

## CAPÍTULO 7

### **Análisis dimensional, acabado superficial de las piezas mecanizadas y análisis de costos**

En este capítulo se realiza un análisis sobre el acabado superficial y dimensional de las probetas mecanizadas en seco. Esto para poder establecer una relación en cuanto el acabado que se obtiene en un proceso de mecanizado en seco con el acabado que se obtiene en un proceso de mecanizado con refrigerante de corte.

Es importante señalar que la parte importante de la probeta que debe estar en control dimensional es el diámetro de la parte central de la probeta. La norma que señala las dimensiones de la probeta se especifica en el apéndice E.

Finalmente se establece una comparación entre las propiedades mecánicas que presentó el material en un proceso de mecanizado en seco contra un proceso de mecanizado empleando un fluido de corte. Esto debido a que el aumento de temperatura es un factor que influye en las propiedades internas del material en un proceso de mecanizado en seco. Mientras que el choque térmico que se produce por la acción directa del refrigerante también presenta influencia en las propiedades del material.

En el análisis de costos se basa principalmente en la comparación de un proceso de mecanizado en seco y un proceso de mecanizado en húmedo. Esto teniendo en cuenta los principales costos que se requieren para maquinarse probetas de tensión bajo la norma ASTM E8-01, dejando a un lado el posible incremento en la productividad, ya que el análisis se desarrolla para el mecanizado de probetas de tensión que se requieren para los cursos de Ciencia de Materiales en la Universidad de la Américas Puebla.

## 7.1 Acabado superficial

El acabado superficial se determinó en base al Ra medido con el rugosímetro ilustrado en el capítulo 4 y capítulo 5. En la tabla 7.1 se muestran los valores de Ra medidos en las 30 probetas que se mecanizaron en seco.

Tabla 7.1  
Ra en probetas mecanizadas en seco

Número de probeta	1 medición $\mu\text{m}$	2 medición $\mu\text{m}$	3 medición $\mu\text{m}$	Promedio
1	0.72	0.72	0.77	0.74
2	0.77	0.75	0.75	0.76
3	0.8	0.72	0.7	0.74
4	0.85	0.78	0.83	0.82
5	0.77	0.76	0.77	0.77
6	0.73	0.72	0.73	0.73
7	0.77	0.76	0.77	0.77
8	0.73	0.77	0.74	0.75
9	0.75	0.76	0.75	0.75
10	0.78	0.79	0.77	0.78
11	0.73	0.73	0.73	0.73
12	0.75	0.76	0.76	0.76
13	0.74	0.75	0.75	0.75
14	0.8	0.78	0.79	0.79
15	0.78	0.77	0.77	0.77
16	0.77	0.76	0.77	0.77
17	0.75	0.75	0.75	0.75
18	0.77	0.76	0.76	0.76
19	0.73	0.73	0.73	0.73
20	0.74	0.74	0.73	0.74
21	0.75	0.76	0.76	0.76
22	0.73	0.74	0.74	0.74
23	0.75	0.76	0.76	0.76
24	0.79	0.78	0.78	0.78
25	0.77	0.75	0.76	0.76
26	0.71	0.72	0.72	0.72
27	0.7	0.71	0.71	0.71
28	0.74	0.74	0.74	0.74
29	0.73	0.73	0.73	0.73
30	0.77	0.77	0.76	0.77
			Media	0.75
			Desviación	0.02

Fuente: Tabla del autor

En la tabla 7.2 se muestra el Ra de las probetas mecanizadas con refrigerante

Tabla 7.2  
Ra en probetas mecanizadas con refrigerante

Número de probeta	1 medición $\mu\text{m}$	2 medición $\mu\text{m}$	3 medición $\mu\text{m}$	Promedio
1	0.5	0.5	0.52	0.51
2	0.72	0.7	0.82	0.75
3	0.4	0.45	0.42	0.42
4	0.47	0.45	0.48	0.47
5	0.43	0.43	0.42	0.43
6	0.49	0.5	0.48	0.49
7	0.48	0.46	0.46	0.47
8	0.52	0.51	0.51	0.51
9	0.51	0.51	0.51	0.51
10	0.5	0.49	0.49	0.49
11	0.45	0.46	0.46	0.46
12	0.46	0.46	0.47	0.46
13	0.48	0.48	0.49	0.48
14	0.46	0.46	0.47	0.46
15	0.48	0.48	0.49	0.48
16	0.49	0.5	0.5	0.50
17	0.45	0.45	0.46	0.45
18	0.46	0.47	0.47	0.47
19	0.47	0.47	0.47	0.47
20	0.46	0.46	0.47	0.46
21	0.6	0.59	0.58	0.59
22	0.47	0.48	0.47	0.47
23	0.45	0.46	0.46	0.46
24	0.51	0.52	0.52	0.52
25	0.53	0.54	0.53	0.53
26	0.57	0.57	0.57	0.57
27	0.43	0.44	0.45	0.44
28	0.46	0.46	0.47	0.46
29	0.48	0.48	0.48	0.48
30	0.43	0.43	0.44	0.43
			Media	0.49
			Desviación	0.06

Fuente: Tabla del autor

Aplicando una prueba de hipótesis con un nivel  $\alpha = 0.05$  se plantea que la hipótesis nula  $H_0: (\mu_1 - \mu_2) = 0$  frente a la hipótesis alternativa  $H_a: (\mu_1 - \mu_2) \neq 0$ . La hipótesis alternativa de dos colas permite detectar el caso en el que  $\mu_1 > \mu_2$ , lo inverso del caso en el

que  $\mu_2 > \mu_1$  de cualquier forma  $H_0$  es falsa. En base a lo anterior se puede saber si existe evidencia para decir que existe diferencia entre los promedios de Ra obtenidos en seco y con refrigerante. Por tanto empleando estimadores llegamos a lo siguiente:

$$z = \frac{0.49 - 0.753}{\sqrt{\frac{0.003766}{30} + \frac{0.0005466}{30}}} = -21.9$$

El valor es menor que  $-z_{\alpha/2} = -1.96$ , por tanto cae dentro de la región de rechazo. Así que en el nivel  $\alpha = 0.05$  se puede concluir que hay suficiente evidencia para afirmar que los valores promedios de Ra son diferentes.

Con lo anterior se puede establecer que el proceso de mecanizado con refrigerante produce un mejor acabado que un proceso de mecanizado en seco. Hay que señalar que los dos procesos se encuentran dentro de los límites establecidos para un proceso de torneado de acabado como se especificó en el capítulo tres.

Por tanto el mecanizado en seco puede emplearse donde se tenga un rango de operación para el Ra, ya que si se necesita de un Ra específico muy difícilmente se logrará empleando un mecanizado en seco. Las ventajas de eliminar el fluido de corte serán tratadas más adelante en este capítulo donde se realizará un análisis sobre los ahorros que pueden producirse por la eliminación del fluido de corte.

Es importante señalar como se mencionó anteriormente que las probetas maquinadas tanto en seco como con refrigerante se realizaron con los mismos parámetros de corte señalados en el programa de control numérico del capítulo seis. Por lo que la única variable que podía sufrir modificaciones era el acabado superficial que como ya se mencionó varía de un proceso de mecanizado en seco a un proceso de mecanizado con la aplicación de un refrigerante.

En la figura 7.1 se muestra como se fue midiendo el acabado superficial sobre las probetas maquinadas.



**Figura 7.1** Ra en las probetas mecanizadas

## 7.2 Pruebas de tensión

Antes de realizar las pruebas de tensión se midió el diámetro de la parte central de la probeta a 15 de las probetas que se romperían en la máquina de tensión tanto mecanizadas con refrigerante como sin refrigerante.

Las dimensiones se tomaron con un vernier digital que tiene un rango de medición de 0.0000 con un margen de error de  $\pm 0.0002$ .

Las mediciones se realizaron a lo largo del diámetro central. La primera medición se realizó en un extremo, la segunda en la parte de en medio y la tercera en el extremo opuesto. Esto sirvió también para revisar la cilindricidad que se produjo en el proceso de mecanizado en seco y con refrigerante de corte empleando un indicador de carátula. El factor conicidad fue un factor que no afectó a la parte central de la probeta ya que existe una conicidad de 0.0002 in en algunas de las piezas valor que puede despreciarse. En la tabla 7.3 se muestra las dimensiones del diámetro de la parte central de las probetas mecanizadas en seco, y en la tabla 7.4 de las probetas mecanizadas con refrigerante.

Tabla 7.3

Dimensiones en la parte central de la probeta mecanizada en seco

Número de probeta	1 medición in	2 medición in	3 medición in	Promedio
1	0.505	0.504	0.504	0.504
2	0.504	0.504	0.504	0.504
3	0.505	0.504	0.504	0.504
4	0.505	0.504	0.505	0.504
5	0.504	0.504	0.504	0.504
6	0.505	0.504	0.503	0.504
7	0.504	0.505	0.503	0.504
8	0.503	0.503	0.503	0.503
9	0.504	0.505	0.503	0.504
10	0.503	0.503	0.503	0.503
11	0.504	0.504	0.504	0.504
12	0.503	0.503	0.503	0.503
13	0.504	0.504	0.504	0.504
14	0.502	0.502	0.503	0.502
15	0.504	0.504	0.504	0.504
Media				0.504
Desviación				0.001

Fuente: Tabla del autor

Tabla 7.4

Dimensiones en la parte central de la probeta mecanizada en húmedo

Número de probeta	1 medición in	2 medición in	3 medición in	Promedio
1	0.506	0.506	0.507	0.506
2	0.505	0.506	0.507	0.506
3	0.505	0.506	0.506	0.506
4	0.506	0.506	0.505	0.506
5	0.504	0.505	0.504	0.504
6	0.504	0.504	0.504	0.504
7	0.506	0.506	0.505	0.506
8	0.505	0.504	0.505	0.505
9	0.504	0.502	0.504	0.503
10	0.504	0.503	0.503	0.503
11	0.504	0.504	0.504	0.504
12	0.505	0.505	0.505	0.505
13	0.503	0.504	0.503	0.503
14	0.505	0.504	0.504	0.504
15	0.504	0.504	0.504	0.504
Media				0.505
Desviación				0.001

Fuente: Tabla del autor

En las tablas 7.3 y 7.4 se puede ver que existe un valor mínimo en la variación dimensional de la parte central de las probetas mecanizadas en seco y de las probetas mecanizadas con refrigerante. Por lo que el mecanizado en seco presenta el mismo alcance dimensional que puede brindar un mecanizado con refrigerante. En la tabla 7.5 se presenta las propiedades mecánicas de las probetas mecanizadas en seco

Tabla 7.5

## Propiedades mecánicas de probetas mecanizadas en seco

Probeta	Carga Máxima (kg)	Carga Ruptura (kg)	Resistencia ultima (MPa)
1	12000	9250	916
2	12000	9300	914.6
3	12250	9000	941.1
4	12250	9250	941.1
5	12250	9375	937.4
6	12375	9250	950.7
7	12375	9600	958.3
8	12475	9400	966.1
9	12475	9375	92.2
10	12500	9100	960.3
11	12500	9100	968
12	12475	9375	962.2
13	12300	9300	944.9
14	12475	9300	966.1
15	12300	9375	944.9
Lo (mm)	Lf (mm)	Do (mm)	Elongación %
50.8	58.95	12.7889	16.04
50.8	59.96	12.8016	18.03
50.8	59.12	12.7508	16.38
50.8	58.94	12.7508	16.02
50.8	59.55	12.7762	17.22
50.8	58.96	12.7508	16.06
50.8	59.18	12.7	16.50
50.8	59.16	12.7	16.46
50.8	59.34	12.7254	16.81
50.8	59.36	12.7508	16.85
50.8	59.23	12.7	16.59
50.8	59.34	12.7254	16.81
50.8	59.26	12.7508	16.65
50.8	58.97	12.7	16.08
50.8	58.89	12.7508	15.93

Fuente: Tabla del autor

En la tabla 7.6 se presenta las propiedades mecánicas de las probetas mecanizadas con refrigerante.

Tabla 7.6  
Propiedades mecánicas de probetas mecanizadas con refrigerante

Probeta	Carga Máxima (kg)	Carga Ruptura (kg)	Resistencia ultima (MPa)
1	12375	8875	952.6
2	12400	8750	950.7
3	12300	8850	946.8
4	12750	9125	979.5
5	12500	8750	958.4
6	12500	9000	962.2
7	12475	8800	960.2
8	12300	8825	946.8
9	12500	8850	962.2
10	12425	9000	954.5
11	12400	8850	952.3
12	12375	8875	949.2
13	12500	9000	961.9
14	12400	9100	954.7
15	12300	9125	947.4
Lo (mm)	Lf (mm)	Do (mm)	Elongación %
50.8	60.01	12.7381	18.13
50.8	60.26	12.7635	18.62
50.8	59.8	12.7381	17.72
50.8	59.31	12.7508	11575.20
50.8	59.53	12.7635	17.19
50.8	60.31	12.7381	18.72
50.8	60	12.739	18.11
50.8	59.7	12.7385	17.52
50.8	59.85	12.7385	17.81
50.8	59.78	12.751	17.68
50.8	60.2	12.753	18.50
50.8	59.62	12.761	17.36
50.8	60.24	12.74	18.58
50.8	59.89	12.737	17.89
50.8	59.75	12.734	17.62

Fuente: Tabla del autor

Como se puede apreciar en las tablas anteriores existe una variación máxima del 6% en la carga de ruptura de las probetas mecanizadas sin refrigerante y las probetas mecanizadas con refrigerante. Esto se debe a la temperatura de maquinado. Ya que sin



refrigerante de corte la temperatura es alta, posteriormente las probetas se dejan enfriar al medio ambiente por lo que el grano del material se hace más pequeño. Mientras que cuando se aplica el refrigerante de corte las altas temperaturas de maquinado provocan que el refrigerante este templando la pieza de trabajo, por lo que el grano de este material debe ser un grano más grande.

### **7.3 Consumo de energía**

Para realizar el análisis de costos se realizó la comparación de los principales factores que intervienen en la generación de costos para el mecanizado de probetas de tensión de material AISI 4140 en un proceso de torneado en seco y en un proceso de torneado en húmedo. En este análisis no entra en consideración los factores que afectan a la economía del mecanizado, es decir la selección de los parámetros de corte que aumenten la productividad. Debido a que no existe una producción formal de probetas en la Universidad de las Américas Puebla. Otro punto importante a señalar es que el análisis se realiza sobre las probetas de tensión que se maquinan en la Universidad de las Américas, por lo que no existe ningún fin lucrativo al mecanizar estas probetas, y no es el punto de este trabajo hablar sobre el incremento de productividad, pero si se pueden obtener ahorros en cuanto a la elaboración de las probetas dependiendo del proceso de torneado que se elija: húmedo o seco.

Para determinar el consumo de energía que se requiere para maquinar probetas en seco y probetas en húmedo se registró el tiempo en que las herramientas de corte están en contacto con el material de la pieza de trabajo, es decir el tiempo en que la herramienta está cortando material. Los tiempos muertos que se producen como son los paros que realiza el

torno para cambiar herramienta, el movimiento del contrapunto y el avance del carro no se tomaron en cuenta.

Las operaciones que se tomaron en consideración para realizar las probetas se muestran en la tabla 7.7 así como el tiempo empleado para realizar la operación.

Tabla 7.7  
Tiempo de operaciones

Operación	Tiempo de mecanizado (s)
1. Desbaste	20.34
2. Primer ciclo de geometría	4.06
2.1. Tres pasadas de desbaste	$3.75 \times 3 = 11.25$
2.2. Acabado	21.84
3. Ranurado	10.28
4. Segundo ciclo de geometría	4.38
4.1. Tres pasadas de desbaste	$4.67 \times 3 = 14.01$
4.2. Acabado	23.5
5. Acabado final de perfil de geometría	13.56
6. Roscado derecho	29
7. Roscado izquierdo	30
8. Tronzado	8.28
9. Barreno de centros	2.78
Tiempo total	193.28
	3.22 minutos

Fuente: Tabla del autor

Tomando en cuenta que el tiempo muerto promedio para realizar una probeta era de 1.5 minutos. El tiempo total para realizar la probeta fue de 4.72 minutos.

Una vez establecidos los tiempos de corte y basándose en el consumo de potencia mostrado en las tablas 6.12 y 6.13, se puede establecer el costo de energía que se requiere para el mecanizado de probetas de tensión dependiendo del tipo de proceso empleado: seco o húmedo. Se seleccionó un valor comercial para el kWh ya que es con el valor que trabajan los laboratorios de la Universidad de las Américas Puebla, dicho valor es de \$2.00 MN. Hay que mencionar nuevamente que solo se tomó en consideración el consumo de

energía empleado cuando las herramientas de corte están arrancando material, ya que para los tiempos muertos el consumo de potencia es igual en ambos casos: seco o húmedo. En la tabla 7.8 se puede observar el costo de energía que se requiere para el mecanizado de una probeta en seco.

Tabla 7.8  
Costo de energía de una probeta en seco

En seco	Consumo promedio por pasada(kW)	Tiempo de mecanizado (h)
1. Desbaste	0.7	0.01
2. Primer ciclo de geometría	\$2.13	0.00
2.1. Tres pasadas de desbaste	\$1.35	0.00
2.2. Acabado	\$0.72	0.01
3. Ranurado	\$1.17	0.00
4.1 Segundo ciclo de geometría	\$2.47	0.00
4.1. Tres pasadas de desbaste	\$1.17	0.00
4.2. Acabado	\$0.72	0.01
5. Acabado de perfil de geometría	\$0.55	0.00
6. Roscado derecho	\$0.65	0.01
7. Roscado izquierdo	\$0.52	0.01
8. Tronzado	\$1.30	0.00
9. Barreno de centros	\$0.68	0.00
Total	\$14.12	0.05
Consumo kWh	\$0.76	
Costo kWh	\$2.00	
Costo de energía por probeta	\$1.52	

Fuente: Tabla del autor

El costo de energía por mecanizar una probeta de tensión en seco es de \$1.52 MN y el consumo de energía empleado en kWh de 0.76. Como se mencionó anteriormente estos valores no incluyen los tiempos muertos que se presentan durante el mecanizado de las probetas de tensión en seco.

En la tabla 7.9 se observa el costo de energía que se requiere para el mecanizado de una probeta empleando un fluido de corte.

Tabla 7.9

Costo de energía por probeta empleando fluido de corte

En humedo	Consumo promedio por pasada(kW)	Tiempo de mecanizado (h)
1. Desbaste	\$0.62	0.01
2. Primer ciclo de geometría	\$2.10	0.00
2.1. Tres pasadas de desbaste	\$1.22	0.00
2.2. Acabado	\$0.65	0.01
3. Ranurado	\$1.03	0.00
4.1 Segundo ciclo de geometría	\$2.03	0.00
4.1. Tres pasadas de desbaste	\$1.20	0.00
4.2. Acabado	\$0.77	0.01
5. Acabado de perfil de geometría	\$0.53	0.00
6. Roscado derecho	\$0.57	0.01
7. Roscado izquierdo	\$0.47	0.01
8. Tronzado	\$1.25	0.00
9. Barreno de centros	\$0.67	0.00
Total	\$13.10	0.05
Consumo kWh	0.71	
Costo kWh	2.00	
Costo de energía por probeta	1.41	

Fuente: Tabla del autor

El costo de energía para mecanizar una probeta de tensión en húmedo es de \$1.41 MN y el consumo de energía empleado en kWh de 0.705. Comparando los costos de energía se puede apreciar que es menor el costo de mecanizar probetas empleando un fluido de corte que maquinas en seco. Esto se debe al incremento en el consumo de potencia que se requiere para mecanizar probetas en seco.

#### 7.4 Fluido de corte

El fluido de corte es un factor que genera costos en el mecanizado de probetas en húmedo. El fluido que se emplea como refrigerante en el torno de control numérico marca Hardinge Cobra 42 es el aceite Mobilmet Upsilon. Este fluido es un aceite mineral que puede emplearse en el mecanizado en general y presenta principalmente las propiedades que se muestran en la tabla 7.10.

Tabla 7.10  
Características del fluido de corte

Propiedades	Mobilmet Upsilon	Mobilmet Omicron	Mobilmet Nu
Viscosidad, ASTM D 445			
cSt @ 40°C	11.17	26.06	36.52
cSt @ 100°C	2.8	5	6.5
Viscosidad Index, ASTM D 2270	115	115	125
Gravedad específica @ 15°C kg/l, ASTM D 1298	7.085	7.236	7.35
Total Sulfuro ASTM D 2622, wt-%	0.29	0.537	1.099
Sulfuro activo, ASTM D 1662, wt-%	Nil	Nil	Nil
Protección de cobre a la corrosión ASTM D 1303 hrs @ 100°C max	1A	1A	1A

Fuente:<http://www.mobil.com/>

El costo del refrigerante se determinó en base al proveedor Grupo Perea quien vende el tonel de este fluido en \$4016.33 MN. El tonel equivale a 208 litros. La capacidad del depósito para el fluido de corte en el torno de control numérico es de aproximadamente 200 litros, por lo que es necesario ocupar un tonel. Hay que mencionar que el proveedor señala el cambio del fluido de corte cada seis meses.

El costo del refrigerante de corte solo afecta al mecanizado en húmedo, ya que en seco seco se supone la eliminación total del fluido de corte.

### **7.5 Tratamiento del fluido de corte**

Una vez que el fluido de corte cumple con su tiempo de vida que es de seis meses, tiene que someterse a un tratamiento para que pueda ser desechado sin causar daños al medio ambiente. Dicho tratamiento requiere de un costo por el manejo posterior del fluido de corte. Consultando empresas que se encargan de prestar el servicio de recolección de fluidos peligrosos indicaron que el costo por tonel de 208 litros es de \$430 MN. Este costo se debe de emplear cada seis meses que es cuando se debe cambiar el fluido de corte.

### **7.6 Material**

Las características del material a emplear en este caso acero aleado AISI 4140 fueron tratadas en el capítulo tres. El proveedor de dicho material es Aceros Fortuna quien tiene un costo por kilogramo de \$33.80 MN. La cantidad de material que se empleó para maquinar una probeta de tensión de material AISI 4140 fue de 0.175 kilogramos lo que equivale a un costo de \$5.915 MN. Este costo es tanto para el mecanizado de una probeta en seco como en húmedo.

### **7.7 Herramientas y porta herramientas**

En este caso se emplearon herramientas de corte y porta herramientas con los que no se contaba. Las herramientas y porta herramientas seleccionados fueron tratados en el capítulo tres. En este capítulo se menciona el costo de la herramienta que se está estudiando y del porta herramientas empleado sin mencionar el costo del resto de las herramientas que intervienen para mecanizar una probeta, ya que su costo representa un mismo valor en ambos métodos empleados: seco y húmedo. Como se explicó anteriormente el inserto seleccionado fue el inserto normal o inserto PM, debido a que presenta un mejor

desempeño que el inserto Wiper o inserto WM. Además de que el costo del inserto wiper es mayor al del inserto normal.

El costo del inserto normal: DCMT 11 T3 08-PM es de \$43.67 MN, el del inserto wiper DCMX 11 T3 08-WM es de \$52.25 MN y del porta herramientas SDPCN 12 3B es de \$784.96.

### 7.8 Análisis de costos

Una vez establecidos los principales factores que influyen en los costos para mecanizar probetas de tensión se realiza un análisis para evaluar la situación de la eliminación del fluido de corte. A continuación se presenta en la tabla 7.11 el costo de mecanizado de una probeta de tensión tanto en seco como en húmedo.

Tabla 7.11  
Costo de mecanizado de una probeta de tensión

#### Mecanizado en seco

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario	Costo total
0.175 kg	Acero Aleado AISI 4140	Aceros Fortuna	\$33.80/kg	\$5.92
1	Inserto DCMT 11 T3 08-PM	Numa Ingeniería	\$43.67	\$43.67
0.76 kWh	Consumo de energía en kWh	CFE	\$2.00	\$1.52
TOTAL				\$51.11

#### Mecanizado húmedo

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario	Costo total
0.175 kg	Acero Aleado AISI 4140	Aceros Fortuna	\$33.80/kg	\$5.92
1	Inserto DCMT 11 T3 08-PM	Numa Ingeniería	\$43.67	\$43.67
0.705 kWh	Consumo de energía en kWh	CFE	\$2.00	\$1.41
TOTAL				\$51.00

Fuente: Tabla del autor

Como se puede ver en la tabla el costo de mecanizar una probeta en seco es mayor que el costo de mecanizarla empleando refrigerante. Esto se debe al consumo de energía que es ligeramente mayor en un proceso de mecanizado en seco. Es importante mencionar

que para en el caso del mecanizado en seco cada 7 probetas se reemplazaba el filo del inserto, es decir cada 14 probetas se reemplazaba el inserto, mientras que en el caso del mecanizado en húmedo cada 10 probetas se reemplazaba el filo del inserto, es decir cada 20 probetas se reemplazaba el inserto. Esto en base a las estimaciones realizadas en el capítulo seis sobre la vida útil de la herramienta de corte y a los parámetros establecidos en cuanto a desgaste de flanco que se presenta en una herramienta de carburo recubierta.

A partir de lo anterior puede encontrarse un punto de equilibrio donde resulte más conveniente emplear un fluido de corte para alargar la vida de la herramienta que estar reemplazando la herramienta en un menor tiempo como se da en el caso del mecanizado en seco. Ya que a partir de 100 probetas entra en consideración el costo del refrigerante y su posterior tratamiento. En la tabla 7.12 se muestra el costo por mecanizar 30 probetas de tensión tanto en seco como en húmedo.

Tabla 7.12

## Costo de mecanizar 30 probetas de tensión

## Mecanizado en seco

Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario	Costo total
5.25 kg	Acero Aleado AISI 4140	Aceros Fortuna	\$33.80/kg	\$177.60
3	Inserto DCMT 11 T3 08-PM	Numa Ingeniería	\$43.67	\$131.01
22.8 kWh	Consumo de energía en kWh	CFE	\$2.00	\$45.60
TOTAL				\$354.21

## Mecanizado húmedo

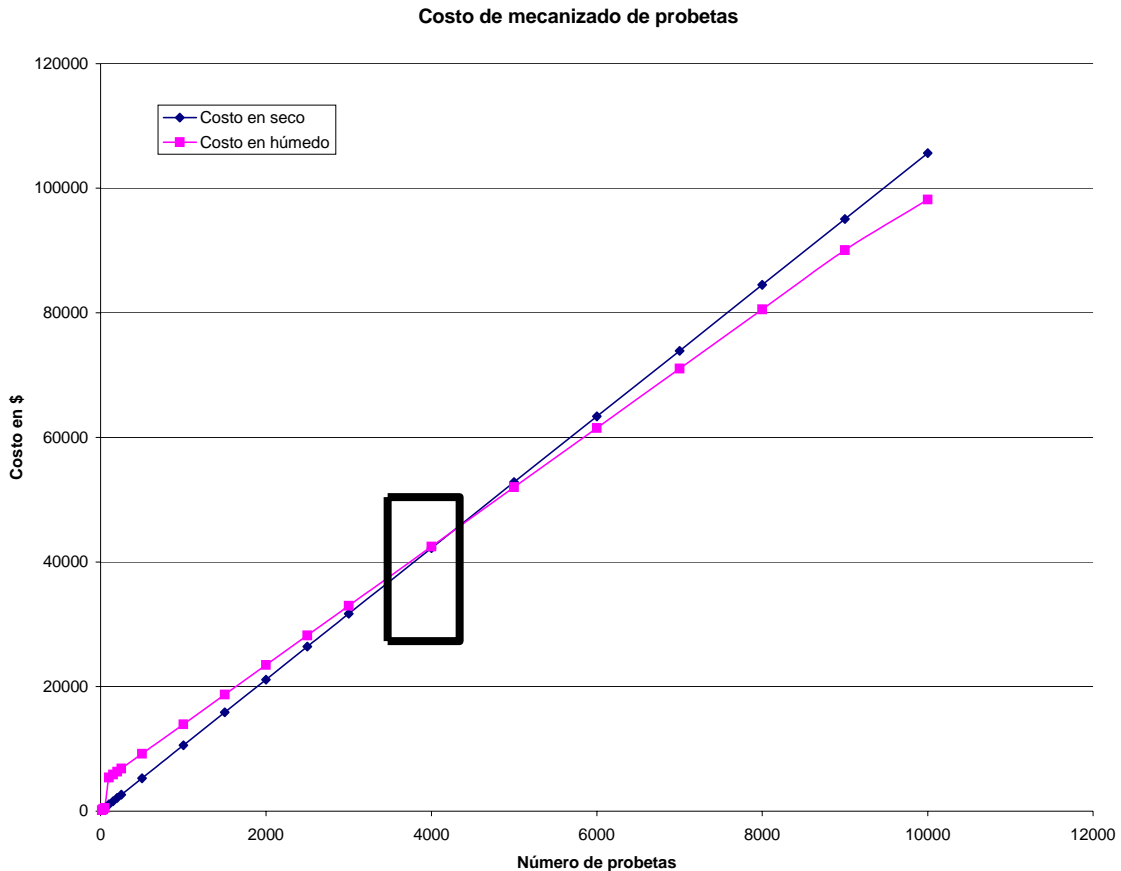
Cantidad	Descripción	Proveedor	Precio unitario	Costo total
5.25 kg	Acero Aleado AISI 4140	Aceros Fortuna	\$33.80/kg	\$177.60
2	Inserto DCMT 11 T3 08-PM	Numa Ingeniería	\$43.67	\$87.34
21.15 kWh	Consumo de energía en kWh	CFE	\$2.00	\$42.30
TOTAL				\$307.24

Fuente: Tabla del autor

Como puede apreciarse al aumentar el número de probetas a mecanizar en seco aumenta el número de insertos a emplear. Mientras que en seco se emplearon 4 filos y medio, en el mecanizado en húmedo se empleó solo un filo y medio.



A continuación se presenta una gráfica donde se muestra el costo de mecanizado de probetas de tensión en seco y en húmedo conforme se aumenta la cantidad de probetas de tensión a mecanizar.



**Figura 7.2** Comparación de costos

En la figura 7.2 puede apreciarse que cuando el número de probetas a mecanizar es pequeño, el costo de mecanizar en seco es mayor. El costo del refrigerante se tomó en consideración a partir de 100 probetas. Es por esta razón que posteriormente se incrementa el costo de mecanizado en húmedo. Se puede ver que aproximadamente en 4000 probetas se encuentra el punto de equilibrio donde es igual emplear fluido de corte o no emplearlo. A partir de la cantidad de 4000 probetas el costo del mecanizado en seco es mayor al costo del mecanizado en húmedo. Debido a que en la Universidad de la Américas no se maquinan

más de 30 y menos de 300 probetas en un año es totalmente válido recomendar el uso del mecanizado en seco, ya que el ahorro de la eliminación del fluido y su posterior reciclaje es altamente considerable. Es importante mencionar que el análisis es realizado tomando en cuenta que el mecanizado de las probetas se realiza en un lapso menor a seis meses y que los costos tienen la misma duración. Así como sin tomar en consideración los gastos de mantenimiento de la máquina herramienta.

### **7.9 Ventajas de la eliminación del fluido de corte**

Cuando el número de probetas de tensión a mecanizar es menor a 4000 se produce un ahorro de costos en cuanto a la eliminación del fluido de corte y de su posterior tratamiento. Aunque la vida de los insertos de corte no se alarga en el mecanizado en seco resulta más favorable cambiar de inserto que realizar un gasto por el refrigerante.

Basándose en la hoja de seguridad que ofrece Mobil para el fluido de corte Mobilmet Upsilon, se obtuvo la siguiente información sobre los daños que puede causar la exposición al fluido de corte:

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.

Con lo anterior es recomendable evitar exponerse a este fluido de corte ya que es un principal causante de problemas a la salud en operarios así como un elemento de contaminación hacia el medio ambiente si no se trata correctamente. En la figura 7.3 se muestra la formación de niebla de aceite que se produce por el empleo de fluido de corte en el mecanizado de probetas de tensión.



**Figura 7.3** Humos en el mecanizado en húmedo