

Ensayos

Análisis y diseño de una herramienta porosa a partir de herramientas anulares y de pétalo para el pulido clásico de superficies ópticas.

Resumen

En este trabajo se describe el análisis desarrollado para diseñar un nuevo tipo de herramienta usado en el pulido clásico de superficies ópticas; además se presentan los resultados de simulación del desgaste generado por la herramienta, la cual es llamada herramienta porosa. Al igual que la herramienta de pétalo, la herramienta porosa también genera el desgaste deseado sobre una superficie. El diseño de la nueva herramienta de pulido se basa en primer lugar en la ecuación de Preston y en los diseños de las herramientas anulares incompletas y de las herramientas de pétalo.

Abstract

The present study describes the analysis developed to design a new type of tool used in classical polishing of optical surfaces. The study also presents the results of simulating wear generated by the tool which is known as a porous tool. Just like a petal tool, the porous tool also generates desired wear over a surface. The design of the new polishing tool is based, first of all, on Preston's equation, and on the the designs of incomplete annular tools and petal tools.

Résumé

Dans cette étude, on décrit l'analyse développée pour élaborer un nouveau type d'outil utilisé dans le polissage classique de surfaces optiques ; on y présente également les résultats de la simulation de l'usure générée par l'outil qui s'appelle outil poreux. De même que l'outil de pétale, l'outil poreux génère également l'usure désirée sur une surface. Le modèle du nouvel outil de polissage se base en premier lieu sur l'équation de Preston et sur les modèles des outils annulaires incomplets et des outils de pétale.

Jorge González García*,
Alberto Cordero Dávila**

Palabras claves: pulido clásico, ecuación de Preston, herramienta porosa.

1. Introducción

Las herramientas de pulido que comúnmente son utilizadas en el pulido clásico de superficies son, sólida, anular y de pétalo, de estas tres solamente la herramienta de pétalo, con la forma adecuada puede producir un desgaste deseado.^{1,2,3} Para el cálculo teórico del desgaste se utiliza la ecuación de Preston,^{4,5} la cual requiere de la presión y de la velocidad relativa de cada punto de la herramienta en contacto con cada punto de vidrio, además del valor de una constante que involucra los detalles tecnológicos como la temperatura, el tipo de pulidor, el tipo de vidrio, etc.

Realizando un análisis de los desgastes generados por las herramientas anulares incompletas, completas y de la herramienta de pétalo,^{1,5,6,7,8} en el presente trabajo se propone el diseño de un nuevo tipo de herramienta⁹ la cual genere al igual que la herramienta de pétalo, un desgaste deseado. Por lo tanto, en la sección 2 se da una descripción experimental y teórica del proceso de pulido clásico de superficies, en la sección 3 y 4 se realiza un análisis del desgaste generado por las herramientas anulares incompletas y de pétalo respectivamente; siendo estos análisis los que permitan el diseño de la nueva herramienta, de acuerdo a esto, en la sección 5 se muestra el diseño de la herramienta así como el desgaste que genera sobre una superficie.

2. Pulido clásico de superficies

La idea básica de pulido consiste en quitar o remover de un cuerpo sólido; por ejemplo vidrio (Figura 1 (a)); una cantidad de material de una de sus superficies irregulares (Figura 1 (b)) para obtener una superficie regular deseada como se muestra en la Figura 1 (c).

* Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM). Huajuapán de León, Oaxaca, México.

** Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. (BUAP).

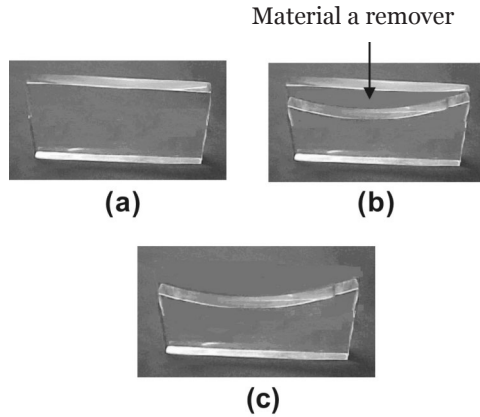


FIGURA 1. PROCESO BÁSICO DE PULIDO: (A) BLOQUE DE VIDRIO A PULIR, (B) MATERIAL A QUITAR DEL BLOQUE DE VIDRIO Y (C) SUPERFICIE OBTENIDA.

El pulido de superficies utilizando el método clásico consiste en rotación y desplazamiento (en movimiento armónico) sobre el vidrio de una herramienta montada en el brazo de la máquina pulidora, manteniendo entre las dos superficies una suspensión de abrasivo, ver Figuras 2 y 3. A la máquina pulidora mostrada en la Figura 2, se le ha realizado un análisis cinemático,¹⁰ cuyos datos obtenidos de este análisis han sido incorporados en los programas para la simulación del desgaste (sección 3 y 4). Las figuras 4 y 5 muestran fotografías de la herramienta y del vidrio respectivamente; estas fotografías fueron tomadas de la pagina web de cielosur,¹¹ la cual da una descripción de la construcción de espejos para telescopios de aficionados.

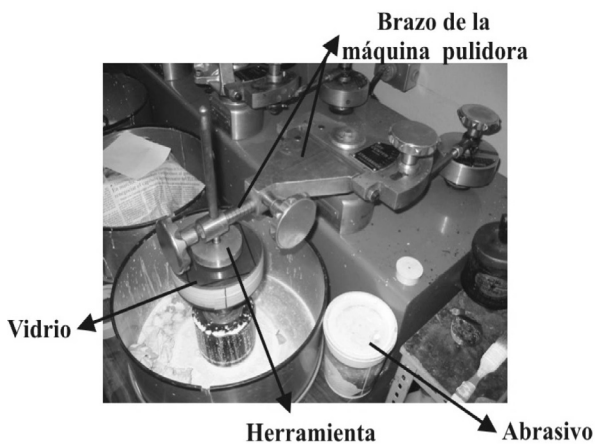


FIGURA 2. MÁQUINA DE PULIDO CLÁSICO PROPIEDAD DEL TALLER DE ÓPTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS DE LA BUAP.

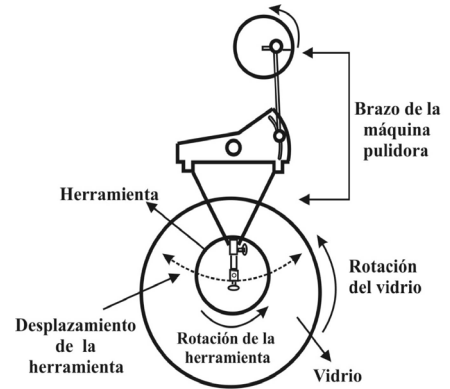


FIGURA 3 ESQUEMA DEL PROCESO DE PULIDO EN UNA MÁQUINA DE PULIDO CLÁSICO.



FIGURA 4. FOTOGRAFÍAS DE LA HERRAMIENTA DE PULIDO HECHA DE CHAPOPOTE.



FIGURA 5. FOTOGRAFÍAS DEL VIDRIO.

Para el cálculo matemático del desgaste generado por una herramienta sobre un vidrio en el pulido clásico de superficies, se utiliza la ecuación de Preston. En 1927 Preston publicó por primera vez la “Teoría y Diseño de las Máquinas de Pulido para Placas de Vidrio”. Éste es el primer trabajo cuantitativo sobre pulido en el que se considera una pieza de vidrio presionada por una herramienta de pulido, ver Figura 6.

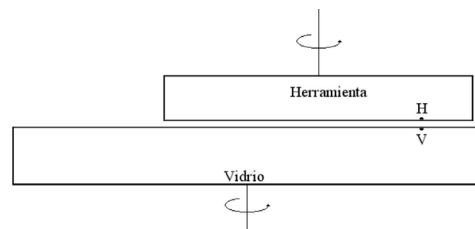


FIGURA 6. PUNTOS EN CONTACTO ENTRE EL VIDRIO V Y LA HERRAMIENTA H.

Se denomina por H al punto de contacto sobre la herramienta, por V al correspondiente sobre el vidrio y se denota por p y v a la presión y la velocidad relativa entre los puntos H y V respectivamente. Preston⁴ afirmó que existe evidencia experimental para creer que la cantidad de pulido h , producido durante el intervalo de tiempo $(0, t)$ es proporcional a la ecuación (1):

$$h = \int_0^{\tau} ACpv \cdot dt \quad (1)$$

donde A es una constante que depende de factores tecnológicos como el tipo de vidrio, composición del abrasivo, material de la herramienta, temperatura, humedad, etc. y C es una función que define la existencia ($C=1$) o no ($C=0$) del contacto entre el vidrio y la herramienta en cada punto y para cada instante de tiempo t .

La ecuación (1) no es tan fácil de aplicar, ya que: Un punto del vidrio no siempre está en contacto con la herramienta; la velocidad relativa para un mismo instante de tiempo, es diferente para los diferentes puntos del vidrio y la presión varía de un punto a otro de la superficie cuando la herramienta sale parcialmente del vidrio.¹² Estas son algunas de las razones por las cuales la evaluación de la integral debe hacerse numéricamente. A continuación, se describe un procedimiento para calcularla:

El intervalo de tiempo $(0, \tau)$ es dividido en N subintervalos de tiempo con duración:

$$\Delta t = \frac{\tau}{N} \quad (2)$$

el instante de tiempo en el cual inicia cada subintervalo está dado por

$$t_i = i \cdot \Delta t \quad (3)$$

donde $i=0, 1, 2, 3, \dots, N-1$.

En cada instante t_i se evalúan C , p y v ; asumiendo que se mantienen constantes durante todo el subintervalo. La integral es entonces calculada mediante la aproximación

$$\int_0^{\tau} ACpv \cdot dt = A\Delta t \sum_{i=0}^{N-1} C_i p_i v_i \quad (4)$$

donde el subíndice indica el valor de la variable respectiva en el intervalo i -ésimo.

La exactitud con la cual puede calcularse la integral de la ecuación (4) depende esencialmente del valor del intervalo Δt , ya que entre más pequeño sea éste; y siempre que se mantenga en un rango adecuado; mejor es la exactitud en el cálculo de la integral. Aunque si Δt disminuye, el número de cálculos aumenta y por tanto el tiempo de cómputo crece.

En el pulido clásico de superficies por lo general son utilizadas tres tipos de herramientas de pulido: sólida, anular y de pétalo, estas herramientas son mostradas en la figura 7.

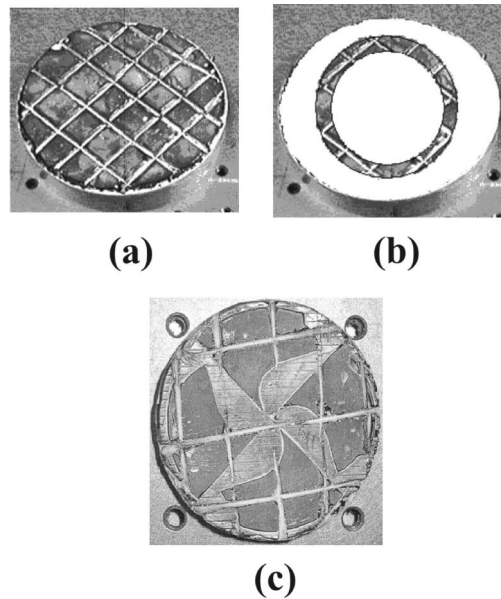


FIGURA 7, TIPOS DE HERRAMIENTAS GENERALMENTE USADAS EN EL PULIDO CLÁSICO DE SUPERFICIES: (A) SÓLIDA, (B) ANULAR Y (C) DE PÉTALO.

Utilizando un software de pulido desarrollado tanto por la Universidad Tecnológica de Mixteca (UTM) como por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP),⁷ se simulan los desgastes generados por estas herramientas, en las Figuras 8, 9 y 10 se muestran las simulaciones de desgastes de las herramientas sólida, anular y de pétalo respectivamente.

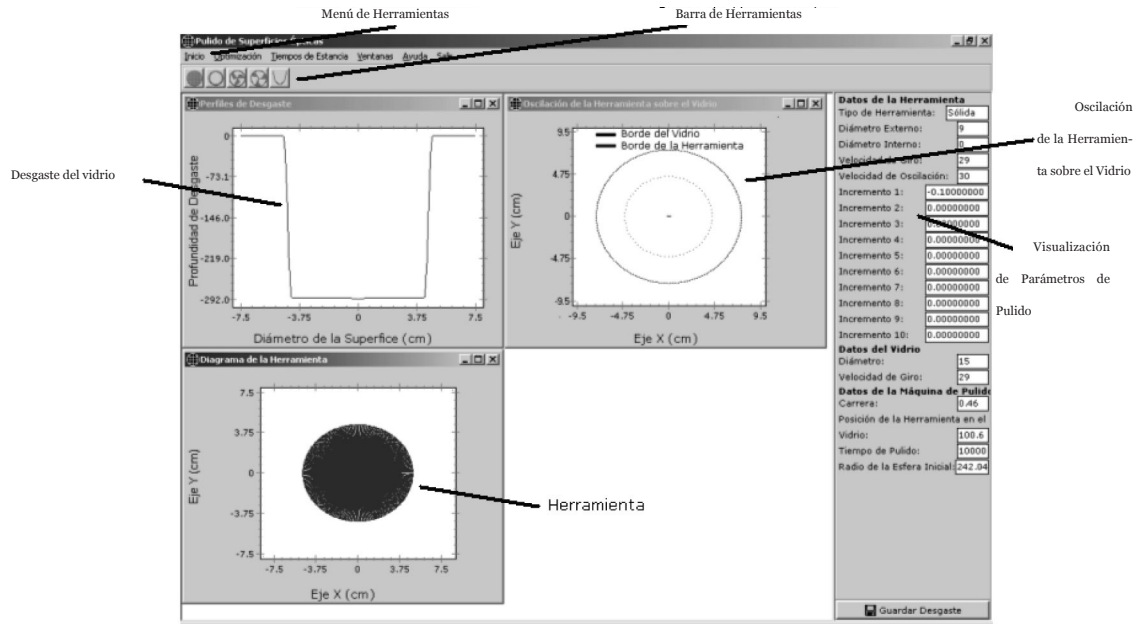


FIGURA 8. DESGASTE GENERADO POR UNA HERRAMIENTA SÓLIDA.

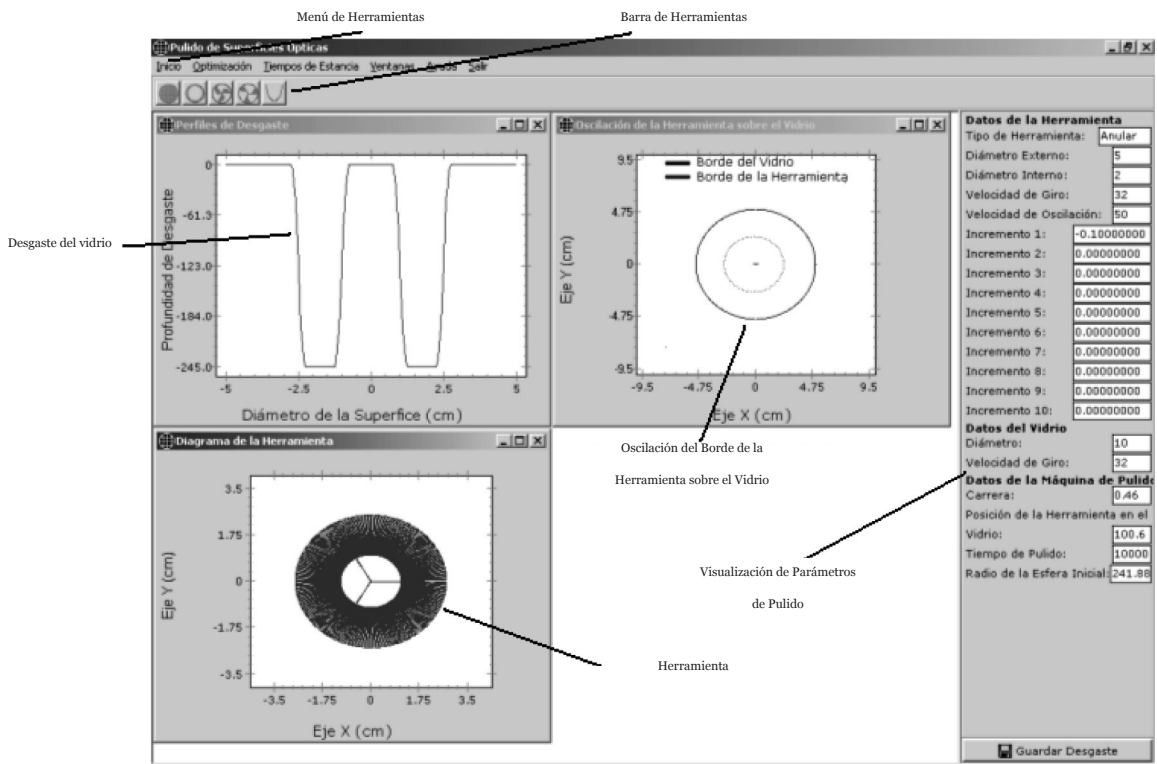


FIGURA 9. DESGASTE GENERADO POR UNA HERRAMIENTA ANULAR.

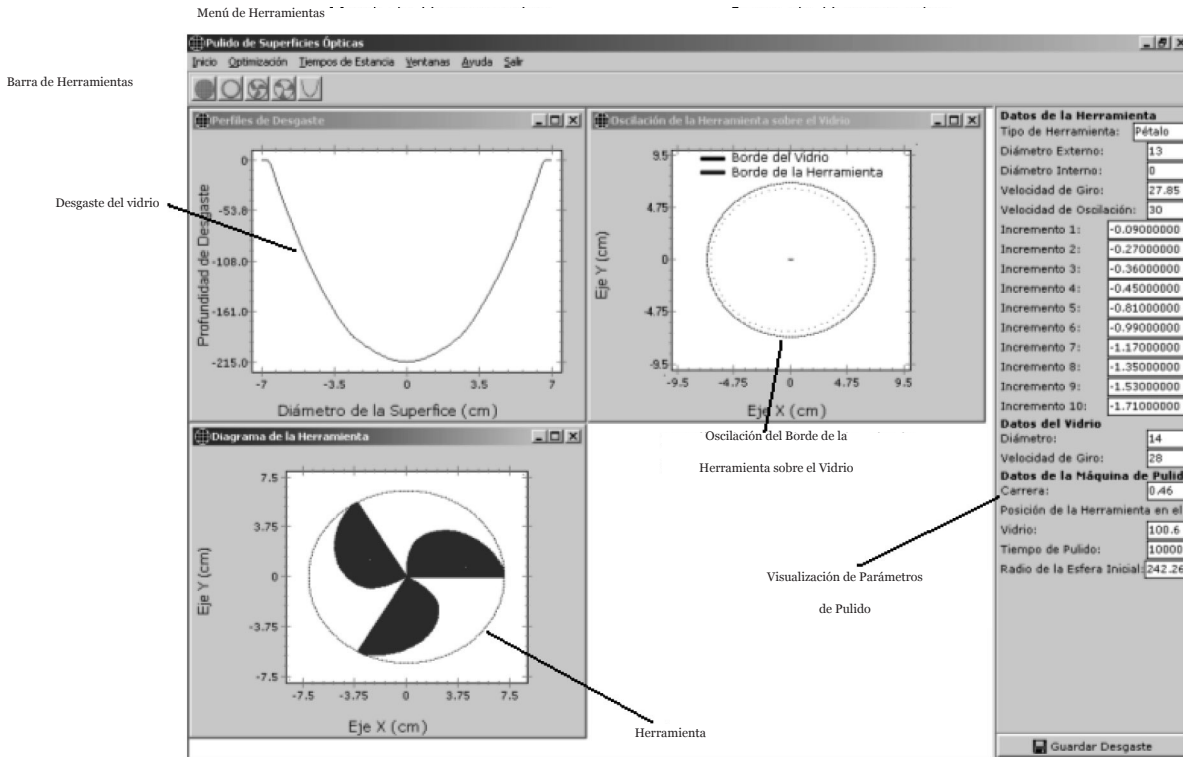


FIGURA 10. DESGASTE GENERADO POR UNA HERRAMIENTA DE PÉTALO.

3. Simulaciones de herramientas anulares incompletas

Tal y como lo muestran los resultados obtenidos por Cordero *et al.*,¹ el desgaste generado por una herramienta anular incompleta es directamente proporcional al tamaño angular que sustenta el anillo incompleto. En la figura 11(a) se muestra una herramienta formada por 3 herramientas anulares incompletas, los segmentos de cada anillo que forman a cada herramienta tienen el mismo tamaño angular. Para la herramienta central, cada segmento de anillo tiene un tamaño de 120° , para la herramienta central de 80° y para la herramienta exterior de 40° ; el desgaste generado por cada herramienta es mostrado en la figura 11(b), en la cual se puede observar que efectivamente el desgaste es directamente proporcional al tamaño angular de cada herramienta, es decir, los desgastes máximos generados por cada anillo incompleto son directamente proporcionales a 3 veces los tamaños angulares.

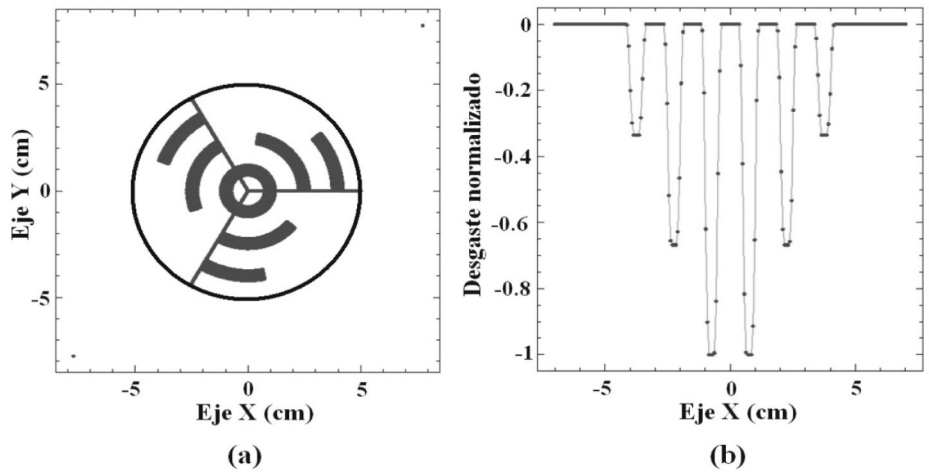


FIGURA 11. (A) HERRAMIENTA FORMADA POR 3 HERRAMIENTAS ANULARES INCOMPLETAS Y (B) DESGASTE GENERADO POR ESTAS HERRAMIENTAS.

En la figura 12(a) se muestra una herramienta anular incompleta formada por 4 segmentos, cada segmento del anillo tiene un tamaño angular de $\alpha=40^\circ$, por lo tanto, el desgaste generado por este anillo es 4 veces el desgaste generado de un segmento, es decir, el desgaste generado por este anillo es directamente proporcional al tamaño angular total del anillo de un segmento de 160° . El desgaste generado por esta herramienta se muestra en la figura 12(b).

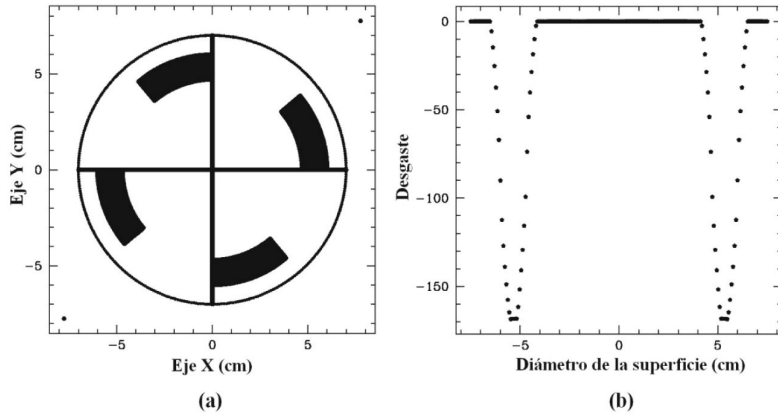


FIGURA 12. (A) HERRAMIENTA ANULAR INCOMPLETA DE 4 SEGMENTOS Y (B) DESGASTE GENERADO POR LA HERRAMIENTA.

Si el tamaño angular total de la herramienta de la figura 12(a) se mantiene, el desgaste generado por tanto, debe ser el mismo; de acuerdo a lo anterior, sí el anillo de 4 segmentos es dividido ahora en 8 segmentos (Figura 13(a)) o en 16 segmentos (Figura 13(b)), para mantener el tamaño angular total del anillo incompleto en 160° , cada segmento debe tener un tamaño angular de 20° y 10° respectivamente, y los desgastes generados ahora por estas herramientas deben ser iguales tal y como lo demuestran las gráficas de las Figuras 13(c) y 13(d), los resultados obtenidos de estas gráficas demuestran el desgaste generado por una herramienta anular incompleta dividida en segmentos, su desgaste es directamente proporcional a la suma de los tamaños angulares de cada segmento que forman a la herramienta.

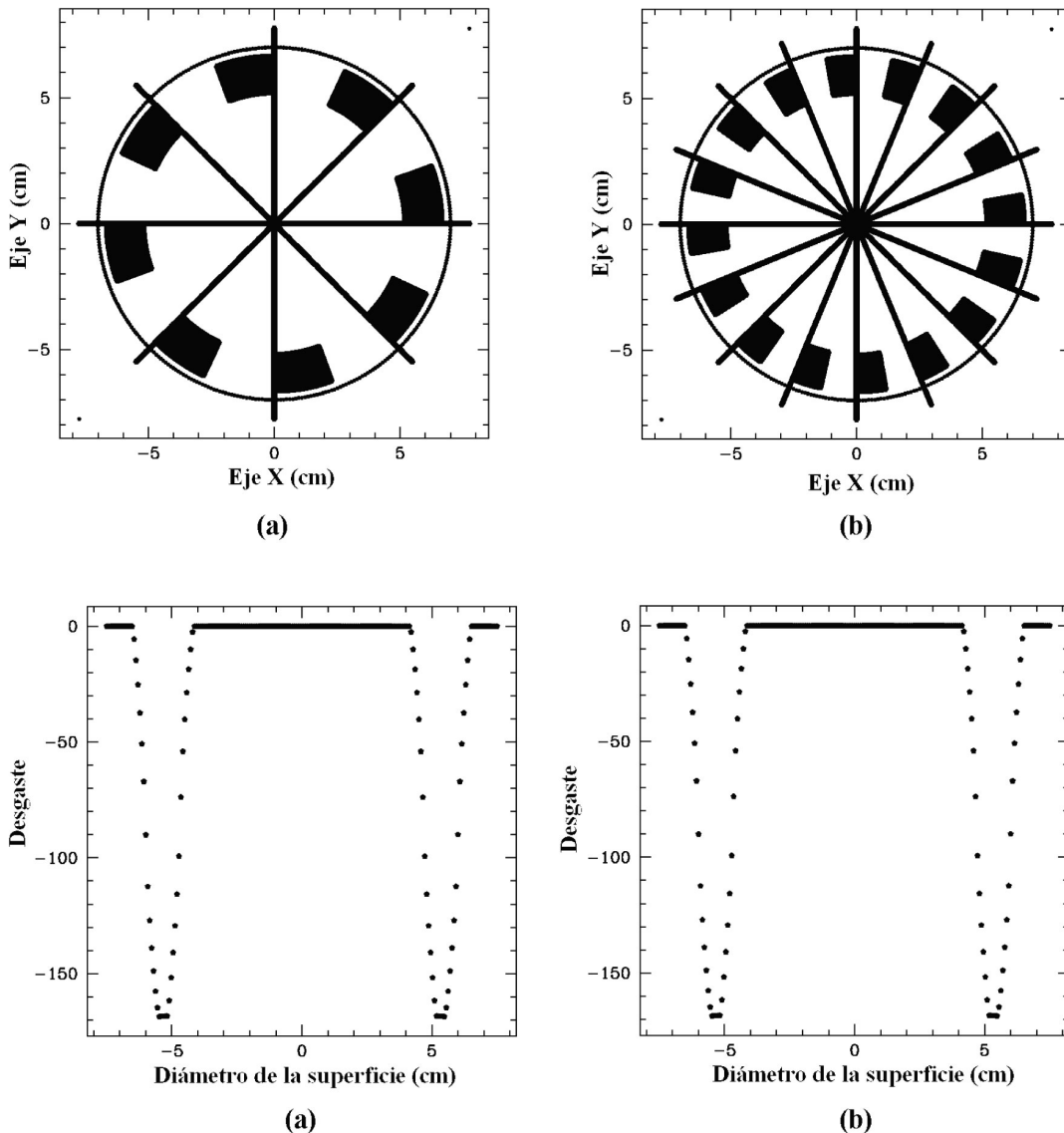


FIGURA 13. HERRAMIENTA ANULAR INCOMPLETA DIVIDIDAS EN (A) OCHO Y (B) DIECISIS SEGMENTOS; (C) DESGASTE GENERADO POR LA HERRAMIENTA DE OCHO SEGMENTOS Y (D) DESGASTE GENERADO POR LA HERRAMIENTA DE DIECISIS SEGMENTOS.

4. Herramienta de pétalo formada por herramientas anulares incompletas segmentadas

Una herramienta de pétalo (ver Figura 14) puede ser formada por un conjunto de herramientas anulares incompletas segmentadas, con un tamaño angular diferente para cada herramienta angular, como se puede ver en la Figura 15. La herramienta de la Figura 14, está formada por 101 herramientas anulares, mientras que la herramienta de la Figura 15, sólo está formada por 10.

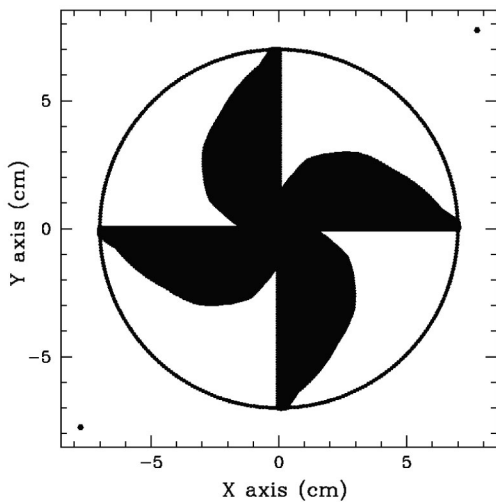


FIGURA 14. HERRAMIENTA DE PÉTALO FORMADA POR 101 HERRAMIENTAS ANULARES INCOMPLETAS DE CUATRO SEGMENTOS.

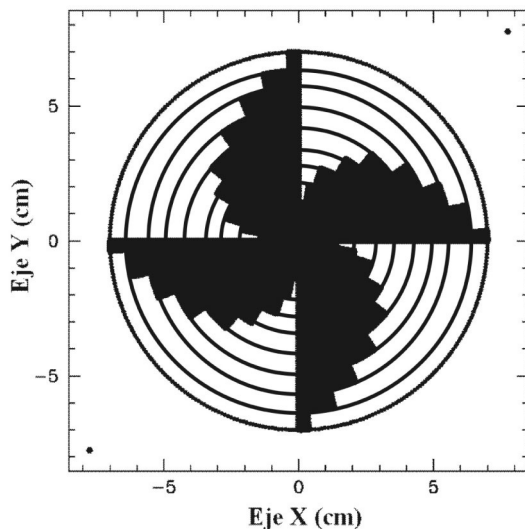


FIGURA 15. HERRAMIENTA DE PÉTALO FORMADA POR 10 HERRAMIENTAS ANULARES INCOMPLETAS DE CUATRO SEGMENTOS.

La forma de la herramienta de pétalo puede ser cambiada aumentando o disminuyendo el tamaño angular de cada segmento que forma a cada herramienta anular, de tal manera que se pueda generar un desgaste deseado como el mostrado en la Figura 16. En la Figura 17, se muestra el desgaste simulado por la herramienta de la Figura 15, el RMS del desgaste generado es de 0.0119

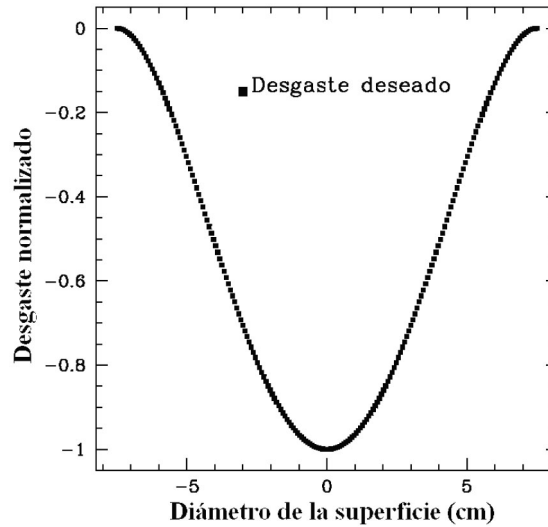


FIGURA 16. DESGASTE DESEADO.

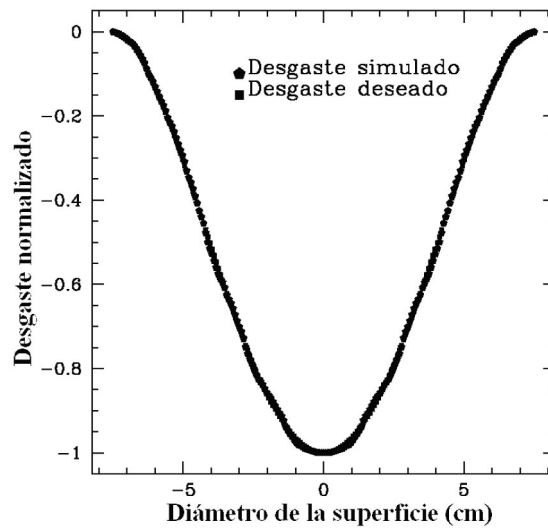
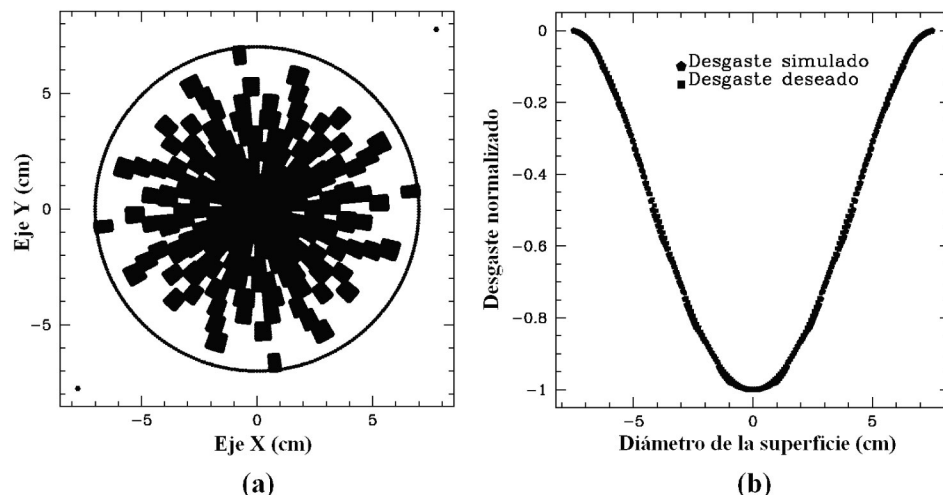


FIGURA 17. DESGASTE SIMULADO POR LA HERRAMIENTA DE PÉTALO FORMADA POR 10 HERRAMIENTAS ANULARES INCOMPLETAS DE CUATRO SEGMENTOS.

5. Diseño de la herramienta porosa a partir del diseño de la herramienta de pétalo

Tal y como se describió en la 4, una herramienta de pétalo esta formada por un conjunto de herramientas

FIGURA 18. HERRAMIENTA POROSA DISEÑADA POR MEDIO DE UNA HERRAMIENTA DE PÉTALO FORMADA POR 10 HERRAMIENTAS ANULARES INCOMPLETAS DIVIDIDA EN SEGMENTOS.




anulares incompletas, si cada una de estas herramientas son segmentadas en diferentes cantidades sin alterar su tamaño angular total, y por tanto sin alterar el desgaste que generan (sección 3), se crearía una nueva herramienta de pulido, llamada herramienta porosa, con la cual se generaría el desgaste deseado.

El diseño de la herramienta porosa se realizó usando el diseño de la herramienta de pétalo de la Figura 15, esta herramienta fue formada por 10 herramientas anulares incompletas segmentadas con diferentes tamaños angulares, si los segmentos de cada herramienta anular es aumentado conservando el tamaño angular total, tal y como se describió en la sección 3, siendo el número de segmentos diferentes para cada herramienta anular, se crea la herramienta mostrada en la Figura 18(a), esta herramienta formada es como una herramienta sólida con hoyos, de ahí su nombre de herramienta porosa, el desgaste generado por esta herramienta se muestra en la figura 18(b).

El valor RMS del desgaste generado por la herramienta porosa es el mismo que el de la herramienta de pétalo, esto indica que el desgaste generado por la herramienta porosa es igual al generado por una herramienta de pétalo.

Conclusiones

Partiendo de la teoría del desgaste generado por: 1) una herramienta anular segmentada (la cual es la base para formar a una herramienta de pétalo) y 2) una herramienta de pétalo, se realizó el diseño un nuevo tipo de herramienta, llamada herramienta porosa, con la cual se puede generar el desgaste deseado 

Referencias Bibliográficas

1. Alberto Cordero-Dávila, Víctor Cabrera-Peláez, Jorge Cuautle-Cortés, Jorge González-García, Carlos Robledo-Sánchez and Nazario Bautista-Elivar, 2005 “Experimental results and wear predictions with free-pinned petal tools,” *Appl. Opt.* 44, 1434-1441.
2. A. Bermúdez López, A. Cordero Dávila, y J. Cuautle Cortés 2003 “Diseño para la construcción de Herramienta de Pétalo aplicada al pulido de superficies ópticas,” en el 46th Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física Sup. Bol. Soc. Mex. Fis. 49, 39.
3. N. J. Brown 1978 “Computationally directed axisymmetric aspheric figuring,” *Opt. Eng.* 17, 602-620.
4. F. W. Preston 1927 “The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines,” *J. Soc. Glass Technol.* 11, 214-256.
5. A. Parra Flores, A. Cordero Dávila, J. Cuautle Cortés, C. Robledo Sánchez, J. González García, y. V. Cabrera Peláez 2003 “Simulación de desgastes en el pulido de superficies con la ecuación de Preston,” en el 46th Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física Sup. Bol. Soc. Mex. Fis. 49, 138.
6. Jorge González, Erika Vera Díaz, Agustín Santiago Alvarado, Abril Hernández Velasco, Alberto Cordero Dávila, Irce Leal Cabrera, Carlos Ignacio Robledo Sánchez y Víctor Hugo Cabrera Peláez 2005 “Simulación de desgastes en el pulido clásico y diseño de herramientas de pétalo utilizando algoritmos genéticos,” in Program of the 48th

- Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física, Bull. Soc. Mex. Fis. Suppl. 19, 150-151.
7. Jorge González García, Erika Vera Díaz, Agustín Santiago Alvarado, Abril Hernández Velasco, Alberto Cordero Dávila
- 2005 “Desarrollo de un Software para la simulación del pulido clásico,” 3er Congreso Nacional de Computación, 183-187. ISBN 968 863 905 2.
8. Tesis de Licenciatura:
- 2005 “*Software de simulación de pulido de superficies ópticas utilizando el método clásico*”, Asesores Dr. Jorge González García, M.C.C. Erika Vera Díaz y Dr. Agustín Santiago Alvarado, UTM, Fecha de Examen 15 de Diciembre de 2005.
9. Jorge González García, Alberto Cordero Dávila y Ludwig Barcelos Mendoza
- 2005 “Diseño de nuevas formas de herramientas para obtener el desgaste deseado en el pulido clásico de superficies,” in Program of the 48th Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física, Bull. Soc. Mex. Fis. Suppl. 19, 114.
10. R. González Castillo, L. Venegas Pérez, J. González García A. Parra Flores y A. Cordero Dávila
- 2003 “Análisis cinemático de una máquina pulidora comercial para superficies ópticas,” en el 46th Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física Sup. Bol. Soc. Mex. Fis. 49, 2.
11. <http://www.cielosur.com/optica.htm>
12. A. Cordero-Dávila, J. González-García, M. Pedrayes-López, L. Aguilar-Chiu, J. Cuautle Cortés, and C. Robledo-Sánchez,
- 2004 “Edge effects with Preston equation for a circular tool and workpiece, Appl. Opt. 43, 12150-1254.