



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA – TELECOMUNICACIONES

ESTUDIO DE TRANSDUCTORES REFRACTOMÉTRICOS DE FORMA ASFÉRICA,
PARA FINES DE SU MODELADO NUMÉRICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
DORA MARIELA MARTÍNEZ GONZÁLEZ

TUTOR
Dr. Sergiy Khotyaintsev
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. OCTUBRE 2016

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Gutiérrez Castrejón Ramón

Secretario: Dr. Martynyuk Oleksandr

Vocal: Dr. Khotyaintsev Sergiy

1 er. Suplente: Dr. Kolokoltsev Flatov Oleg V.

2 do. Suplente: Dr. Ceballos Herrera Daniel Enrique

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

MEXICO, D.F.

TUTOR DE TESIS:
Dr. Khotyaintsev Sergiy

FIRMA

DEDICATORIA

A mi madre

A mi querida madre quien me ha dedicado el tesoro más valioso que puede dedicársele a una hija: amor. A ti a quien sin escatimar esfuerzo alguno has sacrificado gran parte de tu vida para poder formarme y educarme. A ti quien su ilusión de tu vida ha sido convertirme en persona de provecho. A ti a quien nunca podré pagar todos tus desvelos ni con todas las riquezas más grandes del mundo. A ti que eres de la clase de personas que todo lo comprende y da lo mejor de sí misma sin esperar nada a cambio. A ti que sabes escuchar y brindar ayuda cuando es necesario. A ti porque te has ganado el cariño, admiración y respeto de todo el que te conoce. Por esto y más... Gracias.

*Sinceramente.
Maye, tu hija que te ama*

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por todo su cariño, apoyo y motivación para poder cumplir con todos mis objetivos y metas.

A mi tutor Dr. Sergiy Khotyaintsev por aceptarme en su equipo de trabajo, por toda la confianza que depositó en mí, por su paciencia, dedicación y enseñanzas durante el desarrollo de mi tesis.

Al M. en I. Víctor Manuel Durán Campos por su apoyo brindado en las asesorías sobre el manejo de objetos sólidos en 3 dimensiones y la programación básica en AutoCAD.

Al Dr. Álvaro Ayala Ruiz por su apoyo brindado en las asesorías y elaboración de los modelos sólidos en 3D con el software SolidWorks que simulan algunas piezas ópticas de vidrio de tipo paraboloidé y elipsoide.

A Octavio, que más que un amigo es como un hermano, te agradezco toda tu ayuda y tu apoyo incondicional, así como todos los buenos momentos.

A la DGAPA-PAPIIT de la UNAM por el apoyo en forma de Proyecto de innovación tecnológica “Implementación de un nuevo método de monitoreo del comportamiento de estructuras hasta su falla de elementos de concreto y materiales compuestos, con arreglos de fibras ópticas” con número de referencia IT102515.

A la DGAPA-PAPIME de la UNAM por el apoyo en forma de Proyecto “Nuevas prácticas de laboratorio con actividades y experimentos virtuales y reales para el mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje en dos asignaturas de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones” con número de referencia PE101616.

A la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Ingeniería de la UNAM por el apoyo en forma de Proyecto “Sistemas de detección temprano de riesgos en edificios históricos”, un Proyecto Colaboración Conjunta del Fondo de Colaboración de Instituto de Ingeniería y la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación del tema y contenido del proyecto de tesis	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Particulares.....	2
1.4 Metodología	3
2 Estado de arte de sensores refractométricos de fibra óptica de tipo extrínseco de materiales plásticos	4
2.1 Los tipos de fibras ópticas	4
2.1.1 Fibras ópticas de sílice (SiO ₂).	4
2.1.2 Fibras ópticas de plástico (POF).....	4
2.2 Sensores de fibra óptica	5
2.3 Sensores refractométricos de tipo extrínseco con elementos de sensibilidad de materiales plásticos.....	7
2.3.1 Sensor de índice de refracción fibra óptica doblada o en forma de “U”	7
2.3.2 Refractómetros de fibra óptica con punta recta o de forma especial	8
2.3.3 Sensor refractométrico de fibra óptica en forma “ D “	8
2.3.4 Sensores refractométricos de fibra óptica estrecha (<i>taper</i>)	9
2.3.5 Sensor de índice de refracción óptico de rejillas de periodo largo	10
2.4 Sensores refractométricos extrínsecos	11
2.4.1 Sensores refractométricos de fibra óptica con elementos de detección semiesférico, semicilíndrico, paraboloidal y elipsoidal, trabajando en modo de transmisión	11
2.4.2 Sensor de índice de refracción basado en la interferencia multimodo en una estructura monomodo-multimodo-monomodo.....	12
2.5 Métodos y técnicas de análisis de elementos y sistemas ópticos y de fibra óptica ..	13
2.5.1 Óptica Geométrica.....	13

2.5.2	Algunas características del software existente para el análisis de elementos y sistemas ópticos	13
2.6	Conclusiones.....	14
3	Caracterización de la forma de superficie de las muestras de elementos de sensibilidad (transductores) de PMMA	15
3.1	Formulación matemática de formas geométricas	15
3.2	Caracterización de las superficies de las muestras de elementos de sensibilidad (transductores ópticos refractométricos) de PMMA.....	16
4	Representaciones matemáticas analíticas de las superficies de los transductores	18
4.1	Elipsoide E1 (Pieza # 1, d=15.90 mm).....	18
4.2	Paraboloide P1 (Pieza #1, d=15.96 mm).....	19
4.3	Conclusiones.....	20
5	Verificación de la posibilidad y eficiencia del modelado de los sensores refractométricos en el modo de reflexión por medio de TracePro®	21
5.1	Prueba de modelado de un lente	22
5.2	Prueba del modelado del transductor con dos fibras y un espejo.....	27
5.3	Prueba del modelado del transductor con dos fibras, un espejo y elemento transductor sumergido en un bloque	30
5.4	Prueba del modelado del transductor en el modo de transmisión con dos fibras ópticas	36
5.5	Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un divisor de haz (un espejo a 45°)	41
5.6	Prueba del modelado del transductor completo en el modo de reflexión.....	45
5.7	Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un acoplador direccional de fibra óptica tipo “Y”	48
5.8	Conclusiones.....	56
6	Generación de las formas geométricas por medio del programa de AutoCAD®	57
6.1	Elipsoide E1 (Pieza #1, diámetro 15.90 mm)	57
6.2	Paraboloide P1 (Pieza #1, diámetro 15.96 mm)	64
6.3	Conclusiones.....	68
7	Resultados del trazado de rayos de los elipsoides con el software SRFO.....	69
7.1	Elipsoide E3 (Pieza #3, diámetro de 23.80 mm).....	69
7.1.1	Pieza E3, ecuación E3.1.....	70

7.2	Elipsoide E4 (Pieza #4, diámetro 35.97 mm).....	73
7.2.1	Pieza E4 ecuación E4.1.....	74
7.3	Elipsoide E5 (Pieza #5, diámetro 23.79 mm).....	76
7.3.1	Pieza E5 ecuación E5.1.....	77
7.4	Elipsoide E6 (Pieza #6, diámetro 23.79 mm).....	79
7.4.1	Pieza E6 ecuación E6.1.....	80
7.5	Conclusiones.....	82
8	CONCLUSIONES GENERALES.....	83
9	REFERENCIAS.....	85
	Anexos.....	87

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los avances en las comunicaciones ópticas tienen como resultado el desarrollo de nuevas y distintas aplicaciones de las fibras ópticas. En particular el área de sensado de diversas cantidades físicas aprovechando la sensibilidad de las fibras ópticas a la temperatura, presión y otros factores físicos para medición de respectivas cantidades.

Un grupo importante e interesante de sensores de fibra óptica son los sensores refractométricos. Son sensores que miden el índice de refracción del medio externo. Estos sensores también sirven para distinguir entre un gas, o bien el aire, y un líquido por tener índices de refracción muy diferentes (aire, gas tienen $n \approx 1$ y el agua $n=1.333$).

Los sensores refractométricos son de importancia para las mismas comunicaciones ópticas por poder detectar el ingreso de agua en los cables de telecomunicaciones subterráneas y submarinas. El ingreso de agua produce daño a estos cables. Por esto la detección temprana de ingreso de agua en los cables permite reparaciones y mantenimiento preventivo.

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) hay grupos que trabajan sobre fibras ópticas y sensores basados en fibras ópticas. Son grupos encabezados por el Doctor Juan Hernández Cordero en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM), Doctor Eduardo Sandoval en el CCADET y Doctor Ramón Gutiérrez Castrejón en el Instituto de Ingeniería, por mencionar algunos. También hay grupos que trabajan sobre la refractometría y uno de sus principales investigadores es el Doctor Augusto Valenzuela en el CCADET.

En la Facultad de Ingeniería también hay un grupo que desarrolla la investigación científica y aplicada sobre sensores refractométricos, este grupo es encabezado por el Doctor Sergiy Khotyaintsev. Los estudiantes de Posgrado en Ingeniería integrantes de este grupo desarrollan los sensores refractométricos de fibra óptica de tipo extrínseco basados en elementos de sensibilidad de vidrio y plástico. La revisión detallada de los desarrollos en esta parte se presenta en el segundo capítulo de la presente tesis.

1.2 Justificación del tema y contenido del proyecto de tesis

Los trabajos realizados a la fecha demuestran las ventajas de los sensores de fibra óptica con elementos de sensibilidad (transductores) extrínsecos de superficie de trabajo de segundo orden, fabricados de materiales plásticos (en particular, polimetilmetacrilato, PMMA) en comparación con otros diseños de sensores. Además, hay datos experimentales que demuestran la factibilidad de fabricación de dichos sensores en tornos de control numérico computarizado (tornos CNC), una tecnología de manufactura que hace fácil y económica la fabricación de elementos de distintas formas de superficie. Sin embargo, a pesar de la alta precisión de tornos de control numérico (CNC), la etapa final de la fabricación de transductores es el pulido, cuyo objetivo es la obtención de la calidad óptica

de la superficie de PMMA. El pulido remueve el material de la pieza de un forma poco controlada, por lo cual la forma real de la pieza es distinta de la deseada (diseñada teóricamente).

A pesar de que un conjunto de muestras de los transductores de PMMA con diferentes superficies de trabajo (elipsoidal y paraboloidal) fueron fabricados en el taller del CCADET de la UNAM en el marco de un trabajo anterior, al inicio del presente proyecto no existían datos suficientemente confiables sobre su forma real. La falta de estos datos detuvo la investigación científica sobre los sensores en cuestión. Además, dichos sensores presentan configuraciones más compactas en el modo de transmisión. Pero, al inicio del presente proyecto no existían evidencias de que software permitiera el análisis de los sensores en el modo de reflexión.

Por todo lo expuesto anteriormente, fue importante encontrar un método teórico y un respectivo software de simulación útil, eficaz y práctico en la realización de investigaciones científicas básicas y aplicadas sobre las propiedades de los sensores refractométricos de fibra óptica con elementos de sensibilidad extrínsecos de superficie de segundo orden de materiales plásticos. Esto con un enfoque especial al empleo de dichos elementos en el modo de reflexión; todo esto considerando las finitas imperfecciones de la tecnología actual de fabricación de elementos de sensibilidad de superficie de segundo orden de plástico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Obtener datos sobre la forma real de algunos elementos sensores (transductores ópticos refractométricos) de materiales plásticos de superficie esférica y verificar la posibilidad de realizar el modelado matemático numérico y análisis teórico de los respectivos sensores refractométricos en el modo de reflexión, por medio de un software comercial.

1.3.2 Objetivos Particulares

- Analizar el estado de arte de los sensores refractométricos de fibra óptica de tipo extrínseco e identificar sus perspectivas de perfeccionamiento, así como los problemas todavía no resueltos.
- Encontrar un método para la obtención de datos sobre la forma geométrica real de las muestras de transductores ópticos refractométricos de PMMA fabricados en una máquina controlada numéricamente por computadora (torno CNC).

- Realizar la caracterización de la forma de superficie de un conjunto de transductores refractométricos (de un conjunto de 17 muestras).
- Encontrar representaciones matemáticas analíticas de dichas superficies.
- Verificar la posibilidad de realizar el modelado de un sensor refractométrico de fibra óptica de tipo extrínseco en el modo de reflexión por medio de TracePro® (un software de trazado de rayos orientado a problemas de iluminación) y demostrar la posibilidad o no de obtención de la respuesta del sensor al índice de refracción del medio externo, con este software: la transmisión óptica del sensor en función del índice de refracción del medio externo y parámetros geométricos ópticos de sus elementos esenciales.

1.4 Metodología

La metodología del trabajo incluye métodos tanto teóricos como experimentales. En la parte teórica se plantea el uso de métodos matemáticos, en particular la representación analítica de las superficies esféricas de los transductores ópticos y el análisis teórico de la transmisión de la radiación óptica en dichos transductores por medio de trazado de rayos, con un software existente.

En la parte experimental se prevé el empleo de técnica de fotografía para la obtención de imágenes de las muestras experimentales de elementos de sensibilidad, con una digitalización posterior y procesamiento de dichas imágenes (manual o con un software especializado) para obtener, por ende, las ecuaciones de las superficies.

Dichas ecuaciones serán utilizadas en las simulaciones de la propagación de la luz en elementos transductores. Se prevé el uso de un software especializado (SRFO) desarrollado en la UNAM por los integrantes del grupo del Dr. Sergiy Khotyaintsev, así como las pruebas de posibilidad de realizar las simulaciones de nuestros transductores y sensores completos con el software comercial TracePro. El TracePro es un software de trazado de rayos orientado a los problemas de iluminación, una clase de problemas ópticos que corresponde a nuestro caso de un sensor óptico refractométrico de tipo intensidad. Al inicio de este trabajo, no hubo evidencias ni antecedentes de un modelado exitoso de sensores en cuestión con TracePro®.

2 ESTADO DE ARTE DE SENSORES REFRACTOMÉTRICOS DE FIBRA ÓPTICA DE TIPO EXTRÍNSECO DE MATERIALES PLÁSTICOS

Actualmente las comunicaciones por fibra óptica son dominantes en los distintos medios de comunicaciones; por ello la industria produce gran variedad de fibras ópticas y diversos elementos activos y pasivos para los sistemas de comunicaciones ópticas, tales como los filtros, amplificadores ópticos, equipos de transmisión y recepción ópticos. El estado de arte de las comunicaciones por fibra óptica esta cubierto en un gran número de libros de texto y monografías. A continuación haremos una revision breve de los temas más importantes directamente relacionados l tema de la presente tesis.

2.1 Los tipos de fibras ópticas

Existen tres tipos de fibra óptica las cuales son usadas actualmente: de vidrio, plástico o/y una combinación de vidrio y plástico. A continuación se muestran las variedades:

1. Núcleo y forro de plástico.
2. Núcleo de vidrio con forro de plástico (llamado con frecuencia fibra PCS, *plastic-clad silica* o sílice revestido con plástico).
3. Núcleo de vidrio y forro de vidrio (llamado con frecuencia SCS, *silica-clad silica* o sílice revestido con sílice).

2.1.1 Fibras ópticas de sílice (SiO₂)

Este tipo de fibras presenta la mayor ventaja con respecto a las de plástico, pues tienen bajas atenuaciones; sin embargo, para las fibras de tipo 2, son un poco mejores que las del tipo 3. Las fibras PCS también se afectan menos por la radiación ionizante y, en consecuencia, son mucho más atractivas en las aplicaciones militares. Las fibras SCS tienen las mejores características de propagación y son más fáciles de terminar que las PCS. Una desventaja es que los cables SCS son los menos robustos y son más susceptibles a la radiación ionizante que produce los aumentos de atenuación de la señal óptica.

2.1.2 Fibras ópticas de plástico (POF)

Este tipo de fibras presentan algunas ventajas sobre las de vidrio, en particular son más flexibles y, en consecuencia, más robustas que las de vidrio. Así también su instalación es más sencilla, tienen resistencia a los esfuerzos, tienen menor costo y pesan un 60% menos que las de vidrio. Sin embargo, una de las desventajas que presentan estas fibras es su alta atenuación, esto ocasiona que las fibras de plástico se encuentren limitadas en tramos cortos. Un ejemplo de su uso es en un edificio.

En su mayoría estas fibras usan acrílico (polimetilmetacrilato, PMMA) para el núcleo y otros polímeros para el revestimiento. Este tipo de fibras ópticas (POF) son las más usadas en enlaces cortos por los consumidores debido a que los costos de la fibra, los enlaces ópticos y los conectores son bajos. Hay otros materiales plásticos que se utilizan para la

fabricación de POF y éstos dependen de los tipos de aplicaciones que se consideran por los usuarios.

En particular, las POF se fabrican también con materiales como polistireno (PS) Y policarbonatos (PC), estos materiales son usados en ventana visible del espectro electromagnético del rango de 520 a 780 nm de longitud de onda, sin embargo una de las principales desventajas de las POF es la pérdida más grande, en comparación con las fibras de vidrio de sílice.

Un tipo importante de los sistemas de comunicaciones por fibra óptica son los sistemas WDM (por sus siglas en inglés Wavelength Division Multiplexing, o en español Multiplexaje por División de Longitud de Onda).

Los sistemas WDM tienen como principio de operación el que varios transmisores generen una señal a determinada longitud de onda (λ), todas esas señales son combinadas en una sola señal por un multiplexor y esa señal es transmitida sobre la misma fibra óptica. Es decir, el WDM divide el ancho de banda de la fibra óptica en muchos segmentos donde en cada uno viaja una señal; teniendo varios rayos de luz con diferente longitud de onda (λ) que se puedan propagar simultáneamente sobre el mismo camino óptico sin interferir unos con otros.

Con esta técnica comenzó una revolución la cual dio lugar a la multiplicación de la capacidad de los sistemas. En la mayoría de los sistemas WDM, las pérdidas de las fibras se equilibra periódicamente con amplificadores de fibra dopada con erbio. El énfasis actual de los sistemas WDM es en el aumento de la capacidad del sistema mediante la transmisión de más canales. Con el aumento del ancho de banda de la señal WDM, a menudo no es posible amplificar todos los canales que utilizan un solo amplificador.

Se refiere a la quinta generación de sistemas de comunicación de fibra óptica con la ampliación de la gama de longitud de onda sobre la cual un sistema WDM puede funcionar simultáneamente.

Debido a los desarrollos señalados en esta sección actualmente existe una gran variedad de elementos para sistemas de comunicaciones ópticas.

2.2 Sensores de fibra óptica

El área de instrumentación aprovecha los desarrollos en el área de comunicaciones ópticas. En particular, los sensores de fibra óptica surgieron como una alternativa a los sensores tradicionales mecánicos, eléctricos, químicos y otros. Los sensores de fibra óptica tienen numerosas ventajas en comparación con sensores tradicionales.

Existen 4 categorías de los sensores ópticos:

1. Sensores de Intensidad
2. Sensores de Fase
3. Sensores de Polarización
4. Sensores de Frecuencia

Actualmente, los sensores de intensidad mejor conocidos como “Tipo Amplitud” están abarcando el mercado más que los sensores de otros tipos, esto debido a la facilidad de su implementación, ya que la medición de intensidad es relativamente sencilla.

Existe otra manera de clasificar los sensores de fibra óptica:

1. Sensores Extrínsecos. Estos usan la fibra óptica para guiar la luz hasta un elemento (módulo) sensor externo que modula el haz en respuesta al parámetro que se pretende medir para luego ser guiada nuevamente por la fibra óptica hasta un fotoreceptor. Un factor físico que actúe sobre el transductor ocasiona que la cantidad de luz recibida sea alterada.

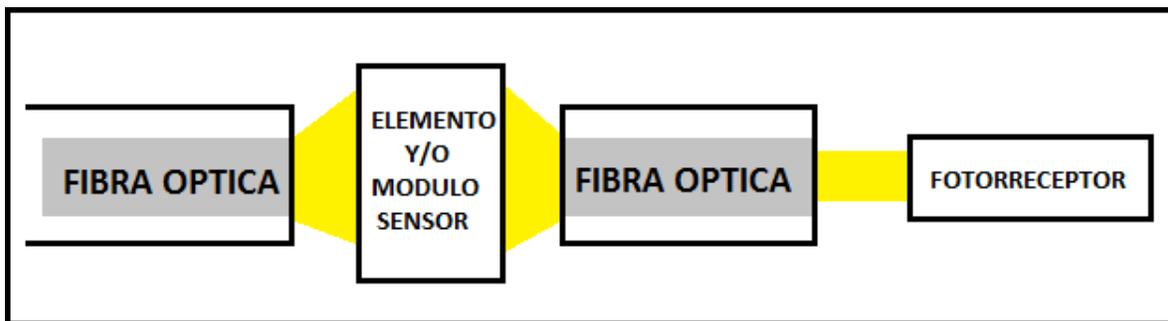


Figura 2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN SENSOR EXTRÍNSECO.

2. Sensores Intrínsecos. Éstos utilizan la fibra óptica como guía de onda hasta el lugar donde la magnitud de interés se quiere medir, la luz permanece dentro de la fibra en todo momento. Un transmisor (generalmente con base en un LED) acopla la luz en el interior del núcleo. La intensidad de la luz que sale del otro extremo de la fibra sufre modificaciones en función de la influencia externa.

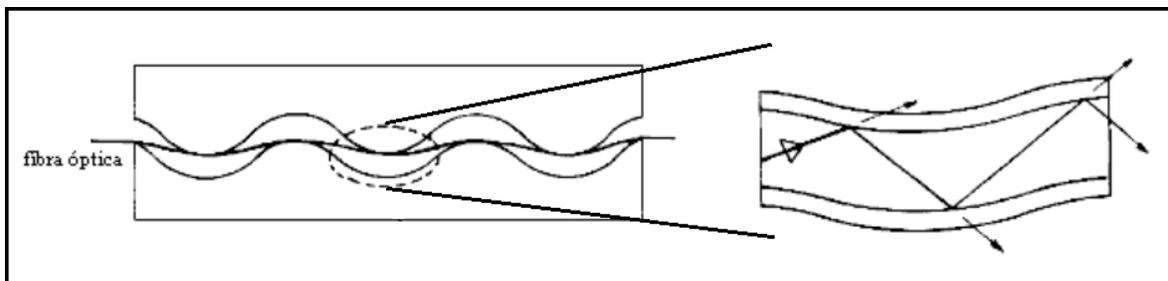


Figura 2.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN PARA UN SENSOR INTRÍNSECO.

2.3 Sensores refractométricos de tipo extrínseco con elementos de sensibilidad de materiales plásticos

La refractometría es un área de instrumentación óptica que se dedica a la medición del índice de refracción de diversos medios y materiales. Tiene una gran ventaja el hecho de conocer el índice de refracción ya que se puede medir la densidad, composición química, concentración, nivel de líquido, entre otros.

Los sensores refractométricos, a diferencia de los sistemas WDM en su mayoría trabajan y utilizan el régimen multimodal, las bandas espectrales visible e infrarrojo cercano ($\lambda=0.63$ a $0.92\mu\text{m}$) y también utilizan frecuentemente fuentes no coherentes tales como LED, todo esto para el costo reducido de los sistemas de medición y una mayor eficiencia en las mediciones. Sin embargo, dichas singularidades tienen como resultado la necesidad de varios desarrollos originales e innovaciones en esta área de sensores, ya que en el mercado no existen muchos de estos elementos.

2.3.1 Sensor de índice de refracción fibra óptica doblada o en forma de "U"

Son sensores de intensidad que aprovechan la reflexión interna total. El revestimiento de la fibra es removida a lo largo de cierta longitud, dejando el núcleo expuesto. La fibra se dobla en "U" a lo largo de la parte descubierta. [Figura 2.3]

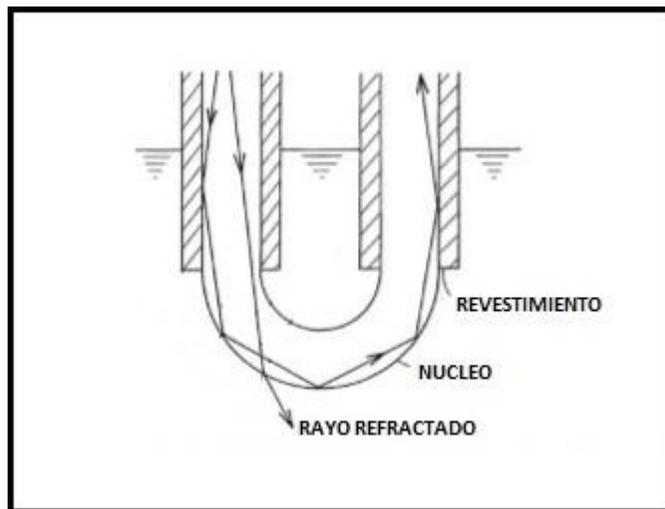


Figura 2.3 SENSOR REFRACTOMÉTRICO DE FIBRA ÓPTICA EN FORMA DE "U" [6].

Estos sensores se fabrican principalmente en fibras ópticas de plástico debido a su bajo costo, núcleo de gran diámetro y gran apertura numérica. Son usados como refractómetros o detectores de nivel de líquidos.

2.3.2 Refractómetros de fibra óptica con punta recta o de forma especial

En este sensor la punta es usada como elemento transductor, éstos trabajan en modo de reflexión. El sistema de sensado es usado para medir el índice de refracción de materiales líquidos; el sensor es una fibra óptica monomodo sumergida en el líquido de interés. Usando un láser de helio-neón, transmite un haz hacia un divisor de haz; dicho haz es modulado por una hélice mecánica, la luz modulada es acoplada hacia la fibra óptica usando una lente de enfoque microscópica. [Figura 2.4]

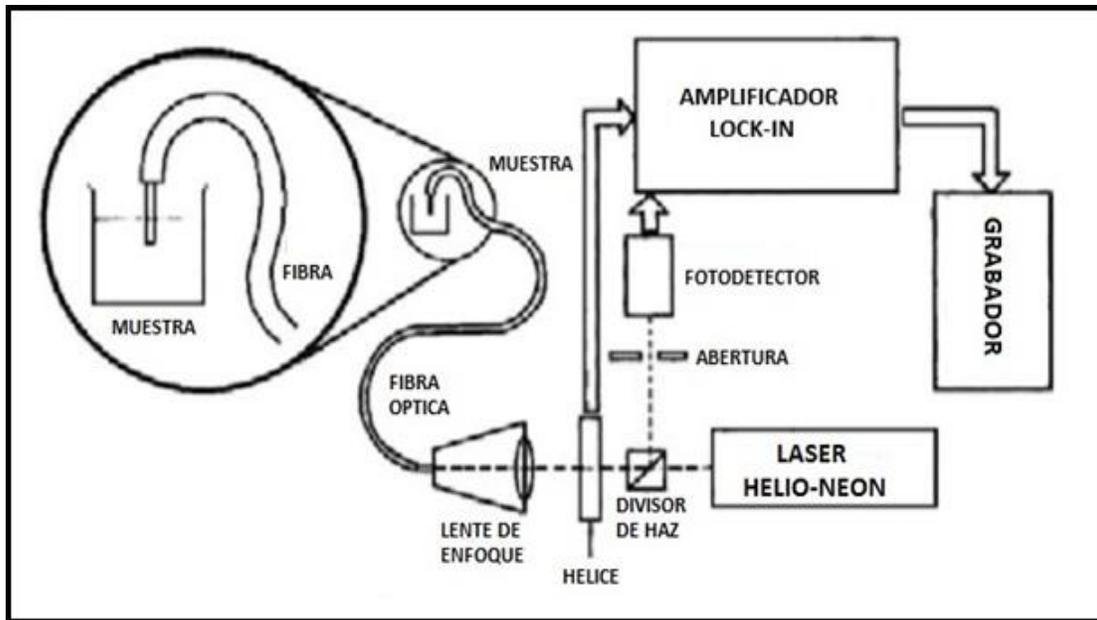


Figura 2.4 SISTEMA DE SENSADO REFRACTOMÉTRICO DE FIBRA ÓPTICA [6].

La luz incidente es transmitida por la fibra hasta salir por la punta del otro extremo de la fibra, que es la que se encuentra sumergida en la muestra. La luz reflejada por la interfaz líquido-fibra regresa hasta la punta de entrada de la fibra; dicha luz es transmitida por el puerto lateral del divisor de haz y filtrada por una apertura para discriminar las reflexiones parásitas. Finalmente, un filtro óptico es usado para rechazar luz ambiental y la señal transmitida es detectada por un fotodiodo.

2.3.3 Sensor refractométrico de fibra óptica en forma “ D ”

Estos sensores son usados con fibra monomodo, ya que se le reduce el espesor del revestimiento, en una de sus caras en menos de 10 μm permitiendo que un segundo revestimiento entre en contacto con el primero, conduciendo a la región que esta en contacto con el modo de la fibra y se vea afectado. [Figura 2.5]

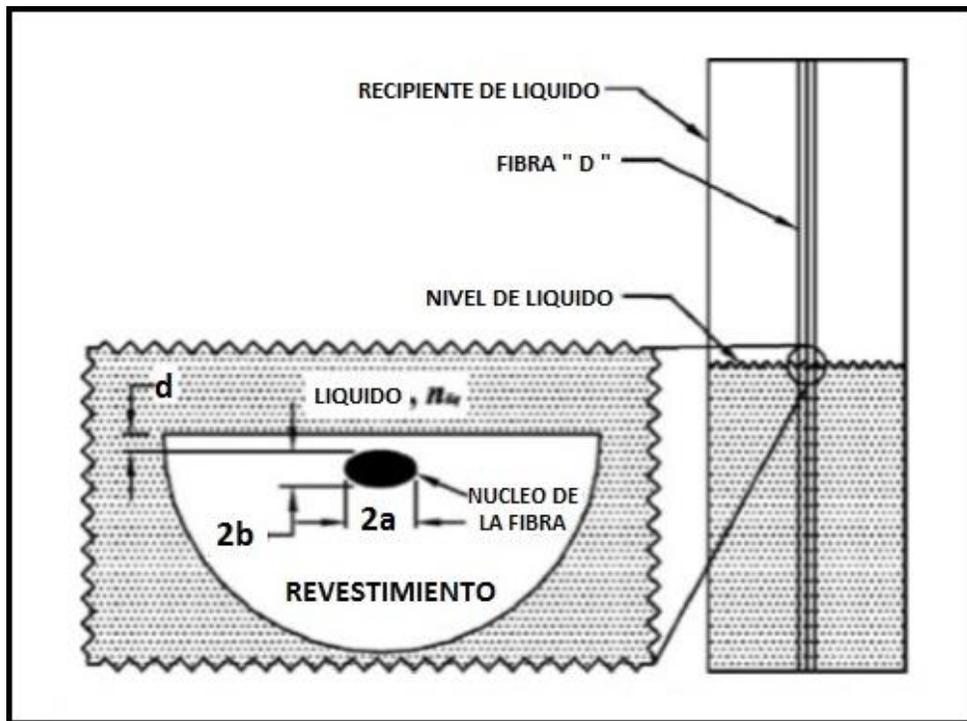


Figura 2.5 SISTEMA DE SENSADO DE NIVEL DE LÍQUIDO DE FIBRA ÓPTICA EN FORMA "D" [6].

Si el índice de refracción del segundo revestimiento es menor que el índice efectivo del modo, la fibra continúa conduciendo la luz. Sin embargo, si el índice de refracción del segundo revestimiento es mayor que el índice efectivo, la potencia en la fibra se atenúa.

2.3.4 Sensores refractométricos de fibra óptica estrecha (*taper*)

Su funcionamiento es basado en la interferencia modal entre el núcleo y el revestimiento a lo largo de una región estrecha. Su estructura a considerar consiste de una región uniformemente adelgazada entre dos regiones cónicas, donde el núcleo original se encuentra virtualmente ausente y los modos son soportados por la región revestimiento-medio. [Figura 2.6]

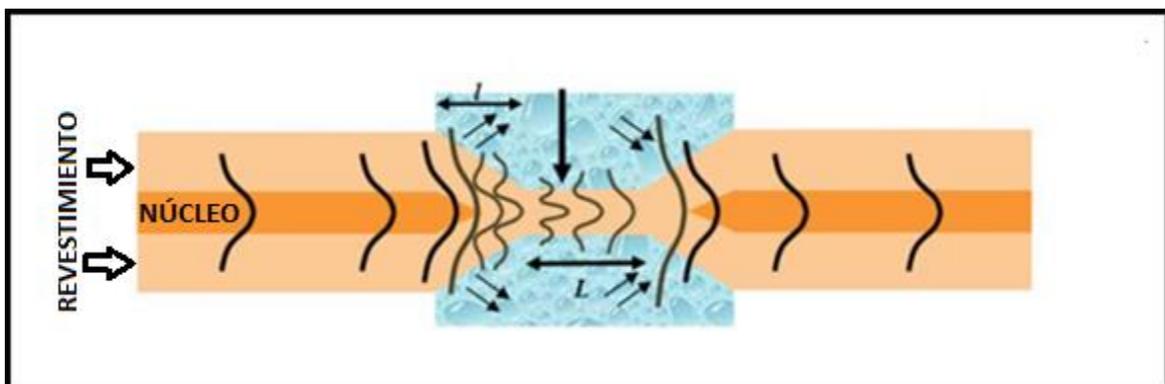


Figura 2.6 DIAGRAMA DE SENSOR REFRACTOMÉTRICO DE FIBRA ÓPTICA ESTRECHA [6].

En la primera región cónica del núcleo se extiende, lo que trae una ampliación espacial del modo del núcleo, que posteriormente acoplará su potencia a los modos de revestimiento en la región adelgazada. En la segunda región cónica, estos modos del revestimiento gradualmente se acoplan (junto con sus fases) hacia el modo núcleo de la fibra monomodo, llevando a una distribución de potencia espectral periódica. Las áreas cónicas y el adelgazamiento de la fibra es logrado con técnicas de calentamiento, estiramiento y pulido de precisión.

2.3.5 Sensor de índice de refracción óptico de rejillas de periodo largo

El funcionamiento de este sensor es cuando una onda de luz se propaga desde una fuente óptica de banda ancha. Una parte de la onda continua propagándose por el núcleo de la fibra hacia el espejo localizado al final de la fibra, otra parte viaja a través del revestimiento de igual manera dirigida hacia el espejo. Debido al espejo la onda es reflejada hacia la rejilla del periodo largo. [Figura 2.7]

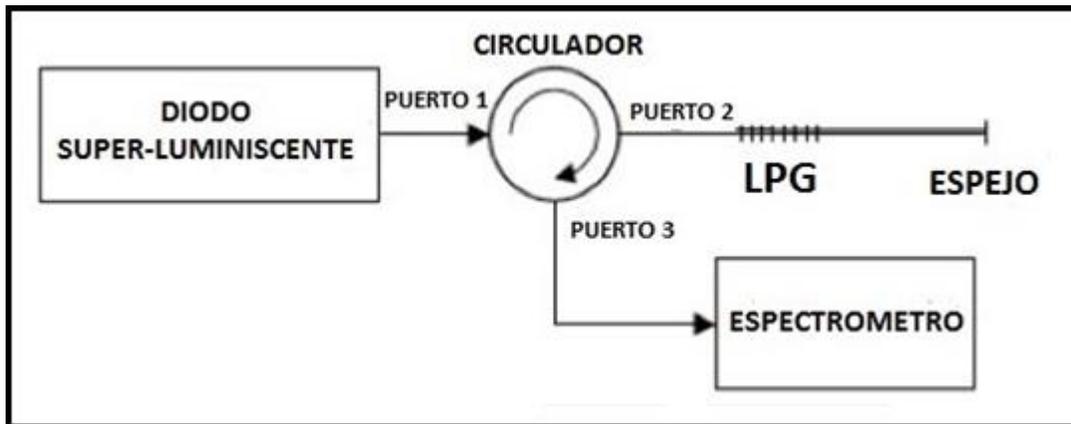


Figura 2.7 SISTEMA DE SENSADO REFRACTOMÉTRICO ÓPTICO DE REJILLAS DE PERIODO LARGO [6].

En la rejilla, parte de la onda que viaja en el núcleo se acopla en el revestimiento y es perdida. Similarmente parte de la onda que viaja en el revestimiento se acopla de regreso en el núcleo, mientras el resto del modo del revestimiento continúa propagándose por éste mismo y también se pierde. Un analizador de espectros ópticos determina el espectro del patrón de interferencia como función de la longitud de onda. Cuando hay un cambio en el medio de refracción externo, la diferencia de fase también variará y por lo tanto también su longitud de onda.

2.4 Sensores refractométricos extrínsecos

2.4.1 Sensores refractométricos de fibra óptica con elementos de detección semiesférico, semicilíndrico, paraboloidal y elipsoidal, trabajando en modo de transmisión

Su operación básica se da cuando un haz de luz, proveniente de una fuente luminosa, se acopla a la fibra óptica transmisora y es llevado hacia el elemento de detección. Dependiendo del índice de refracción del medio externo y de la posición relativa de las fibras, la luz podrá experimentar reflexión interna total, parcial o nula dentro del mismo. [Figura 2.8]

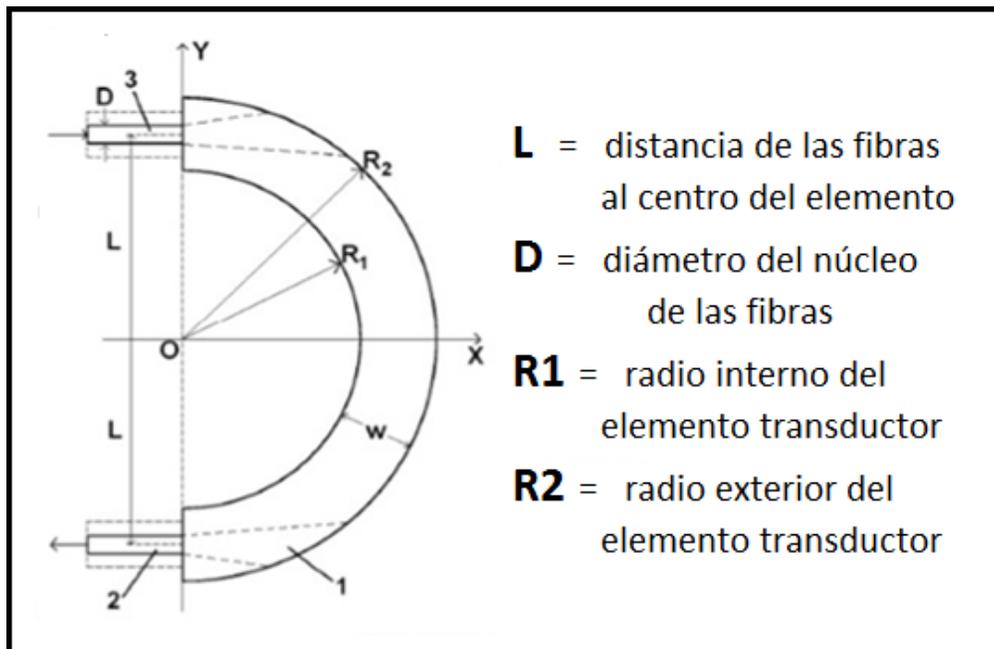


Figura 2.8 SENSOR REFRACTOMÉTRICO CON ELEMENTO DE DETECCIÓN SEMICILÍNDRICO [6].

Cuando el elemento de detección se encuentra sumergido en algún líquido, el índice de refracción del medio externo se vuelve comparable con el del elemento transductor, por lo que la potencia óptica a la entrada de la fibra receptora disminuirá o desaparecerá por completo.

Los parámetros que se mostraron en la Figura 2.8 son los que marcan las diferentes características del sensor, tales como sensibilidad, rango de detección y respuesta con respecto a la distancia relativa de las fibras.

2.4.2 Sensor de índice de refracción basado en la interferencia multimodo en una estructura monomodo-multimodo-monomodo

Estos sensores son basados en interferencia multimodal operando en una estructura de fibra óptica monomodo-multimodo-monomodo (también conocida como *Singlemode-Monmode-Singlmode*, SMS). Dicho en otras palabras está conformado por una sección de fibra multimodo empalmada entre dos secciones de fibra monomodo, formando así la estructura SMS. La luz proveniente de la fibra monomodo excita muchos modos en la sección de la fibra multimodo, causando interferencia entre ellos a lo largo de la fibra. [Figura 2.9]

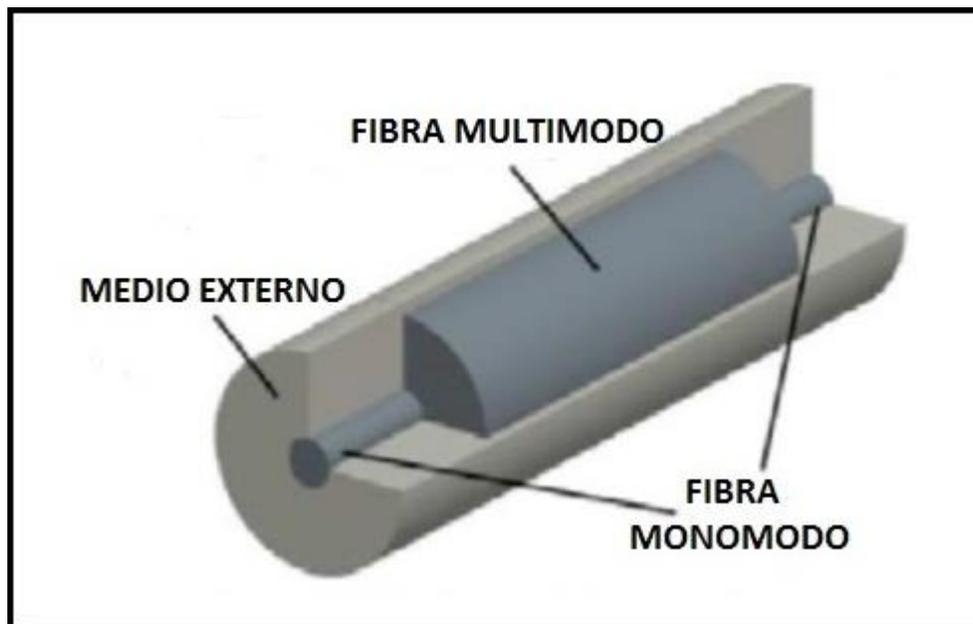


Figura 2.9 SENSOR REFRACTOMÉTRICO CON ESTRUCTURA MONOMODO-MULTIMODO-MONOMODO [6].

El efecto autoimagen ocurre cuando los modos excitados en la fibra óptica multimodo reconstruyen la intensidad y fase de la señal de entrada. Para el sensado de índices de refracción con estructuras SMS se observa el cambio del espectro transmitido cuando el índice de refracción externo se cambia.

2.5 Métodos y técnicas de análisis de elementos y sistemas ópticos y de fibra óptica

2.5.1 Óptica Geométrica

Sirve para el análisis de estructuras grandes, referenciado con la longitud de onda (λ) de operación. En particular, sirve para el análisis de fibras ópticas multimodales.

Se considera tres principios:

1. Propagación rectilínea de la Luz en un medio isotrópico u homogéneo.
2. Independencia de los rayos.
3. Principios de Fermat.

2.5.2 Algunas características del software existente para el análisis de elementos y sistemas ópticos

Para realizar el análisis de propagación de luz en nuestros elementos transductores y sensores completos sería atractivo utilizar un software orientado a los problemas de iluminación, en particular el software TracePro® de Lambda Research Corp. Sin embargo, al inicio de este trabajo, no hubo evidencias ni antecedentes descritos en literatura científica de modelado exitoso de sensores de nuestro tipo con TracePro®. Por esto, se hizo una serie de pruebas de modelado de nuestros transductores y sensores completos y el trazado de rayos de modelos de dichos transductores y sensores con el TracePro®; los resultados de estas pruebas se describen en un Capítulo posterior de este trabajo.

Las características atractivas de TracePro® en lo relacionado a nuestra aplicación: El TracePro® realiza el análisis óptico de modelos sólidos por medio de trazado de rayos. El TracePro® utiliza la técnica "Generalized Ray Tracing" que consiste en lanzar rayos en un modelo sin hacer ninguna suposición previa, esto incluye el orden de los objetos y el que se puedan cruzar las superficies que se utilizan en el modelado. En cada intersección, los rayos individuales son objetos de absorción, reflexión, refracción, difracción y dispersión. Como los rayos se propagan a lo largo de caminos diferentes en todo el modelo sólido, TracePro® realiza un seguimiento del flujo óptico asociado con cada rayo. TracePro® tiene plenamente en cuenta la absorción, reflexión especular y la refracción, la difracción y la dispersión de la luz.

2.6 Conclusiones

- Los sistemas actuales de comunicaciones ópticas en su mayoría utilizan fibras ópticas monomodo para la banda de 1.55nm, transmisores ópticos basados en las fuentes laser de alto rendimiento para la banda de 1.55nm, receptores ópticos de canales múltiples, filtros circuladores y otros elementos de línea.
- A diferencia de los sistemas de comunicaciones y sistemas WDM en particular, los sensores refractométricos basados en fibra óptica utilizan esencialmente las fibras multimodo, fuentes de tipo LED, estos sensores operan en las bandas visibles e infrarrojas cercano, esto para una mejor medición del índice de refracción de los medios y para reducir los costos de los respectivos sistemas de medición. Sin embargo, la industria no produce muchos elementos necesarios para la implementación de configuraciones óptimas de dichos sensores. Por ejemplo, no existen acopladores direccionales de fibra óptica disponibles en el mercado para la banda visible y algunas otras bandas particulares del espectro óptico.
- Las configuraciones existentes dominantes de los sensores refractométricos son de tipo de transmisión con la desventaja de utilizar cantidades excesivas de fibra óptica en la caracterización refractométrica del medio externo.

3 CARACTERIZACIÓN DE LA FORMA DE SUPERFICIE DE LAS MUESTRAS DE ELEMENTOS DE SENSIBILIDAD (TRANSDUCTORES) DE PMMA

3.1 Formulación matemática de formas geométricas

Las formas geométricas que presentan el interés para los elementos de sensibilidad, transductores de tipo refractométricos son elipsoides y paraboloides de parámetros diferentes. A los elipsoides y paraboloides corresponden las ecuaciones reducidas cuadráticas, esto es porque están formadas por todos los puntos del espacio cuyas coordenadas (x, y, z) cumplen a una ecuación de segundo grado.

LOS ELIPSOIDES. Se obtienen con 3 términos con coeficientes de segundo grado y con el mismo signo, un ejemplo de ello es la siguiente ecuación:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} + \frac{Z^2}{c^2} = \begin{cases} 1, \\ 0, \\ -1 \end{cases} \text{ siendo } a, b, c \neq 0$$

LOS PARABOLOIDES. Una manera de obtener a los paraboloides es cuando en la ecuación reducida aparecen dos términos de segundo grado y uno de primer grado. A continuación se presentan las dos maneras en las que puede aparecer expresada la ecuación si tomamos que "Z" es de primer grado:

$$Z = \pm \left(\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} \right) \text{ ó } Z = \pm \left(\frac{X^2}{a^2} - \frac{Y^2}{b^2} \right) \text{ con } a, b \neq 0$$

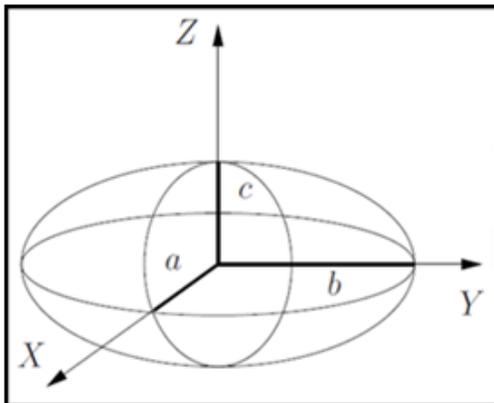


FIGURA 3.1 Elipsoide.

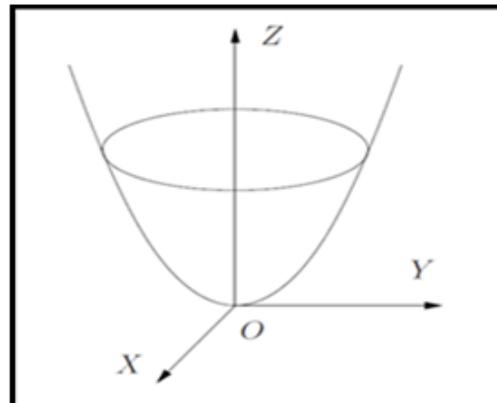


FIGURA 3.2 Paraboloides.

3.2 Caracterización de las superficies de las muestras de elementos de sensibilidad (transductores ópticos refractométricos) de PMMA

Para obtener datos sobre la forma real de las piezas se tomaron una serie de fotos de cada uno de los transductores (piezas).

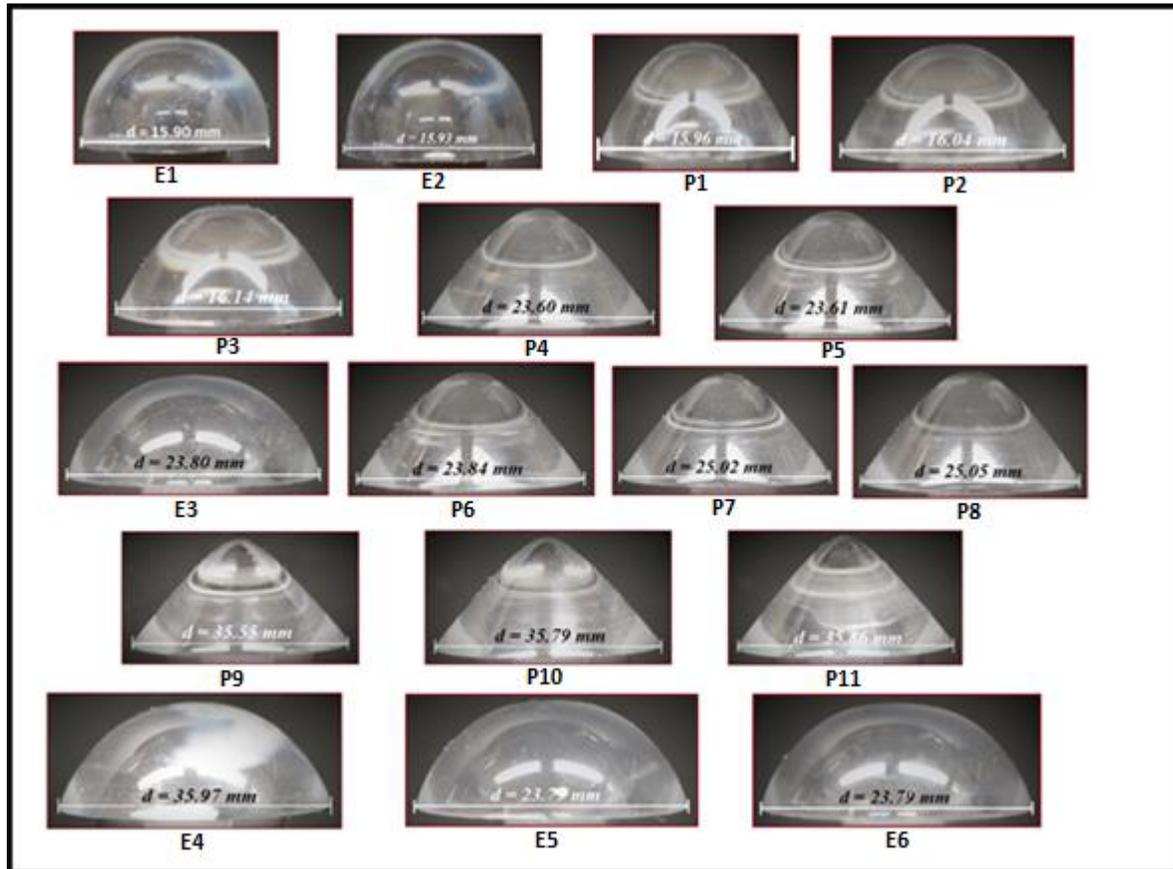
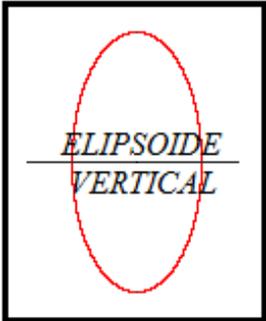


Figura 3.3 MUESTRAS DE TRANSDUCTORES: E1: ELIPSOIDE (DIÁMETRO 15.90mm), E2: ELIPSOIDE (DIÁMETRO 15.93mm), P1: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 15.96mm), P2: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 16.04mm), P3: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 16.14mm), P4: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 23.60mm), P5: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 23.61mm), E3: ELIPSOIDE (DIÁMETRO 23.80mm), P6: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 23.84mm), P7: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 25.02mm), P8: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 25.05mm), P9: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 35.55mm), P10: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 35.79mm), P11: PARABOLOIDE (DIÁMETRO 35.86mm), E4: ELIPSOIDE (DIÁMETRO 35.97mm), E5: ELIPSOIDE (DIÁMETRO 23.79mm), E6: ELIPSOIDE (DIÁMETRO 23.79mm).

A continuación se presenta la clasificación y diámetros dimensionales de las muestras de transductores de forma elipsoidal de la Figura 3.3.

Figura 3.4 CLASIFICACIÓN Y DIÁMETROS DIMENSIONALES DE LOS TRANSDUCTORES (PIEZAS) ELIPSOIDALES.

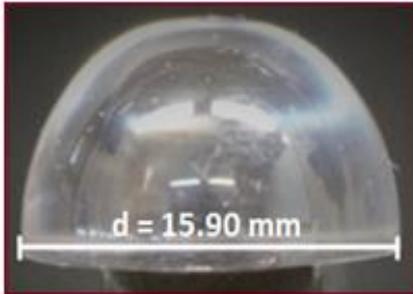
	
<p>PIEZA E1 DIÁMETRO $d=15.90\text{ mm}$</p> 	<p>PIEZA E3 DIÁMETRO $d=23.80\text{ mm}$</p> 
	<p>PIEZA E4 DIÁMETRO $d=35.97\text{ mm}$</p> 
<p>PIEZA E2 DIÁMETRO $d=15.93\text{ mm}$</p> 	<p>PIEZA E5 DIÁMETRO $d=23.79\text{ mm}$</p> 
	<p>PIEZA E6 DIÁMETRO $d=23.79\text{ mm}$</p> 

4 REPRESENTACIONES MATEMÁTICAS ANALÍTICAS DE LAS SUPERFICIES DE LOS TRANSDUCTORES

En este capítulo se presenta el procedimiento y resultados de obtención de representaciones matemáticas de algunos elementos transductores considerados en este trabajo. A continuación solo se presenta el procedimiento y resultados correspondientes a dos transductores (un elipsoidal y un paraboloidal) y los demás resultados se presentan en el Anexo A.

4.1 Elipsoide E1 (Pieza # 1, $d=15.90$ mm)

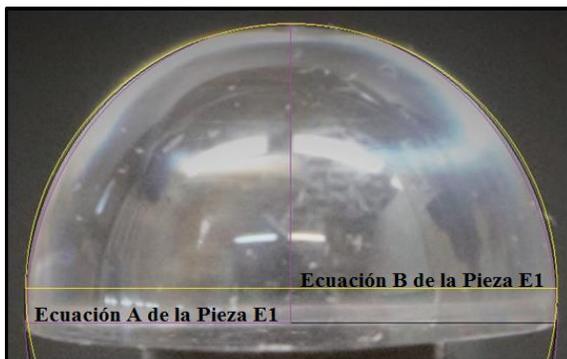
La ecuación que a continuación se muestra se determinó con el desarrollo de un programa realizado con Matlab®:



ECUACIÓN 1 (Pieza E1):

$$\frac{x^2}{(7.6916)^2} + \frac{y^2}{(7.6916)^2} + \frac{(z - 9)^2}{9^2} = 1$$

Las ecuaciones que a continuación se muestran para el mismo elemento se determinaron haciendo la digitalización de la fotografía del elemento transductor en Paint (usando los píxeles de la imagen):



ECUACIÓN 2 (Pieza E1):

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0$$

ECUACIÓN 3 (Pieza E1):

$$0.16 x^2 + 0.016 y^2 + 0.015 z^2 - 1 = 0$$

4.2 Paraboloide P1 (Pieza #1, $d=15.96$ mm)

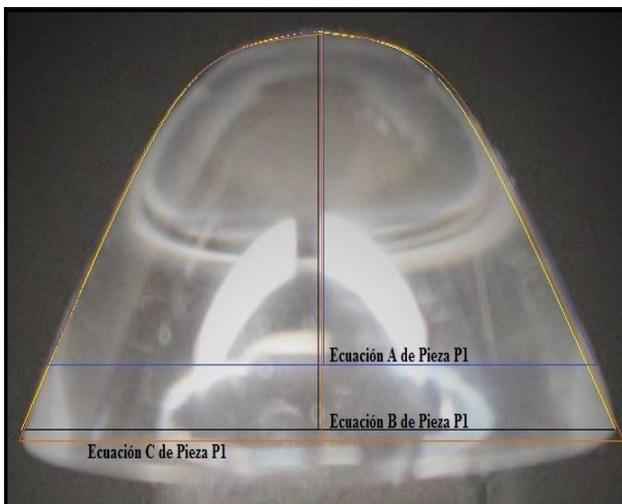
El procedimiento descrito en 4.1 es el mismo para los paraboloides, se realizó un código en Matlab.



ECUACION (P1.1):

$$\frac{x^2}{7.98^2} + \frac{y^2}{7.98^2} - \frac{z}{7.87} = 0$$

Además, se determinaron las ecuaciones haciéndola digitalización de la fotografía del elemento en Paint (usando los pixeles de la imagen):



ECUACIÓN A (parte superior del elemento):

$$x^2 + y^2 - 1.4 z^2 = 0$$

ECUACIÓN B (parte media del elemento):

$$x^2 + y^2 - 1.06 z^2 = 0$$

ECUACIÓN C (parte baja del elemento):

$$x^2 + y^2 - 1.06 z^2 = 0$$

Debido a que la fabricación de las piezas no fue exacta la superficie del transductor no se representa por una sola ecuación. Por esto, se realizaron representaciones matemáticas por segmentos del transductor, utilizando tres segmentos: uno de la parte superior del transductor, otro de la parte media y un más de la parte de abajo.

4.3 Conclusiones

- En este trabajo se observó que la forma real de los elementos sensores (transductores refractométricos ópticos) de PMMA fabricados en tornos de control numérico es distinta típicamente con respecto a su forma teórica ideal.
- La causa de la diferencia entre la forma real e ideal es la imperfección de la tecnología de fabricación en un torno controlado por computadora, seguido por la etapa de pulido manual de la superficie con un abrasivo fino, esto con el fin de obtener una calidad óptica de la superficie (que se tuviera lisa y transparente). El pulido quita una parte de PMMA de una forma no controlada.

5 VERIFICACIÓN DE LA POSIBILIDAD Y EFICIENCIA DEL MODELADO DE LOS SENSORES REFRACTOMÉTRICOS EN EL MODO DE REFLEXIÓN POR MEDIO DE TRACEPRO®

Para poder obtener el modelado por medio del software TracePro®, se menciona que los sensores de fibra óptica surgieron como una alternativa a los sensores tradicionales mecánicos, eléctricos, químicos, entre otros. Tienen numerosas ventajas en comparación con sensores tradicionales mecánicos y eléctricos.

A continuación se muestra un sensor óptico el cual tiene una fuente, dos fibras ópticas y un sensor transductor. La luz pasa de la fuente al transductor en el cual ocurre la reflexión interna.

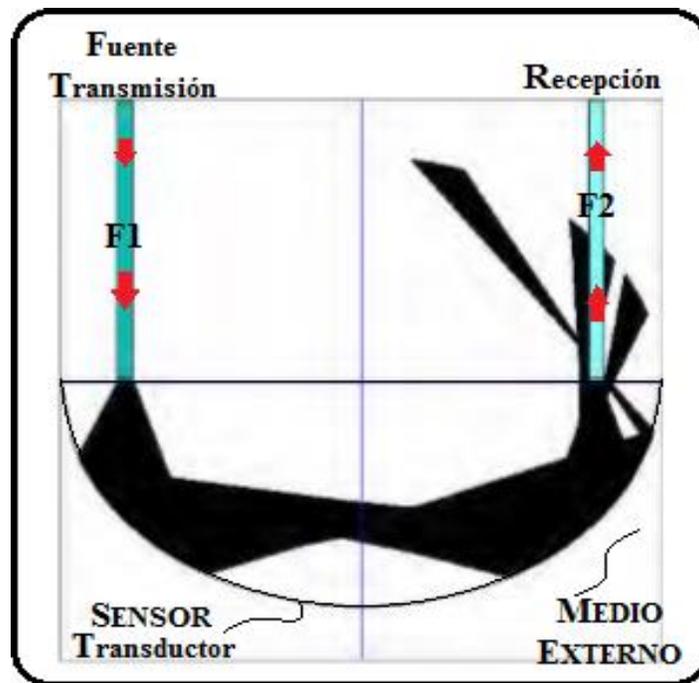


Figura 5.1 SENSOR TRANSDUCTOR CON DOS FIBRAS ÓPTICAS.

En la Figura 5.1 se muestra una de las configuraciones realizadas con el software SRFO, el punto inicial es poder realizar este mismo modelado en el programa de TracePro® y así poder comparar los resultados que se obtengan con el software y ver su similitud con los resultados obtenidos en el experimento físico.

Pero el enfoque principal a realizar es sobre una configuración del sensor, donde operará en el modo de reflexión. El transductor tiene un espejo en su extremo, en lugar de la fibra receptora. Por esto, la luz en el transductor se rebota a la fibra transmisora, la cual transmite la luz reflejada hacia un acoplador tipo “Y” y luego al foto receptor. Con esto, el diseño es más compacto y económico.

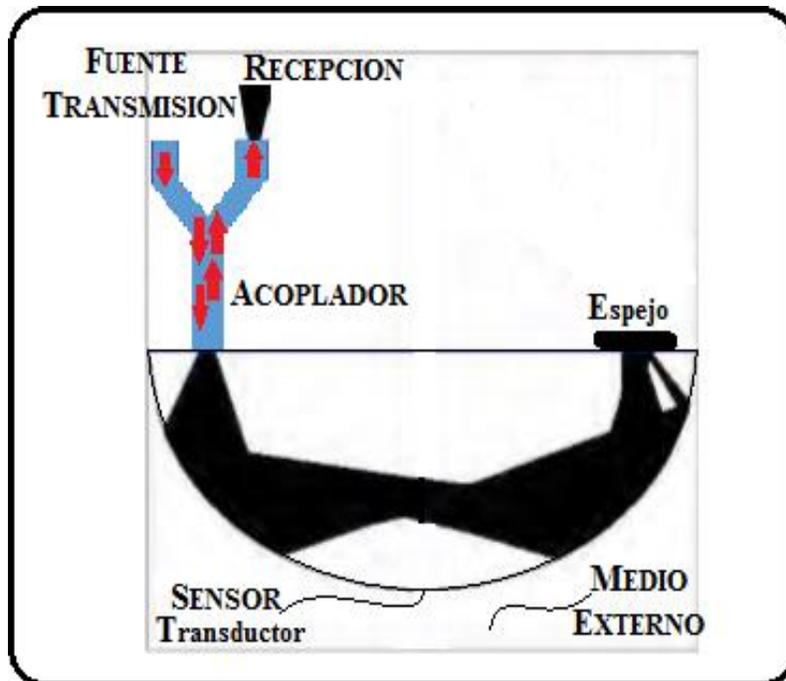


Figura 5.2 SENSOR TRANSDUCTOR CON ACOPLADOR Y UNA FIBRA ÓPTICA.

Para el uso del software TracePro® se realizaron varias pruebas, donde en cada una de ellas se utilizaron diferentes elementos, cubriendo características de las pruebas hechas físicamente y así poder comparar los resultados virtuales.

5.1 Prueba de modelado de un lente

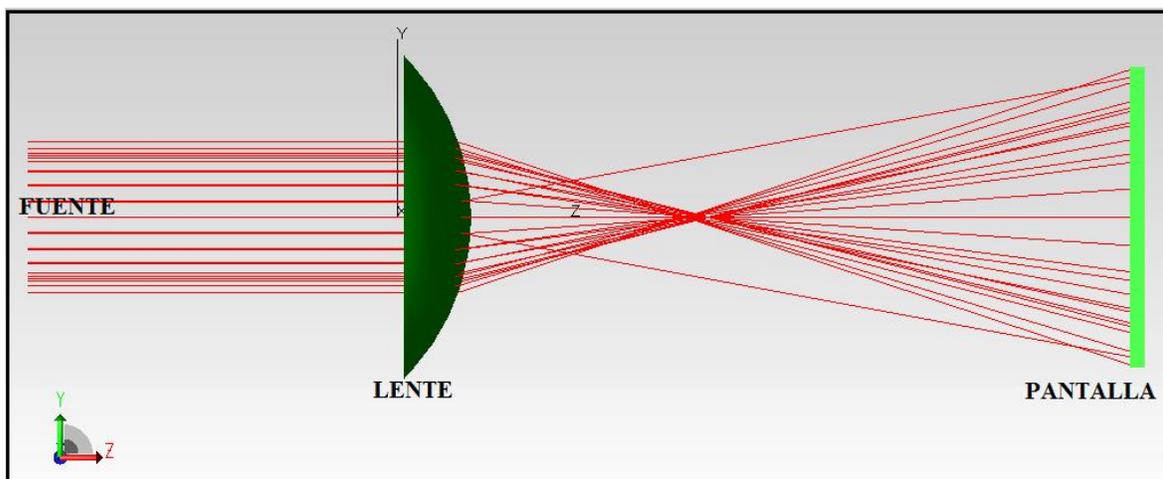


Figura 5.3 PRUEBA DE UN LENTE, UNA FUENTE Y UNA PANTALLA.

Para llevar a cabo el diagrama que se presenta en la Figura 5.3, en la parte superior de la barra de herramientas del software se selecciona: Geometría -> Elemento Lente.

A continuación se muestran las ventanas que se desglosan y poder obtener el lente de la Figura 5.3.

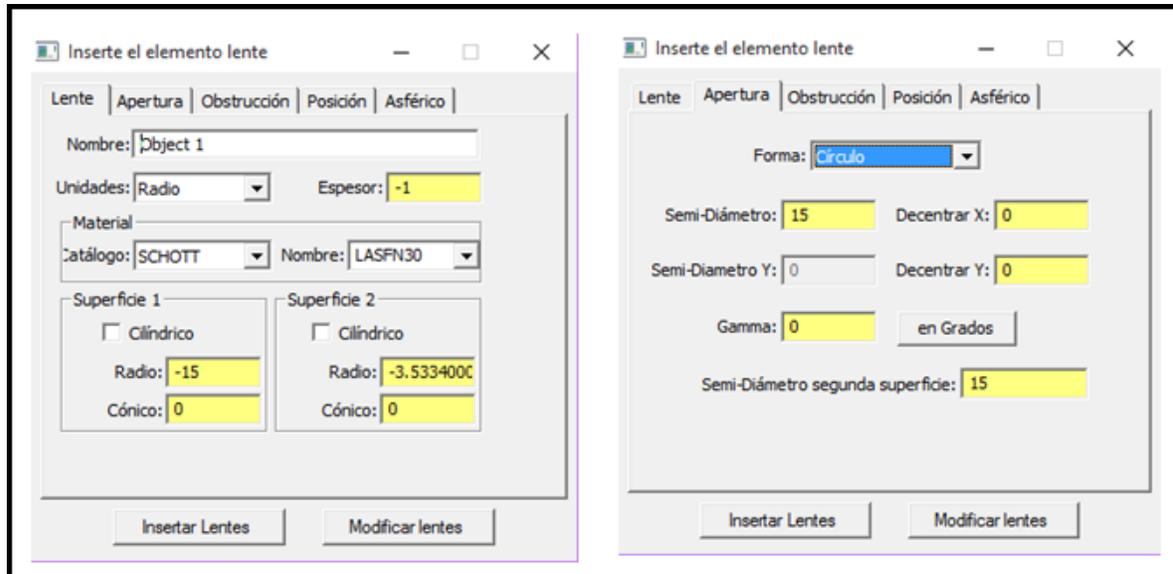


Figura 5.4 PANTALLA CON LAS ESPECIFICACIONES DE UN ELEMENTO LENTE EN LA PESTAÑA LENTE Y APERTURA.

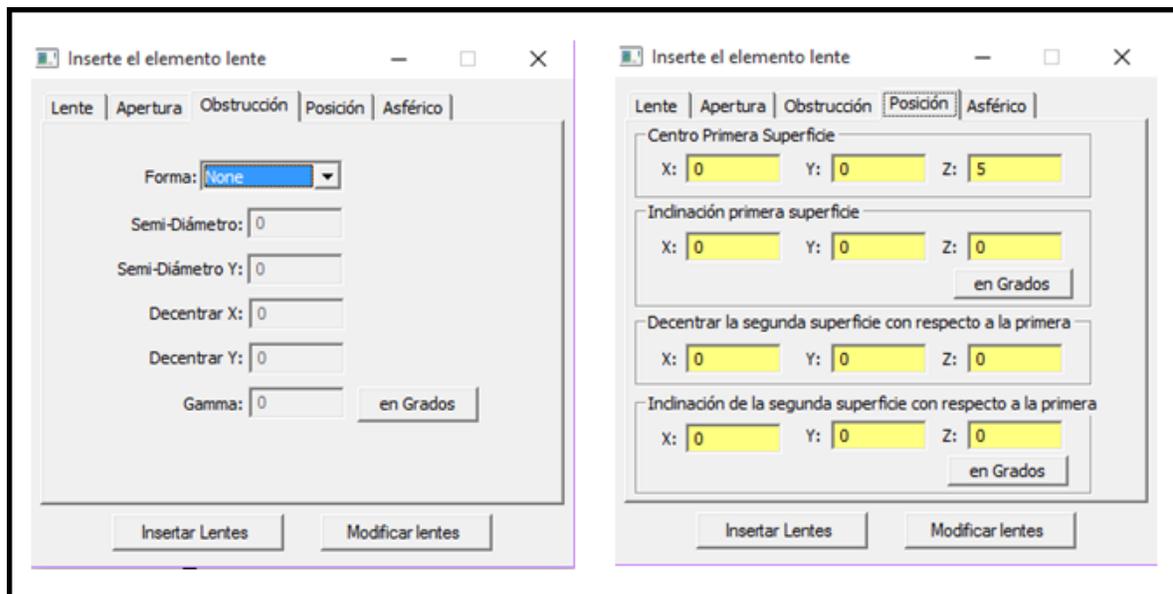


Figura 5.5 PANTALLA CON LAS ESPECIFICACIONES DE UN ELEMENTO LENTE EN LA PESTAÑA OBSTRUCCIÓN Y POSICIÓN.

En la Figura 5.5 en la pestaña de posición se ve que en el eje "Z" tiene un "5", lo que significa que el lente estará alejado del eje "Z" "5" unidades. La ventaja que tiene este software es que las imágenes se representan en 3D.

Para agregar el bloque 1 que tiene la Figura 5.3 de la barra de herramientas del software se selecciona: Geometría -> Sólidos Primitivos. Y las pestañas que tiene esta opción se muestran a continuación.

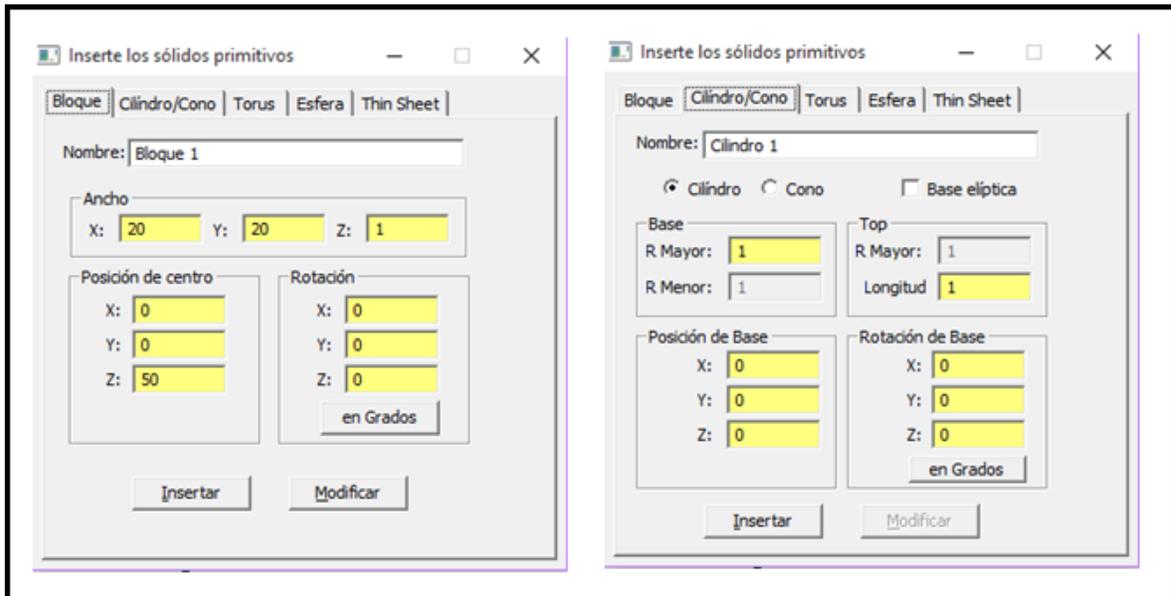


Figura 5.6 PANTALLA CON LAS ESPECIFICACIONES DE UN SÓLIDO PRIMITIVO EN LA PESTAÑA BLOQUE Y CILINDRO/CONO.

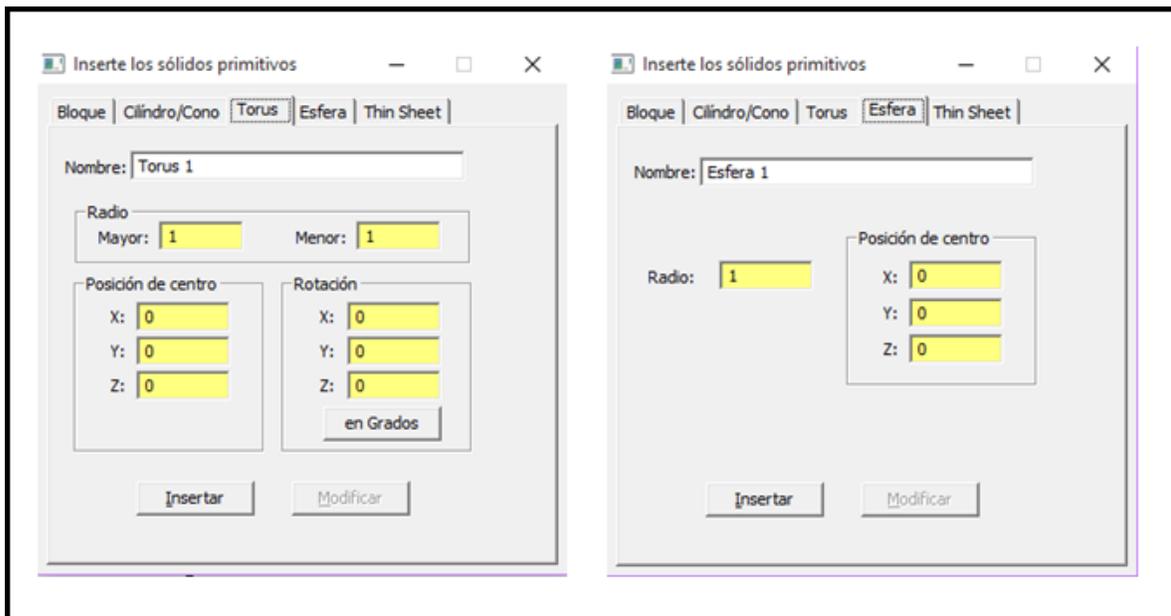


Figura 5.7 PANTALLA CON LAS ESPECIFICACIONES DE UN SÓLIDO PRIMITIVO EN LA PESTAÑA TORUS Y ESFERA.

En las Figuras 5.6 y 5.7 los datos que aparecen ya están por default y no es necesario cambiar ninguno de estos valores, solo el cambio se dio en la posición de centro, pues tiene un número "50" en el eje "Z", lo cual nos indica que ese bloque se aleja "50" unidades en el eje "Z".

Y finalmente lo que interesa es saber la obtención de la fuente de rejilla, la cual se puede ver en la parte inferior izquierda de la pantalla, en esa parte se encuentran 3 pestañas, la primera es Modelo, la segunda es Fuente y la tercera es Radiancia.

En la Figura 5.8 se muestra el procedimiento que se sigue para obtener las especificaciones de la fuente que se utiliza en la prueba. Se puede cambiar el color de la fuente, el número de anillos, el cual al ser modificado aumentan los rayos de salida en la fuente, en las pestañas que vienen en la parte superior de la ventana los valores que vienen asignados se dejan así pues para las especificaciones de esta prueba no es necesario su modificación.

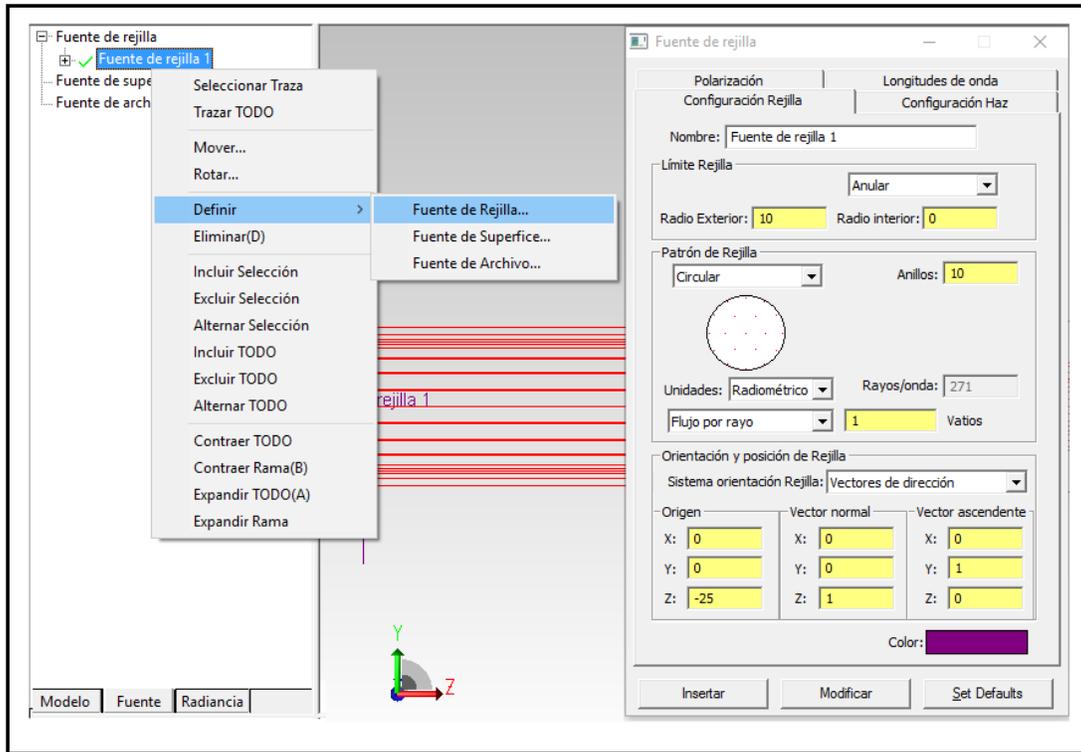
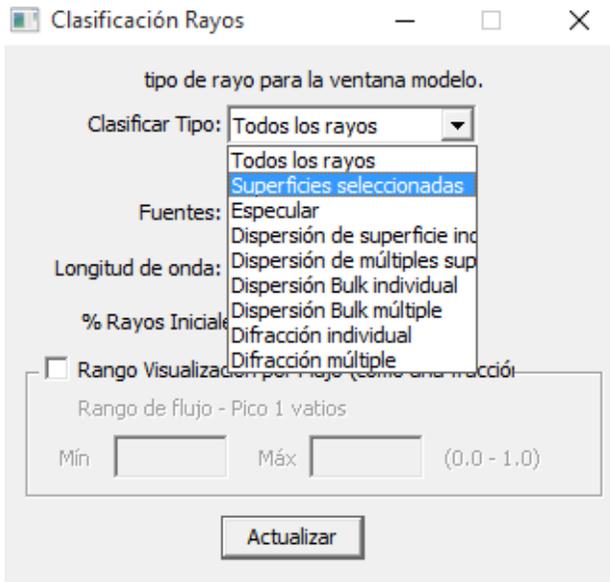


Figura 5.8 PANTALLA CON LAS ESPECIFICACIONES DE LA FUENTE DE REJILLA.

Con las especificaciones ya mencionadas anteriormente se puede ver que la utilidad de este software es bastante buena, pues el software tiene la opción de trazar todos los rayos que salen de la fuente, hay una opción en la barra de herramientas superior que tiene la

imagen , al presionarla, manda una ventana en la cual te da la opción de poder escoger todos los rayos o solo en las partes seleccionadas dependiendo del elemento en el que quieras observar los rayos.



Una vez seleccionada la opción “Superficies seleccionadas” se le da enter en la pestaña “Actualizar” y se observan los rayos que pasan en el elemento seleccionado, como se observa en la Figura 5.3

Se encuentra otra función donde se obtiene una tabla y se desglosan los valores de la prueba, este comando se encuentra en la barra de herramientas: Reporte -> Flujo.

Nombre Objeto	Catálogo de Material	Propiedad de Material	Área superficie	Número	Incidente	Absorbido	Perdido (TODOS los Tipos)	Perdido-> Rayos Perdidos
Nombre de Superficie	Catálogo de superficie	Propiedad de Superficie	[sq mm]	de rayos	[watts]	[watts]	[watts]	[watts]
Object 1	SCHOTT	LASFN30			320.25900085601	0.927192911530708	0	0
Superficie 0	Default	<None>	78.4450380079925	374	194.336962559722	0	58.8058355101678	56.5963242628848
Superficie 1	Default	<None>	427.262884073567	523	304.258238570815	0	102.269512252641	101.742388457807
Superficie 2	Default	<None>	323.475246447594	534	339.779640038924	0	68.0180609262504	67.0541199676259
Bloque 1	<None>	<None>			40.9793983994098	0	0	0
Superficie 0	Default	<None>	400	45	37.6444952730166	0	37.6444952730166	37.6444952730166
Superficie 1	Default	<None>	400	49	40.9793983994098	0	0	0
Superficie 2	Default	<None>	20	2	1.6674515631966	0	1.6674515631966	1.6674515631966
Superficie 3	Default	<None>	20	0	0	0	0	0
Superficie 4	Default	<None>	20	2	1.6674515631966	0	1.6674515631966	1.6674515631966
Superficie 5	Default	<None>	20	0	0	0	0	0
Rayos perdidos directamente desde la Rejilla o el Fichero de Origen				0				0
Nombre Objeto	Perdido-> Umbral de Flujo	Perdido-> Intercepta Total	Perdido-> Dispersión Total	Perdido-> Dispersión Aleatoria	Perdido-> Dispersión Óptica	Perdido-> Otro		
Nombre de Superficie	[watts]	[watts]	[watts]	[watts]	[watts]	[watts]		
Object 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	2.20951124728306	0	0	0	0	0		
Superficie 1	0.527123794834015	0	0	0	0	0		
Superficie 2	0.963940958624413	0	0	0	0	0		
Bloque 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	0	0	0	0	0	0		
Superficie 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 2	0	0	0	0	0	0		
Superficie 3	0	0	0	0	0	0		
Superficie 4	0	0	0	0	0	0		
Superficie 5	0	0	0	0	0	0		
Rayos perdidos directamente desde la Rejilla o el Fichero de Origen								

Tabla 5.1 TABLA DE DATOS CORRESPONDIENTES AL MODELO DE LALENTE (Figura 5.3).

Ahora bien en el Informe Flujo indica la cantidad de flujo que golpea cada superficie en el modelo, así como la cantidad de flujo que es absorbida por cada superficie. El flujo incidente y el flujo absorbido se muestran para cada fuente y cada longitud de onda utilizada en el modelo TracePro. Se visualiza el nombre de cada objeto y la superficie, así como las

propiedades de los materiales. Además, se muestran el área superficial de la superficie y el número de rayos que golpean esa superficie. También hay una serie de columnas en el lado derecho del Informe de Flujo para Flujo Perdido. Este es el flujo que se pierde o que TracePro no puede hacer el seguimiento. Suponiendo un ejemplo, se tiene flujo perdido dice cuánto flujo y/o la energía perdida, ya que ha caído por debajo del ajuste del Flujo del Umbral que TracePro maneja. El ajuste predeterminado para el Flujo del Umbral es 0,05, o el 5%; por lo que, cuando el flujo de un rayo cae por debajo del 5% del valor inicial, TracePro dejará de hacer el seguimiento de la misma.

Mirando la Tabla 5.1 se ve que el área de la superficie es de 400 mm cuadrados, y que hay 49 rayos que golpean esta superficie, la cantidad de Flujo Incidente que golpea a dicha superficie es de 40.978 vatios.

5.2 Prueba del modelado del transductor con dos fibras y un espejo

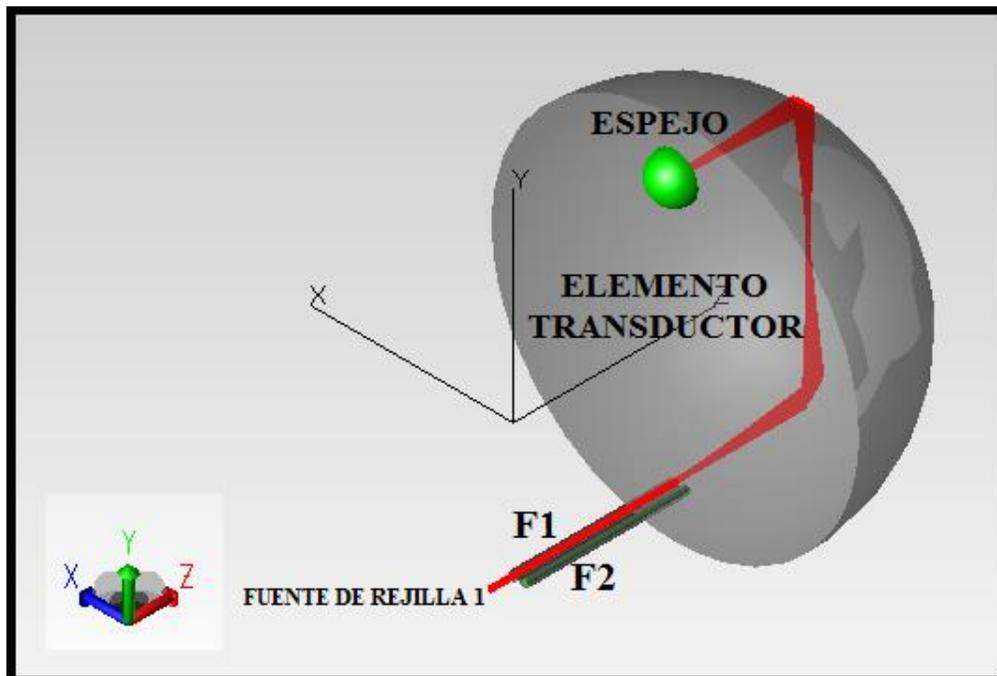


Figura 5.9 MODELO DEL TRANSDUCTOR CON LA FUENTE DE REJILLA 1, FIBRA DE TRANSMISIÓN F1, FIBRA DE RECEPCIÓN F2, ESPEJO Y ELEMENTO TRANSDUCTOR.

En esta Prueba del modelado del transductor se tiene dos fibras ópticas, pues una servirá para transmitir y la otra para recibir, sin embargo se presenta el problema que la fibra que se debería de usar para la transmisión resulta que los rayos que son reflejados en el espejo no pasan por F2, si no que salen por F1, entonces al seleccionar el trazo de los rayos reflejados solo aparecen para la fibra F1, y si se ponen el trazo de todos los rayos salen del elemento transductor y salen también de la fibra F1, pero en la fibra F2 no sale ni un rayo de la fuente que haya sido reflejado.

En la Figura 5.10 se muestra el trazado de todos los rayos de la fuente y se observa claramente que pasan por F1 pero que a F2 no salen ningún rayo. Hasta el momento se ha observado que el software puede realizar el trazado de rayos dentro de un transductor, pero he encontrado un pequeño obstáculo pues la separación que hay entre cada fibra es pequeña de tal manera que se pueda observar o se pueda reflejar el rayo, sin embargo se seguirán haciendo otras pruebas para ver la efectividad del software con respecto al proyecto de investigación.

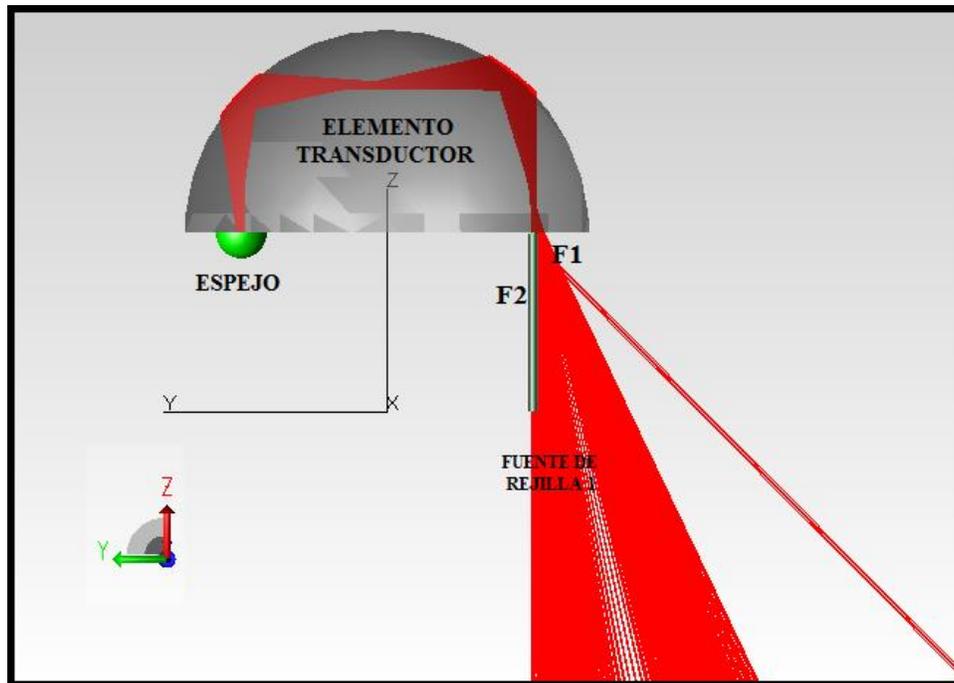


FIGURA 5.10 MODELO DEL TRANSDUCTOR CON FUENTE DE REJILLA, F1, F2, ESPEJO Y ELEMENTO TRANSDUCTOR; PLANO YZ.

En la Figura 5.10 se observa que en la F2 no pasa ninguno de los rayos de la fuente, solo pasan en la F1 tanto de ida como de regreso, sin tomar en cuenta a la fibra F2, es como si no existiera, también se observa que en el elemento transductor se puede perder cierta cantidad de los rayos de la fuente, pues sale un poco en los costados del elemento.

Para esta prueba también se obtiene su tabla de flujo, la cual se puede determinar usando la barra de herramientas: Reporte -> Flujo.

A diferencia de la Tabla 5.1, en la Tabla 5.2 se ven más elementos, pues para realizar esta prueba se necesitaron de más elementos, la tabla se hace más grande mientras aumentan los elementos usados. Aquí se ve que hay más pérdidas, pero también se observa que en la fibra donde salen los rayos de la fuente hay mayor pérdida. La explicación de esta tabla es muy similar a la de la Tabla 5.1, entonces no es necesario que se repita la misma explicación.

Nombre Objeto	Catálogo de Material	Propiedad de Material	Área superficie [sq mm]	Número de rayos	Incidente [watts]	Absorbido [watts]	Perdido (TODOS los Tipos) [watts]	Perdido-> Rayos Perdidos [watts]
Bloque 1	Glass	Fused Silica			1.85266358873339	0	0	0
Superficie 0	Default	<None>	397.113019377018	4564	3.57572273562438	0	0	0
Superficie 1	Default	<None>	198.56509688509	4564	3.64052495656559	0	0.334740249814497	0.207311826794525
Tubo 2	Glass	indice tubo1-2			0.547683325308586	0	0	0
Superficie 0	Default	<None>	8.79645943005142	785	0.546291694445459	0	0	0
Superficie 1	Default	<None>	8.80309415957654	787	0.547683325308586	0	0.547683325308586	0.547683325308586
Superficie 2	Default	<None>	0.000189635189928166	0	0	0	0	0
Superficie 3	Default	<None>	0.000189635189928166	2	0.001391630863037	0	0	0
Cilindro 1	Glass	Zircon			1.38554721511956	0	0	0
Superficie 0	Default	<None>	4.39822971502571	523	0.36397305605523	0	0.0173985150396591	0.0173985150396591
Superficie 1	Default	<None>	0.0314159265358979	1172	1.02157415906404	0	0.021574159064037	0.021574159064037
Superficie 2	Default	<None>	0.0314159265358979	1695	1.38554721511956	0	0	0
Lente 1	Metals	Aluminum			0.93126733952662	0.0786037507732201	0	0
Superficie 0	Default	<None>	6.28318530717959	0	0	0	7.86037507732202e-302	0
Superficie 1	Default	<None>	3.1415926535898	1141	0.93126733952662	0	0	0
Tubo 3	Glass	indice tubo1-2			0	0	0	0
Superficie 0	Default	<None>	8.79645943005142	0	0	0	0	0
Superficie 1	Default	<None>	8.80309415957654	0	0	0	0	0
Superficie 2	Default	<None>	0.000189635189928163	0	0	0	0	0
Superficie 3	Default	<None>	0.000189635189928163	0	0	0	0	0
Cilindro 2	Glass	Zircon			0	0	0	0
Superficie 0	Default	<None>	4.39822971502571	0	0	0	0	0
Superficie 1	Default	<None>	0.0314159265358979	0	0	0	0	0
Nombre Objeto	Perdido-> Umbral de Flujo [watts]	Perdido-> Intercepta Total [watts]	Perdido-> Dispersión Total [watts]	Perdido-> Dispersión Aleatoria [watts]	Perdido-> Dispersión Óptica [watts]	Perdido-> Otro [watts]		
Bloque 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	0	0	0	0	0	0		
Superficie 1	0.127428423019972	0	0	0	0	0		
Tubo 2	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	0	0	0	0	0	0		
Superficie 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 2	0	0	0	0	0	0		
Superficie 3	0	0	0	0	0	0		
Cilindro 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	0	0	0	0	0	0		
Superficie 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 2	0	0	0	0	0	0		
Superficie 3	0	0	0	0	0	0		
Lente 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	0	0	0	0	0	7.86037507732202e-302		
Superficie 1	0	0	0	0	0	0		
Tubo 3	0	0	0	0	0	0		
Superficie 0	0	0	0	0	0	0		
Superficie 1	0	0	0	0	0	0		
Superficie 2	0	0	0	0	0	0		
Superficie 3	0	0	0	0	0	0		
Cilindro 2	0	0	0	0	0	0		

Tabla 5.2 DATOS CORRESPONDIENTES AL MODELO DEL TRANSDUCTOR (FIGURA 5.9 Y 5.10).

5.3 Prueba del modelado del transductor con dos fibras, un espejo y elemento transductor sumergido en un bloque

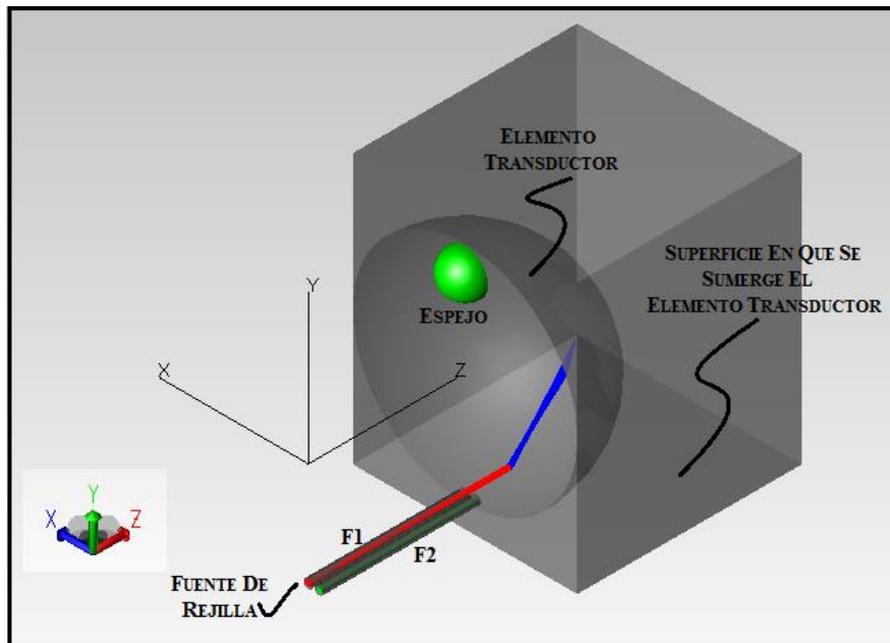


Figura 5.11 MODELO DEL TRANSDUCTOR CON FUENTE DE REJILLA, F1, F2, ESPEJO, ELEMENTO TRANSDUCTOR Y SUPERFICIE DONDE SE SUMERGE AL ELEMENTO.

A continuación se muestra a detalle la unión de dos piezas (elemento transductor y la superficie donde se simula que se sumerge al elemento transductor). En la barra de herramientas se selecciona: Geometría -> Sólido Primitivo.

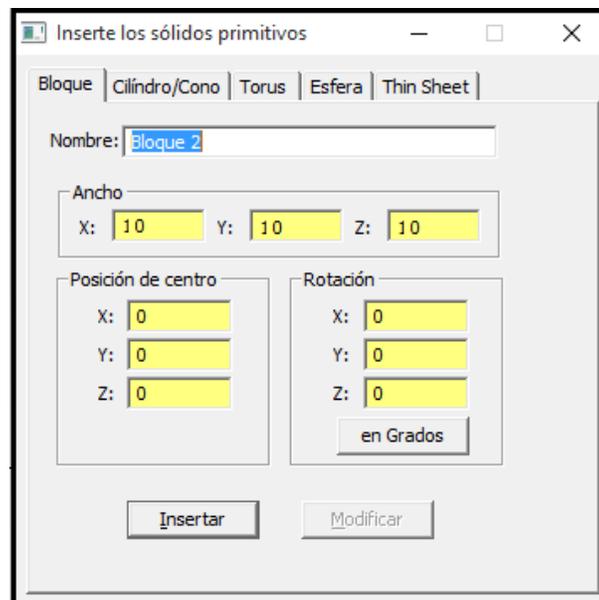


Figura 5.12 ESPECIFICACIONES PARA EL SÓLIDO PRIMITIVO.

En la Figura 5.12, en la opción ancho se puede modificar el tamaño, en este caso se le puso de 10 en cada eje se presiona “Insertar” para que quede de la siguiente manera.

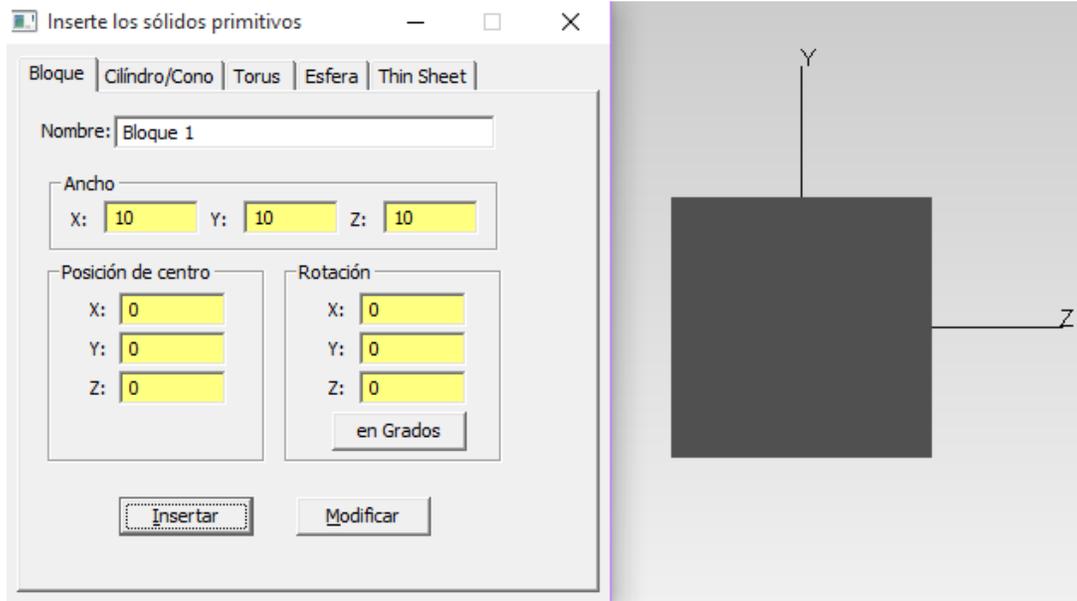


Figura 5.13 PANTALLA E IMAGEN DEL SÓLIDO PRIMITIVO.

Teniendo la ventana abierta del solido primitivo se pasa a la pestaña “Esfera”, se cambia el radio y la posición en el eje “Z” y se presiona “Insertar”.

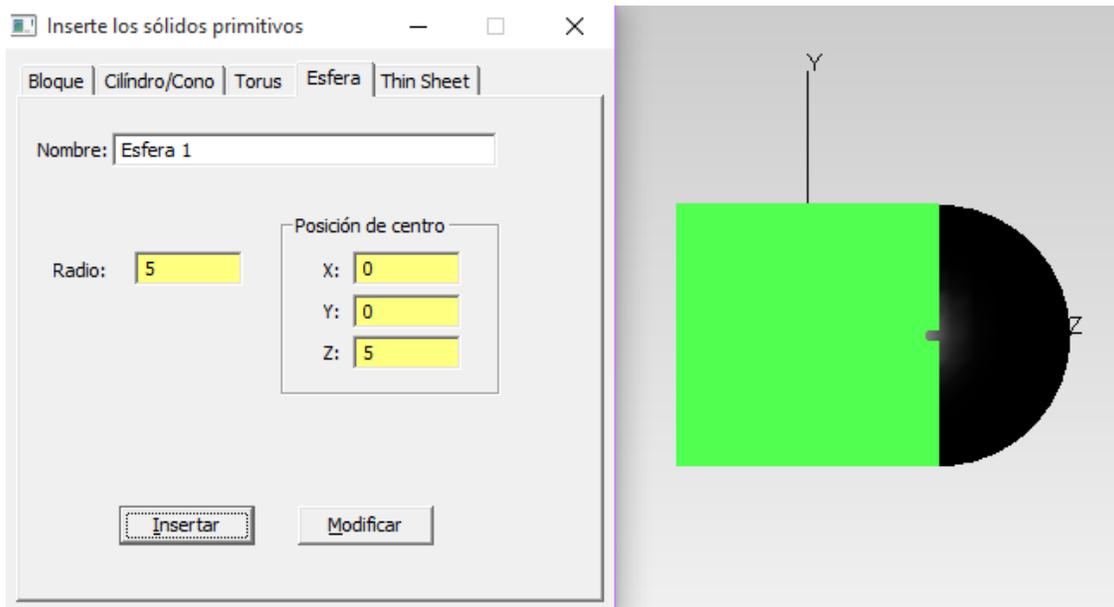


Figura 5.14 IMAGEN DE LA ESFERA.

En la Figura 5.14 se tienen las dos piezas que se necesitan, se pueden cambiar los materiales de cada una de las piezas, ahora para poder tener una sola pieza con dos elementos, lo que se procede es seleccionar ambos elementos.

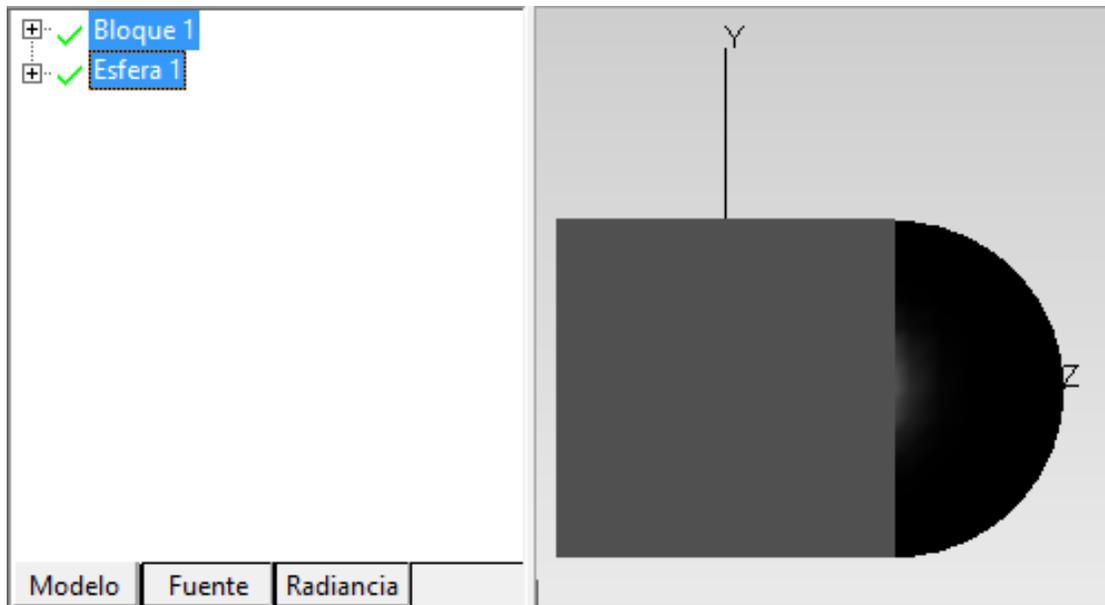


Figura 5.15 PANTALLA E IMAGEN DE SELECCIÓN DE LAS DOS PIEZAS.

Se puede cambiar el color de cada elemento a transparente pues así puede verse lo que sucede por dentro de las piezas. Después se seleccionan los elementos y en la barra de herramientas se presionará , el cual tiene la función de hacer un solo bloque de los dos elementos, como se muestra a continuación.

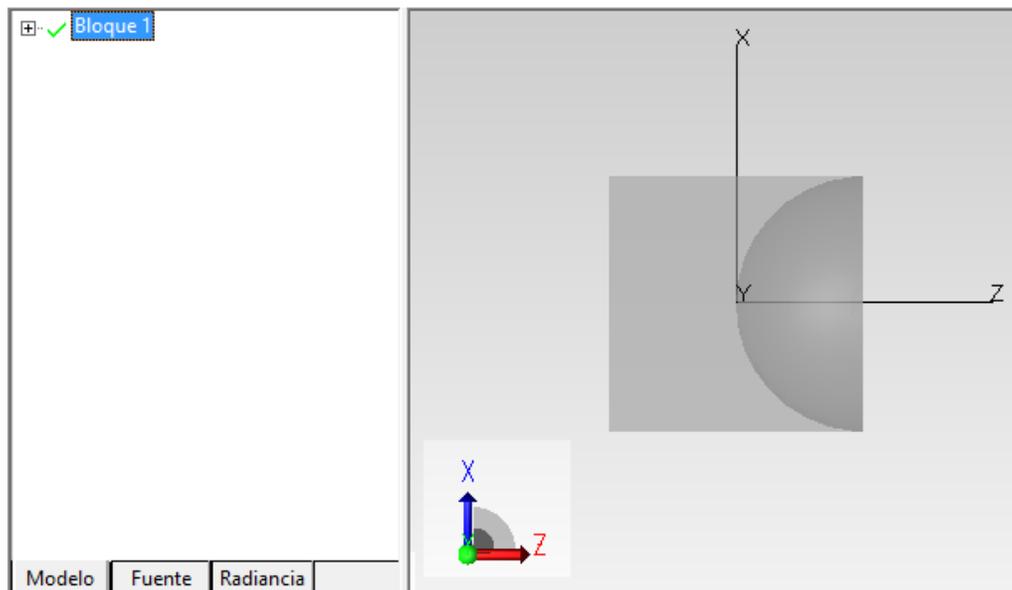


Figura 5.16 PANTALLA E IMAGEN DE LA UNIÓN DE LAS PIEZAS EN UN SOLO BLOQUE.

Lo siguiente que se procedió a realizar es la rotación de la pieza y el desplazamiento de la misma, para tener mayor facilidad en realizar la prueba.

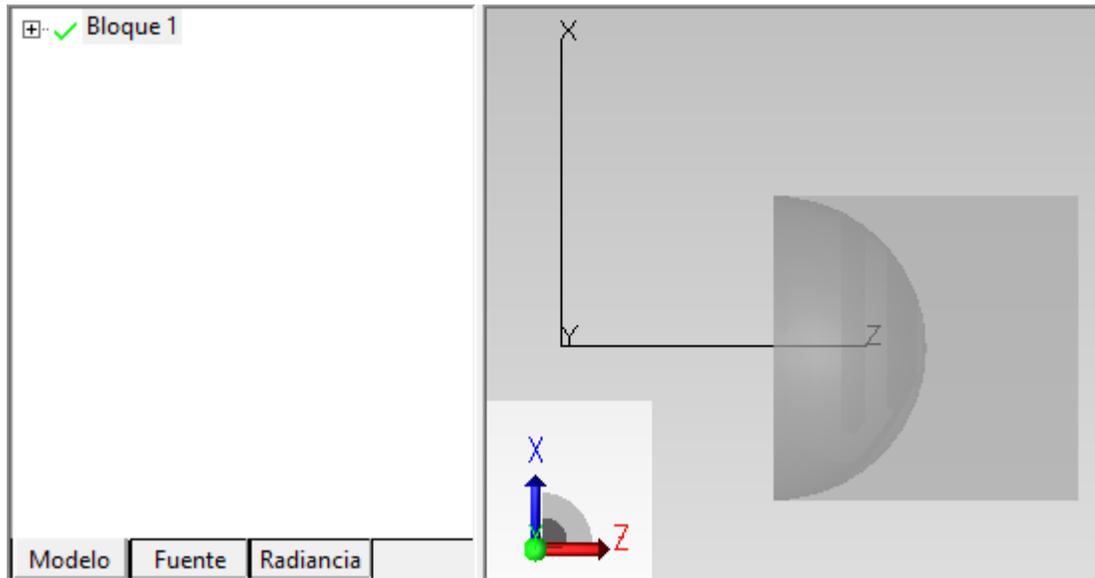


Figura 5.17 PANTALLA E IMAGEN DE ROTACIÓN Y DESLAZAMIENTO DEL BLOQUE.

Ahora como se muestra en la Figura 5.11, se anexaron los elementos como son las fibras ópticas, la fuente de rejilla y el espejo, teniendo en cuenta las mismas características de cada elemento que en las pruebas anteriores.

Como ya se había mencionado anteriormente, se puede cambiar el material de cada elemento, para la prueba 3 con los elementos del bloque 1 y la esfera 1 se tenían con diferentes materiales cada uno de tal manera que se cambian los índices de refracción, sin embargo cuando se realizó la unión de los dos elementos y se hicieron uno solo, el material que tiene es el de la esfera, se puede cambiar este material, sin embargo como ahora son una sola pieza el problema se presenta pues al ser una sola pieza es un solo material y un solo índice de refracción. Este es un problema que presenta esta prueba, no se pueden tener diferentes materiales y por consecuencia tampoco se tienen diferentes índices de refracción.

Otro aspecto que se debe de tomar en cuenta es que cuando se realizó la unión de ambos elementos, la esfera esta hueca, esto es que no tiene su tapa en la superficie (base), en la Figura 5.18 se muestra el caso.

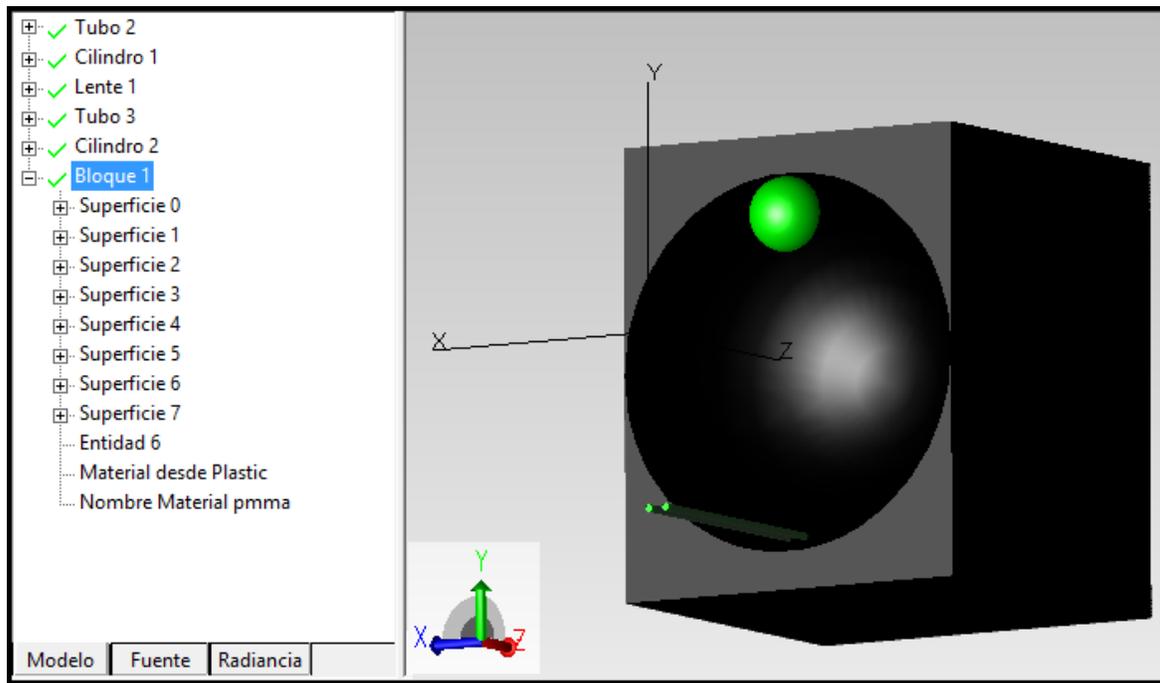


Figura 5.18 PANTALLA E IMAGEN DEL BLOQUE CON CAVIDAD ESFÉRICA.

Como se muestra en la Figura 7.18 que en la parte de la esfera no tiene su base, es un problema pues las piezas que se encuentran por encima lo que es el espejo y las fibras ópticas no tiene una base donde puedan apoyarse. Con los rayos de la fuente de rejilla que pasan a través de la fibra pueden pasar por la esfera.

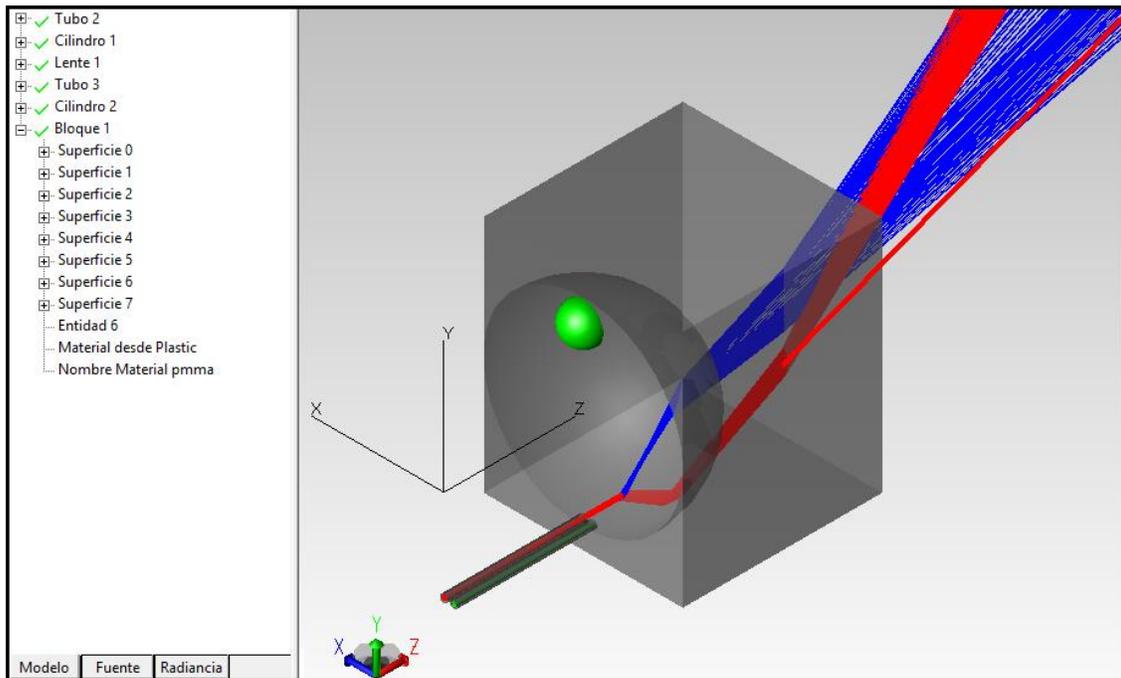


Figura 5.19 PANTALLA E IMAGEN DEL TRAZADO DE RAYOS EN BLOQUE CON CAVIDAD ESFÉRICA.

En la Figura 5.19 se muestra la prueba que se tiene que hacer, como ya se ha mencionado antes, cabe mencionar que el material utilizado para el “bloque 1” es del catálogo -> Plastic y de Nombre -> pmma, en el cual se presenta una longitud de $0.5461 \mu\text{m}$ y su índice de refracción es de 1.49386. Con este tipo de material se puede observar que los rayos de la fuente de rejilla no se reflejan en el elemento, si no que pasan y salen de éste.

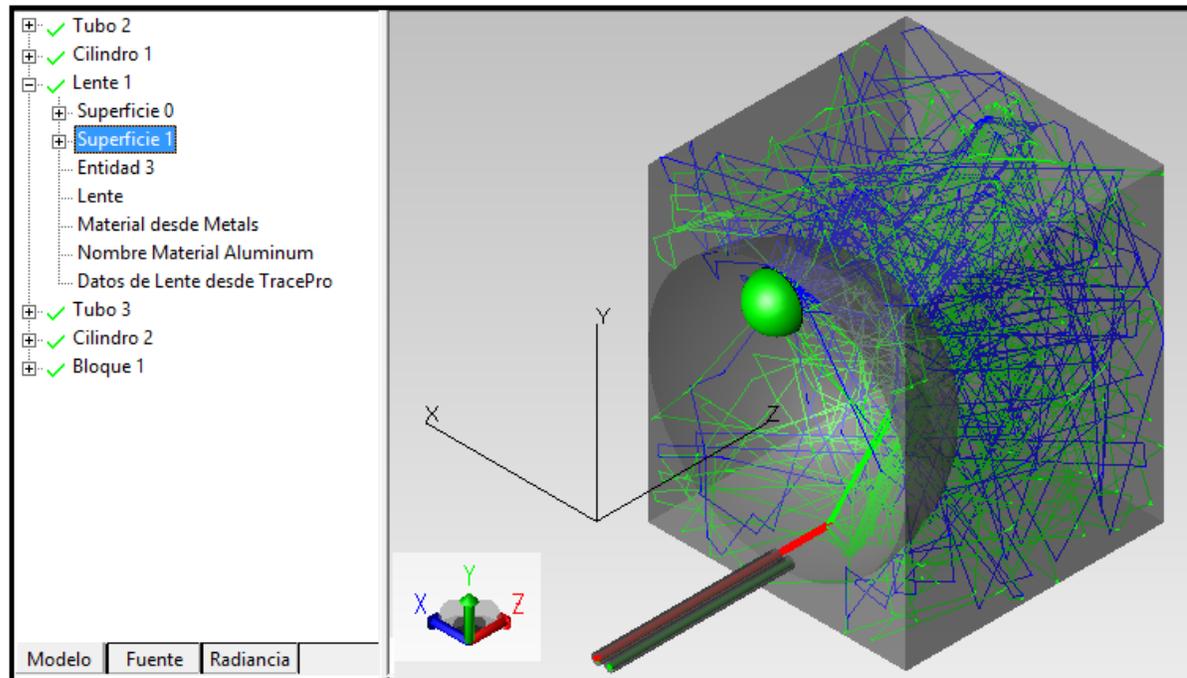


Figura 5.20 PANTALLA E IMAGEN DEL TRAZADO DE RAYOS EN BLOQUE CON CAVIDAD ESFÉRICA.

En la Figura 5.20 se muestra el mismo elemento pero ahora se cambió el material esto fue en el Catálogo -> Crystals, Nombre -> Si (Crystalline silicon), con base al material especificado se puede observar que los rayos de la fuente de rejilla ya no se salen del elemento, si no que esta vez se refleja en el espejo, sin embargo cuando se requiere los rayos que salen por la segunda fibra óptica es cuando no se encuentra ningún rayo, entonces lo que sucede es que se pierden los rayos dentro del elemento y que solo entran los rayos de la fuente de rejilla pero no sale ninguno.

NOTA: La explicación detallada del procedimiento de la unión de las dos piezas (el bloque y la media esfera) que se muestran en la Figura 5.16 se encuentra en el ANEXO C.

5.4 Prueba del modelado del transductor en el modo de transmisión con dos fibras ópticas

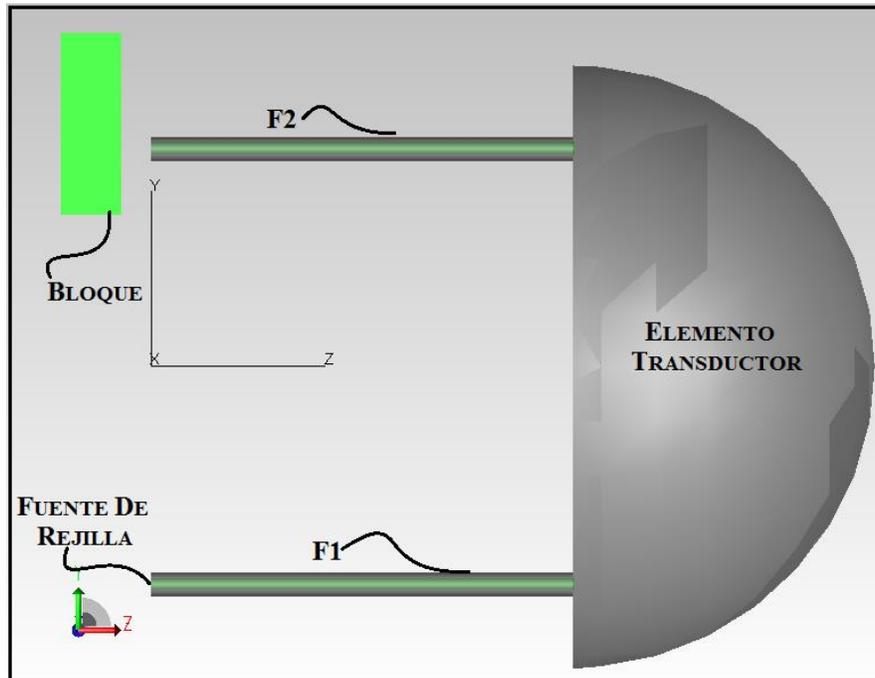


Figura 5.21 MODELO DEL TRANSDUCTOR EN EL MODO DE TRANSMISIÓN CON FUENTE DE REJILLA, DOS FIBRAS ÓPTICAS F1 Y F2, ELEMENTO TRANSDUCTOR Y BLOQUE.

En la Figura 5.21 se muestra la prueba que se desea realizar, con la finalidad de obtener la intensidad que sale de la fibra 2 y pega en el bloque.

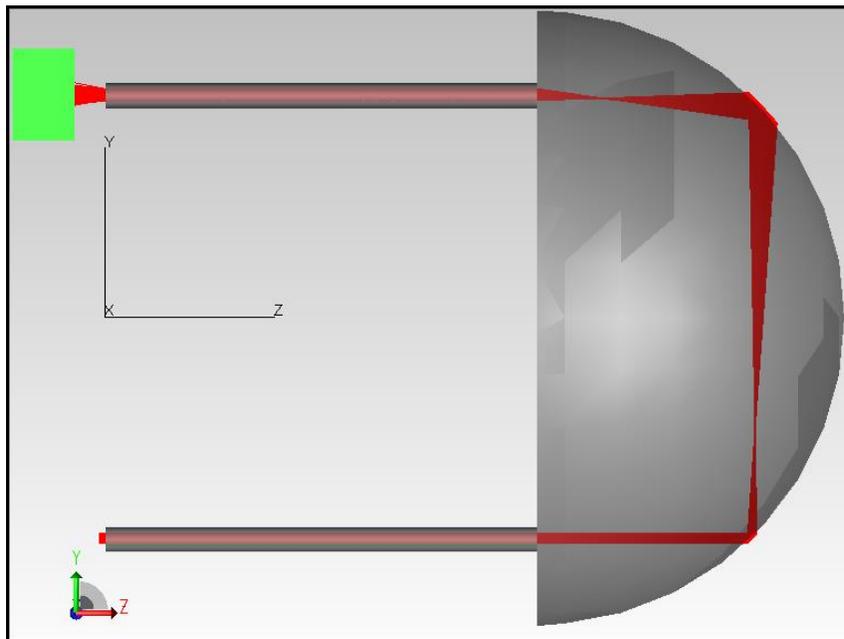


Figura 5.22 TRAZADO DE RAYOS EN EL TRANSDUCTOR DE LA FIGURA 5.21.

En la Figura 5.22 se muestran los rayos que salen en la fibra óptica 2, lo que se requiere determinar es el flujo de entrada que tiene la fuente, y a su vez poder determinar la intensidad que sale de la fibra 2 que son los que golpean en el bloque.

En la Figura 5.23 se muestra la tabla de valores que presenta la fuente de rejilla, esto con el fin de poder obtener cual es el flujo de intensidad que tiene la fuente ya que es el mismo flujo que entra en la fibra óptica 1.

Las especificaciones que se tiene en la fuente son el radio exterior de la fuente, también se especifican el número de anillos que presenta la fuente y dependiendo de este número es la cantidad de rayos que sale por la fuente, esto es que a mayor número de anillos serán mayores los rayos por onda que salen de la fuente.

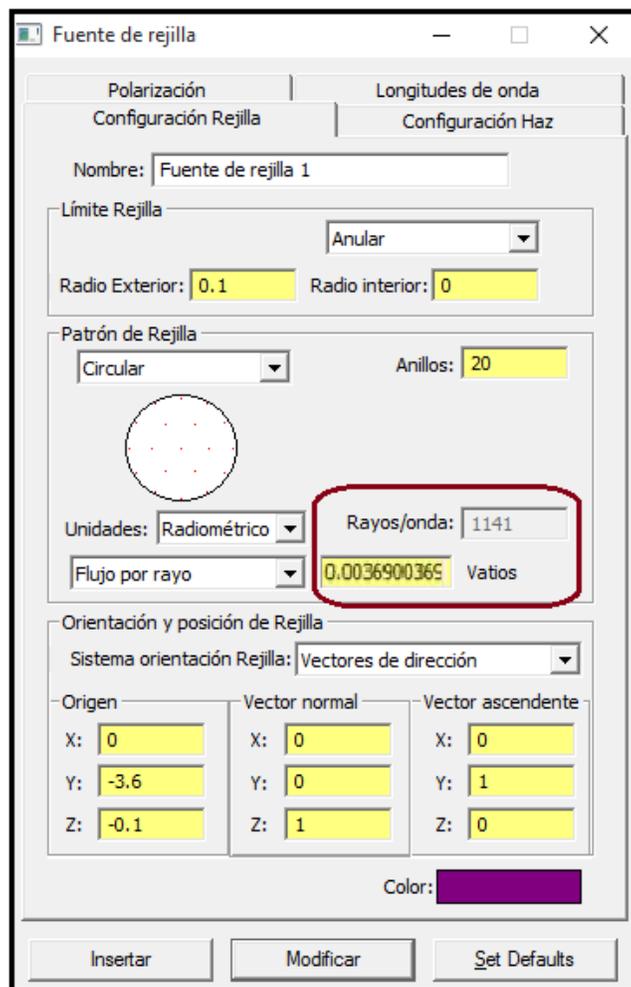


Figura 5.23 PANTALLA CON LA INTENSIDAD DE LA LUZ A LA ENTRADA DE LA FIBRA ÓPTICA F1.

Como se observa en la Figura 5.23 la fuente tiene 1141 rayos de los cuales tiene 0.00369 Watts por cada rayo. Con estos datos se obtiene que:

$$I_i = (1141 \text{ rayos}) * (0.00369 \text{ watts}) = 4.21 \text{ Watts} \quad [5.1]$$

Con la ecuación [5.1] el resultado mostrado es la Intensidad de Entrada que tiene la fibra óptica usada en la prueba del modelado del transductor en el modo de transmisión con dos fibras. Ahora la segunda parte es el poder determinar la cantidad de intensidad de salida, en este caso es la intensidad que se tiene golpeando en el bloque que se muestra en la Figura 5.22. Lo primero que se tiene que realizar es la selección de la pieza que se requiere determinar la intensidad, como a continuación se muestra.

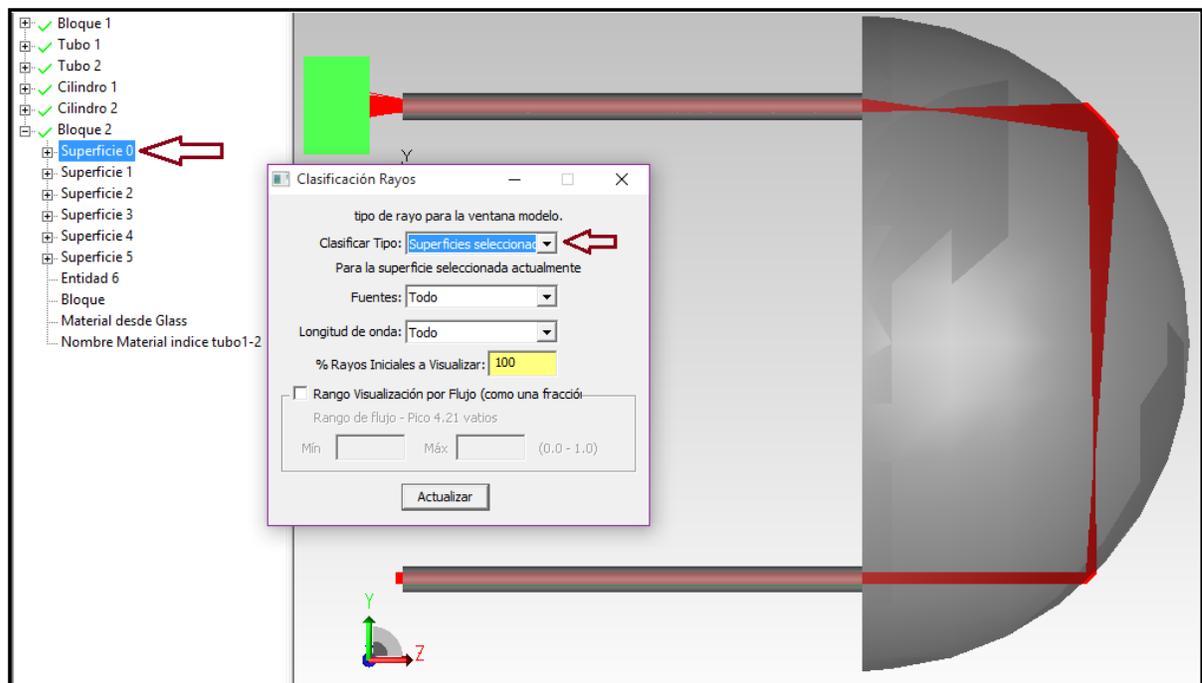


Figura 5.24 MODELO DEL TRANSDUCTOR CON SUPERFICIE SELECCIONADA PARA LA DETERMINACIÓN DEL FLUJO RADIANTE A LA SALIDA DE LA FIBRA ÓPTICA F2.

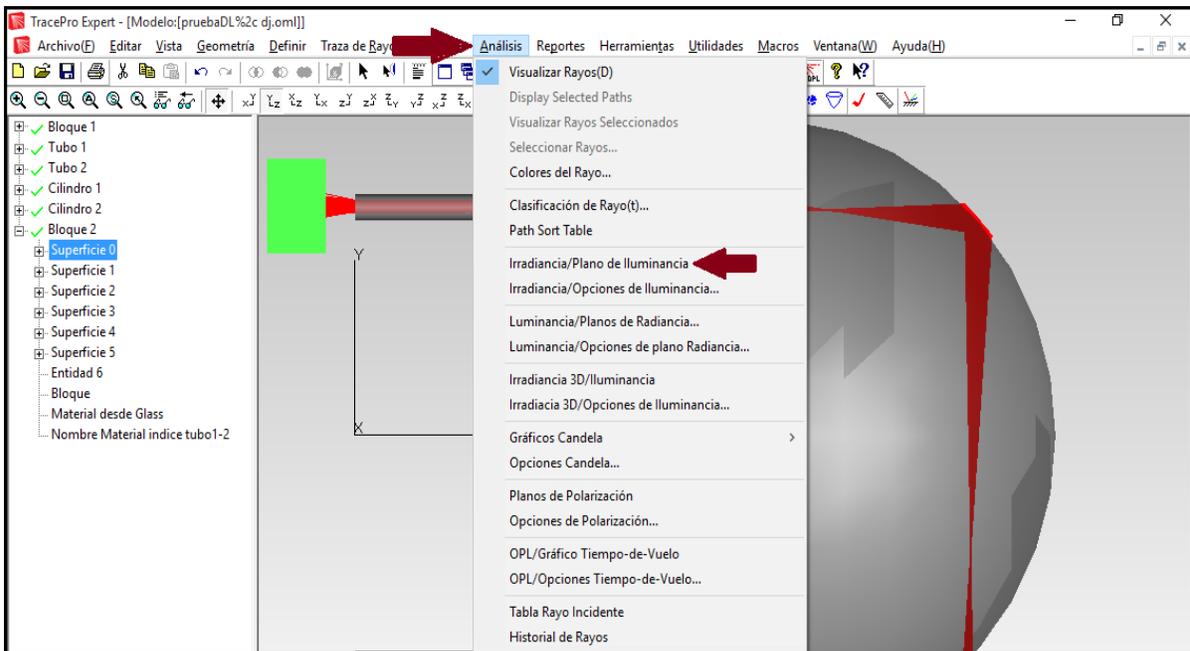


Figura 5.25 MENÚ PARA DETERMINACIÓN DEL PLANO DE IRRADIANCIA Y/O ILUMINANCIA.

Esto abrirá el mapa de irradiancia y/o iluminancia. El valor total de flujo que se muestra en la parte inferior del mapa de irradiancia y/o Iluminancia es el número de vatios que golpean a la superficie, que en este caso es el bloque donde golpean los rayos que salen de la fibra.

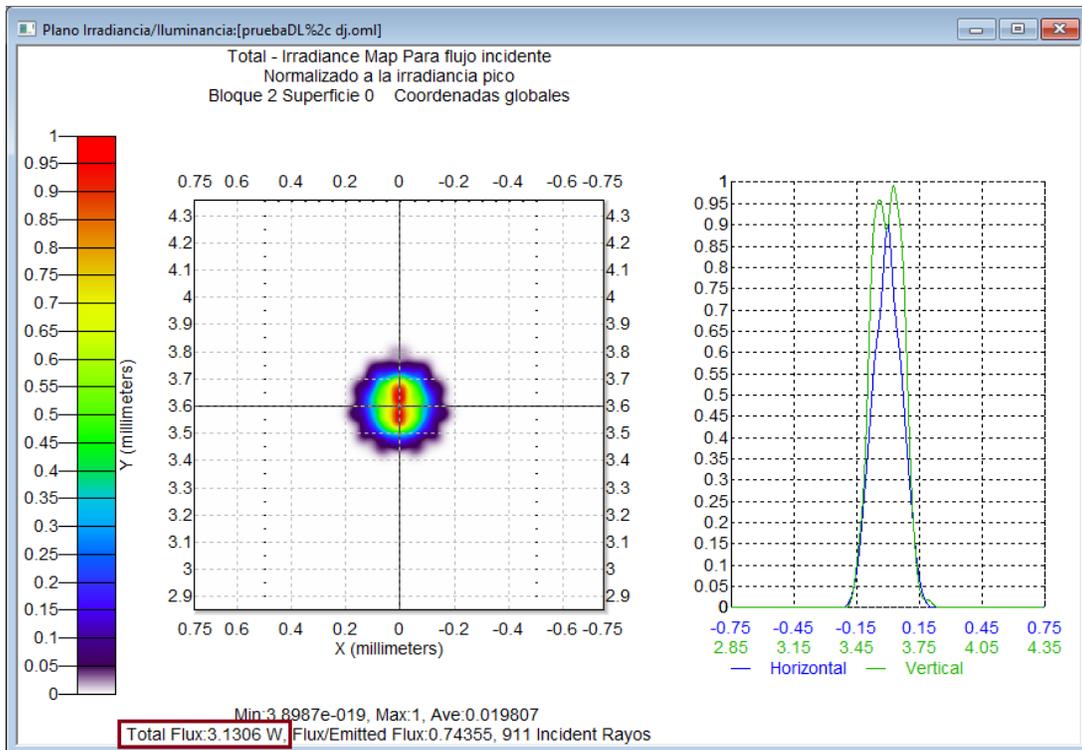


Figura 5.26 PANTALLA CON DISTRIBUCIÓN DE FLUJO RADIANTE A LA SALIDA LA FIBRA ÓPTICA F2.

Con el resultado que se obtuvo en la Figura 5.25, se determina que el flujo de intensidad que presenta la prueba del modelado del transductor en el modo de transmisión con dos fibras, en la salida de la fibra 2, o lo que es igual a decir los rayos que pegan en el bloque son:

$$I_o = 3.1306 \text{ Watts} \quad [5.2]$$

Otra forma en la que se puede determinar la cantidad de flujo de intensidad que se tiene en la salida de la fibra óptica es obteniéndolo de la tabla de flujo.

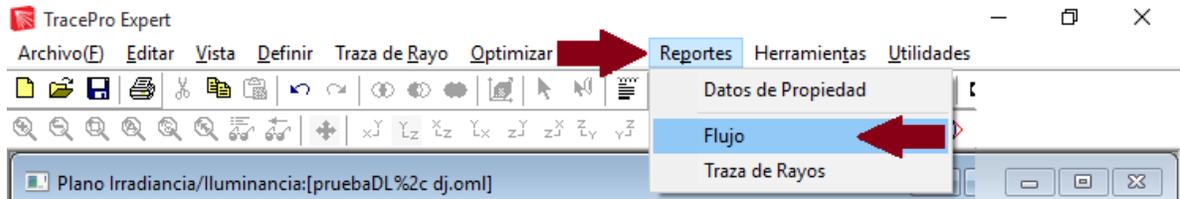


Figura 5.27 MENÚ PARA LA OBTENCIÓN DE FLUJO RADIANTE.

Nombre Objeto	Catálogo de Material	Propiedad de Material	Área superficie	Número	Incidente	Perdido (TODOS los Tipos)
Nombre de Superficie	Catálogo de superficie	Propiedad de Superficie	[sq mm]	de rayos	[watts]	[watts]
Cilindro 2	Glass	Fused Silica			3.24404879619674	0
Superficie 0	Default	<None>	4.39822971502571	2490	8.86682931122927	0
Superficie 1	Default	<None>	0.0314159265358979	911	3.24404879619674	0.11347550235103
Superficie 2	Default	<None>	0.0314159265358979	911	3.24404879619674	0
Bloque 2	Glass	indice tubo1-2			3.1305732938457	0
Superficie 0	Default	<None>	1.5	911	3.1305732938457	0
Superficie 1	Default	<None>	1.5	911	3.1305732938457	3.1305732938457
Superficie 2	Default	<None>	1	0	0	0
Superficie 3	Default	<None>	1.5	0	0	0
Superficie 4	Default	<None>	1	0	0	0
Superficie 5	Default	<None>	1.5	0	0	0
				0		

Figura 5.28 PANTALLA CON VALORES DEL FLUJO RADIANTE DE CADA ELEMENTO DEL MODELO.

Como se puede observar en la Figura 5.28, los rayos incidentes son los mismos que presenta el mapa de irradiancia y/o iluminancia, entonces esta es la otra forma de determinación de los rayos del flujo de salida en la fibra óptica 2 de la Prueba del modelado del transductor en el modo de transmisión con dos fibras.

Una vez obtenidos los dos flujos de intensidad que interesan que presenta la prueba, se tiene una formula donde se calcula el flujo de intensidad total que presenta un elemento.

$$'T' = \frac{I_o}{I_i} \quad [5.3]$$

Donde:

T -> Flujo de Intensidad Total

I_o -> Flujo de Intensidad de Salida

I_i -> Flujo de Intensidad de Entrada

Sustituyendo los valores de entrada y salida en la ecuación [5.3], se obtienen lo siguiente:

$$'T' = \frac{3.1306}{4.21} = 0.743610 \quad [5.4]$$

$$'T' = 743.61045 \times 10^{-3} \quad [5.5]$$

5.5 Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un divisor de haz (un espejo a 45°)

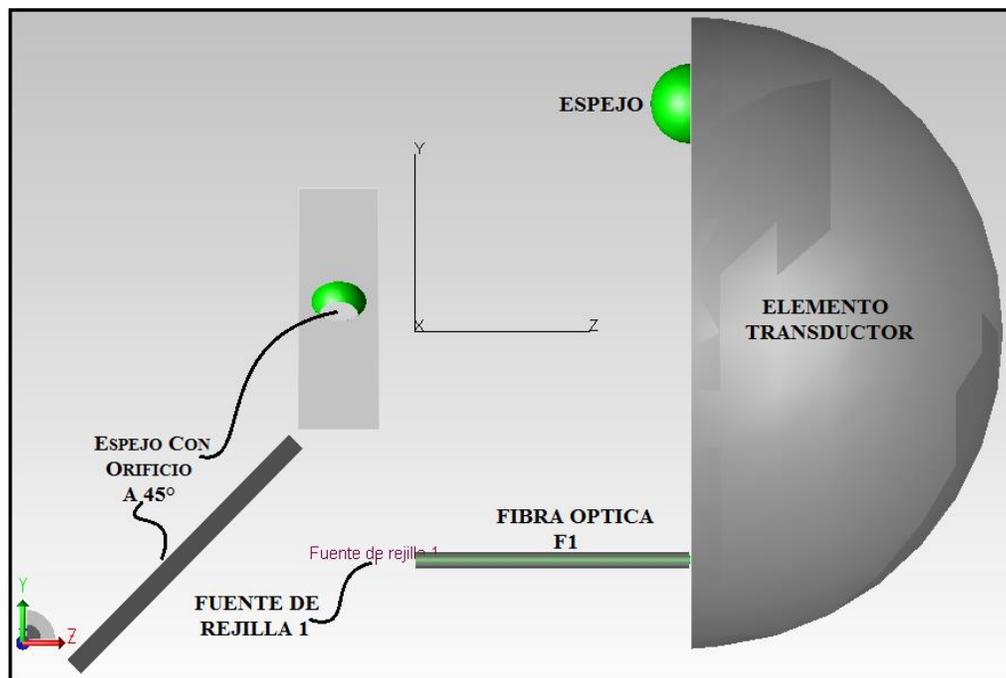


Figura 5.29 MODELO DEL TRANSDUCTOR EN EL MODO DE REFLEXIÓN CON UN DIVISOR DEL HAZ (UN ESPEJO INCLINADO A 45°).

Para esta prueba se necesita de un espejo como en la Figura 5.29 inclinado a 45°, con la finalidad que dicho espejo actúe como acoplador tipo “Y”, se necesita ver el flujo de intensidad que choca en el espejo.

Para poder realizar el espejo con orificio se plantea el mismo procedimiento realizado en la Prueba 3 en la parte donde se realizó el elemento transductor, a diferencia de que la

esfera se centró en el bloque para que tuviera la vista que se ve en la Figura 5.29, en ella se ve la parte frontal del espejo donde se observa el orificio, y también se muestra la parte lateral del espejo para ver la inclinación de 45° .

A continuación se muestra una imagen donde pueden verse los comandos que se usan para poder mover el espejo en cualquier posición de los tres ejes, y también se muestra el comando donde puedes girar el espejo en cuestión de grados en cualquiera de los tres ejes cartesianos.

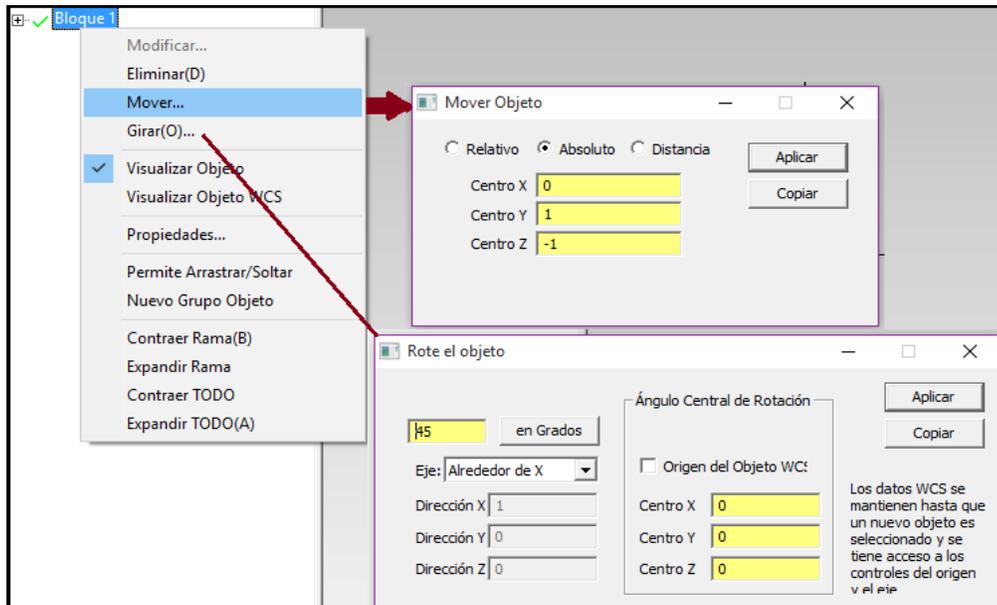


Figura 5.30 PANTALLA CON COMANDOS PARA MOVER Y ROTAR EL BLOQUE (ESPEJO) EN CUALQUIERA DE LOS TRES EJES CARTESIANOS.

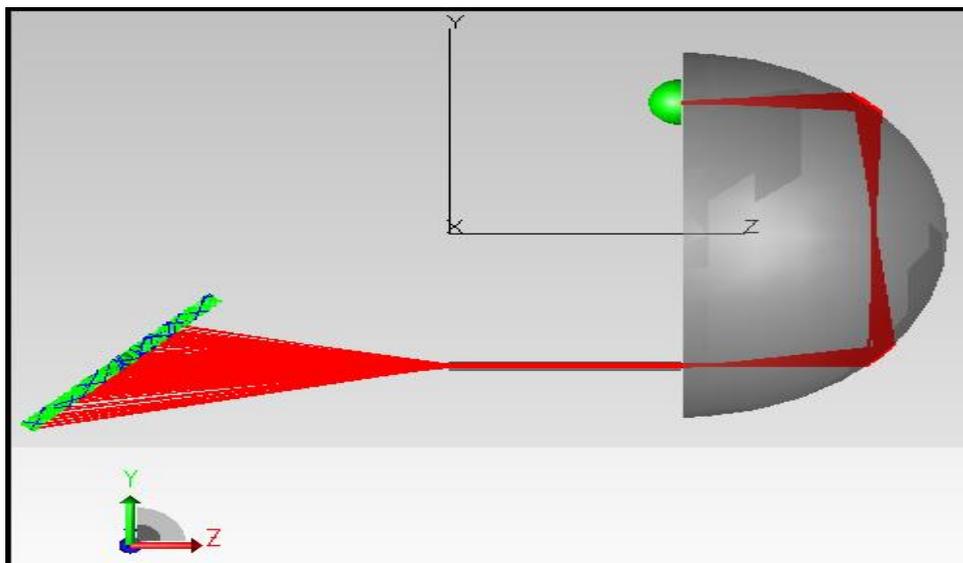


Figura 5.31 TRAZADO DE RAYOS DEL MODELO DEL TRANSDUCTOR EN EL MODO DE REFLEXIÓN.

En esta prueba (Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un divisor de haz: un espejo a 45°) se utilizó el mismo flujo de intensidad que en la Prueba del

modelado del transductor en el modo de transmisión con dos fibras, dichas especificaciones se muestran a continuación:

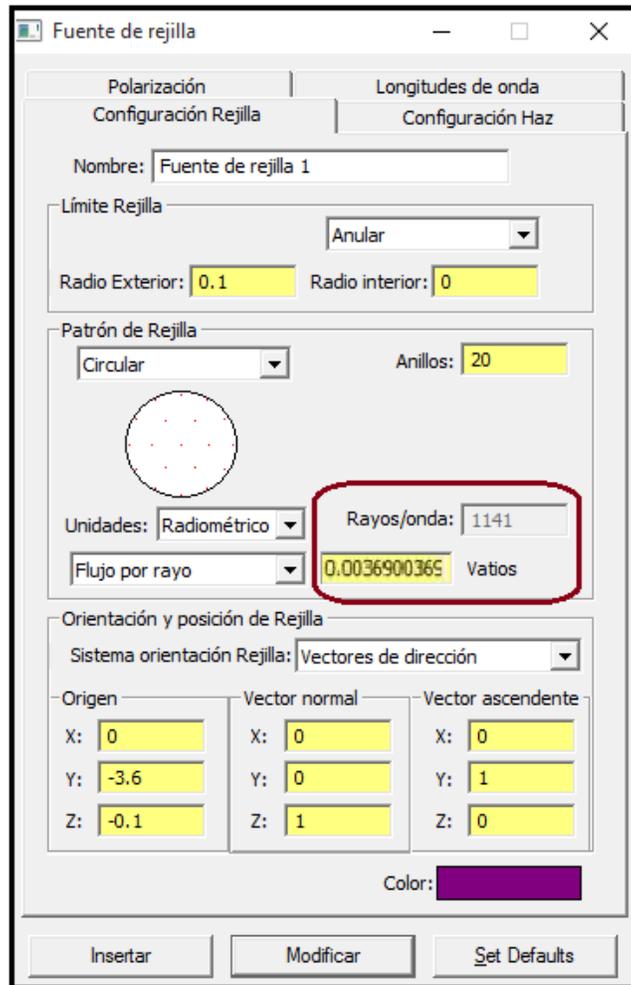


Figura 5.32 PANTALLA CON FLUJO RADIANTE DE LA FUENTE.

Como se observa en la Figura 5.32 la fuente tiene 1141 rayos de los cuales tiene 0.0036900369 Watts por cada rayo. Con estos datos se obtiene que:

$$I_i = (1141 \text{ rayos}) * (0.00369 \text{ watts}) = 4.21 \text{ Watts} \quad [5.6]$$

Con la ecuación [5.6] queda asentado el resultado del flujo de intensidad que entra a la fibra y que a su vez es el que sale de la fuente de rejilla usada en la Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un divisor de haz (un espejo a 45°).

Ahora para determinar el flujo de intensidad de salida, que en este caso es el de los rayos que chocan en el espejo que se encuentra inclinado a 45° se obtiene de la tabla de flujo, como se muestra a continuación.

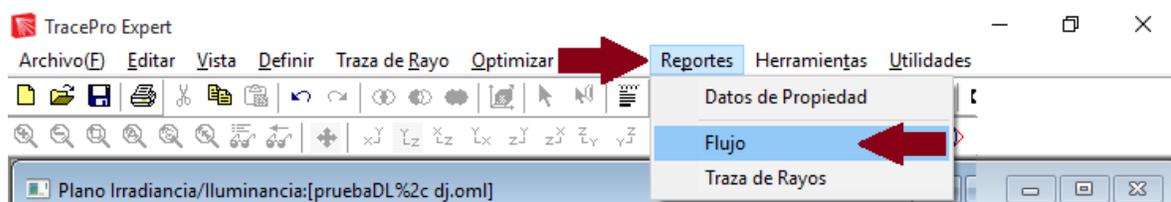


Figura 5.33 MENÚ DE LA OBTENCIÓN DEL FLUJO RADIANTE.

Nombre Objeto	Catálogo de Material	Propiedad de Material	Área superficie	Número	Incidente	Perdido (TODOS los Tipos)
Nombre de Superficie	Catálogo de superficie	Propiedad de Superficie	[sq mm]	de rayos	[watts]	[watts]
Lente 1	Metals	Aluminum			3.65117755986653	0
Superficie 0	Default	<None>	6.28318530717959	0	0	3.08178155469737e-301
Superficie 1	Default	<None>	3.1415926535898	1141	3.65117755986653	0
Lente 2	SCHOTT	BALKN3			0.849309797808258	0
Superficie 0	Default	<None>	2.19943590087257	109	0.239418728860514	0.048881211522214
Superficie 1	Default	<None>	15.2460177631385	494	1.13034787742896	0.0573360623652278
Superficie 2	Default	<None>	14.460619599741	456	1.00060275152951	0.626869433753843
Superficie 3	Default	<None>	1	35	0.0720062350528706	0.0538798922939041
Superficie 4	Default	<None>	4	53	0.0906422591674833	0.0188674628105382
Superficie 5	Default	<None>	1	25	0.0343028062245789	0.0115368954153022
Superficie 6	Default	<None>	4	53	0.0906422591674828	0.0188674628105382
Rayos perdidos directame				0		

Figura 5.34 PANTALLA CON VALORES DEL FLUJO RADIANTE DE CADA ELEMENTO DEL MODELO.

Como se puede observar en la Figura 5.34, los rayos incidentes son los mismos que presenta el mapa de irradiancia y/o iluminancia, entonces esta es la otra forma de determinación de los rayos del flujo de salida en el espejo con orificio e inclinado a 45° en la Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un divisor de haz.

Una vez obtenidos los dos flujos de intensidad que interesan que presenta la prueba, se tiene una formula donde se calcula el flujo de intensidad total que presenta un elemento.

$$T' = \frac{I_o}{I_i} \quad [5.7]$$

Donde:

- T -> Flujo de Intensidad Total
- I_o -> Flujo de Intensidad de Salida
- I_i -> Flujo de Intensidad de Entrada

Sustituyendo los valores de entrada y salida en la ecuación [5.7], se obtienen lo siguiente:

$$'T' = \frac{1.13}{4.21} = 0.268 \quad [5.8]$$

$$'T' = 268 \times 10^{-3} \quad [5.9]$$

5.6 Prueba del modelado del transductor completo en el modo de reflexión

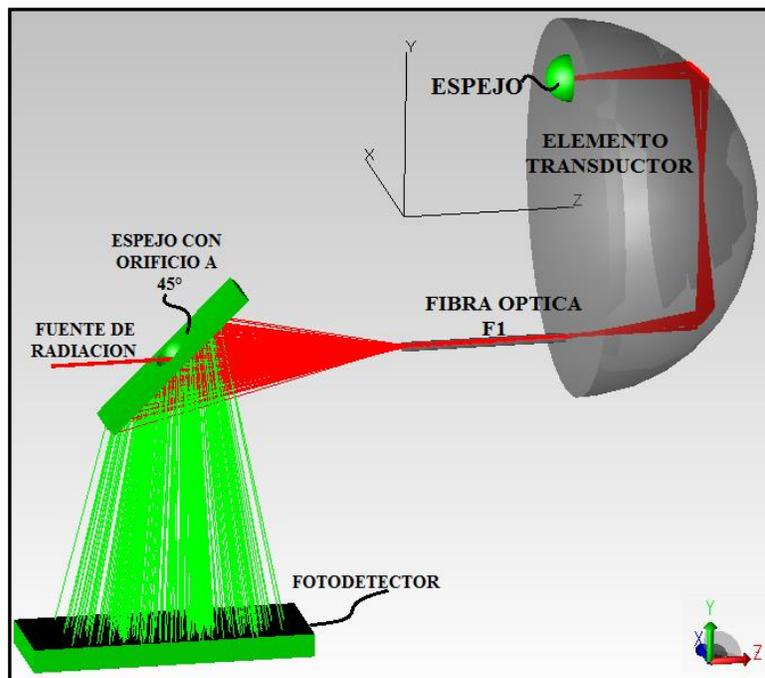


Figura 5.35 MODELO DEL TRANSDUCTOR COMPLETO EN MODO DE REFLEXIÓN CON ESPEJO (INCLINADO A 45°), FIBRA ÓPTICA F1, ELEMENTO TRANSDUCTOR, ESPEJO Y FOTODETECTOR.

Para esta prueba se realizó el mismo procedimiento de la prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un divisor del haz (un espejo a 45°), con los mismos elementos en comparación de que esta vez se agregó un foto detector, para que con ello se pueda detectar los rayos que se refractan del espejo que se encuentra inclinado a 45°. Pues la finalidad es que el espejo inclinado actúe como un acoplador tipo “Y”.

A continuación se muestra las especificaciones de la fuente de radiación (fuente de rejilla).

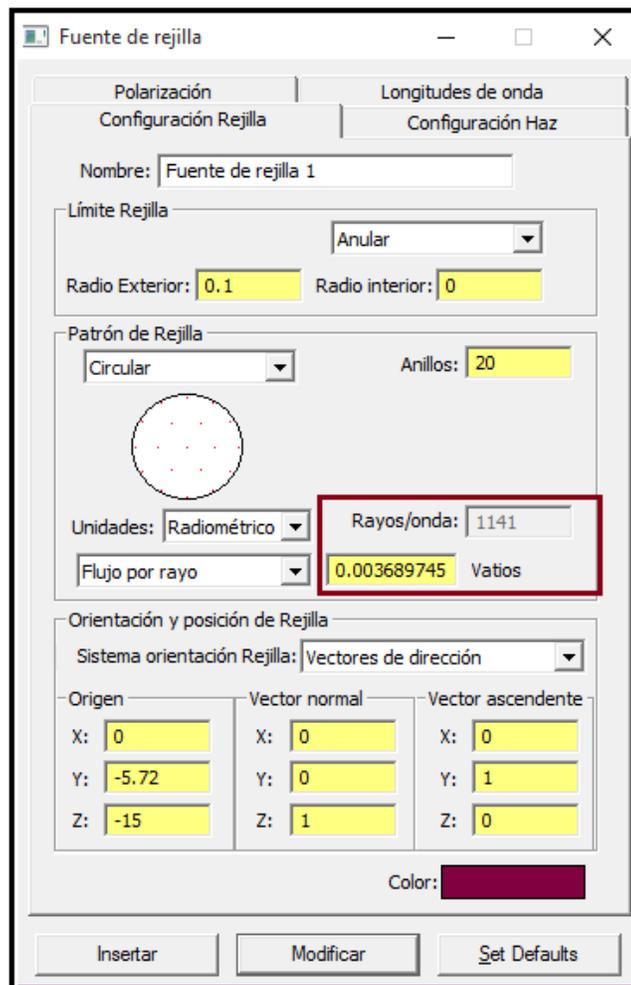


Figura 5.36 PANTALLA CON FLUJO RADIANTE DE LA FUENTE.

Como se observa en la Figura 5.36 la fuente tiene 1141 rayos de los cuales tiene 0.00368 Watts por cada rayo. Con estos datos se obtiene que:

$$I_i = (1141 \text{ rayos}) * (0.00368 \text{ watts}) = 4.21 \text{ Watts} \quad [5.10]$$

Con la ecuación [5.10] queda asentado el resultado del flujo de intensidad que entra a la fibra y que a su vez es el que sale de la fuente de rejilla usada en la Prueba del modelado del transductor completo en el modo de reflexión.

Ahora para determinar el flujo de intensidad de salida, el cual es el que choca con el fotodetector se obtiene de la tabla de flujo, como se muestra a continuación.

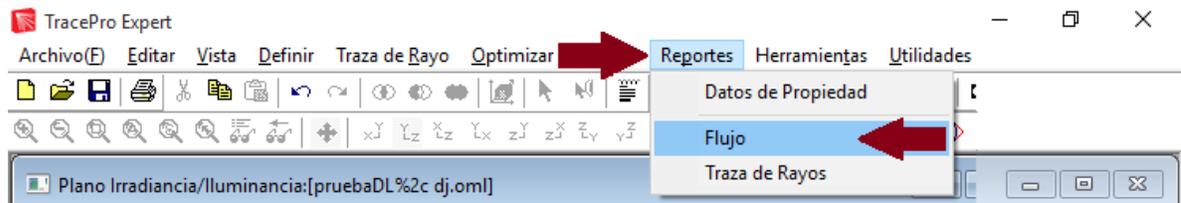


Figura 5.37 MENÚ DE LA OBTENCIÓN DEL FLUJO RADIANTE.

Nombre Objeto	Catálogo de Material	Propiedad de Material	Área superficie	Número	Incidente	Perdido (TOTAL)
Nombre de Superficie	Catálogo de superficie	Propiedad de Superficie	[sq mm]	de rayos	[watts]	[watts]
Superficie 3	Default	<None>	1	0	0	9.163209399256
Superficie 4	Default	<None>	4	0	0	0
Superficie 5	Default	<None>	1	6	0.00114395615545129	0.001143956155
Superficie 6	Default	<None>	4	0	0	0
Detector	Plastic	pmma			0.659664779794137	0
Superficie 0	Default	Perfect Absorber	4	0	0	0
Superficie 1	Default	Perfect Absorber	4	0	0	0
Receiver	Default	Perfect Absorber	48	0	0	0
Superficie 3	Default	Perfect Absorber	12	0	0	0
Superficie 4	Default	Perfect Absorber	48	285	0.659664779794137	0
Superficie 5	Default	Perfect Absorber	12	0	0	0
Rayos perdidos directamente desde la Rejilla o el Fichero de Origen						
				0		

Figura 5.38 PANTALLA CON VALORES DEL FLUJO RADIANTE DE CADA ELEMENTO DEL MODELO.

Como se puede observar en la Figura 5.38 en el apartado donde se encuentran los rayos incidentes son los rayos del flujo de salida que golpean al fotodetector.

Una vez obtenidos los dos flujos de intensidad que interesan que presenta la prueba, se tiene una formula donde se calcula el flujo de intensidad total que presenta un elemento.

$$'T' = \frac{I_o}{I_i} \quad [5.11]$$

Donde:

T -> Flujo de Intensidad Total

I_o -> Flujo de Intensidad de Salida

I_i -> Flujo de Intensidad de Entrada

Sustituyendo los valores de entrada y salida en la ecuación [5.11], se obtienen lo siguiente:

$$'T' = \frac{0.659}{4.21} = 0.156 \quad [5.12]$$

$$'T' = 156 \times 10^{-3} \quad [5.13]$$

5.7 Prueba del modelado del transductor en el modo de reflexión con un acoplador direccional de fibra óptica tipo "Y"

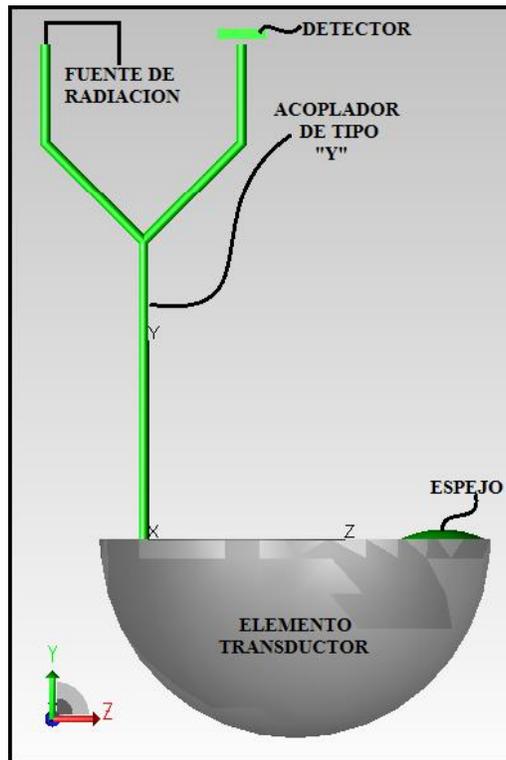


Figura 5.39 MODELO DEL TRANSDUCTOR EN EL MODO DE REFLEXIÓN CON UN ACOPLADOR DIRECCIONAL DE FIBRA ÓPTICA TIPO "Y", FUENTE DE RADIACIÓN, UN ESPEJO Y UN FOTODETECTOR.

En la Figura 5.39 se muestra un ejemplo del uso del acoplador de tipo "Y", para realizar el acoplador, me permití copiar los elementos de guías de luz que mandó el ingeniero del staff del software de TracePro® en un archivo adjunto, sin embargo para realizar el acoplador lo dividí en dos partes, que para este caso no funciona de tal manera, pues lo interesante es que el acoplador sea de una sola pieza, se realizaron unas pequeñas modificaciones para poder obtener de las dos guías de luz unir las de tal manera que solo quede una sola y con ella se tenga una entrada, una vía de conducción del haz de la fuente de ida y regreso y una salida en la cual se encuentra un foto detector.

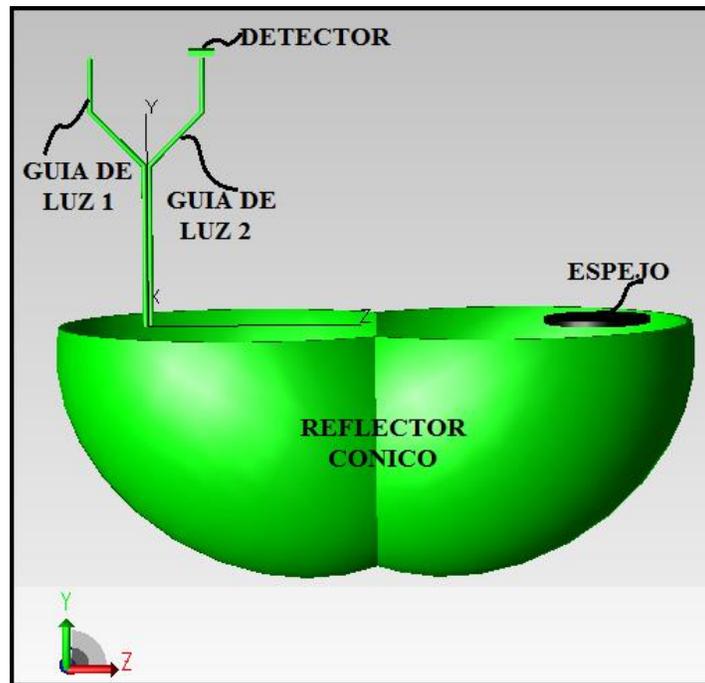


Figura 5.40 MODELO DEL TRANSDUCTOR EN EL MODO DE REFLEXIÓN CON DOS FIBRAS ÓPTICAS PARALELAS.

Como ya he mencionado, el integrante del staff del software de TracePro®, mando un archivo donde adjunto lo que se muestra en la Figura 5.40, sin embargo no sirve de mucho, pues el reflector que muestra no tiene una forma esférica, sino que presenta la unión de dos esferas, y el experimento que se está realizando solo es de una esfera. Lo que se realizó fue copiar las dos guías de luz en un nuevo archivo, realice también la creación de la esfera (tal cual como se ha mencionado en las pruebas anteriores, en la opción de solido primitivo, para poder obtener la mitad de la esfera realice el mismo procedimiento que se tiene en la Prueba 3, pues solo me interesaba quedarme con la mitad de esfera), como se mostró en la Figura 5.39, con respecto al espejo que se encuentra del lado contrario a las guías de luz se realizó modificando el diámetro de la pieza y la curvatura de ésta.

Para poder realizar la unión de las dos guías de luz, lo primero que se realizó fue mover a la guía de luz 2 de tal manera que quedara encimada en la guía de luz 1, esto se puede ver en la siguiente figura.

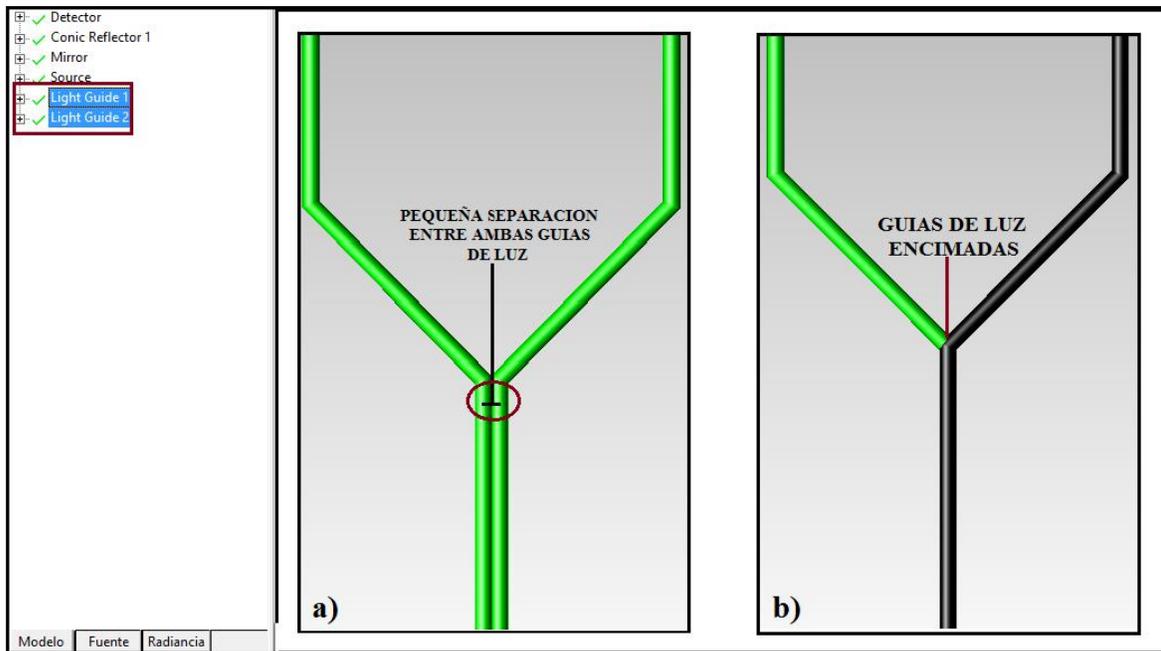


Figura 5.41 PANTALLA E IMAGEN DE MODELOS DE DOS GUÍAS DE LUZ PARALELAS: a) DOS GUÍAS DE LUZ CON PEQUEÑA SEPARACIÓN, b) GUÍA DE LUZ ENCIMADA UNA EN LA OTRA.

En la Figura 5.41b se seleccionan ambas guías y después se presiona el botón  la cual se encuentra en la barra de herramientas.

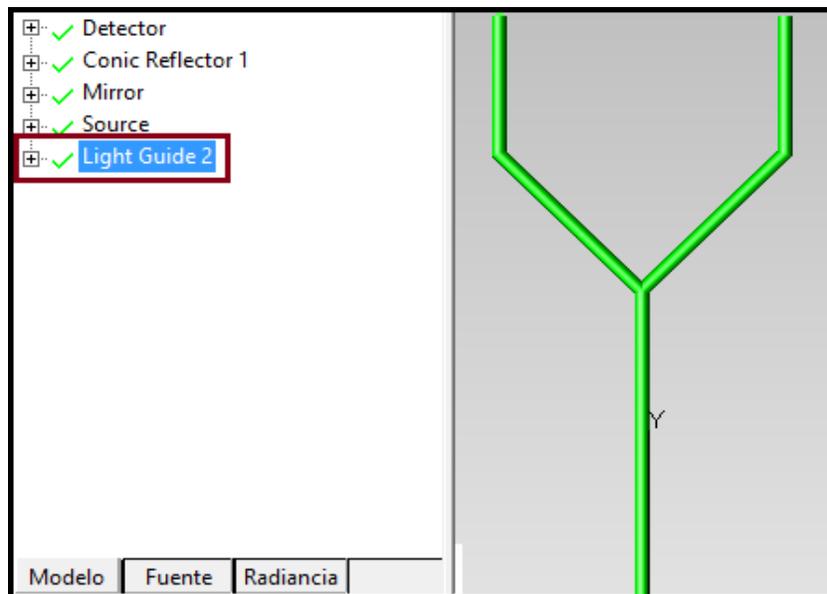


Figura 5.42 PANTALLA E IMAGEN DE LA UNIÓN DE DOS GUÍAS DE LUZ EN UNA SOLA (MODELO DE UN ACOPLADOR DIRECCIONAL DE FIBRA ÓPTICA).

A continuación se muestran los datos de la fuente de rejilla que se utilizó para esta prueba.

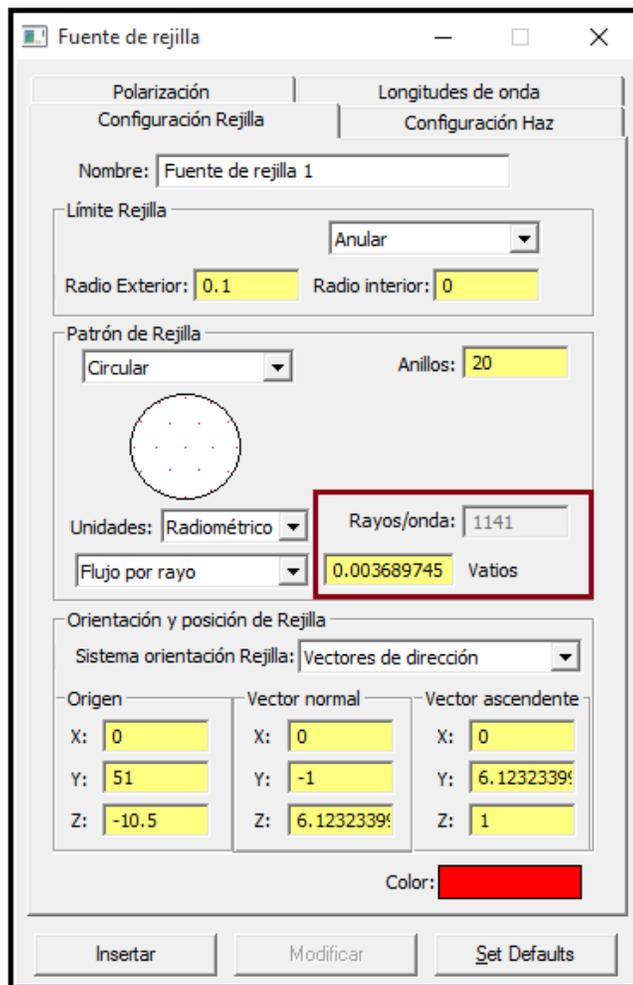


Figura 5.43 PANTALLA CON VALORES DEL FLUJO RADIANTE DE CADA ELEMENTO DEL MODELO.

Como se observa en la Figura 5.43 la fuente tiene 1141 rayos de los cuales tiene 0.00368 Watts por cada rayo. Con estos datos se obtiene que:

$$I_i = (1141 \text{ rayos}) * (0.00368 \text{ watts}) = 4.21 \text{ Watts} \quad [5.14]$$

Con la ecuación [5.14] queda asentado el resultado del flujo de intensidad que entra a la fibra y que a su vez es el que sale de la fuente de rejilla usada en la Prueba del modelado del transductor completo en el modo de reflexión.

Ahora para determinar el flujo de intensidad de salida, el cual se encuentra en el detector de la figura se obtiene de la tabla de flujo, pero al diagrama de la Figura 5.39 se le agregó un bloque el cual actúa como un absorbente de los rayos que salen del elemento transductor y que de esa forma solo se tome en cuenta los rayos que tiene el detector a la salida del extremo del acoplador tipo "Y", como se muestra a continuación.

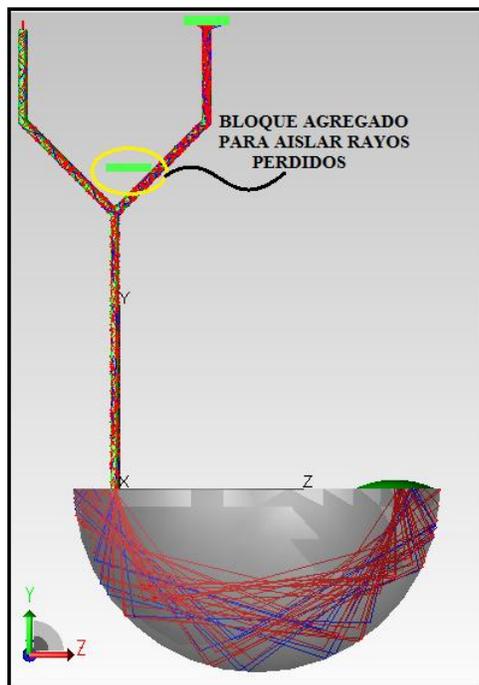


Figura 5.44 MODELO DEL TRANSDUCTOR EN EL MODO DE REFLEXIÓN CON UN ACOPLADOR DIRECCIONAL DE FIBRA ÓPTICA Y UN BLOQUE AGREGADO QUE ABSORBE LOS RAYOS QUE SALEN DEL ACOPLADOR.

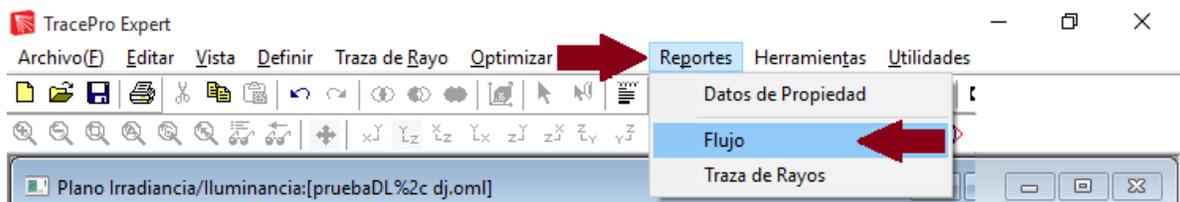


Figura 5.45 MENÚ DE LA OBTENCIÓN DEL FLUJO RADIANTE.

Informe de flujo:[Sin título2]

Selección de fuente: All Sources Visualizar objetos seleccionados
 Selección de longitud de onda: Longitud de onda totales Visualizar TODOS los objetos

Nombre Objeto	Catálogo de Material	Propiedad de Material	Área superficie [sq mm]	Número de rayos	Incidente [watts]	Perdido (TODOS los Tipos) [watts]
Nombre de Superficie	Catálogo de superficie	Propiedad de Superficie				
Superficie 0	Default	<None>	62.8318530717959	8	0.00688821257209731	0.00688821257209731
Superficie 1	Default	<None>	59.690260418206	732	1.66141292170168	0.01692202722039
Detector	<None>	<None>			0.345769942645989	0
Superficie 0	Default	Perfect Absorber	5	0	0	0
Superficie 1	Default	Perfect Absorber	5	0	0	0
Receiver	Default	Perfect Absorber	25	115	0.345769942645989	0
Superficie 3	Default	Perfect Absorber	5	0	0	0
Superficie 4	Default	Perfect Absorber	25	0	0	0
Superficie 5	Default	Perfect Absorber	5	0	0	0
bloque2	Metals	Aluminum			0.196101870802752	0
Superficie 0	Default	<None>	5	2	0.000384349638001304	0.000384349638001303
Superficie 1	Default	<None>	5	0	0	0

Figura 5.46 PANTALLA CON VALORES DEL FLUJO RADIANTE DE CADA ELEMENTO DEL MODELO.

Como se puede observar en la Figura 5.46 en el apartado donde se encuentran los rayos incidentes son los rayos del flujo de salida que golpean en el detector que se encuentra en la salida del acoplador tipo “Y”.

Una vez obtenidos los dos flujos de intensidad que interesan que presenta la prueba, se tiene una formula donde se calcula el flujo de intensidad total que presenta un elemento.

$$'T' = \frac{I_o}{I_i} \quad [5.15]$$

Donde:

T -> Flujo de Intensidad Total

I_o -> Flujo de Intensidad de Salida

I_i -> Flujo de Intensidad de Entrada

Sustituyendo los valores de entrada y salida en la ecuación [5.15], se obtienen lo siguiente:

$$'T' = \frac{0.345}{4.21} = 0.0821 \quad [5.16]$$

$$'T' = 82.1 \times 10^{-3} \quad [5.17]$$

Como se ha mostrado en las pruebas realizadas con TracePro® todas las formas de los sensores refractométricos de sensibilidad son esféricas, pero como ya se ha mencionado en el Capítulo 3 las formas de los sensores son elipsoides y paraboloides, fue por este motivo que se hizo uso de otro software (AutoCad®).

Dentro del manual de usuario del software TracePro® (*TracePro® 7.7 User's Manual*) se encuentra la sección *Importar y Exportar archivos ACIS (pág. 2.38)* la cual explica que este software puede compartir directamente los datos con otros programas los cuales están basados en interfaces SAT (ACIS). Dentro del intercambio de archivos SAT (ACIS) con otras aplicaciones los datos especializados que cada aplicación añade al archivo, éste la conserva. Un ejemplo es crear un modelo sólido (sensor refractométrico de sensibilidad) con AutoCad®, al abrirlo en TracePro® y añadirle propiedades ópticas de los sólidos y superficies.

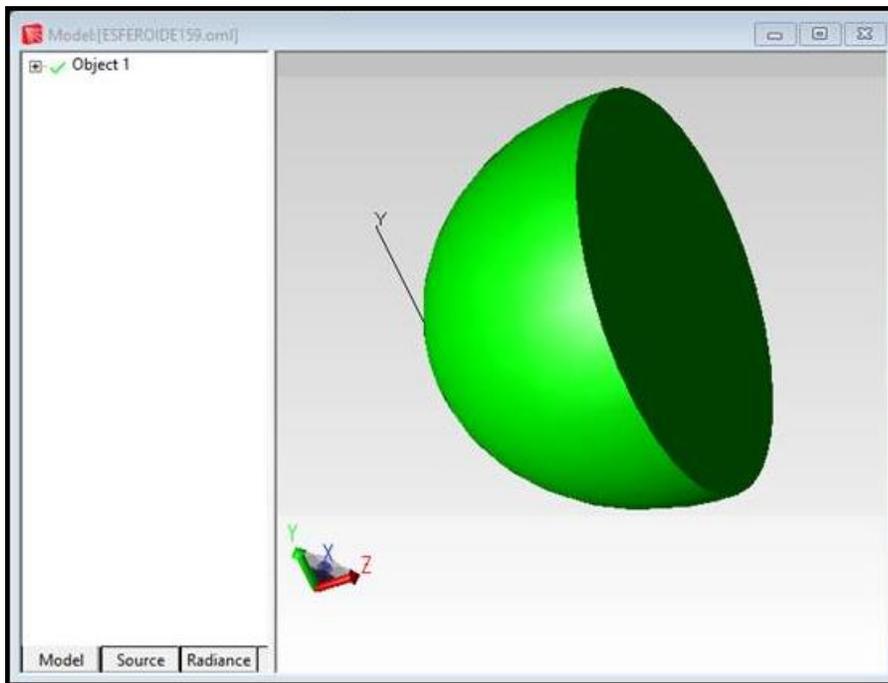


Figura 5.47 ELIPSOIDE CON DIÁMETRO 15.90 mm CREADO EN AUTOCAD® CON ARCHIVO SAT (ACIS) Y ABIETO EN TRACEPRO®.

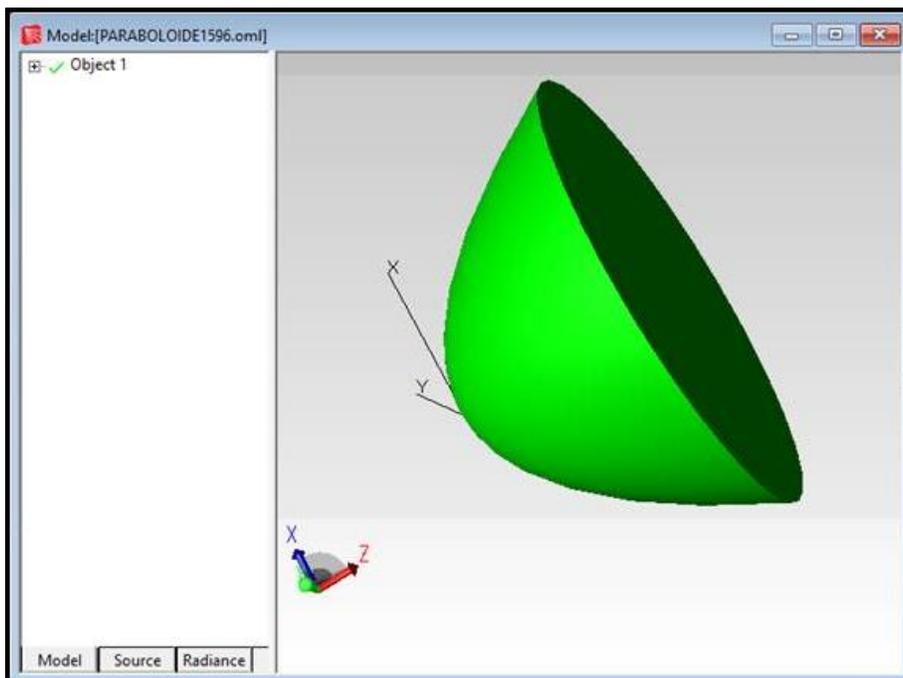


Figura 5.48 PARABOLOIDE CON DIÁMETRO 15.96 mm CREADO EN AUTOCAD® CON ARCHIVO SAT (ACIS) Y ABIETO EN TRACEPRO®.

Una vez obtenidas la Figura 5.47 y la Figura 5.48 y para poder demostrar que se puede realizar los cambios que se deseen una vez estando dentro del TracePro® se ejemplificará tomando en cuenta la Figura 5.48, lo primero que se realizó es el trazado de rayos en el

paraboloide y con ello quedó comprobado que la pieza es completamente adecuada para poder realizar las pruebas necesarias con todas las especificaciones, después el paraboloide fue insertado dentro de un bloque (como se ha manejado en las pruebas hechas en este Capítulo). Una vez añadido el bloque se procede a ingresar los valores de los índices de refracción de cada elemento, al paraboloide se le toma en cuenta como si fuera de vidrio el material, entonces su índice de refracción $n= 1.44$, y para el bloque su propiedad de material será agua con un índice de refracción $n= 1.33$. Cabe mencionar que el principal detalle que se había presentado en las pruebas realizadas dentro de este Capítulo fue que al ingresar el sensor en un bloque se unían de tal forma que no se podía asignar diferentes índices de refracción a cada elemento (esferoide y bloque).

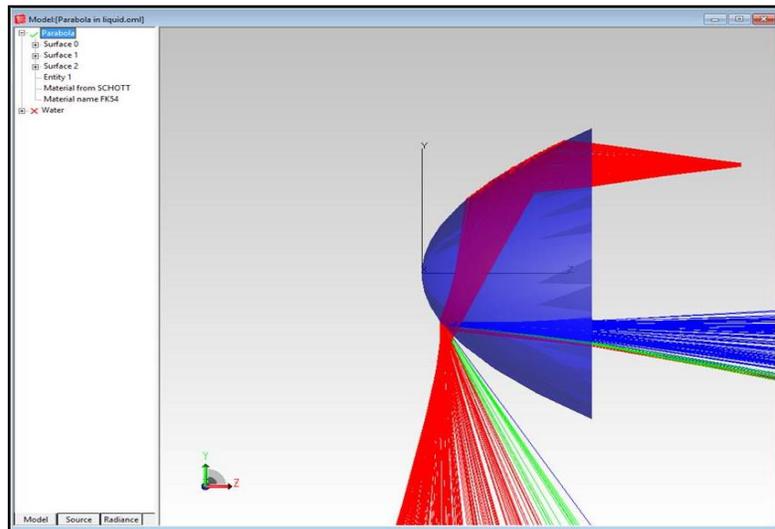


Figura 5.49 TRAZADO DE RAYOS DEL PARABOLOIDE.

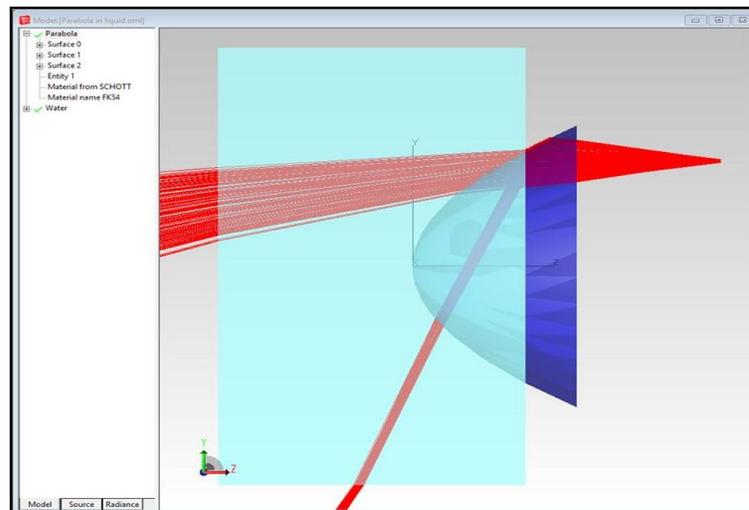


Figura 5.50 PARABOLOIDE DENTRO DEL BLOQUE (REPRESENTA EL AGUA) Y TRAYECTORIAS DE HACES DE LUZ.

5.8 Conclusiones

- Debido a algunas limitaciones del software SRFO se realizaron estudios y pruebas de la utilidad práctica de otro software – TracePro®, un producto comercial orientado a los problemas ópticos de tipo iluminación. La necesidad de pruebas fue relacionada al hecho que no al inicio del presente trabajo no existían antecedentes ni estudios de la utilidad y eficiencia de TracePro® en el análisis de los sensores de fibra óptica y sensores refractométricos en particular.

- Se realizó el modelado matemático de diferentes elementos del sensor con el software TracePro®: el transductor, los reflectores, las fibras ópticas, los acopladores direccionales de fibra óptica, el fotodetector, y las combinaciones de estos elementos. También, se realizó el trazado de rayos en diferentes elementos y en el sensor en su totalidad. Esto fue realizado en el marco de una licencia de prueba de un solo mes de TracePro®.

- A pesar de encontrar numerosas dificultades en el manejo de TracePro® y modelado de algunos elementos con este software (en particular, las fibras ópticas, los acopladores direccionales de fibra óptica, y elementos sólidos esféricos) se verificó que éste software es adecuado y útil para propósitos prácticos de nuestra aplicación.

- Un resultado práctico de esta tesis es la recomendación a nuestro grupo de trabajo del Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones, División de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería de la UNAM sobre la adquisición de una licencia de uso del software TracePro®, opción LC para su uso por el grupo de trabajo en el desarrollo de investigación científica sobre sensores refractométricos de fibra óptica de tipo extrínseco.

6 GENERACIÓN DE LAS FORMAS GEOMÉTRICAS POR MEDIO DEL PROGRAMA DE AUTOCAD®

Debido a las singularidades del software TracePro, fue necesario el uso de otro software - AutoCAD® (o SolidWorks®) para la generación de modelos sólidos de transductores esféricos en formatos (archivos) numéricos específicos, compatibles con el software TracePro®. A continuación se presenta los resultados de respectivo modelado.

6.1 Elipsoide E1 (Pieza #1, diámetro 15.90 mm)

A continuación se muestra la obtención de la forma geométrica del elipsoide con un diámetro de $d=15.90\text{ mm}$, con el programa de AutoCAD®.

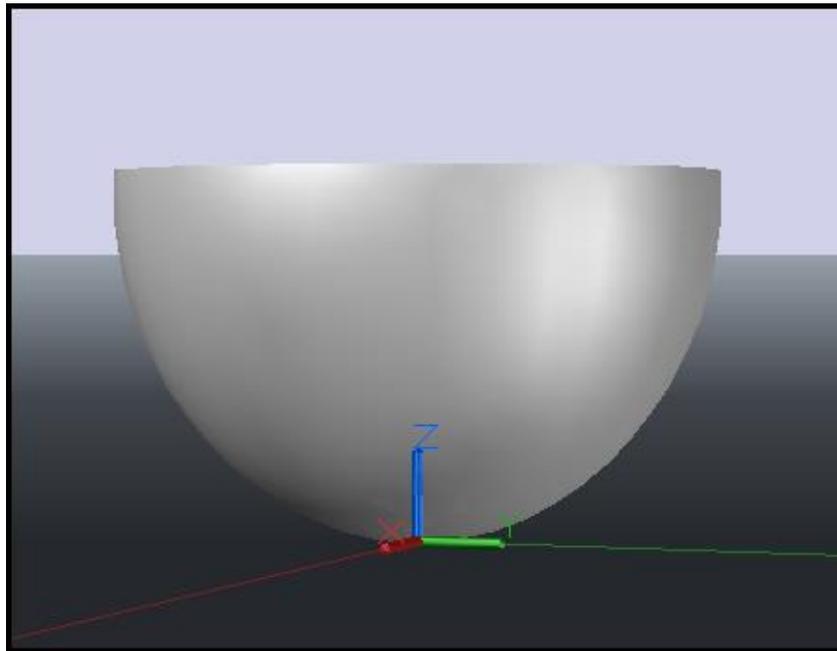


Figura 6.1 ELIPSOIDE CON DIÁMETRO DE 15.90 mm HECHO EN AUTOCAD®.

Para comenzar se tomara la ecuación cuadrática del elipsoide E1 (Pieza #1, diámetro 15.90 mm):

$$\frac{x^2}{(7.6916)^2} + \frac{y^2}{(7.6916)^2} + \frac{(z-9)^2}{9^2} = 1$$

Donde:

$$7.6916 = A$$

$$7.6916 = B$$

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} + \frac{(z-9)^2}{9^2} = 1 \quad [6.1]$$

Se realiza un despeje y un cambio de variable de tal manera que la ecuación [6.1], queda de la siguiente manera:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = I_Z \quad [6.2]$$

Donde:

$$I_Z = 1 - \frac{(z - 9)^2}{9^2}$$

Dividiendo la ecuación [6.2] entre I_Z , y realizando cambios de variable tenemos:

$$\frac{x^2}{A'^2} + \frac{y^2}{B'^2} = 1 \quad [6.3]$$

Donde:

$$A'^2 = A^2 * I_Z$$

$$B'^2 = B^2 * I_Z$$

Teniendo la ecuación [6.3], se procederá a realizar las tablas en Excel, tomando en cuenta la altura de la pieza ($h = 9.4 \text{ mm}$), se colocan las ecuaciones y se le da un incremento en "z" de tal manera de obtener la altura de la pieza.

z	Iz		X		Y		Z	A'	B'
0.01	0.00222	ELIPSE C	0	,	0	,	0.01000	0.36248477	0.36248477
0.02	0.00444	ELIPSE C	0	,	0	,	0.02000	0.51249	0.51249
0.03	0.00666	ELIPSE C	0	,	0	,	0.03000	0.62749294	0.62749294
0.04	0.00887	ELIPSE C	0	,	0	,	0.04000	0.72436	0.72436
0.05	0.01108	ELIPSE C	0	,	0	,	0.05000	0.80963898	0.80963898
0.06	0.01329	ELIPSE C	0	,	0	,	0.06000	0.88667	0.88667
0.07	0.01550	ELIPSE C	0	,	0	,	0.07000	0.95744392	0.95744392
0.08	0.01770	ELIPSE C	0	,	0	,	0.08000	1.02327	1.02327
0.09	0.01990	ELIPSE C	0	,	0	,	0.09000	1.0850337	1.0850337
0.1	0.02210	ELIPSE C	0	,	0	,	0.10000	1.14341	1.14341
0.2	0.04395	ELIPSE C	0	,	0	,	0.20000	1.61249798	1.61249798
0.3	0.06556	ELIPSE C	0	,	0	,	0.30000	1.96934	1.96934
0.4	0.08691	ELIPSE C	0	,	0	,	0.40000	2.267569	2.267569
0.5	0.10802	ELIPSE C	0	,	0	,	0.50000	2.52801	2.52801
0.6	0.12889	ELIPSE C	0	,	0	,	0.60000	2.76136891	2.76136891
0.7	0.14951	ELIPSE C	0	,	0	,	0.70000	2.97404	2.97404
0.8	0.16988	ELIPSE C	0	,	0	,	0.80000	3.17017618	3.17017618
0.9	0.19000	ELIPSE C	0	,	0	,	0.90000	3.35269	3.35269
1	0.20988	ELIPSE C	0	,	0	,	1.00000	3.52369769	3.52369769
1.1	0.22951	ELIPSE C	0	,	0	,	1.10000	3.68480	3.68480
1.2	0.24889	ELIPSE C	0	,	0	,	1.20000	3.83724426	3.83724426
1.3	0.26802	ELIPSE C	0	,	0	,	1.30000	3.98203	3.98203

Figura 6.2 EJEMPLO DE LA TABLA CREADA EN EXCEL CON LOS PARÁMETROS DEL ELIPSOIDE EL OBTENIDOS CON LA ECUACIÓN [6.3].

NOTA: Los valores completos de la tabla que se muestran el a figura 6.2 se encuentran en el ANEXO D.

Se procederá a seleccionar y copiar las filas y columnas, como se muestran a continuación:

	X	Y	Z	A'	B'
ELIPSE C	0	0	0.01000	0.36248477	0.36248477
ELIPSE C	0	0	0.02000	0.51249	0.51249
ELIPSE C	0	0	0.03000	0.62749294	0.62749294
ELIPSE C	0	0	0.04000	0.72436	0.72436
ELIPSE C	0	0	0.05000	0.80963898	0.80963898
ELIPSE C	0	0	0.06000	0.88667	0.88667
ELIPSE C	0	0	0.07000	0.95744392	0.95744392
ELIPSE C	0	0	0.08000	1.02327	1.02327
ELIPSE C	0	0	0.09000	1.0850337	1.0850337
ELIPSE C	0	0	0.10000	1.14341	1.14341
ELIPSE C	0	0	0.20000	1.61249798	1.61249798
ELIPSE C	0	0	0.30000	1.96934	1.96934
ELIPSE C	0	0	0.40000	2.267569	2.267569
ELIPSE C	0	0	0.50000	2.52801	2.52801
ELIPSE C	0	0	0.60000	2.76136891	2.76136891
ELIPSE C	0	0	0.70000	2.97404	2.97404
ELIPSE C	0	0	0.80000	3.17017618	3.17017618
ELIPSE C	0	0	0.90000	3.35269	3.35269
ELIPSE C	0	0	1.00000	3.52369769	3.52369769
ELIPSE C	0	0	1.10000	3.68480	3.68480
ELIPSE C	0	0	1.20000	3.83724426	3.83724426
ELIPSE C	0	0	1.30000	3.98203	3.98203

Figura 6.3 DATOS ESENCIALES SELECCIONADOS DE LA TABLA CREADA EN EXCEL DE LOS PARÁMETROS DEL ELIPSOIDE E1 OBTENIDOS CON LA ECUACIÓN [6.3].

Se abre el Bloc de Notas y se pega lo que se seleccionó de la Figura 6.3.

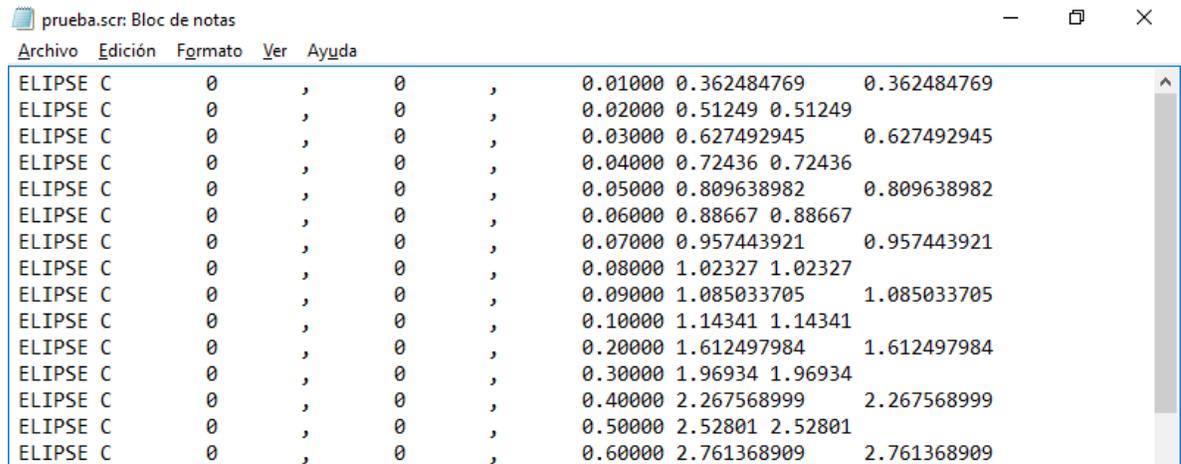


Figura 6.4 EJEMPLO DE DATOS EN BLOC DE NOTAS.

Se tiene que eliminar todos los espacios que el bloc de notas pone por default al pegar las columnas de la tabla de Excel. Esto se hace seleccionando lo que se quiere eliminar, se presiona Edición -> Reemplazar y se siguen las instrucciones que te muestra la tabla.

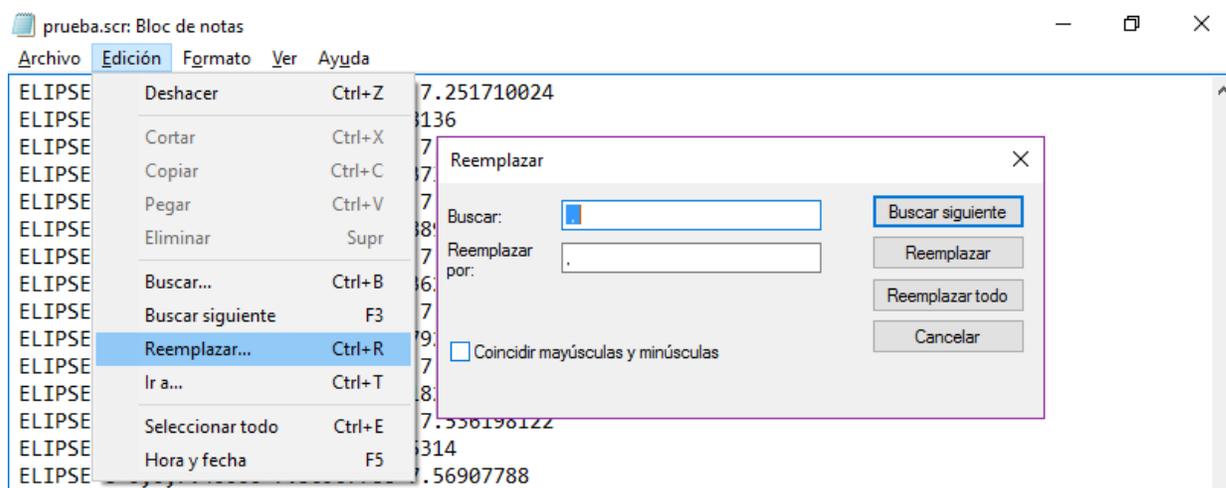


Figura 6.5 PANTALLA CON PROCEDIMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE ESPACIOS EN BLANCO DE LA TABLA.

Una vez corregidos los espacios como se procedió en la Figura 6.5, se procede a guardar el archivo, como se muestra a continuación:

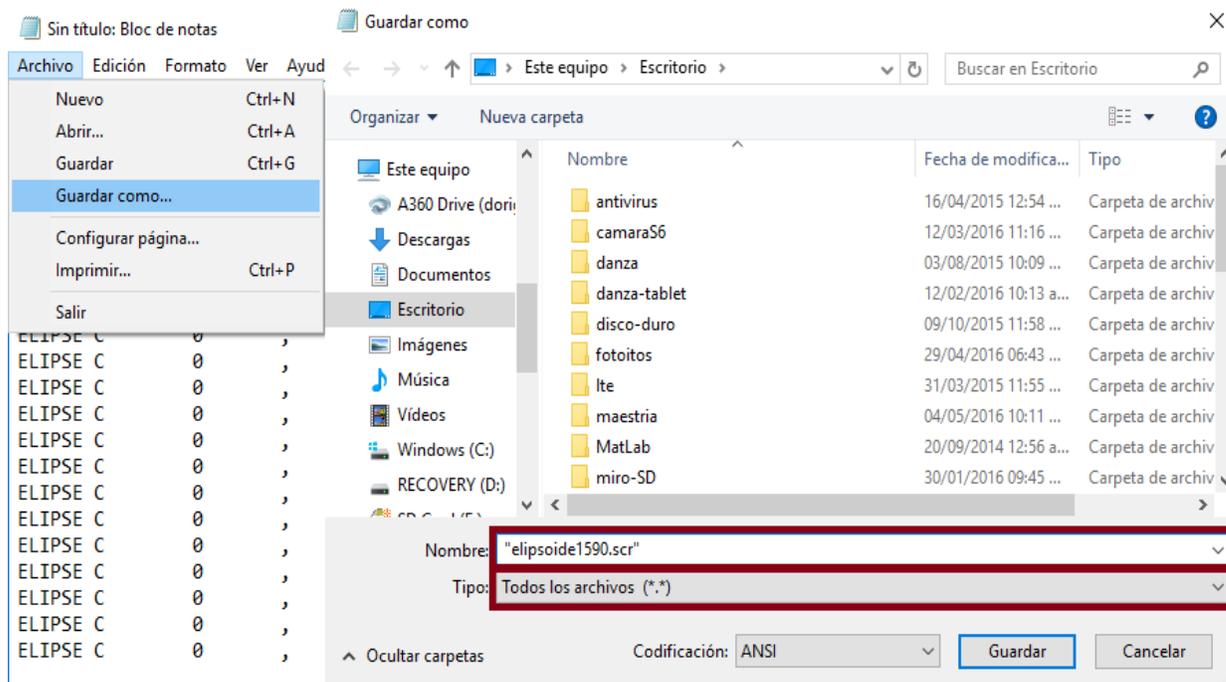


Figura 6.6 PANTALLA CON PROCEDIMIENTO PARA GUARDAR LOS ARCHIVOS CREADOS EN BLOC DE NOTAS.

Se abre el programa de AutoCAD y se crea un nuevo archivo para dibujar.

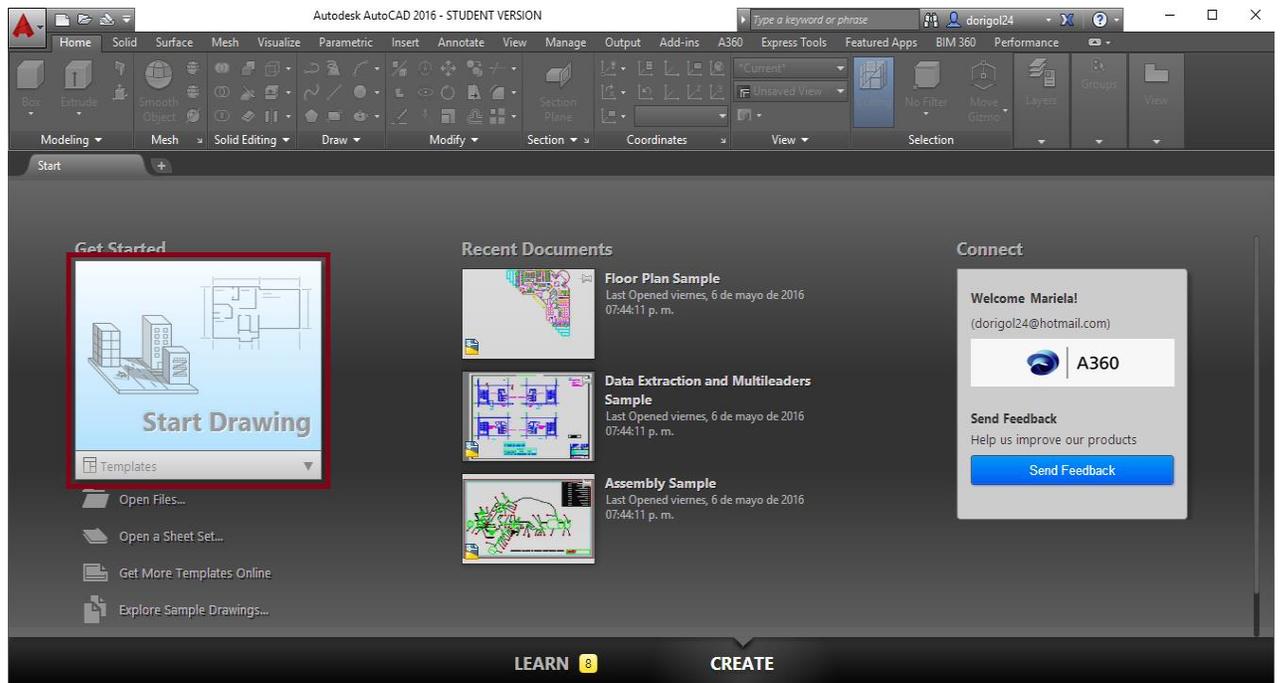


Figura 6.7 PANTALLA QUE MUESTRA LOS COMANDOS Y OPCIONES DEL AUTOCAD®.

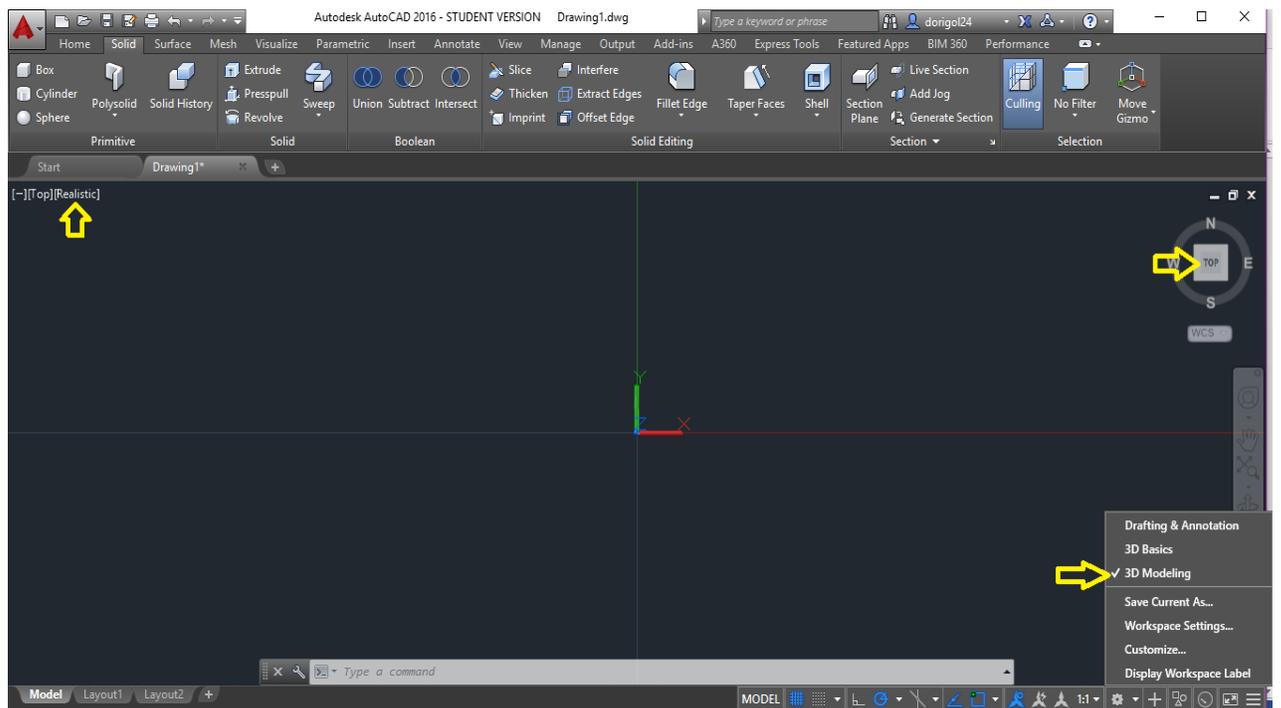


Figura 6.8 CONFIGURACIONES DE LA PANTALLA DE AUTOCAD® PARA LA OBTENCIÓN DE UN OBJETO SÓLIDO EN 3D.

En la Figura 6.8 se muestran las configuraciones que debe de mostrarse en la pantalla de inicio del dibujo del programa, pues de no estar en modelado 3D, y en forma realística, el sólido no se podrá mostrar, y marcara error.

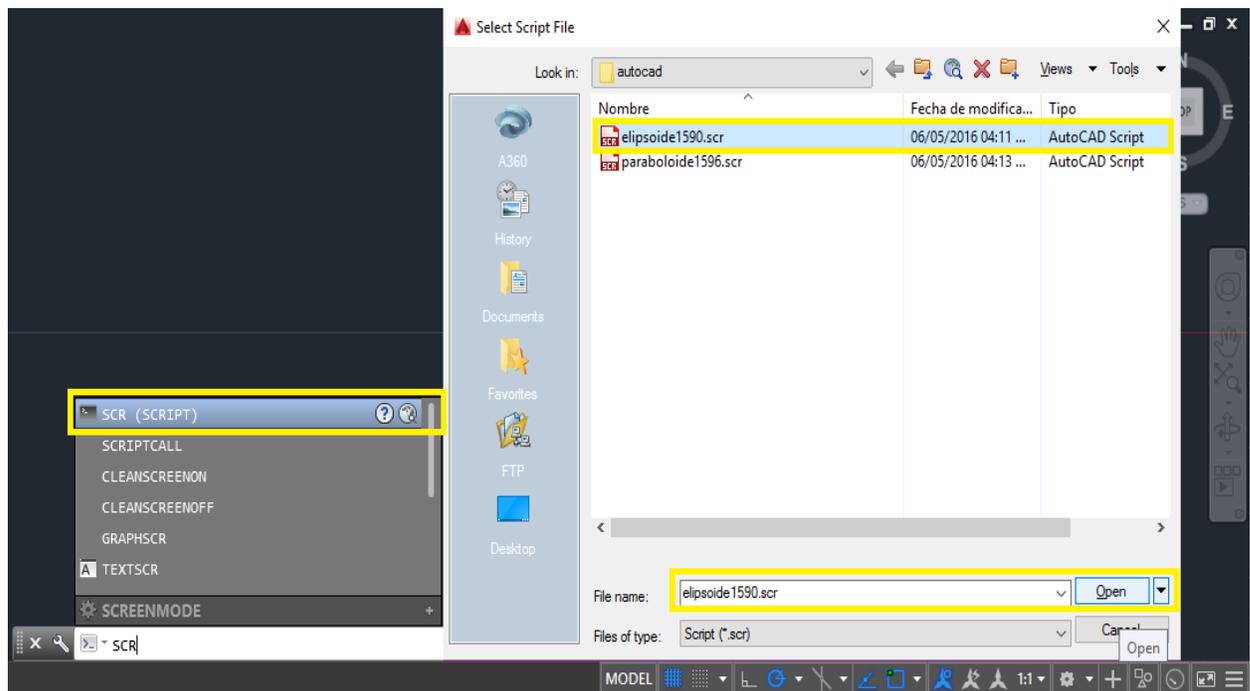


Figura 6.9 PANTALLA CON OPCIÓN PARA ABRIR UN ARCHIVO CREADO EN EL BLOC DE NOTAS.

En la Figura 6.9 se muestra la forma en la cual se abre el archivo guardado con la extensión especificada en la Figura 6.6, y finalmente al abrirlo queda de la siguiente manera:

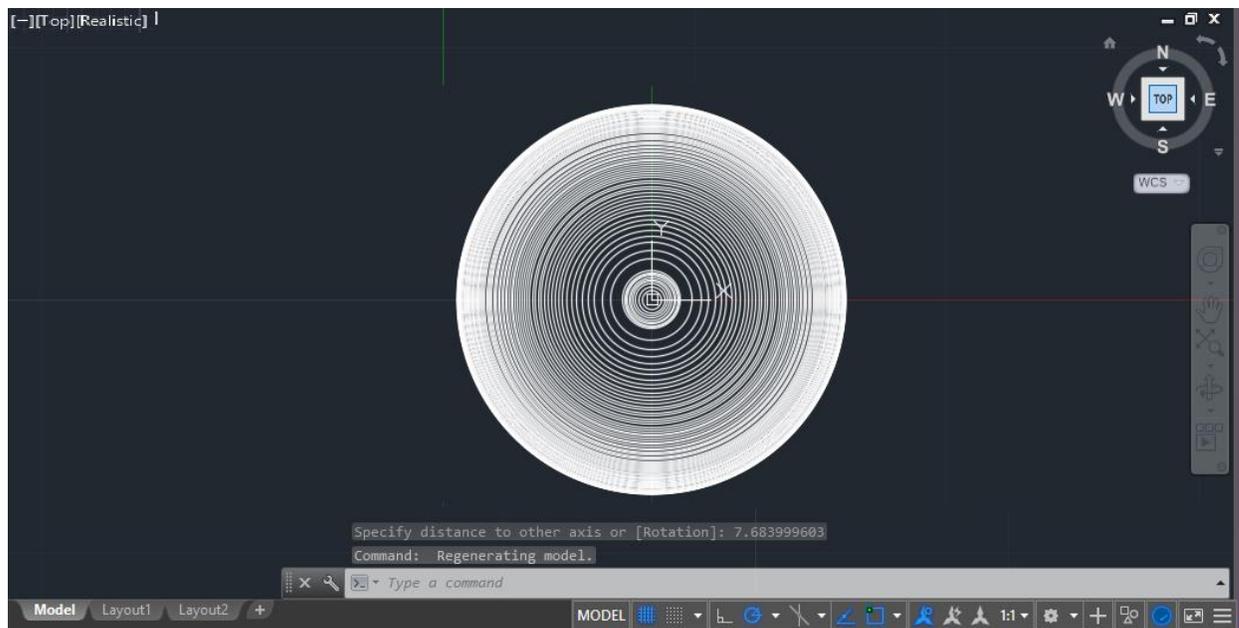


Figura 6.10 ELIPSOIDE CREADO DE CÍRCULOS ELEMENTALES FORMADOS CON LOS VALORES OBTENIDOS DE LA TABLA CREADA EN EXCEL.

A continuación se seleccionara de la barra de herramientas de la parte superior el menú SOLID -> SWEEP -> LOFT, y se procederá a seleccionar cada una de las elipsoides.

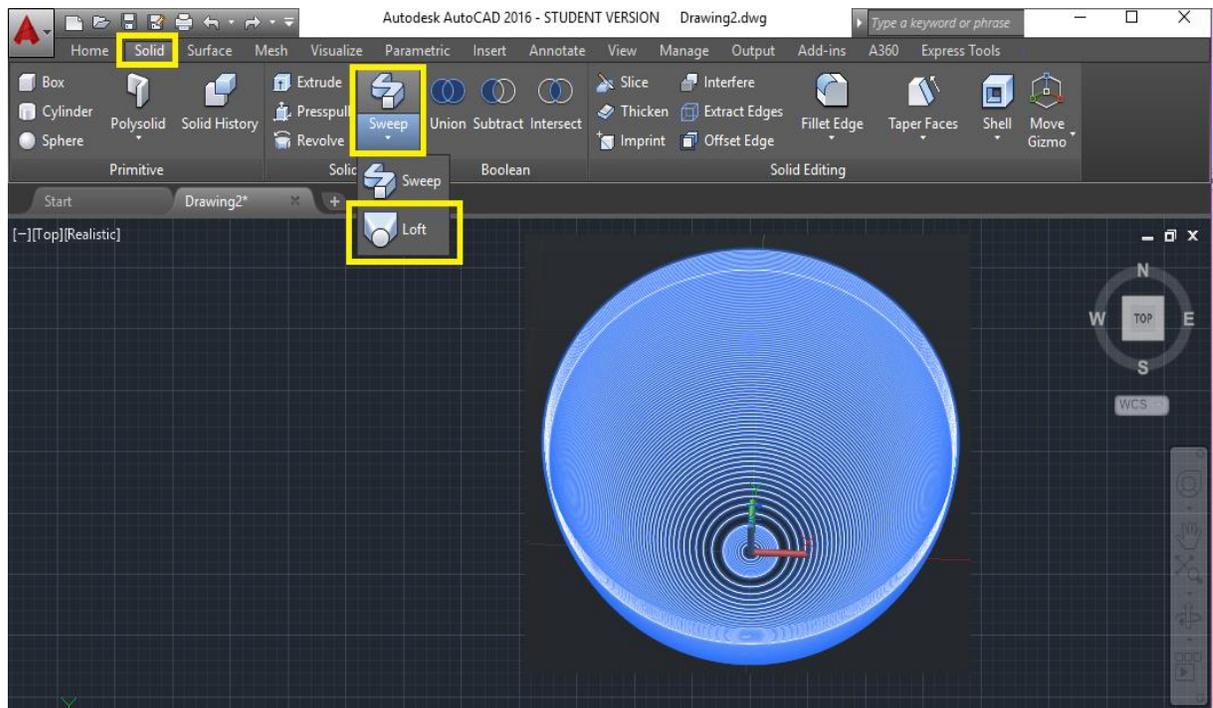


Figura 6.11 MODELADO DE UNA ELIPSOIDE: SELECCIÓN DE CADA CÍRCULO ELEMENTAL CON EL COMANDO LOFT.

Una vez que se seleccionaron todos los elipsoides como se muestra en la Figura 6.11 se dará ENTER para que se forme el sólido.

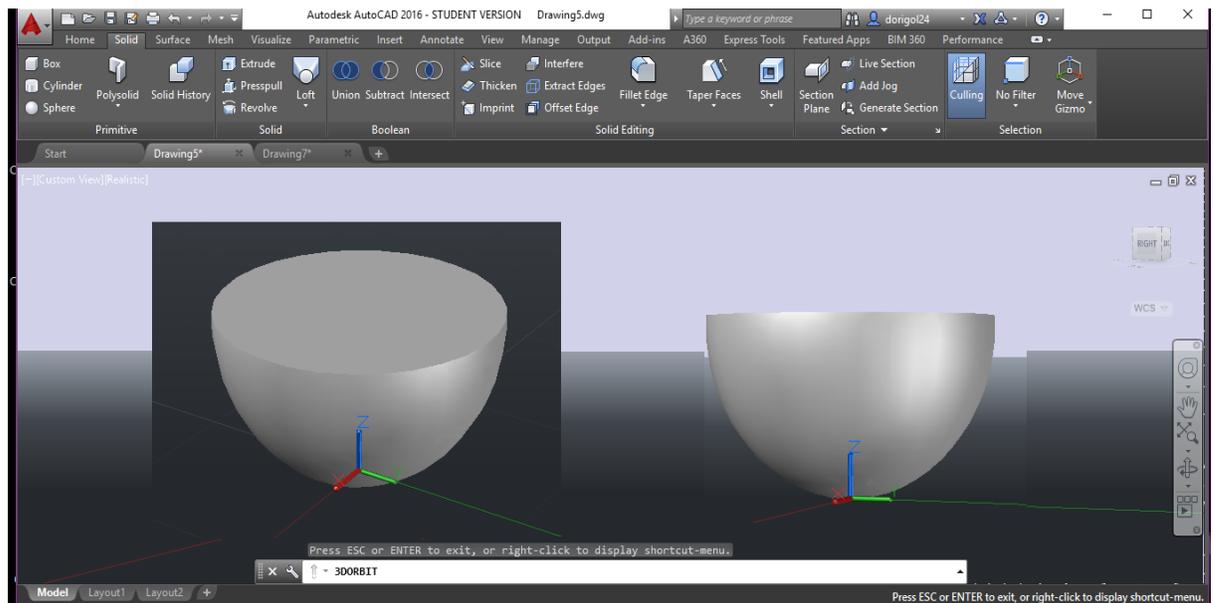


Figura 6.12 ELIPSOIDE EN VISTAS DIFERENTES OBTENIDAS CON COMANDO LOFT.

6.2 Paraboloide P1 (Pieza #1, diámetro 15.96 mm)

A continuación se muestra la obtención de la forma geométrica del paraboloide con un diámetro de $d=15.96 \text{ mm}$, con el programa de AutoCAD.

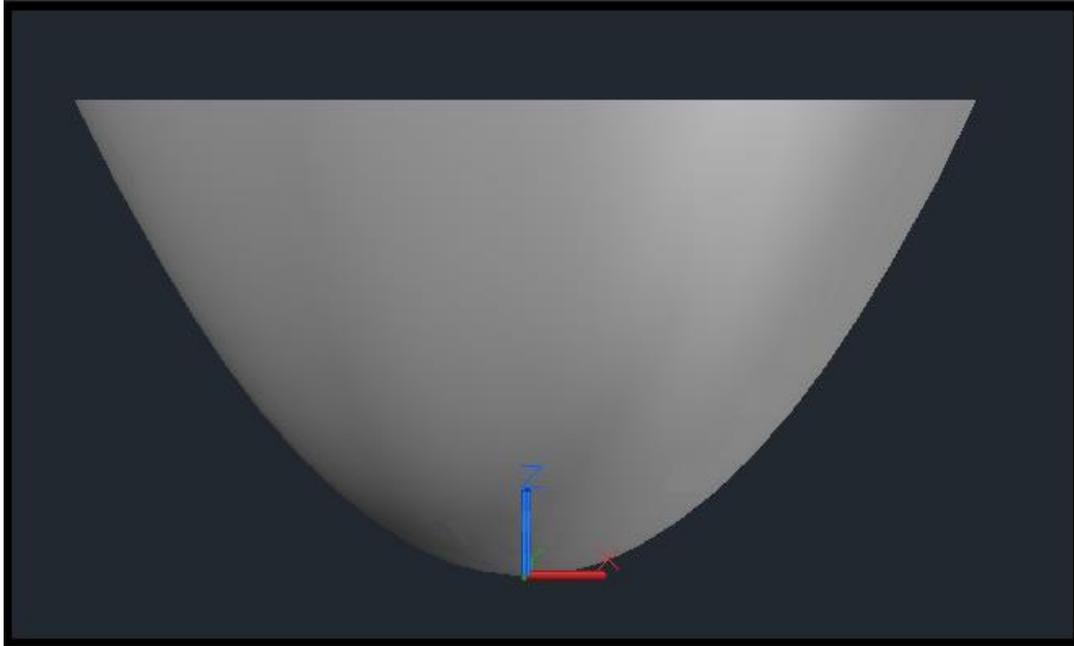


Figura 6.13 PARABOLOIDE CON DIÁMETRO DE 15.96 mm HECHO EN AUTOCAD®.

Para comenzar se tomara la ecuación cuadrática del paraboloide P1 (Pieza #1, diámetro 15.96 mm), que a continuación se muestra:

$$\frac{x^2}{(7.98)^2} + \frac{y^2}{(7.98)^2} - \frac{z}{7.87} = 0$$

Donde:

$$7.98 = A$$

$$7.98 = B$$

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{z}{7.87} = 0 \quad [6.4]$$

Se realiza un despeje y un cambio de variable de tal manera que la ecuación [6.4], queda de la siguiente manera:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = I_z \quad [6.5]$$

Donde:

$$I_z = \frac{z}{7.87}$$

Dividiendo la ecuación [6.5] entre I_z , y realizando cambios de variable tenemos:

$$\frac{x^2}{A'^2} + \frac{y^2}{B'^2} = 1 \quad [6.6]$$

Donde:

$$A'^2 = A^2 * I_z$$

$$B'^2 = B^2 * I_z$$

Teniendo la ecuación [6.6], se procederá a realizar las tablas en Excel, tomando en cuenta la altura de la pieza ($h = 8 \text{ mm}$), se colocan las ecuaciones y se le da cierto incremento hasta el punto de llegar a la altura de la pieza.

z	Iz		X		Y		Z	A'	B'
0.01	0.00127	ELIPSE C	0	,	0	,	0.01000	0.28445628	0.28446
0.02	0.00254	ELIPSE C	0	,	0	,	0.02000	0.40228	0.40228
0.03	0.00381	ELIPSE C	0	,	0	,	0.03000	0.49269	0.49269
0.04	0.00508	ELIPSE C	0	,	0	,	0.04000	0.56891	0.56891
0.05	0.00635	ELIPSE C	0	,	0	,	0.05000	0.63606	0.63606
0.06	0.00762	ELIPSE C	0	,	0	,	0.06000	0.69677	0.69677
0.07	0.00889	ELIPSE C	0	,	0	,	0.07000	0.75260	0.75260
0.08	0.01017	ELIPSE C	0	,	0	,	0.08000	0.80456	0.80456
0.09	0.01144	ELIPSE C	0	,	0	,	0.09000	0.85337	0.85337
0.1	0.01271	ELIPSE C	0	,	0	,	0.10000	0.89953	0.89953
0.2	0.02541	ELIPSE C	0	,	0	,	0.20000	1.27213	1.27213
0.3	0.03812	ELIPSE C	0	,	0	,	0.30000	1.55803	1.55803
0.4	0.05083	ELIPSE C	0	,	0	,	0.40000	1.79906	1.79906
0.5	0.06353	ELIPSE C	0	,	0	,	0.50000	2.01141	2.01141
0.6	0.07624	ELIPSE C	0	,	0	,	0.60000	2.20339	2.20339
0.7	0.08895	ELIPSE C	0	,	0	,	0.70000	2.37993	2.37993
0.8	0.10165	ELIPSE C	0	,	0	,	0.80000	2.54425	2.54425
0.9	0.11436	ELIPSE C	0	,	0	,	0.90000	2.69859	2.69859
1	0.12706	ELIPSE C	0	,	0	,	1.00000	2.84456	2.84456
1.1	0.13977	ELIPSE C	0	,	0	,	1.10000	2.98340	2.98340
1.2	0.15248	ELIPSE C	0	,	0	,	1.20000	3.11606	3.11606
1.3	0.16518	ELIPSE C	0	,	0	,	1.30000	3.24330	3.24330

Figura 6.14. EJEMPLO DE LA TABLA CREADA EN EXCEL DE LOS PARÁMETROS DEL PARABOLOIDE P1 OBTENIDOS CON LA ECUACIÓN [6.6].

NOTA: Los valores completos de la tabla que se muestran en la figura 6.14 se encuentran en el ANEXO D.

Para el paraboloide el nombre de ELIPSE C no influye para la pieza, esto es debido a que los valores de la tabla son los que influyen para la obtención de las curvas del paraboloide.

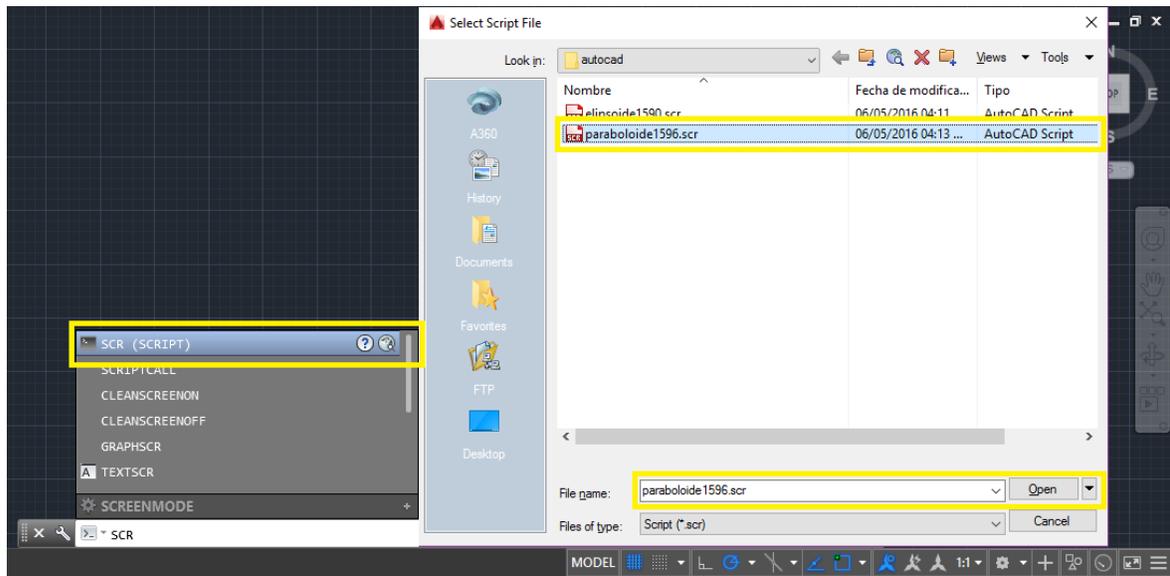


Figura 6.15 PANTALLA CON OPCIÓN PARA ABRIR UN ARCHIVO CREADO EN EL BLOC DE NOTAS.

En la Figura 6.15 se muestra la forma en la cual se abre el archivo guardado, y finamente al abrirlo queda de la siguiente manera:

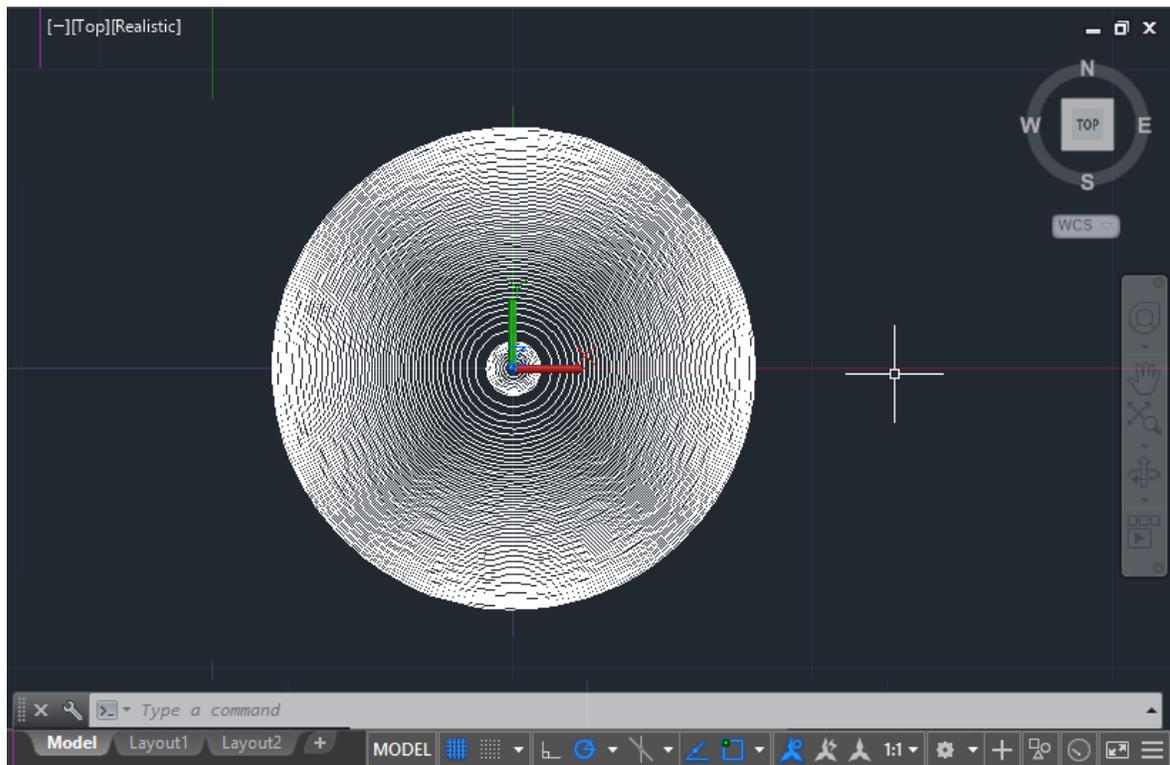


Figura 6.16 PARABOLOIDE CREADO DE CÍRCULOS ELEMENTALES FORMADOS CON LOS VALORES OBTENIDOS DE LA TABLA CREADA EN EXCEL.

A continuación se seleccionara de la barra de herramientas de la parte superior el menú SOLID -> SWEEP -> LOFT, y se procederá a seleccionar cada una de las elipsoides.

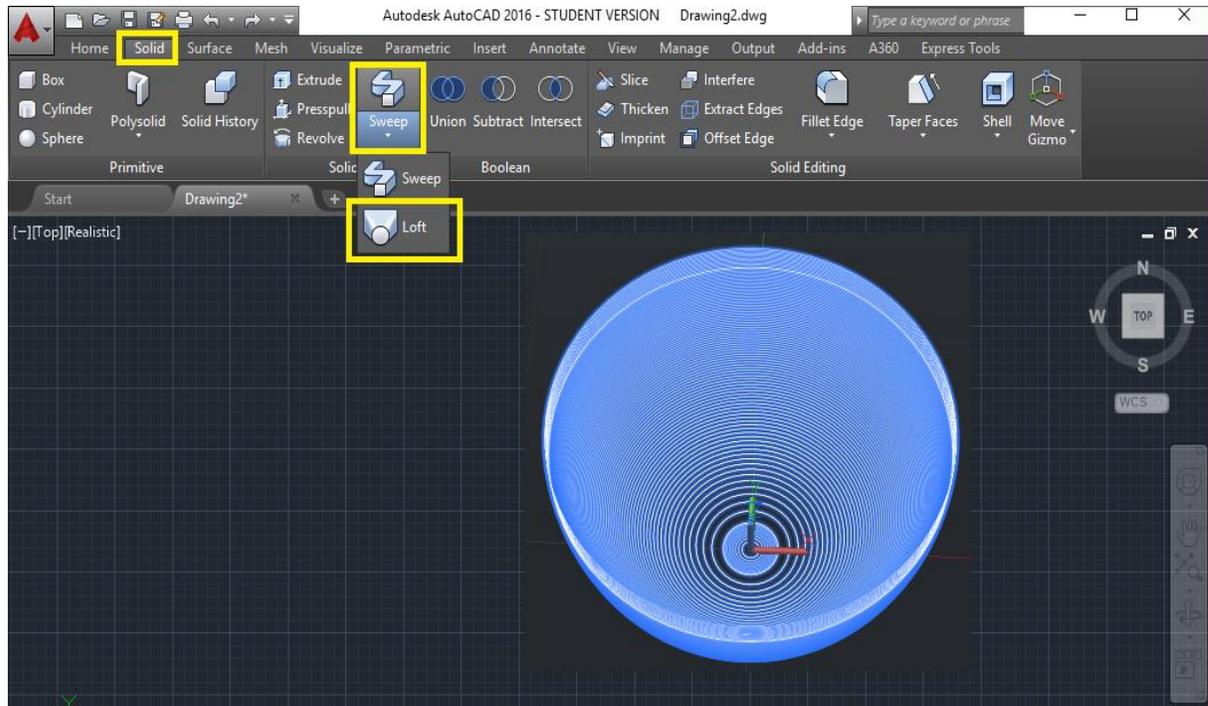


Figura 6.17 MODELADO DE UNA ELIPSOIDE: SELECCIÓN DE CADA CÍRCULO ELEMENTAL CON EL COMANDO LOFT.

Una vez que se seleccionaron todos los elipsoides como se muestra en la Figura 6.17 se dará ENTER para que se forme el sólido.

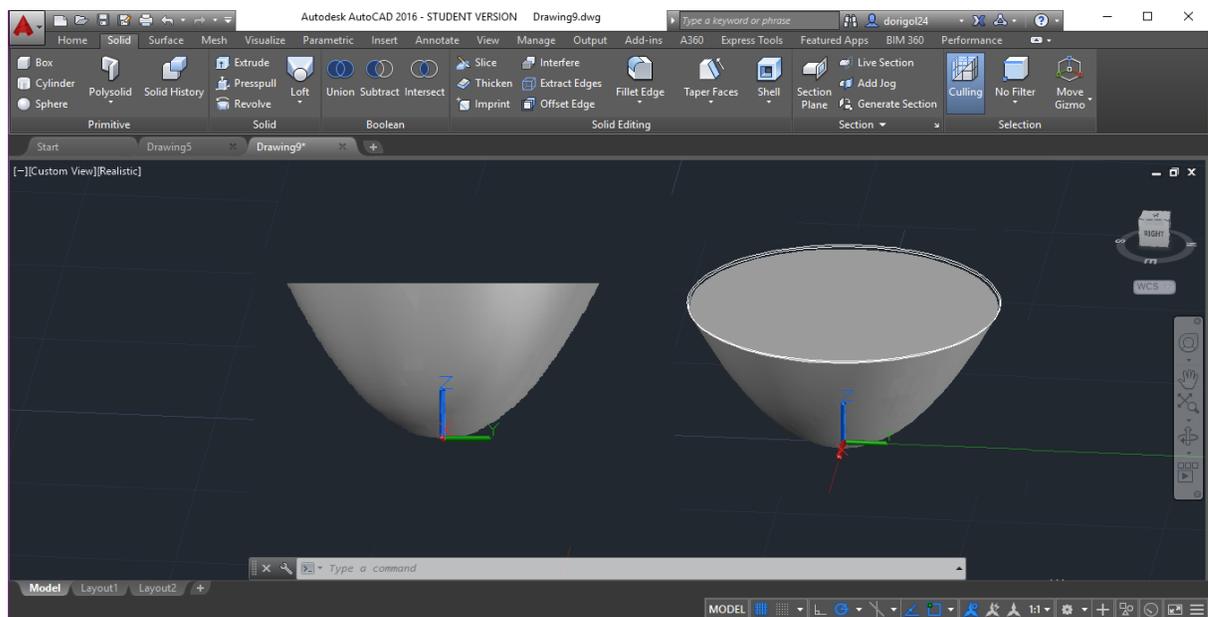


Figura 6.18 PARABOLOIDE EN VISTAS DIFERENTES OBTENIDAS CON COMANDO LOFT.

6.3 Conclusiones

- Se realizó el uso de otro software (AutoCAD®) para la generación de modelos sólidos de transductores esféricos en formatos (archivos) numéricos específicos, compatibles con el software TracePro®, esto debido a las características intrínsecas del software TracePro®.

- El modelado de los transductores refractométricos con AutoCAD® fue una tarea difícil debido a la complejidad del modelado de las piezas en 3D. Esto fue posible gracias al apoyo del Ing. Víctor Durán Campos quien nos ayudó con las asesorías sobre el manejo de AutoCAD®. Además, el Dr. Álvaro Ayala Ruiz con su grupo nos ayudó en el manejo de software alternativo SolidWorks®, en la realización del modelado de los transductores esféricos.

7 RESULTADOS DEL TRAZADO DE RAYOS DE LOS ELIPSOIDES CON EL SOFTWARE SRFO

En este capítulo se presentan los resultados de análisis de algunos transductores refractométricos con el software SRFO. El objetivo de este análisis consiste en la verificación de importancia de las finitas diferencias que encontramos en capítulos anteriores entre la forma real e ideal teórica de los transductores refractométricos utilizados en este trabajo.

7.1 Elipsoide E3 (Pieza #3, diámetro de 23.80 mm)

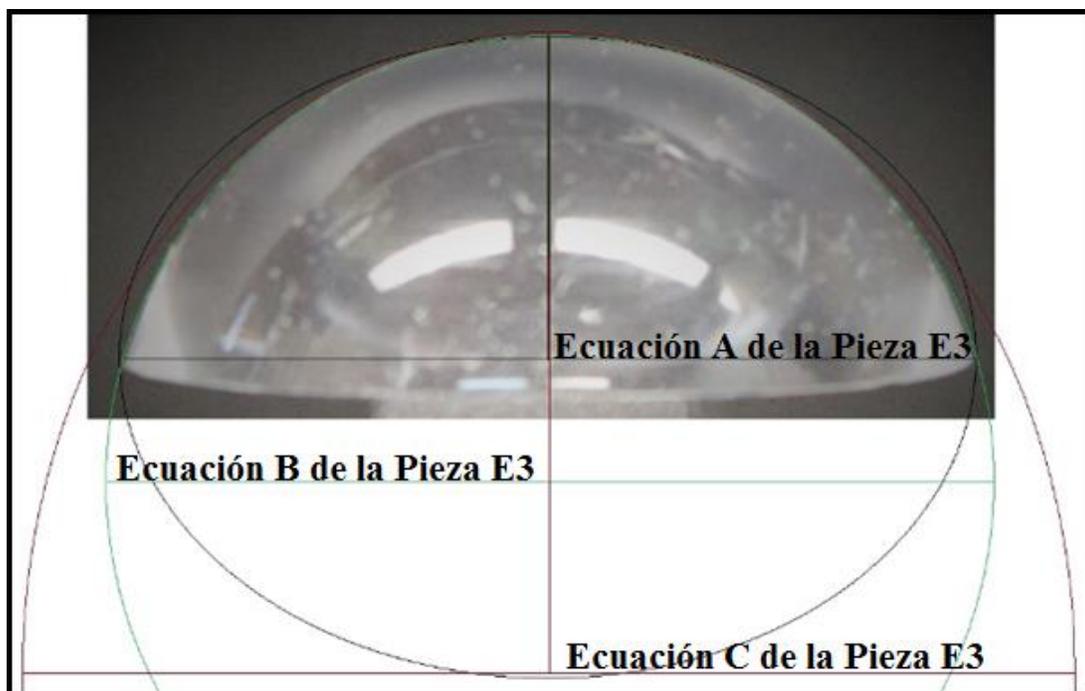


Figura 7.1 VARIANTES DE APROXIMACIÓN DE SUPERFICIE CON TRES ELIPSOIDES DIFERENTES DE LA PIEZA E3.

En la Figura 7.1 se muestran las variantes de aproximación de superficie de la pieza E3, y cada uno de los segmento tiene una ecuación la cual representa la curva, esto es con el fin de realizar el modelado de la pieza E3 lo más exacto posible, y su análisis haciendo uso del software SRFO.

A continuación se presentara el desarrollo realizado con el software SRFO, se tomaron las especificaciones que se muestran en la Figura 7.2, cabe mencionar que estos mismos valores se tomaron en cuenta para cada una de las piezas (elipsoides).

Figura 7.2 PANTALLA DE LA INTERFAZ DE USUARIO CON LAS ESPECIFICACIONES DE LA FIBRA EMISORA, RECEPTORA Y RANGO DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN n Y NÚMEROS DE RAYOS A UTILIZAR EN EL TRAZADO.

Una vez teniendo los valores que se muestran en la Figura 7.2, en la interfaz de usuario del software se insertan los valores de la ecuación (1er. Aproximación de superficie de la pieza E3).

7.1.1 Pieza E3, ecuación E3.1

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.011 z^2 - 1 = 0 \quad [7.1]$$

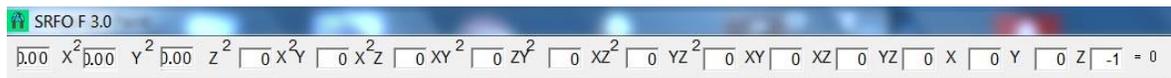


Figura 9.3. PANTALLA DE LA ASIGNACIÓN DE LOS VALORES DE LA ECUACIÓN [7.1] DE LA PIEZA E3.

NOTA: Debido a las limitaciones de la interfaz en la Figura 7.3 solo se pueden observar los primeros 3 dígitos, sin embargo el valor que se introdujo es el mismo que se muestra en la ecuación [7.1].

Después de haber ingresado la ecuación del segmento de la pieza E3, en la parte inferior de la pantalla de interfaz de usuario se encuentran cinco botones, de los cuales se opriman dos en el orden indicado: POSICIONAR -> PROCESAR.



Figura 7.4 PANTALLA DE LOS BOTONES PARA REALIZAR EL TRAZADO DE RAYOS.

Una vez realizado el procedimiento descrito en la Figura 7.4 inmediatamente aparecerá una pantalla (*"Reporte de la Simulación"*) la cual muestra algunos resultados del análisis realizado (ver Figura 7.2).

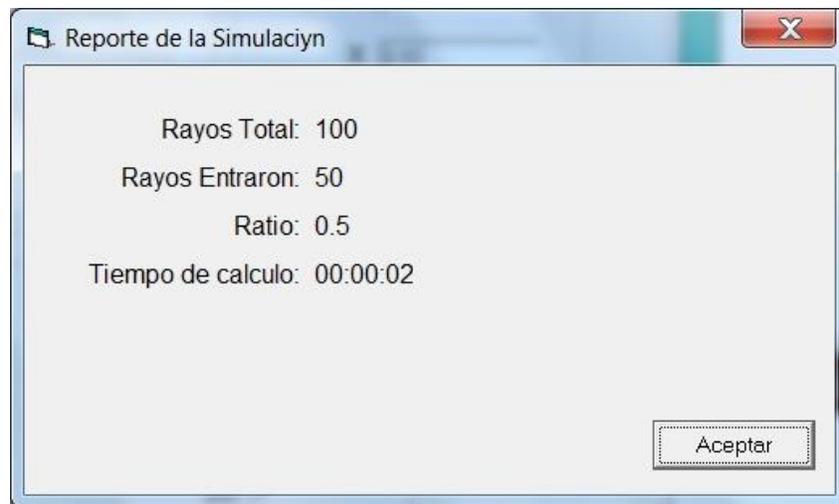


Figura 7.5 ÍCONO CON REPORTE DE LA SIMULACIÓN DE LA PIEZA E3.

Al darle click en el botón *"Aceptar"* el programa crea varios archivos dentro del disco duro C. Para fines de nuestro análisis solo se utiliza el archivo con extensión ".DPA", el cual tiene datos sobre el índice de refracción y respectiva transmisión óptica. A continuación la Figura 7.6 muestra la geometría del sensor y los resultados de trazado de rayos que se obtuvo con la ecuación [7.1].

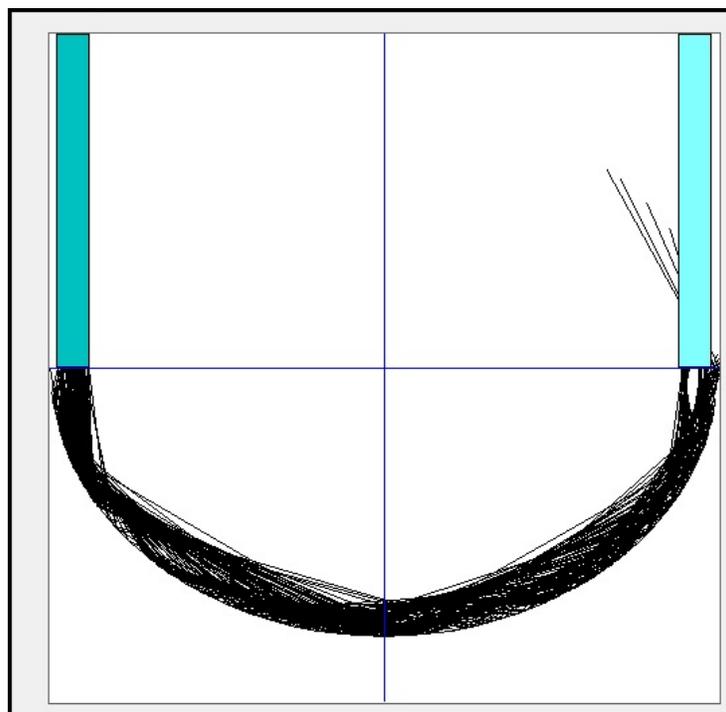


Figura 7.6 IMAGEN DEL TRANSDUCTOR.

A continuación se muestran los datos que se obtuvo por medio del análisis: el índice externo de refracción y respectiva transmisión óptica T .

n	T	n	T	n	T	n	T
1.2	0.38118351	1.35	0.13637246	1.5	8.18E-94	1.65	8.02E-07
1.21	0.38118351	1.36	0.12548535	1.51	3.65E-13	1.66	1.07E-06
1.22	0.37920265	1.37	8.99E-02	1.52	2.01E-11	1.67	1.40E-06
1.23	0.37092958	1.38	2.51E-02	1.53	2.00E-10	1.68	1.79E-06
1.24	0.36569769	1.39	5.22E-03	1.54	9.86E-10	1.69	2.25E-06
1.25	0.35905264	1.4	1.85E-03	1.55	3.32E-09	1.7	2.79E-06
1.26	0.35644519	1.41	3.35E-04	1.56	8.78E-09	1.71	3.41E-06
1.27	0.34489041	1.42	1.54E-05	1.57	1.97E-08	1.72	4.13E-06
1.28	0.30998756	1.43	1.86E-06	1.58	3.91E-08	1.73	4.93E-06
1.29	0.25038904	1.44	2.71E-07	1.59	7.07E-08	1.74	5.84E-06
1.3	0.2094727	1.45	4.14E-08	1.6	1.19E-07	1.75	6.85E-06
1.31	0.1835236	1.46	5.94E-09	1.61	1.89E-07	1.76	7.98E-06
1.32	0.17151133	1.47	6.77E-10	1.62	2.87E-07	1.77	9.21E-06
1.33	0.16774617	1.48	4.29E-11	1.63	4.17E-07	1.78	1.06E-05
1.34	0.1549953	1.49	5.24E-13	1.64	5.87E-07	1.79	1.20E-05

Figura 7.7 VALORES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN n Y TRANSMISIÓN ÓPTICA T .

Una vez obtenidos los valores que se muestran en la Figura 7.7, se realiza el mismo procedimiento para cada una de las ecuaciones de las aproximaciones de superficie de la pieza E3. Se grafican los resultados obtenidos con ecuaciones de las tres aproximaciones (la Figura 7.8).

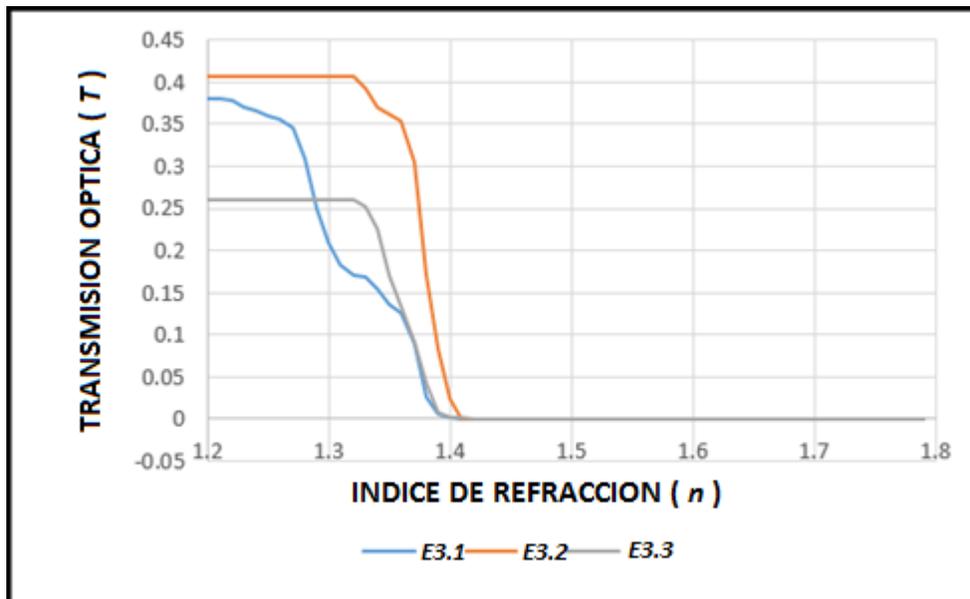


Figura 7.8 TRANSMISIÓN ÓPTICA T Vs. ÍNDICE DE REFRACCIÓN n PARA TRANSDUCTOR E3.

7.2 Elipsoide E4 (Pieza #4, diámetro 35.97 mm)

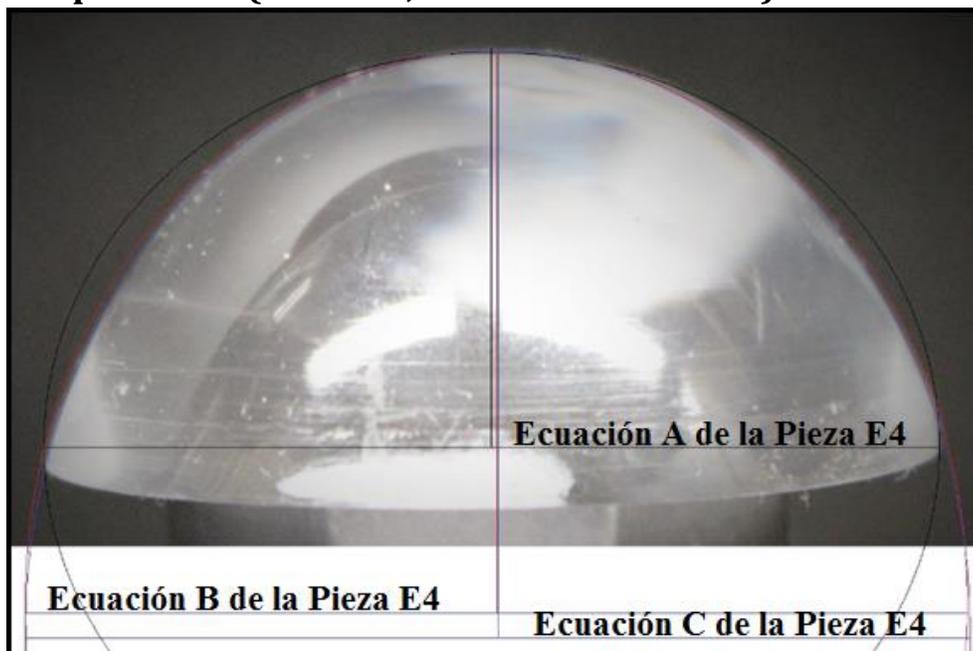


Figura 7.9 VARIANTES DE APROXIMACIÓN DE SUPERFICIE CON TRES ELIPSOIDES DIFERENTES DE LA PIEZA E4.

En la Figura 7.9 se muestran las aproximaciones de superficie de la pieza E4, y cada uno de los segmentos tiene una ecuación la cual representa la curva.

A continuación se presentara el análisis realizado con el software SRFO, se tomaron las especificaciones que se muestran en la Figura 7.10.

The screenshot shows the SRFO software interface with the following parameters:

- Fibra Emisora:** Apertura 0.3, Perfil Escalonado, Compos. Dirigidos/Tu, Diametro 0.1, X -0.93, Z 0, Y 0. Distribución Angular: Cos Fi (selected), Potencia 1, Tabla (unselected).
- Fibra Receptora:** Apertura 0.3, Perfil Escalonado, Compos. Dirigidos, Diametro 0.1, X 0.93, Z 0, Y 0.
- General:** N Sensor 1.5, N Inicial 1.2, N Final 1.8, Intervalo 0.01, # de Rayos 100, # Max de Refl. 5, Graficar (checked), 2D (checked), Mostrar Grafica (unchecked).

Figura 7.10 PANTALLA DE LA INTERFAZ DE USUARIO CON LAS ESPECIFICACIONES DE LA FIBRA EMISORA, RECEPTORA Y RANGO DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN n Y NÚMEROS DE RAYOS A UTILIZAR EN EL TRAZADO.

7.2.1 Pieza E4 ecuación E4.1

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0051 z^2 - 1 = 0 \quad [7.2]$$

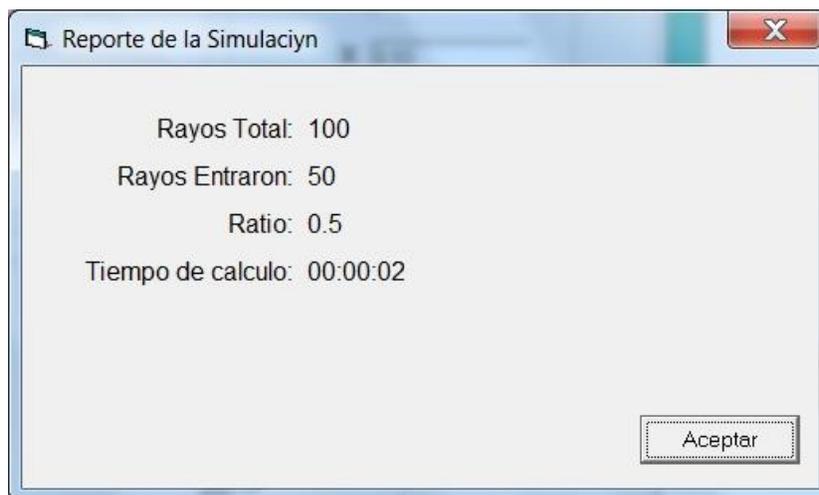


Figura 7.11 ÍCONO CON REPORTE DE LA SIMULACIÓN DE LA PIEZA E4.

A continuación se muestra la configuración del transductor que se obtuvo con la ecuación [7.2], y las trayectorias de los rayos en esta configuración.

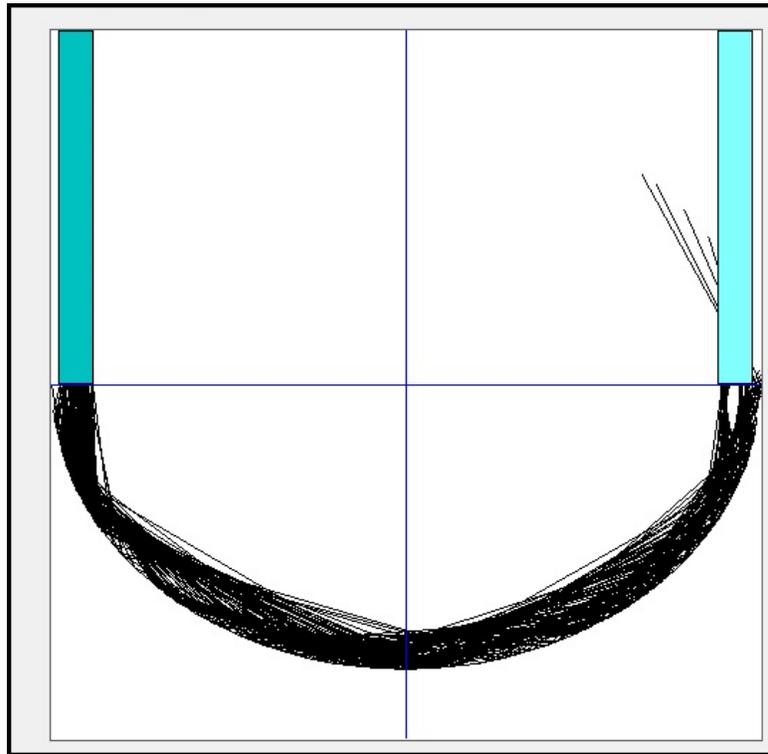


Figura 7.12 IMAGEN DEL TRANSDUCTOR.

A continuación se muestran los datos: el índice de refracción externo y la respectiva transmisión óptica T correspondientes a dicha geometría del sensor.

n	T	n	T	n	T	n	T
1.2	0.38118351	1.35	0.13637246	1.5	8.18E-94	1.65	8.02E-07
1.21	0.38118351	1.36	0.12548535	1.51	3.65E-13	1.66	1.07E-06
1.22	0.37920265	1.37	8.99E-02	1.52	2.01E-11	1.67	1.40E-06
1.23	0.37929258	1.38	2.51E-02	1.53	2.00E-10	1.68	1.79E-06
1.24	0.36569769	1.39	5.22E-03	1.54	9.86E-10	1.69	2.25E-06
1.25	0.35905264	1.4	1.85E-03	1.55	3.32E-09	1.7	2.79E-06
1.26	0.35644519	1.41	3.35E-04	1.56	8.78E-09	1.71	3.41E-06
1.27	0.34489041	1.42	1.54E-05	1.57	1.97E-08	1.72	4.13E-06
1.28	0.30998756	1.43	1.86E-06	1.58	3.91E-08	1.73	4.93E-06
1.29	0.25038904	1.44	2.71E-07	1.59	7.07E-08	1.74	5.84E-06
1.3	0.2094727	1.45	4.14E-08	1.6	1.19E-07	1.75	6.85E-06
1.31	0.1835236	1.46	5.94E-09	1.61	1.89E-07	1.76	7.98E-06
1.32	0.17151133	1.47	6.77E-10	1.62	2.87E-07	1.77	9.21E-06
1.33	0.16774617	1.48	4.29E-11	1.63	4.17E-07	1.78	1.06E-05
1.34	0.1549953	1.49	5.24E-13	1.64	5.87E-07	1.79	1.20E-05

Figura 7.13 VALORES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN n Y TRANSMISIÓN ÓPTICA T .

Los resultados obtenidos de ecuaciones de las tres aproximaciones de superficie se muestran en la Figura 7.14.

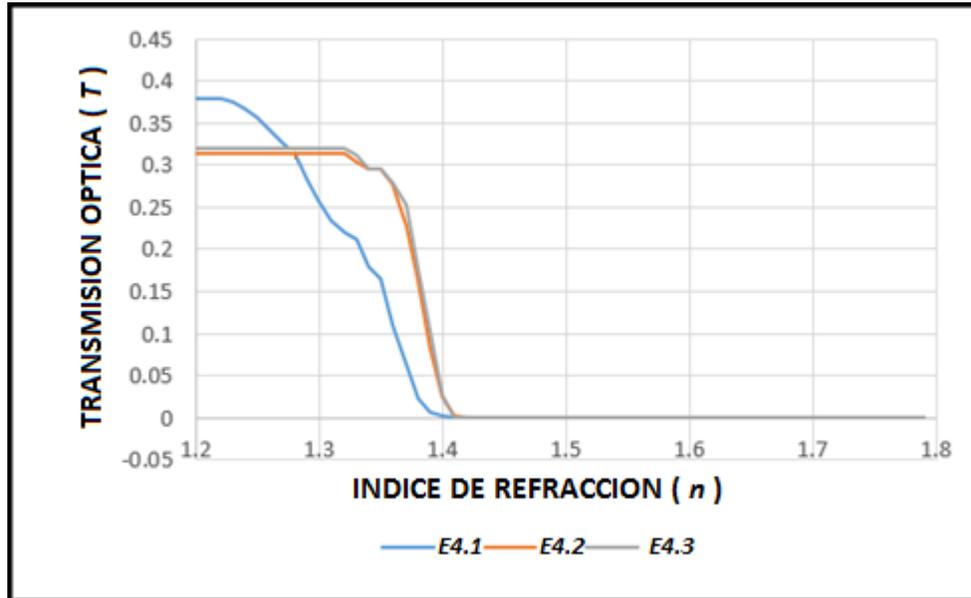


Figura 7.14. TRANSMISIÓN ÓPTICA T Vs. ÍNDICE DE REFRACCIÓN n PARA TRANSDUCTOR E4.

7.3 Elipsoide E5 (Pieza #5, diámetro 23.79 mm)

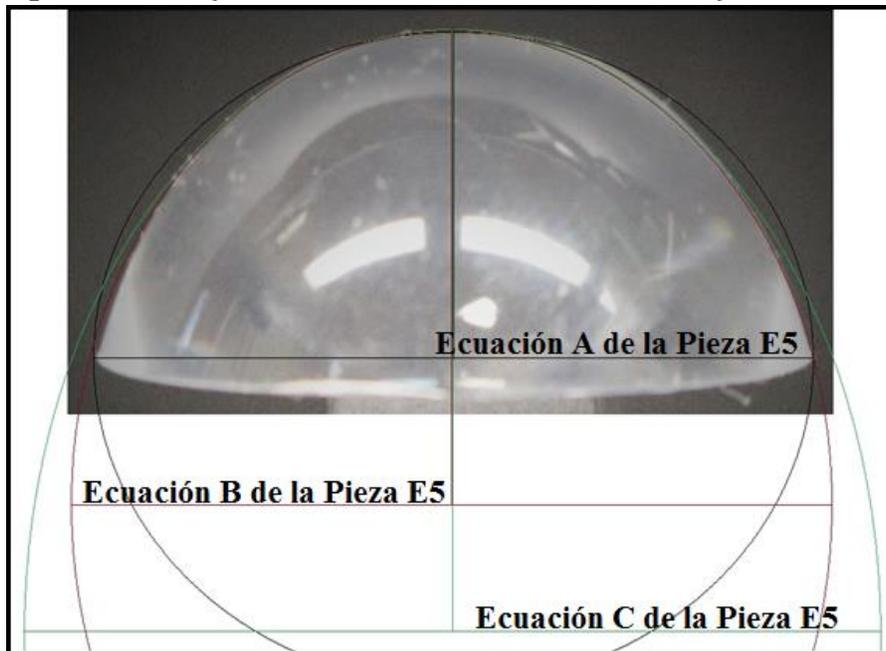


Figura 7.15 VARIANTES DE APROXIMACIÓN DE SUPERFICIE CON TRES ELIPSOIDES DIFERENTES DE LA PIEZA E5.

En la Figura 7.15 se muestran las aproximaciones de superficie de la pieza E5, y cada uno de los segmento tiene una ecuación la cual representa la curva.

Figura 7.16 PANTALLA DE LA INTERFAZ DE USUARIO CON LAS ESPECIFICACIONES DE LA FIBRA EMISORA, RECEPTORA Y RANGO DE INDICES DE REFRACCIÓN n Y NÚMEROS DE RAYOS A UTILIZAR EN EL TRAZADO.

7.3.1 Pieza E5 ecuación E5.1

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0 \quad [7.3]$$

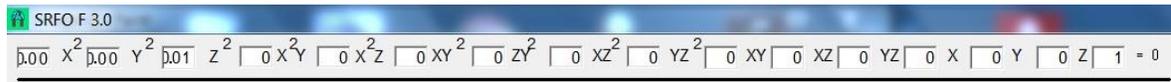


Figura 7.17 PANTALLA DE LA ASIGNACIÓN DE LOS VALORES DE LA ECUACIÓN [7.3] DE LA PIEZA E5.

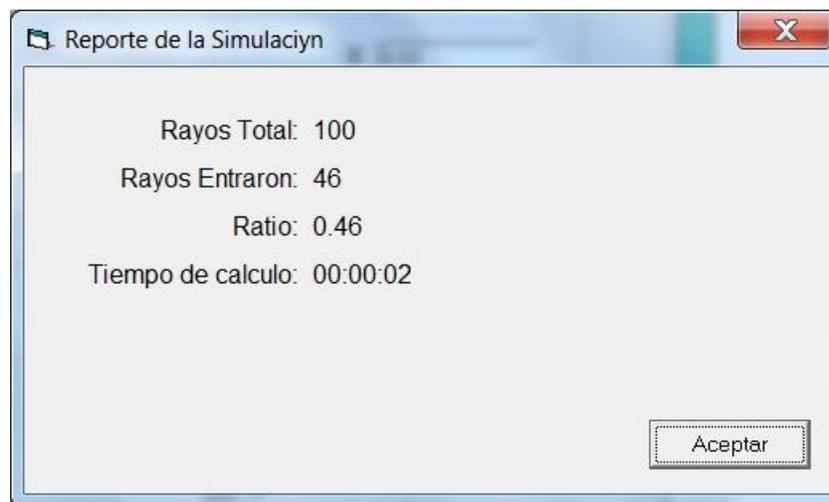


Figura 7.18 ÍCONO CON REPORTE DE LA SIMULACIÓN DE LA PIEZA E5.

En la Figura 7.18 se muestran algunas características de la prueba hecha con la ecuación [7.3] de la primera aproximación de superficie de la pieza E5. A continuación se muestra la configuración de transductor que se obtuvo con la ecuación [7.3] y las trayectorias de los rayos en esta configuración.

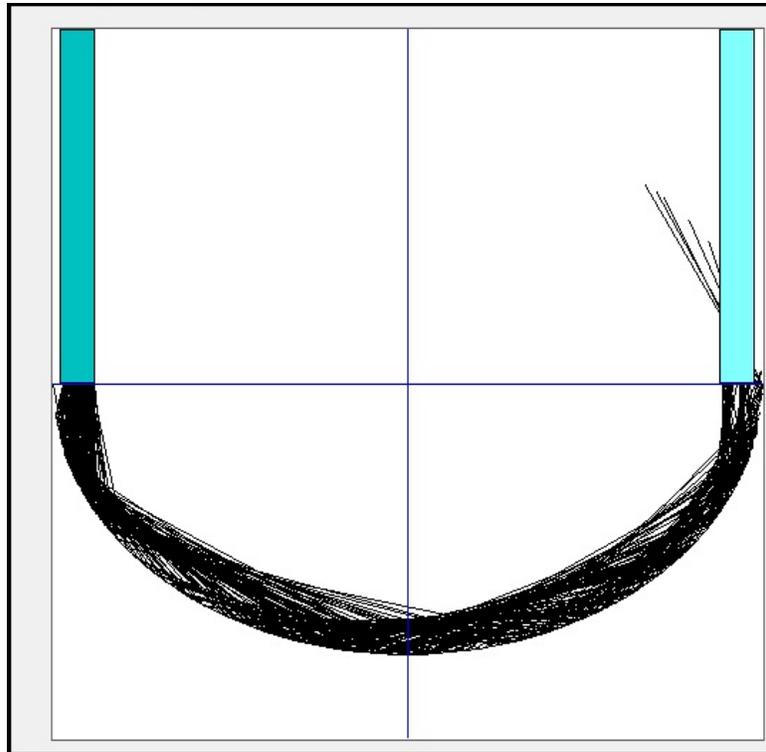


Figura 7.19 IMAGEN DEL TRANSDUCTOR.

A continuación se muestran los datos: el índice de refracción externo y la respectiva transmisión óptica T correspondientes a dicha geometría del sensor.

n	T	n	T	n	T	n	T
1.2	0.37988138	1.35	0.16477732	1.5	3.79E-94	1.65	6.79E-07
1.21	0.37988138	1.36	0.1108021	1.51	2.77E-13	1.66	9.08E-07
1.22	0.37988138	1.37	6.41E-02	1.52	1.54E-11	1.67	1.19E-06
1.23	0.37579982	1.38	2.31E-02	1.53	1.55E-10	1.68	1.53E-06
1.24	0.36611234	1.39	7.22E-03	1.54	7.74E-10	1.69	1.93E-06
1.25	0.35695918	1.4	1.91E-03	1.55	2.63E-09	1.7	2.39E-06
1.26	0.34197033	1.41	4.77E-04	1.56	7.04E-09	1.71	2.93E-06
1.27	0.32530241	1.42	7.66E-05	1.57	1.59E-08	1.72	3.55E-06
1.28	0.31328649	1.43	2.96E-06	1.58	3.19E-08	1.73	4.26E-06
1.29	0.28269182	1.44	3.44E-07	1.59	5.81E-08	1.74	5.05E-06
1.3	0.25613659	1.45	4.49E-08	1.6	9.84E-08	1.75	5.93E-06
1.31	0.23437671	1.46	5.63E-09	1.61	1.57E-07	1.76	6.91E-06
1.32	0.22122979	1.47	5.76E-10	1.62	2.39E-07	1.77	8.00E-06
1.33	0.21257913	1.48	3.40E-11	1.63	3.50E-07	1.78	9.18E-06
1.34	0.18039098	1.49	4.01E-13	1.64	4.95E-07	1.79	1.05E-05

Figura 7.20 VALORES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN n Y TRANSMISIÓN ÓPTICA T .

Los resultados obtenidos de las ecuaciones de las tres aproximaciones de superficie de la pieza E5 se muestran en la Figura 7.21.

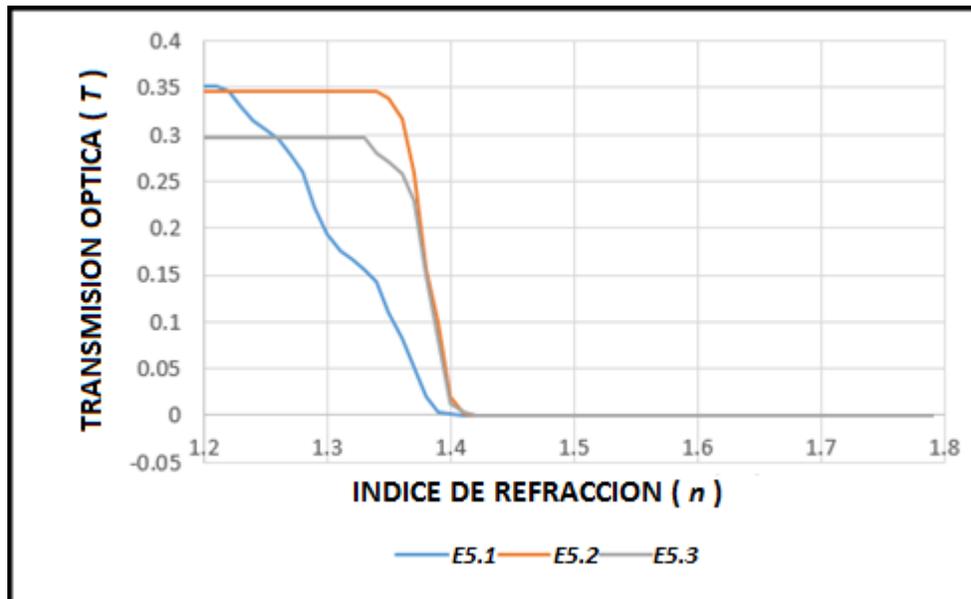


Figura 7.21 TRANSMISIÓN ÓPTICA T Vs. ÍNDICE DE REFRACCIÓN n PARA TRANSDUCTOR E5.

7.4 Elipsoide E6 (Pieza #6, diámetro 23.79 mm)



Figura 7.22 VARIANTES DE APROXIMACIÓN DE SUPERFICIE CON TRES ELIPSOIDES DIFERENTES DE LA PIEZA E6.

Figura 7.23 PANTALLA DE LA INTERFAZ DE USUARIO CON LAS ESPECIFICACIONES DE LA FIBRA EMISORA, RECEPTORA Y RANGO DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN n Y NÚMEROS DE RAYOS A UTILIZAR EN EL TRAZADO.

7.4.1 Pieza E6 ecuación E6.1

$$0.008 x^2 + 0.008 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0 \quad [7.4]$$

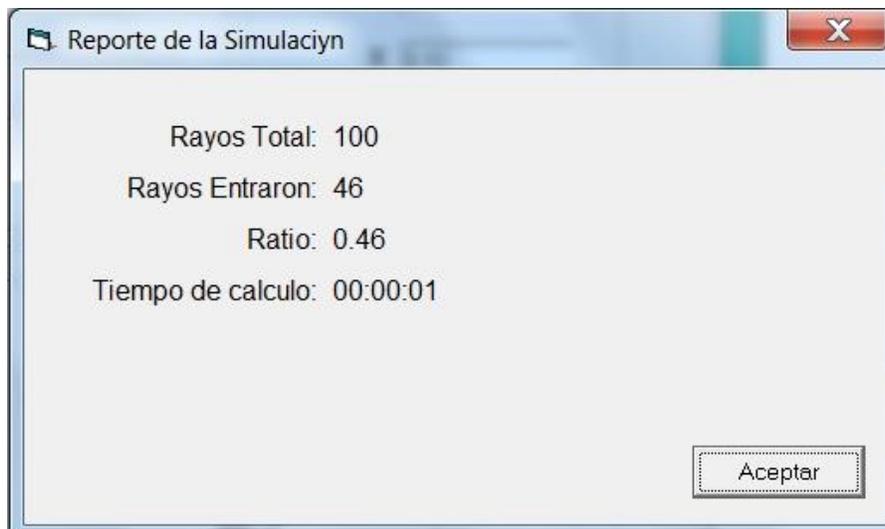


Figura 7.24 ÍCONO CON REPORTE DE LA SIMULACIÓN DE LA PIEZA E6.

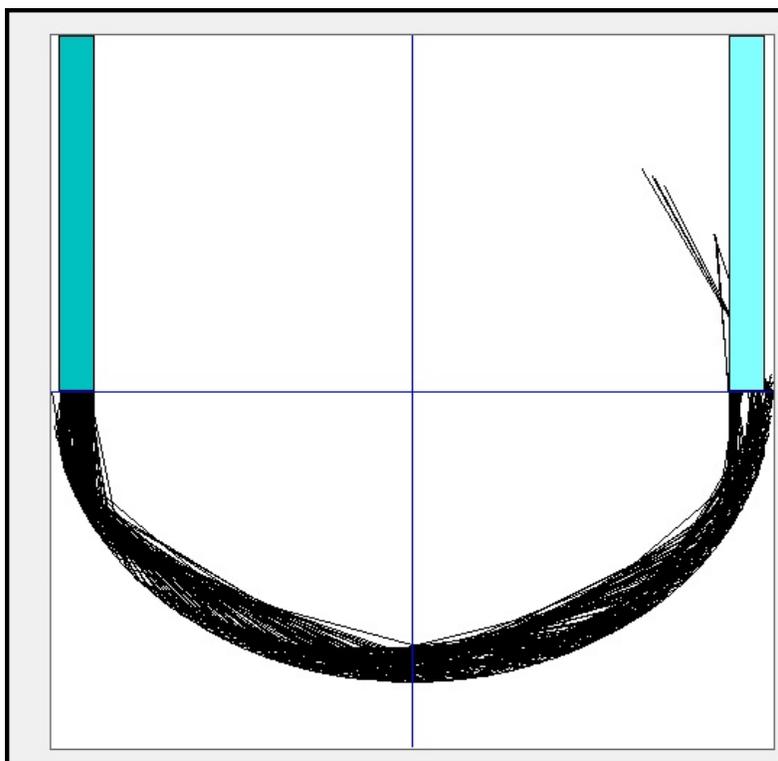


Figura 7.25 IMAGEN DEL TRANSDUCTOR.

A continuación se muestran los datos: el índice de refracción externo y la respectiva transmisión óptica T correspondientes a dicha geometría del sensor.

n	T	n	T	n	T	n	T
1.2	0.38643216	1.35	0.13165409	1.5	9.30E-94	1.65	8.36E-07
1.21	0.38643216	1.36	0.10204512	1.51	3.88E-13	1.66	1.11E-06
1.22	0.38643216	1.37	8.22E-02	1.52	2.14E-11	1.67	1.45E-06
1.23	0.38643216	1.38	3.17E-02	1.53	2.12E-10	1.68	1.86E-06
1.24	0.38643216	1.39	1.44E-02	1.54	1.05E-09	1.69	2.33E-06
1.25	0.37803248	1.4	5.77E-03	1.55	3.52E-09	1.7	2.89E-06
1.26	0.37108114	1.41	6.47E-04	1.56	9.30E-09	1.71	3.53E-06
1.27	0.35005141	1.42	1.10E-04	1.57	2.08E-08	1.72	4.27E-06
1.28	0.30986878	1.43	4.32E-06	1.58	4.12E-08	1.73	5.10E-06
1.29	0.26897568	1.44	4.28E-07	1.59	7.44E-08	1.74	6.03E-06
1.3	0.23726605	1.45	5.42E-08	1.6	1.25E-07	1.75	7.07E-06
1.31	0.20505062	1.46	6.99E-09	1.61	1.98E-07	1.76	8.23E-06
1.32	0.17985252	1.47	7.52E-10	1.62	3.00E-07	1.77	9.50E-06
1.33	0.17399086	1.48	4.64E-11	1.63	4.36E-07	1.78	1.09E-05
1.34	0.16908332	1.49	5.61E-13	1.64	6.13E-07	1.79	1.24E-05

Figura 7.26 VALORES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN n Y TRANSMISIÓN ÓPTICA T .

Los resultados obtenidos de las ecuaciones de las tres aproximaciones de superficie de la pieza E6 se muestran en la Figura 7.27.

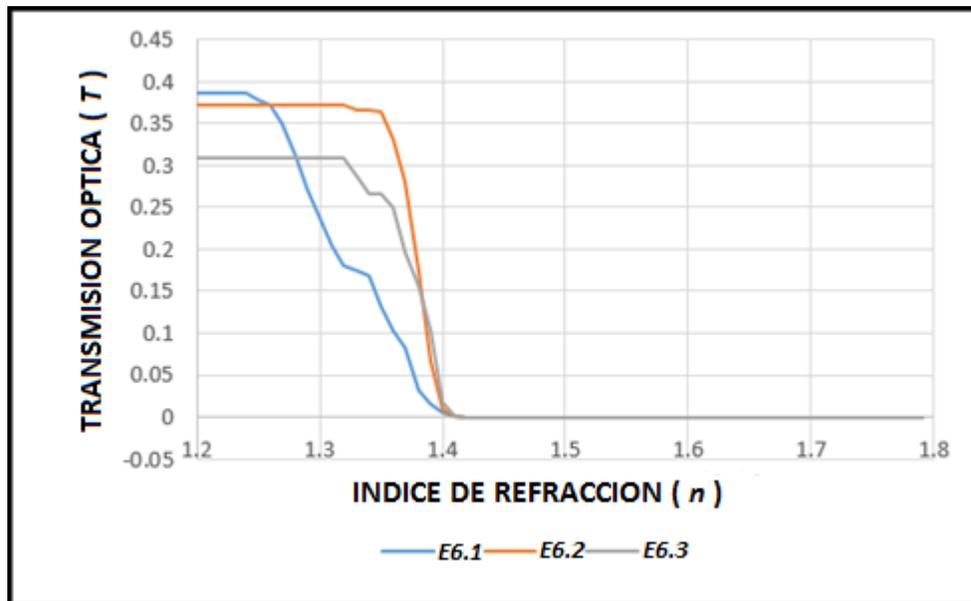


Figura 7.27. TRANSMISIÓN ÓPTICA T Vs. ÍNDICE DE REFRACCIÓN n PARA TRANSDUCTOR E6.

7.5 Conclusiones

- Se verificó y se comprobó mediante el trazado de rayos con el software SRFO que la diferencia finita que encontramos entre la forma real e ideal teórica de los transductores refractométricos utilizados en este trabajo tiene un efecto significativo sobre la respuesta de los transductores al índice externo de refracción.

8 CONCLUSIONES GENERALES

- Los sistemas actuales de comunicaciones ópticas en su mayoría utilizan fibras ópticas monomodo para la banda de 1.55nm, transmisores ópticos basados en las fuentes laser de alto rendimiento para la banda de 1.55nm, receptores ópticos de canales múltiples, filtros circuladores y otros elementos de línea.
- A diferencia de los sistemas de comunicaciones y sistemas WDM en particular, los sensores refractométricos basados en fibra óptica utilizan esencialmente las fibras multimodo, fuentes de tipo LED, estos sensores operan en las bandas visibles e infrarrojas cercano, esto para una mejor medición del índice de refracción de los medios y para reducir los costos de los respectivos sistemas de medición. Sin embargo, la industria no produce muchos elementos necesarios para la implementación de configuraciones óptimas de dichos sensores. Por ejemplo, no existen acopladores direccionales de fibra óptica disponibles en el mercado para la banda visible y algunas otras bandas particulares del espectro óptico.
- Las configuraciones existentes dominantes de los sensores refractométricos son de tipo de transmisión con la desventaja de utilizar cantidades excesivas de fibra óptica en la caracterización refractométrica del medio externo.
- En este trabajo se observó que la forma real de los elementos sensores (transductores refractométricos ópticos) de PMMA fabricados en tornos de control numérico es distinta típicamente con respecto a su forma teórica ideal.
- Se caracterizó la forma real de cada una de las 17 muestras que tenemos en nuestra disposición para los fines del presente trabajo. La caracterización fue realizada con técnica de fotografía con procesamiento posterior de las imágenes. Luego fueron encontradas representaciones matemáticas de las formas de superficie de los transductores refractométricos.
- Se verificó y se comprobó mediante el trazado de rayos con el software SRFO que la diferencia finita que encontramos entre la forma real e ideal teórica de los transductores refractométricos utilizados en este trabajo tiene un efecto significativo sobre la respuesta de los transductores al índice externo de refracción.
- Debido a algunas limitaciones del software SRFO (tamaño de la pantalla principal, valores entregados no eran precisos, entre otros) se realizaron estudios y pruebas de la utilidad práctica de otro software – TracePro®, un producto comercial orientado a los problemas ópticos de tipo iluminación. La necesidad de pruebas fue relacionada al hecho que al inicio del presente trabajo no existían

antecedentes ni estudios de la utilidad y eficiencia de TracePro® en el análisis de los sensores de fibra óptica y sensores refractométricos en particular.

- Se realizó el modelado matemático de diferentes elementos del sensor con el software TracePro®: el transductor, los reflectores, las fibras ópticas, los acopladores direccionales de fibra óptica, el fotodetector, y las combinaciones de estos elementos. También, se realizó el trazado de rayos en diferentes elementos y en el sensor en su totalidad. Esto fue realizado en el marco de una licencia de prueba de un solo mes de TracePro®.
- Debido a las singularidades del software TracePro, fue necesario el uso de otro software (AutoCAD® y SolidWorks®) para la generación de modelos sólidos de transductores esféricos en formatos (archivos) numéricos específicos, compatibles con el software TracePro®.
- Para modelado de los transductores refractométricos con TracePro®, AutoCAD® y SolidWorks® fue necesario adquirir conocimientos de TracePro® en el marco de una licencia de prueba de un solo mes, así como también fue necesario recurrir a otros softwares diferentes (AutoCAD® y SolidWorks®) y aprender el uso de cada uno de estos. Esto fue posible gracias al apoyo del Ing. Víctor Durán Campos quien nos ayudó con las asesorías sobre el manejo de AutoCAD®, y del Dr. Álvaro Ayala Ruiz, quien con su grupo nos ayudó en la realización del modelado de los transductores esféricos con el software SolidWorks®.
- A pesar de encontrar numerosas dificultades en el manejo de TracePro® y modelado de algunos elementos con este software (en particular, las fibras ópticas, los acopladores direccionales de fibra óptica, y elementos sólidos esféricos) se verificó que este software es adecuado y útil para propósitos prácticos de nuestra aplicación.
- Un resultado práctico de esta tesis es la recomendación a nuestro grupo de trabajo del Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones, División de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería de la UNAM sobre la adquisición de una licencia de uso del software TracePro®, opción LC para su uso por el grupo de trabajo en el desarrollo de investigación científica sobre sensores refractométricos de fibra óptica de tipo extrínseco.

9 REFERENCIAS

[1] G. N. Heredia, “*Enlaces WDM de fibra óptica para el anillo metropolitano académico*”, Tesis de Maestría, 2009, UNAM, p.12.

[2] O. J. Cortés, “*Comunicaciones ópticas: receptor homodino*”, Tesis de Maestría, 2006, UNAM, pág.20.

[3] G. F. Arenas, “*Desarrollo de sensores de fibra óptica: aplicación de un interferómetro fizeau al estudio de polímeros*”, Tesis de Maestría, 2006, UNAM, pág.6.

[4] I. F. Llamas, O. Kolokoltsev, V. Svyryd, “*Refractometric sensor based on long period optical fiber gratings*”, IV Congreso Iberoamericano de sensors, Octubre, 2004.

[5] R. D. Hernández, “*Sensores refractométricos de fibra óptica con elementos de detección paraboloidal y elipsoidal en modo de reflexión*”, Tesis de Licenciatura, 2014, UNAM, págs.5-10.

[6] S. Khotiaintsev, S. Pérez García, E. Llanito-Caudillo, J. E. Morales-Farah, “*Novedoso Sensor Refractométrico de Fibras Ópticas con Elemento de Detección Semicilíndrico Plástico, para Medir el Nivel en un Tanque de Gasolina o Diesel,*” V Semana Nacional de Ingeniería Electrónica (SENIE-2009), Ocatlan, Jal., México, pp. INS-08, Octubre, 2009.

[7]

[http://dcb.fic.unam.mx/CoordinacionesAcademicas/Matematicas/CapsulasAntecedentes / lugargeometrico.pdf](http://dcb.fic.unam.mx/CoordinacionesAcademicas/Matematicas/CapsulasAntecedentes/lugargeometrico.pdf)

[8] A. Castro Martínez, M. Komanec, T. Nemecek, S. Zvanovec, S. Khotiaintsev, “*Fiber optic refractometric sensors using a semi-ellipsoidal sensing element*”, The Optical Society OSA Publishing(Applied Optics), Vol. 55, Issue 10, pp. 254-2579, Marzo, 2016.

[9] W. Tomasi, “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*”, 4ta. Edición, Editorial Prentice Hall, 2003, pág. 427 y 428.

[10] G. P. Agrawal, “*Fiber-Optic Communication Systems*”, 3ra Edición, Wiley-Interscience, 2002, pág. 5-8.

[11] http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-92854.pdf

[12] K. E. Romo-Medrano, S. N. Khotiaintsev, V. García-Garduño, “Refractometric fiber-optical detectors of liquids: effect of residual liquid film”, IV Congreso Iberoamericano de sensors, Octubre, 2004.

[13] K. E. Romo, “*Comparación y estudio de algunas estructuras sensoras con base en fibras ópticas*”, Tesis de Doctorado, 2007, UNAM, pág.11.

[14] J. Casas, “*Óptica*”, 7th. Edición, Editorial Librería Pons, 1994.

[15] V. Svyryd, S. Khotiaintsev, “Design of an optical-fiber refractometric transducer with hemispherical detection element”, IV Congreso Iberoamericano de sensors, Octubre, 2004.

[16] H. J. Aguilar, R. L. y Miranda, “*Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas*”, 1ra. Edición, Editorial Alfaomega, 2003.

[17] F. Zanuy, Marcos, “*Sistemas de Comunicaciones*”, 1ra. Edición, Editorial Marcombo, S.A., 2003.

[18] E. Hech, “*Óptica*”, 3ra. Edición, Editorial Pearson, 1998.

[19] Grattan, K T V, Meggitt, B T, Grattan, L S, “*Optical Fiber Sensor Technology: Advanced Applications - Bragg Gratings and Distributed Sensors*”, 1ra. Edición, Editorial Springer, 2000.

[20] C. Brian, D. John, “*Optical Fiber Sensors Components and Subsystems*”, 1ra. Edición, Editorial Artech House Publishers, 1997.

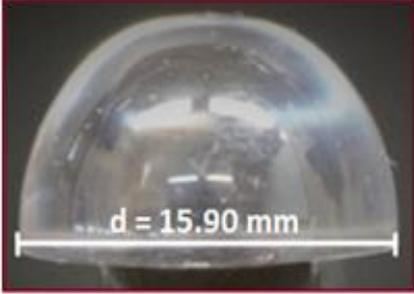
[21] G. Rajan, “*Optical Fiber Sensors: Advanced Techniques and Applications*”, 1ra. Edición, Editorial Apple Academic Press Inc., 2015.

ANEXOS

ANEXO A

REPRESENTACIONES MATEMÁTICAS ANALÍTICAS DE LAS SUPERFICIES DE LOS TRANSDUCTORES (ELIPSOIDES)

1. Transductor refractométrico óptico (pieza) E1

	PIEZA E1. Elipsoide Con Orientación Vertical
	DIÁMETRO: $d = 15.90 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_1001.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{(7.6916)^2} + \frac{y^2}{(7.6916)^2} + \frac{(z - 9)^2}{9^2} = 1$

Para el desarrollo de la Pieza E1 se realizó un programa donde se utilizan diferentes comandos y cada uno cumple una función diferente, primero se guarda la imagen con el comando *"imread"*, con el cual se obtiene un juego de 3 matrices en Matlab (una matriz para el color rojo, otra para el azul y por ultimo otra para el color verde), otro de los comando usados es el *"rgb2gray"* ya que es el que se encarga de hacer una sola matriz en escala de grises de las tres que se obtuvieron anteriormente.

Otro de los comandos usados es *"size"* es el que usa para obtener las dimensiones de la matriz, que esta en escala de grises, pasada ahora en un vector. Para determinar los cambio de color blanco al negro se usa el comando *"for"*, pues con ello se encuentra el contorno de la imagen para poder guardar estos valores en un vector y así se puedan graficar y para que después se tengan como referencia. Ahora con el valor medido del diámetro y su respectiva altura se hace un ajuste al vector obtenido de las posiciones de cambio de color del contorno.

Se grafica el contorno de la figura que se obtuvo con todos los comandos anteriores, ahora se puede ver que se tiene una ecuación la cual nos ayuda a que se pueda graficar otra curva y haciendo ajustes de los valores de esa ecuación se puede obtener una aproximación y poder determinar que la ecuación es de un paraboloides o un elipsoide.

CÓDIGO DE LA PIEZA E1

```
g=imread('d=15.90.jpg');
f=rgb2gray(g);
q=size(f);
x=0;
y=0;
x1=1;
y1=1;
for w=1:q(2)
    for e=1:q(1)
        if f(e,w)<200
            x(x1)=w;
            y(y1)=e;
            x1=x1+1;
            y1=y1+1;
            break
        end
    end
end

diametro=15.9;
alto=9.32;
x2=length(x);
x3=x(x2);
x=x-(x(x2)/2);
x=x/(x3/diametro);
y2=length(y);
y3=0;
y4=y(y2);
for r=2:y2
    if y(r)<y(r-1)
        y3=y(r);
    end
end
```

CÓDIGO DE LA PIEZA E1 EN 2D

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
y=y-y3;
y=y/(y4/alto);
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX=(XMAX-XMIN)/2;
difX=(XMAX-lonX);
x=x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=15.90')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=9;% eje vertical
a=7.6916;% eje horizontal
c=b;%desplazamiento vertical
x=-7.6916:0.0076:7.6916;
y2=b*-1*(sqrt(1-(x.^2)/(a.^2)))+c;
plot(x,y2)
```

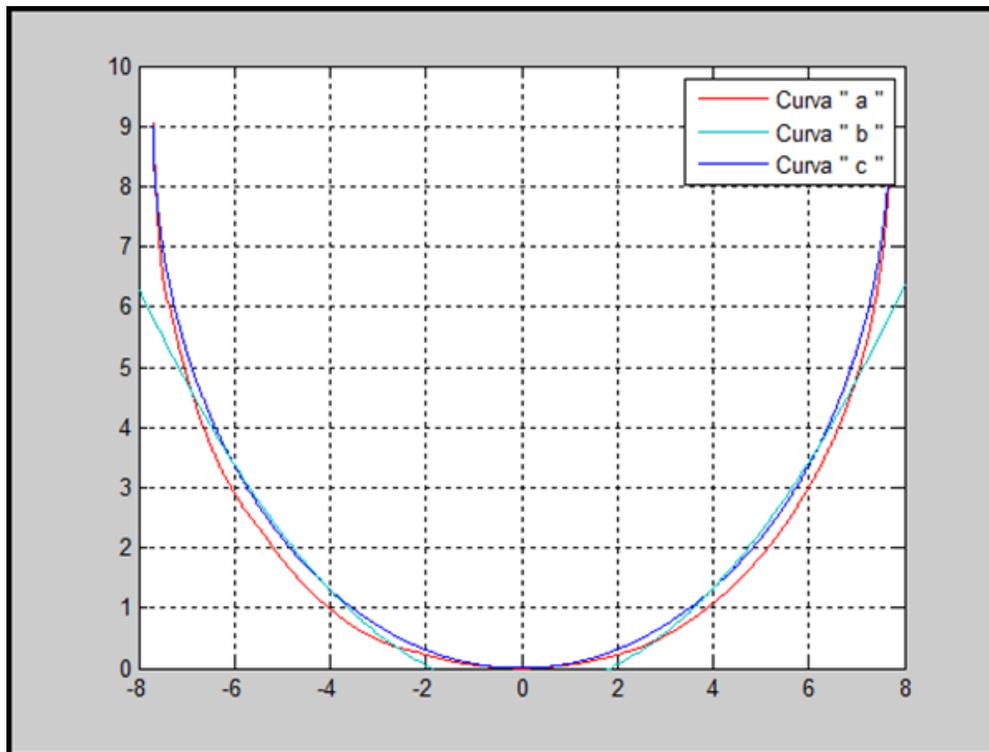


Figura 1. **CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:**
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 1 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} + c \rightarrow \text{Ecuación de la Elipse} \quad [1]$$

Con la ecuación [1] se obtuvo la curva de la Figura 1(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 1:

$$\begin{aligned} b &= 9 \rightarrow \text{Altura de la Figura} \\ a &= 7.6916 \rightarrow \text{Radio de la Figura} \\ c &= b \rightarrow \text{Desplazamiento que se hace hacia Arriba} \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 1.E1, se obtiene:

$$y = -9 \sqrt{1 - \frac{x^2}{7.6916^2}} + 9 \quad -8 \leq x \leq 8 \quad [2]$$

Con la ecuación [2] de la Pieza E1 se establece que es un elipsoide y tomando en cuenta la Figura 5.4 su orientación es vertical.

CÓDIGO DE LA PIEZA E1 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E1.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-a:0.0076:a);
az=a;
bz=a;
cz=b;
d=b;
z= (-cz.*sqrt(1-((xz.^2)./(az^2))-((yz.^2)./(bz^2))))+d;
z=real(z);
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

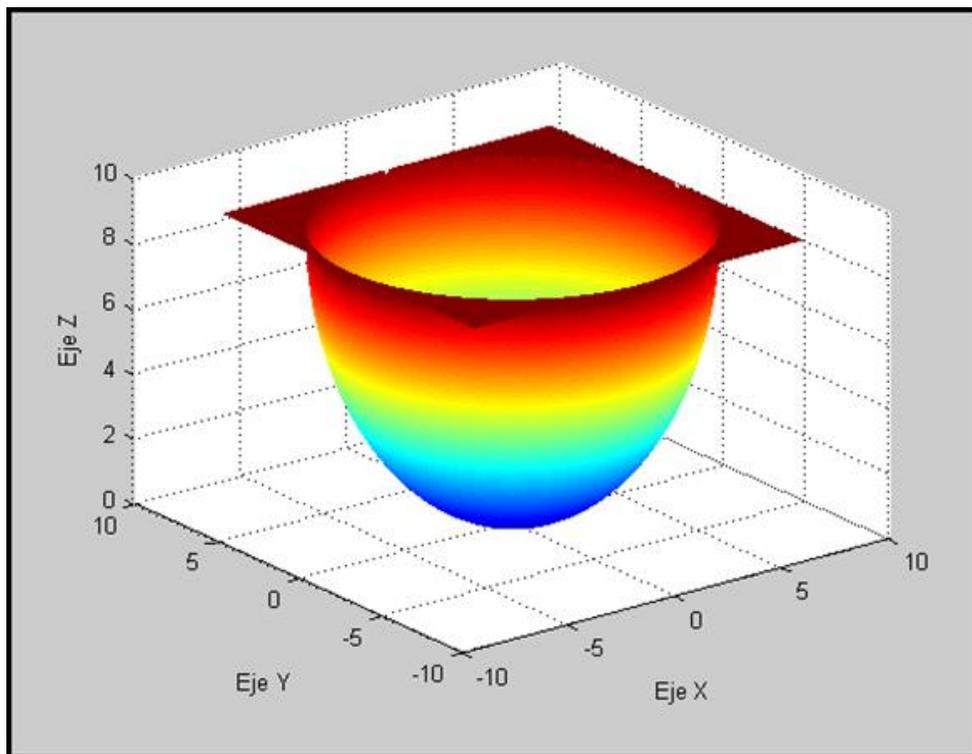


Figura 2. Pieza E1 en 3D.

Con la Figura 2 se establece la siguiente ecuación:

$$z = -c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} + d \rightarrow \text{Ecuación de la Elipsoide} \quad [3]$$

Con la ecuación [3] se obtuvo la Figura 2 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} az &= a = 7.6916 \\ bz &= a = 7.6916 \\ cz &= b = 9 \\ d &= b = 9 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [3] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = -9 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(7.6916)^2} - \frac{y^2}{(7.6916)^2}} + 9 \quad [4]$$

La ecuación [4] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-d)^2}{c^2} = 1 \quad [5]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [5] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{(7.6916)^2} + \frac{y^2}{(7.6916)^2} + \frac{(z-9)^2}{9^2} = 1 \quad [6]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA E1

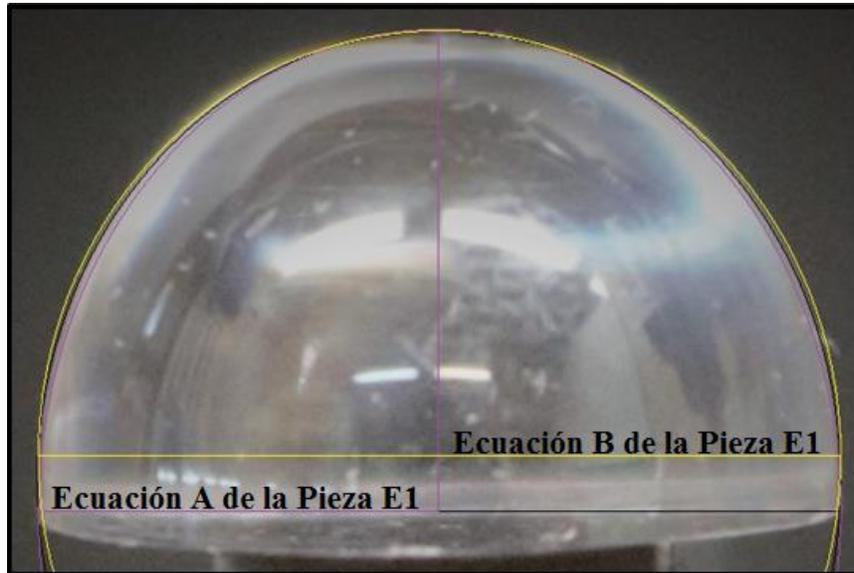


Figura 3. PIEZA E1 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza E1 de la Figura 3

a=322 pixeles	d = 644 <i>pixeles</i> → 15.90 mm
b=322 pixeles	a = 322 <i>pixeles</i> → 7.95 mm
c=373 pixeles	b = 322 <i>pixeles</i> → 7.95 mm
d=644 pixeles	c = 373 <i>pixeles</i> → 9.21 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [7]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [7] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{7.95^2} + \frac{y^2}{7.95^2} + \frac{z^2}{9.21^2} = 1 \quad [8]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.012 z^2 = 1 \quad [9]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [9] la ecuación de la pieza E1 es:

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0 \quad [10]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza E1 de la Figura 3**

a=322 pixeles	$d = 644 \text{ pixeles} \rightarrow 15.90 \text{ mm}$
b=322 pixeles	$a = 322 \text{ pixeles} \rightarrow 7.95 \text{ mm}$
c=329 pixeles	$b = 322 \text{ pixeles} \rightarrow 7.95 \text{ mm}$
d=644 pixeles	$c = 373 \text{ pixeles} \rightarrow 8.12 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [11]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [11] se obtiene la siguiente formula:

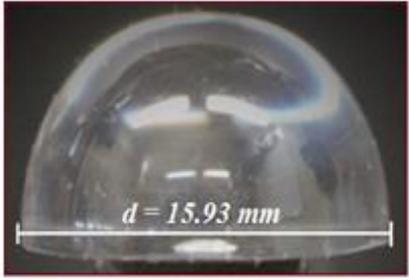
$$\frac{x^2}{7.95^2} + \frac{y^2}{7.95^2} + \frac{z^2}{8.12^2} = 1 \quad [12]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.015 z^2 = 1 \quad [13]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [13] la ecuación de la pieza E1 es:

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.015 z^2 - 1 = 0 \quad [14]$$

2. Transductor refractométrico óptico (pieza) E2

	PIEZA E2. Elipsoide Con Orientación Vertical
	DIÁMETRO: $d = 15.93 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_1002.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{(7.8283)^2} + \frac{y^2}{(7.8283)^2} + \frac{(z - 8.5)^2}{8.5^2} = 1$

CÓDIGO DE LA PIEZA E2 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el segmento del código que corresponde a la descripción de la Pieza E2.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
b=8.5;% eje vertical
a=7.8283;% eje horizontal
c=b;%de desplazamiento vertical
x= -7.6916:0.0076:7.6916;
y2= b*-1*(sqrt(1-(x.^2)/(a.^2)))+c;
plot (x,y2)
```

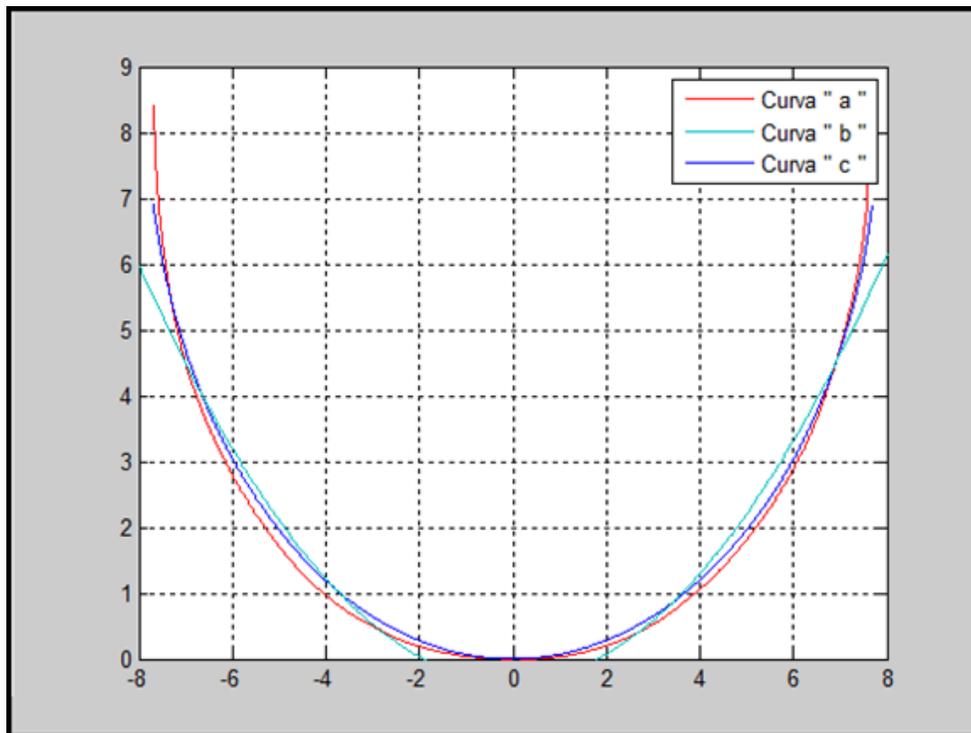


Figura 4. **CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:**
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 4 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} + c \rightarrow \text{Ecuacion de la Elipse} \quad [15]$$

Con la ecuación [15] se obtuvo la curva de la Figura 4(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 4:

$$b = 8.5 \rightarrow \text{Altura de la Figura}$$

$$a = 7.8283 \rightarrow \text{Radio de la Figura}$$

$$c = b \rightarrow \text{Desplazamiento que se hace hacia Arriba}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 4.E2, se obtiene:

$$y = -8.5 \sqrt{1 - \frac{x^2}{7.8283^2}} + 8.5 \quad -8 \leq x \leq 8 \quad [16]$$

Con la ecuación [16] de la Pieza E2 se establece que es un elipsoide y tomando en cuenta la Figura 5.4 su orientación es vertical.

CÓDIGO DE LA PIEZA E2 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E2.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-a:0.0076:a);
az=a;
bz=a;
cz=b;
```

```

d=b;
z= (-cz.*sqrt(1-((xz.^2)./(az^2))-((yz.^2)./(bz^2))))+d;
z=real(z);
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat

```

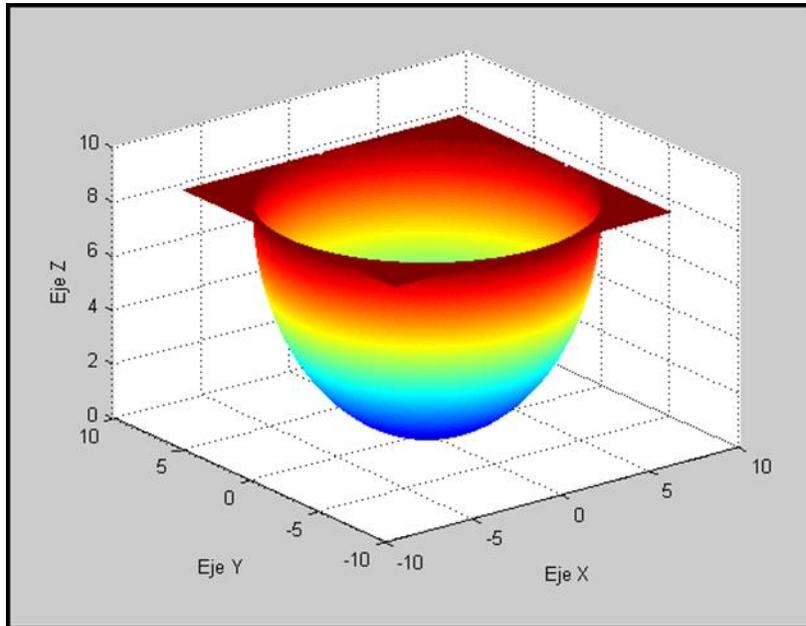


FIGURA 5. Pieza E2 en 3D.

Con la Figura 5 se establece la siguiente ecuación:

$$z = -c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} + d \rightarrow \text{Ecuacion de la Elipsoide} \quad [17]$$

Con la ecuación [17] se obtuvo la Figura 5 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned}
az &= a = 7.8283 \\
bz &= a = 7.8283 \\
cz &= b = 8.5 \\
d &= b = 8.5
\end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [17] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = -8.5 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(7.8283)^2} - \frac{y^2}{(7.8283)^2}} + 8.5 \quad [18]$$

La ecuación [18] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-d)^2}{c^2} = 1 \quad [19]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [19] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{(7.8283)^2} + \frac{y^2}{(7.8283)^2} + \frac{(z-8.5)^2}{8.5^2} = 1 \quad [20]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA E2

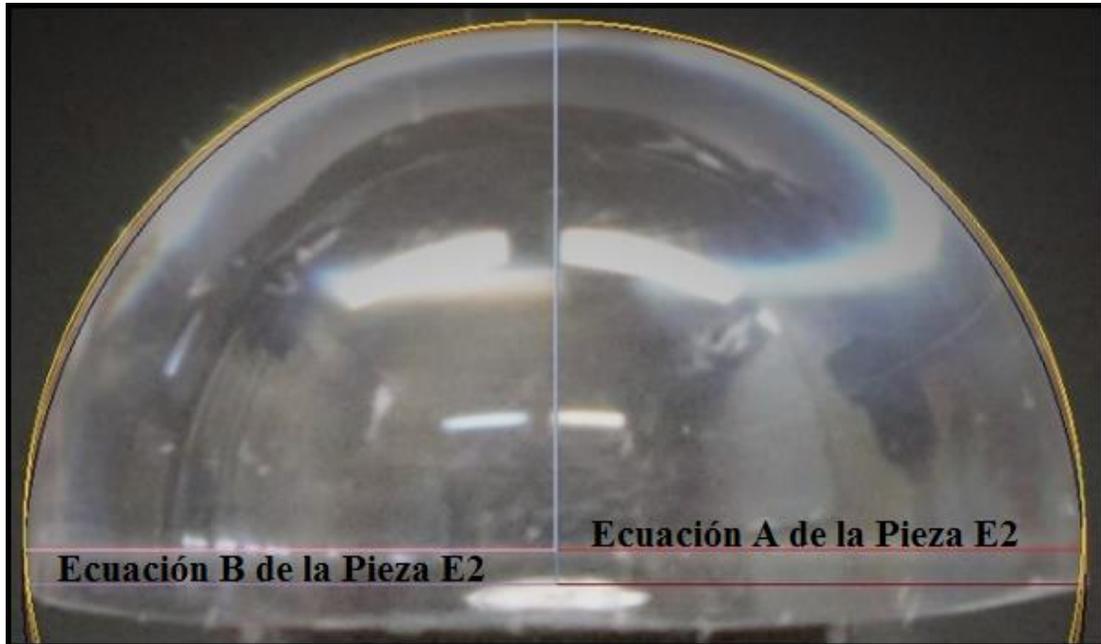


FIGURA 6. PIEZA E2 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza E2 de la Figura 6**

a=325 pixeles	$d = 647 \text{ pixeles} \rightarrow 15.93 \text{ mm}$
b=325 pixeles	$a = 325 \text{ pixeles} \rightarrow 8 \text{ mm}$
c=374 pixeles	$b = 325 \text{ pixeles} \rightarrow 8 \text{ mm}$
d=647 pixeles	$c = 374 \text{ pixeles} \rightarrow 9.21 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [21]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [21] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{8^2} + \frac{y^2}{8^2} + \frac{z^2}{9.21^2} = 1 \quad [22]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.012 z^2 = 1 \quad [23]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [23] la ecuación de la pieza E2 es:

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0 \quad [24]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza E2 de la Figura 6**

a=323 pixeles	$d = 646 \text{ pixeles} \rightarrow 15.93 \text{ mm}$
b=323 pixeles	$a = 323 \text{ pixeles} \rightarrow 7.97 \text{ mm}$
c=352 pixeles	$b = 323 \text{ pixeles} \rightarrow 7.97 \text{ mm}$
d=646 pixeles	$c = 352 \text{ pixeles} \rightarrow 8.68 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [25]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [25] se obtiene la siguiente formula:

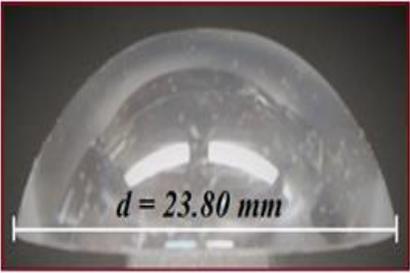
$$\frac{x^2}{7.97^2} + \frac{y^2}{7.97^2} + \frac{z^2}{8.68^2} = 1 \quad [26]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.013 z^2 = 1 \quad [27]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [27] la ecuación de la pieza E2 es:

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 + 0.013 z^2 - 1 = 0 \quad [28]$$

3. Transductor refractométrico óptico (pieza) E3

	PIEZA E3. Elipsoide Con Orientación Horizontal
	DIÁMETRO: $d = 23.80 \text{ mm}$
	FOTO: 
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{(11.6964)^2} + \frac{y^2}{(11.6964)^2} + \frac{(z - 9.8)^2}{9.8^2} = 1$

CÓDIGO DE LA PIEZA E3 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E3.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=23.80')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=9.8;% eje vertical
a=11.6964;% eje horizontal
c=b;%desplazamiento vertical
x= -11.6964:0.0076:11.6964;
y2= b*-1*(sqrt(1-(x.^2)/(a.^2)))+c;
plot (x,y2)

```

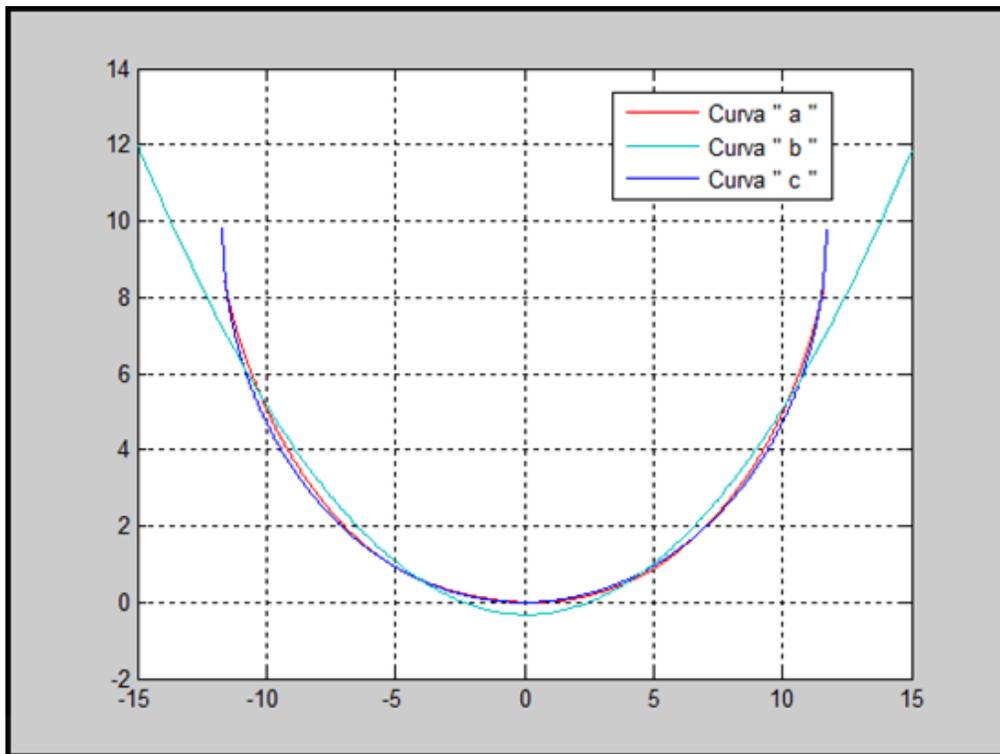


Figura 7. **CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:**
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 7 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} + c \rightarrow \text{Ecuación de la Elipse} \quad [29]$$

Con la ecuación [29] se obtuvo la curva de la Figura 7(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 7:

$$b = 9.8 \rightarrow \text{Altura de la Figura}$$

$$a = 11.6964 \rightarrow \text{Radio de la Figura}$$

$$c = b \rightarrow \text{Desplazamiento que se hace hacia Arriba}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la Figura 7, se obtiene:

$$y = -9.8 \sqrt{1 - \frac{x^2}{11.6964^2}} + 9.8 \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [30]$$

Con la ecuación [30] de la Pieza E3 se establece que es un elipsoide y tomando en cuenta la Figura 5.4 su orientación es horizontal.

CÓDIGO DE LA PIEZA E3 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E3.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-a:0.02:a);
az=a;
```

```

bz=a;
cz=b;
d=b;
z= (-cz.*sqrt(1-((xz.^2)./(az^2))-((yz.^2)./(bz^2))))+d;
z=real(z);
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat

```

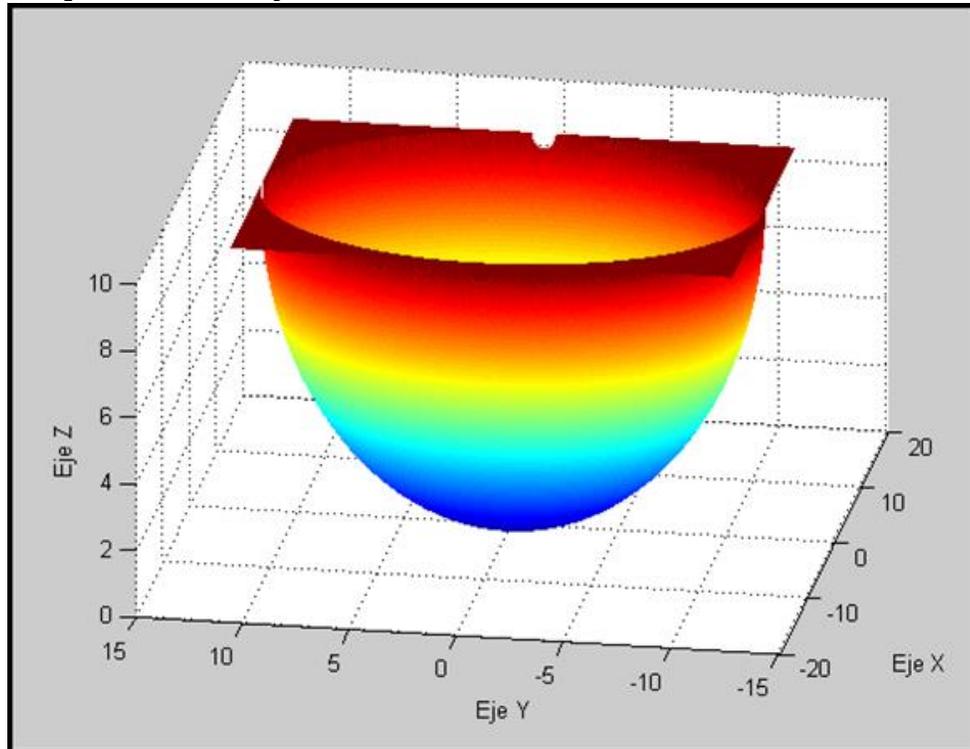


FIGURA 8. Pieza E3 en 3D.

Con la Figura 8 se establece la siguiente ecuación:

$$z = -c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} + d \rightarrow \text{Ecuación de la Elipsoide} \quad [31]$$

Con la ecuación [31] se obtuvo la Figura 8 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} az &= a = 11.6964 \\ bz &= a = 11.6964 \\ cz &= b = 9.8 \\ d &= b = 9.8 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [31] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = -9.8 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(11.6964)^2} - \frac{y^2}{(11.6964)^2}} + 9.8 \quad [32]$$

La ecuación [3.2] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-d)^2}{c^2} = 1 \quad [33]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [3.3] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{(11.6964)^2} + \frac{y^2}{(11.6964)^2} + \frac{(z-9.8)^2}{9.8^2} = 1 \quad [34]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA E3

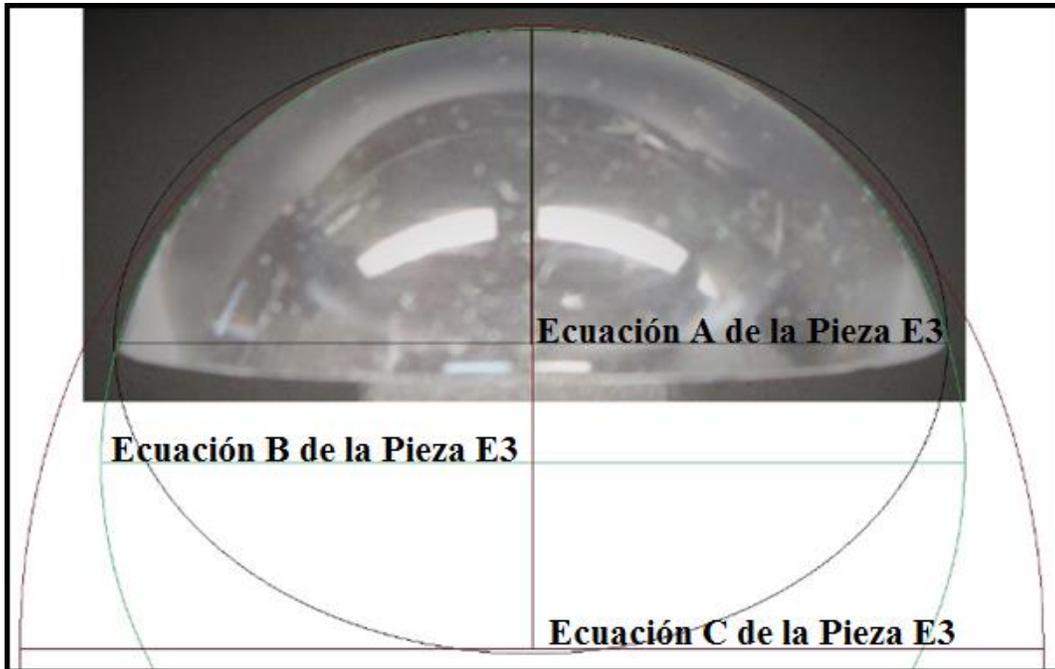


FIGURA 9. PIEZA E3 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza E3 de la Figura 9**

a=407 pixeles	d = 814 <i>pixeles</i> → 23.80 mm
b=407 pixeles	a = 407 <i>pixeles</i> → 11.9 mm
c=319 pixeles	b = 407 <i>pixeles</i> → 11.9 mm
d=814 pixeles	c = 319 <i>pixeles</i> → 9.33 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [35]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [35] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.9^2} + \frac{y^2}{11.9^2} + \frac{z^2}{9.33^2} = 1 \quad [36]$$

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.011 z^2 = 1 \quad [37]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [37] la ecuación de la pieza E3 es:

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.011 z^2 - 1 = 0 \quad [38]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza E3 de la Figura 9**

a=422 pixeles	d = 844 <i>pixeles</i> → 23.80 mm
b=422 pixeles	a = 422 <i>pixeles</i> → 11.9 mm
c=441 pixeles	b = 422 <i>pixeles</i> → 11.9 mm
d=844 pixeles	c = 441 <i>pixeles</i> → 12.44 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [39]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [39] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.9^2} + \frac{y^2}{11.9^2} + \frac{z^2}{12.44^2} = 1 \quad [40]$$

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0065 z^2 = 1 \quad [41]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [41] la ecuación de la pieza E3 es:

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0065 z^2 - 1 = 0 \quad [42]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza E3 de la Figura 9**

a=501 pixeles	d = 1000 <i>pixeles</i> → 23.80 mm
b=501 pixeles	a = 501 <i>pixeles</i> → 11.92 mm
c=632 pixeles	b = 501 <i>pixeles</i> → 11.92 mm
d=1000 pixeles	c = 632 <i>pixeles</i> → 15.04 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [43]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [43] se obtiene la siguiente formula:

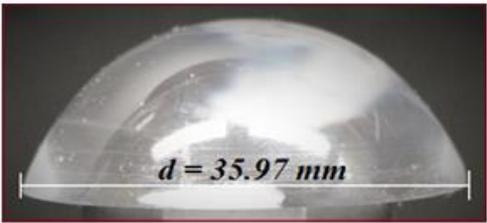
$$\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} + \frac{z^2}{15.04^2} = 1 \quad [44]$$

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 + 0.0044 z^2 = 1 \quad [45]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [45] la ecuación de la pieza E3 es:

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 + 0.0044 z^2 - 1 = 0 \quad [46]$$

4. Transductor refractométrico óptico (pieza) E4

	PIEZA E4. Elipsoide Con Orientación Horizontal
	DIÁMETRO: <i>d = 35.97 mm</i>
	FOTO: IMG_0979.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{(14.8407)^2} + \frac{y^2}{(14.8407)^2} + \frac{(z - 9)^2}{9^2} = 1$

CÓDIGO DE LA PIEZA E4 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E4.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=15.90')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=16;% eje vertical-14.37
a=17.985;% eje horizontal
c=b;%dezlplazamiento vertical
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= b*-1*(sqrt(1-(xe.^2)/(a.^2)))+c;
plot (xe,y2)
```

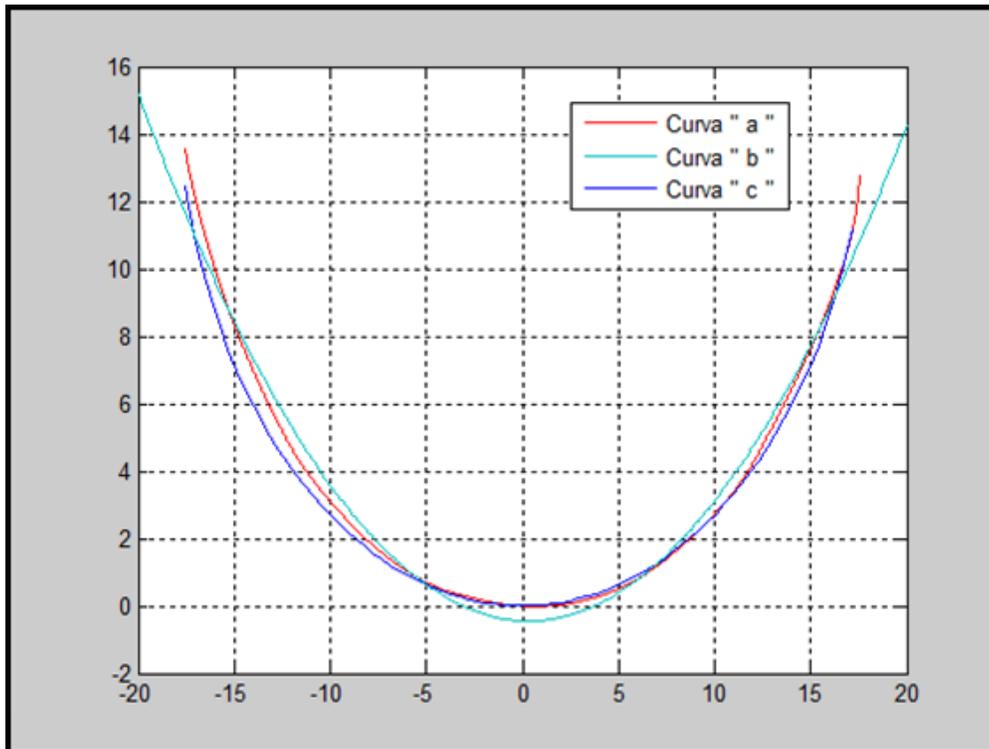


FIGURA 10. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 10 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} + c \rightarrow \text{Ecuación de la Elipse} \quad [47]$$

Con la ecuación [47] se obtuvo la curva de la Figura 10(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 10:

$b = 16 \rightarrow$ *Altura de la Figura*

$a = 17.985 \rightarrow$ *Radio de la Figura*

$c = b \rightarrow$ *Desplazamiento que se hace hacia Arriba*

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la Figura 10, se obtiene:

$$y = -16 \sqrt{1 - \frac{x^2}{17.985^2}} + 16 \quad -20 \leq x \leq 20 \quad [48]$$

Con la ecuación [48] de la Pieza E4 se establece que es un elipsoide y tomando en cuenta la Figura 4.2.4 su orientación es horizontal.

CÓDIGO DE LA PIEZA E4 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E3.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-a:0.026:a);
az=a;
bz=a;
cz=b;
d=b;
z= (-cz.*sqrt(1-((xz.^2)./(az^2))-((yz.^2)./(bz^2))))+d;
z=real(z);
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

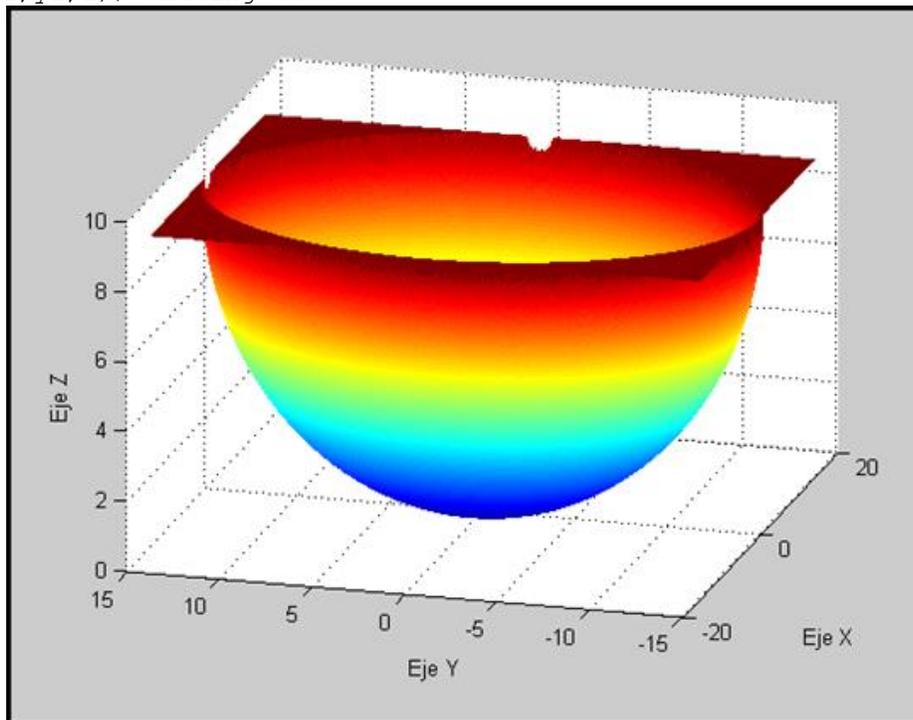


FIGURA 11. *Pieza E4 en 3D.*

Con la Figura 11 se establece la siguiente ecuación:

$$z = -c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} + d \rightarrow \text{Ecuación de la Elipsoide} \quad [49]$$

Con la ecuación [49] se obtuvo la Figura 11 y se usaron los siguientes valores:

$$az = a = 14.8407$$

$$bz = a = 14.8407$$

$$cz = b = 9$$

$$d = b = 9$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [49] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = -9 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(14.8407)^2} - \frac{y^2}{(14.8407)^2}} + 9 \quad [50]$$

La ecuación [50] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-d)^2}{c^2} = 1 \quad [51]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [51] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{(14.8407)^2} + \frac{y^2}{(14.8407)^2} + \frac{(z-9)^2}{9^2} = 1 \quad [52]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA E4

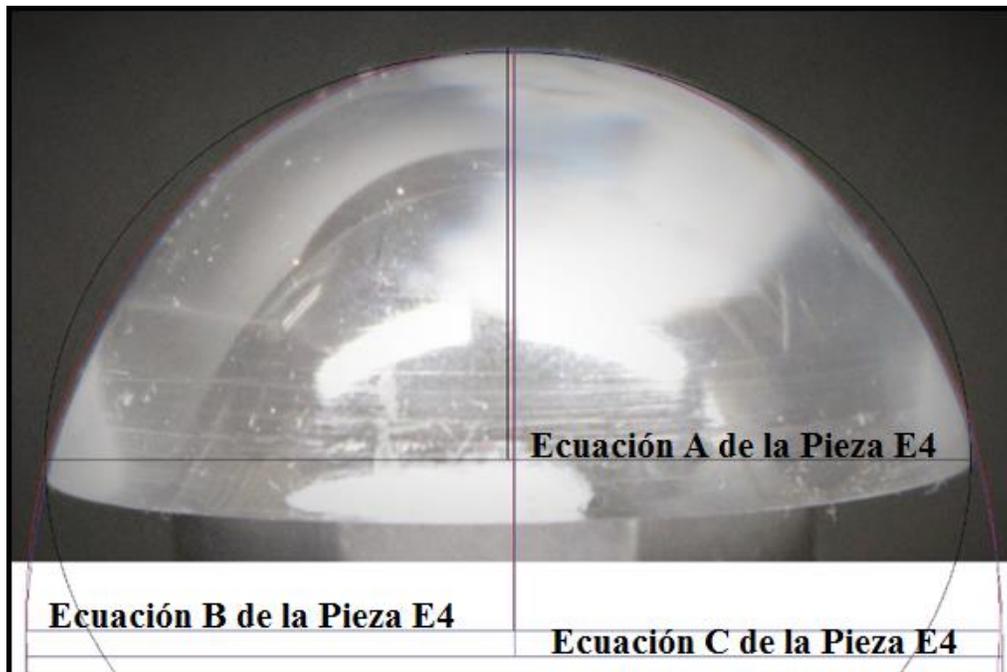


FIGURA 12. PIEZA E4 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza E4 de la Figura 12

$$a=606 \text{ pixeles}$$

$$b=606 \text{ pixeles}$$

$$c=474 \text{ pixeles}$$

$$d=1214 \text{ pixeles}$$

$$d = 1214 \text{ pixeles} \rightarrow 35.97 \text{ mm}$$

$$a = 606 \text{ pixeles} \rightarrow 17.96 \text{ mm}$$

$$b = 606 \text{ pixeles} \rightarrow 17.96 \text{ mm}$$

$$c = 474 \text{ pixeles} \rightarrow 14.04 \text{ mm}$$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [53]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [53] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.96^2} + \frac{y^2}{17.96^2} + \frac{z^2}{14.04^2} = 1 \quad [54]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0051 z^2 = 1 \quad [55]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [55] la ecuación de la pieza E4 es:

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0051 z^2 - 1 = 0 \quad [56]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza E4 de la Figura 12**

a=640 pixeles	$d = 1280 \text{ pixeles} \rightarrow 35.97 \text{ mm}$
b=640 pixeles	$a = 640 \text{ pixeles} \rightarrow 17.99 \text{ mm}$
c=672 pixeles	$b = 640 \text{ pixeles} \rightarrow 17.99 \text{ mm}$
d=1280 pixeles	$c = 672 \text{ pixeles} \rightarrow 18.88 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [57]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [57] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.99^2} + \frac{y^2}{17.99^2} + \frac{z^2}{18.88^2} = 1 \quad [58]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0028 z^2 = 1 \quad [59]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [59] la ecuación de la pieza E4 es:

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0028 z^2 - 1 = 0 \quad [60]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza E4 de la Figura 12**

a=642 pixeles	$d = 1280 \text{ pixeles} \rightarrow 35.97 \text{ mm}$
b=642 pixeles	$a = 642 \text{ pixeles} \rightarrow 18.04 \text{ mm}$
c=704 pixeles	$b = 642 \text{ pixeles} \rightarrow 18.04 \text{ mm}$
d=1280 pixeles	$c = 704 \text{ pixeles} \rightarrow 19.78 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [61]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [61] se obtiene la siguiente formula:

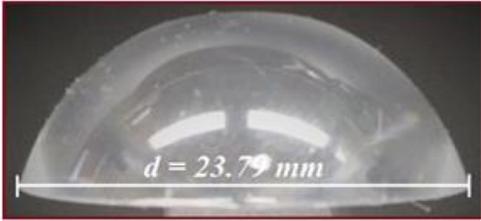
$$\frac{x^2}{18.04^2} + \frac{y^2}{18.04^2} + \frac{z^2}{19.78^2} = 1 \quad [62]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0030 z^2 = 1 \quad [63]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [63] la ecuación de la pieza E4 es:

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 + 0.0030 z^2 - 1 = 0 \quad [64]$$

5. Transductor refractométrico óptico (pieza) E5

	PIEZA E5. Elipsoide Con Orientación Horizontal
	DIÁMETRO: $d = 23.79 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0991.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{(11.985)^2} + \frac{y^2}{(1.985)^2} + \frac{(z - 13.5)^2}{13.5^2} = 1$

CÓDIGO DE LA PIEZA E5 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E5.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x (length (x));
XMIN=x (1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure (1)
plot (x,y)
title ('d=23.79')
figure (2)
plot (x,y, 'r')
grid on
hold on
b=13.5;% eje vertical-9
a=11.895;% eje horizontal
c=b;%desplazamiento vertical
x= -11.32:0.0076:11.32;
y2= b*-1*(sqrt (1-(x.^2)/(a.^2)))+c;
plot (x,y2)
```

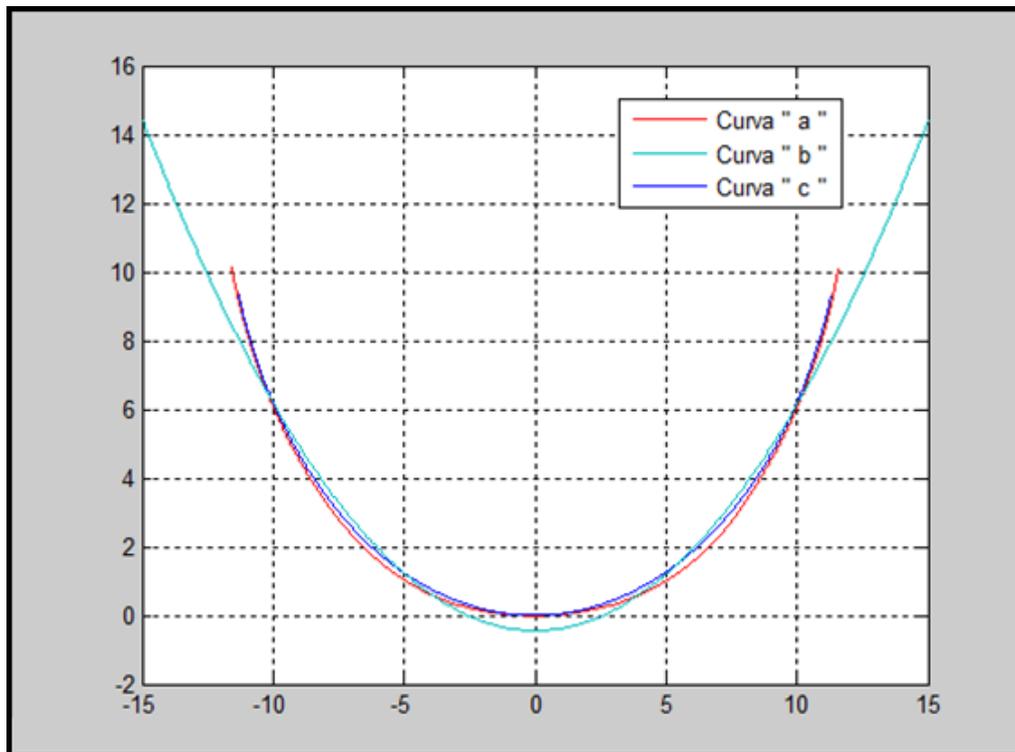


FIGURA 13. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 13 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} + c \rightarrow \text{Ecuación de la Elipse} \quad [65]$$

Con la ecuación [65] se obtuvo la curva de la Figura 13(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 13:

$$b = 13.5 \rightarrow \text{Altura de la Figura}$$

$$a = 11.895 \rightarrow \text{Radio de la Figura}$$

$$c = b \rightarrow \text{Desplazamiento que se hace hacia Arriba}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 13.E5, se obtiene:

$$y = -13.5 \sqrt{1 - \frac{x^2}{11.895^2}} + 13.5 \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [66]$$

Con la ecuación [66] de la Pieza E5 se establece que es un elipsoide y tomando en cuenta la Figura 4.2.4 su orientación es horizontal.

CÓDIGO DE LA PIEZA E5 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E5.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-a:0.02:a);
az=a;
bz=a;
cz=b;
```

```

d=b;
z= (-cz.*sqrt(1-((xz.^2)./(az^2))-((yz.^2)./(bz^2))))+d;
z=real(z);
figure(3)
surf(xz,yz,z); shading flat

```

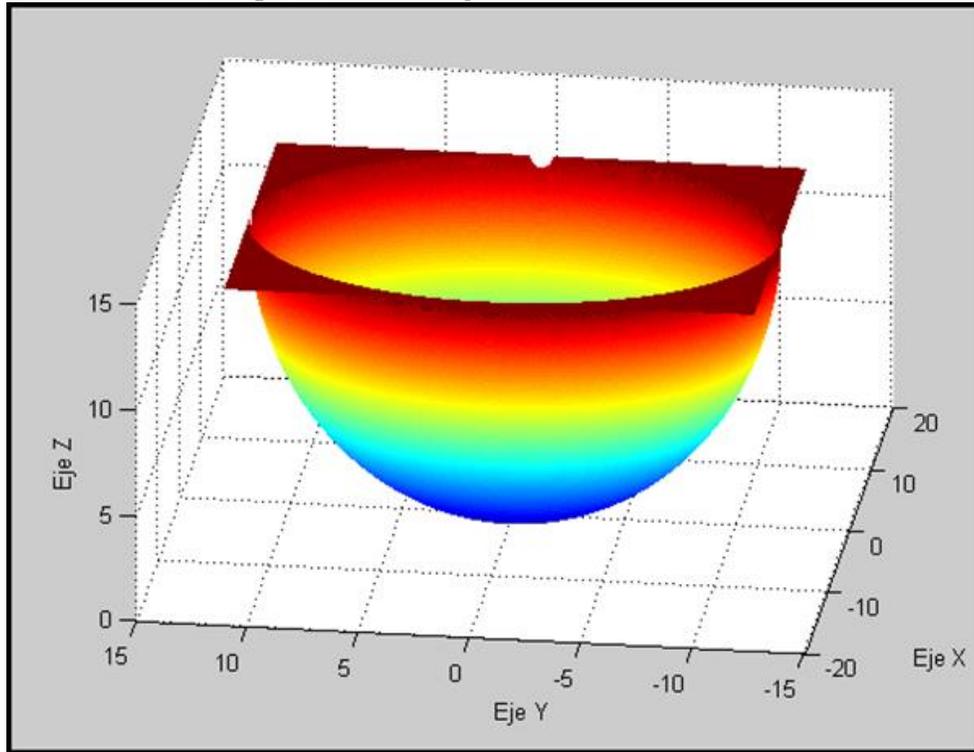


FIGURA 14. Pieza E5 en 3D

Con la Figura 14 se establece la siguiente ecuación:

$$z = -c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} + d \rightarrow \text{Ecuación de la Elipsoide} \quad [67]$$

Con la ecuación [67] se obtuvo la Figura 14 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned}
az &= a = 11.985 \\
bz &= a = 11.895 \\
cz &= b = 13.5 \\
d &= b = 13.5
\end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [67] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = -13.5 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(11.985)^2} - \frac{y^2}{(11.985)^2}} + 13.5 \quad [68]$$

La ecuación [68] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-d)^2}{c^2} = 1 \quad [69]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [69] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{(11.985)^2} + \frac{y^2}{(1.985)^2} + \frac{(z-13.5)^2}{13.5^2} = 1 \quad [70]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA E5

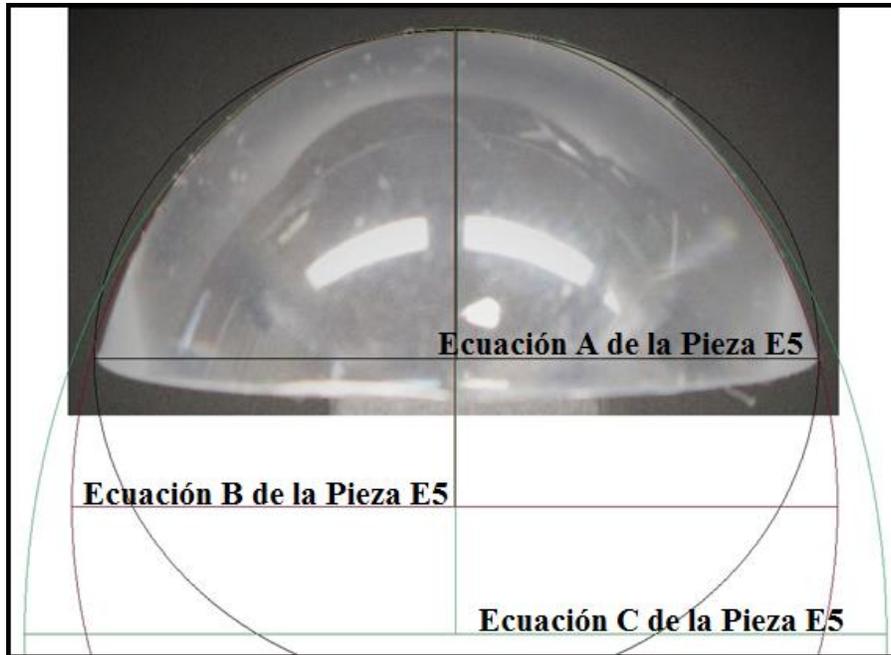


FIGURA 15. PIEZA E5 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza E5 de la Figura 15**

a=406 pixeles	$d = 810 \text{ pixeles} \rightarrow 23.79 \text{ mm}$
b=406 pixeles	$a = 406 \text{ pixeles} \rightarrow 11.92 \text{ mm}$
c=317 pixeles	$b = 406 \text{ pixeles} \rightarrow 11.92 \text{ mm}$
d=810 pixeles	$c = 317 \text{ pixeles} \rightarrow 9.31 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [71]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [71] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} + \frac{z^2}{9.31^2} = 1 \quad [72]$$

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 + 0.012 z^2 = 1 \quad [73]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [73] la ecuación de la pieza E5 es:

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0 \quad [74]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza E5 de la Figura 15**

a=428 pixeles	$d = 856 \text{ pixeles} \rightarrow 23.79 \text{ mm}$
b=428 pixeles	$a = 428 \text{ pixeles} \rightarrow 11.9 \text{ mm}$
c=458 pixeles	$b = 428 \text{ pixeles} \rightarrow 11.9 \text{ mm}$
d=856 pixeles	$c = 458 \text{ pixeles} \rightarrow 12.73 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [75]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [75] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.9^2} + \frac{y^2}{11.9^2} + \frac{z^2}{12.73^2} = 1 \quad [76]$$

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0062 z^2 = 1 \quad [77]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [77] la ecuación de la pieza E5 es:

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0062 z^2 - 1 = 0 \quad [78]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza E5 de la Figura 15**

a=482 pixeles	d = 964 <i>pixeles</i> → 23.79 mm
b=482 pixeles	a = 482 <i>pixeles</i> → 11.9 mm
c=581 pixeles	b = 482 <i>pixeles</i> → 11.9 mm
d=964 pixeles	c = 581 <i>pixeles</i> → 14,34 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [79]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [79] se obtiene la siguiente formula:

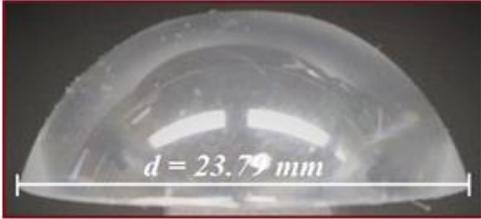
$$\frac{x^2}{11.9^2} + \frac{y^2}{11.9^2} + \frac{z^2}{14.34^2} = 1 \quad [80]$$

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0049 z^2 = 1 \quad [81]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [81] la ecuación de la pieza P5 es:

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0049 z^2 - 1 = 0 \quad [82]$$

6. Transductor refractométrico óptico (pieza) E6

	PIEZA E6. Elipsoide Con Orientación Horizontal
	DIÁMETRO: <i>d = 23.79 mm</i>
	FOTO: IMG_0991.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{(11.985)^2} + \frac{y^2}{(1.985)^2} + \frac{(z - 13.5)^2}{13.5^2} = 1$

CÓDIGO DE LA PIEZA E6 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E6.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=23.79')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=13.5;% eje vertical-9
a=11.895;% eje horizontal
c=b;%dezlazamiento vertical
x= -11.32:0.0076:11.32;
y2= b*-1*(sqrt(1-(x.^2)/(a.^2)))+c;
plot (x,y2)
```

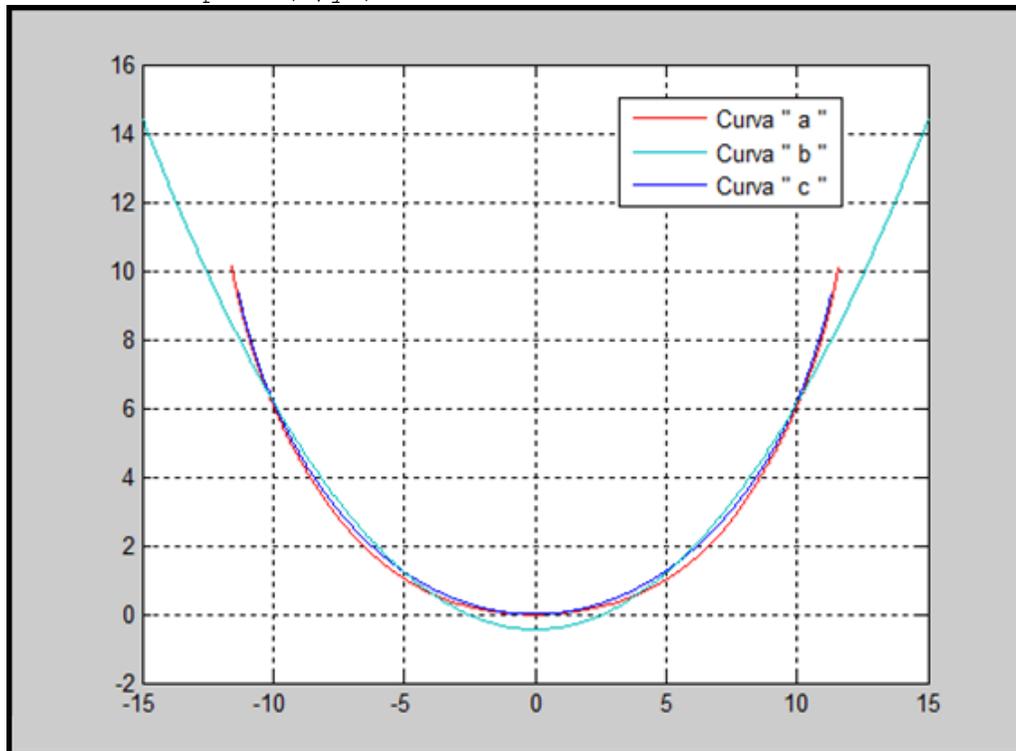


FIGURA 16. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:

- a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
- b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
- c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 16 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} + c \rightarrow \text{Ecuacion de la Elipse} \quad [83]$$

Con la ecuación [83] se obtuvo la curva de la Figura 16(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 16:

$$b = 13.5 \rightarrow \text{Altura de la Figura}$$

$$a = 11.895 \rightarrow \text{Radio de la Figura}$$

$$c = b \rightarrow \text{Desplazamiento que se hace hacia Arriba}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 16.E6, se obtiene:

$$y = -13.5 \sqrt{1 - \frac{x^2}{11.895^2}} + 13.5 \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [84]$$

Con la ecuación [84] de la Pieza E6 se establece que es un elipsoide y tomando en cuenta la Figura 4.2.4 su orientación es horizontal.

CÓDIGO DE LA PIEZA E6 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza E6.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-a:0.02:a);
az=a;
bz=a;
cz=b;
d=b;
z= (-cz.*sqrt(1-((xz.^2)./(az^2))-((yz.^2)./(bz^2))))+d;
z=real(z);
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

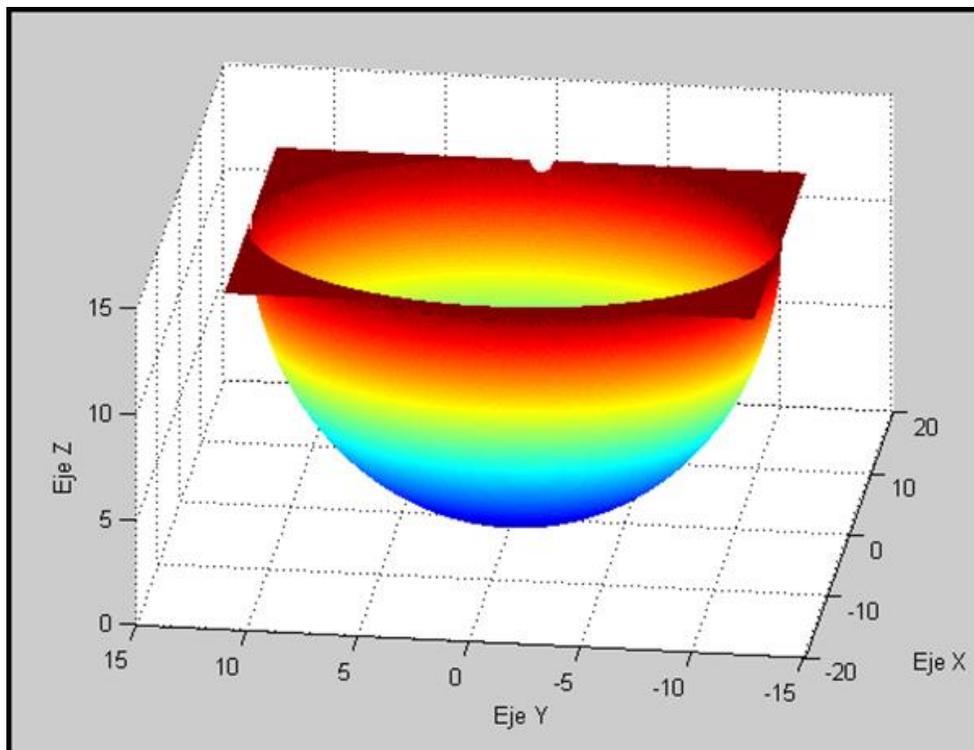


FIGURA 17. *Pieza E6 en 3D.*

Con la Figura 17 se establece la siguiente ecuación:

$$z = -c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} + d \rightarrow \text{Ecuacion de la Elipsoide} \quad [85]$$

Con la ecuación [85] se obtuvo la Figura 17 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} az = a &= 11.985 \\ bz = a &= 11.895 \\ cz = b &= 13.5 \\ d = b &= 13.5 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [85] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = -13.5 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(11.985)^2} - \frac{y^2}{(11.985)^2}} + 13.5 \quad [86]$$

La ecuación [86] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-d)^2}{c^2} = 1 \quad [87]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [87] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{(11.985)^2} + \frac{y^2}{(11.895)^2} + \frac{(z-13.5)^2}{13.5^2} = 1 \quad [88]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA E6

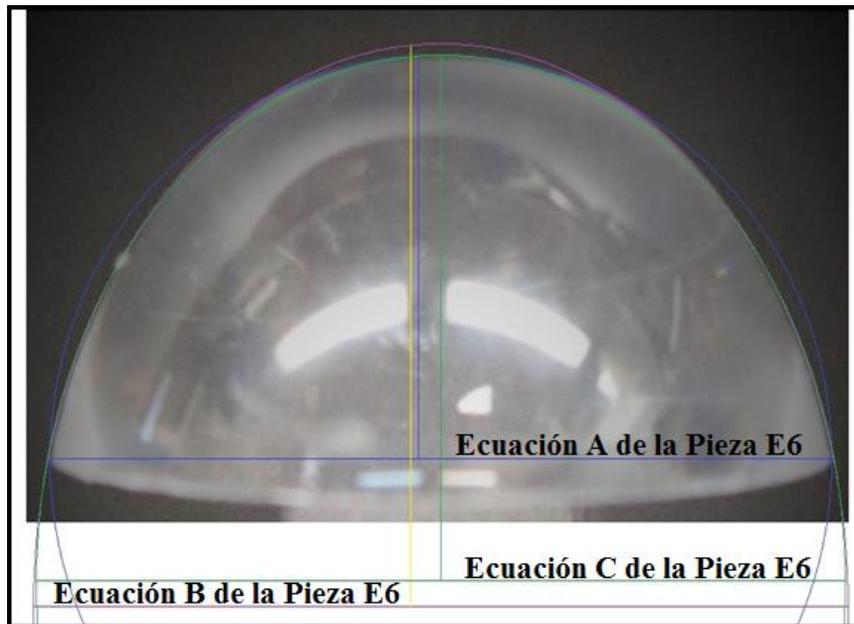


FIGURA 18. PIEZA E6 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza E6 de la Figura 18

a=380 pixeles	d = 806 pixeles → 23.79 mm
b=380 pixeles	a = 380 pixeles → 11.22 mm
c=313 pixeles	b = 380 pixeles → 11.22 mm
d=806 pixeles	c = 313 pixeles → 9.24 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [89]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [89] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.22^2} + \frac{y^2}{11.22^2} + \frac{z^2}{9.24^2} = 1 \quad [90]$$

$$0.008 x^2 + 0.008 y^2 + 0.012 z^2 = 1 \quad [91]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [91] la ecuación de la pieza E6 es:

$$0.008 x^2 + 0.008 y^2 + 0.012 z^2 - 1 = 0 \quad [92]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza E6 de la Figura 18**

a=389 pixeles	d = 840 <i>pixeles</i> → 23.79 mm
b=389 pixeles	a = 389 <i>pixeles</i> → 11.02 mm
c=436 pixeles	b = 389 <i>pixeles</i> → 11.02 mm
d=840 pixeles	c = 436 <i>pixeles</i> → 12.35 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [93]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [93] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.22^2} + \frac{y^2}{11.22^2} + \frac{z^2}{9.24^2} = 1 \quad [94]$$

$$0.0082 x^2 + 0.0082 y^2 + 0.0066 z^2 = 1 \quad [95]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [95] la ecuación de la pieza E6 es:

$$0.0082 x^2 + 0.0082 y^2 + 0.0066 z^2 - 1 = 0 \quad [96]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza E6 de la Figura 18**

a=416 pixeles	d = 833 <i>pixeles</i> → 23.79 mm
b=416 pixeles	a = 416 <i>pixeles</i> → 11.88 mm
c=409 pixeles	b = 416 <i>pixeles</i> → 11.88 mm
d=833 pixeles	c = 409 <i>pixeles</i> → 11.68 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un elipsoide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad [97]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [97] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.88^2} + \frac{y^2}{11.88^2} + \frac{z^2}{11.68^2} = 1 \quad [98]$$

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0073 z^2 = 1 \quad [99]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [99] la ecuación de la pieza E6 es:

$$0.0071 x^2 + 0.0071 y^2 + 0.0073 z^2 - 1 = 0 \quad [100]$$

ANEXO B

REPRESENTACIONES MATEMÁTICAS ANALÍTICAS DE LAS SUPERFICIES DE LOS TRANSDUCTORES (PARABOLOIDES)

1. Transductor refractométrico óptico P1

	PIEZA P1. Paraboloide
	DIÁMETRO: $d = 15.96 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_1003.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{7.98^2} + \frac{y^2}{7.98^2} - \frac{z}{7.87} = 0$

Para el desarrollo de la Pieza P1 se realizó un programa donde se utilizan diferentes comandos y cada uno cumple una función diferente, primero se guarda la imagen con el comando *"imread"*, con el cual se obtiene un juego de 3 matrices en Matlab (una matriz para el color rojo, otra para el azul y por ultimo otra para el color verde), otro de los comando usados es el *"rgb2gray"* ya que es el que se encarga de hacer una sola matriz en escala de grises de las tres que se obtuvieron anteriormente.

Otro de los comandos usados es *"size"* es el que usa para obtener las dimensiones de la matriz, que esta en escala de grises, pasada ahora en un vector. Para determinar los cambio de color blanco al negro se usa el comando *"for"*, pues con ello se encuentra el contorno de la imagen para poder guardar estos valores en un vector y así se puedan graficar y para que después se tengan como referencia. Ahora con el valor medido del diámetro y su respectiva altura se hace un ajuste al vector obtenido de las posiciones de cambio de color del contorno.

Se grafica el contorno de la figura que se obtuvo con todos los comandos anteriores, ahora se puede ver que se tiene una ecuación la cual nos ayuda a que se pueda graficar otra curva y haciendo ajustes de los valores de esa ecuación se puede obtener una aproximación y poder determinar que la ecuación es de un paraboloide o un elipsoide.

CÓDIGO DE LA PIEZA P1

```
g=imread('d=15.96.jpg');
f=rgb2gray(g);
q=size(f);
x=0;
y=0;
x1=1;
y1=1;
for w=1:q(2)
    for e=1:q(1)
        if f(e,w)<200
            x(x1)=w;
            y(y1)=e;
            x1=x1+1;
            y1=y1+1;
            break
        end
    end
end
diametro=15.96;
alto=7.87;
x2=length(x);
x3=x(x2);
x=x-(x(x2)/2);
x=x/(x3/diametro);
y2=length(y);
y3=0;
y4=y(y2);
for r=2:y2
    if y(r)<y(r-1)
        y3=y(r);
    end
end
y=y-y3;
y=y/(y4/alto);
plot(x,y)
title('d=15.96')
grid on
    % CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX=(XMAX-XMIN)/2;
difX=(XMAX-lonX);
x=x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=15.96')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=1.09;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe=x(1):difX:x(length(x));
y2=a*((b.*xe).^2);
plot(xe,y2)
```

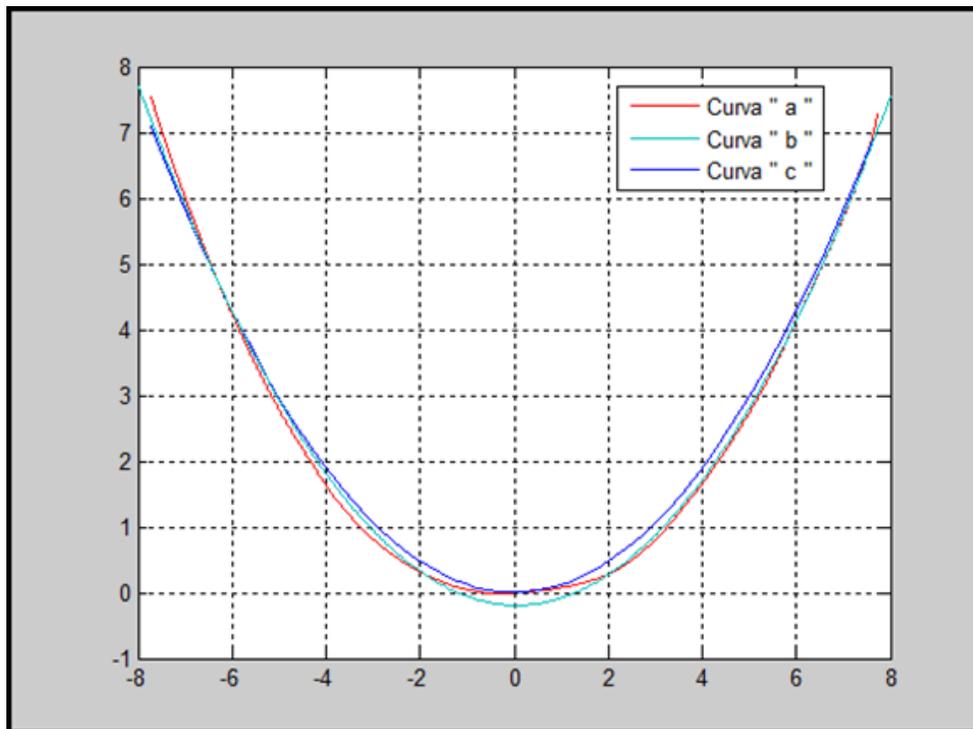


FIGURA 1 CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:

- a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
- b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
- c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la Figura 1 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola [1]}$$

Con la ecuación [1] se obtuvo la curva de la Figura 1(b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la Figura 1:

$$b = 1.09 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la Figura 1, se obtiene:

$$y = 0.1 ((1.09) * x)^2 \quad ; \quad -8 \leq x \leq 8 \quad [2]$$

Con la ecuación [2] de la Pieza P1 se establece que es un paraboloide.

CÓDIGO DE LA PIEZA E1 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P1.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end

```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

```

end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat

```

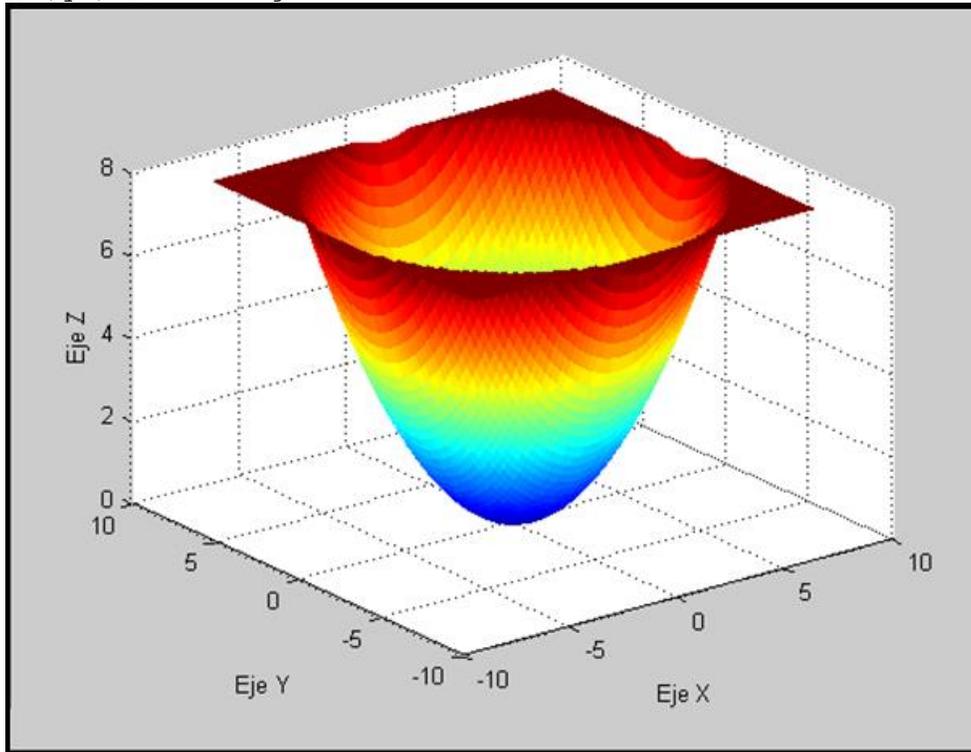


FIGURA 2. Pieza P1 en 3D.

Con la FIGURA 2 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloid} \quad [3]$$

Con la ecuación [3] se obtuvo la FIGURA 2 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned}
 b &= 7.98 \\
 a &= 7.98 \\
 c &= \text{alto} = 7.97
 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [3] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{7.98^2} + \frac{y^2}{7.98^2} \right) * (7.87) \quad [4]$$

La ecuación [4] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{7.87} = 0 \quad [5]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [5] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{7.98^2} + \frac{y^2}{7.98^2} - \frac{z}{7.87} = 0 \quad [6]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P1

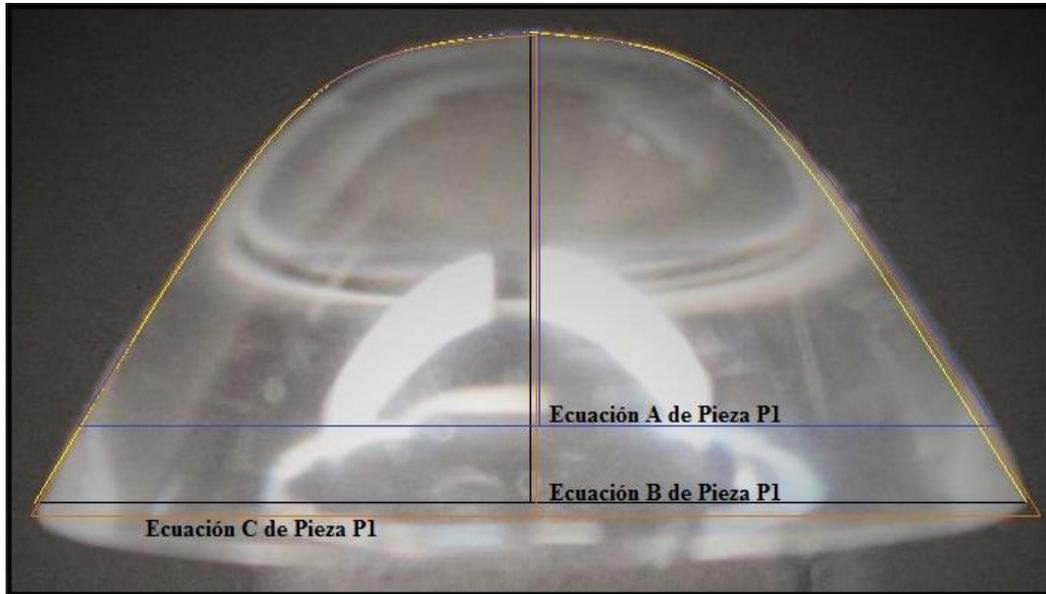


FIGURA 3. PIEZA P1 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P1 de la Figura 3.**

a=308 pixeles	d = 610 <i>pixeles</i> → 15.96 mm
b=308 pixeles	a = 308 <i>pixeles</i> → 8.06 mm
c=263 pixeles	b = 322 <i>pixeles</i> → 8.06 mm
d=610 pixeles	c = 373 <i>pixeles</i> → 6.88 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [7]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [7] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{8.06^2} + \frac{y^2}{8.06^2} - \frac{z^2}{6.88^2} = 0 \quad [8]$$

$$0.015 x^2 + 0.015 y^2 - 0.021 z^2 = 0 \quad [9]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [9] la ecuación de la pieza P1 es:

$$x^2 + y^2 - 1.4 z^2 = 0 \quad [10]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P1 de la Figura 3.**

a=331 pixeles	d = 610 <i>pixeles</i> → 15.96 mm
b=331 pixeles	a = 308 <i>pixeles</i> → 7.98 mm
c=314 pixeles	b = 322 <i>pixeles</i> → 7.98 mm
d=662 pixeles	c = 373 <i>pixeles</i> → 7.57 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [11]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [11] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{7.98^2} + \frac{y^2}{7.98^2} - \frac{z^2}{7.57^2} = 0 \quad [12]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 - 0.017 z^2 = 0 \quad [13]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [13] la ecuación de la pieza P1 es:

$$x^2 + y^2 - 1.06 z^2 = 0 \quad [14]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P1 de la Figura 3.**

a=336 pixeles	d = 672 pixeles → 15.96 mm
b=336 pixeles	a = 336 pixeles → 7.98 mm
c=320 pixeles	b = 336 pixeles → 7.98 mm
d=672 pixeles	c = 320 pixeles → 7.60 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [15]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [15] se obtiene la siguiente formula:

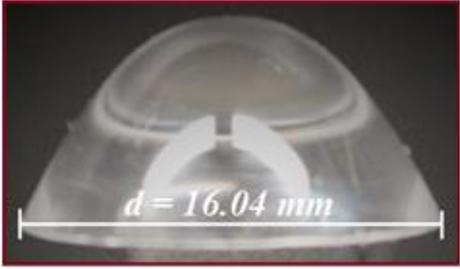
$$\frac{x^2}{7.98^2} + \frac{y^2}{7.98^2} - \frac{z^2}{7.60^2} = 0 \quad [16]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 - 0.017 z^2 = 0 \quad [17]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [17] la ecuación de la pieza P1 es:

$$x^2 + y^2 - 1.06 z^2 = 0 \quad [18]$$

2. Transductor refractométrico óptico P2

	PIEZA P2. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 16.04 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_1000.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{8.32^2} + \frac{y^2}{8.32^2} - \frac{z}{7.82} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P2 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P2.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX=(XMAX-XMIN)/2;
difX=(XMAX-lonX);
```

```

x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=16.04')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=1.0099;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*((b.*xe).^2);
plot (xe,y2)

```

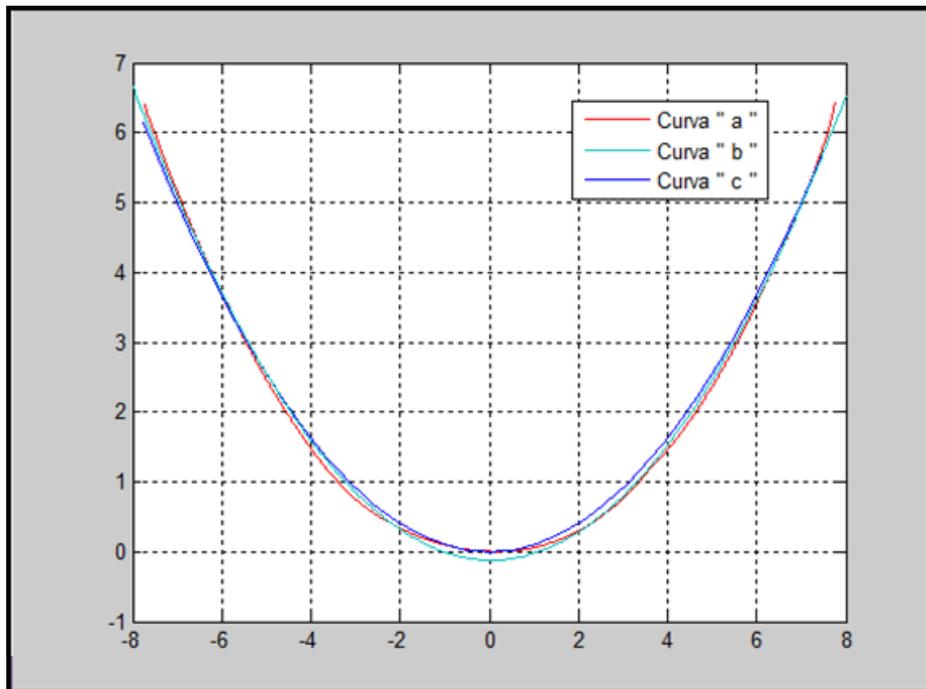


FIGURA 4. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
c) OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 4 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuación de la Parábola} \quad [19]$$

Con la ecuación [19] se obtuvo la curva de la FIGURA 4 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 4:

$$b = 1.0099 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 4, se obtiene:

$$y = 0.1 ((1.0099) * x)^2 \quad ; \quad -8 \leq x \leq 8 \quad [20]$$

Con la ecuación [20] de la Pieza P2 se establece que es un paraboloide.

CÓDIGO DE LA PIEZA P2 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P2.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat

```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

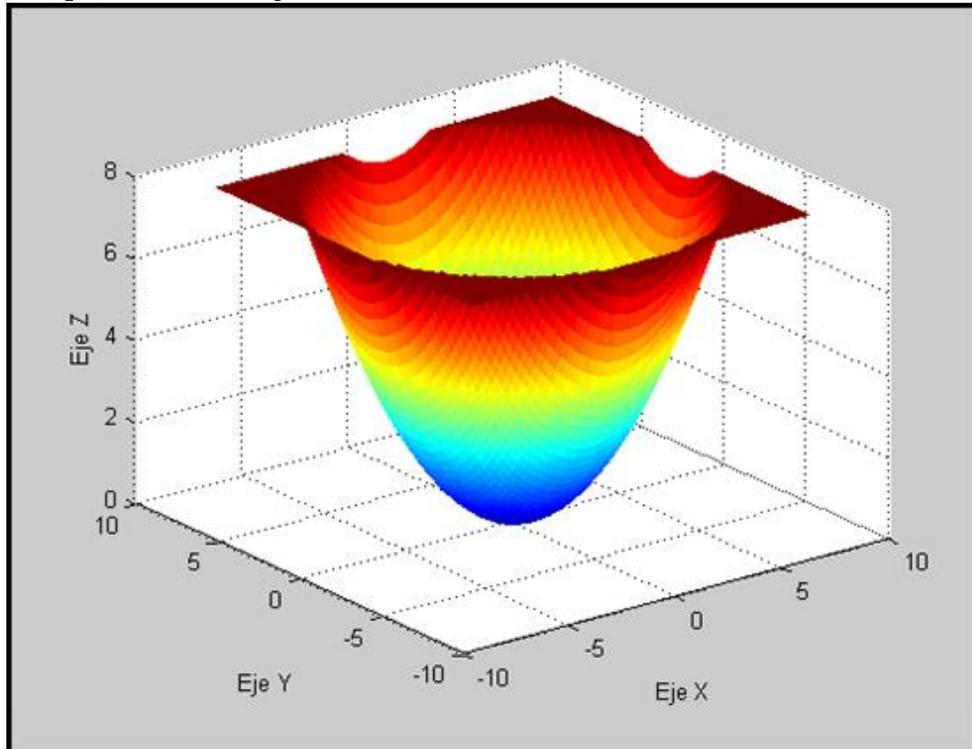


FIGURA 5. *Pieza P2 en 3D.*

Con la FIGURA 5 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [21]$$

Con la ecuación [21] se obtuvo la FIGURA 5 y se usaron los siguientes valores:

$$b = 8.02$$

$$a = 8.02$$

$$c = \text{alto} = 7.83$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [21] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{8.02^2} + \frac{y^2}{8.02^2} \right) * (7.83) \quad [22]$$

La ecuación [22] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [23]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [23] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{8.02^2} + \frac{y^2}{8.02^2} - \frac{z}{7.83} = 0 \quad [24]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P2

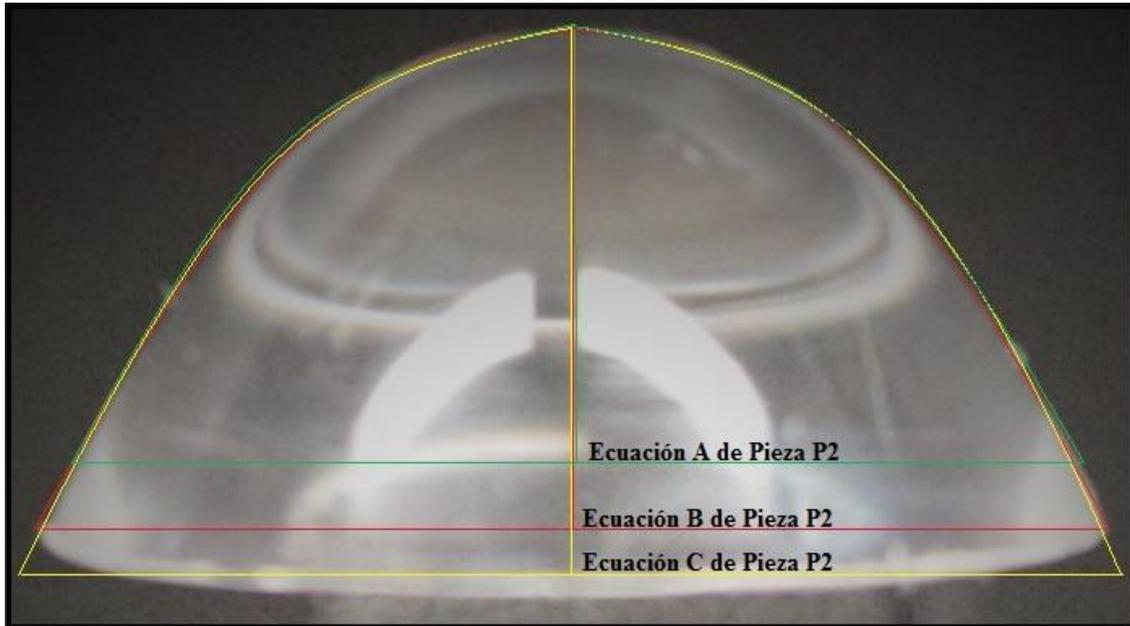


FIGURA 6. PIEZA P2 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P2 de la Figura 6**

a=311 pixeles	d = 624 <i>pixeles</i> → 16.04 mm
b=311 pixeles	a = 311 <i>pixeles</i> → 7.99 mm
c=271 pixeles	b = 311 <i>pixeles</i> → 7.99 mm
d=624 pixeles	c = 271 <i>pixeles</i> → 6.97 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [25]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [25] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{7.99^2} + \frac{y^2}{7.99^2} - \frac{z^2}{6.97^2} = 0 \quad [26]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 - 0.021 z^2 = 0 \quad [27]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [27] la ecuación de la pieza P2 es:

$$x^2 + y^2 - 1.31 z^2 = 0 \quad [28]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P2 de la Figura 6**

a=331 pixeles	d = 660 <i>pixeles</i> → 16.04 mm
b=331 pixeles	a = 331 <i>pixeles</i> → 8.04 mm
c=309 pixeles	b = 331 <i>pixeles</i> → 8.04 mm
d=660 pixeles	c = 309 <i>pixeles</i> → 7.51 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [29]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [29] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{8.04^2} + \frac{y^2}{8.04^2} - \frac{z^2}{7.51^2} = 0 \quad [30]$$

$$0.015 x^2 + 0.015 y^2 - 0.18z^2 = 0 \quad [31]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [31] la ecuación de la pieza P2 es:

$$x^2 + y^2 - 1.2 z^2 = 0 \quad [32]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P2 de la Figura 6**

a=342 pixeles	d = 681 <i>pixeles</i> → 16.04 mm
b=342 pixeles	a = 342 <i>pixeles</i> → 8.06 mm
c=337 pixeles	b = 342 <i>pixeles</i> → 8.06 mm
d=681 pixeles	c = 337 <i>pixeles</i> → 7.94 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [33]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [33] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{8.06^2} + \frac{y^2}{8.06^2} - \frac{z^2}{7.94^2} = 0 \quad [34]$$

$$0.015 x^2 + 0.015 y^2 - 0.016 z^2 = 0 \quad [35]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [35] la ecuación de la pieza P2 es:

$$x^2 + y^2 - 1.07 z^2 = 0 \quad [36]$$

3. Transductor refractométrico óptico P3

	PIEZA P3. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 16.14 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0998.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{8.32^2} + \frac{y^2}{8.32^2} - \frac{z}{7.82} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P3 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P3.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=16.14')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=1.009;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*(b.*xe).^2;
plot (xe,y2)
```

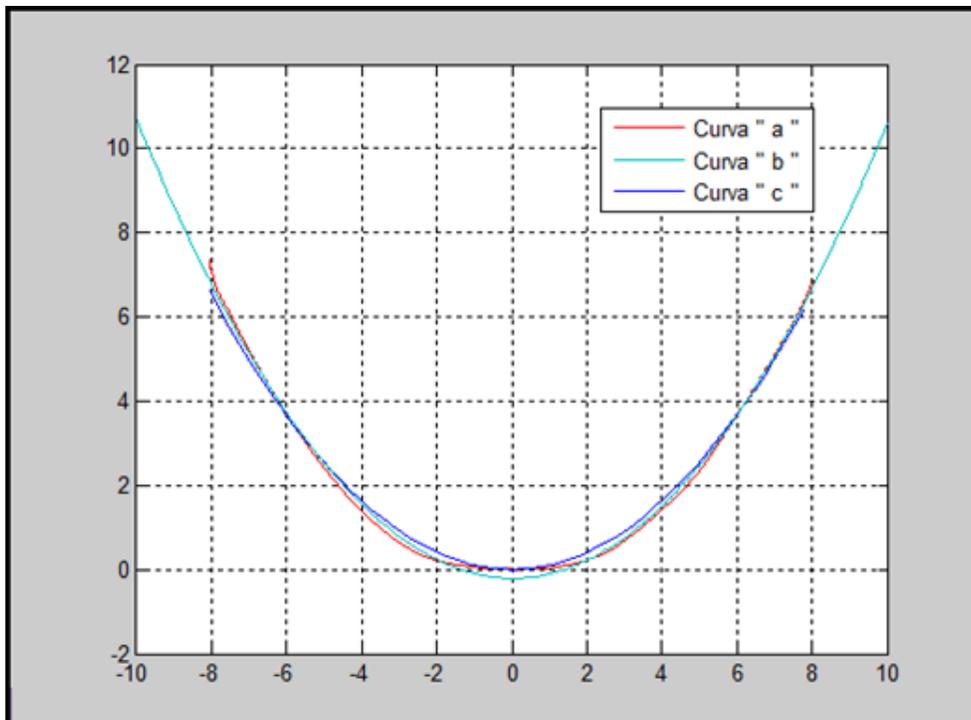


FIGURA 7. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 7 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola [37]}$$

Con la ecuación [37] se obtuvo la curva de la FIGURA 7 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 7:

$$b = 1.009 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 7, se obtiene:

$$y = 0.1 ((1.009) * x)^2 \quad ; \quad -10 \leq x \leq 10 \quad [38]$$

Con la ecuación [38] de la Pieza P3 se establece que es un paraboloides.

CÓDIGO DE LA PIEZA P3 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P3.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

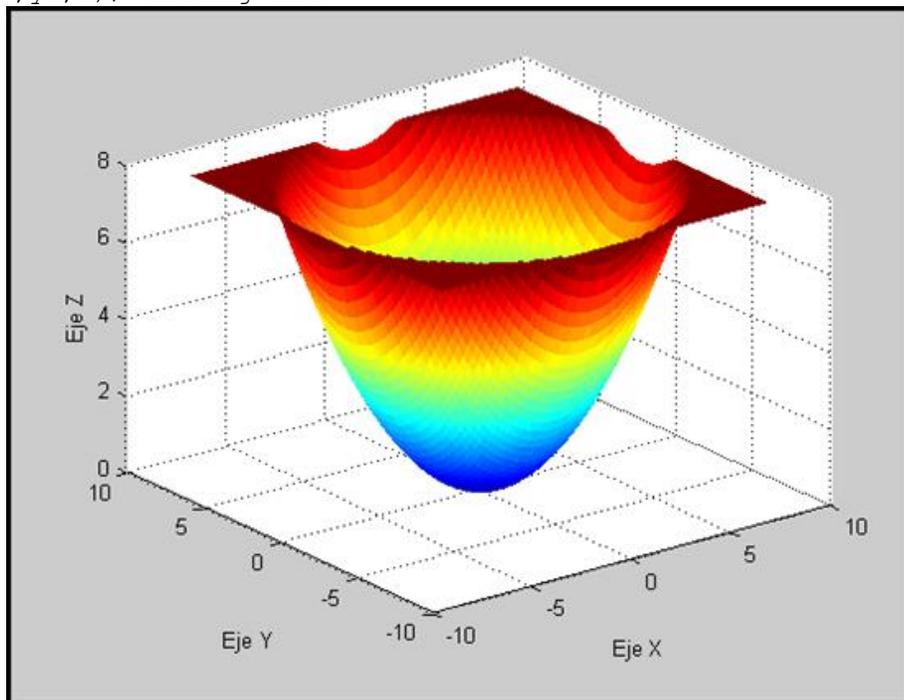


FIGURA 8. Pieza P3 en 3D.

Con la FIGURA 8 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [39]$$

Con la ecuación [39] se obtuvo la FIGURA 8 y se usaron los siguientes valores:

$$b = 8.32$$

$$a = 8.32$$

$$c = \text{alto} = 7.82$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [39] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{8.32^2} + \frac{y^2}{8.32^2} \right) * (7.82) \quad [40]$$

La ecuación [40] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [41]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [41] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{8.32^2} + \frac{y^2}{8.32^2} - \frac{z}{7.82} = 0 \quad [42]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P3

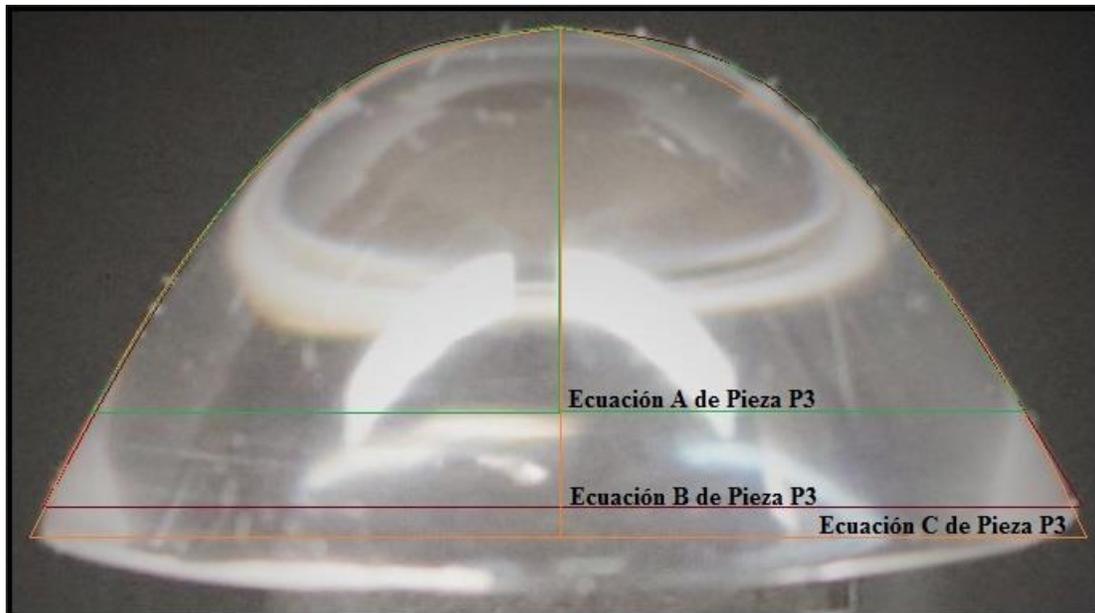


FIGURA 9. PIEZA P3 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P3 de la Figura 9

$$a=292 \text{ pixeles}$$

$$d = 583 \text{ pixeles} \rightarrow 16.14 \text{ mm}$$

$$b=292 \text{ pixeles}$$

$$a = 292 \text{ pixeles} \rightarrow 8.08 \text{ mm}$$

$$c=241 \text{ pixeles}$$

$$b = 292 \text{ pixeles} \rightarrow 8.08 \text{ mm}$$

$$d=583 \text{ pixeles}$$

$$c = 241 \text{ pixeles} \rightarrow 6.67 \text{ mm}$$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [43]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [43] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{8.08^2} + \frac{y^2}{8.08^2} - \frac{z^2}{6.67^2} = 0 \quad [44]$$

$$0.015 x^2 + 0.015 y^2 - 0.022 z^2 = 0 \quad [45]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [45] la ecuación de la pieza P3 es:

$$x^2 + y^2 - 1.47 z^2 = 0 \quad [46]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P3 de la Figura 9**

a=323 pixeles	$d = 650 \text{ pixeles} \rightarrow 16.14 \text{ mm}$
b=323 pixeles	$a = 323 \text{ pixeles} \rightarrow 8.02 \text{ mm}$
c=301 pixeles	$b = 323 \text{ pixeles} \rightarrow 8.02 \text{ mm}$
d=650 pixeles	$c = 301 \text{ pixeles} \rightarrow 7.47 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [47]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [47] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{8.02^2} + \frac{y^2}{8.02^2} - \frac{z^2}{7.47^2} = 0 \quad [48]$$

$$0.016 x^2 + 0.016 y^2 - 0.018 z^2 = 0 \quad [49]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [49] la ecuación de la pieza P3 es:

$$x^2 + y^2 - 1.13 z^2 = 0 \quad [50]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P3 de la Figura 9**

a=331 pixeles	$d = 661 \text{ pixeles} \rightarrow 16.14 \text{ mm}$
b=331 pixeles	$a = 331 \text{ pixeles} \rightarrow 8.08 \text{ mm}$
c=318 pixeles	$b = 331 \text{ pixeles} \rightarrow 8.08 \text{ mm}$
d=661 pixeles	$c = 318 \text{ pixeles} \rightarrow 7.76 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [51]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [51] se obtiene la siguiente formula:

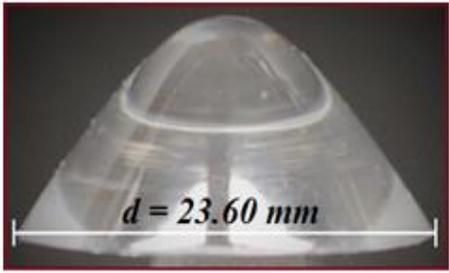
$$\frac{x^2}{8.08^2} + \frac{y^2}{8.08^2} - \frac{z^2}{7.76^2} = 0 \quad [52]$$

$$0.015 x^2 + 0.015 y^2 - 0.017 z^2 = 0 \quad [53]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [53] la ecuación de la pieza P3 es:

$$x^2 + y^2 - 1.13 z^2 = 0 \quad [54]$$

4. Transductor refractométrico óptico P4

	PIEZA P4. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 23.60 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0994.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{11.80^2} + \frac{y^2}{11.80^2} - \frac{z}{9.53} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P4 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P4.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
```

```
XMAX=x(length(x));  
XMIN=x(1);  
lonX= (XMAX-XMIN)/2;  
difX= (XMAX-lonX);  
x= x-difX;  
figure(1)  
plot(x,y)  
title('d=23.60')  
figure(2)  
plot(x,y,'r')  
grid on  
hold on  
b=0.78;% eje vertical  
a=.1;% eje horizontal  
xe= x(1):difX:x(length(x));  
y2= a*((b.*xe).^2);  
plot (xe,y2)
```

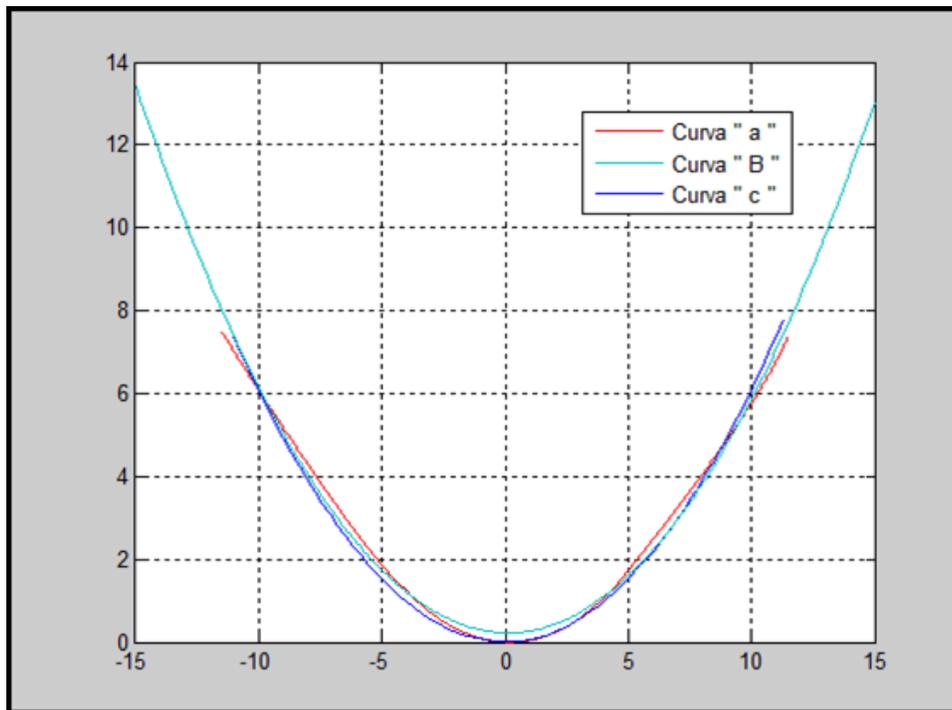


FIGURA 10. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 10 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuación de la Parábola} \quad [55]$$

Con la ecuación [55] se obtuvo la curva de la FIGURA 10 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 10:

$$b = 0.78 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 10, se obtiene:

$$y = 0.1 ((0.78) * x)^2 \quad ; \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [56]$$

Con la ecuación [56] de la Pieza P4 se establece que es un paraboloide.

CÓDIGO DE LA PIEZA P4 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P4.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
end

```

Comandos "for" agregados para la determinación del

```
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

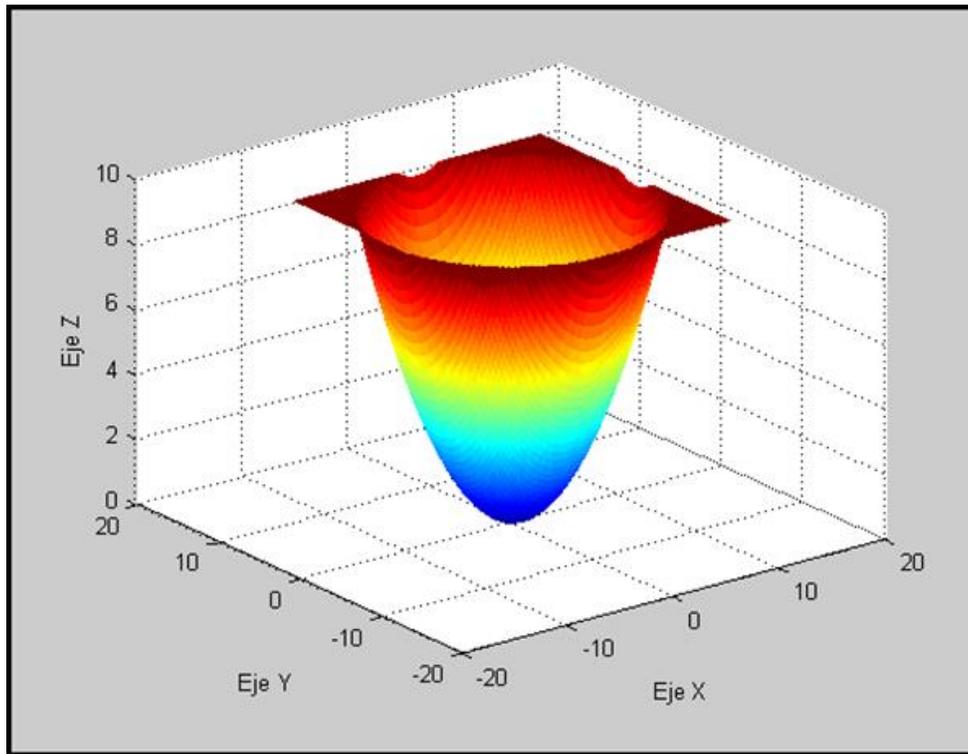


FIGURA 11. *Pieza P4 en 3D.*

Con la FIGURA 11 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [57]$$

Con la ecuación [57] se obtuvo la FIGURA 11 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} b &= 11.80 \\ a &= 11.80 \\ c &= \text{alto} = 9.53 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [57] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{11.80^2} + \frac{y^2}{11.80^2} \right) * (9.53) \quad [58]$$

La ecuación [58] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [59]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [59] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{11.80^2} + \frac{y^2}{11.80^2} - \frac{z}{9.53} = 0 \quad [60]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P4

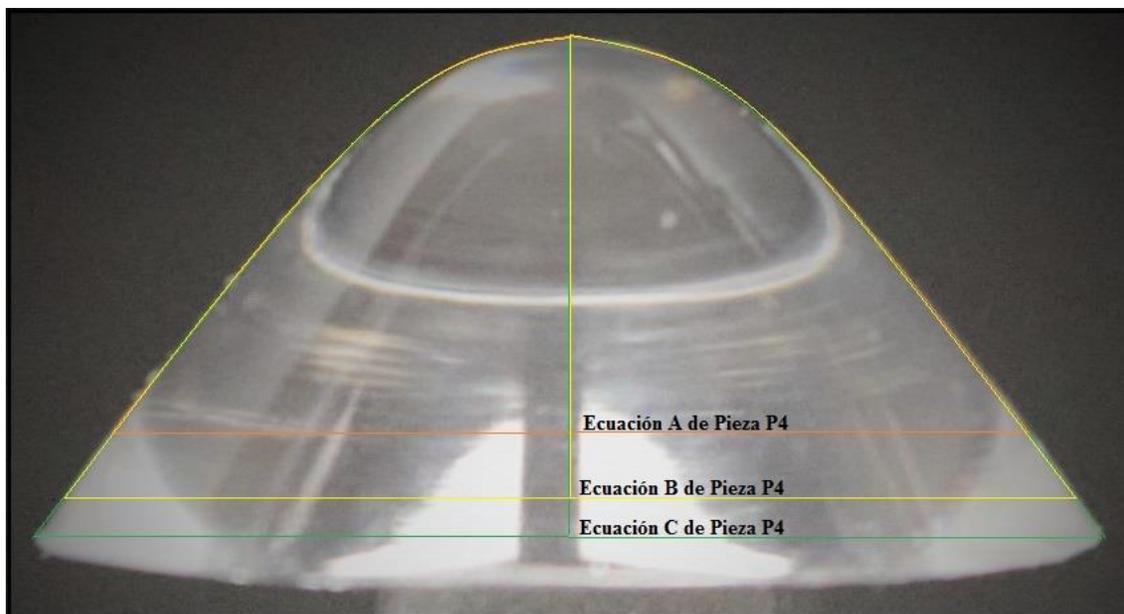


FIGURA 12. PIEZA P4 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P4 de la Figura 12**

a=345 pixeles	$d = 690 \text{ pixeles} \rightarrow 23.60 \text{ mm}$
b=345 pixeles	$a = 345 \text{ pixeles} \rightarrow 11.8 \text{ mm}$
c=300 pixeles	$b = 345 \text{ pixeles} \rightarrow 11.8 \text{ mm}$
d=690 pixeles	$c = 300 \text{ pixeles} \rightarrow 10.26 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [61]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [61] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.8^2} + \frac{y^2}{11.8^2} - \frac{z^2}{10.26^2} = 0 \quad [62]$$

$$0.0072 x^2 + 0.0072 y^2 - 0.0095 z^2 = 0 \quad [63]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [63] la ecuación de la pieza P4 es:

$$x^2 + y^2 - 1.32 z^2 = 0 \quad [64]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P4 de la Figura 12**

a=381 pixeles	$d = 761 \text{ pixeles} \rightarrow 23.60 \text{ mm}$
b=381 pixeles	$a = 381 \text{ pixeles} \rightarrow 11.82 \text{ mm}$
c=348 pixeles	$b = 381 \text{ pixeles} \rightarrow 11.82 \text{ mm}$
d=761 pixeles	$c = 348 \text{ pixeles} \rightarrow 10.79 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [65]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [65] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.82^2} + \frac{y^2}{11.82^2} - \frac{z^2}{10.79^2} = 0 \quad [66]$$

$$0.0072 x^2 + 0.0072 y^2 - 0.0086z^2 = 0 \quad [67]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [67] la ecuación de la pieza P4 es:

$$x^2 + y^2 - 1.19 z^2 = 0 \quad [68]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P4 de la Figura 12**

a=404 pixeles	d = 809 <i>pixeles</i> → 23.60 mm
b=404 pixeles	a = 404 <i>pixeles</i> → 11.79 mm
c=378 pixeles	b = 404 <i>pixeles</i> → 11.79 mm
d=809 pixeles	c = 378 <i>pixeles</i> → 11.03 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [69]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [69] se obtiene la siguiente formula:

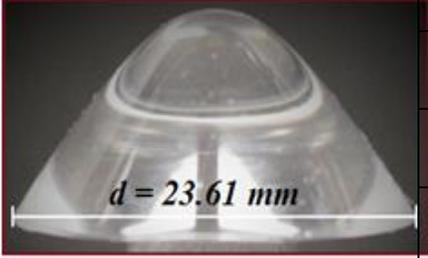
$$\frac{x^2}{11.79^2} + \frac{y^2}{11.79^2} - \frac{z^2}{11.03^2} = 0 \quad [70]$$

$$0.0072 x^2 + 0.0072 y^2 - 0.0082 z^2 = 0 \quad [71]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [71] la ecuación de la pieza P4 es:

$$x^2 + y^2 - 1.14 z^2 = 0 \quad [72]$$

5. Transductor refractométrico óptico P5

	PIEZA P5. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 23.61 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0996.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{11.805^2} + \frac{y^2}{11.805^2} - \frac{z}{11.32} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P5 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P5.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=23.61')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=0.85;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*((b.*xe).^2);
plot (xe,y2)

```

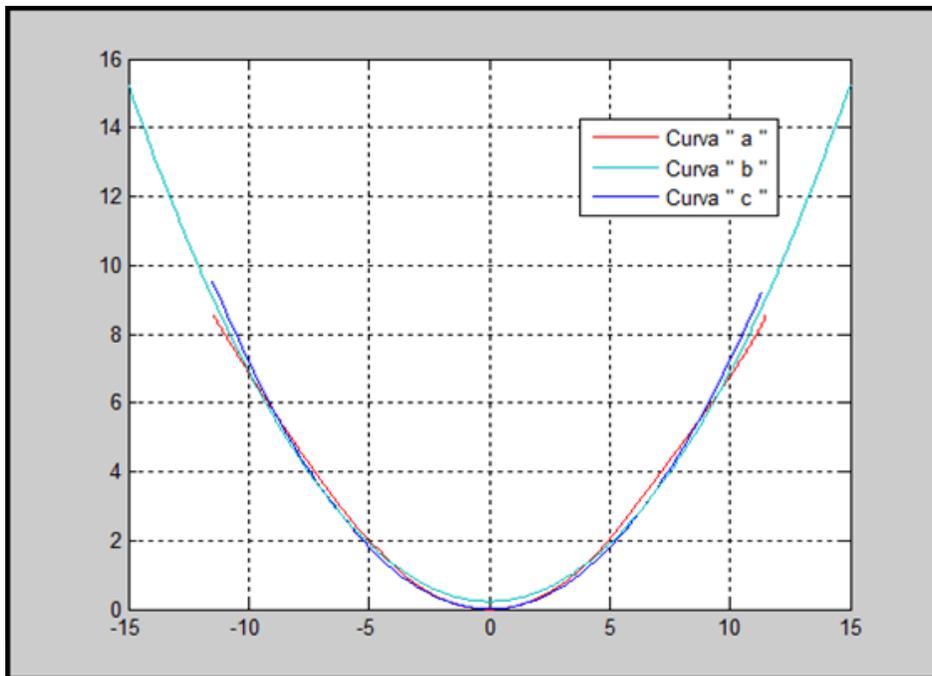


FIGURA 13. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 13 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola [73]}$$

Con la ecuación [73] se obtuvo la curva de la FIGURA 13 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 13:

$$b = 0.85 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 13, se obtiene:

$$y = 0.1 ((0.85) * x)^2 \quad ; \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [74]$$

Con la ecuación [74] de la Pieza P5 se establece que es un paraboloides.

CÓDIGO DE LA PIEZA P5 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P5.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
    
```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

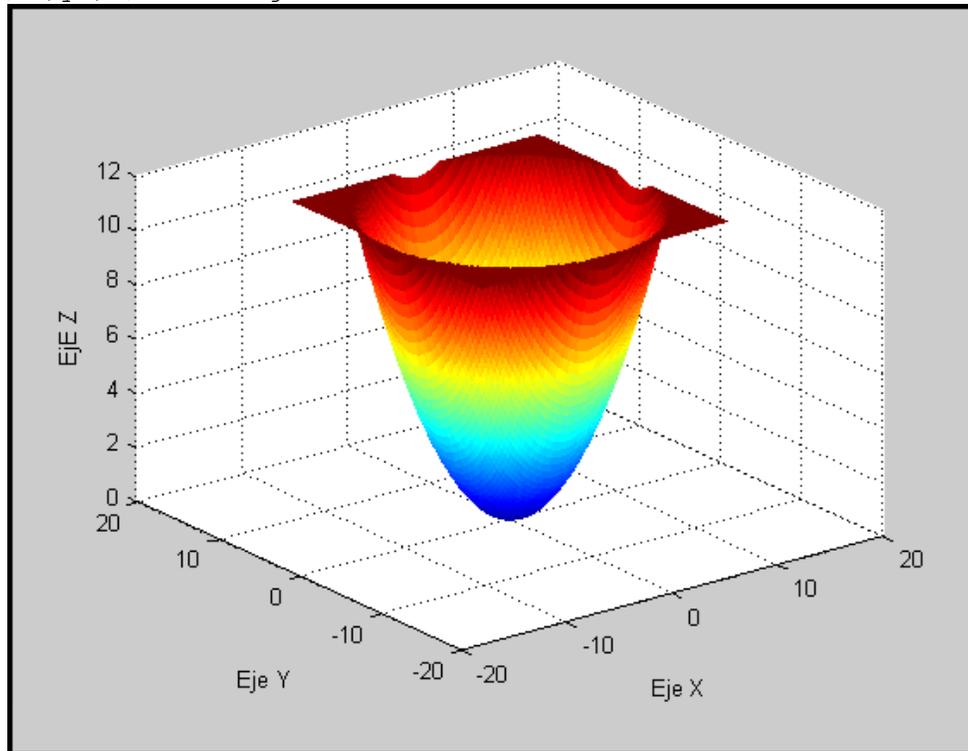


FIGURA 14. *Pieza P5 en 3D.*

Con la FIGURA 14 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [75]$$

Con la ecuación [75] se obtuvo la FIGURA 14 y se usaron los siguientes valores:

$$b = 11.805$$

$$a = 11.805$$

$$c = \text{alto} = 11.32$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [75] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{11.805^2} + \frac{y^2}{11.805^2} \right) * (11.32) \quad [76]$$

La ecuación [76] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [77]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [77] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{11.805^2} + \frac{y^2}{11.805^2} - \frac{z}{11.32} = 0 \quad [78]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P5

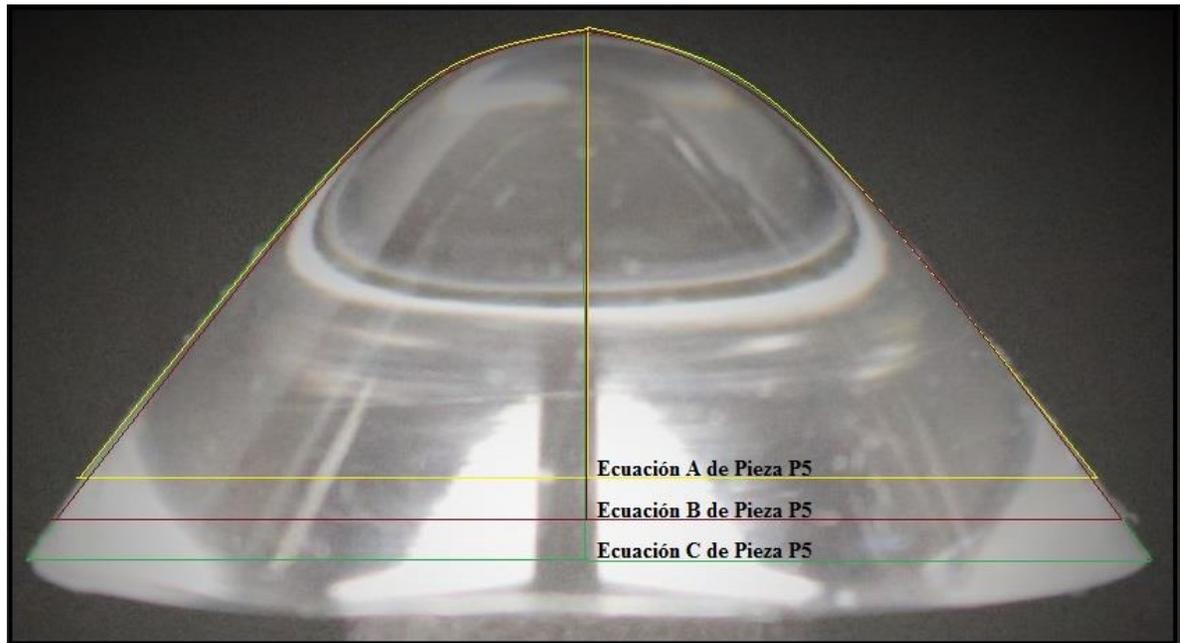


FIGURA 15. PIEZA P5 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P5 de la Figura 15

a=365 pixeles	d = 731 <i>pixeles</i> → 23.61 mm
b=365 pixeles	a = 365 <i>pixeles</i> → 11.79 mm
c=323 pixeles	b = 365 <i>pixeles</i> → 11.79 mm
d=731 pixeles	c = 323 <i>pixeles</i> → 10.43 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [79]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [79] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.79^2} + \frac{y^2}{11.79^2} - \frac{z^2}{10.43^2} = 0 \quad [80]$$

$$0.0072 x^2 + 0.0072 y^2 - 0.0092 z^2 = 0 \quad [81]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [81] la ecuación de la pieza P5 es:

$$x^2 + y^2 - 1.28 z^2 = 0 \quad [82]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P5 de la Figura 15**

a=382 pixeles	$d = 768 \text{ pixeles} \rightarrow 23.61 \text{ mm}$
b=382 pixeles	$a = 382 \text{ pixeles} \rightarrow 11.74 \text{ mm}$
c=352 pixeles	$b = 382 \text{ pixeles} \rightarrow 11.74 \text{ mm}$
d=768 pixeles	$c = 352 \text{ pixeles} \rightarrow 10.82 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [83]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [83] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.74^2} + \frac{y^2}{11.74^2} - \frac{z^2}{10.82^2} = 0 \quad [84]$$

$$0.0073 x^2 + 0.0073 y^2 - 0.0085 z^2 = 0 \quad [85]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [85] la ecuación de la pieza P5 es:

$$x^2 + y^2 - 1.16 z^2 = 0 \quad [86]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P5 de la Figura 15**

a=403 pixeles	$d = 810 \text{ pixeles} \rightarrow 23.61 \text{ mm}$
b=403 pixeles	$a = 403 \text{ pixeles} \rightarrow 11.75 \text{ mm}$
c=382 pixeles	$b = 403 \text{ pixeles} \rightarrow 11.75 \text{ mm}$
d=810 pixeles	$c = 382 \text{ pixeles} \rightarrow 11.13 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [87]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [87] se obtiene la siguiente formula:

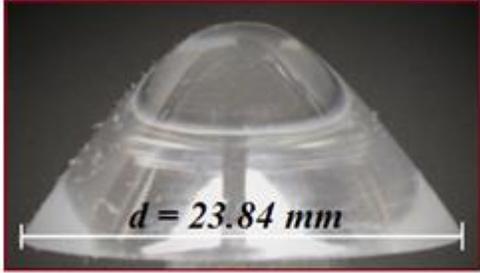
$$\frac{x^2}{11.75^2} + \frac{y^2}{11.75^2} - \frac{z^2}{11.13^2} = 0 \quad [88]$$

$$0.0072 x^2 + 0.0072 y^2 - 0.0081 z^2 = 0 \quad [89]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [89] la ecuación de la pieza P5 es:

$$x^2 + y^2 - 1.13 z^2 = 0 \quad [90]$$

6. Transductor refractométrico óptico P6

	PIEZA P6. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 23.84 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0992.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} - \frac{z}{11.18} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P6 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P6.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
```

```
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=23.84')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=0.9;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*((b.*xe).^2);
plot (xe,y2)
```

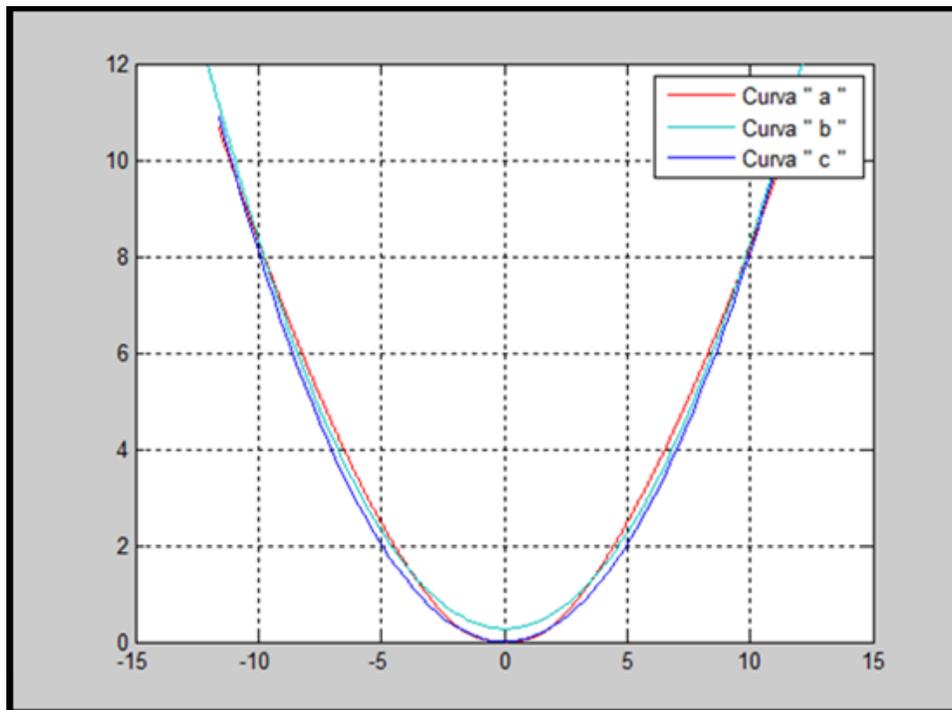


FIGURA 16. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 16 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuación de la Parábola} \quad [91]$$

Con la ecuación [91] se obtuvo la curva de la FIGURA 16 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 16:

$$b = 0.9 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 16, se obtiene:

$$y = 0.1 ((0.9) * x)^2 \quad ; \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [92]$$

Con la ecuación [92] de la Pieza P6 se establece que es un paraboloides.

CÓDIGO DE LA PIEZA P6 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P6.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
end

```

Comandos "for" agregados para la determinación del

```
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

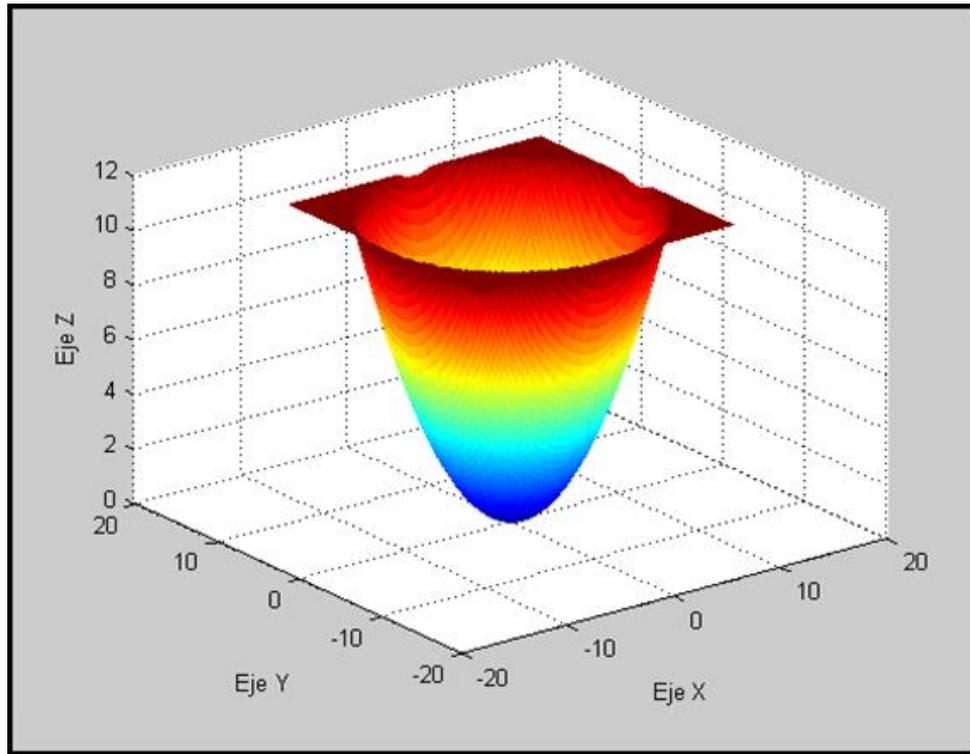


FIGURA 17. Pieza P6 en 3D.

Con la FIGURA 17 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [93]$$

Con la ecuación [93] se obtuvo la FIGURA 17 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} b &= 11.92 \\ a &= 11.92 \\ c &= \text{alto} = 11.18 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [93] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} \right) * (11.18) \quad [94]$$

La ecuación [94] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [95]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [95] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} - \frac{z}{11.18} = 0 \quad [96]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P6

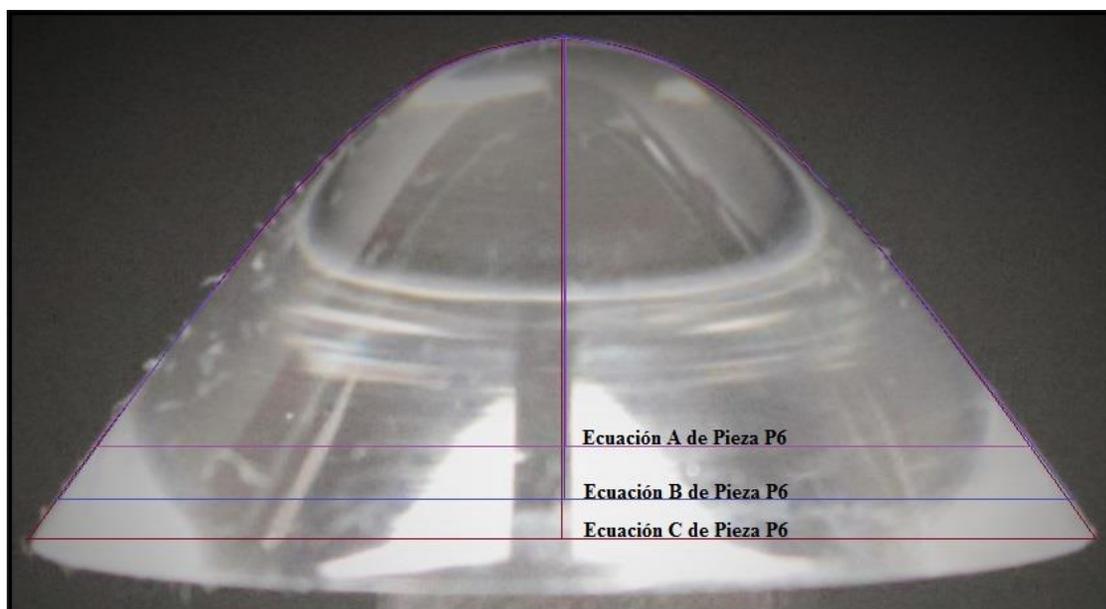


FIGURA 18. PIEZA P6 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P6 de la Figura 18

a=356 pixeles	d = 708 <i>pixeles</i> → 23.84 mm
b=356 pixeles	a = 356 <i>pixeles</i> → 11.99 mm
c=310 pixeles	b = 356 <i>pixeles</i> → 11.99 mm
d=708 pixeles	c = 310 <i>pixeles</i> → 10.44 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [97]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [97] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.99^2} + \frac{y^2}{11.99^2} - \frac{z^2}{10.44^2} = 0 \quad [98]$$

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 - 0.0092 z^2 = 0 \quad [99]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [99] la ecuación de la pieza P6 es:

$$x^2 + y^2 - 1.31 z^2 = 0 \quad [100]$$

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P6 de la Figura 18

a=383 pixeles	d = 766 <i>pixeles</i> → 23.84 mm
b=383 pixeles	a = 383 <i>pixeles</i> → 11.92 mm
c=350 pixeles	b = 383 <i>pixeles</i> → 11.92 mm
d=766 pixeles	c = 350 <i>pixeles</i> → 10.89 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [101]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [101] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} - \frac{z^2}{10.89^2} = 0 \quad [102]$$

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 - 0.0084 z^2 = 0 \quad [103]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [103] la ecuación de la pieza P6 es:

$$x^2 + y^2 - 1.2 z^2 = 0 \quad [104]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P6 de la Figura 18**

a=404 pixeles	$d = 808 \text{ pixeles} \rightarrow 23.84 \text{ mm}$
b=404 pixeles	$a = 404 \text{ pixeles} \rightarrow 11.92 \text{ mm}$
c=380 pixeles	$b = 404 \text{ pixeles} \rightarrow 11.92 \text{ mm}$
d=808 pixeles	$c = 380 \text{ pixeles} \rightarrow 11.21 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [105]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [105] se obtiene la siguiente formula:

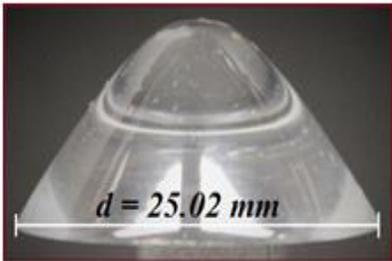
$$\frac{x^2}{11.92^2} + \frac{y^2}{11.92^2} - \frac{z^2}{11.21^2} = 0 \quad [106]$$

$$0.0070 x^2 + 0.0070 y^2 - 0.0080 z^2 = 0 \quad [107]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [107] la ecuación de la pieza P6 es:

$$x^2 + y^2 - 1.14 z^2 = 0 \quad [108]$$

7. Transductor refractométrico óptico P7

	PIEZA P7. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 25.02 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0988.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{12.51^2} + \frac{y^2}{12.51^2} - \frac{z}{12.22} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P7 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P7.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=25.02')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=0.869;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*((b.*xe).^2);
plot (xe,y2)

```

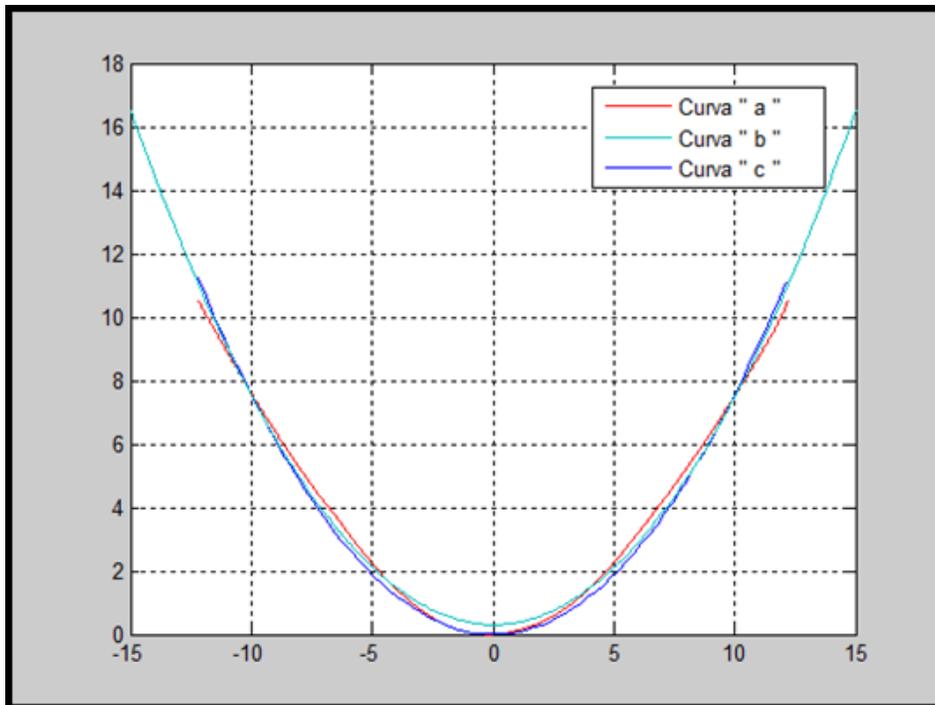


FIGURA 19. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 19 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola} \quad [109]$$

Con la ecuación [109] se obtuvo la curva de la FIGURA 19 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 19:

$$b = 0.869 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 19, se obtiene:

$$y = 0.1 ((0.869) * x)^2 \quad ; \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [110]$$

Con la ecuación [110] de la Pieza P7 se establece que es un paraboloide.

CÓDIGO DE LA PIEZA P7 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P7.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
    
```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

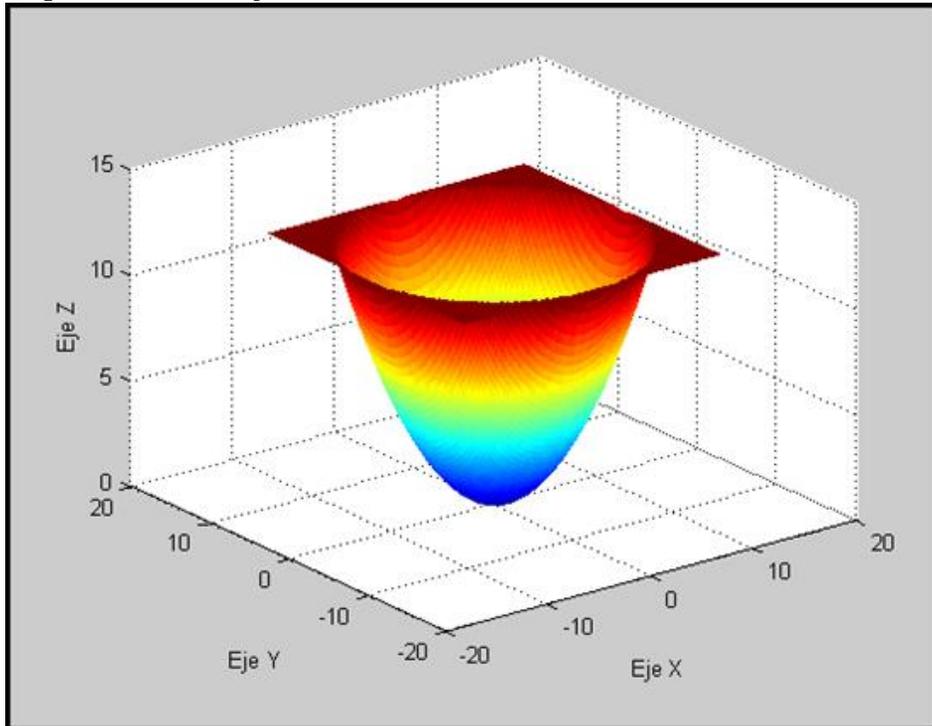


FIGURA 20. *Pieza P7 en 3D.*

Con la FIGURA 20 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloide [111]}$$

Con la ecuación [111] se obtuvo la FIGURA 20 y se usaron los siguientes valores:

$$b = 12.51$$

$$a = 12.51$$

$$c = \text{alto} = 12.22$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [111] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{12.51^2} + \frac{y^2}{12.51^2} \right) * (12.22) \quad [112]$$

La ecuación [112] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [113]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [113] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{12.51^2} + \frac{y^2}{12.51^2} - \frac{z}{12.22} = 0 \quad [114]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P7

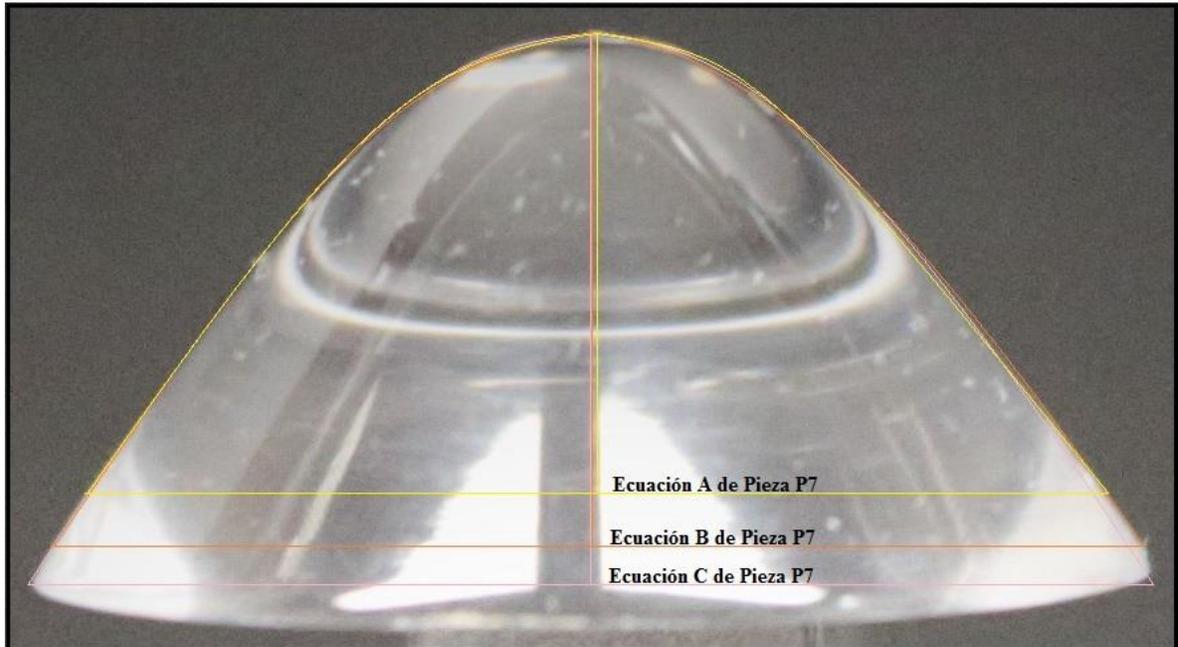


FIGURA 21. PIEZA P7 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P7 de la Figura 21**

a=385 pixeles	d = 768 <i>pixeles</i> → 25.02 mm
b=385 pixeles	a = 385 <i>pixeles</i> → 12.54 mm
c=347 pixeles	b = 385 <i>pixeles</i> → 12.54 mm
d=768 pixeles	c = 347 <i>pixeles</i> → 11.30 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [115]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [115] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{12.54^2} + \frac{y^2}{12.54^2} - \frac{z^2}{11.30^2} = 0 \quad [116]$$

$$0.0064 x^2 + 0.0064 y^2 - 0.0078 z^2 = 0 \quad [117]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [117] la ecuación de la pieza P7 es:

$$x^2 + y^2 - 1.22 z^2 = 0 \quad [118]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P7 de la Figura 21**

a=408 pixeles	$d = 825 \text{ pixeles} \rightarrow 25.02 \text{ mm}$
b=408 pixeles	$a = 408 \text{ pixeles} \rightarrow 12.37 \text{ mm}$
c=386 pixeles	$b = 408 \text{ pixeles} \rightarrow 12.37 \text{ mm}$
d=825 pixeles	$c = 386 \text{ pixeles} \rightarrow 11.71 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [119]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [119] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{12.37^2} + \frac{y^2}{12.37^2} - \frac{z^2}{11.71^2} = 0 \quad [120]$$

$$0.0065 x^2 + 0.0065 y^2 - 0.0073 z^2 = 0 \quad [121]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [121] la ecuación de la pieza P7 es:

$$x^2 + y^2 - 1.12 z^2 = 0 \quad [122]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P7 de la Figura 21**

a=424 pixeles	$d = 849 \text{ pixeles} \rightarrow 25.02 \text{ mm}$
b=424 pixeles	$a = 424 \text{ pixeles} \rightarrow 12.50 \text{ mm}$
c=416 pixeles	$b = 424 \text{ pixeles} \rightarrow 12.50 \text{ mm}$
d=849 pixeles	$c = 416 \text{ pixeles} \rightarrow 12.26 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [123]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [123] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{12.50^2} + \frac{y^2}{12.50^2} - \frac{z^2}{12.26^2} = 0 \quad [124]$$

$$0.0064 x^2 + 0.0064 y^2 - 0.0067 z^2 = 0 \quad [125]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [125] la ecuación de la pieza P7 es:

$$x^2 + y^2 - 1.05 z^2 = 0 \quad [126]$$

8. Transductor refractométrico óptico P8

	PIEZA P8. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 25.05 \text{ mm}$
	FOTO: 
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{12.52^2} + \frac{y^2}{12.52^2} - \frac{z}{12.29} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P8 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P8.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
```

```
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=25.05')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=0.9005;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*((b.*xe).^2);
plot (xe,y2)
```

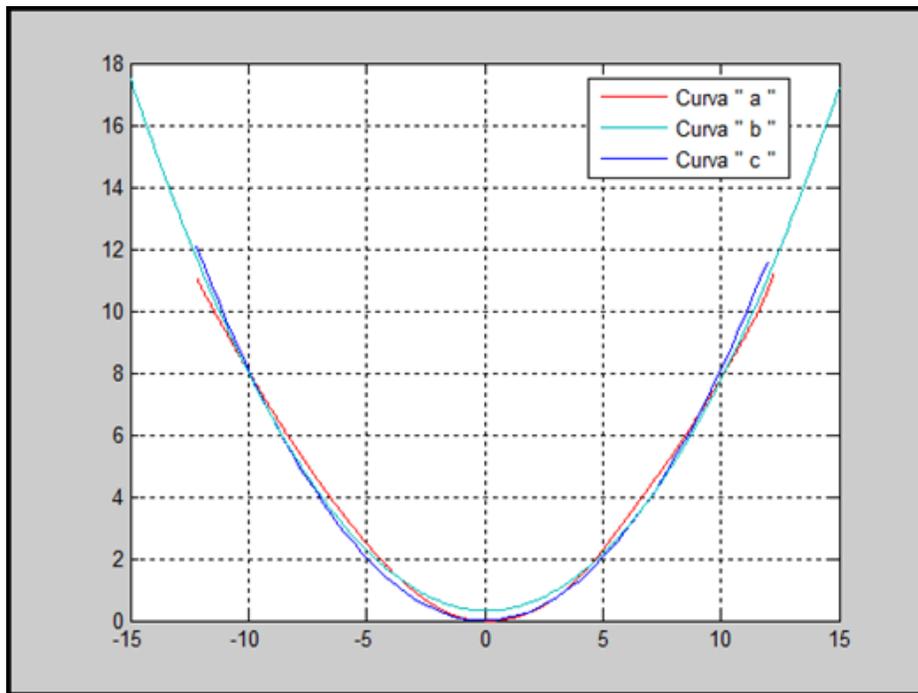


FIGURA 22. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 22 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola} \quad [127]$$

Con la ecuación [127] se obtuvo la curva de la FIGURA 22 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 22:

$$b = 0.9005 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 22, se obtiene:

$$y = 0.1 ((0.9005) * x)^2 \quad ; \quad -15 \leq x \leq 15 \quad [128]$$

Con la ecuación [128] de la Pieza P8 se establece que es un paraboloides.

CÓDIGO DE LA PIEZA P8 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P8.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
end

```

Comandos "for"
 agregados para la
 determinación del

```
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
```

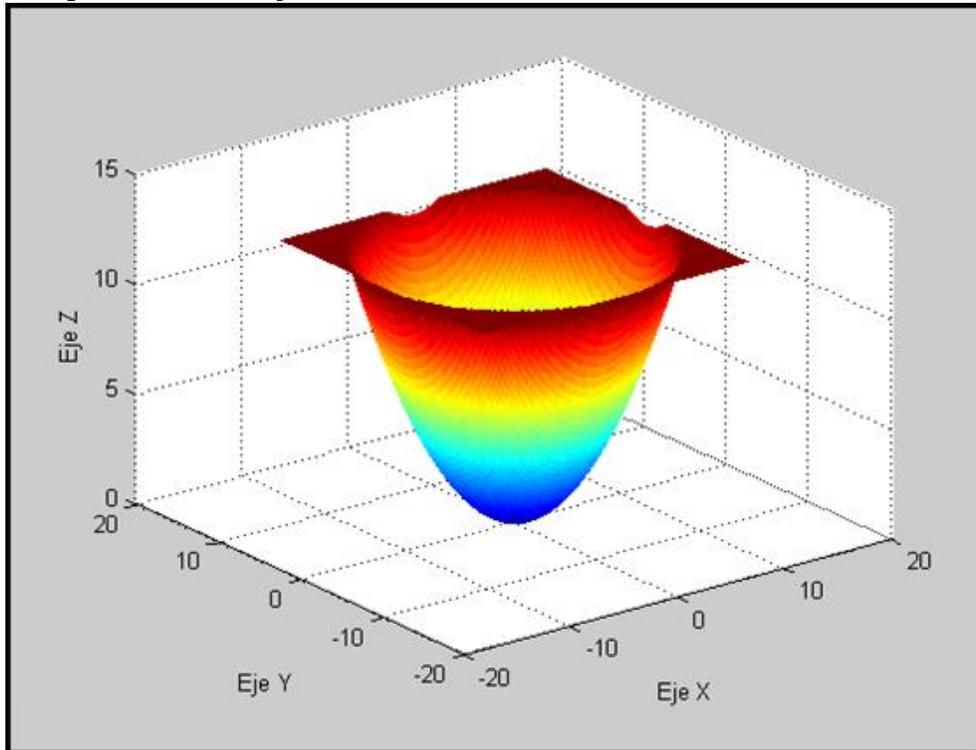


FIGURA 23. *Pieza P8 en 3D.*

Con la FIGURA 23 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [129]$$

Con la ecuación [129] se obtuvo la FIGURA 23 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} b &= 12.52 \\ a &= 12.52 \\ c &= \text{alto} = 12.29 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [129] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{12.52^2} + \frac{y^2}{12.52^2} \right) * (12.29) \quad [130]$$

La ecuación [130] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [131]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [131] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{12.52^2} + \frac{y^2}{12.52^2} - \frac{z}{12.29} = 0 \quad [132]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P8

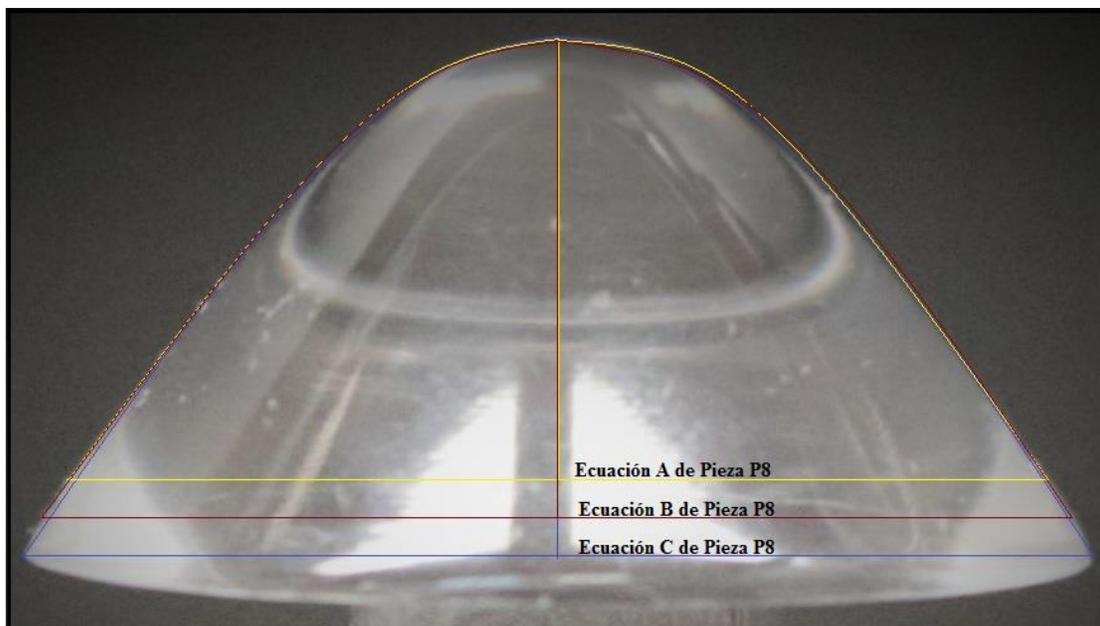


FIGURA 24. PIEZA P8 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P8 de la Figura 24

a=386 pixeles	$d = 769 \text{ pixeles} \rightarrow 25.05 \text{ mm}$
b=386 pixeles	$a = 386 \text{ pixeles} \rightarrow 12.57 \text{ mm}$
c=347 pixeles	$b = 386 \text{ pixeles} \rightarrow 12.57 \text{ mm}$
d=769 pixeles	$c = 347 \text{ pixeles} \rightarrow 11.30 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [133]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [133] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{12.57^2} + \frac{y^2}{12.57^2} - \frac{z^2}{11.30^2} = 0 \quad [134]$$

$$0.0063 x^2 + 0.0063 y^2 - 0.0078 z^2 = 0 \quad [135]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [135] la ecuación de la pieza P8 es:

$$x^2 + y^2 - 1.24 z^2 = 0 \quad [136]$$

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P7 de la Figura 24

a=408 pixeles	$d = 811 \text{ pixeles} \rightarrow 25.05 \text{ mm}$
b=408 pixeles	$a = 408 \text{ pixeles} \rightarrow 12.60 \text{ mm}$
c=376 pixeles	$b = 408 \text{ pixeles} \rightarrow 12.60 \text{ mm}$
d=811 pixeles	$c = 376 \text{ pixeles} \rightarrow 11.61 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [137]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [137] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{12.60^2} + \frac{y^2}{12.60^2} - \frac{z^2}{11.61^2} = 0 \quad [138]$$

$$0.0063 x^2 + 0.0063 y^2 - 0.0074 z^2 = 0 \quad [139]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [139] la ecuación de la pieza P8 es:

$$x^2 + y^2 - 1.18 z^2 = 0 \quad [140]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P7 de la Figura 24**

a=423 pixeles	d = 846 <i>pixeles</i> → 25.05 mm
b=423 pixeles	a = 423 <i>pixeles</i> → 12.53 mm
c=409 pixeles	b = 423 <i>pixeles</i> → 12.53 mm
d=846 pixeles	c = 409 <i>pixeles</i> → 12.11 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [141]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [141] se obtiene la siguiente formula:

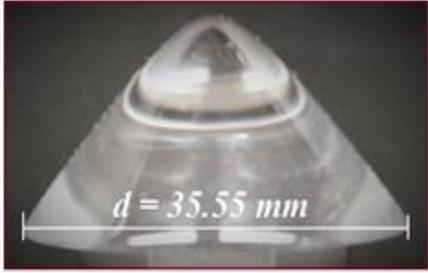
$$\frac{x^2}{12.53^2} + \frac{y^2}{12.53^2} - \frac{z^2}{12.11^2} = 0 \quad [142]$$

$$0.0064 x^2 + 0.0064 y^2 - 0.0068 z^2 = 0 \quad [143]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [143] la ecuación de la pieza P8 es:

$$x^2 + y^2 - 1.06 z^2 = 0 \quad [144]$$

9. Transductor refractométrico óptico P9

	PIEZA P9. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 35.55 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0975.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{17.77^2} + \frac{y^2}{17.77^2} - \frac{z}{17.28} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P9 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P9.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=35.55')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=0.90009;% eje vertical
a=.1;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*((b.*xe).^2);
plot (xe,y2)

```

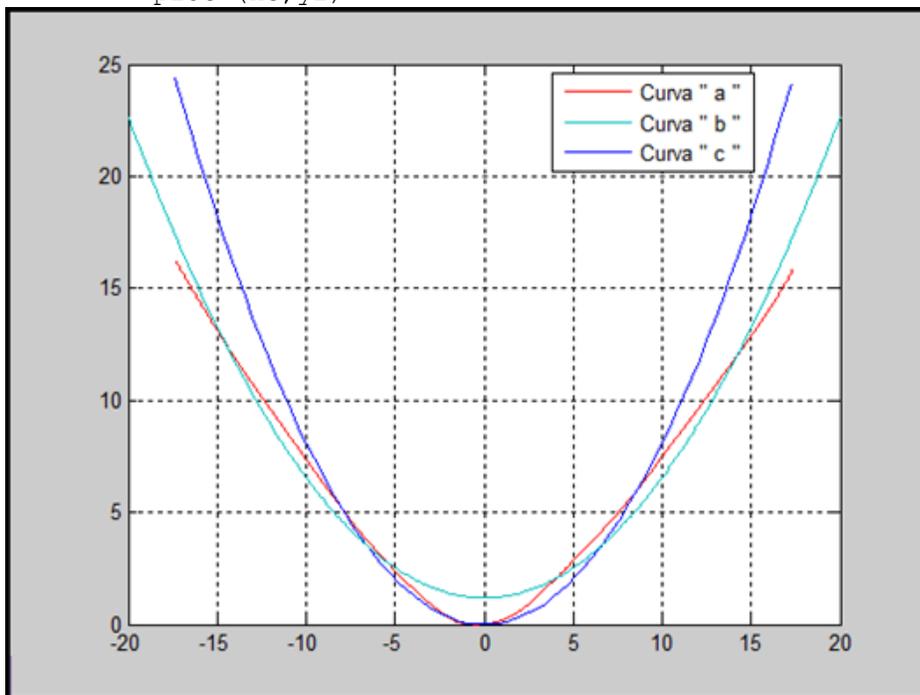


FIGURA 25. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 25 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola} \quad [145]$$

Con la ecuación [145] se obtuvo la curva de la FIGURA 25 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 25:

$$b = 0.90009 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.1 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 25, se obtiene:

$$y = 0.1 ((0.90009) * x)^2 \quad ; \quad -20 \leq x \leq 20 \quad [146]$$

Con la ecuación [146] de la Pieza P9 se establece que es un paraboloide.

CÓDIGO DE LA PIEZA P9 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P9.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
    
```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

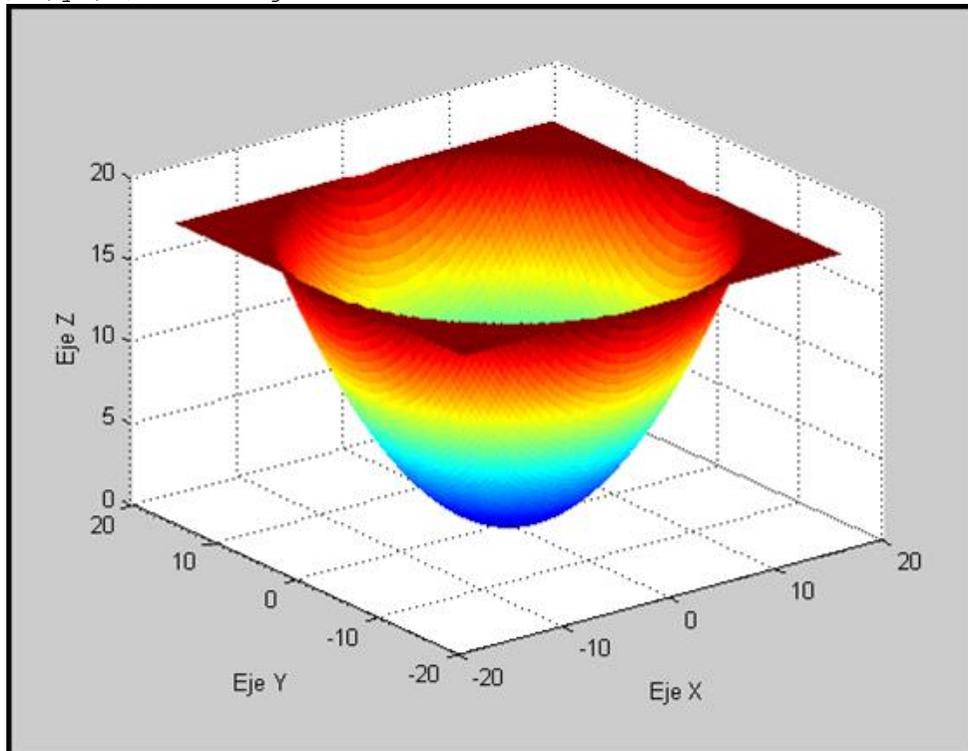


FIGURA 26. *Pieza P9 en 3D.*

Con la FIGURA 26 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [147]$$

Con la ecuación [147] se obtuvo la FIGURA 26 y se usaron los siguientes valores:

$$b = 17.77$$

$$a = 17.77$$

$$c = \text{alto} = 17.28$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [147] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{17.77^2} + \frac{y^2}{17.77^2} \right) * (17.28) \quad [148]$$

La ecuación [148] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [149]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [149] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{17.77^2} + \frac{y^2}{17.77^2} - \frac{z}{17.28} = 0 \quad [150]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P9

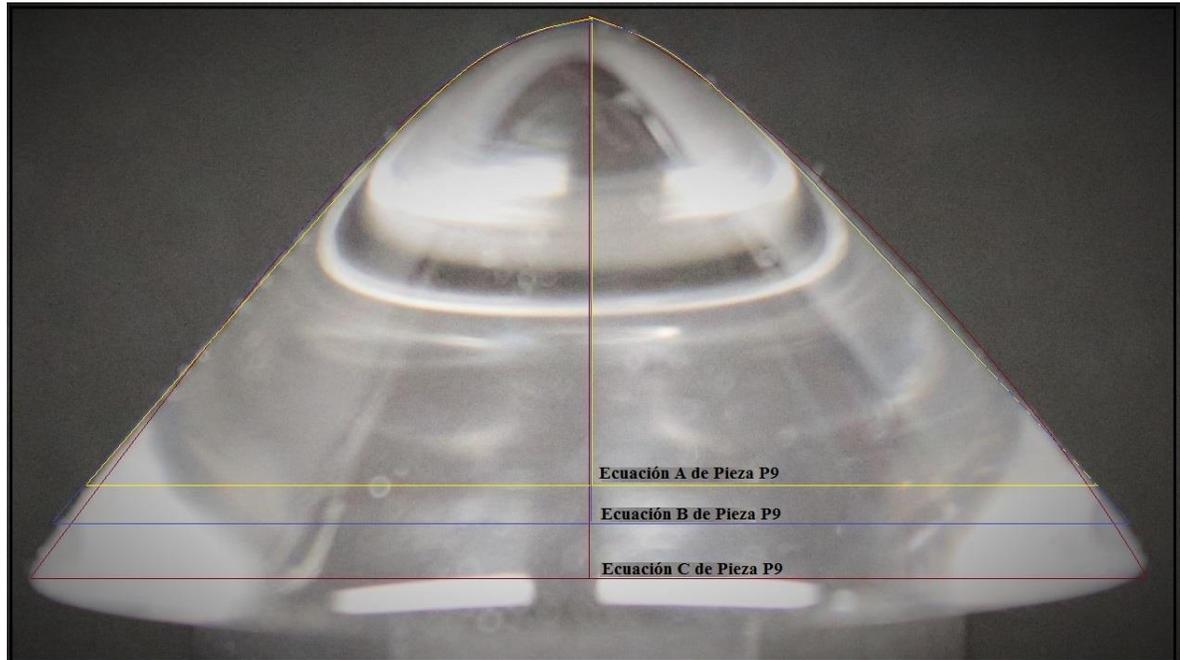


FIGURA 27. PIEZA P9 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P9 de la Figura 27**

a=544 pixeles	d = 1084 <i>pixeles</i> → 35.55 mm
b=544 pixeles	a = 544 <i>pixeles</i> → 17.84 mm
c=500 pixeles	b = 544 <i>pixeles</i> → 17.84 mm
d=1084 pixeles	c = 500 <i>pixeles</i> → 16.40 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [151]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [151] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.84^2} + \frac{y^2}{17.84^2} - \frac{z^2}{16.40^2} = 0 \quad [152]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0037 z^2 = 0 \quad [153]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [153] la ecuación de la pieza P9 es:

$$x^2 + y^2 - 1.19 z^2 = 0 \quad [154]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P9 de la Figura 27**

a=582 pixeles	$d = 1156 \text{ pixeles} \rightarrow 35.55 \text{ mm}$
b=582 pixeles	$a = 582 \text{ pixeles} \rightarrow 17.90 \text{ mm}$
c=540 pixeles	$b = 582 \text{ pixeles} \rightarrow 17.90 \text{ mm}$
d=1156 pixeles	$c = 540 \text{ pixeles} \rightarrow 16.61 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [155]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [155] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.90^2} + \frac{y^2}{17.90^2} - \frac{z^2}{16.61^2} = 0 \quad [156]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0036 z^2 = 0 \quad [157]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [157] la ecuación de la pieza P9 es:

$$x^2 + y^2 - 1.18 z^2 = 0 \quad [158]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P9 de la Figura 27**

a=610 pixeles	$d = 1224 \text{ pixeles} \rightarrow 35.55 \text{ mm}$
b=610 pixeles	$a = 610 \text{ pixeles} \rightarrow 17.86 \text{ mm}$
c=598 pixeles	$b = 610 \text{ pixeles} \rightarrow 17.86 \text{ mm}$
d=1224 pixeles	$c = 598 \text{ pixeles} \rightarrow 17.51 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [159]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [159] se obtiene la siguiente formula:

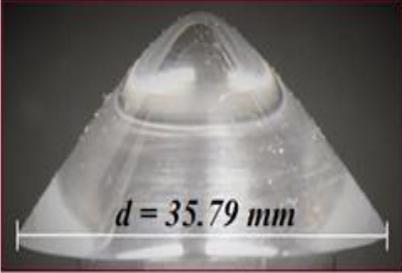
$$\frac{x^2}{17.86^2} + \frac{y^2}{17.86^2} - \frac{z^2}{17.51^2} = 0 \quad [160]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0033 z^2 = 0 \quad [161]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [161] la ecuación de la pieza P9 es:

$$x^2 + y^2 - 1.07 z^2 = 0 \quad [162]$$

10. Transductor refractométrico óptico P10

	PIEZA P10. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 35.79 \text{ mm}$
	FOTO: 
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{17.89^2} + \frac{y^2}{17.89^2} - \frac{z}{17.47} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P10 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P10.

`% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D`

```
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=35.79')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=10;% eje vertical
a=.00051;% eje horizontal
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*(b.*xe).^2;
plot(xe,y2)
```

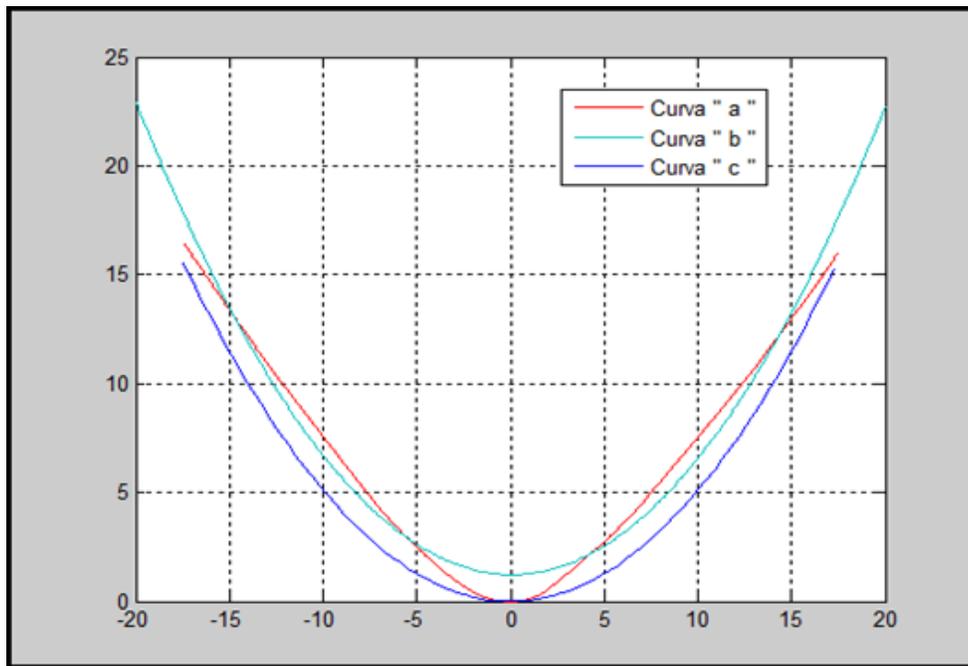


FIGURA 28. CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:
a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.
b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.
OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.

De la FIGURA 28 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola [163]}$$

Con la ecuación [163] se obtuvo la curva de la FIGURA 28 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 28:

$$b = 10 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.00051 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 28, se obtiene:

$$y = 0.00051 ((10) * x)^2 ; -20 \leq x \leq 20 \quad [164]$$

Con la ecuación [164] de la Pieza P10 se establece que es un paraboloides.

CÓDIGO DE LA PIEZA P10 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P10.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat

```

Comandos "for"
 agregados para la
 determinación del

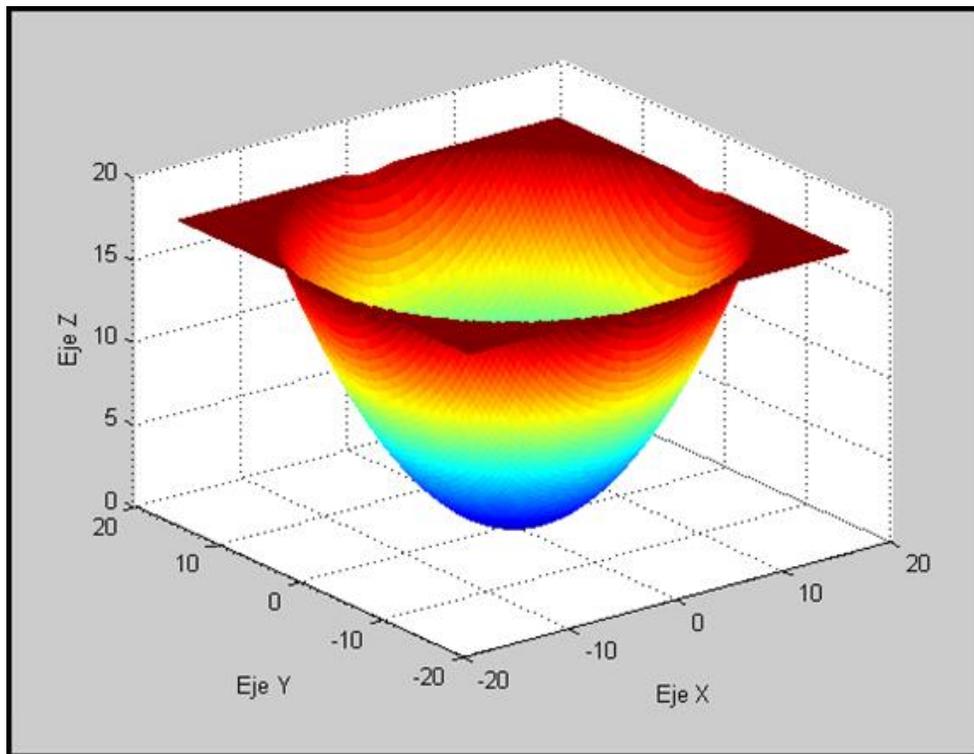


FIGURA 29. *Pieza P10 en 3D.*

Con la FIGURA 29 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [165]$$

Con la ecuación [165] se obtuvo la FIGURA 29 y se usaron los siguientes valores:

$$\begin{aligned} b &= 17.89 \\ a &= 17.89 \\ c &= \text{alto} = 17.47 \end{aligned}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [165] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{17.89^2} + \frac{y^2}{17.89^2} \right) * (17.47) \quad [166]$$

La ecuación [166] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [167]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [167] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{17.89^2} + \frac{y^2}{17.89^2} - \frac{z}{17.47} = 0 \quad [168]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P10

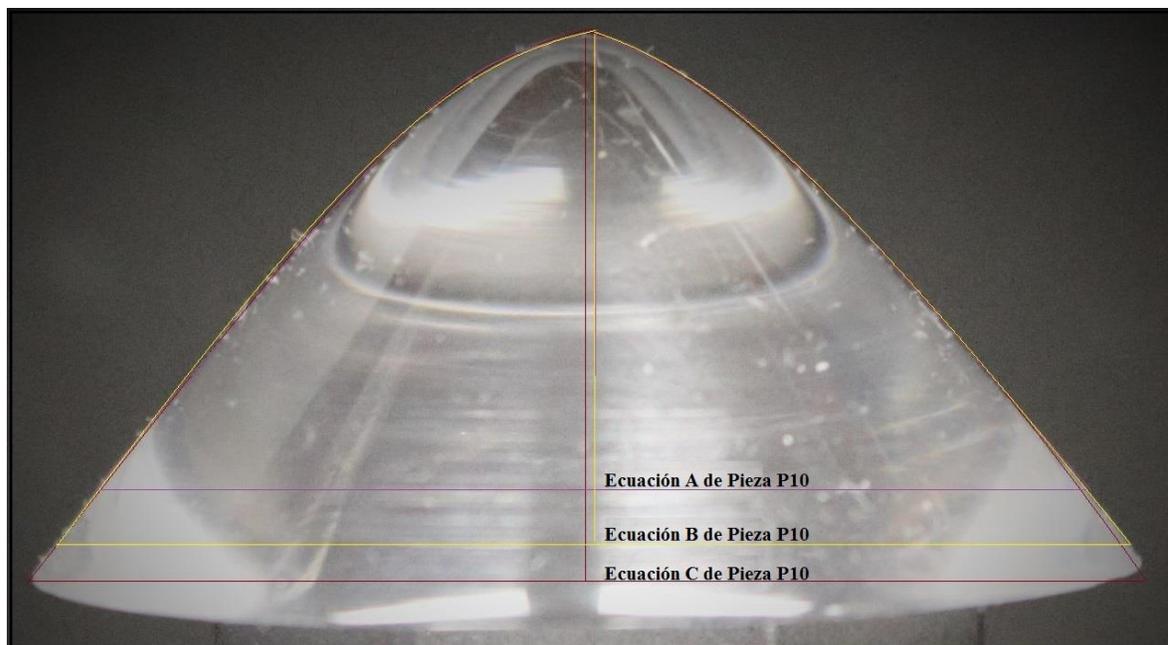


FIGURA 30. PIEZA P10 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P10 de la Figura 30**

a=531 pixeles	$d = 1078 \text{ pixeles} \rightarrow 35.79 \text{ mm}$
b=531 pixeles	$a = 531 \text{ pixeles} \rightarrow 17.63 \text{ mm}$
c=498 pixeles	$b = 531 \text{ pixeles} \rightarrow 17.63 \text{ mm}$
d=1078 pixeles	$c = 498 \text{ pixeles} \rightarrow 16.53 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [169]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [169] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.63^2} + \frac{y^2}{17.63^2} - \frac{z^2}{16.53^2} = 0 \quad [170]$$

$$0.0032 x^2 + 0.0032 y^2 - 0.0037 z^2 = 0 \quad [171]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [171] la ecuación de la pieza P10 es:

$$x^2 + y^2 - 1.16 z^2 = 0 \quad [172]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P10 de la Figura 30**

a=590 pixeles	$d = 1176 \text{ pixeles} \rightarrow 35.79 \text{ mm}$
b=590 pixeles	$a = 590 \text{ pixeles} \rightarrow 17.96 \text{ mm}$
c=560 pixeles	$b = 590 \text{ pixeles} \rightarrow 17.96 \text{ mm}$
d=1176 pixeles	$c = 560 \text{ pixeles} \rightarrow 17.04 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [173]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [173] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.96^2} + \frac{y^2}{17.96^2} - \frac{z^2}{17.04^2} = 0 \quad [174]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0034 z^2 = 0 \quad [175]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [175] la ecuación de la pieza P10 es:

$$x^2 + y^2 - 1.1 z^2 = 0 \quad [176]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P10 de la Figura 30**

a=608 pixeles	d = 1222 <i>pixeles</i> → 35.79 mm
b=608 pixeles	a = 608 <i>pixeles</i> → 17.81 mm
c=600 pixeles	b = 608 <i>pixeles</i> → 17.81 mm
d=1222 pixeles	c = 600 <i>pixeles</i> → 17.57 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloide:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [177]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [177] se obtiene la siguiente formula:

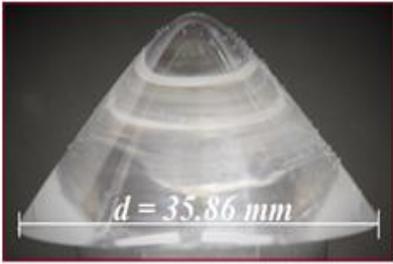
$$\frac{x^2}{17.81^2} + \frac{y^2}{17.81^2} - \frac{z^2}{17.57^2} = 0 \quad [178]$$

$$0.0032 x^2 + 0.0032 y^2 - 0.0032 z^2 = 0 \quad [179]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [179] la ecuación de la pieza P10 es:

$$x^2 + y^2 - z^2 = 0 \quad [180]$$

11. Transductor refractométrico óptico P11

	PIEZA P11. PARABOLOIDE
	DIÁMETRO: $d = 35.86 \text{ mm}$
	FOTO: IMG_0981.JPG
	ECUACIÓN: $\frac{x^2}{17.93^2} + \frac{y^2}{17.93^2} - \frac{z}{17.42} = 0$

CÓDIGO DE LA PIEZA P6 EN 2D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P6.

```
% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 2D
```

```
XMAX=x(length(x));
XMIN=x(1);
lonX= (XMAX-XMIN)/2;
difX= (XMAX-lonX);
x= x-difX;
figure(1)
plot(x,y)
title('d=35.86')
figure(2)
plot(x,y,'r')
grid on
hold on
b=2.5;% eje vertical-2.5
a=0.01;% eje horizontal-0.01
xe= x(1):difX:x(length(x));
y2= a*(b.*xe).^2;
plot(xe,y2)
```

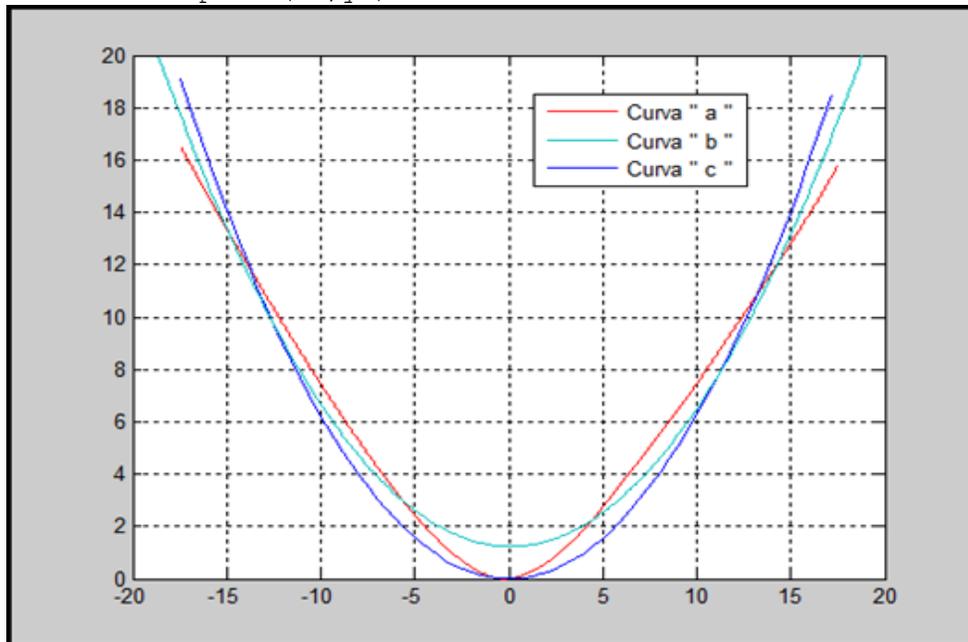


FIGURA 31. **CONTORNOS DEL TRANSDUCTOR:**

- a) OBTENIDO MEDIANTE DIGITALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍA.**
- b) OBTENIDO MEDIANTE COMANDO POR DEFECTO DE MATLAB.**
- OBTENIDO MEDIANTE UN PROGRAMA DE MATLAB.**

De la FIGURA 31 se determinó la siguiente ecuación:

$$y = a (bx)^2 \rightarrow \text{Ecuacion de la Parabola [181]}$$

Con la ecuación [181] se obtuvo la curva de la FIGURA 31 (b) y es para una elipse se utilizaron los siguientes valores para la determinación de la curva (b) de la FIGURA 31:

$$b = 2.5 \rightarrow \text{Eje Vertical}$$

$$a = 0.01 \rightarrow \text{Eje Horizontal}$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa para la determinación de la FIGURA 31, se obtiene:

$$y = 0.01 ((2.5) * x)^2 \quad ; \quad -20 \leq x \leq 20 \quad [182]$$

Con la ecuación [182] de la Pieza P11 se establece que es un paraboloides.

CÓDIGO DE LA PIEZA P11 EN 3D

A continuación se presenta únicamente el bloque del código correspondiente a la descripción de la Pieza P11.

```

% CODIGO PARA LA GRAFICA DE LA PIEZA EN 3D
[xz,yz]= meshgrid (-XMAX:difX:XMAX);
az=XMAX;
bz=XMAX;
z= (((xz.^2)/(az^2))+((yz.^2)/(bz^2))).*alto;
tamaz=size(z);
for m=1:tamaz(1,1)
    for j=1:tamaz(1,2)
        if z(m,j)>=alto
            z(m,j)=alto;
        end
    end
end
figure(3)
surf (xz,yz,z); shading flat
    
```

Comandos "for"
agregados para la
determinación del

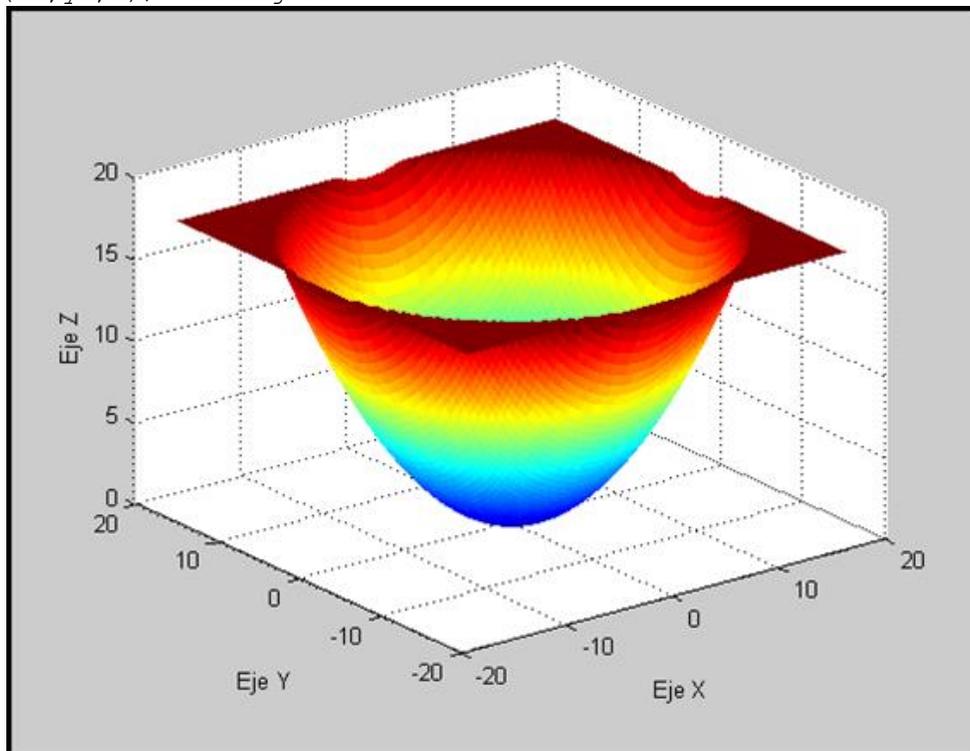


FIGURA 32. *Pieza P11 en 3D.*

Con la FIGURA 32 se establece la siguiente ecuación:

$$z = \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) * c \rightarrow \text{Ecuacion de la Paraboloides} \quad [183]$$

Con la ecuación [183] se obtuvo la FIGURA 32 y se usaron los siguientes valores:

$$b = 17.93$$

$$a = 17.93$$

$$c = \text{alto} = 17.42$$

Al sustituir los valores obtenidos en el programa la ecuación [183] queda expresada de la siguiente manera:

$$z = \left(\frac{x^2}{17839^2} + \frac{y^2}{17.93^2} \right) * (17.42) \quad [184]$$

La ecuación [184] queda expresada en su forma canónica como:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z}{c} = 0 \quad [185]$$

Finalmente al sustituir los valores en la ecuación [185] se obtiene lo siguiente:

$$\frac{x^2}{17.93^2} + \frac{y^2}{17.93^2} - \frac{z}{17.42} = 0 \quad [186]$$

PROCEDIMIENTO REALIZADO EN PAINT DE LA PIEZA P11

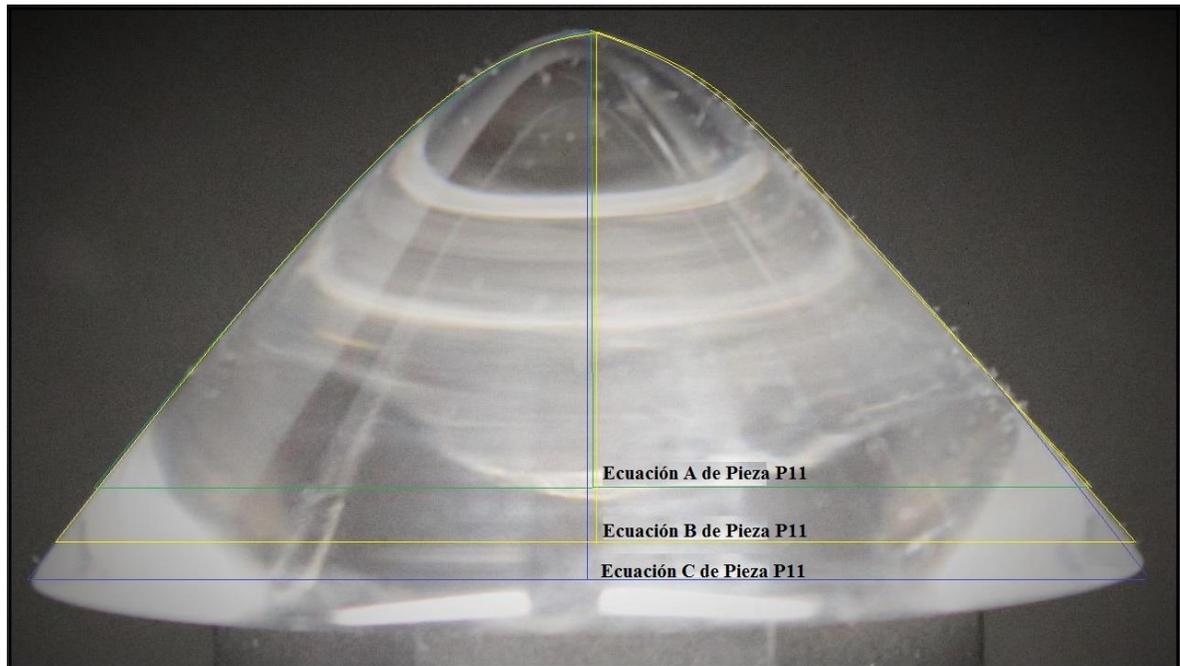


FIGURA 33. PIEZA P11 Y SUS TRAZOS PARA LAS ECUACIONES.

➤ Fórmulas y valores para la Ecuación A de Pieza P11 de la Figura 33

a=545 pixeles	d = 1089 <i>pixeles</i> → 35.86 mm
b=545 pixeles	a = 545 <i>pixeles</i> → 17.95 mm
c=497 pixeles	b = 545 <i>pixeles</i> → 17.95 mm
d=1089 pixeles	c = 497 <i>pixeles</i> → 16.37 mm

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [187]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [187] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.95^2} + \frac{y^2}{17.95^2} - \frac{z^2}{16.37^2} = 0 \quad [188]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0037 z^2 = 0 \quad [189]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [189] la ecuación de la pieza P11 es:

$$x^2 + y^2 - 1.19 z^2 = 0 \quad [190]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación B de Pieza P11 de la Figura 33**

a=590 pixeles	$d = 1180 \text{ pixeles} \rightarrow 35.86 \text{ mm}$
b=590 pixeles	$a = 590 \text{ pixeles} \rightarrow 17.93 \text{ mm}$
c=556 pixeles	$b = 590 \text{ pixeles} \rightarrow 17.93 \text{ mm}$
d=1180 pixeles	$c = 556 \text{ pixeles} \rightarrow 16.90 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [191]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [191] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.93^2} + \frac{y^2}{17.93^2} - \frac{z^2}{16.90^2} = 0 \quad [192]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0035 z^2 = 0 \quad [193]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [193] la ecuación de la pieza P11 es:

$$x^2 + y^2 - 1.13 z^2 = 0 \quad [194]$$

➤ **Fórmulas y valores para la Ecuación C de Pieza P11 de la Figura 33**

a=610 pixeles	$d = 1222 \text{ pixeles} \rightarrow 35.86 \text{ mm}$
b=610 pixeles	$a = 610 \text{ pixeles} \rightarrow 17.90 \text{ mm}$
c=600 pixeles	$b = 610 \text{ pixeles} \rightarrow 17.90 \text{ mm}$
d=1222 pixeles	$c = 600 \text{ pixeles} \rightarrow 17.61 \text{ mm}$

La siguiente formula es la expresión canónica para una ecuación de un paraboloides:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0 \quad [195]$$

Al sustituir los valores en la ecuación [195] se obtiene la siguiente formula:

$$\frac{x^2}{17.90^2} + \frac{y^2}{17.90^2} - \frac{z^2}{17.61^2} = 0 \quad [196]$$

$$0.0031 x^2 + 0.0031 y^2 - 0.0032 z^2 = 0 \quad [197]$$

Al realizar una simplificación de la ecuación [197] la ecuación de la pieza P11 es:

$$x^2 + y^2 - 1.03 z^2 = 0 \quad [198]$$

ANEXO C

EXPLICACION DETALLADA DE LA SUSTRACCION DE DOS ELEMENTOS

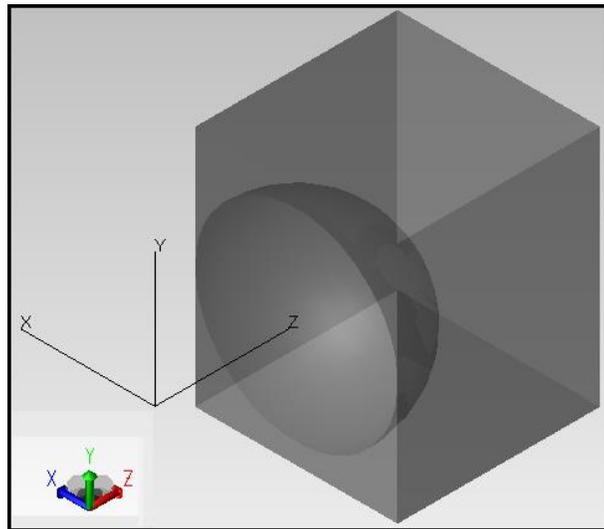


FIGURA 1. PIEZA TERMINADA DE DOS PIEZAS EN UNA.

Para llevar a cabo el desarrollo detallado de la sustracción de dos elementos, tome como referencia lo escrito en el reporte de TracePro de la prueba 3, sin embargo solo tomare la pieza que viene en la Figura 1. La unión de las dos piezas (media esfera y cubo como se muestra en la Figura 1). En la barra de herramientas se selecciona: Geometría -> Sólido Primitivo.

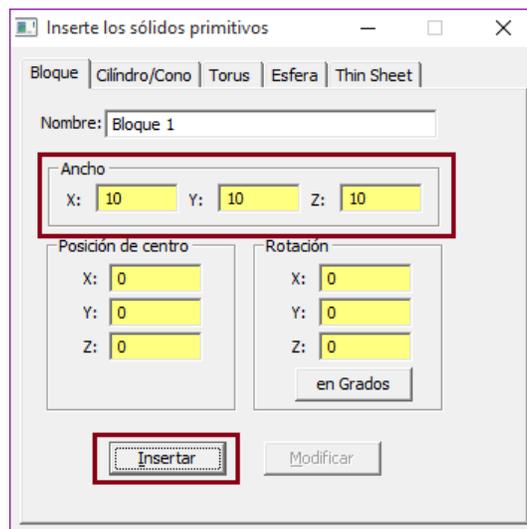


FIGURA 2. ESPECIFICACIONES PARA EL SÓLIDO PRIMITIVO.

En la Figura 2, se observan las características que tiene el bloque que se desea insertar, además de que como se observa en los recuadros rojos, se modifican las dimensiones que se requiere tenga el cubo, para este caso fue de 10 en cada eje, como se requiere que el cubo se encuentre centrado en el origen para mayor facilidad, las posiciones y la rotación

las mantenemos en 0, después se presiona el botón “Insertar”, lo cual queda de la siguiente manera.

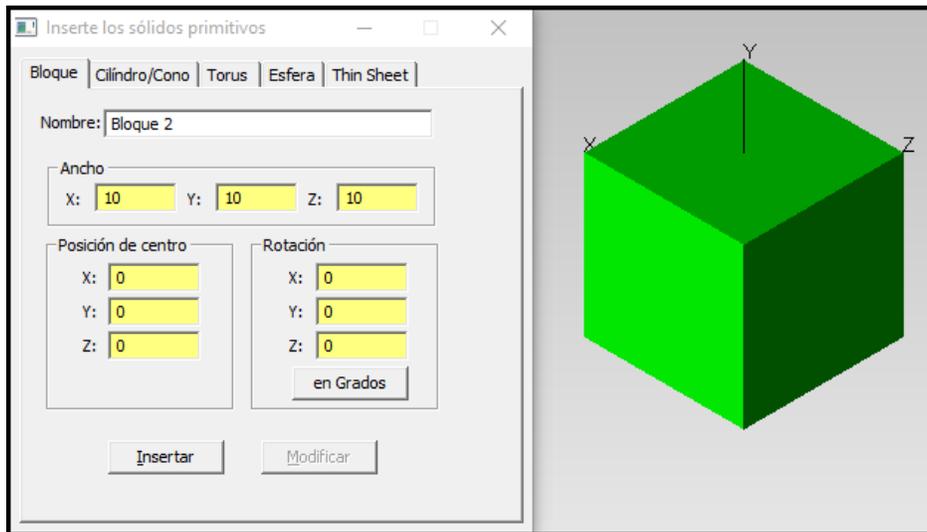


FIGURA 3. IMAGEN DEL SÓLIDO CREADO.

Sin cerrar la ventana del solido se desplaza a la pestaña “Esfera”, y las únicas cantidades que se modificaran son el Radio con “5” y posición en “Z” con “5”.

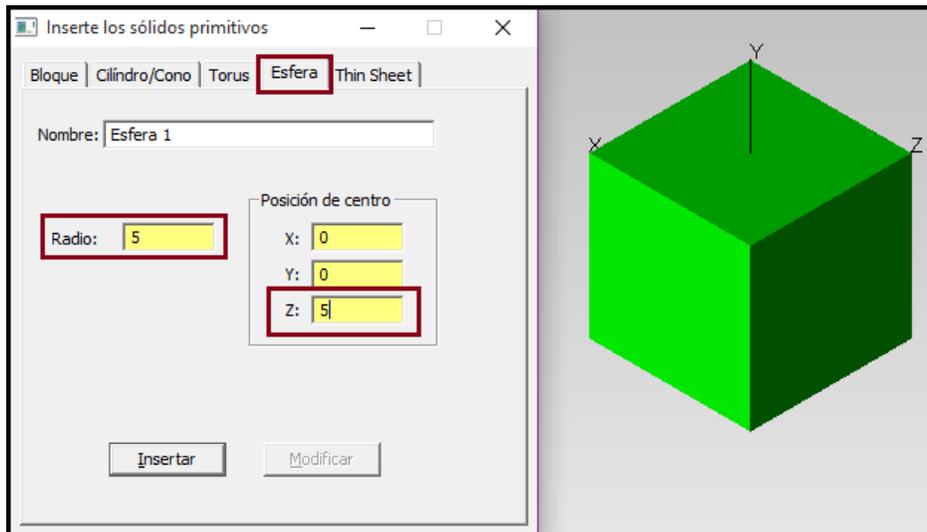


FIGURA 4. MODIFICACIONES DE CANTIDADES PARA LA ESFERA.

Con las cantidades que se tiene en la Figura 4, cabe mencionar que se movió de la posición del centro debido a que se requiere que la esfera solo una mitad se encuentre oculta con la mitad del bloque, como se muestra a continuación.

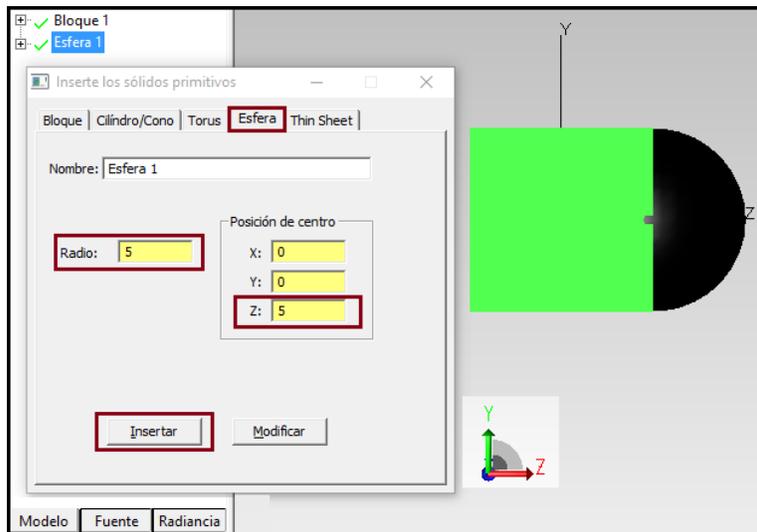


FIGURA 5. IMAGEN DE LA ESFERA.

En la Figura 5 se muestran las dos piezas que se tienen, se procederá a cambiar el material y el índice de refracción del bloque 1. Seleccionar “Bloque 1”-> click derecho -> Propiedades.

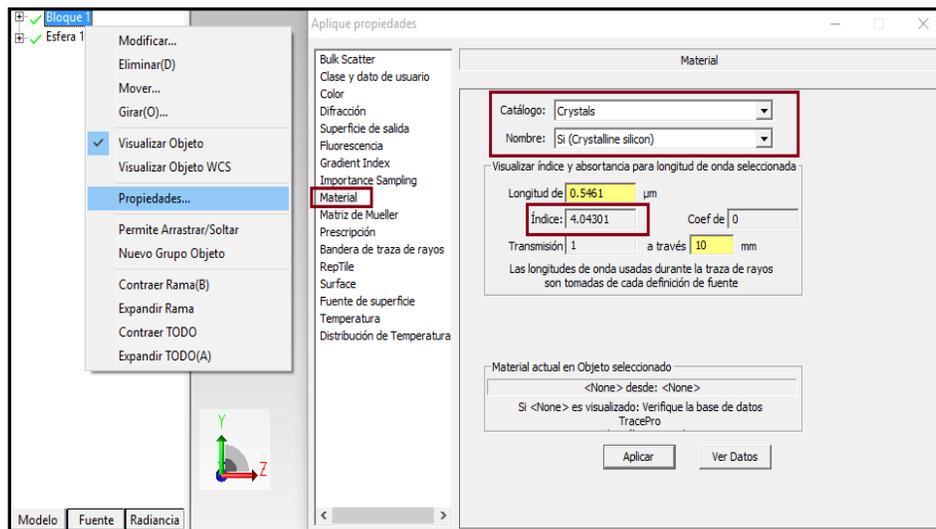


FIGURA 6. INSTRUCCIONES PARA MODIFICACIÓN DE MATERIAL EN BLOQUE 1.

Como se muestra en la Figura 6, en la sección Catálogo y en la de Nombre se despliegan diferentes opciones, en este caso se eligieron al azar para cada uno. Ahora se cambiará el material y el índice de refracción de la Esfera 1. Se selecciona “Esfera 1”-> click derecho -> Propiedades.

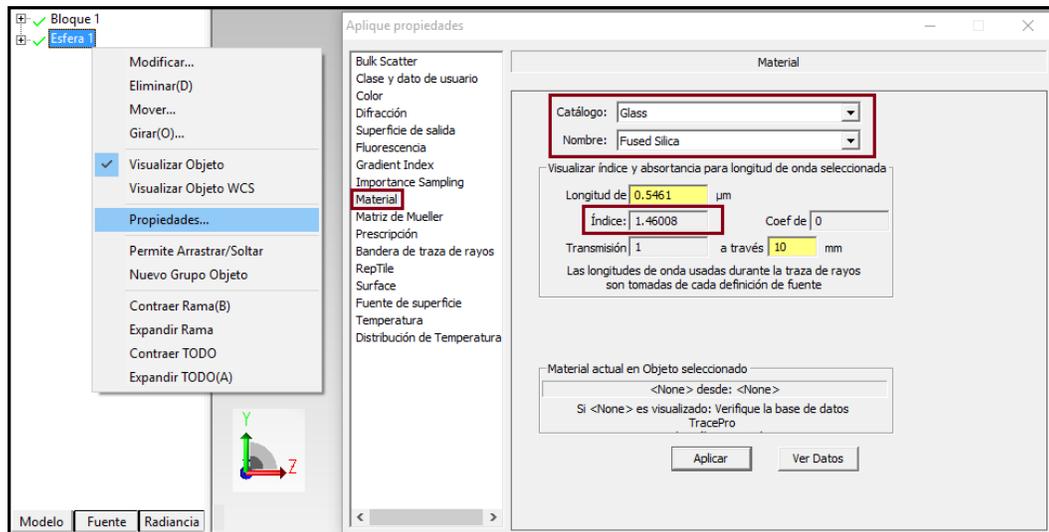


FIGURA 7. INSTRUCCIONES PARA MODIFICACIÓN DE MATERIAL EN ESFERA 1.

Una vez modificados los materiales de cada pieza, así como sus índices de refracción respectivos. Lo primero que se hará es seleccionar ambos elementos.

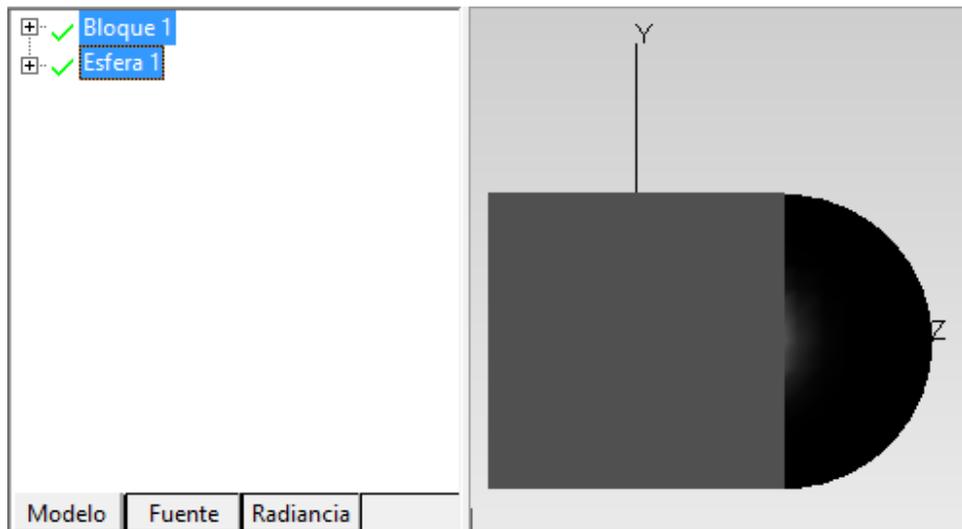


FIGURA 8. SELECCIÓN DE LAS DOS PIEZAS.

Ahora otra de las opciones que se pueden modificar es el color de cada pieza, con el color predeterminado o bien se encuentra la opción de Transparencia del Objeto el cual sirve para poder observar lo que pasa en el interior de cada pieza. Se selecciona "Bloque 1"-> click derecho -> Propiedades->Color.

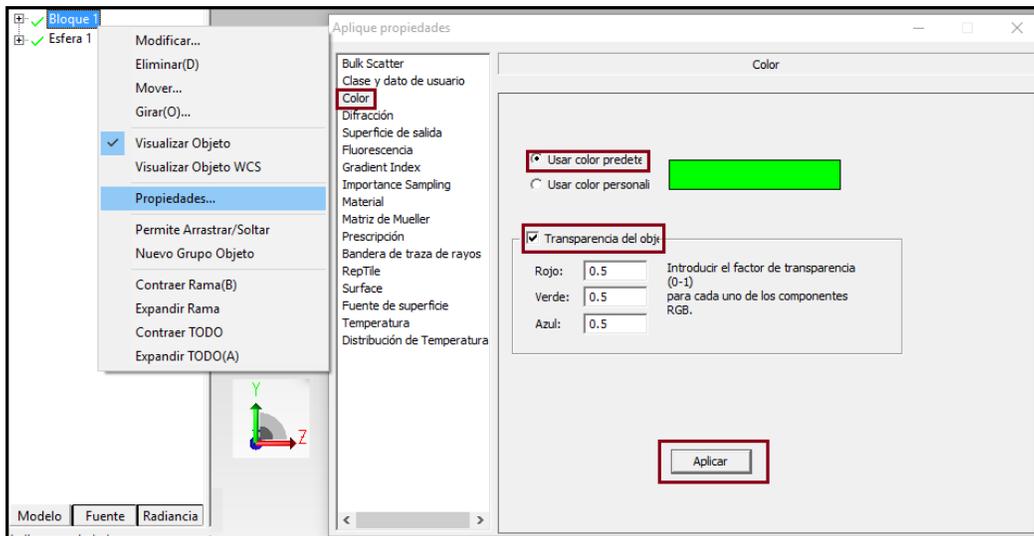


FIGURA 9. MODIFICACIÓN DEL COLOR EN BLOQUE 1.

Se le tiene que dar “Aplicar” para que se pueda modificar todas las especificaciones. Se procede de la misma manera para la Esfera 1.

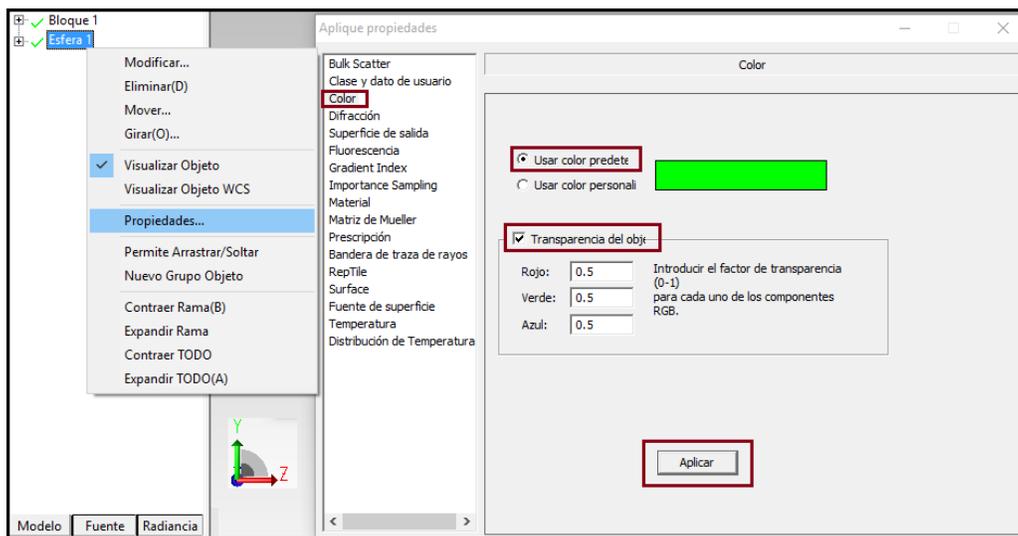


FIGURA 10. MODIFICACIÓN DEL COLOR EN ESFERA 1.

En la Figura 11 se muestran los dos elementos ya con las modificaciones de los colores de transparencia que se les aplico.

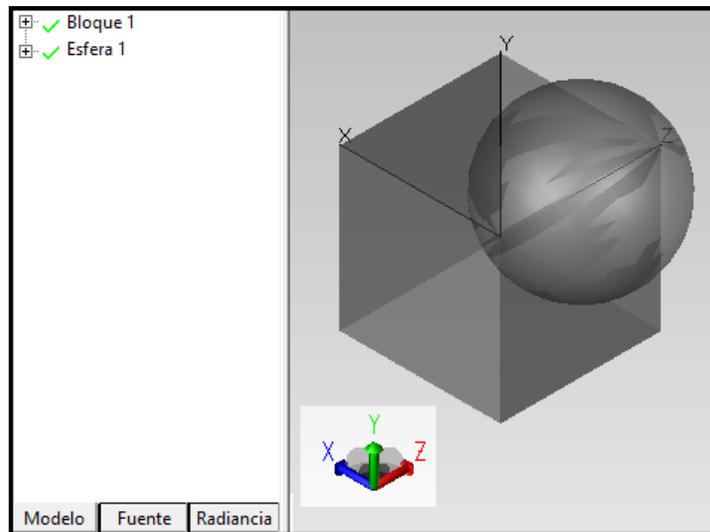


FIGURA 11. ELEMENTOS CON LAS MODIFICACIONES DE COLOR.

Para poder proceder con lo interesante de esta prueba, se seleccionan ambos elementos y en la barra de herramientas se presionará el siguiente icono  (sustracción), el cual tiene la función de hacer un solo bloque de los dos elementos, como se muestra a continuación.

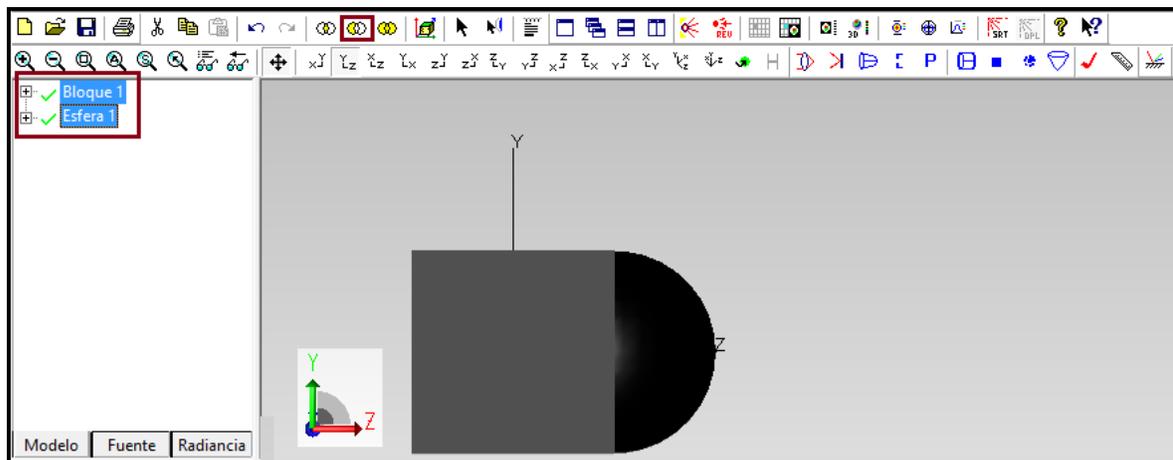


FIGURA 12. SELECCIÓN DE ELEMENTOS E ÍCONO A PRESIONAR.

En la Figura 13 se muestra la sustracción de las dos piezas formando una sola.

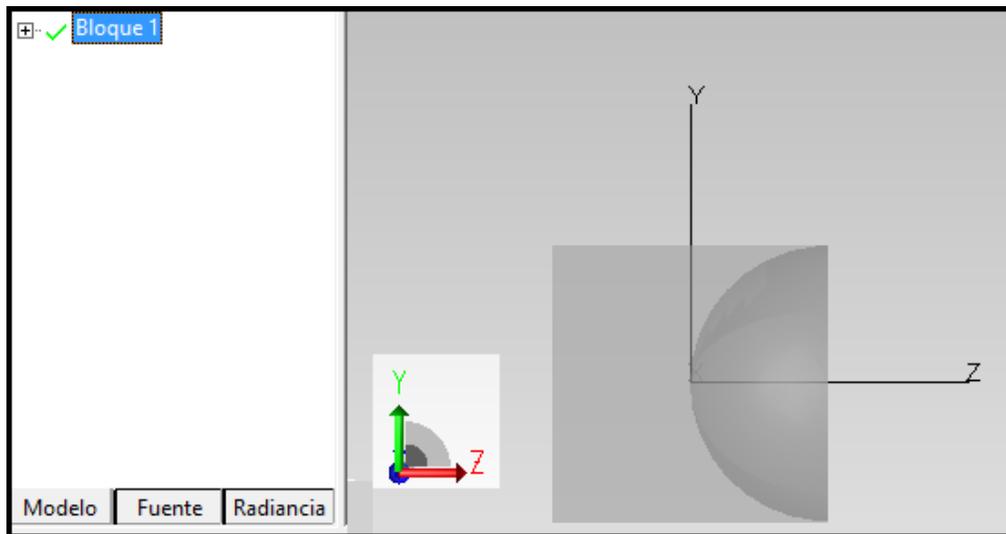


FIGURA 13. UNIÓN DE LAS PIEZAS EN UN SOLO BLOQUE.

Una vez que se tiene una sola pieza, se procedió a visualizar las propiedades que tiene este “Bloque 1”.

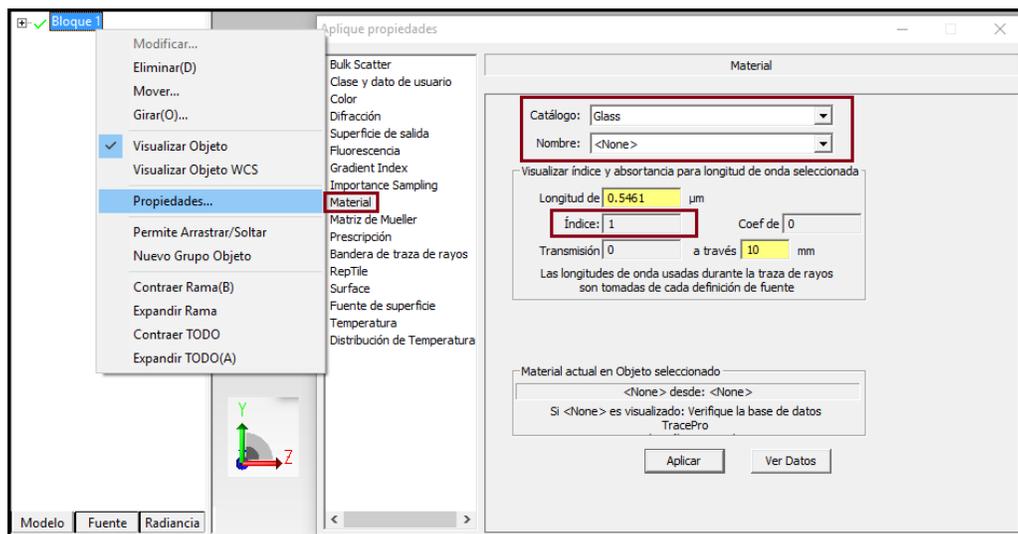


FIGURA 14. EPECIFICIONES DEL MATERIAL DEL NUEVO ELEMENTO.

Lo que se muestra en la Figura 14, es que independientemente de cambiar el material de ambos elementos antes de su sustracción, al volverse uno mismo solo toma en cuenta un único índice de refracción, así como el material del catálogo y sus nombres que tenga cada elemento del catálogo. Se puede observar que el valor en el material es el que se da por default del software TracePro®.

ANEXO D

EJEMPLOS DE PARÁMETROS DE UN ELIPSOIDE Y UN PARABOLOIDE

- **ELIPSOIDE E1 (diámetro d = 15.90 mm, Figura 8.1)**

z	\underline{Iz}	X	Y	Z	A'	B'	z	\underline{Iz}	X	Y	Z	A'	B'
0.01	0.00222	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.01000	0.36248477	0.36248477	1	0.20988	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.00000	3.52369769	3.52369769
0.02	0.00444	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.02000	0.51249	0.51249	1.1	0.22951	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.10000	3.68480	3.68480
0.03	0.00666	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.03000	0.62749294	0.62749294	1.2	0.24889	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.20000	3.83724426	3.83724426
0.04	0.00887	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.04000	0.72436	0.72436	1.3	0.26802	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.30000	3.98203	3.98203
0.05	0.01108	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.05000	0.80963898	0.80963898	1.4	0.28691	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.40000	4.11995282	4.11995282
0.06	0.01329	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.06000	0.88667	0.88667	1.5	0.30556	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.50000	4.25169	4.25169
0.07	0.01550	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.07000	0.95744392	0.95744392	1.6	0.32395	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.60000	4.37780181	4.37780181
0.08	0.01770	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.08000	1.02327	1.02327	1.7	0.34210	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.70000	4.49876	4.49876
0.09	0.01990	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.09000	1.0850337	1.0850337	1.8	0.36000	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.80000	4.61496	4.61496
0.1	0.02210	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.10000	1.14341	1.14341	1.9	0.37765	ELIPSE C	0 , 0 ,	1.90000	4.72676	4.72676
0.2	0.04395	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.20000	1.61249798	1.61249798	2	0.39506	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.00000	4.83447335	4.83447335
0.3	0.06556	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.30000	1.96934	1.96934	2.1	0.41222	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.10000	4.93836	4.93836
0.4	0.08691	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.40000	2.267569	2.267569	2.2	0.42914	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.20000	5.03864853	5.03864853
0.5	0.10802	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.50000	2.52801	2.52801	2.3	0.44580	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.30000	5.13556	5.13556
0.6	0.12889	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.60000	2.76136891	2.76136891	2.4	0.46222	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.40000	5.22928247	5.22928247
0.7	0.14951	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.70000	2.97404	2.97404	2.5	0.47840	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.50000	5.31998	5.31998
0.8	0.16988	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.80000	3.17017618	3.17017618	2.6	0.49432	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.60000	5.4078074	5.4078074
0.9	0.19000	ELIPSE C	0 , 0 ,	0.90000	3.35269	3.35269	2.7	0.51000	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.70000	5.49290	5.49290
2.7	0.51000	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.70000	5.49290	5.49290	4.5	0.75000	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.50000	6.66112	6.66112
2.8	0.52543	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.80000	5.57538665	5.57538665	4.6	0.76099	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.60000	6.70973698	6.70973698
2.9	0.54062	ELIPSE C	0 , 0 ,	2.90000	5.65538	5.65538	4.7	0.77173	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.70000	6.75692	6.75692
3	0.55556	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.00000	5.73298015	5.73298015	4.8	0.78222	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.80000	6.802707	6.802707
3.1	0.57025	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.10000	5.80829	5.80829	4.9	0.79247	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.90000	6.84712	6.84712
3.2	0.58469	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.20000	5.88139067	5.88139067	5	0.80247	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.00000	6.89018463	6.89018463
3.3	0.59889	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.30000	5.95237	5.95237	5.1	0.81222	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.10000	6.93193	6.93193
3.4	0.61284	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.40000	6.02129726	6.02129726	5.2	0.82173	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.20000	6.97237662	6.97237662
3.5	0.62654	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.50000	6.08825	6.08825	5.3	0.83099	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.30000	7.01155	7.01155
3.6	0.64000	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.60000	6.15328	6.15328	5.4	0.84000	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.40000	7.04946784	7.04946784
3.7	0.65321	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.70000	6.21646	6.21646	5.5	0.84877	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.50000	7.08615	7.08615
3.8	0.66617	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.80000	6.27783868	6.27783868	5.6	0.85728	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.60000	7.12162395	7.12162395
3.9	0.67889	ELIPSE C	0 , 0 ,	3.90000	6.33747	6.33747	5.7	0.86556	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.70000	7.15590	7.15590
4	0.69136	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.00000	6.3954071	6.3954071	5.8	0.87358	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.80000	7.18899354	7.18899354
4.1	0.70358	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.10000	6.45169	6.45169	5.9	0.88136	ELIPSE C	0 , 0 ,	5.90000	7.22093	7.22093
4.2	0.71556	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.20000	6.5063642	6.5063642	6	0.88889	ELIPSE C	0 , 0 ,	6.00000	7.25171002	7.25171002
4.3	0.72728	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.30000	6.55947	6.55947	6.1	0.89617	ELIPSE C	0 , 0 ,	6.10000	7.28136	7.28136
4.4	0.73877	ELIPSE C	0 , 0 ,	4.40000	6.61104288	6.61104288	6.2	0.90321	ELIPSE C	0 , 0 ,	6.20000	7.30989316	7.30989316

z	I _z		X	Y	Z	A'	B'	z	I _z		X	Y	Z	A'	B'
6.3	0.91000	ELIPSE C	0	0	6.30000	7.33732	7.33732	7.9	0.98506	ELIPSE C	0	0	7.90000	7.63393	7.63393
6.4	0.91654	ELIPSE C	0	0	6.40000	7.36365042	7.36365042	8	0.98765	ELIPSE C	0	0	8.00000	7.64397354	7.64397354
6.5	0.92284	ELIPSE C	0	0	6.50000	7.38890	7.38890	8.1	0.99000	ELIPSE C	0	0	8.10000	7.65305	7.65305
6.6	0.92889	ELIPSE C	0	0	6.60000	7.41307809	7.41307809	8.2	0.99210	ELIPSE C	0	0	8.20000	7.66115317	7.66115317
6.7	0.93469	ELIPSE C	0	0	6.70000	7.43620	7.43620	8.3	0.99395	ELIPSE C	0	0	8.30000	7.66830	7.66830
6.8	0.94025	ELIPSE C	0	0	6.80000	7.45826223	7.45826223	8.4	0.99556	ELIPSE C	0	0	8.40000	7.67448852	7.67448852
6.9	0.94556	ELIPSE C	0	0	6.90000	7.47929	7.47929	8.5	0.99691	ELIPSE C	0	0	8.50000	7.67972	7.67972
7	0.95062	ELIPSE C	0	0	7.00000	7.49927956	7.49927956	8.6	0.99802	ELIPSE C	0	0	8.60000	7.6839996	7.6839996
7.1	0.95543	ELIPSE C	0	0	7.10000	7.51825	7.51825	8.7	0.99889	ELIPSE C	0	0	8.70000	7.68733	7.68733
7.2	0.96000	ELIPSE C	0	0	7.20000	7.53619812	7.53619812	8.8	0.99951	ELIPSE C	0	0	8.80000	7.6897006	7.6897006
7.3	0.96432	ELIPSE C	0	0	7.30000	7.55314	7.55314	8.9	0.99988	ELIPSE C	0	0	8.90000	7.69113	7.69113
7.4	0.96840	ELIPSE C	0	0	7.40000	7.56907788	7.56907788	9	1.00000	ELIPSE C	0	0	9.00000	7.6916	7.6916
7.5	0.97222	ELIPSE C	0	0	7.50000	7.58402	7.58402	9.1	0.99988	ELIPSE C	0	0	9.10000	7.69113	7.69113
7.6	0.97580	ELIPSE C	0	0	7.60000	7.59797127	7.59797127	9.2	0.99951	ELIPSE C	0	0	9.20000	7.6897006	7.6897006
7.7	0.97914	ELIPSE C	0	0	7.70000	7.61094	7.61094	9.3	0.99889	ELIPSE C	0	0	9.30000	7.68733	7.68733
7.8	0.98222	ELIPSE C	0	0	7.80000	7.62292363	7.62292363	9.4	0.99802	ELIPSE C	0	0	9.40000	7.6839996	7.6839996

La tabla mostrada tiene los valores que se generaron tal y como se explica en el Capítulo 6, en la primer columna se tiene el incremento que se le asignado desde un valor relativamente bajo hasta su valor máximo el cual es la altura de la pieza (elipsoide de 15.90 mm de diámetro con altura h=9.4 mm), la columna donde se muestra el valor I_z muestra los valores que se obtuvieron tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$I_z = 1 - \frac{(z - 9)^2}{9^2}$$

La columna donde se escribe “ELIPSE C” es un comando el cual reconoce el programa AutoCad para poder generar la forma de la pieza, los ejes “X” e “Y” se tomaron como cero debido a que lo que necesitamos es la altura de la pieza entonces solo se tomó en cuenta a “z”, las siguientes columnas “A’”, “B’” se obtuvieron los valores tomando en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$A'^2 = A^2 * I_z$$

$$B'^2 = B^2 * I_z$$

A continuación se muestran los valores completos los cuales se copiaron en el programa de Paint de las tablas de Excel para poder realizar los pasos que se indican en el Capítulo 6.

ARCHIVO CREADO CON EL BLOC DE NOTAS

ELLIPSE C 0,0,0,01000 0.362484769 0.362484769 ELLIPSE C 0,0,1,90000 4.72676 4.72676
ELLIPSE C 0,0,0,02000 0.51249 0.51249 ELLIPSE C 0,0,2,00000 4.834473349 4.834473349
ELLIPSE C 0,0,0,03000 0.627492945 0.627492945 ELLIPSE C 0,0,2,10000 4.93836 4.93836
ELLIPSE C 0,0,0,04000 0.72436 0.72436 ELLIPSE C 0,0,2,20000 5.038648529 5.038648529
ELLIPSE C 0,0,0,05000 0.809638982 0.809638982 ELLIPSE C 0,0,2,30000 5.13556 5.13556
ELLIPSE C 0,0,0,06000 0.88667 0.88667 ELLIPSE C 0,0,2,40000 5.229282465 5.229282465
ELLIPSE C 0,0,0,07000 0.957443921 0.957443921 ELLIPSE C 0,0,2,50000 5.31998 5.31998
ELLIPSE C 0,0,0,08000 1.02327 1.02327 ELLIPSE C 0,0,2,60000 5.4078074 5.4078074
ELLIPSE C 0,0,0,09000 1.085033705 1.085033705 ELLIPSE C 0,0,2,70000 5.49290 5.49290
ELLIPSE C 0,0,0,10000 1.14341 1.14341 ELLIPSE C 0,0,2,80000 5.575386652 5.575386652
ELLIPSE C 0,0,0,20000 1.612497984 1.612497984 ELLIPSE C 0,0,2,90000 5.65538 5.65538
ELLIPSE C 0,0,0,30000 1.96934 1.96934 ELLIPSE C 0,0,3,00000 5.732980152 5.732980152
ELLIPSE C 0,0,0,40000 2.267568999 2.267568999 ELLIPSE C 0,0,3,10000 5.80829 5.80829
ELLIPSE C 0,0,0,50000 2.52801 2.52801 ELLIPSE C 0,0,3,20000 5.881390669 5.881390669
ELLIPSE C 0,0,0,60000 2.761368909 2.761368909 ELLIPSE C 0,0,3,30000 5.95237 5.95237
ELLIPSE C 0,0,0,70000 2.97404 2.97404 ELLIPSE C 0,0,3,40000 6.021297256 6.021297256
ELLIPSE C 0,0,0,80000 3.170176179 3.170176179 ELLIPSE C 0,0,3,50000 6.08825 6.08825
ELLIPSE C 0,0,0,90000 3.35269 3.35269 ELLIPSE C 0,0,3,60000 6.15328 6.15328
ELLIPSE C 0,0,1,00000 3.523697692 3.523697692 ELLIPSE C 0,0,3,70000 6.21646 6.21646
ELLIPSE C 0,0,1,10000 3.68480 3.68480 ELLIPSE C 0,0,3,80000 6.277838684 6.277838684
ELLIPSE C 0,0,1,20000 3.837244261 3.837244261 ELLIPSE C 0,0,3,90000 6.33747 6.33747
ELLIPSE C 0,0,1,30000 3.98203 3.98203 ELLIPSE C 0,0,4,00000 6.395407101 6.395407101
ELLIPSE C 0,0,1,40000 4.119952825 4.119952825 ELLIPSE C 0,0,4,10000 6.45169 6.45169
ELLIPSE C 0,0,1,50000 4.25169 4.25169 ELLIPSE C 0,0,4,20000 6.506364201 6.506364201
ELLIPSE C 0,0,1,60000 4.377801812 4.377801812 ELLIPSE C 0,0,4,30000 6.55947 6.55947
ELLIPSE C 0,0,1,70000 4.49876 4.49876 ELLIPSE C 0,0,4,40000 6.611042875 6.611042875
ELLIPSE C 0,0,1,80000 4.61496 4.61496 ELLIPSE C 0,0,4,50000 6.66112 6.66112
ELLIPSE C 0,0,4,60000 6.709736981 6.709736981 ELLIPSE C 0,0,7,10000 7.51825 7.51825
ELLIPSE C 0,0,4,70000 6.75692 6.75692 ELLIPSE C 0,0,7,20000 7.536198122 7.536198122
ELLIPSE C 0,0,4,80000 6.802706997 6.802706997 ELLIPSE C 0,0,7,30000 7.55314 7.55314
ELLIPSE C 0,0,4,90000 6.84712 6.84712 ELLIPSE C 0,0,7,40000 7.56907788 7.56907788
ELLIPSE C 0,0,5,00000 6.890184633 6.890184633 ELLIPSE C 0,0,7,50000 7.58402 7.58402
ELLIPSE C 0,0,5,10000 6.93193 6.93193 ELLIPSE C 0,0,7,60000 7.597971271 7.597971271
ELLIPSE C 0,0,5,20000 6.972376621 6.972376621 ELLIPSE C 0,0,7,70000 7.61094 7.61094
ELLIPSE C 0,0,5,30000 7.01155 7.01155 ELLIPSE C 0,0,7,80000 7.622923625 7.622923625
ELLIPSE C 0,0,5,40000 7.049467843 7.049467843 ELLIPSE C 0,0,7,90000 7.63393 7.63393
ELLIPSE C 0,0,5,50000 7.08615 7.08615 ELLIPSE C 0,0,8,00000 7.643973536 7.643973536
ELLIPSE C 0,0,5,60000 7.121623949 7.121623949 ELLIPSE C 0,0,8,10000 7.65305 7.65305
ELLIPSE C 0,0,5,70000 7.15590 7.15590 ELLIPSE C 0,0,8,20000 7.661153171 7.661153171
ELLIPSE C 0,0,5,80000 7.188993541 7.188993541 ELLIPSE C 0,0,8,30000 7.66830 7.66830
ELLIPSE C 0,0,5,90000 7.22093 7.22093 ELLIPSE C 0,0,8,40000 7.674488522 7.674488522
ELLIPSE C 0,0,6,00000 7.251710024 7.251710024 ELLIPSE C 0,0,8,50000 7.67972 7.67972
ELLIPSE C 0,0,6,10000 7.28136 7.28136 ELLIPSE C 0,0,8,60000 7.683999603 7.683999603
ELLIPSE C 0,0,6,20000 7.309893165 7.309893165 ELLIPSE C 0,0,8,70000 7.68733 7.68733
ELLIPSE C 0,0,6,30000 7.33732 7.33732 ELLIPSE C 0,0,8,80000 7.689700605 7.689700605

ELLIPSE C 0,0,6,30000 7.33732 7.33732 ELLIPSE C 0,0,8,80000 7.689700605 7.689700605
 ELLIPSE C 0,0,6,40000 7.363650423 7.363650423 ELLIPSE C 0,0,8,90000 7.69113 7.69113
 ELLIPSE C 0,0,6,50000 7.38890 7.38890 ELLIPSE C 0,0,9,00000 7.6916 7.6916
 ELLIPSE C 0,0,6,60000 7.413078085 7.413078085 ELLIPSE C 0,0,9,10000 7.69113 7.69113
 ELLIPSE C 0,0,6,70000 7.43620 7.43620 ELLIPSE C 0,0,9,20000 7.689700605 7.689700605
 ELLIPSE C 0,0,6,80000 7.458262231 7.458262231 ELLIPSE C 0,0,9,30000 7.68733 7.68733
 ELLIPSE C 0,0,6,90000 7.47929 7.47929 ELLIPSE C 0,0,9,40000 7.683999603 7.683999603
 ELLIPSE C 0,0,7,00000 7.499279565 7.499279565

• **PARABOLOIDE P1 (diámetro d = 15.96 mm, Figura 8.13)**

z	lz		X	Y	Z	A'	B'	z	lz		X	Y	Z	A'	B'
0.01	0.00127	ELIPSE C	0	, 0	, 0.01000	0.28445628	0.28446	2.1	0.26684	ELIPSE C	0	, 0	, 2.10000	4.12216	4.12216
0.02	0.00254	ELIPSE C	0	, 0	, 0.02000	0.40228	0.40228	2.2	0.27954	ELIPSE C	0	, 0	, 2.20000	4.21917	4.21917
0.03	0.00381	ELIPSE C	0	, 0	, 0.03000	0.49269	0.49269	2.3	0.29225	ELIPSE C	0	, 0	, 2.30000	4.31399	4.31399
0.04	0.00508	ELIPSE C	0	, 0	, 0.04000	0.56891	0.56891	2.4	0.30496	ELIPSE C	0	, 0	, 2.40000	4.40678	4.40678
0.05	0.00635	ELIPSE C	0	, 0	, 0.05000	0.63606	0.63606	2.5	0.31766	ELIPSE C	0	, 0	, 2.50000	4.49765	4.49765
0.06	0.00762	ELIPSE C	0	, 0	, 0.06000	0.69677	0.69677	2.6	0.33037	ELIPSE C	0	, 0	, 2.60000	4.58672	4.58672
0.07	0.00889	ELIPSE C	0	, 0	, 0.07000	0.75260	0.75260	2.7	0.34307	ELIPSE C	0	, 0	, 2.70000	4.67409	4.67409
0.08	0.01017	ELIPSE C	0	, 0	, 0.08000	0.80456	0.80456	2.8	0.35578	ELIPSE C	0	, 0	, 2.80000	4.75986	4.75986
0.09	0.01144	ELIPSE C	0	, 0	, 0.09000	0.85337	0.85337	2.9	0.36849	ELIPSE C	0	, 0	, 2.90000	4.84412	4.84412
0.1	0.01271	ELIPSE C	0	, 0	, 0.10000	0.89953	0.89953	3	0.38119	ELIPSE C	0	, 0	, 3.00000	4.92693	4.92693
0.2	0.02541	ELIPSE C	0	, 0	, 0.20000	1.27213	1.27213	3.1	0.39390	ELIPSE C	0	, 0	, 3.10000	5.00837	5.00837
0.3	0.03812	ELIPSE C	0	, 0	, 0.30000	1.55803	1.55803	3.2	0.40661	ELIPSE C	0	, 0	, 3.20000	5.08851	5.08851
0.4	0.05083	ELIPSE C	0	, 0	, 0.40000	1.79906	1.79906	3.3	0.41931	ELIPSE C	0	, 0	, 3.30000	5.16740	5.16740
0.5	0.06353	ELIPSE C	0	, 0	, 0.50000	2.01141	2.01141	3.4	0.43202	ELIPSE C	0	, 0	, 3.40000	5.24511	5.24511
0.6	0.07624	ELIPSE C	0	, 0	, 0.60000	2.20339	2.20339	3.5	0.44473	ELIPSE C	0	, 0	, 3.50000	5.32169	5.32169
0.7	0.08895	ELIPSE C	0	, 0	, 0.70000	2.37993	2.37993	3.6	0.45743	ELIPSE C	0	, 0	, 3.60000	5.39718	5.39718
0.8	0.10165	ELIPSE C	0	, 0	, 0.80000	2.54425	2.54425	3.7	0.47014	ELIPSE C	0	, 0	, 3.70000	5.47163	5.47163
0.9	0.11436	ELIPSE C	0	, 0	, 0.90000	2.69859	2.69859	3.8	0.48285	ELIPSE C	0	, 0	, 3.80000	5.54507	5.54507
1	0.12706	ELIPSE C	0	, 0	, 1.00000	2.84456	2.84456	3.9	0.49555	ELIPSE C	0	, 0	, 3.90000	5.61756	5.61756
1.1	0.13977	ELIPSE C	0	, 0	, 1.10000	2.98340	2.98340	4	0.50826	ELIPSE C	0	, 0	, 4.00000	5.68913	5.68913
1.2	0.15248	ELIPSE C	0	, 0	, 1.20000	3.11606	3.11606	4.1	0.52097	ELIPSE C	0	, 0	, 4.10000	5.75980	5.75980
1.3	0.16518	ELIPSE C	0	, 0	, 1.30000	3.24330	3.24330	4.2	0.53367	ELIPSE C	0	, 0	, 4.20000	5.82962	5.82962
1.4	0.17789	ELIPSE C	0	, 0	, 1.40000	3.36573	3.36573	4.3	0.54638	ELIPSE C	0	, 0	, 4.30000	5.89861	5.89861
1.5	0.19060	ELIPSE C	0	, 0	, 1.50000	3.48386	3.48386	4.4	0.55909	ELIPSE C	0	, 0	, 4.40000	5.96681	5.96681
1.6	0.20330	ELIPSE C	0	, 0	, 1.60000	3.59812	3.59812	4.5	0.57179	ELIPSE C	0	, 0	, 4.50000	6.03423	6.03423
1.7	0.21601	ELIPSE C	0	, 0	, 1.70000	3.70886	3.70886	4.6	0.58450	ELIPSE C	0	, 0	, 4.60000	6.10091	6.10091
1.8	0.22872	ELIPSE C	0	, 0	, 1.80000	3.81638	3.81638	4.7	0.59720	ELIPSE C	0	, 0	, 4.70000	6.16687	6.16687
1.9	0.24142	ELIPSE C	0	, 0	, 1.90000	3.92096	3.92096	4.8	0.60991	ELIPSE C	0	, 0	, 4.80000	6.23212	6.23212
2	0.25413	ELIPSE C	0	, 0	, 2.00000	4.02282	4.02282	4.9	0.62262	ELIPSE C	0	, 0	, 4.90000	6.29671	6.29671

z	Iz		X	Y	Z	A'	B'	z	Iz		X	Y	Z	A'	B'
5	0.63532	ELIPSE C	0	0	5.00000	6.36064	6.36064	6.6	0.83863	ELIPSE C	0	0	6.60000	7.30781	7.30781
5.1	0.64803	ELIPSE C	0	0	5.10000	6.42393	6.42393	6.7	0.85133	ELIPSE C	0	0	6.70000	7.36297	7.36297
5.2	0.66074	ELIPSE C	0	0	5.20000	6.48660	6.48660	6.8	0.86404	ELIPSE C	0	0	6.80000	7.41771	7.41771
5.3	0.67344	ELIPSE C	0	0	5.30000	6.54868	6.54868	6.9	0.87675	ELIPSE C	0	0	6.90000	7.47206	7.47206
5.4	0.68615	ELIPSE C	0	0	5.40000	6.61017	6.61017	7	0.88945	ELIPSE C	0	0	7.00000	7.52601	7.52601
5.5	0.69886	ELIPSE C	0	0	5.50000	6.67109	6.67109	7.1	0.90216	ELIPSE C	0	0	7.10000	7.57957	7.57957
5.6	0.71156	ELIPSE C	0	0	5.60000	6.73146	6.73146	7.2	0.91487	ELIPSE C	0	0	7.20000	7.63276	7.63276
5.7	0.72427	ELIPSE C	0	0	5.70000	6.79130	6.79130	7.3	0.92757	ELIPSE C	0	0	7.30000	7.68559	7.68559
5.8	0.73698	ELIPSE C	0	0	5.80000	6.85061	6.85061	7.4	0.94028	ELIPSE C	0	0	7.40000	7.73805	7.73805
5.9	0.74968	ELIPSE C	0	0	5.90000	6.90942	6.90942	7.5	0.95299	ELIPSE C	0	0	7.50000	7.79016	7.79016
6	0.76239	ELIPSE C	0	0	6.00000	6.96773	6.96773	7.6	0.96569	ELIPSE C	0	0	7.60000	7.84192	7.84192
6.1	0.77510	ELIPSE C	0	0	6.10000	7.02555	7.02555	7.7	0.97840	ELIPSE C	0	0	7.70000	7.89334	7.89334
6.2	0.78780	ELIPSE C	0	0	6.20000	7.08290	7.08290	7.8	0.99111	ELIPSE C	0	0	7.80000	7.94443	7.94443
6.3	0.80051	ELIPSE C	0	0	6.30000	7.13980	7.13980	7.9	1.00381	ELIPSE C	0	0	7.90000	7.99520	7.99520
6.4	0.81321	ELIPSE C	0	0	6.40000	7.19624	7.19624	8	1.01652	ELIPSE C	0	0	8.00000	8.04564	8.04564
6.5	0.82592	ELIPSE C	0	0	6.50000	7.25224	7.25224								

La tabla mostrada tiene los valores que se generaron tal y como se explica en el Capítulo 6, en la primer columna se tiene el incremento que se le asignado desde un valor relativamente bajo hasta su valor máximo el cual es la altura de la pieza (paraboloide de 15.96 mm de diámetro con altura h=8 mm), la columna donde se muestra el valor Iz muestra los valores que se obtuvieron tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$I_z = \frac{z}{7.87}$$

La columna donde se escribe “ELIPSE C” es un comando el cual reconoce el programa AutoCad para poder generar la forma de la pieza pese a que en este caso es un paraboloide lo que hace la forma de la pieza son sus valores de las ecuaciones, los ejes “X” e “Y” se tomaron como cero debido a que lo que necesitamos es la altura de la pieza entonces solo se tomó en cuenta a “z”, las siguientes columnas “ A’ “, “ B’ “ se obtuvieron los valores tomando en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$A'^2 = A^2 * I_z$$

$$B'^2 = B^2 * I_z$$

A continuación se muestran los valores completos los cuales se copiaron en el programa de Paint de las tablas de Excel para poder realizar los pasos que se indican en el Capítulo 6.

ARCHIVO CREADO CON EL BLOC DE NOTAS

ELLIPSE C <u>0,0,0,01000</u>	0.284456279	0.28446	ELLIPSE C <u>0,0,3,60000</u>	5.39718	5.39718
ELLIPSE C <u>0,0,0,02000</u>	0.40228	0.40228	ELLIPSE C <u>0,0,3,70000</u>	5.47163	5.47163
ELLIPSE C <u>0,0,0,03000</u>	0.49269	0.49269	ELLIPSE C <u>0,0,3,80000</u>	5.54507	5.54507
ELLIPSE C <u>0,0,0,04000</u>	0.56891	0.56891	ELLIPSE C <u>0,0,3,90000</u>	5.61756	5.61756
ELLIPSE C <u>0,0,0,05000</u>	0.63606	0.63606	ELLIPSE C <u>0,0,4,00000</u>	5.68913	5.68913
ELLIPSE C <u>0,0,0,06000</u>	0.69677	0.69677	ELLIPSE C <u>0,0,4,10000</u>	5.75980	5.75980
ELLIPSE C <u>0,0,0,07000</u>	0.75260	0.75260	ELLIPSE C <u>0,0,4,20000</u>	5.82962	5.82962
ELLIPSE C <u>0,0,0,08000</u>	0.80456	0.80456	ELLIPSE C <u>0,0,4,30000</u>	5.89861	5.89861
ELLIPSE C <u>0,0,0,09000</u>	0.85337	0.85337	ELLIPSE C <u>0,0,4,40000</u>	5.96681	5.96681
ELLIPSE C <u>0,0,0,10000</u>	0.89953	0.89953	ELLIPSE C <u>0,0,4,50000</u>	6.03423	6.03423
ELLIPSE C <u>0,0,0,20000</u>	1.27213	1.27213	ELLIPSE C <u>0,0,4,60000</u>	6.10091	6.10091
ELLIPSE C <u>0,0,0,30000</u>	1.55803	1.55803	ELLIPSE C <u>0,0,4,70000</u>	6.16687	6.16687
ELLIPSE C <u>0,0,0,40000</u>	1.79906	1.79906	ELLIPSE C <u>0,0,4,80000</u>	6.23212	6.23212
ELLIPSE C <u>0,0,0,50000</u>	2.01141	2.01141	ELLIPSE C <u>0,0,4,90000</u>	6.29671	6.29671
ELLIPSE C <u>0,0,0,60000</u>	2.20339	2.20339	ELLIPSE C <u>0,0,5,00000</u>	6.36064	6.36064
ELLIPSE C <u>0,0,0,70000</u>	2.37993	2.37993	ELLIPSE C <u>0,0,5,10000</u>	6.42393	6.42393
ELLIPSE C <u>0,0,0,80000</u>	2.54425	2.54425	ELLIPSE C <u>0,0,5,20000</u>	6.48660	6.48660
ELLIPSE C <u>0,0,0,90000</u>	2.69859	2.69859	ELLIPSE C <u>0,0,5,30000</u>	6.54868	6.54868
ELLIPSE C <u>0,0,1,00000</u>	2.84456	2.84456	ELLIPSE C <u>0,0,5,40000</u>	6.61017	6.61017
ELLIPSE C <u>0,0,1,10000</u>	2.98340	2.98340	ELLIPSE C <u>0,0,5,50000</u>	6.67109	6.67109
ELLIPSE C <u>0,0,1,20000</u>	3.11606	3.11606	ELLIPSE C <u>0,0,5,60000</u>	6.73146	6.73146
ELLIPSE C <u>0,0,1,30000</u>	3.24330	3.24330	ELLIPSE C <u>0,0,5,70000</u>	6.79130	6.79130
ELLIPSE C <u>0,0,1,40000</u>	3.36573	3.36573	ELLIPSE C <u>0,0,5,80000</u>	6.85061	6.85061
ELLIPSE C <u>0,0,1,50000</u>	3.48386	3.48386	ELLIPSE C <u>0,0,5,90000</u>	6.90942	6.90942
ELLIPSE C <u>0,0,1,60000</u>	3.59812	3.59812	ELLIPSE C <u>0,0,6,00000</u>	6.96773	6.96773
ELLIPSE C <u>0,0,1,70000</u>	3.70886	3.70886	ELLIPSE C <u>0,0,6,10000</u>	7.02555	7.02555
ELLIPSE C <u>0,0,1,80000</u>	3.81638	3.81638	ELLIPSE C <u>0,0,6,20000</u>	7.08290	7.08290
ELLIPSE C <u>0,0,1,90000</u>	3.92096	3.92096	ELLIPSE C <u>0,0,6,30000</u>	7.13980	7.13980
ELLIPSE C <u>0,0,2,00000</u>	4.02282	4.02282	ELLIPSE C <u>0,0,6,40000</u>	7.19624	7.19624
ELLIPSE C <u>0,0,2,10000</u>	4.12216	4.12216	ELLIPSE C <u>0,0,6,50000</u>	7.25224	7.25224
ELLIPSE C <u>0,0,2,20000</u>	4.21917	4.21917	ELLIPSE C <u>0,0,6,60000</u>	7.30781	7.30781
ELLIPSE C <u>0,0,2,30000</u>	4.31399	4.31399	ELLIPSE C <u>0,0,6,70000</u>	7.36297	7.36297
ELLIPSE C <u>0,0,2,40000</u>	4.40678	4.40678	ELLIPSE C <u>0,0,6,80000</u>	7.41771	7.41771
ELLIPSE C <u>0,0,2,50000</u>	4.49765	4.49765	ELLIPSE C <u>0,0,6,90000</u>	7.47206	7.47206
ELLIPSE C <u>0,0,2,60000</u>	4.58672	4.58672	ELLIPSE C <u>0,0,7,00000</u>	7.52601	7.52601
ELLIPSE C <u>0,0,2,70000</u>	4.67409	4.67409	ELLIPSE C <u>0,0,7,10000</u>	7.57957	7.57957
ELLIPSE C <u>0,0,2,80000</u>	4.75986	4.75986	ELLIPSE C <u>0,0,7,20000</u>	7.63276	7.63276
ELLIPSE C <u>0,0,2,90000</u>	4.84412	4.84412	ELLIPSE C <u>0,0,7,30000</u>	7.68559	7.68559
ELLIPSE C <u>0,0,3,00000</u>	4.92693	4.92693	ELLIPSE C <u>0,0,7,40000</u>	7.73805	7.73805
ELLIPSE C <u>0,0,3,10000</u>	5.00837	5.00837	ELLIPSE C <u>0,0,7,50000</u>	7.79016	7.79016
ELLIPSE C <u>0,0,3,20000</u>	5.08851	5.08851	ELLIPSE C <u>0,0,7,60000</u>	7.84192	7.84192
ELLIPSE C <u>0,0,3,30000</u>	5.16740	5.16740	ELLIPSE C <u>0,0,7,70000</u>	7.89334	7.89334
ELLIPSE C <u>0,0,3,40000</u>	5.24511	5.24511	ELLIPSE C <u>0,0,7,80000</u>	7.94443	7.94443
ELLIPSE C <u>0,0,3,50000</u>	5.32169	5.32169	ELLIPSE C <u>0,0,7,90000</u>	7.99520	7.99520

ANEXO E

EJEMPLO DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS (TABLA DE COORDENADAS) DE LA LINEA FORMATIVA DE UN TRANSDUCTOR, OBTENIDAS CON UN PROGRAMA DE MATLAB®

ELIPSOIDE E1 (Diámetro de 15.90 mm)

Eje X (PIXELE S)	Eje Y (PIXELE S)										
36	90	39	166	70	270	94	313	112	338	132	360
36	93	39	169	73	274	95	315	113	339	133	361
36	96	40	171	73	277	95	317	113	340	135	362
36	99	43	181	75	279	96	318	114	341	136	364
36	103	43	185	76	281	96	319	115	342	138	365
36	105	45	189	78	284	98	320	117	343	139	367
36	109	46	196	78	287	100	322	118	344	141	368
36	112	46	201	78	289	101	323	119	344	143	370
36	115	48	206	80	291	101	325	119	345	145	373
36	119	50	211	82	293	102	326	120	345	148	374
36	121	50	215	83	295	102	327	121	347	149	377
36	125	50	219	84	297	103	327	122	348	152	378
36	128	52	225	85	298	103	328	123	349	154	381
36	131	53	231	87	300	104	329	124	350	156	383
36	136	56	237	88	302	106	331	125	352	158	385
36	142	58	240	88	304	107	332	126	353	162	386
37	151	60	246	89	305	108	333	127	354	164	389
37	155	62	251	89	307	108	334	127	355	166	389

37	160	65	255	90	308	108	335	128	356	168	391
38	163	67	262	91	310	109	335	130	357	170	393
39	163	68	266	92	312	110	336	131	358	172	396

Eje X (PIXELES)	Eje Y (PIXELES)										
174	398	238	434	297	450	365	450	404	448	485	432
176	399	240	434	300	451	366	450	406	448	489	430
178	402	241	435	303	452	367	452	409	448	493	429
180	403	243	437	305	451	368	451	411	448	495	427
183	404	245	437	308	451	368	452	413	448	499	426
186	405	247	437	310	451	369	452	416	448	502	424
189	408	249	437	314	451	370	450	418	447	505	422
192	410	251	438	317	451	373	450	421	447	508	420
195	411	253	438	321	452	374	453	424	446	513	418
198	412	255	439	323	451	375	449	427	446	517	416
200	414	258	440	327	452	375	450	431	446	521	414
202	415	260	440	330	452	376	449	433	445	527	411
202	417	263	442	333	452	377	450	439	444	532	407
206	418	265	442	337	453	377	449	442	444	537	403
207	419	266	443	340	452	378	450	444	443	541	400
209	420	269	443	343	452	378	449	448	443	545	396
211	423	271	444	346	452	379	449	450	442	550	393
212	425	272	444	349	452	381	449	452	442	555	388
215	426	274	443	353	452	382	449	454	441	558	385
218	427	277	443	356	453	384	448	458	440	563	380
221	428	280	443	360	452	387	448	460	440	566	378
224	428	282	444	360	452	389	449	463	439	570	375

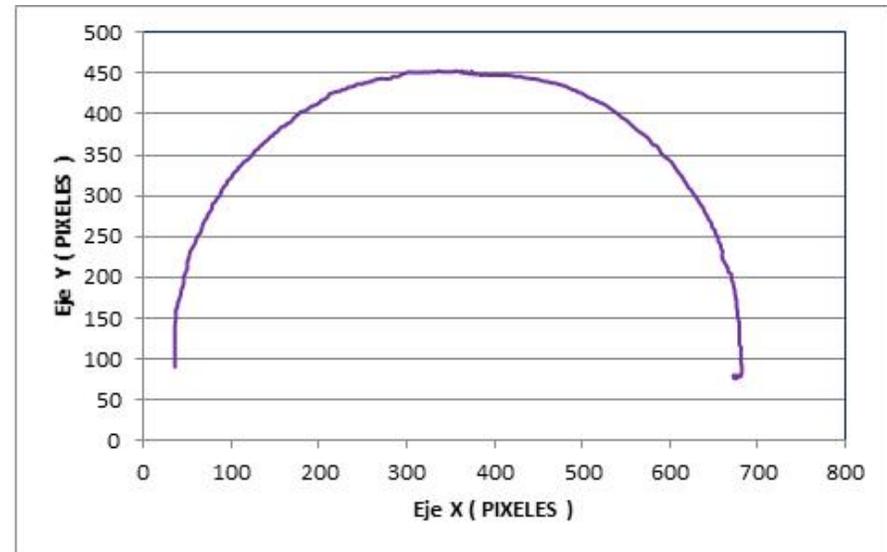
226	430	284	446	361	452	392	448	466	438	574	372
228	430	288	446	362	452	394	448	469	438	577	368
231	431	290	446	363	451	397	448	473	437	580	363
233	433	293	448	363	453	400	448	479	435	585	361
236	433	295	449	364	452	402	448	482	434	588	356

Eje X (PIXELE S)	Eje Y (PIXELE S)										
590	352	647	267	675	176	679	126	682	84	676	77
594	348	648	261	675	173	679	124	682	83	675	76
598	345	651	258	676	172	679	122	682	82	675	79
602	341	652	253	676	168	679	118	681	81	675	80
605	336	655	249	676	166	681	114	681	80	674	77
608	331	655	244	676	164	681	112	681	79	674	80
611	327	658	240	676	162	681	108	680	79	674	79
614	323	658	236	677	159	681	106	680	78	673	80
616	319	660	232	677	157	681	103	680	80	673	76
619	314	659	226	677	155	681	101	679	80	673	79
621	310	661	220	677	152	681	99	679	79	672	80
624	307	664	215	678	150	681	97	679	78	672	79
627	302	666	211	678	148	681	96	678	78		
630	298	666	207	679	144	681	94	678	80		
632	294	670	204	679	142	682	92	678	79		
635	289	670	198	679	138	682	91	677	80		
638	285	672	192	679	136	682	89	677	77		
639	281	673	187	679	133	682	88	677	78		
642	276	674	183	679	131	682	87	676	79		
644	271	674	179	679	128	682	85	676	80		

A continuación se muestra la imagen de la pieza original que es un elipsoide con un diámetro de 15.90 mm, así como también se muestra la gráfica de la misma pieza pero tomando en cuenta los puntos que se obtuvieron en las tablas de Excel.



PIEZA ORIGINAL DEL ELIPSOIDE DE 15.90 MM



GRAFICA DE LOS PUNTOS OBTENIDOS DE EXCEL DE LA PIEZA

