

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**ENSAYO DE ARRANQUE DE VIRUTA PARA LA OBTENCIÓN DE  
PARÁMETROS DE MECANIZADO DEL TECHNYL**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de Técnico Universitario en MECÁNICA  
INDUSTRIAL

Alumno:  
Nicolás Francisco Lobos Romero

Profesor Guía:  
Ing. José Carvallo Basáez

**2017**

## RESUMEN

**KEYWORDS:** MECANIZADO, PLASTICOS, TECHNYL, DESGASTE HERRAMIENTA, ECUACION DE TAYLOR.

El trabajo consiste en desarrollar un ensayo que permita obtener el parámetro de mecanizado de un polímero, con el fin de establecer una velocidad de corte idónea. Esto bajo un criterio de desgaste de la herramienta que permita aplicar la ecuación de Taylor.

En la industria manufacturera actual se trabaja con una amplia gama de materiales, en su mayoría metales ferrosos y no ferrosos. Para poder obtener su forma final estos se pueden trabajar a través de procesos con o sin desprendimiento de viruta. En su mayoría con herramientas de acero rápido, y herramientas de metal duro.

El proceso de confección de piezas de polímeros generalmente corresponde a matrices, y series de producción de alto flujo. Por lo cual el mecanizado en este tipo de materiales se aplica con poca frecuencia, solo para la creación de piezas específicas. Donde las condiciones de mecanizado no son del todo óptimas ni claras.

A causa de esto se busca dar un enfoque diferente hacia el mecanizado de materiales que no son empleados habitualmente en procesos con arranque de viruta. Con el propósito de generar las mejores condiciones de trabajo.

En base a esto en una primera parte, se definirán cada una de las variables a controlar en el ensayo a realizar. De manera de familiarizar al lector con los aspectos generales de este trabajo. Seguidamente se darán las pautas para la realización del ensayo, a través de un criterio de selección técnico de cada una de las partes a evaluar.

Se describirán los pasos a seguir para la ejecución del ensayo experimental, donde posteriormente se establece una muestra de resultados del desgaste de la herramienta versus el tiempo de uso, los cuales serán analizados. Esto nos permitirá tener un marco de referencia que permita identificar ciertas características de maquinabilidad de este plástico.

La maquinabilidad es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con la que pueden ser mecanizados por arranque de viruta. Esto quiere decir, que mientras se conozcan las características técnicas del material asociadas a procesos de mecanizado, permite generar un punto de partida para la comparación de otro material.

El desarrollo del ensayo y trabajo mismo permite relacionar un conjunto de datos y compararlos entre sí para generar una base teórica para el estudio del material, y uso del mismo. Estableciendo un punto de partida para el estudio del mecanizado de plásticos, en nuestro caso Technyl. Con el objetivo de estrechar los intervalos de valores para la velocidad de corte empleada en este material.

# ÍNDICE

**RESUMEN**

**SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS**

**INTRODUCCIÓN**

**OBJETIVO GENERAL**

**OBJETIVO ESPECÍFICO**

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

1.1. PROBLEMATICA

1.2. PROCESOS DE FABRICACION POR ARRANQUE DE VIRUTA

1.3. TORNEADO

1.4. PARÁMETROS DE MECANIZADOS

1.4.2. Avance

1.4.3. Profundidad de corte

1.5. HERRAMIENTA DE CORTE

1.5.1. Geometría herramienta de corte

1.5.2. Material herramienta de corte

1.5.3. Herramientas de metal duro

1.6. TECNICAS DE FABRICACION EN PLASTICOS

1.6.1. Prensado

1.6.2. Extrusión

1.6.3. Inyección

1.6.4. Soplado

1.6.5. Laminación por calandrado

1.7. MATERIAL DE TRABAJO

1.7.1. Designación técnica del material

1.7.2. Clasificación de los plásticos

1.7.3. Clasificación de los plásticos en intervalos de temperatura

1.7.4. Principales características del Technyl

1.7.5. Aplicaciones del Technyl

2.1. INTRODUCCIÓN AL ENSAYO

2.2. HERRAMIENTA DE CORTE

2.2.1. Geometría de la herramienta de corte

2.2.2. Ángulos herramienta de corte

2.3. RECONOCIMIENTO MAQUINA HERRAMIENTA

2.4. RECONOCIMIENTO DE EQUIPOS

- 2.4.1. Elementos de protección personal (EPP)
- 2.4.2. Equipos de medición
- 2.5. PIEZA DE TRABAJO
- 2.5.1. Reconocimiento de la pieza de trabajo
- 2.5.2. Características del material de trabajo
- 2.5.3. Dimensiones pieza de trabajo
- 2.5.4. Criterio de selección de material y forma
- 2.5.5. Fijación de la pieza de trabajo en la máquina herramienta
- 2.6. CONDICIONES DE MECANIZADO
- 2.8. ENSAYO PREELIMINAR
- 2.8.1. Resultados obtenidos ensayo piloto
- 2.8.2. Observaciones ensayo preliminar
- 2.8.3. Recomendaciones ensayo real
- 2.9. PARÁMETROS ENSAYO REAL
- 2.10.1. Adaptación de equipos anexos al torno
- 2.10.2. Montaje y sujeción de material de trabajo
- 2.10.3. Inspección herramienta de corte
- 2.10.4. Mecanizado de la pieza de trabajo
- 2.10.5. Medición calidad superficial
- 2.10.6. Medición desgaste del flanco
- 2.11. RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYO
- 2.11.1. Valores obtenidos herramienta 1
- 2.11.2. Valores obtenidos herramienta 2
- 2.11.3. Valores obtenidos herramienta 3

### **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS**

- 3.1. VIDA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE EN LA ECUACIÓN DE TAYLOR
- 3.1.1. Comportamiento desgaste de herramienta
- 3.2. REGISTRO DE DATOS
- 3.3. RESULTADOS OBTENIDOS PARA VALORES DE DESGASTE VERSUS TIEMPO
- 3.3.1. Valores obtenidos herramienta 1
- 3.3.2. Valores obtenidos herramienta 2
- 3.3.3. Valores obtenidos herramienta 3
- 3.4. ANALISIS DE DATOS

- 3.5. VALORES DE DESGASTE VERSUS TIEMPO PARA LAS 3 VELOCIDADES DE CORTE
- 3.6. CÁLCULOS DE C Y N PARA LA ECUACIÓN DE TAYLOR PARA LA VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA DE CORTE
  - 3.6.1. Ecuación de Taylor para la vida de la herramienta
  - 3.6.2. Diagrama vida de herramienta

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

- Figura 1-1. Operación de torneado y movimientos involucrados
- Figura 1-2. Variables involucrados en proceso de torneado
- Figura 1-3. Configuración geométrica de una herramienta de corte de una punta
- Figura 1-4. Herramienta de corte de acero rápido
- Figura 1-5. Grupo de materiales de herramientas de corte
- Figura 1-6. Tipos de herramientas de metal duro sin recubrimiento
- Figura 1-7. Tipos de herramientas de metal duro con recubrimiento
- Figura 1-8. Tipos de herramientas de metal duro cermet
- Figura 1-9. Tipos de herramientas de metal duro cerámica
- Figura 1-10. Tipos de herramientas de metal duro, nitruro de boro cúbico
- Figura 1-11. Tipos de herramientas de metal duro, diamante poli cristalino
- Figura 1-12. Proceso de conformación en el prensado de plástico
- Figura 1-13. Proceso de conformación en la extrusión de plástico
- Figura 1-14. Proceso de conformación en la inyección de plástico
- Figura 1-15. Proceso de conformación en el soplado de plástico
- Figura 1-16. Proceso de conformación en la laminación por calandrado de plástico
- Figura 1-17. Clasificación plásticos en intervalos de temperatura
- Figura 1-18. Formas de Technyl
- Figura 2-1. Diagrama del desarrollo del ensayo
- Figura 2-2. Geometría cuadrada de una herramienta de corte
- Figura 2-3. Verificación del estado de la herramienta de corte
- Figura 2-4. Modelo torno utilizado en ensayo
- Figura 2-5. Microscopio mecánico

- Figura 2-6. Pie de metro
- Figura 2-7. Pistola termografica
- Figura 2-8. Comparador de rugosidad viso táctil
- Figura 2-9. Forma del material, barra de Technyl
- Figura 2-10. Formas de sujeción a utilizar en el ensayo
- Figura 2-11. Adaptación de equipo anexo al torno para la medida de potencia consumida
- Figura 2-12. Montaje y sujeción de material de trabajo
- Figura 2-13. Mecanizado de la pieza de trabajo
- Figura 2-14. Medición de variación de temperatura en material de prueba
- Figura 2-15. Medición calidad superficial obtenida en material por medio de comparador viso táctil
- Figura 2-16. Medición desgaste del flanco ( $V_b$ ), en herramienta de corte
- Figura 2-17. Desgaste del flanco herramienta 1
- Figura 2-18. Desgaste del flanco herramienta 2
- Figura 2-19. Desgaste del flanco herramienta 3
- Figura 3-1. Gráfica en escala log-log de la velocidad de corte contra vida de la herramienta
- Figura 3-2. Desgaste de la herramienta en funcion del tiempo de corte
- Figura 3-3. Efecto de la velocidad de corte sobre el desgaste de flanco de la herramienta para tres velocidades de corte

## **ÍNDICE DE TABLAS**

- Tabla 1-1. Rango de valores para velocidad de corte del Technyl
- Tabla 1-2. Propiedades del Technyl, poliamida 66
- Tabla 1-3. Codificación material de trabajo, en base al tipo de polímero
- Tabla 2-1. Identificación herramienta de corte
- Tabla 2-2. Ángulos y radio de la herramienta de corte
- Tabla 2-3. Principales características torno
- Tabla 2-4. Características técnicas pie de metro
- Tabla 2-5. Características técnicas cámara termo gráfica
- Tabla 2-6. Características principales del material de trabajo
- Tabla 2-7. Parámetros de mecanizados para plásticos en torno
- Tabla 2-8. Valores teóricos obtenidos para ensayo de prueba
- Tabla 2-9. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 1
- Tabla 2-10. Valores secundarios ensayo 1

- Tabla 2-11. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2
- Tabla 2-12. Valores secundarios ensayo 2
- Tabla 2-13. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2
- Tabla 2-14. Valores secundarios ensayo 3
- Tabla 3-1. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 1
- Tabla 3-2. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2
- Tabla 3-3. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2
- Tabla 3-4. Calculo de n y C para ecuación de Taylor

### **INDICE DE GRÁFICOS**

- Gráfico 3-1. Grafica de desgaste vs tiempo, herramental
- Grafico 3-2. Grafica de desgaste vs tiempo, herramienta 2
- Grafico 3-3. Elaboración propia, a partir de valores obtenidos en ensayo con herramienta
- Gráfico 3-4. Grafica efecto de la velocidad de corte sobre desgaste del flanco para tres velocidades de corte
- Gráfico 3-5. Grafica log-log, tiempo de vida en función de la velocidad de corte

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

### SIGLAS:

DIN: Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

### SIMBOLOGÍAS:

$\alpha$ : Ángulo

$f$ : Avance

°C: Celsius

Ø: Diámetro

Ap.: Profundidad de corte

kW: Kilowatt

L: Largo

min: Minutos

mm: Milímetros

Ra: Valor rugosidad media

RPM: Revoluciones por minuto

T°: Temperatura

T: Tiempo

Vb: Ancho de banda

Vc: Velocidad de corte

## INTRODUCCIÓN

Es de suma importancia tener claro que en los procesos de manufactura y confección de piezas en la industria, conllevan procesos debidamente controlados bajo parámetros e indicadores de calidad que nos permitirán tener los mejores resultados.

Es por ello que la confección de este trabajo está orientada al mecanizado con Technyl, debido a los parámetros poco certeros con los que se puede trabajar este material. Donde las condiciones de mecanizado no propician un resultado óptimo.

Debido a los parámetros poco certeros que se encuentran con intervalos de velocidades de corte muy amplios, avances y profundidades, poco certeras.

Además de las condiciones de mecanizado poco aptas que se pueden encontrar de este material, se encuentra el inconveniente de no conocer la geometría de la herramienta de corte necesaria para este proceso.

La confección de este trabajo se fundamenta en la necesidad de establecer parámetros y criterios de trabajo, para el mecanizado del Technyl.

Para esto se procederá a realizar un ensayo de desgaste, que involucrará la ecuación de Taylor. Esta ecuación permitirá obtener la velocidad de corte teórica en la cual la herramienta durara un minuto de trabajo.

En el ensayo a realizar, primeramente, se definirán las variables de mecanizado en operaciones de torneado, y de forma análoga la geometría de las herramientas de corte empleada en el proceso involucrado.

Luego se buscará establecer a través de ensayos de mecanizado por arranque de viruta el parámetro de trabajo idóneo.

Por parámetros de trabajo, se entiende la variable de corte asociada, como; velocidad de corte. Junto con otras variables de prueba que servirán como indicadores para la confección del ensayo, como velocidad del husillo, temperatura del material, potencia de trabajo, entre otros.

A través de esta experiencia y de manera empírica se obtendrán resultados asociados a los diferentes parámetros establecidos con anterioridad.

Con esto se buscará obtener diferentes resultados, los que posteriormente serán analizados para determinar los valores óptimos.

Esto con el objetivo de aplicar la ecuación de Taylor para la vida de una herramienta de corte en el mecanizado con Technyl. Además de generar una metodología de ensayo que pueda ser aplicable en caso de requerirse a otro tipo de material que presente los inconvenientes anteriormente descritos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Definir velocidad de corte de una herramienta de monofilo de acero rápido para trabajar Technyl en operaciones de torneado.

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Definir variables de mecanizado en operaciones de torneado y geometría de la herramienta de corte.
- Establecer parámetros de mecanizado utilizados en los ensayos.
- Analizar los valores y parámetros obtenidos en los distintos ensayos del Technyl.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se definirán las variables de mecanizado en operaciones de torneado y herramientas de corte, junto con las características del material utilizado, y los procesos de conformación de plásticos. Cada uno de estos aspectos será la columna vertebral del ensayo a realizar, debido a esto, es de suma importancia familiarizarse con cada una de las variables del ensayo.

A continuación se desarrolla la problemática que forma parte de ese trabajo, para dar paso a definir cada una de las variables involucradas en el desarrollo y ejecución del ensayo que tendrá lugar en el capítulo dos de este trabajo.

### 1.1. PROBLEMATICA

En comparación a los metales, los plásticos presentan tanto ventajas, como desventajas. Estas están asociadas en directa relación con las propiedades del material.

Al momento de hablar del mecanizado de plásticos, se sugiere que los diferentes tipos de plásticos existentes se pueden mecanizar, no obstante es necesario señalar el hecho de que cada tipo posee su manera de ser trabajado, por lo que cada una de las variables de mecanizado, junto con los diferentes factores involucrados determinan los parámetros de trabajo de cada material. Para esto es necesario conocer la clasificación del material junto con cada una de sus propiedades.

El mecanizado por arranque de viruta, definido según la norma DIN 8580, es la manera más rápida y económica de fabricar piezas muy precisas, sobre todo series pequeñas y medias. Se puede llegar a obtener tolerancias muy ajustadas siempre y cuando se empleen los parámetros adecuados.

Existen diferentes técnicas en la producción de piezas fabricadas con plástico, las cuales permiten generar una gran cantidad de elementos en un mismo proceso, en los cuales el factor determinante es el nivel de productividad. Pero una interrogante que surge es que sucede a la hora de tener que necesitar un número menor de piezas, las cuales requieran un nivel de tolerancia, y calidad determinada.

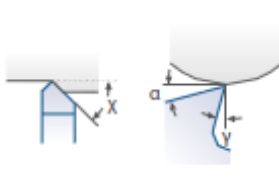
Aquí tenemos el problema de no conocer los parámetros de trabajo asociados al Technyl. Donde los valores entregados en tablas son rangos muy amplios y poco certeros.

Es por esto que el enfoque de este trabajo se encuentra en establecer a través de diferentes experiencias los parámetros de trabajo del Technyl. Por parámetros se refiere a velocidad de corte, y ángulos de la herramienta. Con el objetivo de reducir estos intervalos

de valores, y así establecer a un valor estimativo asociado a la velocidad de corte a través de la aplicación de la ecuación de Taylor. A continuación, se presenta a modo de ejemplo los rangos de trabajo para la velocidad de corte en el material de trabajo. Donde se aprecia claramente que los valores entregados, no son objetivos en términos prácticos.

Tabla 1-1. Rango de valores para velocidad de corte del Technyl

**Torneado**



$\alpha$  Ángulo de incidencia [°]  
 $\gamma$  Ángulo de arranque [°]  
 $\chi$  Ángulo de posicionamiento de herramienta [°]  
 El radio de la punta r debe ser al menos 0,5 mm

	Ángulo de incidencia	Ángulo de arranque	Ángulo de colocación de la herramienta	Velocidad de corte	Avance
<i>TECAFINE PE, PP</i>	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
<i>TECAFINE PMP</i>	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
<i>TECARAN ABS</i>	5-15	25-30	15	200-500	0,2-0,5
<i>TECANYL</i>	5-10	6-8	45-60	300	0,1-0,5 ●
<i>TECAFORM AD, AH</i>	6-8	0-5	45-60	300-600	0,1-0,4
<b><i>TECAMID, TECARIM, TECAST</i></b>	<b>6-10</b>	<b>0-5</b>	<b>45-60</b>	<b>250-500</b>	<b>0,1-0,5</b>
<i>TECADUR/TECAPET</i>	5-10	0-5	45-60	300-400	0,2-0,4
<i>TECANAT</i>	5-10	6-8	45-60	300	0,1-0,5 ●
<i>TECAFLON PTFE, PVDF</i>	5-10	5-8	10	150-500	0,1-0,3
<i>TECAPEI</i>	10	0	45-60	350-400	0,1-0,3 ●
<i>TECASON S, P, E</i>	6	0	45-60	350-400	0,1-0,3 ●
<i>TECATRON</i>	6	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
<i>TECAPEEK</i>	6-8	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
<i>TECATOR</i>	6-8	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08
<i>TECASINT</i>	2-5	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08
<i>Productos de TECA reforzados*</i>	6-8	2-8	45-60	150-200	0,1-0,5

Fuente: Ensinger, directrices de mecanizado

## 1.2. PROCESOS DE FABRICACION POR ARRANQUE DE VIRUTA

Todo elemento que requiere ser fabricado amerita un análisis exhaustivo de la geometría y los procesos de fabricación implicados para la construcción, así se tiene que para comenzar la fabricación es necesario establecer y conocer el tipo de operaciones involucradas. Para ello es necesario el estudio del plano de fabricación y determinar cuáles de los procesos involucrados permite la fabricación eficiente del elemento.

Entre los más comunes se encuentra el proceso con o sin desprendimiento de viruta. Dentro de los procesos de fabricación con desprendimiento de viruta se pueden

destacar: taladrado, aserrado, torneado, fresado, limado, cepillado, rectificado, solo por nombrar algunos, la selección de cada uno de estos dependerá de la exactitud dimensional, calidad superficial, y también la geometría base de la pieza a fabricar, por ejemplo; si la geometría tiene un eje de revolución, lo normal es pensar en un torno o rectificadora cilíndrica, pero resulta que estas máquinas si bien pueden formar una geometría base idéntica (cilindro) cada una se utiliza para lograr distintas calidades superficiales y exactitud dimensional.

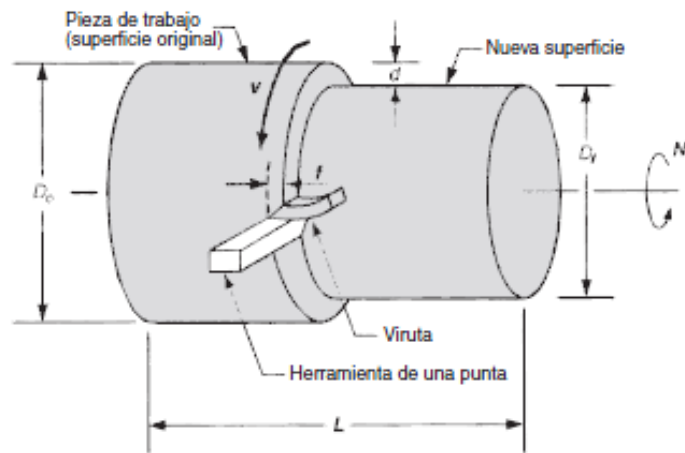
Por lo cual es de suma importancia determinar el proceso adecuado ya que cada uno implica costos asociados distintos, los que pueden llegar a ser fácilmente el doble uno respecto al otro. Ante esto es necesario resaltar que el proceso ideal para la fabricación de la pieza en cuestión es aquel que permite obtener la geometría solicitada en las especificaciones técnicas, esto se reduce a formar las piezas mecanizadas de acuerdo a lo solicitado y lo solicitado debe ser aquello que cumple con la función para la cual ha sido diseñado

### **1.3. TORNEADO**

Como se mencionó anteriormente el mecanizado de una pieza puede ser realizado a través de diferentes procesos de conformación. Sin embargo el más conocido o masificado es el torneado.

Este proceso permite pequeñas tolerancias y superficies poco rugosas, donde las herramientas de torno, son relativamente sencillas.

El procedimiento en sí, consta de arrancar viruta a un material que gira por medio de revolución en el plato principal del torno, donde una herramienta de corte de punta sencilla arranca el material, a través del movimiento lineal, y acción perpendicular de la misma .En la figura 1-1. se indican los tipos de movimientos existentes en la operación de torneado.



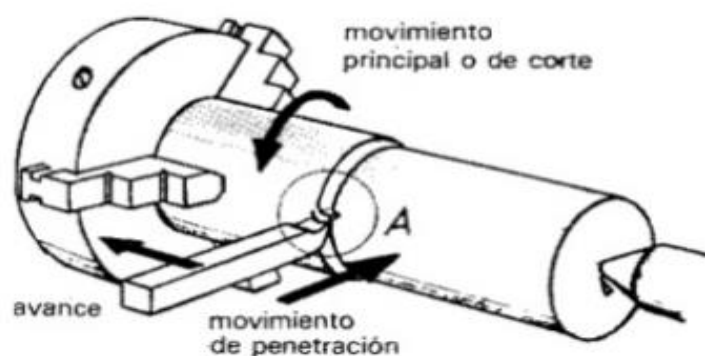
Fuente: Fundamentos de manufactura moderna, Mikell P. Groover

Figura 1-1. Operación de torneado y movimientos involucrados

#### 1.4. PARÁMETROS DE MECANIZADOS

Dentro de los procesos de mecanizados, se encuentran numerosas variables que son necesarias de controlar, el control de éstas permite optimizar los procesos de fabricación. Esta actividad es de vital importancia sobre todo en grandes niveles de producción, en empresas cuyo rubro es producir elementos mecánicos como, por ejemplo; ruedas dentadas, árboles de transmisión, elementos de montaje, entre otros.

Debido a que este trabajo se fundamenta en el desgaste de una herramienta de corte, y los parámetros que afectan su vida útil, a continuación, se presentan las variables principales que afectan la vida útil de una herramienta de corte.



Fuente: Google imágenes, movimientos de corte torno

Figura 1-2. Variables involucrados en proceso de torneado

#### 1.4.1. Velocidad de corte

Es uno de los parámetros que más influye en los niveles de producción, ya que en términos simples es la velocidad con la cual se desprende material

A mayor velocidad de corte, se desprende material más rápido, es decir el caudal de material es mayor. La unidad de esta variable se mide en m/min.

#### 1.4.2. Avance

Corresponde al desplazamiento lineal que tiene la herramienta o la pieza, dependiendo del proceso de fabricación. El avance "*f*" generalmente se expresa en mm/Rev.

#### 1.4.3. Profundidad de corte

También definida como  $A_p$ , la profundidad de corte se refiere al desplazamiento que tiene la herramienta tomando como referencia la superficie de la pieza antes de ser mecanizada. Se entiende como la acción perpendicular de la herramienta frente a la pieza de trabajo.

### 1.5. HERRAMIENTA DE CORTE

Se entiende por herramienta de corte aquel artefacto o dispositivo que gracias a su forma y características que lo componen, permiten modificar la forma de un material para la obtención de una pieza de forma y tolerancia determinada, en un tiempo acotado.

Las herramientas de corte se distinguen en dos aspectos, material del cual están construidas y operación que puedan realizar. Las herramientas las podemos clasificar en dos grupos, herramientas de acero rápido y de metal duro. Estas últimas poseen una designación que permite identificar cada una de sus características, como geometría, aplicación y material que puede trabajar.

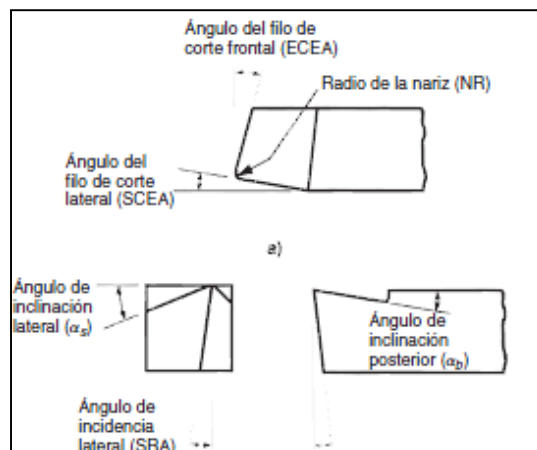
### 1.5.1. Geometría herramienta de corte

La selección de la geometría de la herramienta de corte no debe ser al azar, sino que debe realizarse con antecedentes técnicos con el objetivo de llegar a una alternativa que permita enfrentar los requerimientos frecuentemente incompatibles.

La geometría de la herramienta tiene así influencias importantes sobre los tiempos /costos de fabricación y los resultados de calidad de las piezas a fabricar.

Existen formas normalizadas (DIN, ISO) de herramientas que satisfacen diferentes requerimientos y operaciones. En el caso de trabajos repetitivos, es conveniente estudiar una geometría particular a fin de adaptarla en forma óptima a la aplicación.

Más de forma específica en la amplia mayoría de herramientas de corte podemos identificar un conjunto de superficies y ángulos que la componen. A continuación se muestra la composición geométrica básica de una herramienta de corte.



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna, Mikell P. Groover

Figura 1-3. Configuración geométrica de una herramienta de corte de punta

### 1.5.2. Material herramienta de corte

Para el proceso de mecanizado podemos encontrar una amplia variedad de materiales de herramientas, entre ellas, se encuentran las herramientas de acero rápido, las que incluyen bajos y altos niveles de aportación de carbono, además podemos encontrar fundición de aleaciones de cobalto, carburos cementados, cermets y carburos recubiertos, cerámicas, diamantes sintéticos y nitruro de boro cúbico.

Desde el punto de vista comercial, los materiales para herramientas más importantes son los aceros de alta velocidad y los carburos cementados, cermets y

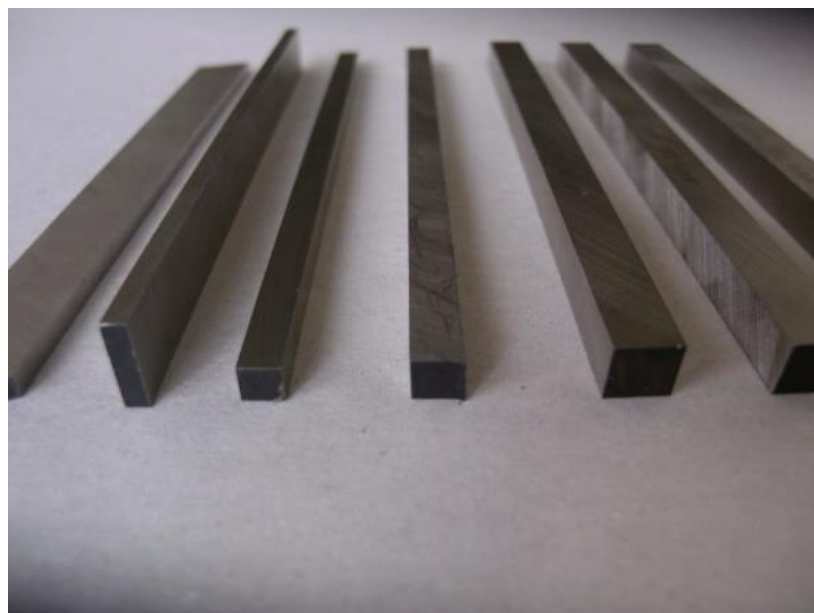
carburos recubiertos. Estas dos categorías constituyen más de 90% de las herramientas de corte que se utilizan en las operaciones de maquinado, básicamente dos grupos de herramientas con las que se pueden trabajar los diferentes materiales que existen en la industria manufacturera. En base a esto basaremos la descripción de herramientas de corte en dos grupos.

#### 1.5.2.1. Herramienta de acero rápido

Estas herramientas aparecen en forma de barras de acero rápido, se caracterizan por estar compuestas de aleaciones hierro-carbono, a las cuales se le agregan altos niveles de tungsteno y molibdeno, entre otros. Estos aditivos le entregan a la herramienta la capacidad de mecanizar con altas velocidades de corte, el doble de una herramienta al carbono, de ahí su nombre de acero rápido.

A la hora de la elección de una herramienta de corte que satisfaga las solicitudes de trabajo, son para este caso una buena opción en términos económicos debido a su bajo costo, y características.

A continuación, se presenta un ejemplo de herramienta de corte de acero rápido, con la cual se trabajará.



Fuente: Google imágenes, barras acero rápido

Figura 1-4. Herramienta de corte de acero rápido

### 1.5.3. Herramientas de metal duro

Las herramientas de metal duro, también conocidas como plaquitas, se componen de metal duro, el cual posee dos tipos de componentes, partículas duras, las cuales proporcionan resistencia al desgaste, y el aglutinante o matriz, que proporciona la tenacidad.

A través de un proceso de recubrimiento la plaquita recibe sus propiedades. Estas herramientas poseen una designación que incluye las principales características que poseen, ya sea de forma, material de composición, entre otros, donde se asocian al material que puede trabajar. Estas herramientas son de alta tecnología, diseñadas para bajos y altos niveles de producción.

A continuación, se muestra un grupo de clasificación de las herramientas de metal duro asociada al material que pueden mecanizar.

  Acero	  Acero inoxidable	  Fundición
  Aluminio	  Aleaciones termo-resistentes	  Acero templado

Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la pieza.

Figura 1-5. Grupo de materiales de herramientas de corte

Cada uno de estos grupos de herramientas, está compuesta de un material, que incluye diferentes características y aplicaciones. Los cuales se enumeran a continuación.

#### 1.5.3.1. Metal duro sin recubrimiento

Usado en aplicaciones de moderada a difícil, ya sea con acero, titanio, fundición de hierro, aluminio en torneado, fresado y taladrado.

Posee una buena combinación de resistencia al desgaste por abrasión con tenacidad.



Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la herramienta de corte.

Figura 1-6. Tipos de herramientas de metal duro sin recubrimiento

### 1.5.3.2. Metal duro con recubrimiento

Sector predominante de la gama de plaquitas. De uso general en todo tipo de componentes y materiales para torneado, fresado y taladrado, posee una excelente combinación de resistencia al desgaste y tenacidad.



Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la herramienta de corte

Figura 1-7. Tipos de herramientas de metal duro con recubrimiento

### 1.5.3.3. Cermet

Compone una pequeña parte de la gama de plaquitas. Es usado en acabado y semiacabado cuando se requiere una estrecha tolerancia y altas calidades superficiales.

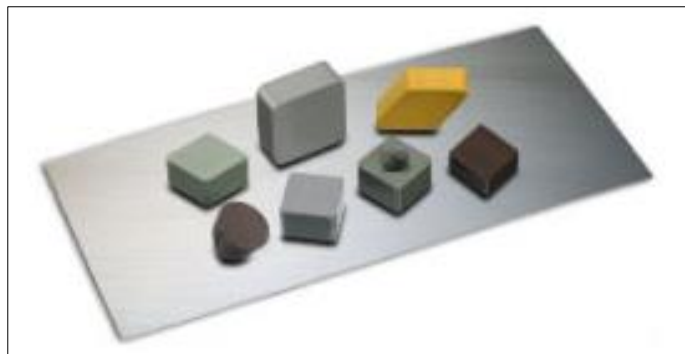


Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la herramienta de corte.

Figura 1-8. Tipos de herramientas de metal duro cermet

#### 1.5.3.4. Material cerámico

Existen varias calidades de cerámica en el mercado para diferentes aplicaciones. Sin embargo la principal característica de este material es la capacidad de trabajar a altas velocidades, siendo capaz de soportar altas temperaturas. Lo que presume una gran resistencia al desgaste.

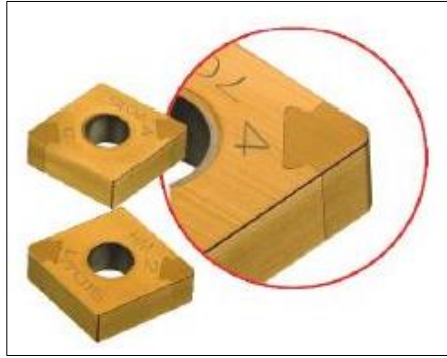


Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la herramienta de corte.

Figura 1-9. Tipos de herramientas de metal duro cerámica

#### 1.5.3.5. Nitruro de boro cubico

Presentan la segunda mejor dureza después del diamante. Además, posee una alta resistencia al desgaste junto con una excelente estabilidad química. Se usa para el corte de acero endurecido, hierro fundido y metales con base de hierro y cobalto.

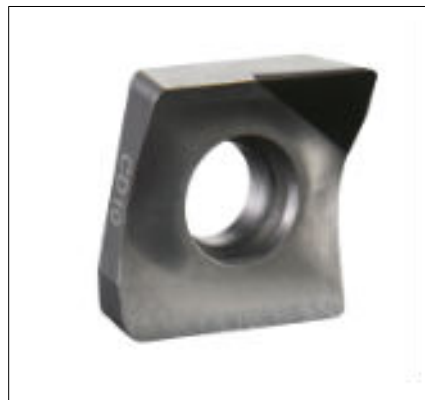


Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la herramienta de corte

Figura 1-10. Tipos de herramientas de metal duro, nitruro de boro cúbico

#### 1.5.3.6. Diamante poli cristalino

El diamante es el material más duro y por lo tanto el más resistente a la abrasión. Presenta buena resistencia al desgaste, pero poca estabilidad química a altas temperaturas. Presenta limitaciones frente a materiales no féreos.



Fuente: Sandvick, materiales, materiales de la herramienta de corte

Figura 1-11. Tipos de herramientas de metal duro, diamante poli cristalino

## 1.6. TECNICAS DE FABRICACION EN PLASTICOS

Debido a que el material que se utilizará para el ensayo experimental corresponde a plástico, se dará la importancia a los procesos de fabricación involucrados del mismo. Esto para familiarizarse con las técnicas de producción de este tipo de material, además se permitirá contextualizar el tema de fondo de este trabajo que es conocer de manera

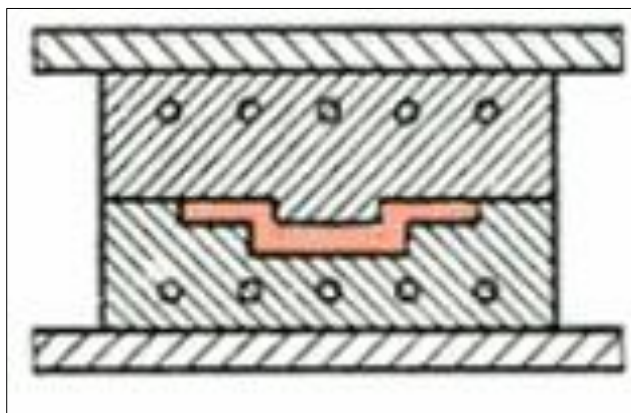
clara, cuales son los parámetros de mecanizados óptimos a la hora de la fabricación de componentes mecánicos entre otros.

Los plásticos son fundamentales para el desarrollo de diferentes aspectos del comercio, dónde existe una amplia gama de tipos de plásticos para diferentes utilidades.

A continuación, se enlistan las diferentes formas de conformación en las piezas fabricadas a partir de plástico.

#### 1.6.1. Prensado

Con el molde abierto se llena la cantidad de plástico necesaria para conseguir la pieza, se cierra el molde y se calienta hasta que el plástico alcance la fluidez necesaria, se procede al enfriamiento y a sacar la pieza cuando solidifique.

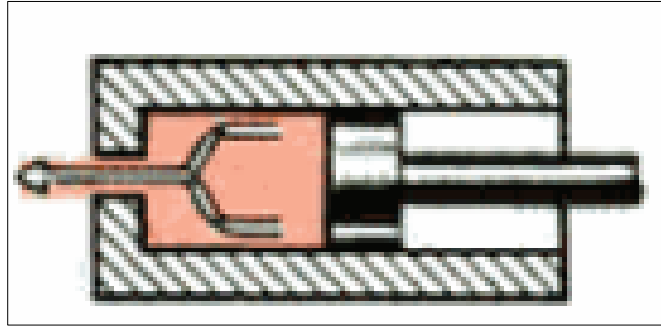


Fuente: La construcción de herramientas, Robert Lehnert.

Figura 1-12. Proceso de conformación en el prensado de plástico

#### 1.6.2. Extrusión

La materia se dispone dentro de una tolva exterior al cilindro que se calienta por resistencias. Desde la tolva el material cae a un tornillo sin fin que gira en el interior del cilindro. Se funde y homogeniza el material y acaba saliendo por el otro extremo.

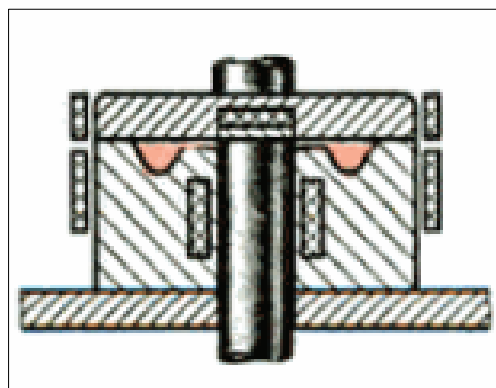


Fuente: La construcción de herramientas, Robert Lehnert.

Figura 1-13. Proceso de conformación en la extrusión de plástico

### 1.6.3. Inyección

El proceso permite transformar todo tipo de plásticos para fabricar artículos de gran calidad. La materia prima se dispone en una tolva auxiliar que le permite la caída del material en la antecámara, el material fundido va llenando el molde frío.

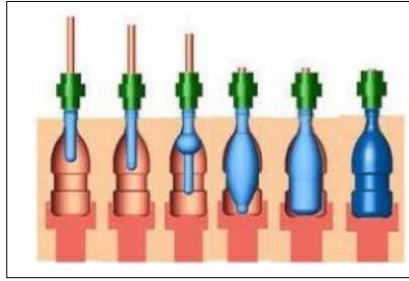


Fuente: La construcción de herramientas, Robert Lehnert.

Figura 1-14. Proceso de conformación en la inyección de plástico

### 1.6.4. Soplado

Cuerpo tubular y plastificado entre las dos mitades abiertas de un molde. Cuando el tubo ha rebasado el molde este se cierra y suelda por su presión uno de sus extremos. En ese momento se introduce aire a presión por el otro extremo y dado que el tubo todavía es maleable, se hincha y se adapta a las partes refrigeradas del molde, adoptando su forma. Convirtiéndose en el cuerpo hueco se puede abrir el molde y sacar la pieza.

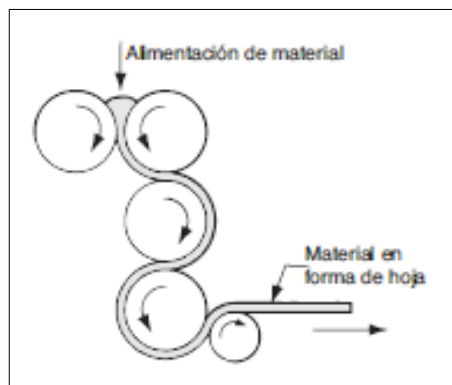


Fuente: SlideShare, conformación mecanizado de plásticos

Figura 1-15. Proceso de conformación en el soplado de plástico

#### 1.6.5. Laminación por calandrado

El plástico fundido se coloca entre los rodillos superiores de la calandria. Este plástico proviene de una amasadora, los rodillos de la calandria giran en sentido contrario, por lo que van tirando el plástico y generando una lámina del espesor deseado a medida que pasan por los cilindros.



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna, Mikell P. Groover

Figura 1-16. Proceso de conformación en la laminación por calandrado de plástico

A través de los procesos mencionados con anterioridad se puede dar cuenta que dependiendo de los fines que se estime conveniente es el proceso de fabricación asociado.

En este punto es necesario destacar que al trabajar el plástico, este muchas veces, se hace de manera de tener un alto alcance en los niveles de producción, pero que pasa al momento de necesitar una, dos, o tres piezas en particular. Estas tendrán que ser trabajadas de manera de poder obtener un buen acabado, y con tolerancias que se ajusten a las

solicitudes, es por eso que se necesitarán establecer parámetros que permitan obtener los mejores resultados. Esto en términos de tolerancias como de niveles de rugosidad.

## 1.7. MATERIAL DE TRABAJO

El Technyl es una poliamida de características termoplásticas que difiere de los plásticos de uso corriente por sus excelentes propiedades mecánicas, dieléctricas, técnicas y químicas. Siendo este plástico de ingeniería un material universal para la fabricación de componentes mecánicos e industriales.

La poliamida como se dijo anteriormente es un termoplástico técnico, de gran versatilidad, por sus propiedades mecánicas. Esto lo podemos saber de acuerdo a su clasificación, que es realizada a través de diferentes indicadores, que van desde su rango de temperatura de trabajo, como la designación misma de este material.

Tabla 1-2. Propiedades del Technyl, poliamida 66

CARACTERISTICAS TECHNYL	MAGNITUD
DENSIDAD	1,14 (g/cm <sup>3</sup> )
COEFICIENTE DILATACION LINEAL	10(-5) x K (-1)
T° DE UTILIZACION ADMISIBLE EN EL AIRE EN TRABAJO CONTINUO	100 °C
RESISTENCIA A LA TRACCION	6,1 (daN/mm <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración Propia, datos obtenidos de Plastigen.

### 1.7.1. Designación técnica del material

El nombre comercial que le entrega el fabricante a nuestro material de trabajo corresponde a Technyl. Este material pertenece al grupo de las poliamidas (PA) del tipo 66, la cual pertenece al grupo de termoplásticos técnicos.

En la Tabla 1-2 se encuentra la designación técnica del polímero.

Tabla 1-3. Codificación material de trabajo, en base al tipo de polímero

<i>Designación del polímero</i>	<i>Nombre Ensinger</i>	<i>Nombre del polímero</i>
PI	TECASINT	Poliimida
PEEK	TECAPEEK	Polieteretercetona
PPS	TECATRON	Sulfuro de polifenileno
PPSU	TECASON P	Polfenilsulfona
PES	TECASON E	Polietersulfona
PEI	TECAPEI	Polieterimida
PSU	TECASON S	Polisulfona
PTFE	TECAFLON PTFE	Poltetrafluoroetileno
PVDF	TECAFLON PVDF	Fluoruro de polivinilideno
PA 6 C	TECAST T	Poliamida 6 de colada
PA 66	TECAMID 66	Poliamida 66
PA 6	TECAMID 6	Poliamida 6
PC	TECANAT	Policarbonato (transparente)
PBT	TECADUR PBT	Tereftalato de polibutileno
PET	TECAPET	Tereftalato de polietileno
PPE	TECANYL	Polfeniléter
POM-C	TECAFORM AH	Copolímero de polioximetileno
POM-H	TECAFORM AD	Homopolímero de polioximetileno
PMP	TECAFINE PMP	Polimetilpenteno (transparente)

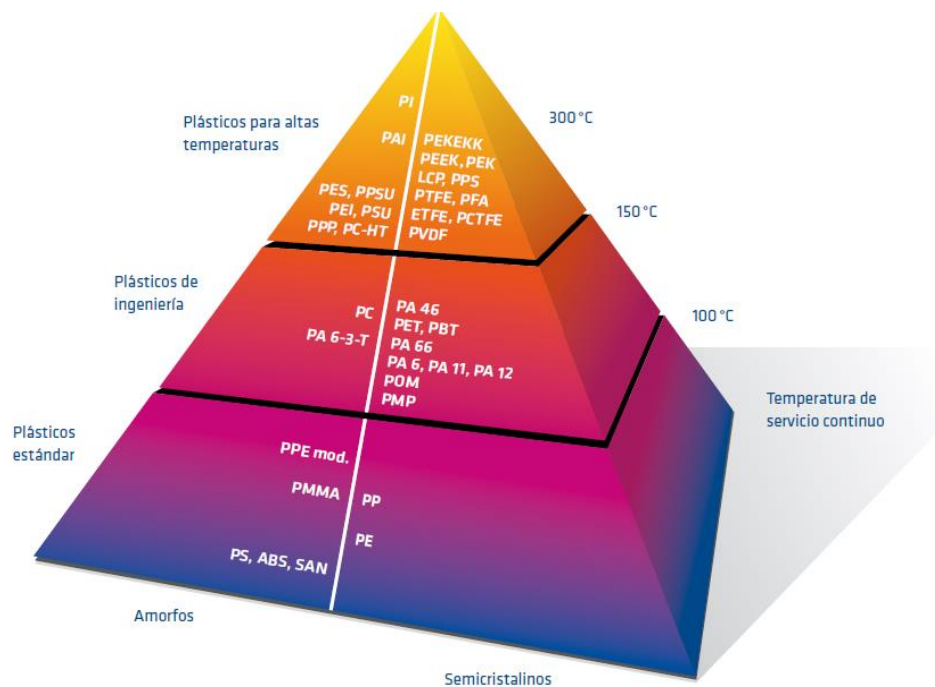
Fuente: Ensinger, directrices de mecanizado en torno para plástico

### 1.7.2. Clasificación de los plásticos

Los plásticos, pueden ser clasificados en base a diferentes características que los constituyen. Estas pueden ser de carácter funcional, como también en términos de propiedades, ya sea térmicas, de dureza entre otros. A continuación se muestra la clasificación de los plásticos en base a la temperatura de trabajo, donde el material a utilizar, aparece dentro de la pirámide posicionado como un material termoestable.

### 1.7.3. Clasificación de los plásticos en intervalos de temperatura

En esta pirámide se encuentra la clasificación de los plásticos de acuerdo a los rangos de temperatura en que pueden ser trabajados. Donde la poliamida ocupa el segundo piso en la pirámide, como plástico de ingeniería, donde el rango de temperatura de trabajo va desde 100-150 °C. Siendo este un material termoestable, lo que quiere decir, que puede ser trabajado a altas temperaturas sin sufrir deformación o cambio considerable en su estructura.



Fuente: Ensinger, directriz de mecanizado.

Figura 1-17. Clasificación plásticos en intervalos de temperatura

#### 1.7.4. Principales características del Technyl

A continuación, se enlista un conjunto de características que se desprenden del material de trabajo, estas características se refieren a cómo se comporta el material al ser trabajado, y luego de obtener una pieza en particular.

Posee buena resistencia a los agentes químicos, salvo a los óxidos concentrados

Fácil de mecanizar, en comparación a metales.

La estabilidad térmica de este material, dependiendo del estado de carga, le permite soportar temperaturas de 10°C a 100°C en forma continua

Su superficie puede ser teñida, impresa o estampada con color por métodos convencionales

Posee gran resistencia a los golpes

Excelente resistencia mecánica, rigidez, tenacidad y dureza

Buena resistencia a la fatiga

Excelente resistencia al desgaste



Fuente: Google imágenes, formas de plástico

Figura 1-18. Formas de Technyl

#### 1.7.5. Aplicaciones del Technyl

A continuación, se enlista un conjunto de aplicaciones que tiene el Technyl. Las características de este conjunto de elementos, es que son de carácter mecánico y esto está directamente asociado a la funcionalidad del material, siendo uno de los principales plásticos de uso ingenieril.

Engranajes

Aristas para cojinetes

Tornillos y tacos

Guías para émbolos

**CAPÍTULO 2: CONFECCIÓN ENSAYO DE ARRANQUE PARA  
PARÁMETROS DEL TECHNYL**

## 2. CONFECCIÓN ENSAYO DE ARRANQUE PARA PARÁMETROS DEL TECHNYL

### 2.1. INTRODUCCIÓN AL ENSAYO

En el desarrollo de este capítulo se entregan las condiciones de trabajo para el diseño experimental del mecanizado de arranque de viruta del Technyl. Con el objetivo de determinar las mejores condiciones de mecanizado de este material, bajo el criterio de vida de una herramienta de corte de acero rápido.

Las condiciones están fundamentadas bajo criterio de selección de cada variable y condición de mecanizado. Esto bajo el soporte de la norma ISO 3685 International Organization for Standardization. “Tool life testing with single-point turning tools”

Esto permitirá crear una estructura de trabajo con la cual se establece una guía en el paso a paso del ensayo. En consecuencia se detallara el desarrollo del ensayo, con cada una de las acciones a tomar. Posteriormente se registran los resultados obtenidos por cada ensayo, con sus respectivas observaciones. Los datos obtenidos serán analizados en el capítulo 3 de este trabajo.

A continuación se presenta un esquema del ensayo, con cada una de las tareas a realizar.



Fuente: Elaboración propia, a partir de la confección del ensayo.

Figura 2-1. Diagrama del desarrollo del ensayo

## 2.2. HERRAMIENTA DE CORTE

La selección de la herramienta de corte se debe adaptar a las solicitudes y requerimientos del proceso de producción. Estas además deben ser acordes al material a trabajar. Esto significa que la geometría y ángulos de la herramienta se deben adaptar al tipo de material a mecanizar y operación a realizar. Es por esto que la elección de la herramienta de corte se fundamenta en la versatilidad que tiene al momento de configurar sus filos y geometría en particular, permitiendo adaptarse a las necesidades y requerimientos de la experiencia.

A continuación, se procede a identificar la herramienta de corte.

Tabla 2-1. Identificación herramienta de corte

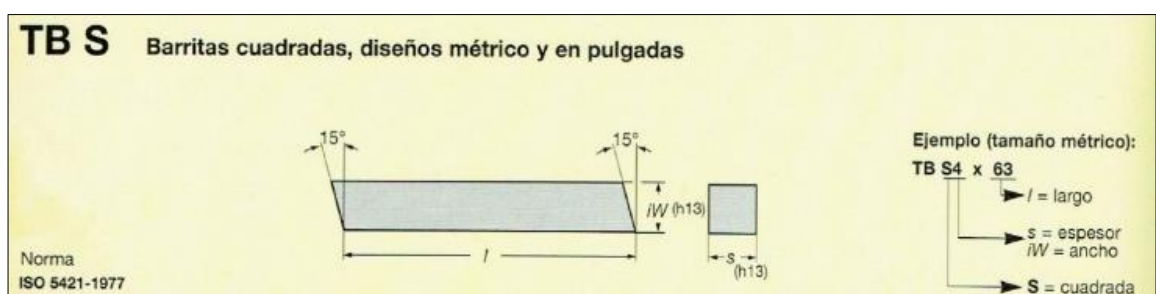
MATERIAL	MEDIDAS	GEOMETRIA	MARCA
ACERO RAPIDO	5/16" * 2 /12"	CUADRADA	MASTER CUT

Fuente: Elaboración propia, en base a información del fabricante

### 2.2.1. Geometría de la herramienta de corte

Existen 3 tipos de geometrías para las barras de acero rápido, barras cuadradas, barras rectangulares, y barras redondas. La herramienta seleccionada corresponde a una barra de acero rápido, de medidas 5/16" \* 2.1/2" del tipo cuadrada.

A continuación, se presenta una imagen representativa de las medidas y geometría de la herramienta de corte utilizada.



Fuente: Sandvick, Herramientas para tornear

Figura 2-2. Geometría cuadrada de una herramienta de corte

### 2.2.2. Ángulos herramienta de corte

El estado de las herramientas debe ser óptimo, y es por esto que se realiza una previa inspección de la herramienta a utilizar, comprobando la exactitud de ángulos y radios de la herramienta.



Fuente: Elaboración propia, fotografía estado de herramienta y verificación del radio

Figura 2-3. Verificación del estado de la herramienta de corte

Debido a los parámetros de corte poco certeros del material a trabajar, como también tipo de herramienta, el criterio de elección de los ángulos se hace a partir de una herramienta de acero rápido bajo tolerancias de la norma DIN 7168.

Tabla 2-2. Ángulos y radio de la herramienta de corte

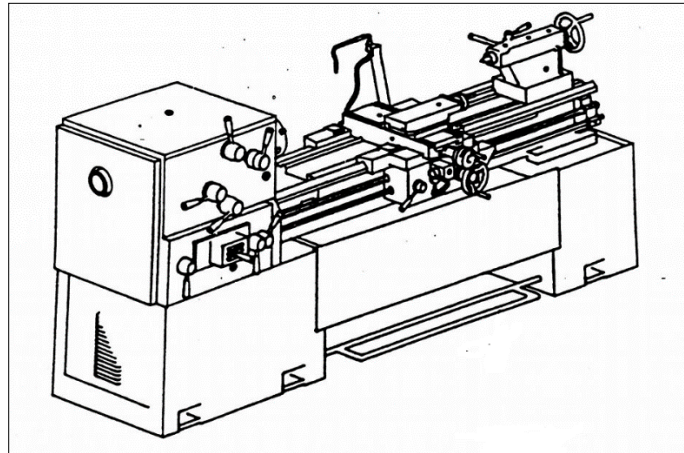
<b>&lt; Incidencia principal</b>	10°	<b>&lt;Incidencia Secundaria</b>	10°
<b>&lt; Desprendimiento</b>	20°	<b>&lt; Inclinación</b>	5°
<b>&lt; de punta</b>	12°	<b>Radio de la punta</b>	0,5 mm

Fuente: Elaboración propia en base a medidas obtenidas por medio de fresadora.

### 2.3. RECONOCIMIENTO MAQUINA HERRAMIENTA

La máquina herramienta a utilizar corresponde a un torno paralelo de tipo convencional. El criterio de elección del torno debe ser en base a los parámetros de trabajo que podremos establecer al momento de realizar los ensayos. En nuestro caso

trabajaremos a diferentes frecuencias de trabajo, avances constantes, y profundidades constantes. En la Figura 2-4 se expone el modelo de torno utilizado en la experiencia



Fuente: Biblia del mecánico

Figura 2-4. Modelo torno utilizado en ensayo

En la Tabla 2-3 se hace referencia a las principales características de la máquina herramienta utilizada.

Tabla 2-3. Principales características torno

<b>MARCA</b>	<b>PINACHO</b>
<b>PROCEDENCIA</b>	<b>ESPAÑA</b>
<b>DISTANCIA ENTRE CENTROS</b>	750-1000 mm
<b>ALTURA ENTRE CENTRO</b>	165 mm
<b>ANCHURA BANCADA</b>	250 mm
<b>POTENCIA MOTOR</b>	2.98 kW
<b>POTENCIA MOTOBOMBA</b>	0,07 cv
<b>VELOCIDADES DEL HUSILLO</b>	60-2000 rpm
<b>AVANCES TRANSVERSALES</b>	0,025-0,375 mm/Rev.
<b>AVANCES LONGITUDINALES</b>	0,05-0,75 mm/Rev.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información obtenida manual del torno

## **2.4. RECONOCIMIENTO DE EQUIPOS**

Para la realización de este ensayo se utilizaron una serie de instrumentos y equipos que nos permitieran realizar procesos de mecanizado, medición de resultados, además de proveer la seguridad necesaria para el desarrollo del ensayo. Por ello a continuación se enlista y detalla cada uno de estos elementos utilizados.

### **2.4.1. Elementos de protección personal (EPP)**

Antes de llevar a cabo cualquier actividad en el taller de máquina de herramientas, es prioridad contar con los elementos de protección personal (EPP). Estos elementos proveerán la seguridad mínima para realizar la actividad en el taller.

En conjunto con las acciones del operador y persona que tomara los datos del ensayo, acciones que deberán estar perfectamente coordinadas para realizar la actividad , con la máxima cautela posible, para resguardar la integridad física de cada persona dentro del taller. Los EPP utilizados corresponden a unas gafas de uso común, para la protección de la vista, y zapatos de seguridad para la protección de los pies frente a caída de objetos pesados.

### **2.4.2. Equipos de medición**

Para la toma de datos de las diferentes variables a controlar en la experiencia realizada en el taller, se utilizaron un conjunto de equipos de medición. Estos fueron fundamentales y de vital importancia, ya que, sin ellos, los principales factores que intervienen en cada uno de los ensayos no se podrían estudiar, o analizar. Es por esto que se describe en detalle cada uno de los equipos de medición utilizados en el ensayo de arranque para la obtención de parámetros de mecanizado del Technyl.

#### **2.4.2.1. Proyector de perfiles**

El proyecto de perfiles, es utilizado para la medición del desgaste del flanco de la herramienta. Este proyector nos permite visualizar a través de una mira óptica el nivel de desgaste de la herramienta. A su vez tiene acoplado un micrómetro con una resolución del carro de 0.01 mm.



Fuente: Elaboración propia, fotografía microscopio mecánico

Figura 2-5. Microscopio mecánico

#### 2.4.2.2. Pie de metro

También llamado Vernier es utilizado en el ensayo para medir los cambios de diámetro que van ocurriendo en el material de trabajo. En la Tabla 2-4 se pueden apreciar las características técnicas de este instrumento de medición.

Tabla 2-4. Características técnicas pie de metro

MARCA	TIPO	RANGO (mm)	RESOLUCION (mm)
MITUTOYO	ANÁLOGO	0-150	0,05

Fuente: Elaboración propia, a partir de características del instrumento

A continuación, se expone el modelo del pie de metro utilizado en el ensayo experimental.



Fuente: Elaboración propia, fotografía pie de metro

Figura 2-6. Pie de metro

#### 2.4.2.3. Cámara termo gráfica

Esta cámara, fue utilizada para medir los diferentes cambios de temperatura percibidos en el material. Pudiendo, además, configurar el factor de emisividad del material a su valor de 0,95. Las características técnicas de la cámara termo gráfica utilizada en el ensayo, se exponen en la tabla Tabla2-5

Tabla 2-5. Características técnicas cámara termo gráfica

MARCA	TIPO	RANGO (mm)	PRECISIÓN
FLUKE Ti25	DIGITAL	20 °C a +350 °C (dos rangos)	± 2 °C o 2%

Fuente: <http://www.fluke.com/Fluke/cles/Termografia/Fluke-Ti25.htm?PID=56723>

A continuación, se expone el modelo de la cámara termo gráfica utilizada en el ensayo experimental.

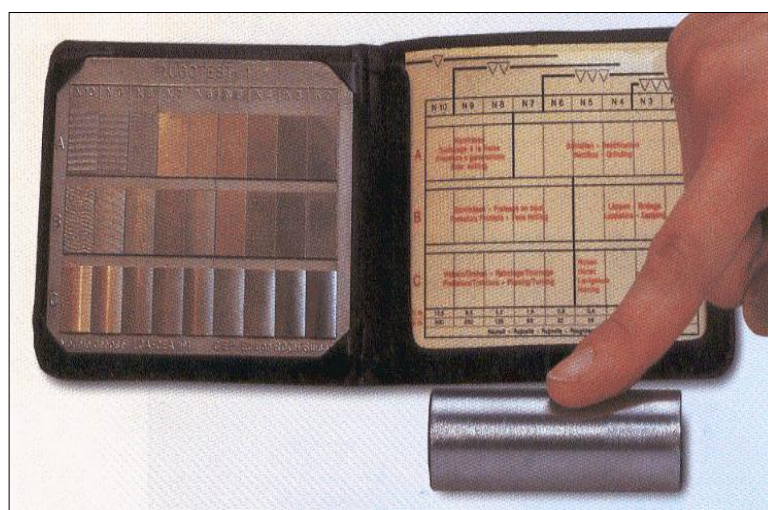


Fuente: Elaboracion propia, fotografia pistola termografica

Figura 2-7. Pistola termografica

#### 2.4.2.4. Comparador de rugosidad viso táctil

El comparador de rugosidad viso táctil, permite por medio del tacto, a través de la comparación entre el material de prueba y el implemento, medir la calidad obtenida en la pieza. Las calidades de referencia van del orden de N5 A N10, es decir de 0,4 a 12,5 $\mu$ m para Ra.



Fuente: Elaboración propia, fotografía comparador de rugosidad viso táctil

Figura 2-8. Comparador de rugosidad viso táctil

## 2.5. PIEZA DE TRABAJO

La directriz de este trabajo se relaciona directamente con el comportamiento del material en el proceso de mecanizado. En este caso el material de prueba, en conjunto con las variables de mecanizado permitirá desarrollar los análisis comparativos de los resultados que obtengamos.

Los análisis y estudios de este ensayo experimental se desarrollarán en base a parámetros como velocidad de corte, desgaste de la herramienta, potencia consumida por el motor, y calidad superficial obtenida en el material, entre otros, tipo de viruta obtenida.

### 2.5.1. Reconocimiento de la pieza de trabajo

El reconocimiento de la pieza de trabajo es fundamental en el desarrollo del ensayo, debido a que, en base a sus propiedades, y características podremos tener una noción del comportamiento de la pieza de trabajo en cuestión, frente a diferentes procesos a los que se verá enfrentado.

A continuación, se enlista las consideraciones asociadas al material, de tal manera de establecer un criterio de selección para el material de trabajo.

Tabla 2-6. Características principales del material de trabajo

<b>MATERIAL</b>	Technyl	<b>FORMA</b>	barra
<b>DESIGNACIÓN</b>	poliamida 66	<b>DIÁMETRO</b>	100 mm
<b>FABRICANTE</b>	Plastigen	<b>LONGITUD</b>	500 mm

Fuente: Elaboración propia, a partir de información del fabricante

### 2.5.2. Características del material de trabajo

Las diferentes características que posee el material, ya sea características mecánicas y químicas, como temperatura de trabajo, dureza y resistencia a la tracción son expuestas en la Tabla 1-1, esto para efecto de análisis del comportamiento del material y los resultados asociados a este.

### 2.5.3. Dimensiones pieza de trabajo

Como recomendación se establece una relación largo-diámetro, con el objeto de evitar vibraciones en los procesos de mecanizado. Esta relación dice que el largo del material dividido en el diámetro del mismo, debe ser menor o igual a 10. Esto nos proporcionara estabilidad, seguridad y mejores resultados en el desarrollo de cada ensayo. La elección de esta variable se hace en referencia de la norma ISO 3685 “Tool life testing with single-point turning tools”

$$L/D \leq 10$$

### 2.5.4. Criterio de selección de material y forma

La selección del tipo de material se enmarca en base a la necesidad de obtener los parámetros de mecanizados del Technyl. La forma del material es una barra maciza que para efectos de lo que se requiere, donde el proceso de mecanizado consta en una serie de procesos de cilindrado de la barra. Para efectos comparativos se adapta de mejor manera a las solicitudes de la experiencia.

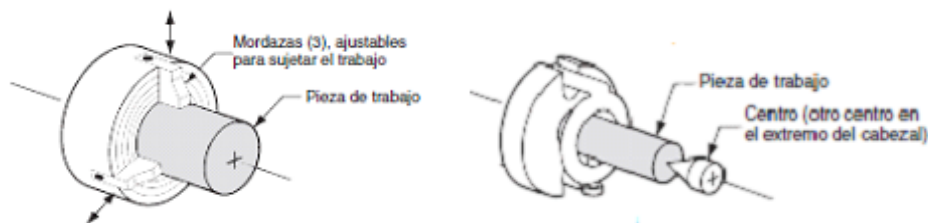


Fuente: Google imágenes, barras plásticos

Figura 2-9. Forma del material, barra de Technyl.

### 2.5.5. Fijación de la pieza de trabajo en la máquina herramienta

La fijación de la pieza debe proveer estabilidad y seguridad en el proceso de mecanizado. Para ello se sujeta debidamente el material en el plato del torno y la contra punta por el otro. Como una forma de asegurar la estabilidad y rigidez del material en el proceso de mecanizado



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna, Mikell P. Groover

Figura 2-10. Formas de sujeción a utilizar en el ensayo

## 2.6. CONDICIONES DE MECANIZADO

Las condiciones de mecanizado propuestas para el ensayo, se enmarcan de forma primera en los resultados obtenidos a partir de un ensayo preliminar, resultados que permitirán definir de manera clara y más certera cada uno de los pasos a seguir en el ensayo real, de donde se obtendrán los resultados cualitativos y cuantitativos para su posterior análisis.

## 2.7. MODELO DE ENSAYO

Se realizará un conjunto de ensayos, asociados a tres herramientas de corte con el objetivo de determinar la velocidad de corte apta para un criterio de desgaste, del orden de 0.3 mm. La elección del criterio de desgaste se fundamenta en la alta ductilidad del material, por lo que se pretende obtener niveles de desgaste cercanos a esta cifra.

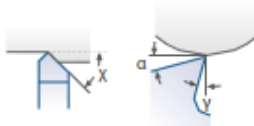
La velocidad de corte de referencia para las condiciones de mecanizado del ensayo es de 500 m/min, valor obtenido de la Tabla 2-5.

A partir de esta cifra se establece un rango de velocidades que van del 90 al 110% de este valor. Se trabaja por sobre el límite superior del valor entregado por tabla para así, posibilitar la obtención de los niveles de desgaste asociados al criterio de vida de la herramienta.

Los tiempos de trabajo, para el ensayo preliminar como real, deben ser escogidos en forma gradual, de tal manera de establecer condiciones de trabajo análogas.

Tabla 2-7. Parámetros de mecanizados para plásticos en torno

**Torneado**



$\alpha$  Ángulo de incidencia [°]  
 $\gamma$  Ángulo de arranque [°]  
 $x$  Ángulo de posicionamiento de herramienta [°]  
 El radio de la punta  $r$  debe ser al menos 0,5 mm

	Ángulo de incidencia	Ángulo de arranque	Ángulo de colocación de la herramienta	Velocidad de corte	Avance
TECAFINE PE, PP	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
TECAFINE PMP	6-10	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
TECARAN ABS	5-15	25-30	15	200-500	0,2-0,5
TECANYL	5-10	6-8	45-60	300	0,1-0,5 ●
TECAFORM AD, AH	6-8	0-5	45-60	300-600	0,1-0,4
<b>TECAMID, TECARIM, TECAST</b>	<b>6-10</b>	<b>0-5</b>	<b>45-60</b>	<b>250-500</b>	<b>0,1-0,5</b>
TECADUR/TECAPET	5-10	0-5	45-60	300-400	0,2-0,4
TECANAT	5-10	6-8	45-60	300	0,1-0,5 ●
TECAFLON PTFE, PVDF	5-10	5-8	10	150-500	0,1-0,3
TECAPEI	10	0	45-60	350-400	0,1-0,3 ●
TECASON S, P, E	6	0	45-60	350-400	0,1-0,3 ●
TECATRON	6	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
TECAPEEK	6-8	0-5	45-60	250-500	0,1-0,5
TECATOR	6-8	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08
TECASINT	2-5	0-5	7-10	100-120	0,05-0,08
Productos de TECA reforzados <sup>a</sup>	6-8	2-8	45-60	150-200	0,1-0,5

Fuente: Ensinger, directrices de mecanizado en plásticos

## 2.8. ENSAYO PREELIMINAR

El objetivo del ensayo preeliminar es generar una referencia de trabajo para el ensayo definitivo. Com la intencion de generar las mejores condiciones de trabajo para el mecanizado del Technyl a través del proceso de cilindrado en el ensayo definitivo.

A continuación se detallan los parámetros utilizados en el ensayo preeliminar para el cálculo de las condiciones de mecanizado.

Ø : 50 mm

Largo material : 1000 mm

Vc: 450-500-550 m/min

Tiempo de mecanizado: 4 min

A través de las cifras para las distintas velocidades de corte, se procede al cálculo de la frecuencia de trabajo, y largo mecanizado para un tiempo teórico de 4 min. Los valores del diámetro difieren en 1 mm considerando una profundidad constante de 1 mm. El avance de 0.05 mm también permanece constante.

Tabla 2-8. Valores teóricos obtenidos para ensayo de prueba

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Velocidad de corte (m/min)</b>	<b>Avance (mm/Rev.)</b>	<b>RPM</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Largo mecanizado (mm)</b>
100	450	0,05	1433,12	4	286,62
99	500	0,05	1608,44	4	321,68
98	550	0,05	1787,33	4	357,46

Fuente: Elaboración propia a partir de parámetros establecidos ensayo de prueba

### 2.8.1. Resultados obtenidos ensayo piloto

A continuación, se presentan los valores prácticos usados en el ensayo piloto, además se presentan los resultados obtenidos para el desgaste de la herramienta de corte. Junto con la velocidad de corte utilizada.

- Frecuencia de trabajo; 2000 RPM,
- Vc: 314 m/min
- Longitud mecanizada: 500 mm.
- Tiempo de mecanizado: 4 minutos.

El desgaste corresponde a un ancho de banda (Vb) de 0,14 mm, en la sección transversal del filo para los parámetros antes mencionados.

### 2.8.2. Observaciones ensayo preliminar

En el desarrollo del ensayo piloto, se pudieron rescatar aspectos fundamentales para la realización del ensayo real. Aspectos como frecuencia de trabajo utilizada y velocidad de corte con cual se puede percibir un nivel de desgaste medible. Lo cual entrega una importante guía para comenzar el ensayo definitivo.

En el desarrollo de este ensayo se presentó el inconveniente de que el material al ser muy esbelto, perdía estabilidad.

Debido a las vibraciones no permitía un resultado óptimo, ni las mejores condiciones de trabajo. Se perdía calidad en la superficie mecanizada del material

### 2.8.3. Recomendaciones ensayo real

En función de las observaciones hechas al ensayo preliminar se establecen las mejoras a realizar.

A causa las vibraciones, se optó por un material más macizo, el cual se podrá adaptar de mejor manera a los requerimientos.

El material escogido corresponde de igual manera al Technyl, pero esta vez en un diámetro de 100 mm por 500mm de largo. La elección se fundamenta básicamente en la estabilidad que se podrá alcanzar, entregando mayor seguridad al proceso de mecanizado, junto con la posibilidad de trabajar a altos niveles de frecuencia, variando las velocidades de corte, pero manteniendo de manera constante el avance y profundidad.

## 2.9. PARÁMETROS ENSAYO REAL

Las opciones que nos entrega el equipo de trabajo no se adaptan a las frecuencias calculadas, por lo que trabajaremos dentro del rango de las 3 frecuencias de trabajo que nos entrega la máquina estas corresponden a 860-1400-2000 rpm.

Las velocidades de corte calculadas son solo de carácter referencial, ya que las velocidades de corte utilizadas estarán en función de lo que nos entregue la máquina.

Esto será un inconveniente para el estudio, ya que no podremos trabajar a una velocidad de corte constante, sin embargo no irá variando en gran proporción según se realice cada mecanizado, donde la profundidad utilizada es de un milímetro.

En base a esto se obtendrá un promedio de las velocidades de corte utilizadas para cada herramienta. Con la sumatoria de los tiempos medidos para cada prueba, donde sí se considerará cada nivel de desgaste por el tiempo involucrado en cada proceso de mecanizado. Se utilizarán 3 herramientas de corte, cada una a una frecuencia de trabajo, un avance y profundidad constante.

## 2.10. DESARROLLO DEL ENSAYO

Luego de describir el ensayo en términos generales, y marco teórico. Se describe un “paso a paso” del ensayo realizado en el taller, esto con la intención de demostrar al lector el procedimiento de manera clara y exacta.

### 2.10.1. Adaptación de equipos anexos al torno

En el proceso de montaje del material y disponer las condiciones de trabajo en el torno del taller, fue necesario la adaptación de un equipo que tiene por nombre Tester, para medir los cambios de consumo de potencia en cada uno de las tareas de mecanizado.



Fuente: Elaboración propia, fotografía adaptación de medidor de potencia en torno

Figura 2-11. Adaptación de equipo anexo al torno para la medida de potencia consumida

### 2.10.2. Montaje y sujeción de material de trabajo

Antes del montaje del material en el plato del torno, fue necesario primero, generar una perforación de 3 mm con la broca para la colocación de la contrapunta.

Ahora es posible asentar el material en el plato del torno. Debido a la medida del diámetro de 100 mm, fue necesario el cambio de los agarres del plato, por unos externos como se puede apreciar en la figura 2-12. Esto permitirá ajustar el agarre del material y proveer un mayor nivel de estabilidad y seguridad al momento del mecanizado de la pieza.



Fuente: Elaboración propia, fotografía sujeción y montaje del material

Figura 2-12. Montaje y sujeción de material de trabajo

### 2.10.3. Inspección herramienta de corte

Antes de posicionar la herramienta, es necesario un análisis previo de su estado y condición. Este análisis será solo de carácter cualitativo, y nos permitirá apreciar las condiciones de la superficie del filo. Con el objetivo de identificar cualquier desgaste o anomalía que pueda entorpecer la medida del desgaste que será materia de estudio y análisis en el desarrollo de este capítulo.

Una vez acondicionado el lugar, ajustado los parámetros de trabajo en la máquina de herramienta, es necesario dividir las tareas en roles, en términos operacionales y toma de datos. Esto para un desarrollo de la actividad que nos permita trabajar de forma segura y cómoda.

### 2.10.4. Mecanizado de la pieza de trabajo

Luego de haber realizado los pasos antes mencionados se puede proceder al primer proceso de mecanizado con la primera herramienta de trabajo.

Se procede al montaje de la herramienta de corte. Se ajustan las condiciones de mecanizado en el torno a una frecuencia de trabajo de 2000 rpm, velocidad de corte de 590m/min, con un avance constante de 0,05 mm, y una profundidad de 1 mm.



Fuente: Elaboración propia, fotografía mecanizado del material.

Figura 2-13. Mecanizado de la pieza de trabajo

#### 2.10.4.1. Medición de temperatura

Durante el mecanizado, se procede a medir los cambios de temperatura percibidos en el material, utilizando una pistola termo gráfica ajustada para un factor de emisividad del Technyl de 0,95. Esto facilitará comparar los niveles y cambios de temperatura asociadas a cada herramienta y parámetros ajustados.



Fuente: Elaboración propia, fotografía de medición de temperatura.

Figura 2-14. Medición de variación de temperatura en material de prueba

#### 2.10.5. Medición calidad superficial

Finalizado el proceso de cilindrado, con un comparador de rugosidad viso táctil se procede a medir la calidad superficial obtenida en el material. Esto permitirá ir comparando las diferentes calidades superficiales obtenidas en cada ensayo. Para así comprobar los efectos de cada velocidad de corte utilizada.



Fuente: Elaboración propia, fotografía medición de calidad superficial

Figura 2-15. Medición calidad superficial obtenida en material por medio de comparador viso táctil

#### 2.10.6. Medición desgaste del flanco

Una vez realizados los pasos descritos anteriormente se procede a extraer la herramienta del carro porta herramientas. Se inspecciona la herramienta en caso de quedar residuos de plástico en el filo que puedan entorpecer la medida. Se limpia con la mano o un paño que extraiga los residuos.

Una vez limpia la herramienta de corte se procede a llevar al microscopio, con el cual se realizara la medida del desgaste en la cara del flanco.

En esta parte se procura tomar la medida en el punto más alto de la zona de desgaste, con el fin de establecer un criterio de medición, y también poder así tener una medida más confiable y certera que luego pueda ser analizada y comparada con las demás medidas a realizar en las diferentes herramientas de corte utilizadas en cada ensayo.



Fuente: Elaboración propia, fotografía medición de desgaste en herramienta

Figura 2-16. Medición desgaste del flanco ( $V_b$ ), en herramienta de corte

A partir de ahora se procede nuevamente a posicionar la herramienta en el carro porta-herramienta, para realizar el mismo procedimiento de mecanizado, hasta poder alcanzar los niveles de desgaste establecidos en el criterio de desgaste de la herramienta.

Se procede a realizar el proceso de mecanizado para la siguiente velocidad de corte en el intervalo de tiempo que corresponde. Donde como se dijo anteriormente los procesos de mecanizado serán realizados con un total de 3 herramientas.

## **2.11. RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYO**

Una vez descrito el procedimiento para el ensayo, y ejecución del mismo, se procede al registro de los valores obtenidos para cada una de las herramientas utilizadas. Con el objetivo de ser analizados posteriormente en el capítulo 3 de este trabajo.

### **2.11.1. Valores obtenidos herramienta 1**

Para el primer ensayo, se realizaron 7 procesos de cilindrado con la herramienta número 1, esto con la intención de percibir los niveles de desgaste que por criterio consideramos. Correspondiente a 0,3 mm. Las velocidades de corte están asociadas a la frecuencia de la máquina, y debido a las variaciones obtenidas se obtiene un promedio de

590 (m/min) para la velocidad de corte. Los tiempos para cada ensayo están a razón de 5 min para cada proceso de cilindrado.

Tabla 2-9. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 1

<b>Tiempos (min)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Desgaste ancho de banda (Vb)</b>
5,02	628	0,07
9,92	615,4	0,11
14,95	602,9	0,11
19,96	590,3	0,23
24,54	577	0,24
29,54	565	0,24
34,1	552	0,52
<b>Promedio Vc</b>	590,0857143	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos con la herramienta

#### 2.11.1.1. Ilustración de desgaste obtenido en herramienta 1

En la siguiente ilustración se puede apreciar el desgaste obtenido en la zona del flanco de la herramienta de corte número uno, para un total de 7 ensayos con una velocidad de corte promedio de 590 (m/min), en un tiempo de 34.1 min. El desgaste alcanzado es de 0,52 mm, superando en creces el criterio establecido de 0,3 mm, como desgaste crítico.



Fuente: Elaboración propia, fotografía desgaste de flanco herramienta 1

Figura 2-17. Desgaste del flanco herramienta 1

#### 2.11.1.2. Valores secundarios ensayo 1

A continuación, se hace referencia a valores secundarios obtenidos como temperatura de trabajo, potencia de consumo de la máquina y calidad superficial obtenida. Estos valores serán indicadores que nos permitirán analizar el efecto de la velocidad de corte utilizada en cada prueba.

Tabla 2-10. Valores secundarios ensayo 1

CALIDAD SUPERFICIAL	POTENCIA CONSUMIDA (KW)	TEMPERATURA DE TRABAJO ° C
N8	2,64	113

Fuente: Elaboración propia, a partir de toma de datos

#### 2.11.1.3. Observaciones ensayo 1

Las observaciones que se hacen al ensayo 1, corresponden principalmente al comportamiento de la viruta, la cual tiende a enredarse en el material, y ser molesta para el operador. Además la calidad superficial obtenida en cada proceso de cilindrado se mantiene en N8 de manera constante.

### 2.11.2. Valores obtenidos herramienta 2

Para el ensayo con la herramienta 2, se realizaron 4 procesos de cilindrado, alcanzando un nivel de desgaste para el flanco de 0,33 mm. Además, la velocidad de corte obtenida es de 364,85 (m/min). Esto ofrece un indicador, ya que al reducir la velocidad de corte, el desgaste también decrece. Todo esto se obtuvo en un tiempo de mecanizado de 21,98 minutos. Los tiempos para cada ensayo están a razón de 5 min para cada proceso de cilindrado.

Tabla 2-11. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2

<b>Tiempos (min)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Desgaste ancho de banda (Vb)</b>
5,49	378	0,23
10,98	369,2	0,23
16,47	360,5	0,29
21,98	351,7	0,33
<b>Promedio Vc</b>	364,85	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos con la herramienta 2

#### 2.11.2.1. Ilustración de desgaste obtenido en herramienta 2

En la Figura 2-18 se puede apreciar el desgaste obtenido en la zona del flanco de la herramienta de corte número dos, para un total de 4 ensayos con una velocidad de corte promedio de 364,85 (m/min), en un tiempo de 21,98 min. El desgaste alcanzado es de 0,33 mm.



Fuente: Elaboración propia, fotografía desgaste de flanco herramienta 2

Figura 2-18. Desgaste del flanco herramienta 2

#### 2.11.2.2. Valores secundarios ensayo 2

Se introducen a los valores secundarios obtenidos que servirán de indicador para efectos de análisis de la velocidad de corte.

Tabla 2-12. Valores secundarios ensayo 2

CALIDAD SUPERFICIAL	POTENCIA CONSUMIDA (KW)	TEMPERATURA DE TRABAJO ° C
N8	1,77	98

Fuente: Elaboración propia, a partir de toma de datos

#### 2.11.2.3. Observaciones ensayo 2

En el ensayo 2, la viruta tiende a enredarse en el material, y molesta para el operador. La calidad superficial obtenida en cada proceso de cilindrado se mantiene en N8 de manera constante. La potencia consumida decrece en comparación al ensayo anterior, al igual que la temperatura de trabajo.

#### 2.11.3. Valores obtenidos herramienta 3

Con la herramienta 3 se procedieron a realizar 9 ensayos, donde el criterio de desgaste de 0,3 mm se alcanza en el noveno ensayo, con un tiempo de 55 minutos. Esto

con una velocidad de corte promedio de 212 (m/min). Los tiempos para cada ensayo están a razón de 6 min para cada proceso de cilindrado.

Tabla 2-13. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2

<b>Tiempos (min)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Desgaste ancho de banda (Vb)</b>
6,18	232,2	0,09
12,31	226,8	0,14
18,47	221	0,15
24,66	216	0,15
30,82	210	0,15
36,97	205	0,15
43,16	199,8	0,23
49,28	194,4	0,23
55,39	189	0,3
<b>Promedio Vc</b>	211,8	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos con la herramienta 3

#### 2.11.3.1. Ilustración de desgaste obtenido en herramienta 3

En la figura 2-19 se puede apreciar el desgaste obtenido en la zona del flanco de la herramienta de corte número tres, para un total de 9 ensayos con una velocidad de corte promedio de 212 (m/min), en un tiempo de 55,39 minutos. El desgaste alcanzado es de 0,3 mm, correspondiente al criterio de desgaste establecido.



Fuente: Elaboración propia, fotografía desgaste de flanco herramienta3

Figura 2-19. Desgaste del flanco herramienta 3

### 2.11.3.2. Valores secundarios ensayo 3

Enseguida se exponen los valores secundarios obtenidos en el ensayo 3. Como observación se hace referencia al comportamiento de la viruta el cual se mantiene constante tomando en cuenta los ensayos anteriores.

Tabla 2-14. Valores secundarios ensayo 3

CALIDAD SUPERFICIAL	POTENCIA CONSUMIDA (KW)	TEMPERATURA PROMEDIO DE TRABAJO ° C
N7	1,38	95

Fuente: Elaboración propia, a partir de toma de datos

### 2.11.3.3. Observaciones ensayo 3

En el ensayo 3, la viruta presenta el mismo comportamiento errático que los ensayos anteriores. La potencia de consumo decrece en comparación al ensayo 2, junto con la temperatura de trabajo.

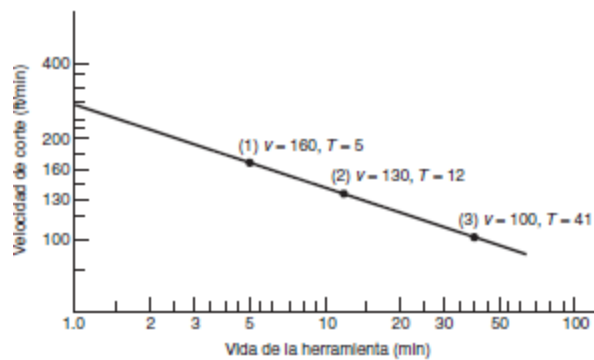
**CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS**  
**OBTENIDOS**

### 3. MARCO TEORICO DEL ENSAYO

En el desarrollo de este capítulo se dará a conocer la ecuación de Taylor y las pautas de cómo poder aplicarla, junto a cada una de sus variables.

Este análisis se desprende de los datos obtenidos para cada una de las herramientas utilizadas con las velocidades de corte asociadas

La velocidad de corte es el parámetro de mayor importancia e influencia en el desgaste de una herramienta de corte, posteriormente le sigue el avance y la profundidad de corte, junto con el tiempo de mecanizado, es aquí donde se desprende la ecuación de Taylor, que intercepta estas dos variables de Velocidad de corte (Vc) y tiempo (t) en una gráfica logarítmica que nos permitirá apreciar el desgaste gradual que tendrá la herramienta.



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna, Mikell P. Groover

Figura 3-1. Gráfica en escala log-log de la velocidad de corte contra vida de la herramienta

La ecuación de Taylor mide el nivel de desgaste que se produce en una herramienta de corte, relacionando diferentes factores, como el material, herramienta, entre otros. A continuación, se presenta la ecuación extendida de Taylor.

$$vT^n f^m d^p H^q = KT_{\text{ref}}^n f_{\text{ref}}^m d_{\text{ref}}^p H_{\text{ref}}^q$$

Dónde:

- $f$ : Avance, mm (in);
- $d$ : Profundidad de corte, mm (in);
- $H$ : Dureza material de trabajo, expresada en una escala apropiada de dureza;  $m$ ,  $p$  y  $q$  son exponentes cuyos valores se determinan experimentalmente
- $K$ : constante análoga a  $C$
- La  $f_{\text{ref}}$ ,  $d_{\text{ref}}$  y  $H_{\text{ref}}$  son los valores de referencia para el avance, la profundidad de corte y la dureza. Los valores de  $m$  y  $p$ , los exponentes para la alimentación o avance y la profundidad son menores que 1.0.

Esto demuestra los efectos más grandes de la velocidad de corte sobre la vida de la herramienta, ya que el exponente de  $v$  es 1.0. Después de la velocidad sigue en importancia el avance, y así  $m$  tiene un valor más grande que  $p$ . El exponente para endurecimiento por trabajo,  $q$ , también es menor que 1.0.

La ecuación extendida de Taylor, resulta complicada de ser analizada en un ensayo como el que se llevara a cabo. Esto debido a la gran cantidad de factores involucrados que se requieren controlar. Como tipo de material de trabajo, material de la herramienta de corte, profundidad de trabajo, avance, entre otros.

La ecuación reducida de Taylor relaciona la velocidad de corte versus el tiempo de mecanizado, interceptando estas dos variables en una gráfica.

A continuación, se muestra la ecuación reducida de Taylor, la cual resulta más fácil y práctica de usar, debido al uso de parámetros como tiempo y velocidad de corte.

$$vt^n = C$$

Dónde

- $V$ : Velocidad de corte en m/min
- $T$ : Tiempo vida útil, en un minuto de trabajo.
- $n$ : Se relaciona con el tipo de material de trabajo, en términos gráficos, corresponde a la pendiente de la recta obtenida en la gráfica logarítmica que relaciona la velocidad de corte y el tiempo de trabajo involucrado.

- C: Se relaciona con la velocidad de corte que es rescatada de la gráfica logarítmica de velocidad de corte vs tiempo, que relaciona el nivel de desgaste a cada una de estas dos variables.

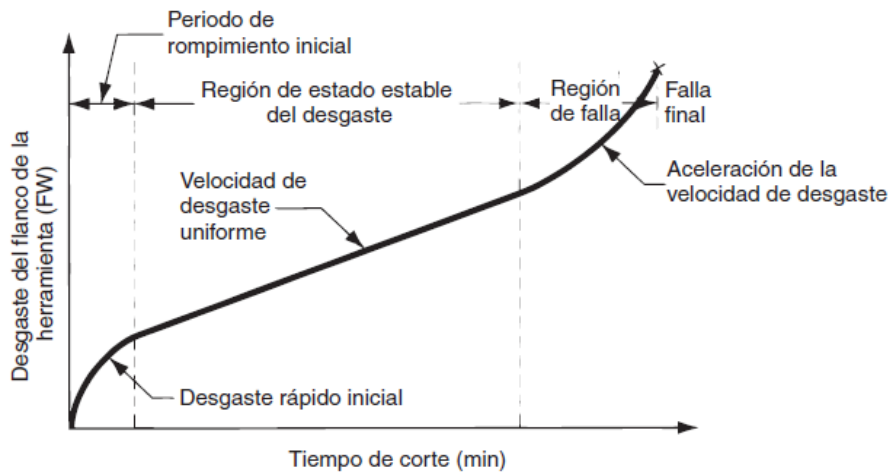
### 3.1. VIDA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE EN LA ECUACIÓN DE TAYLOR

En el proceso de mecanizado existen diferentes factores que intervienen en el desgaste de una herramienta de corte. Como se describió anteriormente en la ecuación de Taylor, donde el desgaste de una herramienta está en función del tiempo, y velocidad de corte utilizada.

El estudio del desgaste de la herramienta corresponderá a la zona del flanco de la herramienta. La zona del flanco junto con el cráter tiene un comportamiento similar en la curva de desgaste. Donde se percibe un patrón en los niveles de desgaste y tiempo involucrado en cada etapa del desgaste de la herramienta. Las cual pueden ser identificadas en la gráfica que se muestra en la figura 3-2.

#### 3.1.1. Comportamiento desgaste de herramienta

El periodo de rompimiento inicial corresponde al desgaste del borde del filo, que se producen forma rápida en los primeros minutos de corte. Luego le sigue una región de estado estable, donde el desgaste no aumenta en forma considerable, hasta la región de falla que es donde variables como el tiempo de mecanizado, y temperatura de trabajo influyen en el rendimiento de la herramienta, produciendo el nivel de desgaste más alto.



Fuente: de manufactura moderna, Mikell P. Groover

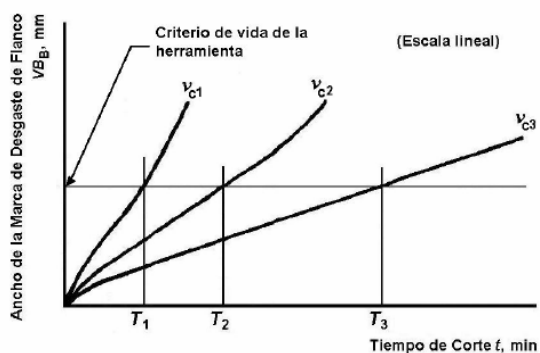
Figura 3-2. Desgaste de la herramienta en función del tiempo de corte

Es posible interceptar las variables desgaste de flanco y cráter, ya que se pueden producir en forma paralela, en caso de estimarse conveniente.

En el desarrollo de este trabajo se dará enfoque solo al desgaste del flanco de cada herramienta de corte.

Lo que será de mayor importancia será interceptar cada una de las gráficas correspondientes al desgaste de las herramientas utilizadas con su respectiva velocidad de corte. Esto permitirá tener un marco comparativo del comportamiento del nivel de desgaste obtenido en cada prueba.

A continuación, se muestra una gráfica representativa de lo descrito anteriormente.



Fuente: Fuente: de manufactura moderna, Mikell P. Groover

Figura 3-3. Efecto de la velocidad de corte sobre el desgaste de flanco de la herramienta para tres velocidades de corte

### **3.2. REGISTRO DE DATOS**

A continuación, se introduce al registro de datos junto a su respectivo análisis.

El análisis de la toma de datos hace referencia al comportamiento del desgaste de la herramienta asociado a la velocidad de corte utilizada.

El comportamiento del desgaste obtenido en la herramienta se ve representado en una gráfica lineal. En esta grafica se puede además apreciar el nivel de desgaste alcanzado, utilizando como referencia el criterio de desgaste establecido con anterioridad en una línea horizontal que atraviesa el eje de las abscisas

Una vez obtenida cada una de las gráficas asociadas a las herramientas utilizadas. Se procede a interceptar cada una de estas, para efectos de análisis de cada velocidad de corte.

### **3.3. RESULTADOS OBTENIDOS PARA VALORES DE DESGASTE VERSUS TIEMPO**

A continuación, se introduce a los valores obtenidos asociados al desgaste del flanco de la herramienta en función del tiempo. Se desarrolla un análisis explicativo de los resultados obtenidos con cada herramienta utilizada. Además, se desarrollan las gráficas correspondientes al comportamiento del desgaste en función del tiempo.

#### **3.3.1. Valores obtenidos herramienta 1**

Para el primer ensayo, se realizaron 7 procesos de cilindrado. La velocidad de corte corresponde a 590 (m/min). El desgaste alcanzado es de 0,52 mm en un tiempo de 34,1 min.

Tabla 3-1. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 1

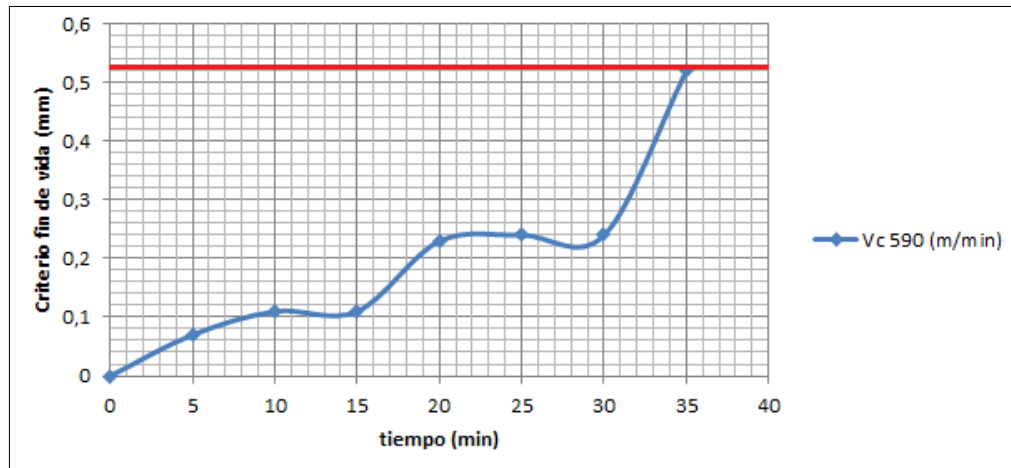
<b>Tiempos (min)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Desgaste ancho de banda (Vb)</b>
0	0	0
5,02	628	0,07
9,92	615,4	0,11
14,95	602,9	0,11
19,96	590,3	0,23
24,54	577	0,24
29,54	565	0,24
34,1	552	0,52
<b>Promedio Vc</b>	590,0857143	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos con la herramienta 1

### 3.3.1.1. Grafica Vb vs tiempo herramienta 1

Para la gráfica que se muestra continuación, se interceptan los valores de desgaste versus tiempo o vida de la herramienta, medida en minutos. La curva obtenida corresponde al comportamiento de la herramienta frente al desgaste para diferentes tiempos. La curva tiene el comportamiento esperado, pudiéndose identificar cada una de las etapas del desgaste, donde primero se obtiene un desgaste acelerado, en un tiempo reducido, para mantenerse casi de manera estable, hasta subir nuevamente alcanzando el criterio establecido, incluso superarlo.

Se obtiene el desgaste promedio del flanco, el cual es señalado en el grafico 3-1. El desgaste del flanco obtenido (Vb), es de 0,52 mm, para un tiempo de 34,1 min.



Fuente: Elaboración propia, a partir de valores obtenidos en ensayo con herramienta 1

Gráfico 3-1. Grafica de desgaste vs tiempo, herramienta 1

### 3.3.2. Valores obtenidos herramienta 2

Para el ensayo con la herramienta 2, se realizaron 7 procesos de cilindrado, alcanzando un nivel de desgaste para el flanco de 0,33 mm. Además, la velocidad de corte obtenida es de 364,85 (m/min).

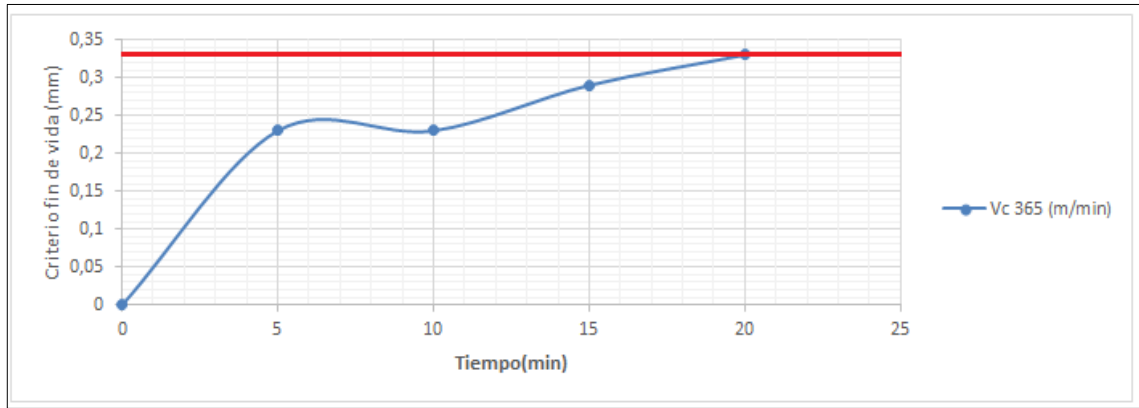
Tabla 3-2. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2

Tiempos (min)	Vc (m/min)	Desgaste ancho de banda (Vb)
5,49	378	0,23
10,98	369,2	0,23
16,47	360,5	0,29
21,98	351,7	0,33
Promedio Vc	364,85	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos con la herramienta 2

#### 3.3.2.1. Grafica Vb vs tiempo herramienta 2

El desgaste obtenido para la herramienta 2 corresponde a 0,33 mm en un tiempo de 21,98 min.. El comportamiento del nivel de desgaste del flanco de la herramienta, se desarrolla de igual manera que con la herramienta 1.



Fuente: Elaboración propia, a partir de valores obtenidos en ensayo con herramienta 2

Grafico 3-2. Grafica de desgaste vs tiempo, herramienta 2

### 3.3.3. Valores obtenidos herramienta 3

Con la herramienta 3 se realizaron 9 procesos de cilindrado, donde el criterio de desgaste de 0,3 mm se alcanza en un tiempo de 55 min, con una velocidad de corte promedio de 212 (m/min).

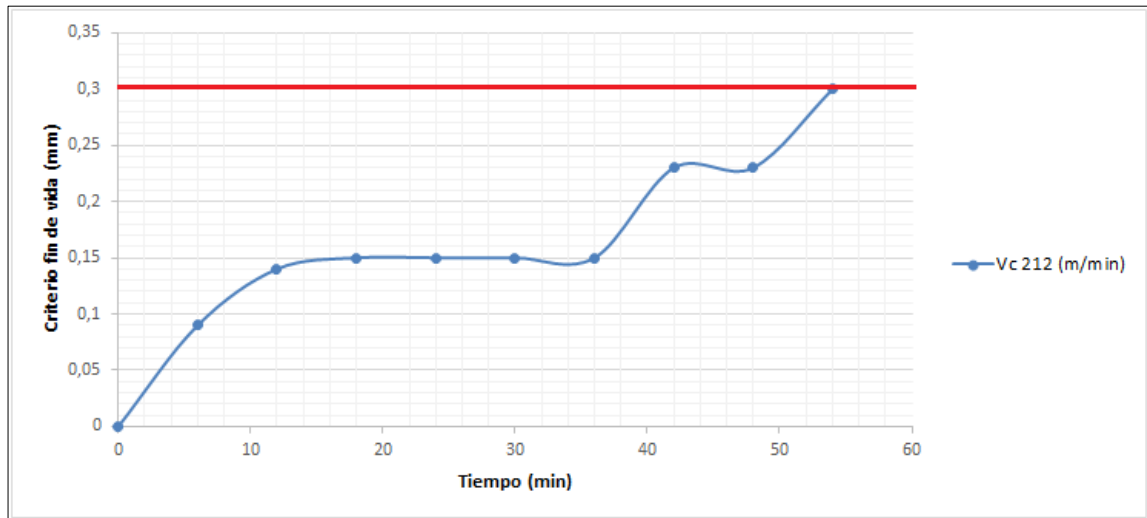
Tabla 3-3. Registro de desgaste vs tiempo, herramienta 2

Tiempos (min)	Vc (m/min)	Desgaste ancho de banda (Vb)
0	0	0
6,18	232,2	0,09
12,31	226,8	0,14
18,47	221	0,15
24,66	216	0,15
30,82	210	0,15
36,97	205	0,15
43,16	199,8	0,23
49,28	194,4	0,23
55,39	189	0,3
<b>Promedio Vc</b>	211,8	

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados obtenidos con la herramienta 3

### 3.3.3.1. Grafica Vb vs tiempo herramienta 3

En el Gráfico 3-3 que se muestra, para la velocidad de corte de 212 (m/min), se aprecia el mismo comportamiento para el desgaste de flanco, donde en una primera etapa alcanza un desgaste acelerado, para luego mantenerse casi de manera constante hasta alcanzar el criterio de desgaste establecido.



Fuente: Elaboración propia, a partir de valores obtenidos en ensayo con herramienta 3

Gráfico 3-3. Elaboración propia, a partir de valores obtenidos en ensayo con herramienta

## 3.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los valores obtenidos en cada una de las pruebas realizadas permitieron desarrollar la curva de desgaste para cada herramienta de corte utilizada. Esto acompañado del criterio de desgaste el cual se destaca como una línea que cruza de manera horizontal. De tal manera de poder identificar cuando la curva alcanza el criterio establecido.

Ahora se procede a desarrollar una gráfica que muestre el comportamiento de las velocidades de corte en conjunto, asociadas a cada herramienta de trabajo.

Para luego calcular la ecuación de Taylor para un criterio de desgaste de 0,3 mm para una herramienta de acero rápido en el mecanizado con Technyl.

### 3.5. VALORES DE DESGASTE VERSUS TIEMPO PARA LAS 3 VELOCIDADES DE CORTE

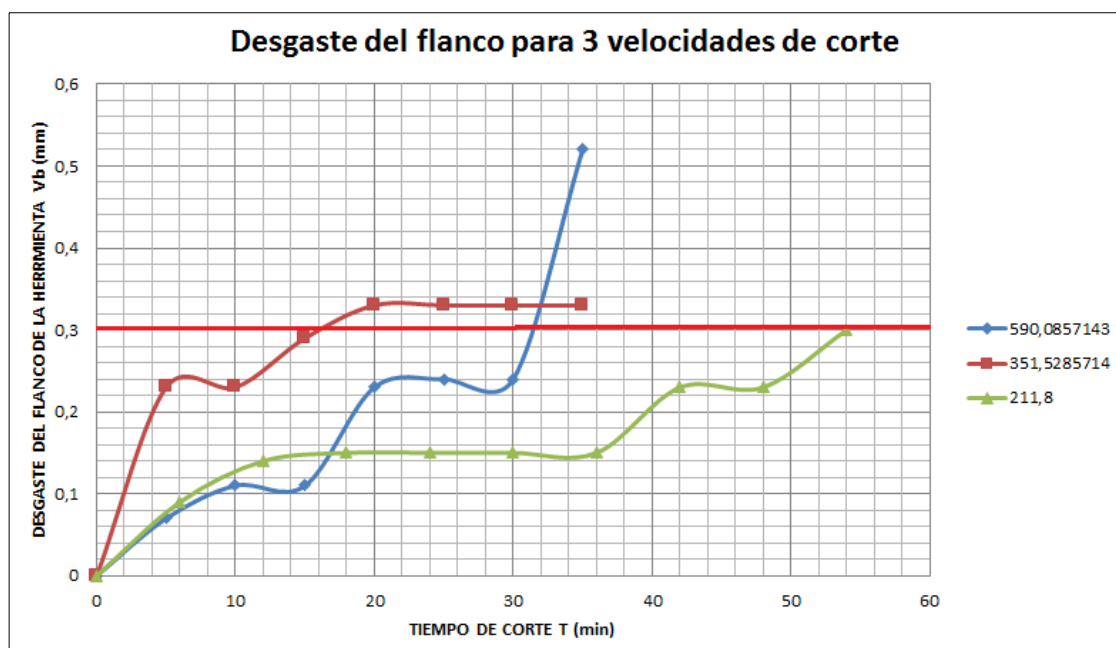
En la gráfica 3-4.se interceptan las tres velocidades de corte asociadas a cada herramienta para el criterio de desgaste del flanco de 0,3 mm, valor que intercepta de manera horizontal las curvas de desgaste.

A través de la gráfica se pueden identificar los distintos niveles de desgaste alcanzados para cada una de las velocidades de corte.

Donde para cada velocidad se aprecian ligeras diferencias, necesarias de destacar. Las cuales están asociadas a cada velocidad de corte utilizada.

Estas diferencias se aprecien en términos de como la curva se acerca con mayor rapidez al criterio de desgaste establecido. Según la velocidad de corte decrece el criterio de desgaste demora más en alcanzarse. Esto ofrece un importante indicador para efectos de establecer una velocidad e corte apropiada.

Luego de tener los resultados asociados al desgaste en función de la velocidad de corte, se procede a aplicar la ecuación de Taylor para obtener una velocidad de corte teórica en la cual la vida de la herramienta es de 1 min de trabajo.



Fuente: Elaboración propia, a partir de valores obtenidos para cada herramienta utilizada.

Gráfico 3-4. Grafica efecto de la velocidad de corte sobre desgaste del flanco para tres velocidades de corte

### 3.6. CÁLCULOS DE C Y N PARA LA ECUACIÓN DE TAYLOR PARA LA VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

Una vez analizado el desgaste de la herramienta de corte para cada prueba se procede a evaluar los datos obtenidos a través de un análisis de regresión lineal simple. Esto permitirá obtener las variables de “C” y “n”, para el cálculo de la ecuación de Taylor.

El análisis de regresión lineal simple es un método estadístico, este método ayuda ajustar la línea a partir de un cierto conjunto de datos. La línea es ajustada por el método de mínimos cuadrados, el cual menciona que la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los puntos y la línea sea mínima.

Para el desarrollo de la tabla 3-4, a cada velocidad de corte, con el tiempo asociado, se calculan las variables expuestas. Primeramente X, o sea logaritmo de la velocidad de corte, para Y, el logaritmo del tiempo. Una vez obtenidos estos valores se procede a calcular los demás valores, en este caso  $X*Y$ ,  $X^2$  e  $Y^2$ .

Ejemplo, para la velocidad de corte de 212 m/min, con un tiempo de 55,39 min, se calcula el log de Vc, dando 2,32. Para obtener Y, se calcula el log del tiempo, para proceder al cálculo de las demás variables presentadas en la tabla.

Tabla 3-4. Calculo de n y C para ecuación de Taylor

N° pruebas	Vc (m/min)	T(min)	X=log Vc	Y=log T	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	212	55,39	2,3263	1,7434	4,0557	5,4117	3,0394
2	365	21,98	2,5622	1,3420	3,4384	6,5648	1,8009
3	590	34,1	2,7708	1,5328	4,2471	7,6773	2,3495
			ΣX= 7,6593	ΣY= 4,6182	ΣXY= 11,7412	ΣX <sup>2</sup> = 19,6538	ΣY <sup>2</sup> = 7,1898
			(ΣX) <sup>2</sup> = 58,6648	ΣX*ΣY= 35,3721			
			(ΣX) <sup>2</sup> /N= 19,5549	ΣX*ΣY/N= 11,7907			

Fuente: Elaboración propia, a partir de valores obtenidos en los ensayos realizados. Y<sup>2</sup>

El número de pruebas realizada se asocia cada velocidad de corte y corresponde al valor de N, para el desarrollo del cálculo en la obtención de las variables C y n.

(Número de pruebas N: 3)

Se procede a desarrollar el cálculo para la obtención C. Primeramente se calcula  $\bar{X}$ , correspondiente a  $\Sigma X/N$  (sumatoria de X, dividido en el número de pruebas)

$$\bar{X} = \Sigma X/N = 2,5531$$

Luego al cálculo de  $\bar{Y}$ , correspondiente a  $\Sigma Y/N$  (sumatoria de Y, dividido en el número de pruebas. Para posteriormente calcular n a través de la formula especificada mas abajo.

$$a = \bar{Y} = \Sigma Y/N = 1,5394$$

$$n = \Sigma XY - (\Sigma X * \Sigma Y/N) / \Sigma X^2 - ((\Sigma X)^2 / N) = -8,0148$$

$$-1/n = 0,124$$

$$\text{Log } C = \bar{X} - Y/\bar{n} = 2,7684$$

$$C = 913.93 \left( \frac{m}{\text{min}} \right)$$

### 3.6.1. Ecuación de Taylor para la vida de la herramienta

El objetivo de este trabajo es poder encontrar la ecuación de Taylor para la vida de herramienta en el mecanizado del Technyl, esto bajo los parámetros establecidos para el ensayo.

Donde se puede obtener la ecuación asociada a cada velocidad de corte de tal manera de poder optimizar el proceso de mecanizado, con el uso de una velocidad de corte apropiada. Que permita extender la vida útil de la herramienta de corte.

A continuación, se detalla el valor obtenido para la ecuación.

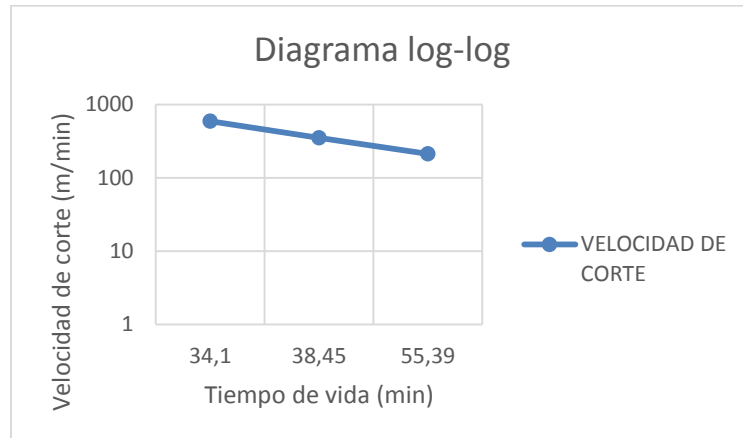
$$VcT^{-1/n} = C$$

$$VcT^{0,136} = 914 \text{ m/min}$$

### 3.6.2. Diagrama vida de herramienta

Para efectos de análisis se desarrolla un diagrama logarítmico en base al desgaste del flanco de la herramienta de corte en función del tiempo y velocidad de cote utilizada. Esto permitirá comprobar el desgaste de la herramienta en función de los parámetros antes mencionados.

La principal característica que se rescata es la pendiente de la curva, ya que esta indicará el nivel de desgaste que tendrá la herramienta en función de la velocidad de corte empleada y tiempo de mecanizado involucrado. Para materiales duros la pendiente de la curva (n), tiende a ser más aguda, incluso llegando a valores negativos. Para materiales más dúctiles, como lo es para este caso, la pendiente de la curva tiende a disminuir como se muestra en la grafico 3-5.



Fuente: Elaboración propia, diagrama log-log velocidad de corte en función del tiempo

Gráfico 3-5. Grafica log-log, tiempo de vida en función de la velocidad de corte

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

En la elaboración de este trabajo se abordaron diferentes aspectos referentes al conformado de plásticos, donde se identificaron los diferentes procesos asociados a la confección de piezas. Además se identifica la problemática referente al mecanizado en plásticos como proceso de conformación, donde las condiciones y parámetros de trabajo no son las óptimas.

A partir de este punto se aplica una metodología de ensayo, donde cada una de las variables de trabajo, como herramienta de corte, material de trabajo, entre otros, son controladas a partir de fundamentos técnicos y teóricos. De tal manera de poder desarrollar las mejores condiciones para la realización del ensayo.

En el desarrollo de este trabajo, que tenía por objetivo establecer un parámetro de mecanizado del Technyl en operaciones de cilindrado para una herramienta de acero rápido, se pudo aplicar la ecuación de Taylor correspondiente, junto con las variables asociadas a la ecuación, por medio de un análisis de regresión lineal, por método de cuadrados.

Se comprueba el aumento de desgaste en la herramienta asociado al aumento en la velocidad de corte para el proceso de mecanizado. Donde se puede comprobar a través de los valores obtenidos en cada una de las herramientas utilizadas. Donde para la herramienta 1 a una velocidad de corte de 590 (m/mi), se obtuvo un desgaste de 0,52 mm en un tiempo de 34,1 min, y para la velocidad de corte más baja de 212 (m/min) se obtuvo el criterio establecido, o sea 0,3 mm en un tiempo de 55 min.

Además se comprueba el aumento de consumo de potencia al aumentar la velocidad de corte, junto con la temperatura de trabajo en el material de prueba.

Se comprueba el comportamiento del desgaste de la herramienta, a través de las gráficas obtenidas de los resultados de los ensayos, Identificando cada una de las etapas que atraviesa la herramienta al desgastarse, donde en una primera etapa la herramienta presenta un desgaste acelerado, para pasar a un estado estable, y terminar en un desgaste pronunciado, alcanzando y superando el criterio de desgaste establecido para el desarrollo del ensayo

El inconveniente que presento el mecanizado del material, es la viruta obtenida, la cual tendía a enredarse y ser muy molesta para el operador.

Para la mejora de este factor se recomienda modificar los avances y profundidad utilizada para controlar la salida de la viruta. Estas dos variables se utilizaron de forma constante para cada uno de los ensayos realizados. Sin embargo se realizaron diferentes

pruebas para testear el comportamiento y salida de la viruta. Esto variando el avance y profundidad. Pudiéndose comprobar la mejora en la salida aumentando el avance y profundidad de manera proporcional a los parámetros establecidos para este ensayo.

Al concluir este trabajo se adquieren el conocimiento para la metodología de trabajo en el ensayo propuesto, siendo un punto de partida para el estudio de plásticos y procesos de mecanizado en este tipo de materiales.

Se evalúan los objetivos establecidos en el trabajo, los cuales correspondían a establecer una velocidad de corte para el mecanizado del Technyl, junto con definir las variables asociadas al proceso de mecanizado, estableciendo los parámetros de trabajo para el ensayo, bajo fundamentos técnicos, pudiendo obtener una tanda de datos que se pudieron analizar y comparar.

Se obtiene la ecuación de Taylor, y la variable C de esta ecuación. Esta variable corresponde a la velocidad de corte teórica en la que herramienta no alcanza a sufrir desgaste en un minuto de trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Fundamentos de manufactura moderna, Mikell P. Groover, 3 Edición, página 543

Herramientas para tornear, Sandvick Coromant, página 326-330.

ASM Handbook, machining volumen 16

Manual del ingeniero mecánico

La biblia del mecánico, Jorge klahn H.

Herramientas de corte, Casillas Arcadio

Tesis, diseño y desarrollo de ensayo para determinar la vida en insertos intercambiables de corte bajo criterio de desgaste de flanco en procesos de torneado, Laura L. Ariza C. 2006

Ensinger, directrices de mecanizado en plásticos

Plastigen, ficha técnica Technyl.

La construcción de herramientas, Robert Lehnert.