

CAPITULO 7

Comparación de costos y fluido de corte biodegradable.

7.1 Economía del mecanizado

Todo proceso productivo debe tener presente el volumen de producción y los costos de producir este volumen. Cada uno debe decidir si está enfocado a maximizar la cantidad producida, a minimizar costos o a optimizar todo el proceso.

Para poder estudiar este problema se debe tener presente todos los costos y tiempo incurridos en la manufactura de una pieza. Cuando se necesita saber la economía de mecanizado se deben considerar la velocidad de corte y el avance como únicas variables manejables, se puede asumir que el desgaste de la herramienta, el número de herramientas, etc. Son directamente dependientes de estas variables.

El avance se calcula de acuerdo a criterios de calidad superficial y de potencia máxima (en el desbaste), por lo que la velocidad de corte se calcula a partir de criterios económicos.

Para el costo total de producción se utilizan las variables de interés siguientes:

t_L = Tiempo ocioso

t_m = Tiempo de mecanizado

t_{ct} = Tiempo de cambio de herramienta

N_b = Número de piezas mecanizadas

N_t = Número de herramientas usadas

C_t = Costo de la herramienta

M = Costo general por unidad de tiempo, incluyendo mano de obra

Para este proyecto de tesis sólo se realizará la comparación de costos, de mecanizar una probeta de acero aleado AISI 4140, mediante un proceso en seco y uno húmedo.

Par realizar un estudio más detallado y preciso se necesitaría aplicar la fórmula para obtener el costo de producción total, pero esto es para maximizar la producción, es decir se aplica a una producción muy grande, pero para fines del presente proyecto únicamente se estipula la comparativa de un proceso y otro, pero para un lote muy pequeño.

$$\text{Costo de producción total} = M * (N_b * t_L + N_b * t_m + N_t * t_{ct}) + N_t * C_t \quad (7.1)$$

7.2 Tiempo de mecanizado de probetas.

En este proyecto de tesis, se realizó la comparación del torneado en seco y el torneado húmedo, para mecanizar probetas de acero aleado AISI 4140, por tal motivo se realizaron pruebas tanto de ensayos de tensión, pruebas de dureza y acabado superficial obtenido.

De igual manera se tomó el registro del tiempo para analizar cuanto tiempo se requería para poder maquinar toda la geometría de la probeta, se tomó el tiempo de trabajo, es decir únicamente cuando la herramienta incide en el material. Los pasos para la realización de la geometría fueron:

1. Primer desbaste para llegar a un diámetro de $\frac{3}{4}$ in
2. Primer ciclo de desbaste de geometría
 - 2.1 Tres pasadas de desbaste
 - 2.2 Acabado
3. Ranurado
4. Segundo ciclo de desbaste de geometría
 - 4.1 Tres pasadas de desbaste
 - 4.2 Dos pasadas de acabado

5. Acabado final de cilindrado
6. Roscado derecho
7. Roscado izquierdo
8. Tronzado
9. Barreno de centros

Todos los pasos anteriores se lograron gracias al programa que se ejecutó en el torno de control numérico, todo este código G, se utilizó para poder realizar la geometría de la probeta, cuidando tanto la roscas de ambos lados, el cilindrado principal de $\frac{1}{2}$ in de diámetro, y los radios de los extremos de la probeta. En el apéndice I se puede observar el programa completo utilizado para torneear la probeta, tanto en mecanizado en seco como en húmedo.

En la tabla 7.1 se muestra el tiempo requerido para cada paso de la geometría de la probeta, por lo cual se obtuvo el tiempo total solamente de mecanizado, para poder obtener una probeta terminada.

Es necesario aclarar que el tiempo que se obtuvo, fue sólo de maquinado, es decir cuando la herramienta de corte incide en el material y realiza el arranque del mismo, mientras que el tiempo para cambio de herramientas, movimiento de torreta de herramientas y avances de carros y componentes del torno no se tomaron en consideración, asumiendo que para todos los movimientos y cambios de herramientas realizaban un tiempo de 1 minuto a 1 minuto y medio. Por lo que la probeta terminada se lograba en aproximadamente 4.72 minutos.

Tabla 7.1 Tiempo de mecanizado de probeta

Operación	Tiempo de mecanizado
Primer desbaste para llegar a un diámetro de $\frac{3}{4}$ in	20.34 s
Primer ciclo de desbaste de geometría	4.06 s
Tres pasadas de desbaste	$3.75 \text{ s} \times 3 = 11.25 \text{ s}$
Acabado	21.84 s
Ranurado	10.28 s
Segundo ciclo de desbaste de geometría	4.38 s
Tres pasadas de desbaste	$4.67 \text{ s} \times 3 = 14.01 \text{ s}$
Dos pasadas de acabado	23.5 s
Acabado final de cilindrado	13.56 s
Roscado derecho	29 s
Roscado izquierdo	30 s
Tronzado	8.28 s
Barreno de centros	2.78 s
Tiempo total	$193.28 \text{ s} = 3.22 \text{ min}$

Fuente: Tabla del autor

7.3 Potencia consumida para el mecanizado de probeta

El desarrollo del mecanizado de las probetas con el programa de control numérico empleado, se utilizó para poder medir la potencia consumida por cada probeta. En esta parte se analiza el consumo de potencia que se generó por mecanizar probetas en seco y por maquinar probetas con refrigerante de corte. En la tabla 7.2 se muestra el consumo por pasada que se lleva a cabo en un proceso de torneado en seco.

Tabla 7.2 Potencia consumida en un proceso en seco

Potencia en el proceso de maquinado en seco				
	Consumo de potencia (kW)	Consumo de potencia (kW)	Consumo de potencia (kW)	Consumo promedio por pasada
Primera parte	0.7	0.7	0.7	0.70
Segunda parte				
Inicio ciclo	2.1	2.2	2.1	2.13
Desbaste	1.25	1.2	1.6	1.35
Acabado	0.75	0.7	0.7	0.72
Tercera parte	1.1	1.1	1.3	1.17
Cuarta parte				
Inicio de ciclo	2.1	2.2	3.1	2.47
Desbaste	1.15	1.15	1.2	1.17
Acabado	0.75	0.7	0.7	0.72
Quinta parte	0.65	0.65	0.65	0.65
Sexta parte	0.5	0.55	0.5	0.52
Séptima parte	1.3	1.3	1.3	1.30
			Total	12.88

Fuente: Tabla del autor

De igual manera se realizaron las mediciones de potencia consumida pero ahora en el mecanizado húmedo de una probeta, la finalidad era saber si existía una variación considerable, de un proceso y otro. El torneado en seco al no utilizar un fluido de corte que reduzca la fricción y disminución de fuerzas de rozamiento, origina que la potencia consumida se incremente, en la tabla 7.3 se muestran los datos obtenidos de potencia para el proceso de torneado húmedo.

Tabla 7.3 Potencia consumida en un proceso en húmedo

Potencia en el proceso de maquinado en humedo				
	Consumo de potencia (kW)	Consumo de potencia (kW)	Consumo de potencia (kW)	Consumo promedio por pasada
Primera parte	0.6	0.65	0.6	0.70
Segunda parte				
Inicio ciclo	2.1	2.2	2	2.10
Desbaste	1.2	1.25	1.2	1.22
Acabado	0.65	0.65	0.65	0.65
Tercera parte	0.9	1.3	0.9	1.03
Cuarta parte				
Inicio de ciclo	2.1	2	2	2.03
Desbaste	1.3	1.15	1.15	1.20
Acabado	0.7	0.75	0.85	0.77
Quinta parte	0.6	0.55	0.55	0.57
Sexta parte	0.5	0.45	0.45	0.47
Séptima parte	1.2	1.3	1.3	1.27
			Total	12.00

Fuente: Tabla del autor

Con los datos anteriores se puede concluir que cuando se mecaniza una probeta mediante un proceso en húmedo, es decir cuando utilizamos fluido de corte, se necesitan 12 kW, mientras que si utilizamos un mecanizado en seco, es decir suprimiendo totalmente el fluido de corte, la potencia necesaria para poder maquinar la misma probeta es de 12.88 kW.

Esto demuestra que efectivamente el mecanizado en seco requiere de mayor potencia, aunque la diferencia es muy pequeña, ya que se necesita sólo 0.88 kW extra para poder trabajar en seco.

7.4 Comparación de costos para mecanizado en seco y húmedo

Para poder realizar una comparación de costos es preciso cotizar todos los precios de las herramientas, material y gastos extras para poder realizar el torneado de probetas de acero aleado AISI 4140.

Para esta comparación no se consideró el costo de mano de obra, ya que únicamente se analizará la diferencia entre utilizar fluido de corte o no, y de analizar las ventajas aplicadas para la vida útil de la herramienta de corte.

Primeramente analizando el torneado convencional, era necesario establecer que tipo de fluido de corte se utilizaba para el torno de control numérico Hardinge Cobra 42, con investigaciones realizadas a los profesores del laboratorio y de información solicitada a los proveedores de aceites y lubricantes, se estipuló que el lubricante utilizado era un aceite mineral Mobilmet Upsilon. La composición de dicho aceite es básicamente de hidrocarburos y aditivos. Este producto puede presentar diversos efectos nocivos para la salud, como pueden ser:

1. La excesiva exposición de estos líquidos y mezclas del mismo puede ocasionar irritación en ojos y piel.
2. La exposición prolongada de los humos o nieblas de aceites puede originar irritación en las vías respiratorias, así como agravar un enfisema ya existente en la persona e incluso riesgos de asma.
3. Un contacto prolongado con la piel puede ocasionar una grave dermatitis, debido a los efectos secundarios toxicológicos.

4. Puede ocasionar irritación en piel y ojos, por el contacto prolongado, así como la aparición de principios de asma o PRE – enfisema pulmonar.
5. Por ningún motivo puede estar en contacto con agua, ya que es un principal contaminante de suelo / vegetación debido a la presencia de gran concentración de hidrocarburos.

Las principales propiedades de este fluido de corte se presentan en la tabla 7.4, donde se estipulan la viscosidad de diversos aceites minerales utilizados para el proceso de mecanizado.

Tabla 7.4 Propiedades típicas del aceite mineral Mobilmet Upsilon

	Mobilmet Upsilon	Mobilmet Omicron	Mobilmet Nu
Viscosity, ASTM D 445			
cSt @ 40° C	11.17	26.06	36.52
cSt @ 100° C	2.8	5.0	6.5
Viscosity Index, ASTM D 2270	115	115	125
Specific Gravity @15° C kg/l, ASTM D 1298	7.085	7.236	7.35
Total Sulphur, ASTM D 2622, wt-%	0.29	0.537	1.099
Active Sulphur, ASTM D 1662, wt-%	Nil	Nil	Nil
Copper Strip Corrosion, ASTM D 130,3 hrs @ 100° C, max	1A	1A	1A

Fuente: Página Web de Mobil®.

Con la información del proveedor se logró obtener el precio del refrigerante Mobilmet Upsilon, que es de \$ 4016.33 por tonel, es decir un recipiente de 208 litros, además se solicitó información para el reciclaje del mismo aceite, y el costo de reciclar un tonel de 208 litros era de \$ 430.00, como este tipo de fluido de corte era de tipo mineral, lo recomendado por el proveedor era cambiar dicho aceite cada 6 meses.

El gasto del refrigerante es un factor que no afectará al mecanizado en seco ya que se suprime totalmente el uso de este, pero puede llegar a equilibrarse con el costo de los insertos de corte, por tal motivo se necesita hacer la comparación de costos.

Con el objetivo de poder comparar los costos de los dos procesos para el torneado de una probeta de acero aleado AISI 4140, en la tabla 7.5 se muestra el análisis de costos para el mecanizado en húmedo de una probeta.

Tabla 7.5 Análisis de costos de una probeta en mecanizado húmedo

Mecanizado húmedo				
Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario	Costo Total
			del material	
0.175 Kg	Acero aleado AISI 4140 OQT 400	Aceros Fortuna	\$ 33.80 / Kg	\$5.915
1	Inserto DCMT 11 T3 08 - PM	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$43.670	\$43.670
1	Porta insertos SDPCN 12 3B	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$784.960	\$784.960
12	Consumo de energía kW	Comisión Federal de Electricidad	\$1.683 / kW	\$20.196
			TOTAL	\$854.741

Fuente: Tabla del autor

Como se puede analizar en la tabla anterior, para obtener el costo total de mecanizar una probeta en húmedo, se deben de tomar en consideración, el material utilizado, las herramientas para mecanizado y el consumo de energía el cual será menor en comparación con el torneado en seco, ya que existen mayores fuerzas de rozamiento.

De igual forma para el análisis de costos de una probeta maquinada en seco, se deben de estimar los costos tanto de material, herramientas, y consumo de energía que ligeramente fue mayor al torneado convencional. En la tabla 7.6 se muestra el análisis de costos de una probeta maquinada en seco.

Tabla 7.6 Análisis de costos de una probeta en mecanizado en seco

Mecanizado en seco

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario del material	Costo Total
0.175 Kg	Acero aleado AISI 4140 OQT 400	Aceros Fortuna	\$ 33.80 / Kg	\$5.915
1	Inserto DCMT 11 T3 08 - PM	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$43.670	\$43.670
1	Porta insertos SDPCN 12 3B	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$784.960	\$784.960
12.88	Consumo de energía kW	Comisión Federal de Electricidad	\$1.683 / kW	\$21.677
			TOTAL	\$856.222

Fuente: Tabla del autor

Se puede observa que maquinar una probeta en seco resulta más caro que maquinar una probeta en húmedo, pero es preciso considerar que cuando se trabaja en seco nunca se realizará el gasto del fluido de corte, es decir el gasto de comprar un tonel con 208 litros de refrigerante con un valor de \$ 4016.33, no se efectuará. Además no se tendrá que efectuar un gasto extra de reciclaje de residuos.

Es preciso aclarar que el gasto del fluido de corte se realizará cada 6 meses, que es cuando el proveedor estima la renovación del refrigerante para su buen desempeño. En la tabla 7.7 se presenta el análisis de costos pero para un lote de 30 probetas, de igual forma para mecanizado en húmedo y seco, para esta comparación de costos no se considera de forma inicial el gasto del fluido de corte en el mecanizado húmedo.

El inserto DCMT 11 T3 08 – PM de Sandvik Coromant, cuya calidad es GC 4015, fue el inserto utilizado para el maquinado de probetas de acero aleado AISI 4140, tanto en mecanizado húmedo como en seco. Esta calidad de inserto es la ideal según Sandvik Coromant, para el mecanizado en seco. Dicha herramienta de corte según su geometría ya mencionada en capítulos anteriores, presenta dos filos de corte útiles.

Debido a todas las pruebas realizadas, y a la vida útil del inserto, sin que sobre pasara el rango de desempeño aceptable, se propuso que para el mecanizado en seco, por cada filo de la herramienta de corte se obtenían 7 probetas terminadas, es decir por inserto se lograban mecanizar 14 probetas, para el lote de 30 probetas se utilizaron 2 insertos completos y un filo de un tercer inserto, por tal motivo se realizó el gasto de 3 insertos para el torneado en seco.

Mientras que en el torneado húmedo por cada filo del inserto se obtenían 10 probetas, es decir por cada inserto completo de lograban 20 probetas, y para el lote de 30 probetas se realizó un gasto de sólo 2 insertos ya que se utilizaba 1 inserto y un filo de un segundo inserto.

Con esto se puede establecer que el mecanizado en seco necesita de un cambio más rápido de herramientas de corte, debido a que el desgaste del inserto es más prematuro que en el mecanizado húmedo, pero es ahí donde se compara la posibilidad de sustituir el gran gasto del fluido de corte, debido a la posible justificación por el gasto de herramientas de corte.

Tabla 7.7 Análisis de costos para 30 probetas mecanizadas en húmedo y seco

30 Probetas mecanizadas

Mecanizado húmedo

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario del material	Costo Total
5.25 Kg	Acero aleado AISI 4140 OQT 400	Aceros Fortuna	\$ 33.80 / Kg	\$177.450
2	Inserto DCMT 11 T3 08 - PM	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$43.670	\$87.340
1	Porta insertos SDPCN 12 3B	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$784.960	\$784.960
360	Consumo de energía kW	Comisión Federal de Electricidad	\$1.683 / kW	\$605.880
			TOTAL	\$1,655.630

Mecanizado en seco

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario del material	Costo Total
5.25 Kg	Acero aleado AISI 4140 OQT 400	Aceros Fortuna	\$ 33.80 / Kg	\$177.450
3	Inserto DCMT 11 T3 08 - PM	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$43.670	\$131.010
1	Porta insertos SDPCN 12 3B	Numa Ingeniería S.A. De C.V,	\$784.960	\$784.960
386.4	Consumo de energía kW	Comisión Federal de Electricidad	\$1.683 / kW	\$650.311
			TOTAL	\$1,743.731

Con las tablas anteriores se especifica que el proceso de torneado en seco es más económico que el torneado húmedo, debido a que cuando se utiliza fluido de corte se debe de realizar un gasto para el mismo y para su reciclaje, es decir al valor de \$1,655.630 es preciso agregarle los \$ 4016.33 del fluido de corte. Cuando se trabaja en seco, no hay problemas en cuanto a salud, es un mecanizado más limpio, además no se debe de realizar un gasto para desechos de residuos peligrosos, cosa que en un mecanizado convencional si se debe de tomar en cuenta. El mecanizado en seco es una alternativa, para resolver problemas ambientales, de salud en los trabajadores, para reducir costos en el proceso, ya que las piezas que resultan de ambos procesos no presentan deferencias significativas.

En la figura 7.1 se muestra la gráfica de costos vs. No de probetas maquinadas, se observa que cuando se trata de lotes pequeños el mecanizado en seco es una buena alternativa para reducir costos de mecanizado, ya que no se hace un gasto en fluido de corte, pero hay que considerar que para lotes mayores, el mecanizado en seco puede ser más costoso debido a que se utiliza mayor número de herramientas de corte, debido a que el desgaste del inserto se presenta más rápido que en comparación del torneado húmedo. En cuanto a la precisión de las probetas, se pudo comprobar que las probetas presentaban un acabado superficial que estaba dentro de los rangos permitidos por el proceso. Para este caso de comparación de análisis de costos entre ambos procesos, se llegó a la conclusión de que el torneado en seco es menos costoso, maquinando 1600 probetas o menos, ya que después de este número de probetas, el mecanizado sin fluido de corte incrementa el costo, debido a que el ahorro del gasto para fluido de corte y reciclaje no aminora los costos de mecanizado.

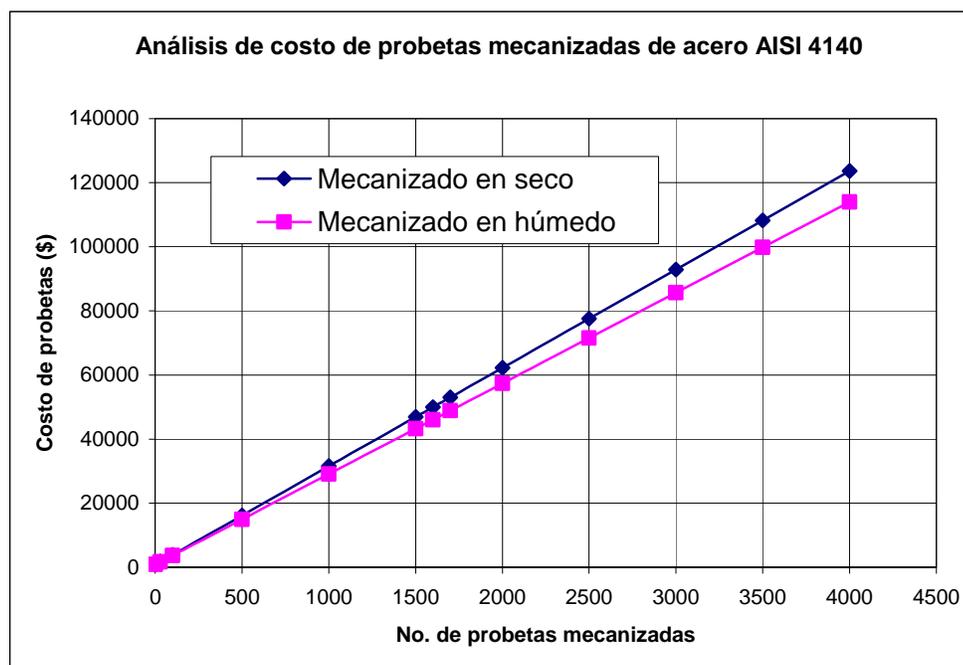


Figura 7.1 Gráfica de Costos vs. Probetas mecanizadas

7.5 Fluido de corte biodegradable y mecanizado más ecológico

La creciente preocupación por todos los aspectos medio – ambientales está originando una mayor tendencia para adoptar medidas y tecnologías no contaminantes en los entornos laborales, lo que supone buscar alternativas en aquellos procesos ya instalados que resultan ser perjudiciales para el medio ambiente y para el ser humano.

La finalidad es convertir al mecanizado por arranque de material en un proceso más respetuoso del medio ambiente. El corte metálico en máquinas – herramientas tanto en tornos, como en centros de maquinado, se encuentra caracterizado actualmente por un gran consumo de fluido de corte, formulados la mayoría de ellos en base a aceites minerales contaminantes, los cuales al terminar su vida de servicio deben ser manejados adecuadamente.

El método del mecanizado en seco es una excelente medida para eliminar el peligro contaminante, tanto para el medio ambiente como para los trabajadores. Además de reducir costos en el proceso de mecanizado, el trabajo en seco es una alternativa para un proceso más limpio y respetuoso de la naturaleza.

Otro método para cuidar el medio ambiente es la aplicación de bases lubricantes biodegradables y no tóxicas. Esta es una medida que puede ser adoptada en la industria para un mecanizado más ecológico, cuando sea imposible renunciar a la utilización total de fluidos de corte. Lo ideal sería mecanizar con fluido de corte cuando sea necesario y mecanizar en seco cuando sea posible, para que en un futuro tanto las consideraciones tecnológicas como medio ambientales y económicas tengan frutos.

7.6 Propiedades de un fluido de corte biodegradable

Un fluido de corte biodegradable primeramente es emulsionable en agua, es decir puede ser mezclado con agua, sin tener problemas de contaminación, es un fluido bioestable, que se encuentra exento de nitritos y fenoles. En su composición están presentes sustancias biodegradables, esto significa que contiene materia artificial que al ser abandonada en la naturaleza, es atacada y destruida por las bacterias, lo cual impide su acumulación perniciosa.

La emulsión presenta generalmente un color blanco o amarillo fluorescente semitraslúcido y de aroma agradable. Estos fluidos de corte son recomendados para operaciones de mecanizado en general de materiales ferrosos y no ferrosos.

Este tipo de fluido presentan bioestabilidad, que garantiza una mayor vida útil de la emulsión, generalmente la emulsión mantiene su (ph) estable.

En los aceites minerales contaminantes generalmente se utilizan nitritos y fenoles los cuales son usados como agentes anticorrosivos, pero en los fluidos biodegradables estos agentes fueron sustituidos por nuevos aditivos, los cuales además de proveer protección anticorrosiva, también otorga; ausencia de olores fenólicos, no presenta reacción al contacto con la piel, brinda mejores condiciones de manipulación en la zona de operación y un ambiente agradable de trabajo.

En Europa existen muchas compañías dedicadas a las investigaciones para obtener fluidos ecológicos para mecanizado, un ejemplo es Shell UK Oil Products Ltd. Que ha lanzado una nueva serie de fluidos para mecanizado respetuosos del medio ambiente.

7.7 Alternativas de fluidos de corte biodegradables para torneado

La serie **Shell Garia 801 S-10 VEG** y **Macron 803 S-10**, contienen aceites vegetales biodegradables. Así mismo, se han desarrollado nuevas líneas de fluidos de corte miscibles en agua que no contienen cloro ni aminos.

Las series anteriores son una buena alternativa para poder utilizar un fluido de corte que respete la naturaleza y que sea de fácil utilización para los operarios. Además de procurar el medio ambiente, el uso de estos fluidos ecológicos pueden incrementar la productividad total en un 5%.

Existen otras industrias como Castrol Ltd. (Reino Unido), que tiene gran renombre por el **fluido de corte Castrol Alusol XT**, el cual ganó el premio de Fluidos de corte 2002, otorgado por la revista Lubricants World.

Otro refrigerante que puede ser una buena alternativa para ser utilizado en el proceso de torneado, es el fluido de corte biodegradable soluble en agua **S500 de refrigerantes Hangsterfer's**.

Se le dio el nombre de "Serie 500", debido a las más de 500 formulaciones necesitadas para poder ser perfeccionada desde 1952. Dicho fluido de corte ofrece una larga vida tanto al tanque, como de la herramienta, mejorando los acabados, sin sacrificar la salud, la seguridad y el medio ambiente.

Dichos fluidos biodegradables presentan una tecnología Bio – estable que ha evolucionado desde aceites solubles en agua a semi – sintéticos y sintéticos. Toda la gama de series de los refrigerantes Hangsterfer's están formulados con una avanzada tecnología utilizando bases sintéticas, vegetales y derivados de petróleo.

La principal característica de estos fluidos biodegradables es que no utilizan Dietanolaminas (DEA), que es uno de los principales causales de cáncer en las personas que están expuestas a los refrigerantes solubles.

Características del refrigerante S500 de Hangsterfer's:

1. No es tóxico
2. Es soluble en agua y no irrita ni piel ni ojos
3. Es libre de aminas, fosfatos y nitritos
4. Es una formulación Bio – Estable para extender la vida y minimizar el desgaste
5. Ideal para sistemas continuos de reciclaje
6. Compatible con herramientas de máquinas comunes

Principales aplicaciones del refrigerante S500 de Hangsterfer's:

1. Torneado en CNC
2. Fresado y taladrado en CNC
3. Maquinado de alta presión
4. Brochado

Principales materiales

1. Aleaciones de aluminio, aleaciones de níquel, aceros inoxidable, aceros aleados
2. Latón, bronce, aleaciones de cobre, cerámicas, plásticos y compuestos.

Los fluidos de corte biodegradables son una buena alternativa para sustituir a los fluidos convencionales y a los aceites minerales que son contaminantes del medio ambiente, los fluidos ecológicos son el cambio para la industria metal – mecánica, ya que son respetuosos de la naturaleza, de las personas y brindan un desempeño óptimo en el proceso de mecanizado.