

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“PRUEBAS DE MAQUINABILIDAD DE LA MEZCLA P. C. P. :
POLIETILENO-CANDELILLA-PARAFINA Y SU POSIBLE
EMPLEO COMO MATERIAL EN PROTOTIPOS RÁPIDOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

(ÁREA MECÁNICA)

P R E S E N T A

SILVIA AMADA COVIAN GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS: M. A. JESÚS ROVIROZA LÓPEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE TEMÁTICO

OBJETIVO.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
1-ANTECEDENTES.....	12
1.1.-POLIETILENO	15
1.2.-CERA DE CANDELILLA.....	20
1.3.-PARAFINA	23
2.- EL COMPUESTO P.C.P. (POLIETILENO-CANDELILLA PARAFINA)	25
2.1.-DEFINICIÓN DEL P.C.P.....	26
2.2.-FABRICACIÓN DEL P.C.P.	29
2.3.-CONTRACCIÓN DEL P.C.P.....	44
3.- PRUEBAS.....	47
3.1.-MAQUINABILIDAD.....	48

3.1.1- EL TORNO.....	51
3.1.2-LA FRESADORA.....	60
3.1.3- LA VIRUTA.....	79
3.1.4- EL ACABADO SUPERFICIAL.....	86
3.1.5-EFECTOS DE LOS LÍQUIDOS DE CORTE.....	89
3.2.- PRUEBAS DE DUREZA.....	91
3.2.1.-CONSIDERACIONES TEÓRICAS GENERALES	91
3.2.2.-MÁQUINA Y EQUIPO.....	93
3.2.3.-PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.....	95
3.2.4.-OBJETIVO DEL ENSAYO.....	96
3.2.5.-PROCEDIMIENTO.....	96
4.-INVESTIGACIÓN DE COSTOS.....	101
5.-CONCLUSIONES.....	109
GLOSARIO.....	114

ANEXOS.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	123

OBJETIVO

Someter a la mezcla Polietileno-Candelilla-Parafina (P.C.P.) a una serie de pruebas de maquinabilidad , en torno y fresadora, así como la medición de temperatura de fusión, dureza y un análisis de costos, con la finalidad de conocer y poder especificar de manera adecuada si es posible su fabricación y utilización en los talleres de la Facultad de Ingeniería par sustituir el aluminio o la cera maquinable.

INTRODUCCIÓN

Los orígenes de la utilización de los materiales no pueden precisarse con certidumbre tanto en lo temporal como en lo geográfico, pero la evidencia presente apunta a mostrar que el desarrollo de la cultura alrededor de los materiales ha elevado al hombre sistemáticamente en la escala de la civilización. En la medida en la que son mayores en número las necesidades humanas impuestas por un estilo de vida, mayor es la utilización de materiales.

Un concepto intuitivo e inmediato es la aceptación de que un material es la sustancia o elemento utilizado para fabricar un objeto. Otra alternativa es admitir que es la sustancia de la que está hecho un objeto. Sin embargo, para los fines de esta investigación se

definirá material como la porción de materia a la que se le da un uso particular para desarrollar una actividad específica.

La creación de materiales se ha desarrollado de forma más práctica que teórica. En la actualidad la situación se ha invertido debido al surgimiento de un área del conocimiento que trata de las propiedades, las características y las aplicaciones de la materia.

A diferencia de lo ocurrido en las Edades de Piedra, Bronce, etcétera, la humanidad se está aproximando a una súper era: la edad de los materiales en los que será posible lograr la convergencia entre teoría y experimento para diseñar los más adecuados de acuerdo con las necesidades de la civilización.

En el presente trabajo se pretende iniciar el estudio de un nuevo material fabricado en los talleres de la facultad de ingeniería: el

P.C.P. que son las siglas del material compuesto de Polietileno-Candelilla-Parafina; mediante pruebas de dureza, maquinado en fresadora y torno.

Dicho material fue sujeto a la aplicación de pruebas de maquinado, desbastado y sometido al cambio en las variables de corte como son las RPM, la velocidad de avance y la profundidad de corte, esperando encontrar un buen comportamiento en la mezcla con las condiciones de corte a las que se le sometió.

ANTECEDENTES

Con el objetivo de obtener un material que sea fabricado en los talleres de la facultad de ingeniería y que pueda sustituir en su uso en prácticas de maquinado al aluminio o a la cera maquinable, se obtuvo el compuesto P.C.P.

Este compuesto hecho de Polietileno, Candelilla y Parafina en adelante se llamará P. C. P. por las siglas de dichos materiales.

El objetivo principal de la obtención de este material, es la reducción de costos en el maquinado de piezas y prototipos durante las prácticas de Manufactura y Corte de Materiales de los talleres de la Facultad de Ingeniería.

A base de una serie de experimentos con las ceras que lo conforman, se llegó a la mezcla que se utiliza para fabricar las piezas requeridas en las diferentes prácticas.

A continuación se muestran los conceptos básicos de los elementos que componen la mezcla P. C. P.

1.1.-POLIETILENO

El polietileno es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes se comercializa en forma de balines, polvo, lentejas blancas duras y opacas.

Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados. Es uno de los materiales plásticos de mayor producción.

El polietileno, es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico; presenta además una gran resistencia

mecánica y química. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo costo se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías.

Se emplea en la construcción y también para fabricar prótesis, envases y contenedores de agua y combustible. Los polímeros tienen un alto coeficiente de expansión térmica y durante el enfriado ocurre una contracción significativa del plástico.

Los termoplásticos pueden ser ablandados mediante calor repetidas veces y endurecidos mediante enfriamiento.

Algunas de las propiedades, que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para miles de artículos manufacturados, son,

entre otras poco peso, flexibilidad, tenacidad y propiedades eléctricas sobresalientes.

Existen, básicamente, dos tipos de polietileno, el **polietileno de baja -y mediana- densidad PEAD (LDPE** llamados así por sus siglas en inglés.**Low Density PolyEthylene)** y el **polietileno de alta densidad PEBD (HDPE** llamados así por sus siglas en inglés.**High Density PolyEthylene).**

Familia de polietilenos	siglas	Densidades (g/cm ³)
Polietileno de baja y mediana densidad	PEBD	0.910-0.940
Polietileno de alta densidad	PEAD	> 0.941

Tabla 1. Clasificación de los polietilenos según su densidad.

Los polietilenos más densos son lógicamente más pesados, pero aún los artículos fabricados con los polietilenos de alta densidad flotarán en agua.

Su densidad es baja en comparación con metales u otros materiales; esto es una ventaja para el moldeador pues le permitirá obtener más volumen por cada kilogramo de polietileno que usando cualquier otro plástico.

El polietileno a temperatura ambiente tiene una superficie relativamente blanda que puede rayarse con la uña.

A medida que aumenta la temperatura, el sólido va haciéndose más blando y finalmente se funde a unos 200° C (en el caso de los polietilenos de alta densidad) y a 134°C (en el caso de los polietilenos de baja densidad), transformándose en un líquido

transparente. Si se reduce la temperatura por debajo de la de solidificación , el sólido se hace más duro y más rígido, y se alcanza una temperatura a la cual una muestra no puede doblarse sin romperse.

El polietileno ha encontrado amplia aceptación en virtud de su buena resistencia química, falta de olor, no toxicidad, poca permeabilidad para el vapor de agua, excelentes propiedades eléctricas y ligereza de peso. Se emplea en tuberías, fibras, películas, aislamiento eléctrico, revestimientos, vasijas y recipientes envases, utensilios caseros, aparatos quirúrgicos y artículos de fantasía entre otros usos.

1.2.-CERA DE CANDELILLA

La cera de candelilla proviene de la planta de Candelilla que crece en un área conocida como Desierto de Chihuahua en el norte de México.

Su clasificación científica: la candelilla es la especie *Euphorbia antisiphilitica*, perteneciente a la familia de las Euforbiáceas (*Euphorbiaceae*).

Es dura, quebradiza y fácil de pulverizar. Sin refinar es de apariencia opaca. Su color puede variar desde café claro hasta amarillo, dependiendo del grado de refinación y blanqueo. Su superficie puede alcanzar altos niveles de brillo al ser refinada, siendo ésta una

de las propiedades más apreciadas en la cera de Candelilla para diversas aplicaciones. Disuelve bien los colorantes básicos. Es insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos.

La mayoría de los constituyentes de la cera de Candelilla son componentes naturales que se encuentran en los vegetales y en las frutas.

La cera de Candelilla presenta una contracción muy baja, por lo cual es utilizada en fundición de precisión.

Mezclada con otras ceras se utiliza en acabados para piel, textiles, también en lubricantes , grasas y para recubrimientos de papel y cartón.

Puede endurecer otras ceras sin aumentar significativamente el punto de fusión de la mezcla.

La cera del comercio es de color café -amarillento, lustrosa, tiene olor aromático ,débil , es más dura y más quebradiza que la de abeja, tiene más bien apariencia de resina que de cera. La pura es amarilla.

Su punto de fusión es de 68.5 ° C a 72.5 ° C, su presentación es en trozos.

Tanto la parafina como la candelilla son compatibles con la mayoría de ceras animales, vegetales y minerales y una amplia variedad de resinas naturales y sintéticas.

1.1.-PARAFINA

El término “parafina” proviene del latín “parum affinis” (que tiene poca afinidad), ya que la parafina es un material inerte y muy estable.

La cera de parafina es una mezcla de hidrocarburos saturados de alta masa molecular que se produce al refinar el petróleo. Actualmente la mayoría de las ceras comerciales proceden del petróleo.

La parafina es una materia sólida, impermeable, brillante, resbaladiza, que ofrece una gran plasticidad y que tiene un punto de fusión entre 48° C y 70° C. Su cualidad termoplástica hace que se deforme bajo presión sin aplicación de calor y permite que sea tratada manualmente a temperatura ambiente.

La parafina es biodegradable y su combustión tiene lugar sin liberación de vapores nocivos o corrosivos.

La parafina HM-60

Es una parafina refinada con punto de fusión de 56 ° C. - 60° C. su estructura es cristalina y su forma es sólida, es de color blanco-amarillento, es inodora, tiene una densidad (20° C) 0.85-0.95 g/cm³ y es insoluble en agua.

2.-EL P.C.P.

2.1.-DEFINICIÓN

El P. C. P. Es una mezcla de parafina HM-60, cera de candelilla y polietileno. La mezcla típica de ceras utilizada para nuestras pruebas fue :

Polietileno 40%

Candelilla 30%

Parafina 30%

Los elementos que conforman el compuesto tiene efectos sobre las propiedades del producto final, al ser mezclados en porcentajes específicos, cada uno según sus cualidades le da también ciertas características al P. C. P.

Este compuesto surgió de la necesidad de utilizar un material económico con el cual se pueda sustituir algunos materiales utilizados para maquinar en los talleres de la Facultad de Ingeniería.

El costo de los materiales utilizados actualmente es elevado, ya que son materiales ferrosos, no reciclables y que desgastan rápidamente las herramientas de corte.

También existe un material en el mercado llamado “cera maquinable” este material fue creado para la elaboración de prototipos en la industria pero su costo es muy alto, por lo que es prácticamente imposible utilizarlo como material de prácticas en la Facultad.

Uno de los objetivos de la creación del P.C.P. es la reducción de costos de maquinado, es decir además de ser considerado el costo del aluminio ó de la cera maquinable también se consideró el desgaste de las herramientas de corte y la eliminación de lubricantes de corte.

Otro factor importante a considerar son los tiempos de maquinado ya que al ser un material relativamente suave el tiempo que se emplea para trabajarlo en las máquinas es menor.

2.2.-FABRICACIÓN DE P.C.P.

La mezcla P.C.P. se logró después de la realización de algunas pruebas con diferentes porcentajes de los elementos que la constituyen.

Para mezclar estos tres materiales y obtener las piezas que se utilizaron para hacer las pruebas en torno y fresadora, fue necesario un recipiente de fundición previamente fabricado en los talleres de ingeniería que consiste en una olla llamada Maria tipo recta del número seis, una resistencia eléctrica, un reóstato para la regulación de la temperatura, un maneral de madera para sujetar la olla y un agitador también de madera como se puede apreciar en la foto 2.1.



foto 2.1. Recipiente de fundición fabricado en los talleres de la Facultad de Ingeniería.

Antes de iniciar el trabajo fue necesario tener listo el equipo de seguridad. Como son los guantes, lentes y bata, así como la fabricación, recopilación y habilitación de moldes para el vaciado de la mezcla. Como se muestra en las fotos 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5



foto 2.2.Habilitación de moldes para ser utilizados en el proceso de moldeo.



foto 2.3 Habilitación de moldes para ser utilizados en el moldeo.



foto2.4 Diferentes moldes utilizados en el proceso de moldeo



foto 2.5 Diferentes moldes utilizados en el proceso de moldeo

Los moldes se fabricaron con hojas de aluminio grueso o con secciones de tubo previamente taponados hojas de aluminio del que se utiliza comúnmente en la cocina para envolver los alimentos o con cartón .

El material se pesó y preparó en porciones pequeñas (no indispensable pero si útil) para facilitar que la energía necesaria utilizada para calentar y fundir esos pedazos pequeños ,fuera menor que la que se requería para fundir porciones mas grandes de material y el proceso fuera más rápido; el orden de aplicación no fue importante ya que al estar todos los materiales es secciones pequeñas se facilita su fundición. Como se muestra en las fotos 2.6,2.7 y 2.8.



foto 2.6. Báscula con 200g. de polietileno (40% de los componentes)



foto 2.7. Báscula con 150 g. de parafina (30% de la mezcla)



foto 2.8. Báscula con 150 g. de candelilla (30% de la mezcla)

Se mezcla constantemente el compuesto para propiciar un calentamiento uniforme hasta obtener un líquido espeso y homogéneo, como se muestra en las fotos 2.9 y 2.10.



foto 2.9. Se mezcla el compuesto constantemente.



foto 2.10. Se mezcla hasta obtener un líquido espeso y homogéneo.

Al mezclar la cera de candelilla con la parafina se eleva el punto de fusión (de 48° C-70° C hasta 140° C-170° C) con lo que obtenemos una cera mixta barata¹ de elevado punto de fusión.

El material empieza a fundirse a los 140° C y es completamente líquido a los 170° C. Como se muestra en la foto 2.11.

Después de varias pruebas y mediciones se puede decir que el rango de fusión de nuestro material oscila entre los 140° C -170° C .

1.- Ver: "investigación de costos"



foto 2.11.Medición del rango de fusión .

Como el material que estamos fabricando será utilizado en prácticas de maquinado en fresadoras y tornos lo más conveniente es que los moldes tengan formas cuadradas, cilíndricas o rectangulares de tamaño mediano, de tal manera que la forma de la cera cuando esté fría sea adecuada a las máquinas que vamos a utilizar.

Se moldean las piezas teniendo precaución de no quemarse. Ver foto 2.12



foto 2.12. Se moldean las piezas teniendo cuidado de no quemarse.

Las piezas se dejan enfriar a temperatura ambiente, el tiempo de enfriado dependerá del volumen y la forma de la pieza; para moldes del orden de 5 cm por lado, es decir de 125cm^3 el tiempo aproximado de enfriamiento fue de 15 minutos . Ver fotos 2.13 , 2.14 y 2.15



Foto 2.13 Las piezas se dejan enfriar a temperatura ambiente.



foto 2.14 El tiempo de enfriado depende del volumen de la pieza .



Foto 2.15 El tiempo de enfriado depende también de la forma de la pieza .

Cuando las piezas están frías se desmoldan muy fácilmente sin la necesidad de desmoldantes porque al enfriarse el material se contrae y sale con solo voltear el molde, esto facilita el empleo de cualquier molde incluso sin considerar los ángulos de salida en el mismo; como se muestra en las fotos 2.16, 2.17 y 2.18



foto 2.16 Cuando las piezas están frías se desmoldan.



foto 2.17 las piezas frías se desmoldan muy fácilmente.



foto 2.18 El material frío se contrae y sale con solo voltear el molde

2.3.-CONTRACCIÓN DEL P.C.P.

Todas las ceras presentan el fenómeno de contraerse cuando comienzan a solidificar, en forma general se puede decir que las ceras blandas como la parafina y la candelilla tienen menor contracción que otras ceras.

Para medir la contracción del material se midieron las secciones interiores de los moldes vacíos y después el producto ya frío.

- En la tabla 2 se muestra las medidas de los moldes empleados y la medida de la pieza completamente fría. A temperatura ambiente (28°C)

Número de molde	1	2	3	4	5	6
Medida del molde(mm) d=diámetro de la pieza . h=altura de la pieza	5.1x5.2x6.3	3.8x25	d=3.4 h=5.5	d=4.5 h=5.5	6.9x6.9x1.5	13x13 x2.3
Volumen en mm ³	167	95	49	83	71.4	388.7
Medida final de la pieza (mm) d=diámetro de la pieza . h=altura de la pieza	4.9x5.1x6.2	3.6x24.8	d=3.3 h=5.4	d=4.3 h=5.3	6.8x6.8x1.4	12.8x 12.9x 2.2
Volumen final de la pieza en mm ³	154.9	89.3	46.1	76.90	64.7	363.2
Contracción volumétrica en mm ³	12.1	5.7	3	6	6.7	25.5
Contracción en porcentaje	7.4	6	6.12	7.22	9.38	6.5

TABLA 2.Medidas de los moldes empleados y Contracción en porcentaje

Número de molde	7	8	9	10
Medida del molde (mm) En donde:	d=4.2 h=5.5	4.5x6.3x16.5	25.5x11.6x2.4	3.5x9x1
Volumen en mm ³	76.2	467.8	709.92	31.5
Medida final de la pieza (mm)	d=4.1 h=5.4	4.4x6.2x16.3	25.3x11.4x2.3	3.4x8.85x0.94
Volumen final de la pieza en mm ³	71.3	444.7	663.4	28.3
Contracción volumétrica en mm ³	4.9	23.1	46.52	3.2
Contracción en porcentaje	6.43	4.93	6.55	10

Continuación tabla 2. Medidas de los moldes empleados y Contracción en porcentaje

Después de algunos experimentos se puede decir que el índice de contracción volumétrica a temperatura ambiente (28°C) fue en promedio de 7% y máximo del 10 % .

3.- PRUEBAS

3.1.-MAQUINABILIDAD

La gran mayoría de los objetos que nos rodean han pasado por al menos un proceso de manufactura ,que los transformó de ser materia prima a la forma en que los conocemos o nos son útiles, uno de los primeros métodos usados por el hombre para dicha transformación fue la remoción de material, así se fabricaron las primeras herramientas y objetos fabricados por el hombre.

Remover el material puede parecer algo simple pero si se requiere hacerlo con precisión es necesario conocer la naturaleza y las propiedades del material .

Muchos de los procesos de manufactura involucran una etapa llamada maquinado que consiste en remover material con la ayuda de una herramienta cortante, cuyo propósito a diferencia de la producción artesanal , es, por ejemplo, la producción masiva de componentes de maquinas sin descuidar su precisión y el hecho de que la producción sea masiva implica que debe de llevarse a cabo con rapidez y por lo tanto que la maquinabilidad del material sea bien conocida, sin embargo en la definición de este parámetro existe cierta ambigüedad y de hecho solo se pueden establecer comparaciones entre materiales.

Dada la naturaleza de la “maquinabilidad” un estudio sobre este tema puede ser abordado desde múltiples perspectivas como son el material, la herramienta, la temperatura, la velocidad de corte, la cantidad y tipo de viruta generada, la rugosidad obtenida o bien mediante combinaciones de todos ellos.

Las máquinas que se emplean para llevar a cabo las operaciones de maquinado son las llamadas máquinas herramientas.

Se pretende entonces saber si la mezcla P.C.P. es maquinable al compararla con el aluminio y con la cera que se vende en la industria para este propósito

El material fue sometido al corte, variando los parámetros del mismo con la finalidad de establecer que nivel de maquinabilidad se tiene, según las características obtenidas al realizar la fusión de diferentes materiales.

3.1.1.- EL TORNO

Históricamente el torno es el predecesor de todas las máquinas herramientas.

Un torno es esencialmente una máquina dotada con un motor, en la cual la pieza se sostiene y gira mientras una herramienta en contacto con ella se desplaza lateralmente y remueve el material. La potencia desarrollada por el motor se transmite al husillo del cabezal fijo a través de correas y engranajes. Esta potencia también controla el desplazamiento lateral de la herramienta. Este es el movimiento de avance. El torno también está equipado con volantes para avanzar manualmente la herramienta.

El torno se utiliza para hacer piezas de revolución, el cilindrado, el careado, el tornado interior, el barrenado y la generación de roscas

son algunas de las operaciones comunes que se pueden hacer en el torno.

Se utilizó los tornos del Taller de Ingeniería Mecánica para el desarrollo de estas pruebas.

Primero se trabajó con aluminio, las aleaciones de aluminio pueden ser cortadas a alta velocidad resultando un buen acabado superficial y una larga duración de la herramienta es el motivo principal por el que este material es considerado para su utilización en los Talleres de la Facultad.

Para calcular la velocidad del husillo del torno en revoluciones por minuto debe de conocerse la velocidad de corte y el diámetro de la

pieza. La velocidad de corte se obtuvo de la tabla 3: (Krar/Check 2000 pp.357)

TABLA 47-1 Velocidades de corte en torno en pie y metro por minuto, utilizando una herramienta de acero de alta velocidad

Material	Torneado y torneado de interiores				Roscado	
	Corte de desbaste		Corte de acabado			
	Pie/min	m/min	Pie/min	m/min	Pie/min	m/min
Acero para maquinaria	90	27	100	30	35	11
Acero para herramienta	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18

TABLA 3. La velocidad de corte en torno

Puede ajustarse una velocidad del husillo adecuada dividiendo la velocidad de corte (en pulgadas por minuto) entre la circunferencia de la pieza (en pulgadas). El cálculo es como sigue :

$$r/\text{min} = (\text{Vel. de corte} \times 12) / (\pi \times D)$$

Donde D es el diámetro de la pieza que se va a torneear ,pero como la mayoría de los tornos sólo tienen una cantidad limitada de velocidades establecidas se puede usar la formula simplificada :

$$r/\text{min} = (\text{Vel. de corte} \times 4) / D$$

Se determinó la velocidad del husillo para una pieza de aluminio de 1 pulgada en operación de desbaste :

$$r/\text{min} = (\text{Vel. de corte} \times 4) / D$$

$$r/\text{min} = 200 \times 4 / 1$$

$$r/\text{min} = 800$$

También se determinó la velocidad del husillo para una pieza de aluminio de 1 pulgada en operación de acabado.

$$r/\text{min} = (\text{Vel. de corte} \times 4) / D$$

$$r/\text{min} = 300 \times 4 / 1$$

$$r/\text{min} = 1200$$

De la misma manera se calculó para piezas de 2 pulgadas en desbaste y después en acabado

$$r/\text{min} = (\text{Vel. de corte} \times 4) / D$$

$$r/\text{min} = 200 \times 4 / 2$$

$$r/\text{min} = 400$$

$$r/\text{min} = (\text{Vel. de corte} \times 4) / D$$

$$r/\text{min} = 300 \times 4 / 2$$

$$r/\text{min} = 600$$

Para la velocidad de avance se tomó en cuenta la Tabla de avances para el aluminio. Que a continuación se muestra: Tabla 4 .

(Krar/Check,2000 pp.357)

TABLA 4-2 Avances para diversos materiales (utilizando una herramienta de corte de acero de alta velocidad)				
Material	Cortes de desbaste		Cortes de acabado	
	Pulg	mm	Pulg	mm
Acero para máq.	.010-.020	0.25-0.5	.003-.010	0.07-0.25
Acero para herram.	.010-.020	0.25-0.5	.003-.010	0.07-0.25
Hierro fundido	.015-.025	0.4-0.65	.005-.012	0.13-0.3
Bronce	.015-.025	0.4-0.65	.003-.010	0.07-0.25
Aluminio	.015-.030	0.4-0.75	.005-.010	0.13-0.25

TABLA 4. Avances para diversos materiales.

Se trabajó a una velocidad de 600 r/min considerando que el torno utilizado no es una máquina nueva y que la herramienta es de media vida, y se fue variando la velocidad de avance y la profundidad de corte y se obtuvo la siguiente tabla :

avance	D-1	D-1	D-1	D-1	D-1	E-8	E-8	E-8	E-8	E-8
Prof. de corte en milésimas de pulgada	50	100	150	200	250	10	30	40	60	80

TABLA 5. Se fue variando la velocidad de avance y la profundidad de corte.

D-1 = avance de 0.0053 pulg

E-8 = avance de 0.0015 pulg para acabado.

En el caso de los tres materiales los acabados fueron muy buenos y la viruta fue continua.

El acabado fue muy bueno y únicamente se deterioró para herramientas muy desafiladas pero esto sucedió en los tres casos, con la diferencia que en el aluminio hubo más calentamiento que en las ceras. A continuación en las fotos 3.1, 3.2 y 3.3 se muestra como fue el acabado en el caso del P. C. P.



foto 3.1 Acabado en el caso del P. C. P. para el torno

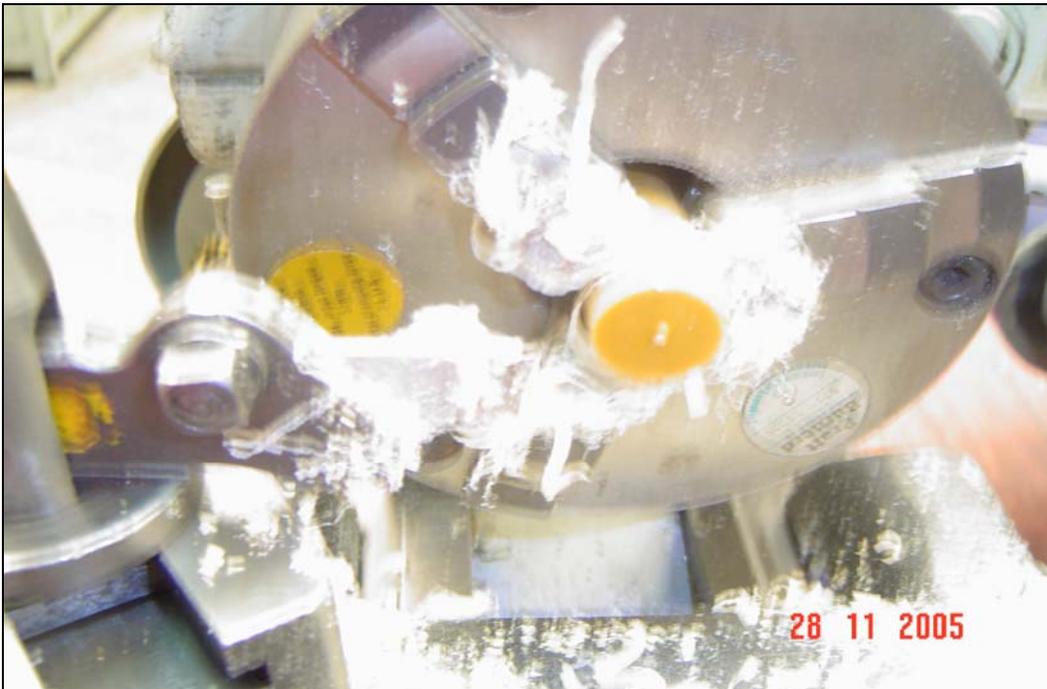


foto 3.2 Acabado en el caso del P. C. P. para el torno



Foto 3.3 Acabado del P.C.P. en el caso de herramientas desafiladas.

3.- PRU

3.1.2.-LA FRESADORA

Las fresadoras pueden clasificarse en tres grupos: fresadoras de bancada, fresadoras de consola y fresadoras especiales.

Las fresadoras de bancada son en general máquinas de productividad elevada. En este tipo de máquinas la altura de la mesa es fija y los ajustes que requieren variación de altura se ejecutan con los husillos, moviendo los cabezales hacia arriba o hacia abajo. En algunas máquinas el ajuste transversal puede efectuarse con la mesa. En otras, deben ajustarse los husillos.

Las fresadoras de bancada son completamente automáticas o semiautomáticas y muchas de ellas pueden ejecutar un ciclo

completo desde el comienzo hasta el final. Estas máquinas pueden contar con un husillo instalado en un solo montante o con dos husillos instalados a los dos lados de la mesa sobre dos montantes, en este caso la mesa avanza longitudinalmente entre los dos cabezales. (Pollack :370)

Los factores más importantes que afectan la eficiencia en la operación de fresado son:

-La velocidad de corte

-El avance

-Profundidad de corte

Si la fresa es operada a velocidades muy bajas se perderá tiempo valioso, mientras que si se opera a velocidades muy altas el tiempo que se pierde será cuando se tenga que desmontar y volver a afilar la fresa debido a rupturas en la misma.

La velocidad de corte eficiente está en algún punto de estos dos extremos y varia en función del material que se maquina.

Cuando se maquina se desperdicia demasiado tiempo si se efectúan varios cortes poco profundos en vez de un corte profundo, por lo tanto, la velocidad, el avance y la profundidad de corte son tres factores importantes en cualquier operación de fresado.

La fresa debe girar a un número específico de revoluciones por minuto (rpm) dependiendo de su diámetro, para lograr la velocidad de corte apropiada.

Deben utilizarse diferentes velocidades de corte para cada tipo de metal y para varios materiales de la fresa.

A continuación muestro una tabla que muestra las velocidades de corte para los metales más comunes.

Tabla de velocidades de corte (Krar/Check.2000. pp.466)

Material	Fresa de acero de alta velocidad		Fresa de carburo	
	Pie/min	m/min	Pie/min	m/min
Acero aleado	40-70	12-20	150-250	45-75
Aluminio	500-1000	150-300	1000-2000	300-600
Bronce	65-120	20-35	200-400	60-120
Hierro fundido	50-80	15-25	125-200	40-60
Acero de maquinado libre	100-150	30-45	400-600	120-180
Acero para maquinaria	70-100	21-30	150-250	45-75
Acero inoxidable	30-80	10-25	100-300	30-90
Acero para herramienta	60-70	18-20	125-200	40-60

TABLA 6 Tabla de velocidades de corte

Para obtener un uso óptimo de una fresa, debe determinarse la velocidad adecuada a la cual debe girar la fresa.

Como el diámetro de la fresa afecta a esta velocidad es necesario tomar en cuenta este diámetro en los cálculos.

Si el material que estamos trabajando es aluminio, (que es el material que se pretende sustituir por razones de costos) según la tabla la velocidad de corte sería de 500 pie/min para acabado y de 1000 pie/min para desbaste.

La velocidad que se necesita para las fresas utilizadas que en nuestro caso fueron de $\frac{1}{2}$, 1 y 2 pulgadas y considerando que son fresas de alta velocidad, se calcularon de la siguiente manera:

$r/\text{min.} = \text{Velocidad de corte} / \text{circunferencia de la fresa}$

$$r/\text{min.} = 12 \times 500 / 0.5 \times 3.1416$$

$$r/\text{min.} = 3819$$

En donde se multiplica la velocidad de corte por 12 para hacer la conversión de pies a pulgadas ya que el diámetro de 0.5 también está en pulgadas y considerando que $\pi=3.1416$.

Así la velocidad del husillo para el aluminio en acabado y para una fresa de 1 pulgada de diámetro se calcula :

$$r/\text{min.} = \text{Velocidad de corte} / \text{circunferencia de la fresa}$$

$$r/\text{min.} = 12 \times 500 / 1 \times 3.1416$$

$$r/\text{min.} = 1909.9$$

De la misma manera, la velocidad del husillo para el aluminio en acabado y para una fresa de 2 pulgadas de diámetro se calcula :

r/min. = Velocidad de corte/circunferencia de la fresa

$$r/\text{min.} = 12 \times 500 / 2 \times 3.1416$$

$$r/\text{min.} = 954.9$$

Debido a que no se puede ajustar una máquina a las revoluciones por minuto exactas entonces consideramos una velocidad del husillo aproximada para el aluminio en acabado:

Para una fresa o cortador de $\frac{1}{2}$ de pulg. de diámetro de 4000 r/min.

Para una fresa de 1 pulg. de diámetro de 2000 r/min.

Para una fresa de 2 pulg. de diámetro de 1000 r/min.

Así mismo, la velocidad del husillo para el aluminio en desbaste y para una fresa de 1/2 pulgada de diámetro se calcula de la siguiente manera .

$$r/\text{min.} = \text{Velocidad de corte} / \text{circunferencia de la fresa}$$

$$r/\text{min.} = 12 \times 1000 / 0.5 \times 3.1416$$

$$r/\text{min.} = 7639.4$$

La velocidad del husillo para el aluminio en desbaste y para una fresa de 1 pulgada de diámetro se calcula de la siguiente manera :

$$r/\text{min.} = \text{Velocidad de corte} / \text{circunferencia de la fresa}$$

$$r/\text{min.} = 12 \times 1000 / 1 \times 3.1416$$

$$r/\text{min.} = 3819.7$$

La velocidad del husillo para el aluminio en desbaste y para una fresa de 2 pulgadas de diámetro se calcula de la siguiente manera .

$$r/\text{min.} = \text{Velocidad de corte} / \text{circunferencia de la fresa}$$

$$r/\text{min.} = 12 \times 1000 / 2 \times 3.1416$$

$$r/\text{min.} = 1909.8$$

Entonces para una fresa de 1/2 de pulgada de diámetro se tendrá una velocidad del husillo aproximada para el aluminio en desbaste de 8 000 r/min.

De la misma manera para una fresa de 1 pulgada de diámetro se tendrá una velocidad del husillo aproximada para el aluminio en desbaste de 4 000 r/min.

Y para una fresa de 2 pulgada de diámetro se tendrá una velocidad del husillo aproximada para el aluminio en desbaste de 2 000 r/min.

Estos cálculos obedecen a las velocidades máximas a las que en teoría tendría que girar el husillo para desbastar el aluminio, en la práctica y debido a las condiciones de la máquina, de la herramienta de corte, de los factores de seguridad y la experiencia del operario, éstas velocidades se reducen.

Entonces para las pruebas de maquinabilidad para el compuesto Polietileno-Candelilla-Parafina, debido a que se trata de un material

mucho más suave que el aluminio voy a considerar las velocidades de corte de :

900 rpm

1800 rpm

2400 rpm

Que es la velocidad máxima de corte a la que podemos probar la fresadora.

Para las pruebas de fresado se utilizaron barras rectangulares de la mezcla P.C.P.



foto 3.4 primeras pruebas se hicieron a una velocidad de 900rpm



foto 3.5 primeras pruebas se hicieron a una velocidad de 900rpm

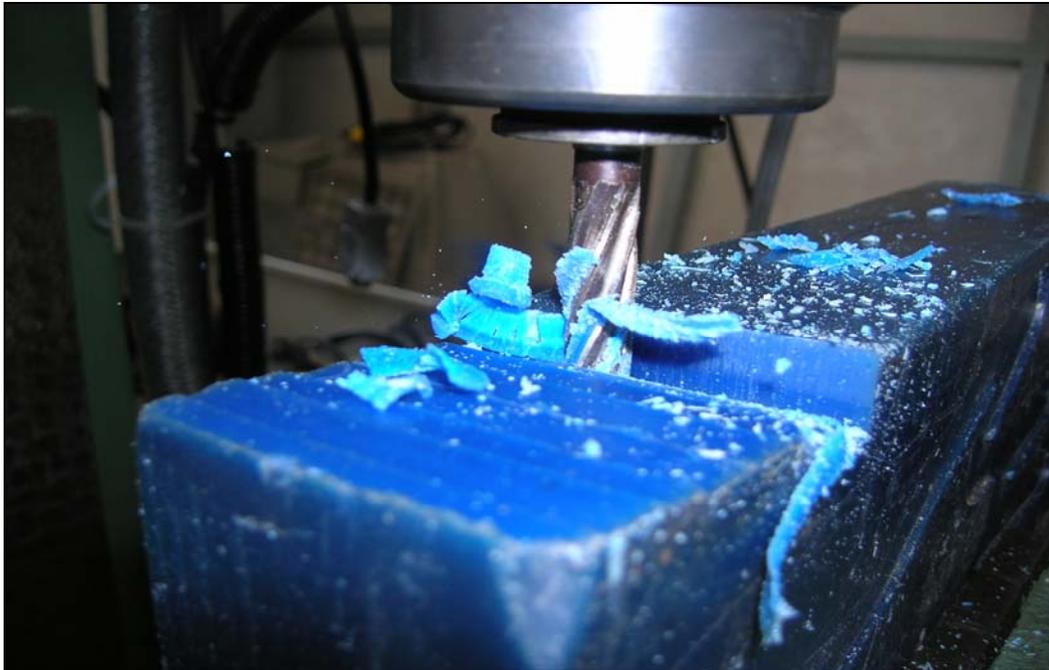


foto 3.6 pruebas a una velocidad de 1800 rpm

Finalmente se hicieron las pruebas a una velocidad del 2400 rpm empezando de la misma manera con una profundidad de corte de 1mm y una velocidad de avance de 1mm/s que se fue aumentando también de manera paulatina.

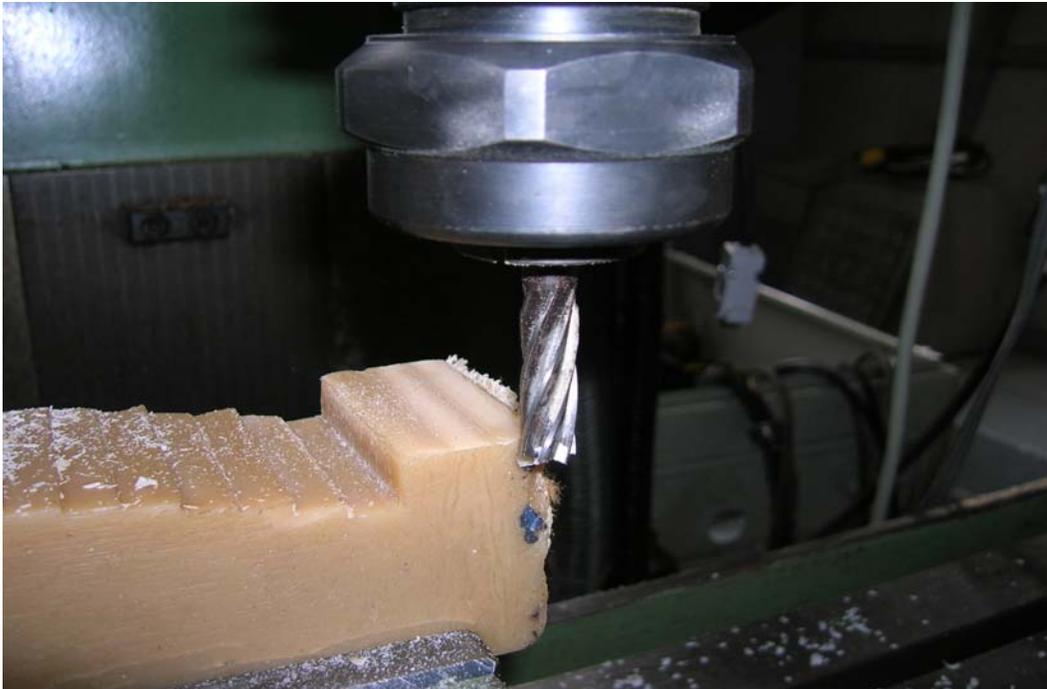


foto 3.7.Pruebas a una velocidad del 2400 rpm

Al llegar al límite es decir con una profundidad de corte también de 1cm las dos ceras se fracturaron en las esquinas en donde eran más

frágiles pero la herramienta no se dañó ni sufrió cambios apreciables durante ni al final del proceso, como se muestra en las fotos 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11.

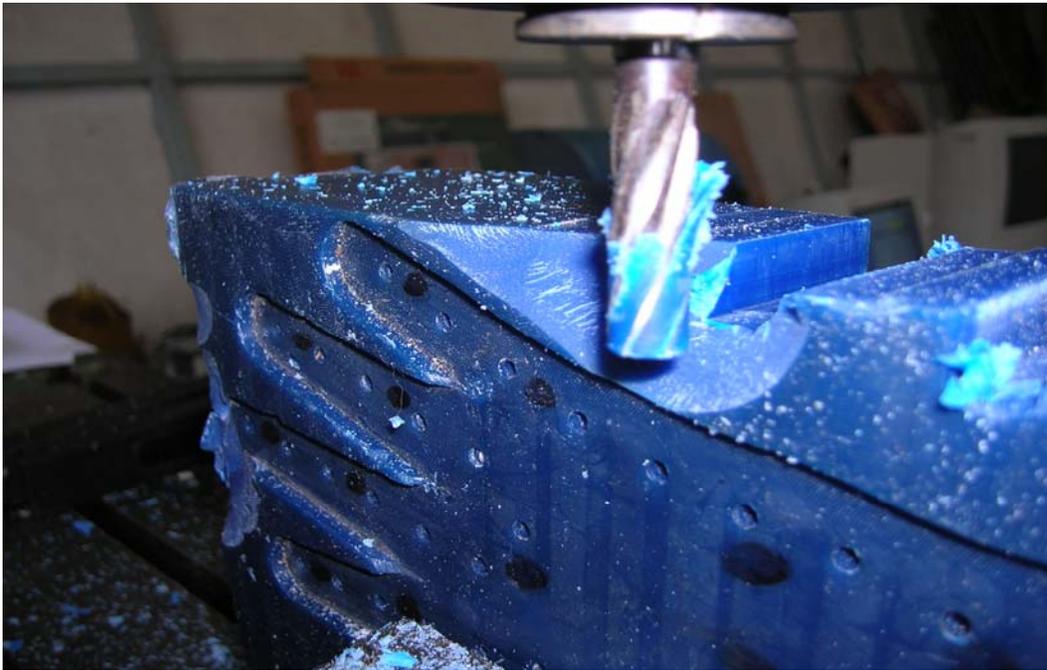
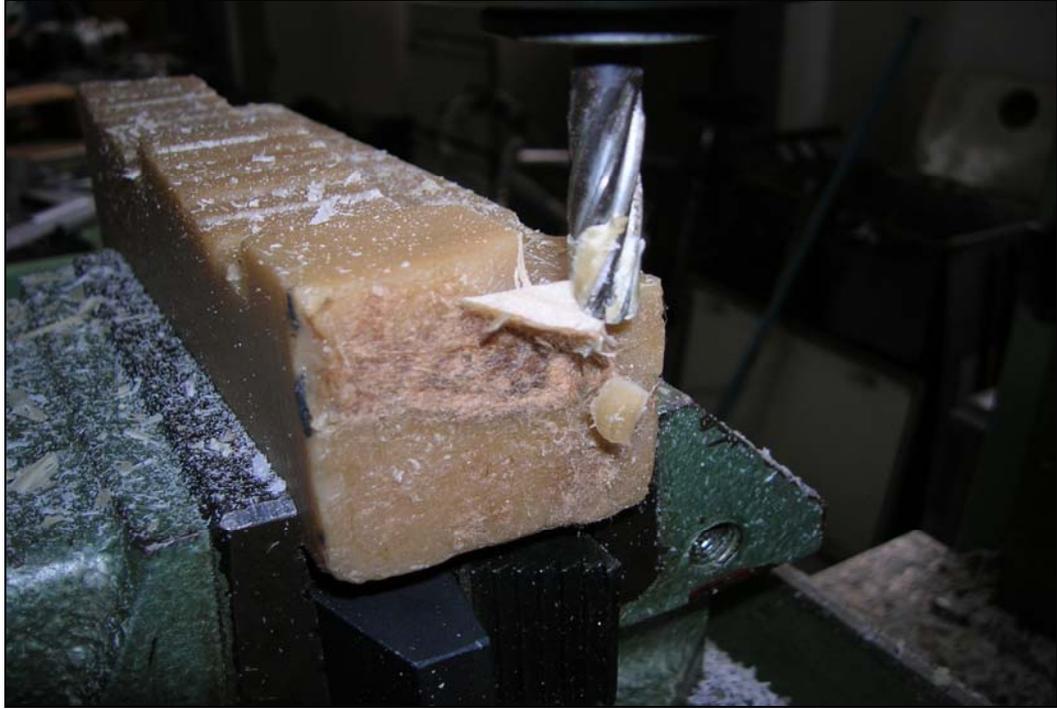


foto 3.8.A 2400rpm y 1cm/s de avance, las ceras se fracturaron



foto 3.9.A 2400rpm y 1cm/s de avance, las ceras se fracturaron



1.

Foto 3.10 Las ceras se fracturaron en las esquinas, en donde eran más frágiles

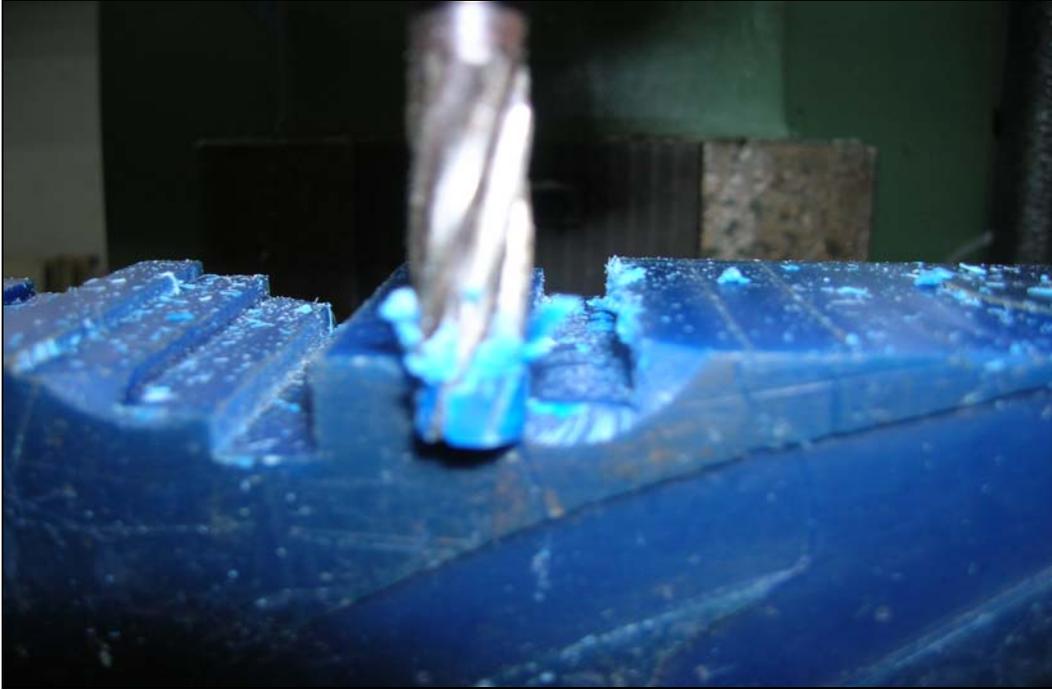


foto 3.11 Las ceras se fracturaron , en donde eran más frágiles

3.1.3.-LA VIRUTA

Las operaciones de maquinado en torno o fresadora producen virutas de tres tipos :

*Discontinua

*Continua

*Continua de borde acumulado

La discontinua es favorecida por algunas condiciones como material de trabajo frágil, avance burdo o grueso, baja velocidad de corte o vibración excesiva de la máquina. Generalmente se produce una superficie defectuosa de la pieza.

La continua. Se considera la ideal para una acción de corte eficiente porque resulta en mejores acabados superficiales.

En el caso de la viruta continua con borde acumulado la fricción hace que algunas partículas de material se adhieran a la herramienta y dañan la superficie maquinada lo que resulta en un mal acabado superficial.

Las virutas que a continuación se muestran para las dos ceras son en diferentes etapas del maquinado en donde se puede observar que cuando las velocidades aumentaron así como la profundidad de corte, la viruta tiende a ser más larga es decir continua es decir, menos quebradiza , como se puede ver en las fotos 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15.(la viruta quebradiza)



foto 3.12 Viruta en diferentes etapas del maquinado



foto 3.13 Viruta en diferentes etapas del maquinado

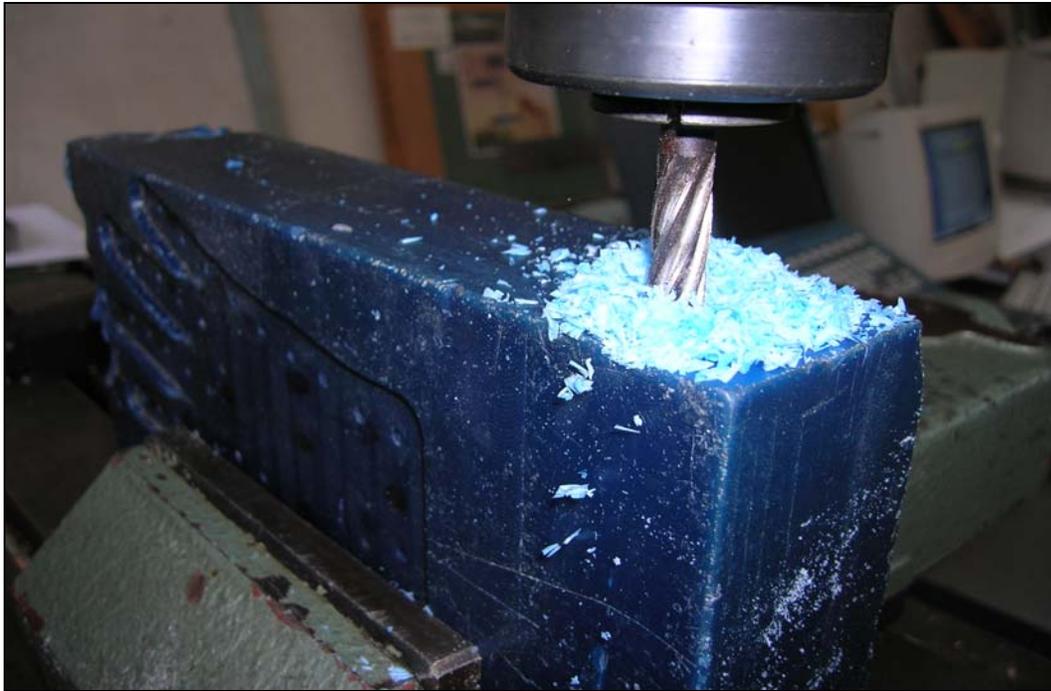


foto 3.14 en diferentes etapas del maquinado

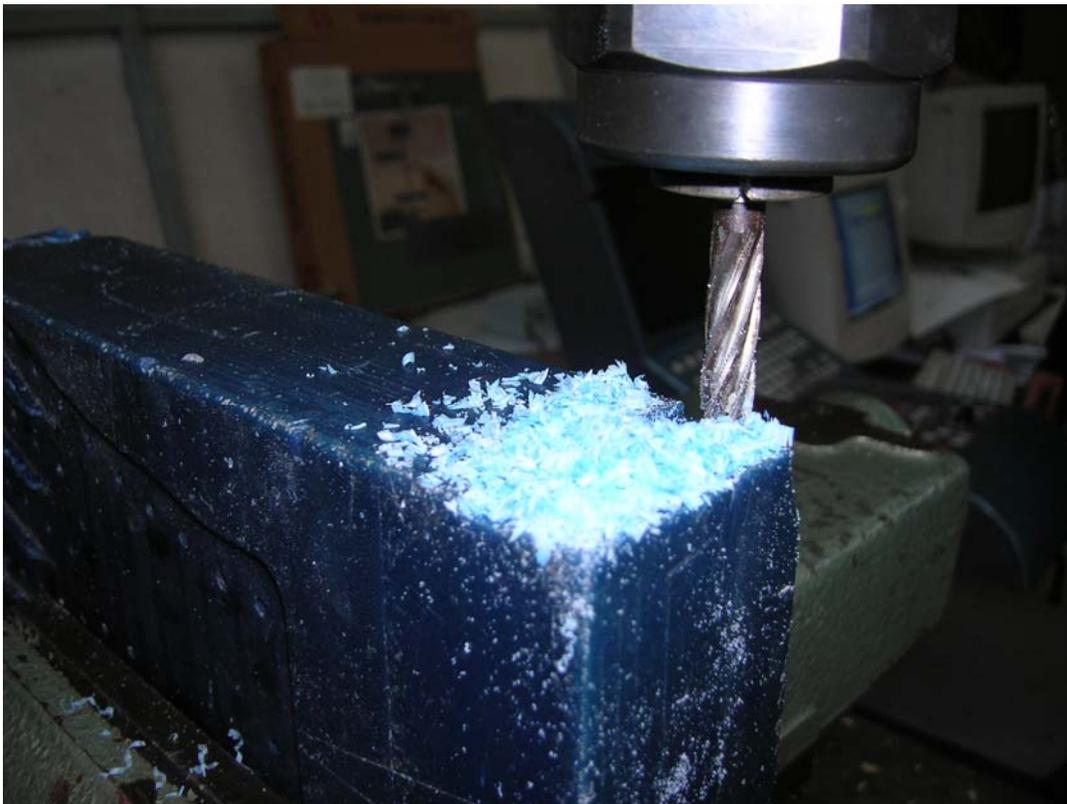


foto 3.15 en diferentes etapas del maquinado

Debido a que la herramienta alcanza a calentarse y a suavizar un poco las ceras esto da lugar a un acabado muy bueno aún con el aumento en la velocidad de avance y de corte. Esto sucede en ambas ceras. Fotos 3.16 ,3.17, 3.18 y 3.19(viruta continua, menos quebradiza).



foto 3.16 viruta continua, menos quebradiza



foto 3.17 viruta continua, menos quebradiza

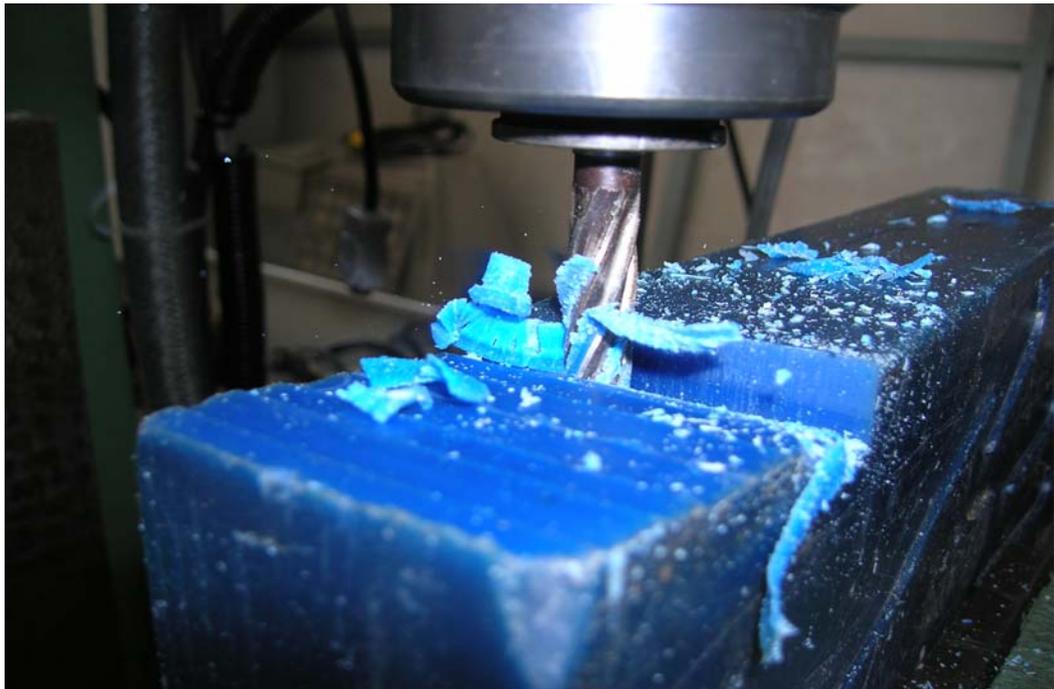


foto 3.18 viruta continua, menos quebradiza



foto 3.19 viruta continua, menos quebradiza

3.1.4.-EL ACABADO SUPERFICIAL

Si cuando se maquina una pieza se genera una temperatura alta , existe una marcada tendencia a obtener un acabado superficial áspero debido a la acumulación de material en la herramienta.

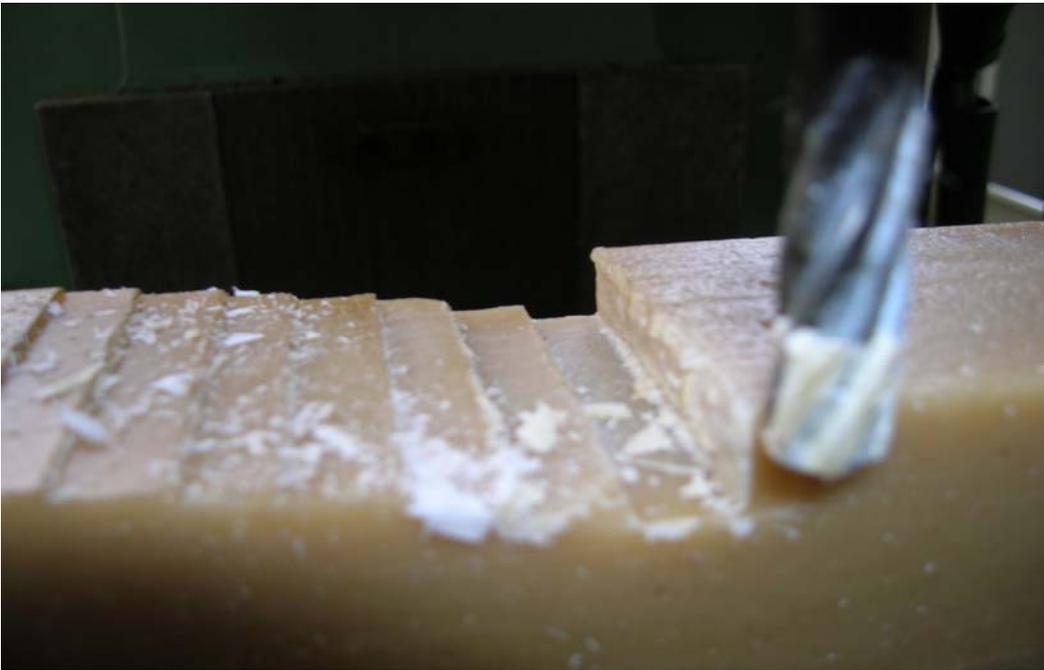


Foto 3.20 Tendencia a obtener un acabado superficial áspero debido a la acumulación de material en la herramienta. En el caso del P.C.P.

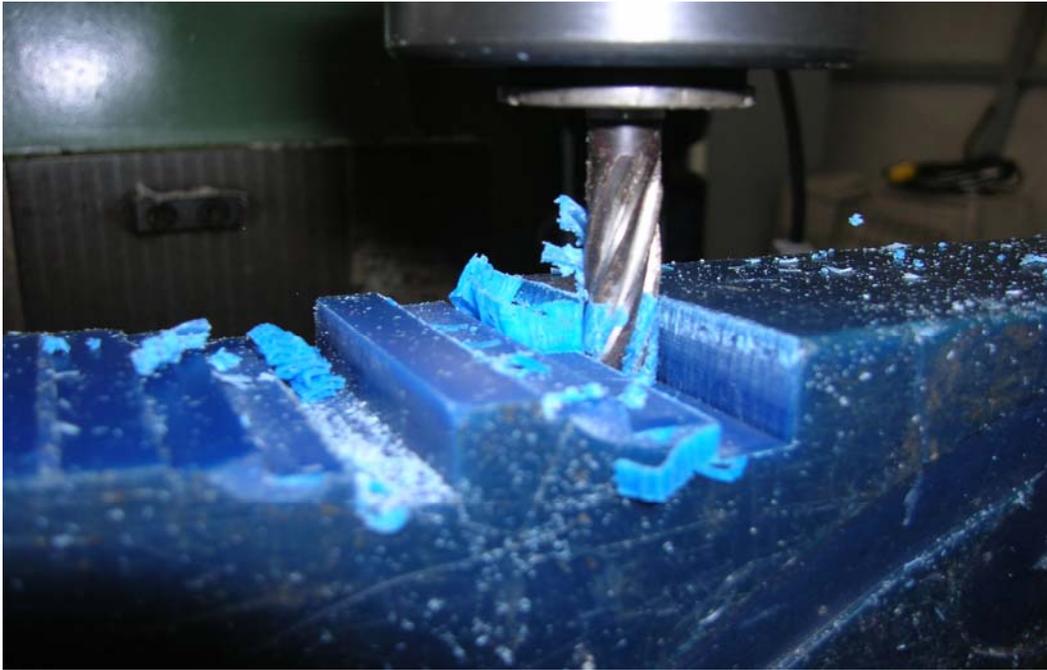


foto 3.21. Tendencia a obtener un acabado superficial áspero debido a la acumulación de material en la herramienta. En el caso de la cera maquinable.

La relación entre la temperatura de trabajo y la calidad del acabado superficial es un factor muy importante que se debe considerar, en el caso de nuestras ceras el aumento de la profundidad de corte y la velocidad de avance fueron llevados al límite de 1cm cada una lo que representa demasiada fricción y calentamiento pero lo que se

pretende demostrar es que aún si se maquina en esas condiciones la herramienta no sufre desgaste significativo o rupturas, sin embargo en estas mismas condiciones al hacer la comparación con aluminio es demasiado considerar estos parámetros porque la herramienta no tolera desbastes tan grandes a velocidades similares.

3.1.5.-EFECTOS DE LOS LÍQUIDOS DE CORTE

Los líquidos de corte son importantes en la mayoría de las operaciones porque ayudan a desbastar materiales a velocidades mayores y tienen tres funciones principales:

- Reducen la temperatura en la acción de corte.

- Hacer que la fricción de la viruta que se desliza en la cara de la herramienta disminuya.

- Disminuye el desgaste de la herramienta, lo que hace que aumente su vida.

El terminado en el caso del aluminio, puede mejorarse con el uso de líquidos de corte, aún cuando no se utilice en el caso de algunas aleaciones, cuando se utiliza da buenos resultados.

Para la cera maquinable y el compuesto P.C.P. no es necesario el uso de líquidos de corte porque son materiales en los que en el proceso de maquinado no se produce tanta fricción ni tanto desgaste de la herramienta.

3.2.-PRUEBAS DE DUREZA

3.2.1.- CONSIDERACIONES TEÓRICAS-GENERALES

Definición de dureza: Se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial de un material de resistir la deformación elástica, plástica y destrucción, en presencia de esfuerzos de contacto locales inferidos por otro cuerpo, más duro, el cual no sufre deformaciones residuales (indentador ó penetrador), de determinada forma y dimensiones, es decir, el ensayo de dureza mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material, efectuada por un objeto duro.

En general, se considera que las pruebas de dureza Rockwell no son destructivas ya que las cargas ligeras y los pequeños penetradores producen impresiones diminutas; sin embargo, a causa de la pequeñez de las impresiones, deben tomarse varias lecturas para obtener un resultado representativo.

3.2.2.- MÁQUINA Y EQUIPO

La máquina de prueba consiste en un soporte rígido o yunque, sobre el que se coloca la probeta y un dispositivo que aplica las cargas prefijadas a un penetrador en contacto con la misma.

Equipo

Durómetro Rockwell

Penetrador de esfera

Probeta

Desarrollo

Colocamos la probeta sobre el Durómetro Rockwell directamente.

Ajustamos las agujas del Durómetro.

Colocamos el penetrador.

Aplicamos fuerza sobre la probeta (penetrador sobre ella).

Observamos lectura de la carátula del durómetro

Retiramos probeta de Durómetro.

Debe evitarse la acumulación en el penetrador de: polvo, tierra, grasa o capas de óxidos, dado que esto afecta los resultados de la prueba.

3.2.3.- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La preparación del material bajo prueba debe controlarse cuidadosamente para evitar cualquier alteración en su dureza, La superficie de prueba de la probeta debe ser tal que la carga pueda aplicarse perpendicular a ella.

La superficie debe estar limpia, seca, libre de óxido, porosidades y material extraño que pudiera aplastarse o fluir abajo la presión de la prueba y afectar los resultados.

3.2.4 - OBJETIVO DEL ENSAYO.

Determinar experimentalmente la dureza Rockwell del compuesto P.C.P.

3.2.5.- PROCEDIMIENTO

Para obtener la dureza Rockwell de la superficie del compuesto P.C.P. se tomaron las siguientes pruebas de dureza con un durómetro digital.

Se utilizó la escala Rockwell “R” porque esta escala es utilizada para materiales menos duros, según el estándar ASTM E18 que define 15 escalas diferentes de durezas Rockwell..(ver anexo 3).

Se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.- presionar “reset” y mover la palanca hasta que en la pantalla aparece el No. 20 con el foquito encendido
- 2.- presionar “set” y liberar la carga.
- 3.- contar 15 segundos a partir de que llegue al tope

4.-Quitar la carga (pasados los 15 segundos)

5.-Contar otros 15 segundos y tomar la lectura. (son 30 segundos en total desde que se empieza a tomar el tiempo).

La carga es de 60 kg y el indentador de 1/2 pulg.

La escala fue Rockwell "R".

En las mismas condiciones se realizan varias indentaciones más.

Durante la práctica, solo se tomo esta dureza directamente de los datos obtenidos de la carátula.

Se obtuvieron las siguientes lecturas :

Pieza número 1

Número de lectura	Dureza Rockwell "R"
1	47.8
2	50.2
3	53.4

4	38.5
5	39.6
6	37.1
7	40.7
8	48.1
9	50.4
10	54
promedio	45.94

TABLA 7.Lecturas de dureza para la pieza 1.

Dureza Rockwell “R” promedio=45.94 45 HRR

El número de dureza Rockwell se denota como *HR* seguido de la letra mayúscula de la escala así:45*HRR*

Esta notación indica una dureza Rockwell de 45 unidades en la escala R

Pieza número2

Número de lectura	Dureza Rockwell "R"
1	52.8
2	49.7
3	46.1
4	48
5	63
6	67
7	58.7
8	55.4
9	54.8
10	62
promedio	55.45

TABLA 8.Lecturas de dureza para la pieza 2.

Dureza Rockwell "R" promedio=55.45. 55 HRR

Pieza número 3

Número de lectura	Dureza Rockwell "R"
1	54.0
2	54.3
3	54.2
4	54.2
5	54.8
6	56.3
7	52.7
8	58.2
9	59.4
10	56.2
promedio	55.43

TABLA 9.Lecturas de dureza para la pieza 3.

Dureza Rockwell "R" promedio =55.43. 55 HRR

Pieza número 4

Número de lectura	Dureza Rockwell "R"
1	59.5
2	54.4
3	56.4
4	55.4
5	58
6	59.2
7	57.5
8	56.8
9	59
10	55.5
promedio	57.17

TABLA 10.Lecturas de dureza para la pieza 3.

Dureza Rockwell "R" promedio=57.17. 57 HRR

4.-INVESTIGACIÓN DE COSTOS

Cuando se analiza el costo de las operaciones de maquinado existen muchos parámetros a considerar, uno de los más importantes es el tipo de herramienta porque la capacidad de ésta para eliminar material va a determinar la velocidad de la producción así como el tiempo del operador. De la misma manera esta capacidad está condicionada al número de veces que se tenga que afilar o cambiar la herramienta.

Otro factor importante es la velocidad a la cual se elimina el material.

A continuación muestro un diagrama con los factores que afectan el costo del maquinado de una pieza (Krar/Check 2000. pp.214).

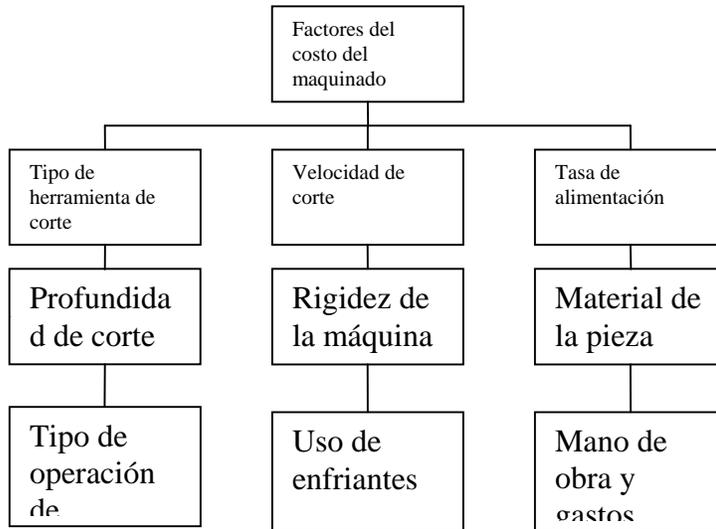


DIAGRAMA 1. Factores que afectan el costo del maquinado de una pieza

Al inicio del presente trabajo se plantea que un objetivo importante del empleo de esta cera es la reducción de costos por lo tanto presente, un estudio un comparativo de éstos. Dentro de los factores que afectan el costo del maquinado, los que aparecen en el diagrama anterior y los que listo a continuación no modifican el costo para nuestro comparativo dado que son similares en los tres casos.

-Tipo de herramienta de corte

-Tasa de alimentación

-Rigidez de la máquina

-Mano de obra y gastos generales

-Tipo de operación de maquinado (Que para nuestro caso puede ser fresado o torneado)

La Velocidad de corte y la Profundidad de corte, como vimos anteriormente, tiene ciertas limitaciones en el caso del aluminio que para la cera maquinable o el compuesto P.C.P. no son aplicables porque podemos quitar grandes cantidades de material a gran velocidad.

Uso de lubricantes de corte. Como se mencionó anteriormente ocasionalmente se usa lubricante de corte, en el caso del aluminio lo que puede aumentar el costo sin embargo en el caso de las ceras no lo utilizamos por no ser necesario porque el acabado es bueno.

Aún si consideramos el uso de moldes u operaciones previas para que nuestro material esté disponible para el maquinado, la diferencia significativa de costos se plantea a continuación:

Para fabricar 3 Kg de P.C.P. se necesita:

Polietileno 40%

Candelilla 30%

Parafina 30%

1kg de polietileno AC8..... 87.23 pesos

1kg de candelilla..... 359.00 pesos

1kg de parafina..... 80.43 pesos

Para un kilo de compuesto:

$$87.23(0.40) + 359(0.30) + 80.43(0.30) = 166.7 \text{ pesos}$$

El costo es de 166.7 pesos

Con un volumen de 1.380 dm³

Para la cera comercial maquinable :

El costo es de 240.51 dólares². Aproximadamente 2645.6 pesos.

Con un volumen de 2" x16" x24" es decir 12.58 dm³

2.-Tipo de cambio:1 dólar=11 pesos

Para el aluminio el costo es de 368.93 dólares. Aproximadamente 4059 pesos.

Con un volumen de 12" x12"x1" es decir 2.36 dm³

El dm³ de aluminio cuesta.....1719.7 pesos y pesa 2.7kg

El dm³ de P.C.P. cuesta.....120.8 pesos y pesa 0.720kg

El dm³ de cera maquinable cuesta.....210.3 pesos y pesa 1 Kg.

De aquí deducimos las densidades(que se define como la masa de por unidad de volumen, expresada en gramos por centímetro cúbico g/cm^3). de los tres materiales que estamos trabajando y son :

Aluminio 2.7 g/cm^3

P.C.P. 0.72g/cm^3

Cera maquinable ... 1g/cm^3

5.-CONCLUSIONES

Al someter el compuesto P.C.P. a las pruebas de maquinabilidad se pudo observar que es un compuesto que se puede maquinar con los mismos parámetros de velocidad del husillo y de avance que la cera comercial, (misma que se encuentra en el mercado) y a velocidades más altas sin dañar la herramienta, como en el caso del aluminio.

El comparativo de maquinabilidad nos muestra que las ceras se pueden maquinar a velocidades iguales o mayores que el aluminio y como la herramienta no sufre calentamiento y no se desgasta con tanta frecuencia entonces existe un gran ahorro en la compra de herramientas, disminuyendo los paros por desgaste, rompimiento o renovación de los filos en las herramientas.

El acabado, cuando se maquina el P.C.P. es muy bueno y únicamente presenta fracturas con altas velocidades de avance y grandes profundidades de corte de 10mm cada una, a una máxima velocidad del husillo 2400 rpm.

Se midió la temperatura de fusión del P.C.P. que tuvo un rango entre 140°C y 170°C que es más elevado que el de algunos de sus componentes como la candelilla y la parafina. Se tiene entonces un material cuyo punto de fusión es alto con respecto a las ceras de que está compuesto.

El cálculo del costo por volumen nos da un comparativo importante porque se puede ver que del P.C.P. podemos maquinar mayor número de piezas por un menor costo. (Aún si los costos se obtuvieron de una cotización con precios internacionales. En México es mucho más económica la cera de candelilla)

Otro factor de ahorro puede considerarse el no utilizar fluidos desmoldantes porque la cera no necesita nada para desmoldarse incluso no se consideran tampoco los ángulos de salida en el molde.

Otra consideración es la manera en que se compra el aluminio para el trabajo de los estudiantes, éste material va a necesitar una preparación previa (corte para cada utilizador) mientras que el P.C.P. se funde una sola vez y se le da la forma y el tamaño que más nos convenga para su utilización en las prácticas.

Lo que se puede considerar una desventaja de la cera maquinable con respecto al P.C.P. es que cuando se utiliza cera maquinable para trabajar en un taller, la reutilización de los sobrantes y las virutas si es posible pero únicamente mediante una máquina diseñada para éste propósito que vende el mismo proveedor de la cera , es costosa

y no se garantiza las mismas propiedades de la cera después de reciclada.

El P.C.P tiene la ventaja de que todo el material que se maquina o que ya no se puede seguir maquinando se puede volver a fundir y moldear en los talleres como se especificó al principio de esta investigación sin que haya modificaciones en el compuesto.

Por lo tanto cabe mencionar que se puede reciclar hasta cinco veces sin que pierda sus propiedades, teniendo el cuidado suficiente para separarlo o evitar que se contamine con otros materiales

GLOSARIO

VELOCIDAD ANGULAR

La Velocidad angular generalmente se expresa en revoluciones por minuto(rpm).Su valor es limitado por el rango de revoluciones a las que puede girar el husillo principal de la máquina.

VELOCIDAD DE CORTE

La velocidad de corte en un torno es la velocidad a la cual un punto de la circunferencia de la pieza pasa frente a la herramienta de corte se expresa en pie/min o m/min.

La velocidad de corte en la fresadora es la distancia que recorre un diente del cortador en un minuto .Se le expresa en metros de superficie por minuto.(mspm)

AVANCE

En el torno se define como la distancia que recorre la punta de la herramienta longitudinalmente a lo largo de la bancada con cada revolución del torno.

En la fresadora se define como la rapidez con la que la pieza avanza bajo el cortador .

NUMERO DE DUREZA ROCKWELL

Es un número obtenido por el aumento neto de la profundidad de la huella; el cual proviene cuando se aumenta la carga sobre un penetrador desde una carga fija menor hasta una mayor, retornando después a la carga menor.

Los números de dureza Rockwell se expresan siempre con un símbolo de escala, que indica el penetrador y la carga utilizada.

EJEMPLO: 60DRC indica un valor de dureza Rockwell 60 medido en la escala C

ANEXO 1

*Los precios del aluminio y la cera maquinable y los componentes del P.C.P. fueron cotizados con Mc Master-carr.

Tablas de precios de Mc Master-carr.

[http://www.mcmaster.com/ Wax and Casting Compounds](http://www.mcmaster.com/Wax%20and%20Casting%20Compounds)

CERA MAQUINABLE

Thick. x Wd. x Lg.	Blue	Purple	Green	Each
Bars				
1 1/4" x 3 1/2" x 12"	9389K44	9389K61	---	\$23.64
1 1/2" x 3 5/8" x 12"	9389K45	9389K62	---	32.62
2" x 16" x 24"	9389K47	9389K71	9389K81	240.51
2 1/2" x 10" x 18"	9389K46	9389K73	9389K83	140.93
3 1/2" x 3 1/2" x 12"	9389K42	9389K26	9389K56	62.33
5 1/2" x 5 1/2" x 12"	9389K43	9389K27	9389K57	113.24

PARAFINA

	Each
1-lb. Block	1085K94 \$3.32
10-lb. Block	1085K92 28.79

CANDELILLA

Per Pkg. \$32.67

ALUMINIO

	0.250" Thick		0.375" Thick		0.500" Thick		0.750" Thick		1.000" Thick	
Size	Each		Each		Each		Each		Each	
2" x 12"	8509K11	\$70.96	8509K22	\$74.43	8509K33	\$91.81	8509K55	\$103.49	8509K66	\$116.17
6" x 12"	8509K14	95.94	8509K25	110.29	8509K36	135.33	8509K58	179.94	8509K69	217.35
8" x 8"	8509K15	86.58	8509K26	103.73	8509K37	125.31	8509K59	167.02	8509K71	195.00
12" x 12"	8509K17	159.67	8509K28	176.64	8509K39	219.61	8509K62	292.21	8509K73	368.96
12" x 24"	8509K19	288.88	8509K31	320.37	8509K42	415.22	8509K64	543.29	8509K75	637.07
24" x 24"	8509K21	490.53	8509K32	553.37	8509K43	673.85	8509K65	887.43	8509K76	1067.80

POLIETILENO

Part	\$17.78 Each
Material	Polyethylene
Polyethylene Material	High-Density Polyethylene (HDPE)
Thickness	1"
Thickness Tolerance	±.050"
Length	12"
Length Tolerance	±.0625"
Width	12"
Width Tolerance	±.0625"

ESTA TABLA NOS MUESTRA QUE UN BLOQUE DE POLIETILENO DE 12plgx12"pulgx1pulg TIENE UN COSTO DE 17.78 Dolares

ANEXO 2

PROPIEDADES DE LA CERA MAQUINABLE

FREEMAN - Ceras maquinables y calibradas	
<p>La cera maquinable Freeman puede ser fundida y reusada repetidas veces sin que cambien sus propiedades originales. NC/CNC maquinable, dimensionalmente estable, reutilizable, no tóxica, segura</p>	
CARACTERÍSTICAS	
Más fácil de maquinar	sin sacrificar calidad de terminación en detalles de las superficies y en precisión
No abrasiva	No produce desgaste de las herramientas
No tóxica	No produce polvillo y es segura para manejar y trabajarla
Autolubricante	No necesita refrigerantes o fluidos de corte; permite todos los movimientos
Puede ser pegada	Para espesor mayores que los standard puede utilizarse el adhesivo de contacto 3M 90 High Strength Spray Adhesive
Compatible con Epoxis Uretanos	No necesita agente de desmolde
ESPECIFICACIONES	
Dureza Shore D	50 / 55
Peso Específico	0.92
Flash Point	575 °F
Punto de ablandamiento	226 °F
Contracción volumétrica a 20° C	7%
Coefficiente de expansión térmica (pulg/pulg/°F)	9.5 x 10
Color	Azul

ANEXO 3

A partir de las combinaciones posibles de distintos penetradores y cargas, el estándar ASTM E18 define 15 escalas diferentes de durezas Rockwell. Se muestra la tabla siguiente, tomada directamente de dicho estándar. En esta tabla se muestra también la aplicabilidad de cada tipo de prueba.

Scale Symbol	Penetrator	Major Load, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B 100.
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G 92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead. Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Escalas de dureza Rockwell (Tomado de ASTM E 18 - 79)

BIBLIOGRAFÍA

Askeland, Donald R

La ciencia e ingeniería de los materiales

3^{ra} ed. Mexico

Ed. Grupo editorial Iberoamérica.1998

556p.

Van Vlack, Laurence H

Materiales para ingeniería

2^{da} ed. México

Compañía editorial continental.1980

584p.

Rangel,Nafaile Carlos E

Los materiales de la civilización

México,D.F.1987

Ed. Sep Fondo de cultura Economica CONACYT

115p.

Tecnología de las máquinas herramientas,

Krar,Stephen F;Check,Albert F

5ta edición,México.2000

Ed.Alfaomega

869p.

Pollack,Herman W

Materials Science and Metallurgy

4^{ta} Ed . Prentice Hall.1988

554p.

Revista de la sociedad Química de México.

Título : polímeros.

Resúmenes de trabajos científicos y técnicos

XXIX Congreso de química pura y aplicada

Arias G. 1992.

Gómez Pérez, Juan

Procesos e innovaciones tecnológicas en la fabricación de
Poliétileno

México,El autor 1975

Tesis licenciatura Ingeniería Química. UNAM.

Facultad de Química.

Ruiz Vega, Amelia

Aportación al estudio de la cera candelilla

México,El autor 1976

Tesis de licenciatura facultad de química UNAM

Uresti , Aguilar Alfredo

Mercado de las Parafinas en México .

México,El autor 1998

Tesis licenciatura facultad de química UNAM

Román Domínguez ,Martha

La cera candelilla de México y sus perspectivas de comercialización.

México,El autor 1980

Tesis licenciatura facultad de contaduría y administración UNAM

Páginas de Internet consultadas

www.goodfellow.com/csp/active/static/S/ET30.HTML

[http://www.mcmaster.com/ Wax and Casting Compounds](http://www.mcmaster.com/Wax_and_Casting_Compounds)

www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno