



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

INFLUENCIA DE LAS DISTINTAS CLASES DE HELICES EMPLEADAS EN BROCAS HELICOIDALES DE ACERO AISI M2, Y DEL TIPO DE LUBRICACION, SOBRE LOS ESFUERZOS Y LA CALIDAD DE LOS ORIFICIOS, EN PROCESOS DE AGUJEREADO

Martinez Krahmer D.^{1,3}, Brunetto P.¹, Maceira G.^{1,3}, Szombach J.² y Papczuk G.²

¹ Cátedra Tecnología Mecánica – ² Estudiantes avanzados - Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Juan XXIII y Camino de Cintura, Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina

³ Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Desarrollo en Mecánica, mkrahmer@inti.gob.ar

RESUMEN

La duración de las herramientas de corte, el consumo de energía y la calidad de las operaciones de mecanizado, dependen, entre otras variables, de la magnitud de los esfuerzos de corte. Las necesidades de mejorar las variables citadas, son habituales entre los usuarios de estos procesos.

Una revisión de la bibliografía sobre trabajos de agujereado, que incluyan la medición de esfuerzos, nos muestran que han sido analizados: el grado de incidencia del filo transversal y de diferentes geometrías de afilado de punta sobre las fuerzas resultantes, el incremento de los esfuerzos conforme avanza el desgaste de la broca, la posibilidad de evaluar aceites de corte mediante la medición de la fuerza de avance, distintos tipos de recubrimientos o las diferencias del agujereado en seco y en húmedo.

La Norma DIN 1414 referida a los requisitos que deben cumplir las brocas helicoidales, describe alrededor de unas treinta variables geométricas de estas herramientas, de modo que, es prácticamente imposible relacionar la incidencia de cada una de ellas con la magnitud de los esfuerzos, a menos que alguna variable resulte notoriamente diferente, como ocurre con el tipo de hélice. En referencia a estas últimas, la Norma contempla la existencia de tres tipos de hélices con ángulos de 13°; 25° y 40° (brocas denominadas tipo H, N y W respectivamente).

Con el objeto de analizar la influencia del ángulo de hélice sobre diferentes tipos de materiales, se realizaron orificios, trabajando inicialmente en seco, con brocas tipo H, N y W de 7mm de diámetro, sobre barras de acero SAE 1060, aluminio y latón amarillo, montadas sobre un dinamómetro piezoeléctrico. Se midieron las fuerzas axiales F_a , los momentos torsores M_t , las rugosidades $R_a - R_t$ y los diámetros de los orificios \varnothing .

Obtenido el claro indicio que las brocas tipo N son aquellas que proporcionaron en general, los mejores resultados, y que el agujereado sobre acero produce las mayores diferencias relativas en virtud de su mayor tensión unitaria de corte, se complementaron las pruebas realizadas en seco, con ensayos de agujereado utilizando aceites emulsionables y de corte neto, con el objeto de establecer que clase de lubricación proporciona los menores esfuerzos y rugosidad.

A modo de conclusión, se desprende que, como fue comentado previamente, las mayores diferencias relativas en relación a los esfuerzos, ocurrieron durante el agujereado del acero, mientras que las menores resultaron sobre el latón amarillo. Por otro lado, considerado el conjunto total de ensayos efectuados con las brocas de distintos tipos de hélices (3 tipos de materiales por 5 variables medidas), el tipo de broca que produjo los menores valores para la fuerza axial, el momento torsor, las rugosidades $R_a - R_t$ y el diámetro, resultó ser preponderantemente la tipo N (sobre 15 variables, las brocas tipo N produjeron en 12 de ellas los valores mínimos), mientras que, la de peor performance resultó ser la tipo W (sobre 15 variables, las brocas tipo W produjeron en 10 de ellas los valores máximos).

En referencia a los ensayos realizados para evaluar la influencia de la lubricación, el uso de aceite emulsionable produjo los valores más altos para los esfuerzos, mientras que el aceite neto generó un valor significativamente menor para la fuerza de avance.

En referencia a la rugosidad, el empleo de aceites de corte produjo una mejora sensible respecto del trabajo en seco, y de aquellos aceites evaluados, fue el emulsionable quien originó los menores valores.

Palabras claves: brocas helicoidales, tipo de hélice, lubricación, esfuerzos, rugosidad.

1. INTRODUCCION

La broca con canales helicoidales fue inventada por Stephen Morse en los Estados Unidos en el año 1861. Su diseño permitió resolver la elaboración de orificios de cierta profundidad, que las brocas planas existentes hasta ese momento no podían efectuar, dada la imposibilidad que presentaban para extraer la viruta del agujero mecanizado.

Más allá de la cantidad de años que han transcurrido desde aquel momento, y de la aparición de algunas mejoras asociadas a las brocas (aplicación de nuevos materiales, aparición de variantes de la geometría de afilado de la punta), aquella concepción de los canales helicoidales fue tan acertada que, la inmensa mayoría de las brocas utilizadas en la actualidad, presentan estos canales.

Con el objeto de promover una aplicación más específica de las brocas, las Normas DIN 1414 [1] parte 1 y parte 2, establecen tres tipos de hélices a emplear, dependiendo del material a mecanizar: la hélice N (normal) se emplea para aceros y fundiciones de hierro con durezas de hasta 240 HB, la hélice tipo H (hart, significa duro en alemán) se aplica en materiales duros y frágiles como las fundiciones de hierro de más de 240 HB, y la hélice tipo W (weich, significa blando en alemán) para materiales blandos como ser cobres, aluminios y sus aleaciones. A estas hélices se asocian ángulos nominales de 25°; 13° y 40° respectivamente.

La duración de las herramientas de corte, el consumo de energía y la calidad de las operaciones de mecanizado, dependen entre otras variables, de la magnitud de los esfuerzos de corte. Las necesidades de mejorar estas variables, son habituales entre los usuarios de estos procesos.

Con el objeto de conocer el estado del arte, una revisión de la bibliografía sobre trabajos de agujereado, que incluyan la medición de esfuerzos presentan diversas aristas, a saber:

Stemmer [2] nos muestra que, el llamado filo transversal de la broca helicoidal, es el responsable de entre el 45% al 60% de la fuerza de avance en el agujereado, y que su porcentaje de incidencia es mayor (nos referimos a que crece hacia el 60%) a medida que aumenta el diámetro de la broca y consecuentemente aumenta también, el espesor del núcleo.

Guzmán [3] comparó el comportamiento de brocas helicoidales convencionales, y otras con un afilado de punta que elimina el filo transversal, mediante la medición experimental de la fuerza axial y el momento torsor, en pruebas de agujereado, usando dinamometría piezoeléctrica, empleando brocas de ambos tipos, en el rango de 5 a 8mm de diámetro. Los resultados obtenidos mostraron una reducción del 48% al 57,6% en el caso de la fuerza axial, y del 6,2% al 15,8% en el momento torsor de las brocas de filo modificado respecto de las convencionales.

Sahu [4] propone el uso de ranuras realizadas sobre la superficie del canal helicoidal de brocas convencionales, próximas a los filos de corte, actuantes así como rompevirutas, con el objeto de facilitar la rotura de viruta y reducir las fuerzas de agujereado, así como también minimizar la posibilidad de obstrucción de la salida de viruta. Trabajando con brocas de acero rápido de 10,7mm de diámetro, y realizando pruebas de agujereado sobre placas de acero SAE 1018, se emplearon dos geometrías de ranuras diferentes, que se compararon con brocas sin ranura rompeviruta. Utilizando un dinamómetro piezoeléctrico, se obtuvieron los diagramas del momento torsor y la fuerza de avance. Mediante la observación de las virutas resultantes, a igualdad de condiciones de corte, se desprende que la ranura rompeviruta es altamente efectiva para tal destino, facilitando la extracción de viruta y reduciendo la fuerza de extracción.

Por otra parte, **Monterrubio Alvarez** [5], realizando mediciones al respecto de la relación existente entre el fin de la vida útil del filo de brocas helicoidales de acero rápido agujereando acero F-1140, y su correspondencia con el incremento de la fuerza de avance, ha mostrado que, alcanzado un incremento del 40% del valor inicial de esta fuerza, las brocas ensayadas perdieron su capacidad cortante, de manera que un porcentaje similar o menor, podría ser usado como referencia para el seteo en controles numéricos (con capacidad de medición de este esfuerzo), sirviendo para promover el cambio de este tipo de herramientas empleadas en el agujereado de aceros similares. Un valor similar (50%), fue encontrado por Jalali en pruebas de agujereado, según relata **Lin** [6] en su trabajo sobre "Monitoreo de desgaste de brocas midiendo las fuerzas de agujereado".

Belluco [7] encontró que es posible valorar un lubricante de corte midiendo en una simple prueba de agujereado, la fuerza de avance, dado que asegura la existencia de una relación directa entre la posibilidad de efectuar una mayor cantidad de orificios (incremento de la vida útil), a medida que se reduce la fuerza de avance.

En el mismo sentido, **Szombach, Krahmer** y otros [8], aplicaron la medición de esfuerzos de agujereado para evaluar el comportamiento de seis formulaciones distintas de aceites de corte emulsionables, encontrado que la mayor diferencia porcentual entre aquel aceite que midió el valor más alto en referencia a aquel que midió el valor más bajo, resultó ser de 5.26% en el caso de la fuerza de avance, y del 6.25% para el momento torsor.

En uno de los trabajos más completos publicados en relación a procesos de agujereado, **Braga** y otros [9], estudiaron el comportamiento de brocas de metal duro integral sin recubrimiento y otras con recubrimiento de diamante policristalino, aplicadas al agujereado de aleaciones de aluminio-silicio. Durante los ensayos

realizados se utilizaron una técnica de lubricación MQL (Mínima cantidad de lubricante) por una parte, y por otra, un método tradicional usando aceite emulsionable al 4%, con el objeto de compararlas. Se midieron los desgastes de los filos, la potencia consumida, la fuerza de avance, los diámetros de los orificios efectuados, así como su redondez, rugosidad y conicidad. Al respecto se informa que los orificios obtenidos mediante la técnica MQL fueron en todos los casos similares o mejores a los resultantes usando la técnica de lubricación convencional, mientras que las brocas con recubrimiento de diamante no presentaron ventaja alguna comparadas con las de metal duro integral no revestido.

Chen [10], con el objeto de evaluar el comportamiento y rendimiento de brocas helicoidales de acero rápido con distintos tipos de recubrimientos PVD (TiN monocapa; TiN multicapa y TiCN multicapa), empleando como herramienta brocas de 10mm de diámetro y como material a mecanizar acero AISI 304, efectuó pruebas de rendimiento, y medición de esfuerzos (fuerza de avance y momento torsor), por dinamometría piezoeléctrica, encontrando que las brocas con recubrimiento TiN multicapa arrojaron los menores valores correspondientes a la fuerza de avance, momento torsor y desgaste de filo.

Finalmente, **Song** [11] efectuando estudios experimentales de agujereado de pequeños orificios (3,175mm de diámetro) realizados en seco, sobre un material bimetálico, constituido por un primer espesor de 6mm de acero pulvimetalúrgico AISI 1141, y un segundo de 9mm de espesor, de aleación de aluminio 6061-T6, analizó el modo de falla de las brocas, así como también la incidencia de la geometría en las operaciones de agujereado en seco, y comparó los torques producidos por iguales herramientas en iguales condiciones de corte, cuando se agujerea en seco y en húmedo. En referencia a las mediciones de torque, encontró que en condiciones húmedas resultó entre un 20% a 25% menor al obtenido en condiciones secas. Observó también la existencia de una variación importante del torque en condiciones secas, concluyendo que esta inestabilidad ayudaría a promover la rotura de las brocas. Por último, probó brocas con diferentes ángulos de hélice (11° y 40°), encontrando que las brocas de 40° produjeron torques menores y más uniformes.

Por toda la información analizada, resulta indicado entonces estudiar la Influencia de las distintas clases de hélices comerciales existentes empleadas en brocas helicoidales de acero AISI M2, así como también el tipo de lubricación (seco, aceite emulsionable o de corte neto), sobre los esfuerzos y la calidad de los orificios, en procesos de agujereado. En tal sentido, se utilizaron brocas helicoidales de 7mm de diámetro con tres tipos de hélices (H, N y W), tres materiales a mecanizar (acero SAE 1060, latón amarillo y aluminio), y tres clases de lubricación (seco, aceite emulsionable o de corte neto), empleando una condición de corte apropiada asociada a cada material, y midiendo en cada caso, la fuerza de avance, el momento torsor, la rugosidad y el diámetro de los orificios realizados.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

2.1.1 Brocas helicoidales

Para realizar las pruebas de agujereado, se emplearon tres clases de brocas helicoidales comerciales DIN 338 de 7mm de diámetro, construidas en acero AISI M2, cuya composición química nominal fue la siguiente (% peso): 0,9% C; 6% W; 5% Mo; 4% Cr; 2% V; Fe balance.

Las brocas utilizadas poseían los tres tipos de hélices comerciales existentes, es decir, hélices tipo N, H y W, a las cuales se asocian ángulos nominales de 25°; 13° y 40° respectivamente (ver Figura 1).

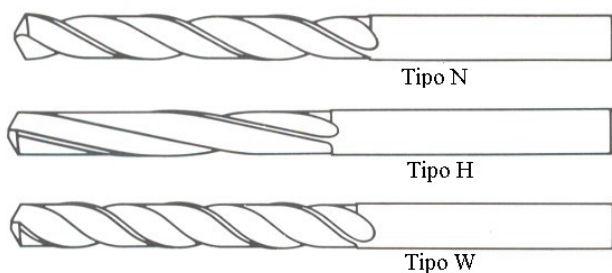


Figura 1: Tipos de hélices en las brocas helicoidales (Fuente: Guhring, Alemania)

2.1.2 Materiales a mecanizar

Para las pruebas de agujereado, se utilizaron barras trefiladas de sección cuadrada de 19mm de lado de tres materiales diferentes: acero SAE 1060, aluminio y latón amarillo.

La composición nominal del acero SAE 1060 fue la siguiente (% peso): 0.6% C; 0.6 a 0.9% Mn; 0.03% P (máx.); 0.035% S (máx.); 0.35% Si (máx.); Fe balance.

En el caso del latón amarillo fue 65% Cu y 35% Zn, mientras que el aluminio presentó un porcentaje mayor al 95% Al.

Se prepararon probetas para su análisis metalográfico. En el caso del acero SAE 1060 la microestructura fue revelada usando nital 2%, mientras que en el caso del latón amarillo y del aluminio se emplearon como reactivos de ataque los N° 1 y N° 36 de la Norma ASTM E 407 – 07 respectivamente.

El examen visual fue efectuado con un microscopio óptico Zeiss Axiotech, mientras que la microdureza fue determinada con un microdurómetro Vickers, marca Shimadzu HMV 2000, usando en todos los casos una carga de 10N.

2.1.3 Lubricación

Los ensayos de agujereado fueron realizados empleando uno de estos métodos de lubricación: en seco, con aceite emulsionable semisintético al 5% de concentración, o aceite de corte puro. Para los dos últimos casos, el caudal aproximado utilizado fue de 8,5 l/min.

2.2 Condiciones de corte

Previamente a definir las condiciones de corte a emplear en los ensayos, es decir, la velocidad de corte (V_c), el número de revoluciones del husillo (n), y el avance por vuelta (a), a partir de la dureza y el tipo de material de las barras, se procedió a efectuar la búsqueda de condiciones de corte de referencia, utilizando documentación de fabricantes de brocas y de un instituto de investigación dedicado al mecanizado (ver Tabla I), para operaciones de agujereado con brocas helicoidales de acero rápido, aplicadas sobre materiales similares a los seleccionados.

Tabla I: Condiciones de corte de referencia.

Fuente	Material	V_c (m/min)	a (mm/v)
Metcut [12]	Acero SAE 1055 HB 275 a 325	10 - 15	0,102
Ezeta	Latón amarillo	43	0,10
Guhring	Aluminio puro	40 - 60	0,125

A partir de estos datos, y con el objeto de adaptarlos a las posibilidades de la agujereadora de columna utilizada, y del tipo de material a taladrar, se adoptaron dos condiciones de corte, a saber:

Condición A): para el acero SAE 1060
 $V_c = 10,4$ m/min; $n = 475$ rpm y $a = 0,07$ mm/v.

Condición B): para el aluminio y latón amarillo
 $V_c = 41,8$ m/min; $n = 1900$ rpm y $a = 0,07$ mm/v.

2.3 Equipamiento

Los orificios se efectuaron en una agujereadora de columna marca WEBO Patent, provista de velocidad de rotación de husillo variable electrónicamente hasta 1900 rpm, y con caja de avance mecánica, dotada de cuatro avances automáticos: 0.07; 0.15; 0.25 y 0.33 mm/v.

La concentración del aceite emulsionable se preparó mediante el uso combinado de una balanza digital Metler con una apreciación de $\pm 0,1$ g para el aceite, y una balanza digital Moretti modelo PH con apreciación de ± 50 g, para el agua.

El número de revoluciones se determinó usando un tacómetro digital ONNO SOKKI.

Los esfuerzos de mecanizado se midieron empleando un dinamómetro piezoeléctrico Kistler modelo 9271A de dos canales, con sus respectivos amplificadores de carga, y en combinación con un osciloscopio digital Fluke 196C.

La rugosidad de los orificios se evaluó usando un rugosímetro portátil Taylor Hobson Surtronic 3+, mientras que los diámetros de los orificios se midieron con un micrómetro de interior mecánico milesimal de tres puntas marca Mitutoyo (rango 6-8mm).

En la Figura 2 puede observarse la agujereadora de columna Webo, con el montaje correspondiente del dinamómetro Kistler, los amplificadores de carga y el osciloscopio digital Fluke.



Figura 2: Configuración del equipamiento para ensayo.

2.4 Procedimiento de ensayo

Inicialmente se utilizaron tres trozos de barra de 250mm de longitud aproximada, una por cada tipo de material empleado durante las experiencias.

Para la realización de las primeras pruebas de agujereado (aquellas destinadas a evaluar las diferentes clases de hélices), se utilizaron tres brocas por cada tipo de hélice.

En primer lugar se realizaron orificios en seco sobre la barra de acero SAE 1060, midiéndose en cada caso la fuerza de avance F_{aRMS} , el momento torsor M_{tRMS} , la rugosidad media aritmética R_a , la rugosidad total R_t , además del diámetro \varnothing de los orificios.

Seguidamente se repitió el proceso con la barra de aluminio empleando aceite de corte emulsionable semisintético al 5% de concentración, y utilizando un caudal aproximado de $Q = 8,5$ l/min. Para finalizar se trabajó sobre la barra de latón amarillo en seco.

Las condiciones de corte fueron en cada caso las indicadas en el apartado 2.2, mientras que todos los orificios fueron efectuados pasantes en una sola profundización de herramienta (sin retroceso para extracción de viruta).

Mediante el osciloscopio digital se registraron las curvas de Momento torsor y de Fuerza de avance, para cada broca en cada condición de ensayo. A partir de ellas, se determinaron los valores F_{aRMS} y M_{tRMS} por curva, y con el conjunto de estos valores, se calcularon aquellos valores promedios de F_{aRMS} y M_{tRMS} que se emplearon como valores de comparación, además de los valores promedios de la rugosidad media aritmética R_a , de la rugosidad total R_t y de los diámetros de los orificios \varnothing .

Dado que el acero SAE 1060 fue de los materiales evaluados, aquel que demostró mayores diferencias (sensibilidad) en los valores de los esfuerzos medidos, se realizaron nuevas pruebas de agujereado con brocas de hélice tipo N, midiéndose en este caso la fuerza de avance F_{aRMS} , el momento torsor M_{tRMS} , y la rugosidad media aritmética R_a .

3. RESULTADOS y DISCUSION

3.1 Brocas helicoidales

Analizadas por técnicas metalográficas, una muestra por broca, correspondiente a cada tipo de hélice, estas brocas de acero AISI M2, presentaron una microestructura típica para estos aceros, es decir, una matriz de martensita revenida, con una fina distribución de carburos complejos (Figura 3).

La dureza promedio resultó similar en los casos evaluados, siendo de $HV_{20} 900 \pm 20$.

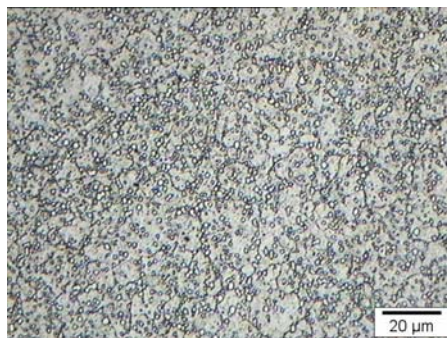


Figura 3: Microestructura del acero AISI M2 (500X).

3.2 Materiales a mecanizar

El acero SAE 1060 presentó una microestructura laminada en caliente, constituida por granos de perlita levemente orientados y ferrita proeutectoide en red. El tamaño de grano perlítico, determinado en la sección transversal fue de tipo dual, variando entre el número 8 al 9.

Las inclusiones correspondieron al tipo "A" (sulfuros), serie fina N° 1½ y tipo "D" (óxidos), también de serie fina N° 1.

La dureza promedio de las barras resultó ser $HV_{10} 282 \pm 5$.

Una imagen metalográfica de la sección transversal de las barras se observa en el Figura 4.

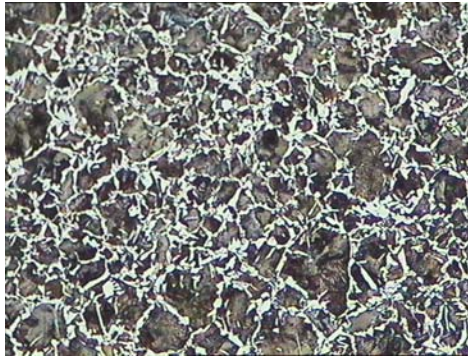


Figura 4: Microestructura del acero SAE 1060 a agujerear (100X).

En el caso de la barra de aluminio mostraba una microestructura de extrusión, constituida por granos alargados de solución sólida de Al (α) y finos compuestos intermetálicos, algunos precipitados al azar, y otros alineados por el proceso de fabricación. Respecto del tratamiento térmico, podemos decir que posiblemente haya sido un envejecido artificial.

La dureza promedio de la barra resultó ser $HV_{10} 106 \pm 2$.

Una imagen metalográfica de la sección transversal de la barra se observa en el Figura 5.



Figura 5: Microestructura del aluminio a agujerear (500X).

Por su parte, el latón amarillo presentó una microestructura laminada en caliente constituida por una matriz de solución sólida Cu (α), solución sólida Cu (β) alineada, con partículas de plomo alargadas distribuidas al azar. Este material no poseía tratamiento térmico.

La dureza promedio de la barra resultó ser $HV_{10} 126 \pm 3$.

Una imagen metalográfica de la sección transversal de la barra se observa en el Figura 6.

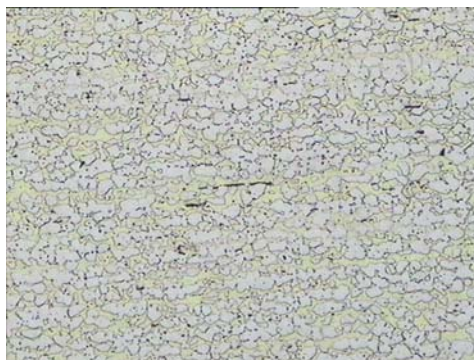


Figura 6: Microestructura del latón amarillo a agujerear (100X).

3.3 Pruebas de agujereado

3.3.1 Influencia de las brocas con distintos tipos de hélices

A continuación, en las figuras 7 a 15, se adjuntan los registros más representativos correspondientes a las curvas de fuerza de avance F_a (en rojo) y momento torsor M_t (en azul), obtenidas con el osciloscopio digital Fluke. Las mismas se encuentran ordenadas por material agujereado (acero SAE 1060, aluminio y latón amarillo), y dentro de cada clase de material, por tipo de hélice (N, H y W).

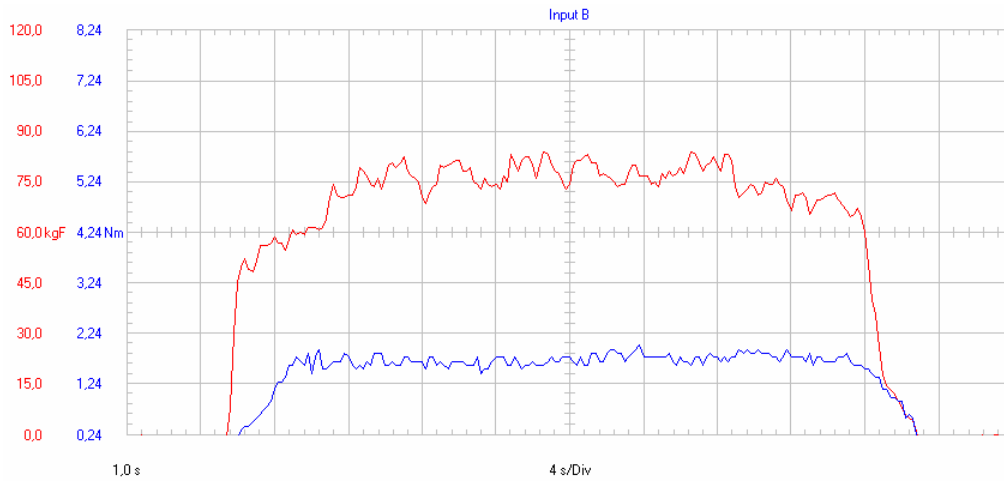


Figura 7: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de acero SAE 1060 con broca tipo N.

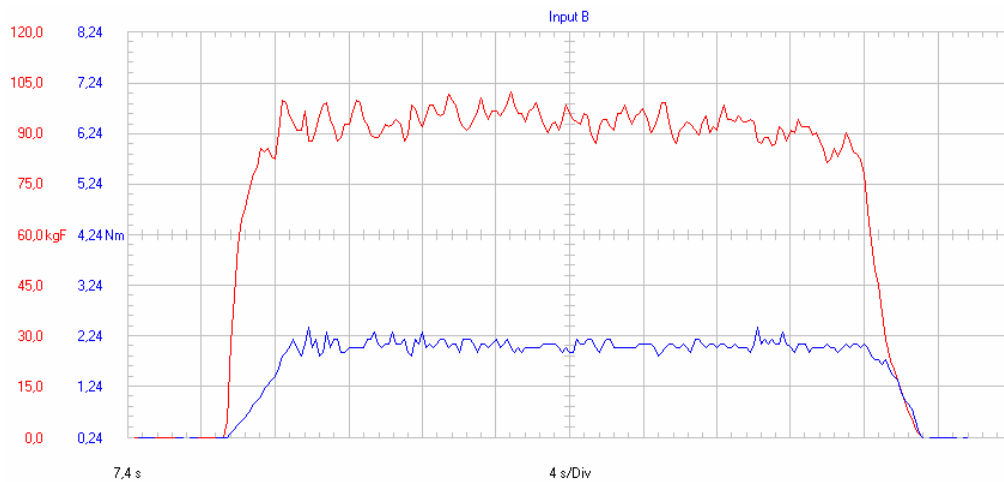


Figura 8: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de acero SAE 1060 con broca tipo H.

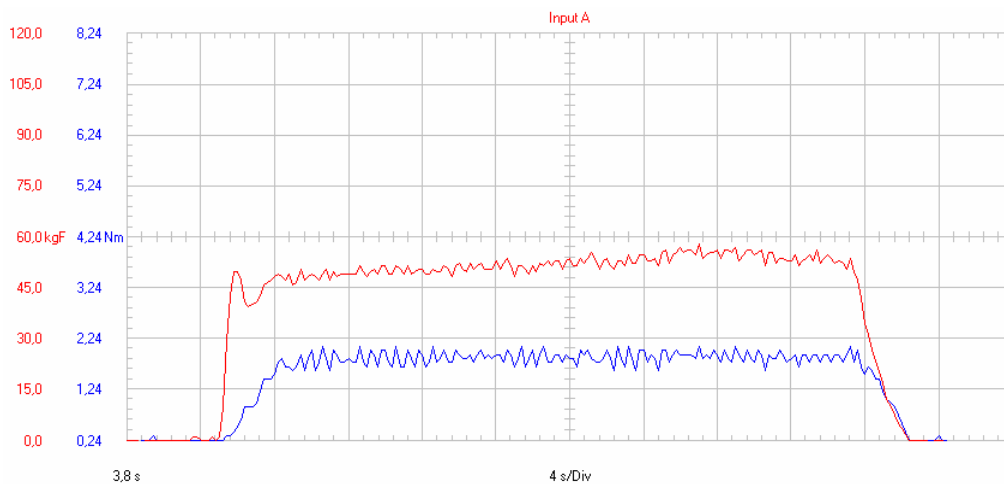


Figura 9: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de acero SAE 1060 con broca tipo W.

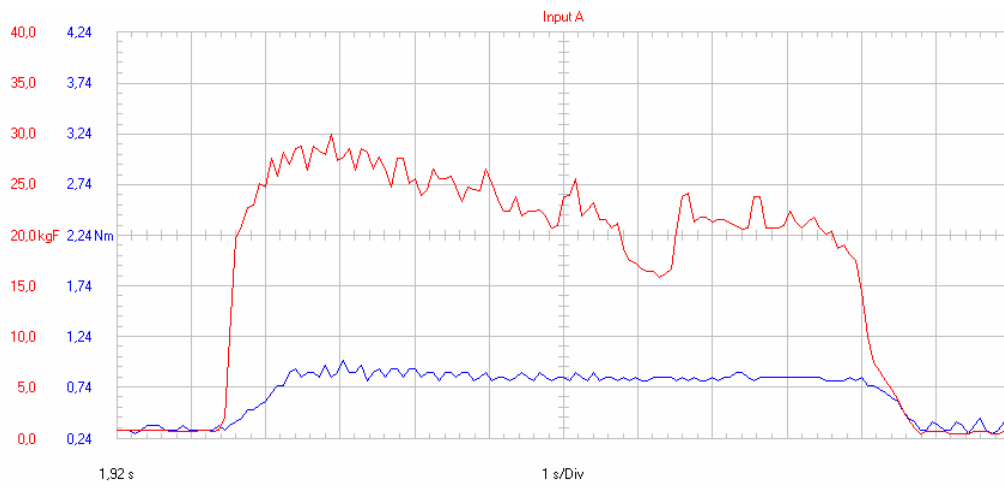


Figura 10: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de aluminio con broca tipo N.

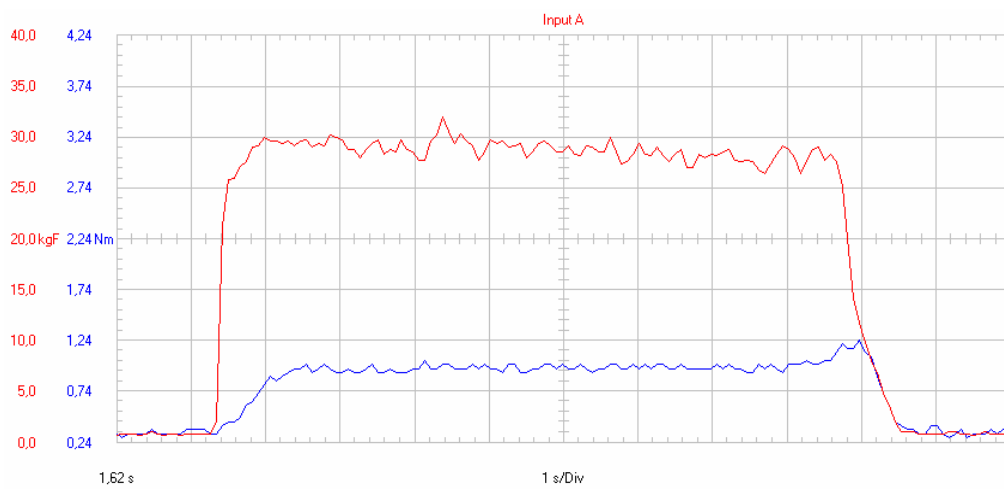


Figura 11: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de aluminio con broca tipo H.

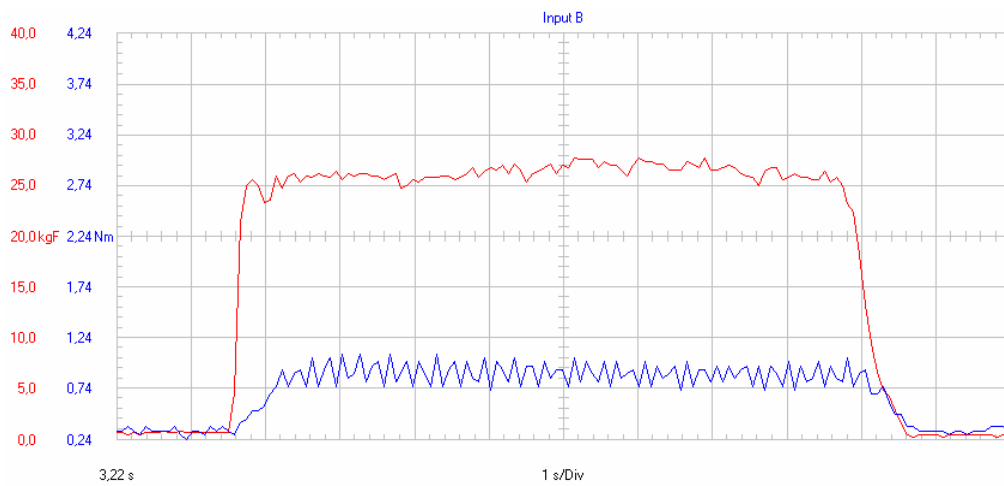


Figura 12: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de aluminio con broca tipo W.

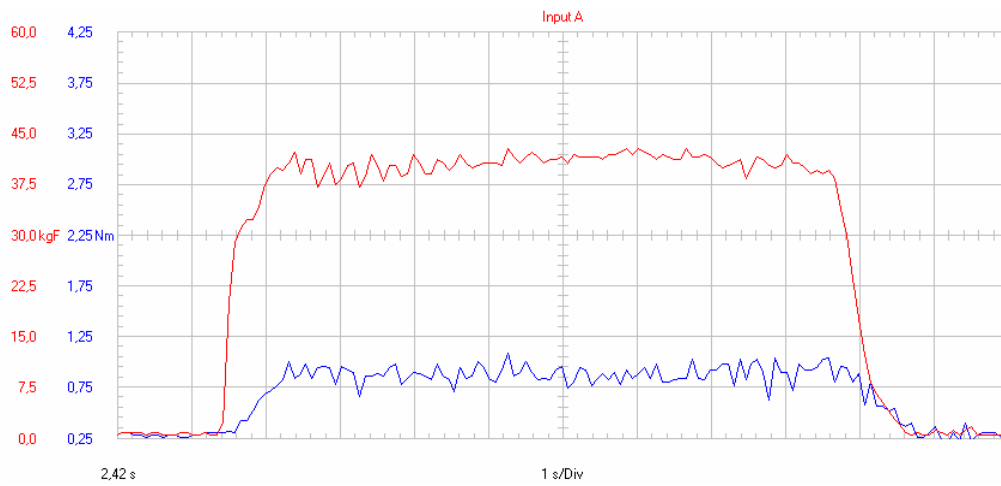


Figura 13: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de latón amarillo con broca tipo N.

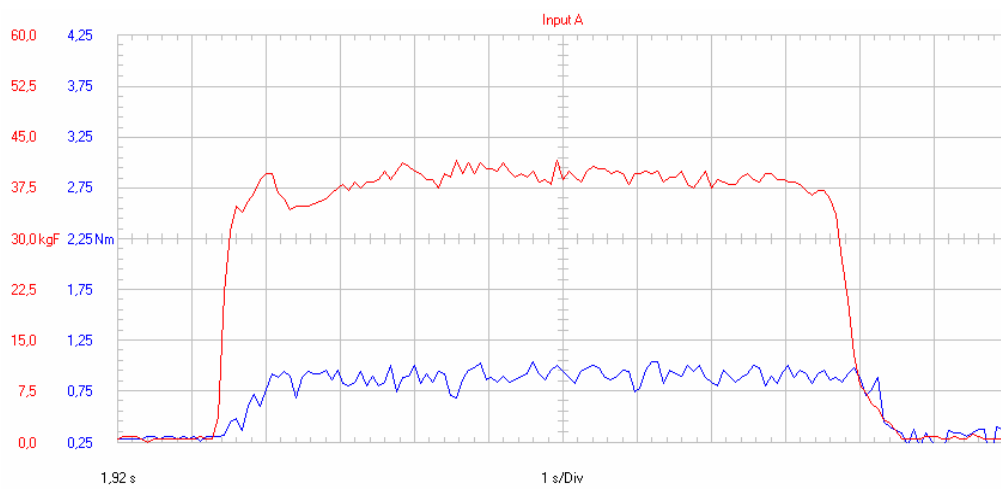


Figura 14: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de latón amarillo con broca tipo H.

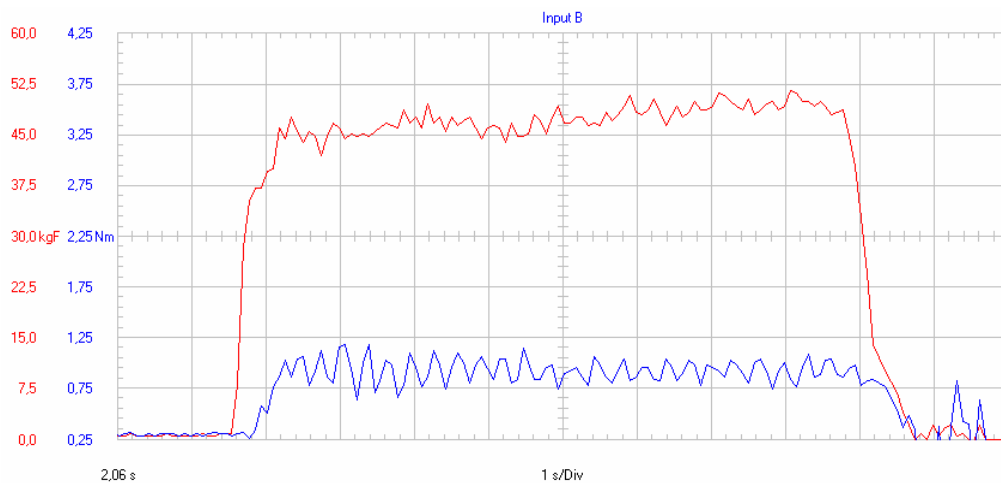


Figura 15: Curvas de F_a y M_t para el agujereado de latón amarillo con broca tipo W.

De la observación y análisis de estos gráficos se desprende que el acero SAE 1060 es el material que produjo los mayores valores, tanto para la fuerza de avance, como para el momento torsor. Por el contrario, es el aluminio quien genera los menores valores. Respecto del latón amarillo, ocupa una posición intermedia, pero más cercana al aluminio.

Seguidamente, en las Tablas II, III y IV, presentamos los valores promedios medidos para la fuerza de avance F_{aRMS} , el momento torsor M_{tRMS} , la rugosidad media aritmética R_a , la rugosidad total R_t , además del diámetro \varnothing de los orificios, agrupados por material a agujerear y tipo de hélice.

Tabla II: Valores medidos en el agujereado del acero SAE 1060 con los distintos tipos de hélices

Tipo de hélice	F_{aRMS} (kg)	M_{tRMS} (Nm)	R_a (μm)	R_t (μm)	\varnothing (mm)
N	73,7	1,69	3,6	32,7	7,137
H	90,8	2,09	4,9	39,3	7,377
W	54,4	1,84	6,5	65,3	7,432

Nota 1: los valores en negrita corresponden a los mínimos medidos, y en rojo los máximos.

Nota 2: las brocas tipo W dejaron una rebaba del lado donde se comenzó el orificio de 0,2mm de altura.

Tabla III: Valores medidos en el agujereado del aluminio con los distintos tipos de hélices

Tipo de hélice	F_{aRMS} (kg)	M_{tRMS} (Nm)	R_a (μm)	R_t (μm)	\varnothing (mm)
N	23,7	0,85	3,1	27,0	7,223
H	30,3	0,92	3,5	27,7	7,365
W	26,8	0,88	4,4	39,3	7,395

Nota 1: los valores en negrita corresponden a los mínimos medidos, y en rojo los máximos.

Nota 2: las brocas tipo W dejaron una rebaba del lado donde se comenzó el orificio de 0,2mm de altura.

Tabla IV: Valores medidos en el agujereado del latón amarillo con los distintos tipos de hélices

Tipo de hélice	F_{aRMS} (kg)	M_{tRMS} (Nm)	R_a (μm)	R_t (μm)	\varnothing (mm)
N	40,1	0,86	2,6	26,5	7,129
H	45,2	0,89	2,1	17,5	7,319
W	46,4	0,91	3,8	27,0	7,268

Nota 1: los valores en negrita corresponden a los mínimos medidos, y en rojo los máximos.

Nota 2: las brocas tipo W dejaron una rebaba del lado donde se comenzó el orificio de 0,2mm de altura.

De los valores obtenidos se desprende que, las brocas con hélices tipo N, entregaron mayoritariamente los menores valores, para todas las variables.

En cambio, las brocas tipo H generaron mayoritariamente los valores más altos para los esfuerzos (fuerza de avance y momento torsor), mientras que las tipo W produjeron mayoritariamente los orificios de peor calidad, generando incluso una rebaba en la entrada de todos los orificios efectuados por esta clase de broca, y en todos los materiales ensayados.

3.3.2 Influencia del tipo de lubricación

Ha quedado en evidencia que el acero SAE 1060 produjo las mayores diferencias en los valores medidos, a su vez que las brocas tipo N generaron mayoritariamente los menores valores. En consecuencia, se realizaron nuevos ensayos para evaluar el grado de influencia de la lubricación utilizando brocas con hélice tipo N. Los resultados promedios obtenidos se muestran en la Tabla V.

Tabla V: Valores medidos en el agujereado del acero SAE 1060 empleando los distintos tipos de lubricación

Tipo de lubricación	F_{aRMS} (kg)	M_{tRMS} (Nm)	R_a (μm)
Seco	73,7	1,69	3,60
Aceite emulsionable	76,3	1,84	2,87
Aceite neto	67,1	1,75	3,08

Nota 1: los valores en negrita corresponden a los mínimos medidos, y en rojo los máximos.

El uso de aceite emulsionable produjo los valores más altos para los esfuerzos, mientras que el aceite neto generó un valor significativamente menor para la fuerza de avance.

En referencia a la rugosidad, el empleo de aceites de corte produjo una mejora sensible respecto de trabajar en seco, y de aquellos aceites evaluados, fue el emulsionable, quien originó los menores valores de acabado superficial.

4. CONCLUSIONES

- De los tres materiales evaluados, el acero SAE 1060 fue quien produjo las mayores diferencias máximo – mínimo para las variables medidas (66,9% para la fuerza de avance; 23,6% para el momento torsor; 80,5% para la rugosidad media aritmética; 99,7% para la rugosidad total; y 4,1% para el diámetro de los orificios), cuando se emplearon las brocas con los tres tipos de hélices.
- Las brocas tipo N produjeron mayoritariamente los menores valores para las variables medidas (12 variables de 15 presentaron valores mínimos).
- Las brocas tipo H generaron mayoritariamente los valores más altos para los esfuerzos (fuerza de avance y momento torsor), hecho que se corresponde con el menor ángulo de ataque que presentan estas brocas (13° contra los 25° de las brocas tipo N, y 40° de las brocas tipo W).
- Las brocas tipo W originaron mayoritariamente los orificios de peor calidad, generando incluso una rebaba en la entrada de todos los orificios efectuados por esta clase de broca, y en todos los materiales ensayados.
- Adicionalmente, las brocas W tuvieron la peor performance global dado que en 10 variables de un total de 15 presentaron valores máximos.
- El uso de aceite emulsionable produjo los valores más altos para los esfuerzos, mientras que el aceite neto generó el menor valor para la fuerza de avance.
- En referencia a la rugosidad, en los ensayos con lubricación, el empleo de aceites de corte produce una mejora sensible respecto de trabajar en seco, y de aquellos aceites evaluados, fue el emulsionable, quien originó los menores valores de acabado superficial.

REFERENCIAS

- [1] DIN 1414-1, Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl, Teil 1: Anforderungen, Juni 1998, y DIN 1414-2, Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl, Teil 2: Prüfung, Juni 1998 (Normas).
- [2] Stemmer C., **Ferramentas de corte II**, Imprensa Univesitaria Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil 1995 (libro).
- [3] M. Guzmán y otros, **Estimación de las fuerzas de corte en un proceso de taladrado con brocas de geometría mejorada en el filo transversal**, I CAIM 2008, Primer Congreso de Ingeniería Mecánica, 2008 (paper).
- [4] S. Sahu y otros, **Effect of groove-type chip breakers on twist drill performance**, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002 (paper).
- [5] Monterrubio Alvarez L., **Estudio técnico y económico para la optimización del proceso de taladrado en acero F-1140 mediante el análisis geométrico de la broca y la utilización de técnicas MQL**, Proyecto de fin de carrera, Universidad Pontificia Comillas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Madrid, España, 2008 (proyecto de fin de carrera de grado).
- [6] S.C.Lin y otros, **Tool wear monitoring in drilling using force signals**, Wear, 1994 (paper).
- [7] W. Belluco, **Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel**, Journal of Materials Processing Technology, 2003 (paper).
- [8] J. Szombach, G. Papzuck, D. Torres, D. Martinez Krahmer, D. Urrejola y A. Bruno, **Evaluación de aceites de corte emulsionables en operaciones de agujereado**, Congreso CONAMET / SAM 2008, Santiago de Chile, 2008 (paper).
- [9] D. Braga y otros, **Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminium-silicon alloys**, Journal of Materials Processing Technology, 2002 (paper).
- [10] W. Chen y otros, **Study on the various coated twist drill for stainless steels drilling**, Journal of Materials Processing Technology, 1998 (paper).
- [11] X. Song y otros, **Application of small hole dry drilling in bimetal part**, Journal of Materials Processing Technology, 2007 (paper).
- [12] Machinability Data Center, Machining Data Handbook, Third edition, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati, 1980 (libro).