



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

MODELO DE SHAW Y OXFORD APLICADO A UN PROCESO DE TALADRADO QUE UTILIZA BROCAS HELICOIDALES CON GEOMETRIA INNOVADA Y AUSENCIA DE BISEL TRANSVERSAL

Mario A. Guzmán

Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de La Frontera
Av. Francisco Salazar 01145 Temuco Chile
correo-e: mario.guzman@ufrontera.cl.

RESUMEN

Los investigadores Shaw y Oxford [1] publicaron el año 1957 un modelo para simular las fuerzas de avance y el torque que se genera en un proceso de taladrado. Este método está diseñado para utilizar brocas helicoidales con geometría tradicional, donde destaca la presencia de los filos principales de corte y del bisel transversal. Este último, actúa en un proceso de indentación [2]. En la ecuación de Shaw y Oxford está presente la acción del bisel transversal a través del cociente formado por la longitud de éste con respecto al diámetro de la herramienta.

En el mercado han aparecido brocas con geometría mejorada en la punta, donde el bisel transversal se ha transformado en dos filos adicionales de corte, lo que se logra mediante un destalonado en cruz del mencionado bisel. Esta herramienta mejorada conduce a nuevos procedimientos de estimación de las fuerzas y del par mecánico de taladrado. Con la finalidad de utilizar el modelo de Shaw y Oxford para estas nuevas herramientas se propone usar la misma ecuación, pero reemplazando el parámetro que representa la presencia del bisel transversal por el valor cero.

Para estudiar la propuesta se taladraron probetas de aleación de aluminio con cinco diámetros distintos. Las señales digitales provenientes del mencionado proceso fueron capturadas mediante una plataforma dinamométrica con sensores piezoeléctricos. Los datos fueron sometidos a un proceso de filtrado [3], los que posteriormente fueron convertidos en fuerzas y torques mediante el modelo de la presión específica de corte, cuyos valores se contrastaron con aquellos obtenidos mediante el modelo de Shaw y Oxford. Los resultados de ambos métodos fueron sometidos a un proceso de comparación para determinar el comportamiento de los dos modelos involucrados. Los resultados obtenidos muestran una cercanía cuantitativa de ambos métodos, quedando en evidencia la aplicabilidad del modelo de Shaw y Oxford a las brocas con ausencia del bisel transversal y presencia del filo transversal.

Palabras Claves: Modelo de Shaw y Oxford, fuerzas de avance en taladrado, torque en taladrado, bisel transversal, filo transversal.



1. INTRODUCCIÓN

El taladrado es una combinación de dos movimientos, uno rotativo principal y otro de avance lineal, lo que conduce a obtener un agujero de forma cilíndrica recta. Esto es logrado mayoritariamente, utilizando una broca helicoidal.

Una broca helicoidal convencional (Figura 1), se caracteriza fundamentalmente por tener: ángulo de la punta, ángulo entre los filos principales, ángulo del bisel transversal, ángulo de la hélice, longitud de los filos principales de corte y longitud del bisel transversal. Este último, tienen una gran influencia sobre las fuerzas de corte y la calidad de los agujeros [4]. En una operación de taladrado el bisel transversal arranca material mediante un proceso de indentación, con presencia de un ángulo de desprendimiento altamente negativo.

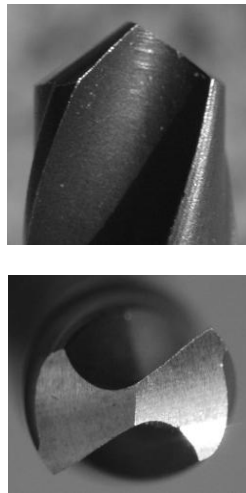


Figura 1 Broca con geometría convencional.

Para minimizar la fuerza de avance y el par de taladrado, algunos investigadores han logrado, en cierta medida, optimizar la geometría de la punta de la herramienta, pero conservando la presencia del bisel transversal [5] [6] [7] [8].

Las mejoras realizadas en la geometría de las brocas helicoidales (Figura 2), que divide al bisel transversal en dos filos de corte, lo que corresponde a un destalonado en cruz.

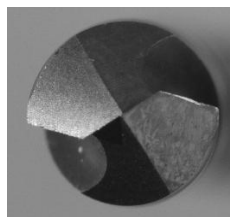


Figura 2 Broca con filo transversal.



Estas brocas han sido afiladas de modo que, se generan dos filos primarios como puede apreciarse en la (Figura 3), los cuales generan la formación de un ángulo de desprendimiento positivo.

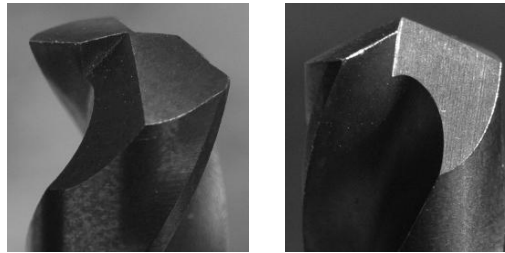


Figura 3 Dos vistas de una broca con geometría mejorada en la punta.

Se reconoce que el bisel transversal de la broca aporta una significativa magnitud de la componente de la fuerza de avance [9]. El año 1957 los investigadores Shaw y Oxford [1] establecieron que el proceso de taladrado puede ser dividido en dos partes. Una es la acción de los filos principales de corte, y la otra es la acción del bisel transversal.

Los modelos propuestos por Shaw y Oxford para predecir la fuerza de avance F_f y el par de corte M_c , están formulados en la (ecuación 1) y (ecuación 2), respectivamente.

$$\frac{F_f}{D^2 H_B} = k_1 \frac{s^{2a} f_n^{1-a}}{D^{1+a}} \left[\frac{1 - \frac{c}{D}}{\left(1 + \frac{c}{D}\right)^a} + k_2 \left(\frac{c}{D}\right)^{1-a} \right] + k_3 \left(\frac{c}{D}\right)^2 \quad (1)$$

$$\frac{M_c}{D^3 H_B} = k_4 \frac{s^{2a} f_n^{1-a}}{D^{1+a}} \left[\frac{1 - \left(\frac{c}{D}\right)^2}{\left(1 + \frac{c}{D}\right)^a} + k_5 \left(\frac{c}{D}\right)^{2-a} \right] \quad (2)$$

El cálculo de la fuerza de avance F_f y del par de corte M_c están en función de: la dureza del material mecanizado H_B , del diámetro de la broca D , del avance de la herramienta f_n , de la longitud del bisel transversal c y del factor s , cuyo valor promedio representa la imperfección del material que se pretende mecanizar. Los valores de: s , a , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 y k_5 , son constantes que deben ser determinadas a través de actividades experimentales.

En la (ecuación 1) y (ecuación 2), el factor (c/D) , representa la influencia del bisel transversal en el cálculo de la fuerza de avance F_f y del par de taladrado M_c .



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Por otro lado, los modelos basados en la presión específica de corte orientados a predecir la fuerza de avance F_f y la fuerza de corte F_c , están secuencialmente expresados en la (ecuación 3) y (ecuación 4).

$$F_f = k_f A \quad (3)$$

$$F_c = k_c A \quad (4)$$

Donde k_f es el valor de la presión específica asociada a la fuerza de avance, k_c es el valor de la presión específica asociada a la fuerza de corte y A corresponde al área de corte no deformada. Como consecuencia de conocer la fuerza de corte F_c que actúa en cada filo de la broca y la distancia que las separa, se logra calcular el momento de taladrado M_c .

1.1 Objetivo del trabajo

Probar que las ecuaciones originales de Shaw y Oxford destinadas a simular la fuerza de avance y el par de taladrado, tienen validez cuando se utilizan en brocas sin bisel transversal, donde el factor (c/D) tiende a cero.

1.2 Equipamiento y materiales utilizados

Para realizar los ensayos de taladrado se dispuso de los siguientes recursos:

- Máquina-herramienta CNC marca Hercus, modelo VMC300 (Figura 4).
- Mesa dinamométrica, dotada de sensores piezoeléctricos.
- Sistema de adquisición de datos (análogos y digitales).
- Brocas con geometría innovada en las puntas. (Diámetros: 4, 5, 6, 7 y 8 mm).
- Probetas de aleación de aluminio Al-2011 (Dureza 95 HB).



Figura 4 Máquina-herramienta CNC.

1.3 Condiciones de corte en taladrado



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Considerando las propiedades del material a taladrar y el diámetro de las brocas, se determinó la velocidad rotacional n , el avance axial f_n , la velocidad de avance V_f y la velocidad de corte V_c en base a las (ecuaciones 5, 6, 7 y 8), respectivamente.

$$n = 11254 \cdot D^{-0,8353} \quad (5)$$

$$f_n = 0,0159 \cdot D^{1,0789} \quad (6)$$

$$V_f = f_n \cdot n \quad (7)$$

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (8)$$

La Tabla 1 registra las condiciones cinemáticas determinadas para realizar los ensayos de taladrado, considerando los distintos diámetros seleccionados.

Tabla 1 Parámetros de corte para los ensayos

Diámetro D (mm)	Velocidad rotacional n (rev /min)	Avance axial f_n (mm/rev)	Velocidad de Avance axial V_f (mm/min)	Velocidad de Corte V_c (m/min)
4	3535	0,07	251	44
5	2934	0,09	265	46
6	2520	0,11	277	48
7	2215	0,13	287	49
8	1981	0,15	297	50

1.4 Tipo de brocas utilizadas

En la Tabla 2 se muestran las características geométricas de las brocas ensayadas, cuyo material corresponde a un acero rápido (HSS).

Tabla 2 Características geométricas de las brocas ensayadas.

Angulo de desprendimiento del filo transversal γ_i : 9° Angulo de la hélice γ_f : 26°	Angulo entre fillos principales σ : 140° Angulo del filo transversal ψ : 45° Altura del filo : Z
--	--

En la (Figura 5) está representada la geometría más importante de las brocas innovadas. Dichas mejoras están centradas, fundamentalmente, en la parte activa de la herramienta.

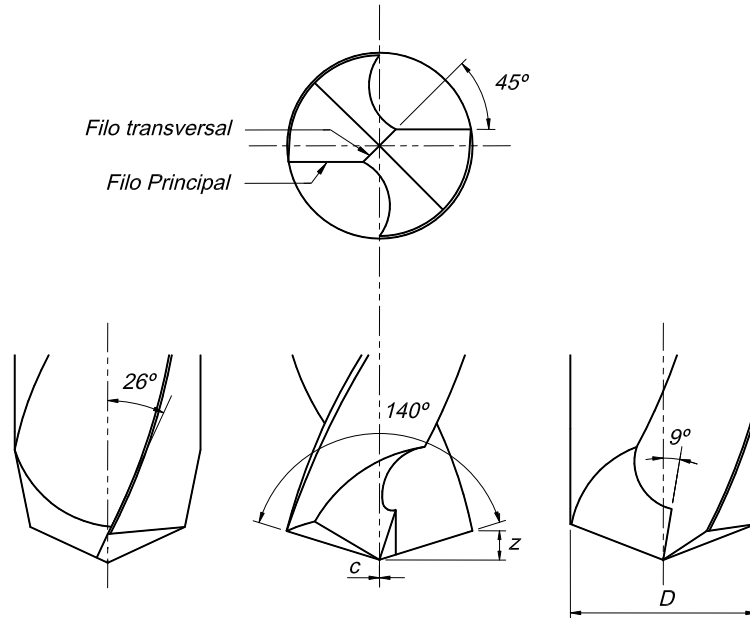


Figura 5 Geometría de las brocas innovadas, principalmente en su parte activa.

1.5 Método de la presión específica de corte

A modo de ejemplo ilustrativo, se muestran los resultados obtenidos al taladrar con una broca de 6 mm de diámetro. Los resultados que se presentan a continuación, fueron graficados con datos medidos y calculados, los que corresponden a la presión específica de la fuerza de avance en el filo transversal (Figura 6), presión específica de la fuerza de avance en el filo principal (Figura 7), fuerza de avance axial (Figura 8), presión específica de corte (Figura 9), fuerza de corte (Figura 10) y par de taladrado (Figura 11). Todos los gráficos están referidos a lo que ocurre en la parte activa de la broca.

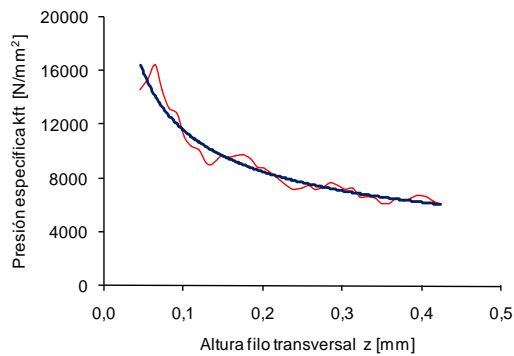


Figura 6 Presión específica de la fuerza de avance, medida y calculada, en el filo transversal y en función de la altura del filo transversal.

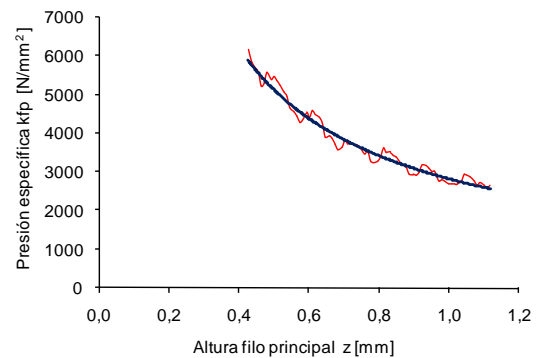


Figura 7 Presión específica de la fuerza de avance, medida y calculada, en el filo principal y en función de la altura del filo principal.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

La (Figura 8) representa la fuerza de avance axial, la que está compuesta por la fuerza que actúa en el filo transversal más la fuerza que actúa en el filo principal. El valor máximo de la fuerza de avance axial y el valor máximo del par de taladrado, están correlacionados con la altura máxima de la parte activa de la herramienta.

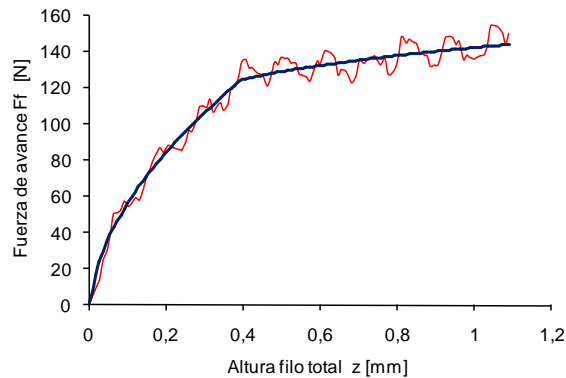


Figura 8 Fuerza de avance axial total, medida y calculada, en función de la altura del filo.

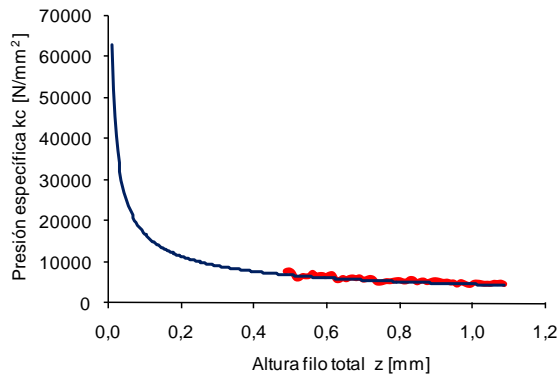


Figura 9 Presión específica de corte, calculada y medida, en función de la altura del filo.

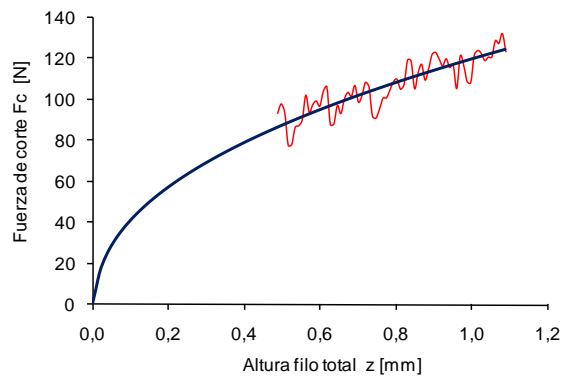


Figura 10 Fuerza de corte, calculada y medida, en función de la altura del filo.

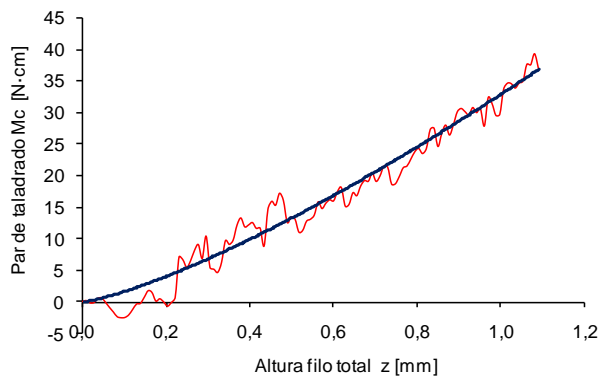


Figura 11 Par de taladrado, medido y calculado, en función de la altura del filo.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

La Tabla 3 recoge los valores máximos de las fuerzas de avance axial y de los pares de taladrado, para los distintos diámetros de brocas ensayas.

Tabla 3 Resultados de los valores máximos de las fuerzas de avance y pares de taladrado.

Diámetro D (mm)	Altura del filo Z (mm)	Fuerza de avance axial F_f (N)	Par de taladrado M_c (N·cm)
4	0,728	90,180	12,860
5	0,910	112,756	25,817
6	1,092	151,114	38,985
7	1,274	190,203	55,679
8	1,456	211,763	74,403

1.6 Método de Shaw y Oxford.

La Tabla 4 contiene los datos básicos y derivados que participan en el modelo de Shaw y Oxford. Cabe destacar la presencia de la energía específica efectiva que se genera en un proceso de taladrado, la que se expresa por la función $u = 8M_c / f_n D^2$.

Tabla 4 Datos básicos y derivados que participan en el modelo de Shaw y Oxford.

D (mm)	f_n (mm/rev)	M_c (N·cm)	8M_c/f_n·D² (N·mm/mm ³)	D·f_n (mm ² /rev)	Ln(8M_c/f_n·D²) (N·mm/mm ³)	ln(D·f_n) (mm ² /rev)
4	0,07	12,860	918,571	0,28	6,823	-1,273
5	0,09	25,817	917,950	0,45	6,822	-0,799
6	0,11	38,985	787,576	0,66	6,669	-0,416
7	0,13	55,679	699,267	0,91	6,550	-0,094
8	0,15	74,403	620,025	1,20	6,430	0,182

Si la razón (c/D) se hace igual a cero y el factor $s=1$, las (ecuaciones 1 y 2) pasan a convertirse en las (ecuaciones 9 y 10), donde los coeficientes quedan reducidos a K_1 , K_2 y K_3 , respectivamente.

$$f_f = K_1 H_B (D \cdot f_n)^{1-a} + K_2 H_B D^2 \quad (9)$$

$$M_C = K_3 H_B f_n^{1-a} D^{2-a} \quad (10)$$

El Gráfico (1) se construye en base a los datos de las dos últimas columnas de la Tabla 4. La regresión lineal ajustada al gráfico muestra una pendiente cuyo valor es $(a=0,2838)$. Este valor permite determinar los exponentes de las (ecuaciones 9 y 10). Es decir: $(1-a) = 0,7162$; $(1+a) = 1,2838$ y $(2-a) = 1,7162$.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

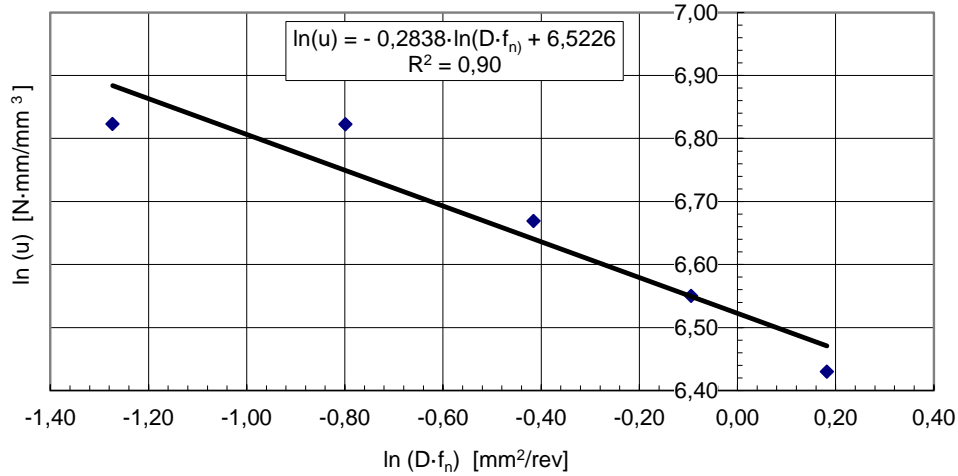


Gráfico 1 Comportamiento de la energía específica (u) con respecto al factor ($D \cdot f_n$)

La disposición de los datos en la forma que se presentan en la Tabla 5, conlleva a trazar el (Gráfico 1) y el (Gráfico 2).

Tabla 5 Datos para producir el (Gráficos 2) y el (gráfico 3).

$\frac{F_f}{D^2 H_B}$	$\frac{M_c}{D^3 H_B}$	$\frac{F_n^{(0,7162)}}{D^{(1,2838)}}$
0,05933	0,00212	0,02512
0,04748	0,00217	0,02258
0,04419	0,00190	0,02063
0,04086	0,00171	0,01908
0,03483	0,00153	0,01780

El (Gráfico 2) y el (Gráfico 3) responden a un ajuste de correlación lineal, de donde es posible extraer coeficientes K_1 , K_2 y K_3 , respectivamente.

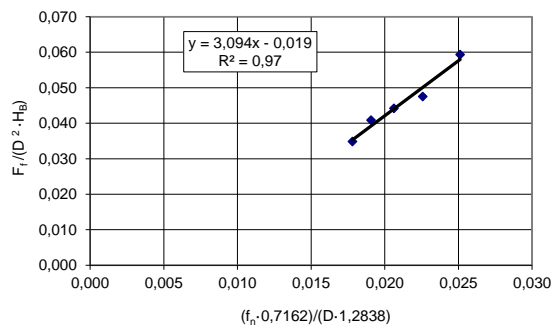


Gráfico 2 Obtención de los coeficientes K_1 y K_2 .

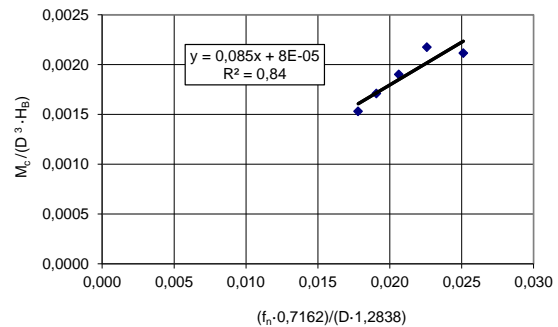


Gráfico 3 Obtención del coeficiente K_3 .



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Los coeficientes K_1 , K_2 y K_3 , juntos a la dureza del material H_B , el avance de corte F_n y el diámetro de la broca D , participan en las (ecuaciones 9 y 10), las que permiten calcular las fuerzas de avance F_f y los pares de taladrado M_c . La Tabla 6 recoge los valores obtenidos mediante el método de Shaw/Oxford y el método de la presión específica de corte.

Tabla 6 Valores de las fuerzas de avance y pares de taladrado obtenidos mediante los métodos de Shaw y Oxford y de la Presión Específica de Corte.

D (mm)	Shaw/Oxford Ff (N)	Presión Específica Ff (N)	ΔFf (N)	Shaw/Oxford Mc (N-cm)	Presión Específica Mc (N-cm)	ΔMc (N-cm)
4	86,953	90,180	3,23	12,979	12,860	0,12
5	117,223	112,756	4,47	22,853	25,817	3,03
6	148,164	151,114	2,95	36,132	38,985	3,01
7	179,305	190,203	10,90	53,124	55,679	2,85
8	210,290	211,763	1,47	74,097	74,403	0,79

2. RESULTADOS

El (Gráfico 4) representa los resultados de las fuerzas de avance en taladrado para los métodos de Shaw/Oxford y de la presión específica de corte.

El (Gráfico 5) representa los resultados de los pares de taladrado para los métodos de Shaw/Oxford y de la presión específica de corte.

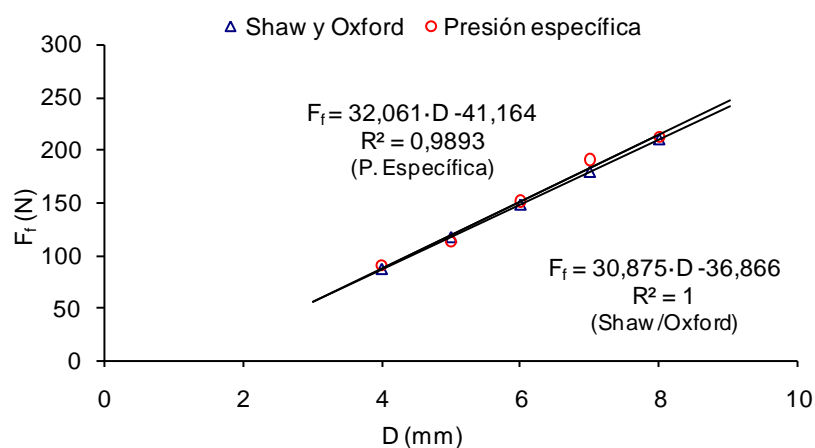


Gráfico 4 Fuerzas de avance calculadas por los métodos de Shaw/Oxford y de la presión específica de corte.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

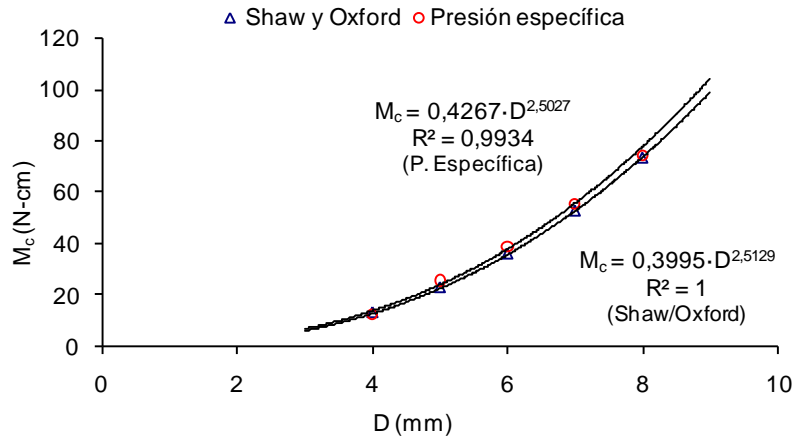


Gráfico 5 Pares de taladrado calculados por los métodos de Shaw/Oxford y de la presión específica de corte.

3. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones extraídas del trabajo son las siguientes:

- Para obtener los valores de referencia de las fuerzas de avance y de los pares de taladrado, se recurrió a valores medidos y calculados por el método de la presión específica de corte.
- Anulando el factor que representa la influencia del bisel transversal, se reescribieron las ecuaciones originales de Shaw y Oxford, logrando ecuaciones abreviadas para las fuerzas de avance y pares de taladrado.
- Al utilizar las nuevas ecuaciones de Shaw y Oxford para calcular la fuerzas de avance y par de taladrado, los resultados obtenidos muestran una cercanía cuantitativa de ambos métodos, quedando en evidencia la aplicabilidad del modelo de Shaw y Oxford a las brocas con ausencia del bisel transversal y presencia del filo transversal.

4. REFERENCIAS

- [1] M.C.Shaw, C.J.Oxford Jr, On the Drilling of Metals 2- The torque and thrust in drilling, Transactions of the ASME: Vol.-79 139-148, 1957.
- [2] O.Isbilir, E. Ghassemieh, Numerical Investigation of Effect of Drill Geometry on Drilling Induced Delamination of Carbon Fiber Reinforced Composites, Composites Structures: Vol.-105 126-133, 2013.
- [3] Gyorki, J. R., Signal Conditioning & PC-Based Data Acquisition, Iotech, Inc. USA, 2004.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

- [4] M.Pirtini, I.Lazoglu. Forces and quality in drilling, International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.- 45 1271-1281, 2005.
- [5] J.Wang, Q.Zhang, A study of high-performance plane rake faced twist drills. Part I: Geometrical analysis and experimental investigation, International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.-48 1276-1285, 2008.
- [6] J.Wang, Q.Zhang, A study of high-performance plane rake faced twist drills. Part II: Predictive force models, International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.-48 1286-1295, 2008.
- [7] P.Anish, Shiv G. Kapoor y R.DeVor, Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design, International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.- 45 4-5 421-431, 2005.
- [8] Fetecau, C., Stan, F. y Oancea, N, Toroidal grinding method for curved cutting edge twist drills. Journal of Materials Processing Technology. Vol.- 209 3460-3468, 2009.
- [9] R.F.Hamade, C.Y.Seif y F.Ismail, Extracting cutting force coefficients from drilling experiments, International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol.-46 387-396, 2006.

Agradecimientos

El autor de este trabajo desea agradecer a la Dirección de Investigación de la Universidad de La Frontera, que mediante el proyecto DIUFRO DI10-0012 financió este trabajo de investigación.