para la creación de los túneles para la implantación de segmentos intracorneales

Ana López Vázquez, Ana Boto de los Bueis, Almudena del Hierro Zarzuelo, Juan Gabriel Ortiz, Paola Vázquez Colomo, Isabel Mogollón Giralte, Ana Martín Uvero

#### INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LÁSER DE FEMTOSEGUNDO

##### Historia del láser en la oftalmología

La introducción del láser femtosegundo (LFS), descrito por Kurtz, Juhasz y colaboradores en 1998 (1) y más tarde comercializado por Intralase Corporation, entre otros (2), permitió realizar un flap o colgajo corneal en la técnica refractiva LASIK (*Laser in situ keratomileusis*) sin la necesidad de emplear un microqueratomo mecánico. Las indicaciones del LFS han sido ampliadas progresivamente a la realización de otras incisiones corneales más complejas entre las que se incluyen la creación de túneles intracorneales para el implante de anillos intraestromales o ICRS (acrónimo del inglés, *intracorneal ring segments*) en la cirugía del queratocono, técnica que desarrollaremos en este capítulo.

##### Principios físicos del láser de femtosegundo

El efecto a partir del cual el LFS es capaz de realizar incisiones en el tejido corneal se conoce como fotodisrupción por descomposición óptica. Estos equipos emiten una serie de pulsos de láser,

de una duración del orden de femtosegundos ( $10^{-15}$  segundos) y con una longitud de onda en torno a 1.053 nm, en el interior del tejido estromal a una profundidad precisa y controlada por ordenador. Durante cada pulso de un sistema femtosegundo, los fotones emitidos por el láser producen una ionización de los electrones del tejido afectado que pueden llegar a entrar en estado libre si se supera una determinada intensidad umbral que depende tanto de la longitud del pulso como del tamaño del *spot*. Los electrones, una vez libres, continúan absorbiendo los fotones emitidos por el láser, provocando en sucesivas colisiones una avalancha de electrones libres que termina en la generación de plasma, seguida de la vaporización del tejido cubierto por el *spot* del láser. Esta vaporización se concentra en las llamadas burbujas de cavitación que tienen un volumen mayor que el tejido del que proceden y separan mecánicamente el tejido (3,4).

El sistema de escaneo del láser permite realizar múltiples pulsos, de manera que el gas interactúe entre *spots* contiguos, siguiendo patrones tridimensionales diseñados por el *software* del equipo que se traducen en incisiones intraestromales específicas para cada indicación clínica.

La relación entre el tamaño de cada burbuja (definido por el sistema óptico y la energía aplicada en cada pulso) y la separación entre cada uno de

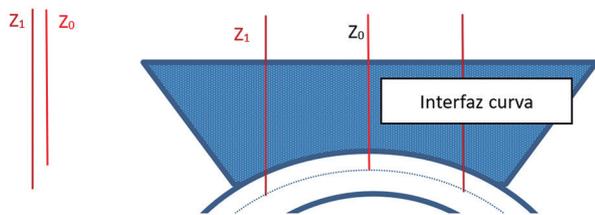
los *spots*, tendrán un efecto en la cantidad de *spots* necesarios para cubrir la longitud de la incisión planificada, la duración del tratamiento, la energía total, la calidad de la incisión y la facilidad en la disección. Estos parámetros vendrán definidos y limitados tanto por el diseño óptico del equipo LFS en cuestión, como por las opciones de programación que ofrezcan al usuario.

### Interfaz óptica de paciente en los sistemas LFS corneales

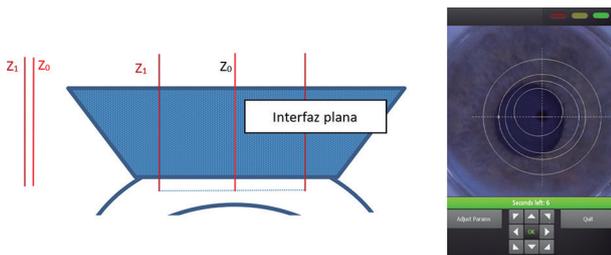
El LFS realiza incisiones corneales tanto verticales como horizontales con una profundidad repetible, precisa y homogénea en toda su superficie, y con una calidad óptica óptima y mínima edematización del tejido corneal que maximice la agudeza visual y la sensibilidad al contraste postoperatorios.

Es por tanto imprescindible contar con un sistema de fijación que permita optimizar el posicionamiento, y maximizar la repetibilidad y precisión del sistema. De ahí que los sistemas LFS corneales fueron diseñados con interfaces de paciente rígidas (planas o curvas) y sistemas de vacío que permitan mantener la zona bajo tratamiento completamente fijada al sistema láser (5).

El hecho de utilizar una interfaz plana o curva presenta diferencias a la hora de realizar incisiones planares, paralelas a la superficie corneal a la



**Figura 1.** Interfaz de paciente curva en un tratamiento corneal planar.



**Figura 2.** Interfaz plana y sistema de centrado XY por *software* del sistema LFS Intralase® en el que se ha centrado el tratamiento usando las flechas inferior-derecha (6).

misma profundidad como pueden ser los túneles de ICRS.

Los equipos con interfaz de paciente curva requieren menor presión sobre el globo ocular (6), y en función de la curvatura de la interfaz y de la curvatura de la córnea deberán variar la distancia de trabajo a lo largo de tratamiento, por lo que generalmente no permiten centrados del tratamiento en horizontal vía *software* al requerir realizar tratamientos simétricos respecto al ápex de la interfaz de paciente (fig. 1).

En cambio, en una interfaz plana, la presión inducida sobre el globo ocular es mayor (6), pero al aplanar el tejido corneal todos los *spots* comparten la misma distancia vertical (Z), lo que mejora la precisión y permite desplazar el tratamiento en horizontal vía *software* ya que no afecta en gran medida a la simetría del sistema de escaneo (fig. 2) (6,7).

### REALIZACIÓN DE TÚNELES INTRACORNEALES CON LA PLATAFORMA LFS INTRALASE®

#### Morfología y programación del túnel intracorneal

El LFS Intralase® (Abbott Medical Optics Inc, Santa Ana, California) permite la realización de túneles intracorneales para la implantación de ICRS de **cualquier longitud de arco** y de **base y altura variables**.

La morfología del túnel está compuesta por dos incisiones: la resección lamelar anular y la incisión vertical de entrada.

Desde una vista superior (fig. 3), la **incisión de entrada** (ENTRY CUT) es radial, con un determinado **eje de incisión** (INCISION AXIS) **entre 0° y 360° programable en pasos de 1°**, y con una **longitud de hasta 1,4 mm** (ENTRY CUT LENGTH). El eje deberá estar posicionado de manera que el segmento a implantar quede con una distancia suficiente desde su extremo distal que impida una extrusión postoperatoria. **Esta distancia debería ser como mínimo de 1 mm**. La mayoría de las incisiones se realizan **en el eje topográficamente más curvo**, salvo que prevalezca la intención de corregir la aberración comática.

La **incisión lamelar** se define por un **disco de 360°** con un diámetro interno (INNER DIAMETER) y un diámetro externo (OUTER DIAMETER) desde su vista superior, que el láser realizará **desde el centro**

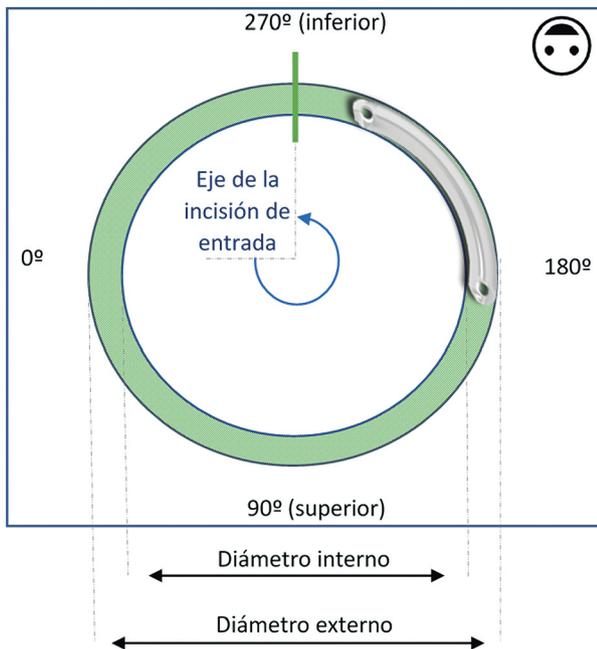


Figura 3. Vista superior del túnel intracorneal realizado con el LFS.

**hacia fuera.** La diferencia entre ambos diámetros corresponderá a la anchura del túnel, el cual, deberá presentar amplitud suficiente para alojar el anillo intraestromal a implantar. **El diámetro interno es seleccionable en pasos de 0,1 mm entre 4,0 y 8,8 mm, y el diámetro externo entre 4,1 mm y 9,5 mm,** lo que implica que **el grosor del túnel puede variar entre 0,1 mm y 5,5 mm.**

Desde una vista lateral (fig. 4) el anillo lamelar es una incisión **planar, paralela al epitelio corneal** y con una **profundidad (DEPTH IN CORNEA) seleccionable entre 100 y 500 micras,** en pasos de 1 micra.

El módulo de programación de ICRS está disponible al seleccionar el procedimiento «RING» con una plantilla específica para su diseño (fig. 5).

La **profundidad del túnel** la realizamos **al 70% de la paquimetría mínima** en el diámetro de implantación del segmento, que debe ser **superior a 400 micras en todo su recorrido** (fig. 6).

El sistema Intralase® permite modificar por separado la energía por pulso aplicada a la incisión de entrada vertical y a la incisión horizontal, lo cual permite adaptar la capacidad de corte o facilidad de separación de los tejidos. En nuestro centro utilizamos **1,6 µJ** para ambas incisiones. La duración del procedimiento dependerá de la separación de *spots*, del área total a cubrir por el láser y por tanto, de la anchura del túnel y de la profundidad, siendo una duración típica entre 6 segundos (para anillos

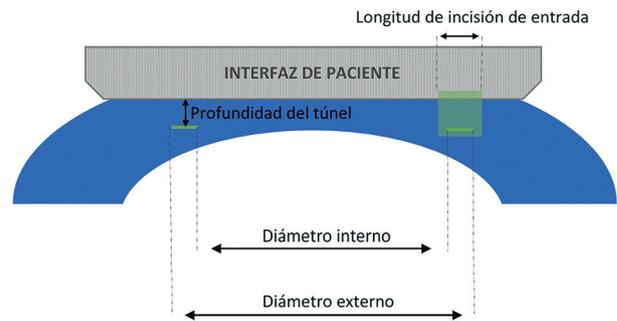


Figura 4. Vista lateral del túnel intracorneal creado con el LFS Intralase®.

de 5 mm) y 10 segundos (para anillos de 7-8 mm) con una separación de *spots* en X/Y de 3 µm/3 µm.

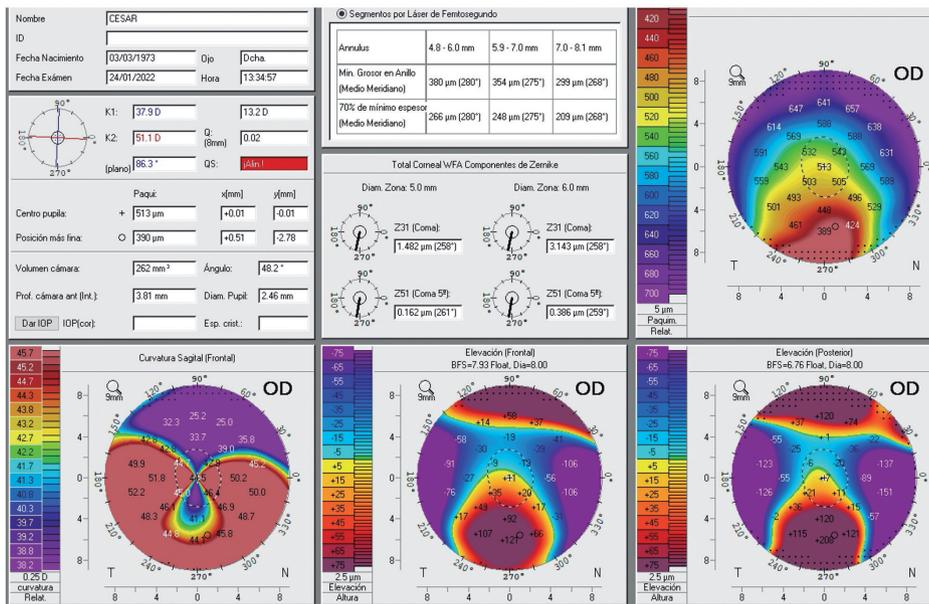
## Realización del procedimiento láser

### Marcaje previo al procedimiento láser

Es especialmente importante realizar un marcaje previo con tinta en el centro deseado del túnel intracorneal (8). Señalamos el ápex corneal intersectando el eje horizontal y vertical de limbo a limbo o marcamos el reflejo de Purkinje bajo el microscopio

User: Ana Boto		2020-11-09 09:47 AM	
<b>Patient Data Entry</b>			
Last Name	Hospital	DOB/ID	18-07-1964
First Name	LaPaz	MI	Doctor Boto
Procedure	RING	OU	OD OS
Depth In Cornea	400		
Inner Diameter	5.0		
Outer Diameter	5.7		
Entry Cut Length	1.40		
Entry Cut Thickness	1		
Incision Axis	90		
Ring Energy	1.60		
Entry Cut Energy	1.60		
Cancel		Add to List	Reset Params
			Accept

Figura 5. Pantalla de programación del módulo de túneles intracorneales del sistema Intralase® iFS 150 kHz.



**Figura 6.** Oculus-Pentacam: pantalla de anillos corneales donde se muestra la profundidad deseada del túnel intraestromal a realizar con el LFS.

quirúrgico. Previamente, con la posición de la cabeza del paciente en vertical, habremos marcado el eje 0°-180°, o el eje de incisión vertical, –en nuestro caso con un RoboMarker–, para modificar los errores de ciclorsión del decúbito.

### Colocación del anillo de succión

Se puede fijar el anillo de succión con o sin blefaróstatos (fig. 7).



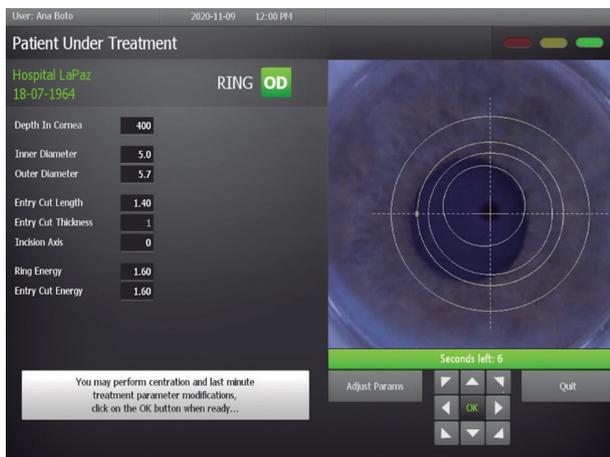
**Figura 7.** Colocación del anillo de succión. Colocamos el anillo de succión sobre la superficie ocular seca, centrado en el limbo, y realizando una ligera presión en la zona temporal y nasal para asegurar un contacto uniforme con la conjuntiva. El asistente presionará al completo el émbolo de la jeringa y una vez posicionado correctamente el anillo soltará bruscamente el émbolo confirmando que la succión se mantiene durante el resto del procedimiento (9).

### Acoplamiento del paciente (fig. 8)

Hacemos descender el cabezal del láser hasta que entre en contacto con el anillo de succión observando directamente el vídeo-microscopio del equipo para asegurar el centrado en la marca corneal. Al producirse el contacto con la córnea, observaremos un menisco que se expandirá más allá del diámetro del tratamiento programado. Es entonces cuando ejercemos presión en la pinza del anillo para expandir el menisco y fijar el láser-interfaz con el anillo de succión.



**Figura 8.** Acoplamiento y aplanación.



**Figura 9.** Sistema de centrado software XY del equipo Intralase® iFS, alineando el procedimiento con el marcado corneal central previo.

### Centrado Software (fig. 9)

Una vez tenemos el correcto acoplamiento de la interfaz con el anillo de succión y la córnea del paciente, procederemos al centrado del tratamiento, alineando el procedimiento programado con las marcas corneales de referencia realizadas previamente.

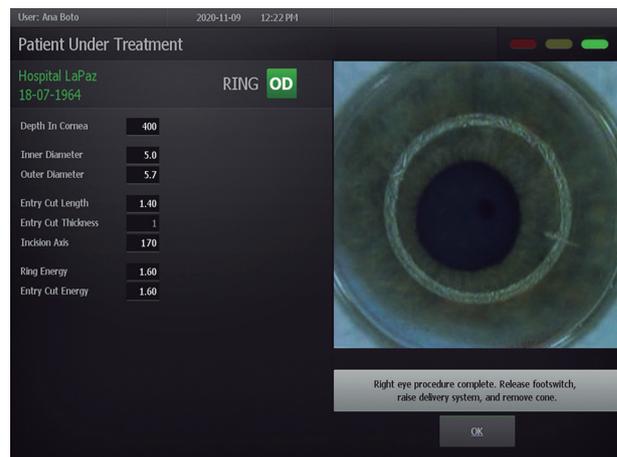
### Tratamiento láser

El procedimiento comenzará cuando el cirujano pise el pedal del equipo, y el túnel comience a realizarse desde la parte más posterior a la más anterior, comenzando por el anillo lamelar, para continuar seguidamente con la incisión de entrada de posterior a anterior (fig. 10).

**La principal ventaja del LFS es poder observar el procedimiento en tiempo real, pudiendo pausarlo en caso de complicaciones** antes de terminar el tratamiento. Así, la aparición de burbujas en cámara anterior por ejemplo, significaría una micro-perforación endotelial y por tanto deberíamos interrumpir inmediatamente el procedimiento.

### Inserción de los segmentos

Tras completarse adecuadamente el tratamiento con el LFS, procederemos a la inserción del ICRS. Una vez confirmada la orientación correcta del segmento, se inserta en el túnel intraestromal con ayuda



**Figura 10.** Procedimiento completo finalizado: tunelización e incisión programadas para inserción de segmento de 5 mm por incisión a 170°.

de la pinza de Albertazzi o McPherson modificada, comprobando la posición final deseada, en nuestro caso con un aro de Méndez. Podemos realizar una queratoscopia o una queratometría portátil al finalizar el procedimiento.

## GEOMETRÍA DEL TÚNEL Y DEL SEGMENTO INTRACORNEAL

### Diseños de anillos existentes

Los segmentos intraestromales más comunes disponibles comercialmente presentan las siguientes especificaciones según los estudios publicados y datos del fabricante (10-23) (tabla 1).

Existen básicamente tres tipos de anillo en el mercado: Ferrara, Intacs y Keraring. Aunque los Intacs son los únicos segmentos aprobados por la FDA (*Food and Drug Administration*) para el tratamiento del queratocono, los Keraring y Ferrara son ampliamente usados fuera de Estados Unidos.

**Los diferentes modelos de anillos se diferencian en la forma de la sección, el grosor, el diámetro y la longitud de arco.** La forma de la sección del anillo puede influir en la calidad visual. Los Intacs originales presentaban una sección hexagonal; sin embargo, los Intacs SK tienen una sección elíptica con bordes redondeados. La ausencia de ángulos agudos parece reducir la incidencia de halos y *glare* al disminuir la dispersión de la luz (24). En cambio, los Ferrara y los Keraring tienen una sección triangular que induce un efecto prismático, reflejando los rayos

**Tabla 1. Segmentos intraestromales disponibles en España: Keraring SI6 (Mediphacos), Ferrara AFR (AJL Ophthalmic SA, Vitoria-Gasteiz, España), Intacs (AJL Addition Technology, Inc., Fremont, CA, USA), MyoRing (DIOPTEX GmbH, Linz, Austria)**

Modelo	Diámetro interno	Base	Espesor (mm) en incrementos de 0,05 mm * (incremento CW y CCW)	Arco (grados)	Sección
Keraring SI5	5	0,6	0,15 – 0,35	90° – 325°	Triangular
Ferrara AFR	4,4	0,6	0,15 – 0,35	90° – 320° (incrementos de 10°)	Triangular
Keraring SI6	6	0,8	0,15 – 0,35	90° – 325°	Triangular escaleno
Ferrara AFR6	6	0,8	0,15 – 0,35	90° – 320°	Triangular
Intacs SK	6	0,8	0,25 – 0,5	90° – 150°	Elíptica oval
Intacs	6,77	0,8	0,25 – 0,45	150°	Hexagonal
Myoring, DiopTex (21)	5 a 8		0,20 – 0,32	360°	Trapezoidal
Keraring AS5-6 (22)	5 y 6	0,6 a 0,8	0,15 – 0,25 y 0,20 – 0,30	160°	Triangular
Keraring 330°	5		0,15 – 0,25 y 0,20 – 0,30	330°	Triangular
AJL pro+ (23)	5 y 6	0,6 a 0,8	0,15 – 0,25 y 0,15 – 0,30*	160° y 210°	Triangular

CW = sentido horario; CCW = sentido anti-horario.

que llegan para reducir así los fenómenos fóticos (25).

Los anillos que se sitúan más próximos al eje pupilar pueden producir más halos y *glare* ya que pueden coincidir con la pupila cuando ésta se dilata (26,27). Sin embargo, la corrección del astigmatismo se correlaciona con una implantación más próxima al eje visual (28).

Los primeros Keraring presentaban una zona óptica (ZO) de 5 mm, aunque actualmente se dispone del modelo Keraring SI6 con una ZO de 6 mm y una sección modificada en forma de triángulo escaleno.

Existen pocos artículos que comparen los resultados obtenidos entre diferentes tipos de anillos. Una serie de casos de ectasia que comparó Intacs versus Keraring (modelos originales) encontró que los Intacs eran menos eficaces en la corrección del astigmatismo que los Keraring. Esto se explica porque los Intacs presentan un diámetro mayor que los Keraring por lo que se implantan más alejados del eje visual reduciendo su efecto (28). Kubaloglu et al. (27) también compararon estos modelos de anillos encontrando mayores mejorías visuales en el grupo de Keraring.

Haddad et al. compararon en una serie de casos de queratocono moderado y severo los resultados con los modelos más recientes de Intacs y Keraring, Intacs KS y Keraring SI6. En ambos grupos mejoró de forma significativa la agudeza visual, la refrac-

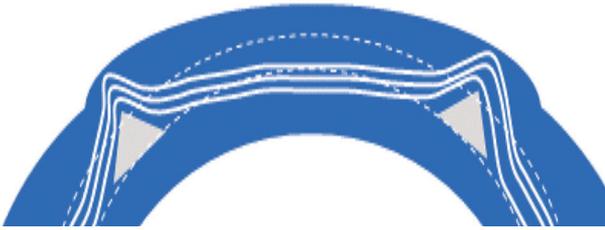
ción, la topografía, obteniéndose resultados postoperatorios similares (26).

Otro anillo menos empleado es el Myoring, un anillo completo de 360°. Está indicado en ojos con queratoconos centrales, en queratoconos con alta miopía (equivalente esférico > -6 D) y en ojos con un componente mayor de esfera que de cilindro. Para la implantación de Myoring se requiere la creación de un bolsillo estromal bien con un microqueratomo mecánico o bien con el LFS. Comparado con Keraring SI5, Myoring consigue una mayor corrección de la miopía. Sin embargo, Keraring parece ser mejor para mejorar la regularidad corneal (29).

Recientemente, se han desarrollado **segmentos asimétricos** con un grosor progresivo de un extremo a otro. Estos anillos pretenden producir un **mayor efecto de aplanamiento en su extremo más grueso** que en su extremo más fino intentando conseguir así un **tratamiento más eficaz de los patrones asimétricos de queratocono** (30).

### Mecanismo de acción del segmento intracorneal

Existen varias teorías acerca del mecanismo de acción de los ICRS. La primera teoría parte del principio clásico de Barraquer que radica en un aplanamiento de la curvatura corneal por incremento



**Figura 11.** Representación del efecto tensor y de adición de espesores (línea continua) en las fibras de colágeno (línea discontinua) tras la introducción del segmento intracorneal.

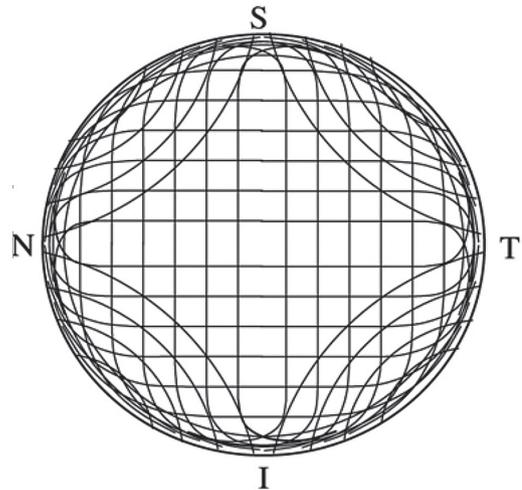
del espesor en la periferia (25,31-33). Adicionalmente, es aceptado que los ICRS separan las fibras de colágeno del estroma, tensándolas y por tanto aplanando la córnea central (25-27) (fig. 11). Esta aplanación presentará una relación proporcional directa respecto al espesor del segmento e inversamente proporcional a su diámetro (31,32). Sin embargo esta teoría parte de la base de que las fibras de colágeno están dispuestas de manera ortogonal (fig. 12), por lo que el efecto es difícil de predecir en el queratocono, donde la organización y resistencia de las fibras de colágeno se ve alterada (28,32).

### Geometría del túnel

La geometría del túnel tendrá un efecto directo en la facilidad de inserción del segmento. La optimización de su diseño vendrá influida por:

- Energía de tratamiento: a mayor energía, mejor separación de los tejidos y menor resistencia a la implantación del segmento.
- Separación de *spots*: a menor separación de los *spots*, para un mismo nivel de energía, una separación más efectiva de los tejidos y una menor resistencia a la implantación.
- Espesor y longitud de arco del segmento: para un mismo diámetro de túnel, mayores espesores y longitudes de arco del segmento serán más difíciles de introducir al presentar una mayor área de fricción entre el segmento y el túnel.

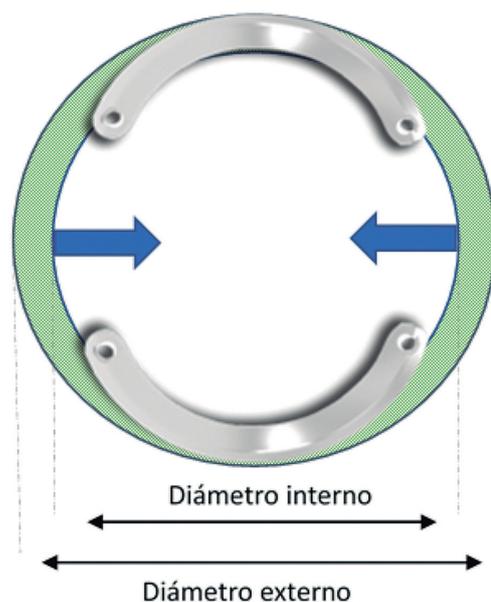
Además, si la anchura del túnel programado es inferior al perímetro del segmento a introducir es de esperar que la implantación genere una tensión sobre el tejido corneal estirándolo, y según la teoría del mecanismo de acción, ejerciendo una fuerza tensora mayor sobre las fibras de colágeno, y por tanto ejerciendo mayor efecto aplanador.



**Figura 12.** Disposición ideal de las fibras de colágeno en la córnea.

### Diámetro del túnel versus diámetro del segmento

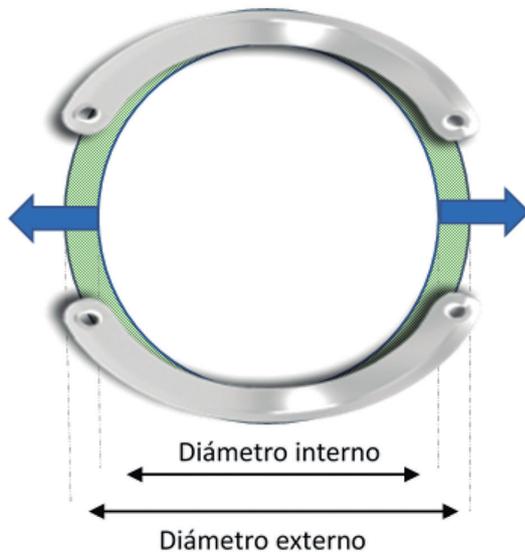
El diámetro del túnel realizado con el LFS puede tener también un efecto en el mecanismo de acción en función del diámetro del segmento implantado, llegando a poder generar un efecto tensor, compresor o neutro (figs. 13 y 14) dependiendo de si el diámetro del túnel es menor, mayor o igual al diámetro del segmento, respectivamente (29,34,35). Además, el túnel se verá afectado por la morfología del queratocono generando una morfología irregu-



**Figura 13.** Diámetro del túnel intraestromal mayor con respecto al diámetro del segmento, generando un efecto compresor.

**Tabla 2. Parámetros del túnel intraestromal creado con el láser de femtosegundo**

Modelo	Zona Óptica	Profundidad (%)	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Externo (mm)	Año	Ref.
SI5	5	80	4,4	5,6	2011	(36)
SI5	5	75	4,8	5,4	2010	(20)
AFR	5	70	5,0	5,7	2017	(37)
AFR	5	70	5,0	6,0	2018	(38)
AFR	5	60	5,0	5,9	2019	(20)
SI5	5	80	5,0	5,8	2014	(39)
SI5	5	75	5,0	5,9	2018	(40)
SI5	5	80	5,0	5,7	2021	(41)
SI6	6	75	5,8	6,8	2010	(14)
AFR6	6	70	6,0	7,1	2012	(42)
AFR6	6	70	6,0	7,2	2018	(42)
SI6	6	80	6,0	6,8	2010	(19)
INTACS SK	6	80	6,0	7,0	2013	(16)
INTACS	7		6,6	7,8	2010	(43)
INTACS	7	75	6,8	7,8	2019	(44)

**Figura 14. Diámetro del túnel menor al diámetro del segmento, generando un efecto tensor.**

lar del túnel en función de la topografía irregular característica de esta patología corneal.

Es importante tener en cuenta que es necesario que **tanto la programación como los parámetros del túnel intraestromal sean siempre confirmados con el fabricante del segmento intracorneal**, ya que en última instancia son los únicos que poseen la información técnica del diseño y tamaño de los implantes.

A modo de ejemplo, en la tabla 2, se pueden observar geometrías del túnel programadas en estudios y publicaciones con diferentes ICRS y ZO con la plataforma LFS Intralase®.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Kurtz RM, Horvath C, Liu HH, et al. Lamellar refractive surgery with scanned intrastromal picosecond and femtosecond laser pulses in animal eyes. *J Refract Surg* 1998; 14: 541-548.
2. Palanker DV, Blumenkranz MS, Marmor MF. Fifty years of ophthalmic laser therapy. *Arch Ophthalmol* 2011; 129: 1613-1619.
3. Faktorovich EG. *Femtodynamics: A Guide to Laser Settings and Procedure Techniques to Optimize Outcomes with Femtosecond Lasers*. Slack Incorporated, 2009.
4. Lubatschowski E. Overview of commercially available femtosecond lasers in refractive surgery. *J Refract Surg* 2008; 24: S102-S107.
5. Tañá Rivero P, Ortiz JG, Ruiz R. Fundamentos ópticos del láser de femtosegundo en la cirugía de catarata. En: Ruiz Mesa R, Tañá Rivero P. *Óptica para el Cirujano Faco-Refractivo*. Sociedad Española de Cirugía Ocular Implanto-Refractiva, Ed. Elsevier Health, 2015, pp. 367-381.
6. Strohmaier C, Runge C, Seyeddain O, et al. Profiles of intraocular pressure in human donor eyes during femtosecond laser procedures—a comparative study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54: 522-528.
7. Callou TP, Garcia R, Mukai A, et al. Advances in femtosecond laser technology. *Clin Ophthalmol* 2016; 10: 697-703.
8. Peris-Martínez C, Aviñó Martínez JA, Pastor Pascual F. Técnica quirúrgica de implantación de segmentos intra-

- corneales asistida con láser de femtosegundo, ventajas e inconvenientes. En: *Técnicas de modelado corneal*, J. Cezón y SECOIR, Eds. Sociedad Española de Cirugía Ocular Implanto-Refractiva, 2009, pp. 309-321.
9. «Manual de usuario de Intralase iFS».
  10. «Ferrara Ring - AJL Ophthalmic». <https://ajlsa.com/en/product/ferrara-ring-corneal-implants/> (accedido ene. 08, 2022).
  11. «Keraring - Anel intraestromal - Mediphacos». <https://mediphacos.com/products/cornea/keraring-anel-intraestromal/> (accedido ene. 08, 2022).
  12. Ophthalmic A, Parque SA, De Álava T, Zeppelin P, «AJL CATÁLOGO DE PRODUCTO».
  13. «Intacs - AJL Ophthalmic». <https://ajlsa.com/en/product/intacs-corneal-implants/> (accedido ene. 08, 2022).
  14. Renesto AC, Hirai FE, Campos M. Refractive and visual outcomes after Ferrara corneal ring segment implantation at a 60% depth in keratoconic eyes: case series. *Arq Bras Oftalmol* 2019; 82: 488-494.
  15. Gharaibeh AM, Muhsen SM, Abukhader IB, et al. Keraring intrastromal corneal ring segments for correction of keratoconus. *Cornea* 2012; 31: 115-120.
  16. El-Moatassem Kotb AM, Hantera M. Efficacy and Safety of Intacs SK in moderate to severe keratoconus. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2013; 20: 46-50.
  17. Hashemian MN, Zare MA, Mohammadpour M, et al. Outcomes of Single Segment Implantation of Conventional Intacs versus Intacs SK for Keratoconus. *J Ophthalmic Vis Res* 2014; 9: 305-309.
  18. Barbara M, Garzozzi H, Barbara A. Combined Intacs SK and Corneal Collagen Cross-linking for the Treatment of Keratoconus. *JP-JOURNALS* 2012; 1: 109-116.
  19. Sanchez Leon F. New Keraring SI6 for Keratoconus treatment. ASCRS Boston 2010.
  20. John T. Intracorneal ring segments implanted with femtosecond laser can treat keratoconus. *Ocular Surgery News*, 2010.
  21. «Dioptex - Myoring». [https://www.dioptex.com/fileadmin/daten\\_dioptex/pdf/MYORING.pdf](https://www.dioptex.com/fileadmin/daten_dioptex/pdf/MYORING.pdf) (accedido ene. 08, 2022).
  22. Sardiña RC, Arango A, Alfonso JF, et al. Clinical evaluation of the effectiveness of asymmetric intracorneal ring with variable thickness and width for the management of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2021; 47: 722-730.
  23. «AJL PRO+ - AJL Ophthalmic». <https://ajlsa.com/en/product/ajl-pro/> (accedido ene. 08, 2022).
  24. Kymionis GD, Bouzoukis DI, Portaliou DM, Pallikaris IG. New INTACS SK implantation in patients with post-laser in situ keratomileusis corneal ectasia. *Cornea* 2010; 29: 214-216.
  25. Siganos D, Ferrara P, Chatzinikolas K, et al. Ferrara intrastromal corneal rings for the correction of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28: 1947-1951.
  26. Haddad W, Fadlallah A, Dirani A, et al. Comparison of 2 types of intrastromal corneal ring segments for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38: 1214-1221.
  27. Kubaloglu A, Cinar Y, Sari ES, et al. Comparison of 2 intrastromal corneal ring segment models in the management of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 978-985.
  28. Piñero DP, Alió JL, Barraquer RI, Michael R. Corneal biomechanical changes after intracorneal ring segment implantation in keratoconus. *Cornea* 2012; 31: 491-499.
  29. Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Belin MW, et al. Comparative analysis of two different types of intracorneal implants in keratoconus: A corneal tomographic study. *Eur J Ophthalmol* 2021; 31: 1517-1524.
  30. Barugel R, David C, Kallel S, et al. Comparative Study of Asymmetric Versus Non-asymmetric Intrastromal Corneal Ring Segments for the Management of Keratoconus. *J Refract Surg* 2021; 37: 552-561.
  31. Sakellaris D, Balidis M, Gorou O, et al. Intracorneal Ring Segment Implantation in the Management of Keratoconus: An Evidence-Based Approach. *Ophthalmol Ther* 2019; 8 (Suppl 1): 5-14.
  32. Vega-Estrada A, Alió JL. The use of intracorneal ring segments in keratoconus. *Eye Vis* 2016; 3: 8.
  33. Silvestrini T, et al. A geometric model to predict the change in corneal curvature from the intrastromal corneal ring (ICR). *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994; 35: 20-23.
  34. Kling S, Marcos S. Finite-element modeling of intrastromal ring segment implantation into a hyperelastic cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54: 881-889.
  35. Jarade EF, Slim E, Cherfan C, et al. Mathematical analysis of corneal remodelling after intracorneal ring surgery in keratoconus. *Int J Ophthalmol* 2017; 10: 348-354.
  36. Coskunseven E, Kymionis GD, Tsiklis NS, et al. Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. *Acta Ophthalmol* 2011; 89: 54-57.
  37. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega Cuetto L, et al. Sequential intrastromal corneal ring segment and monofocal intraocular lens implantation for keratoconus and cataract: Long-term follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 246-254.
  38. Monteiro T, Alfonso JF, Franqueira N, et al. Predictability of Tunnel Depth for Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation Between Manual and Femtosecond Laser Techniques. *J Refract Surg* 2018; 34: 188-194.
  39. Seleet MM, Soliman AH, Alaaeldin OM. Femtosecond laser intracorneal ring segment implantation based on a nomogram modification in type 1 and type 2 ectasia. *J Egypt Ophthalmol Soc* 2015; 108: 1.
  40. Saleem MIH, Elzembely HAI, AboZaid MA et al. Three-Year Outcomes of Cross-Linking PLUS (Combined Cross-Linking with Femtosecond Laser Intracorneal Ring Segments Implantation) for Management of Keratoconus. *J Ophthalmol* 2018; 2018: 6907573.
  41. Utine CA, Özizmirli D, Kayabaşı M, Güneç Ü. The number of intracorneal ring segments in asymmetric and central cones. *Eye Vis* 2021; 8: 10.
  42. Alfonso JF, Lisa C, Merayo-Llodes J, et al. Intrastromal corneal ring segment implantation in paracentral keratoconus with coincident topographic and coma axis. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38: 1576-1582.
  43. Piñero DP, Alió JL, El Kady B, Pascual I. Corneal aberrometric and refractive performance of 2 intrastromal corneal ring segment models in early and moderate ectatic disease. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 102-109.
  44. Hersh PS, Issa R, Greenstein SA. Corneal crosslinking and intracorneal ring segments for keratoconus: A randomized study of concurrent versus sequential surgery. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45: 830-839.