



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO PARA LA
MEDICIÓN DE LA FUERZA DE CORTE EN EL PROCESO DE
ARRANQUE DE VIRUTA EN UN TORNO**

Arón Estuardo de León Lemus

Asesorado por el Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández

Guatemala, junio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO PARA LA MEDICIÓN
DE LA FUERZA DE CORTE EN EL PROCESO DE ARRANQUE DE VIRUTA
EN UN TORNO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARÓN ESTUARDO DE LEÓN LEMUS

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MANUEL RUIZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Raúl Guillermo Izaguirre Noriega
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO PARA LA MEDICIÓN DE LA FUERZA DE CORTE EN EL PROCESO DE ARRANQUE DE VIRUTA EN UN TORNO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha de 2 febrero de 2010.

Arón Estuardo de León Lemus

ACTO QUE DEDICO A

MIS PADRES

Miguel Ángel de León Castro y María Ester Lemus Alay.

MIS HERMANOS

Melvin de León Lemus, Ángel de León Lemus y Cindy Anahí de León Lemus.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por el milagro de la vida y que me ha dado sabiduría, dedico este triunfo.

MIS PADRES

Miguel Ángel de León Castro, ejemplo de lucha y tenacidad y María Ester Lemus Alay, por haberme guiado a través de este largo camino, benditos sean mis viejos.

MI HERMANOS

Melvin Joel de León Lemus, Ángel Alberto de León Lemus, por sus consejos y siempre inculcarme el camino de la responsabilidad, Cindy Anahí de León Lemus, que ha sido una luz en mi camino.

MI FAMILIA

A cada uno de mis tíos, tías y primos que siempre me apoyaron moralmente, les agradezco sus consejos.

MIS AMIGOS

A todas aquellas personas que compartieron los buenos y malos momentos vividos a lo largo de esta etapa (Eder Sacap, Honeywell González, Erick Paiz, Hugo Cruz, etc.), en especial a Luis Sapón que me brindó su amistad sincera y sus sabios consejos.

CENTRO DE ESTUDIOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

**ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

A sus docentes y personal administrativo.

INGENIERO VÍCTOR RUIZ

A quien agradezco su apoyo incondicional durante la realización de esta tesis.

LAS EMPRESAS

INTECAP, Soluciones Plásticas y Técnica Mecánica Herlo, por haberme brindado la oportunidad de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. FUNDAMENTOS DE MECANIZADO	1
1.1. Herramientas para mecanizar	1
1.1.1. Acción de la cuña al cortar, arrancar o partir	1
1.1.2. Acción de la cuña al mecanizar	4
1.1.3. Ángulos en el mecanizado.....	6
1.1.3.1. Ángulo de filo (β).....	7
1.1.3.2. Ángulo de ataque (γ)	7
1.1.3.3. Ángulo de incidencia (α).....	7
1.1.4. Magnitud de los ángulos	8
1.1.5. Ángulos para distintas clases de herramientas.....	10
1.1.6. Clases de virutas	12
1.1.6.1. Viruta plástica o continua (figura 10 a)	13
1.1.6.2. Viruta cortada (figura 10b)	13
1.1.6.3. Viruta arrancada (figura 10 c)	13
1.2. Proceso en el mecanizado	14
1.2.1. Movimientos en el mecanizado.....	14
1.2.2. Medición de movimientos	18

1.2.3.	Movimiento de corte	19
1.2.3.1.	Movimiento rectilíneo de corte.....	19
1.2.3.2.	Movimiento circular de corte.....	21
1.3.	Máquinas para mecanizar	22
1.3.1.	Clasificación de las máquinas	22
1.3.2.	Movimientos en las máquinas herramientas	24
1.3.3.	Movimientos y procedimientos de trabajo	25
2.	MECANIZACIÓN POR TORNEADO	29
2.1.	Herramientas para el torneado.....	29
2.1.1.	Designación en el útil de corte.....	29
2.1.2.	Clases de cuchillas en el torno	32
2.1.3.	Esfuerzos que actúan sobre la cuchilla de tornear	34
2.1.4.	Esfuerzos de corte específicos.....	38
2.1.5.	Ángulos de las cuchillas de tornear	40
2.1.6.	Materiales para las herramientas de corte	42
2.2.	Partes del torno	49
2.2.1.	Bancada	49
2.2.2.	Carro principal o longitudinal	50
2.2.3.	Caja de maniobras	53
2.2.4.	Caja de husillo.....	54
2.2.5.	Mecanismo de avance	58
2.2.6.	Husillo de roscar y cilindrar	62
2.2.7.	El cabezal móvil	64
3.	DISEÑO DEL DINAMÓMETRO	67
3.1.	El dinamómetro	67
3.2.	Características del diseño	68
3.3.	Cálculo de la fuerza de corte.....	70

3.4.	Deflexión máxima de una viga en voladizo.....	80
3.5.	Cálculos para la deflexión máxima en el dinamómetro	82
4.	CONSTRUCCIÓN DEL DINAMÓMETRO	87
4.1.	Dimensionamiento.....	87
4.2.	Proceso de maquinado para realizar los componentes del dinamómetro.....	88
4.2.1.	Fresado.....	88
4.2.2.	Taladrado.....	92
4.2.3.	Roscado.....	93
4.2.4.	Limado.....	94
5.	CALIBRACIÓN DEL DINAMOMETRO	97
5.1.	Instrumentos de Medición para la calibración.....	97
5.1.1.	La báscula (del francés Bascule).....	97
5.1.2.	Reloj comparador.....	99
5.2.	Toma de mediciones	100
5.3.	Gráfica de Calibración	103
5.4.	Pendiente de la curva de la sensibilidad del instrumento (k) .	112
6.	INSTALACIÓN DEL MONTAJE PARA LA PRUEBA DEL DINAMÓMETRO	115
6.1.	Posición de los elementos	116
6.2.	Montaje de los elementos.....	116
6.3.	Toma de datos para las pruebas que requiere cada práctica	119
6.4.	Prácticas con buriles de HSS, Cobalto al 5% y Tungsteno ...	119
	CONCLUSIONES	131
	RECOMENDACIONES	133
	BIBLIOGRAFÍA.....	135

APÉNDICES..... 137
ANEXOS..... 143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Principio de la cuña en las herramientas de corte.....	2
2.	Acción de corte de la cuña	3
3.	Acción de recalado o aplastamiento de la cuña	4
4.	Constitución de la viruta	5
5.	El útil de corte arranca virutas.....	6
6.	Designación de los ángulos de los filos de la herramienta.....	8
7.	Ángulos de ataque	8
8.	Relación entre el ángulo de ataque y el material de la pieza	10
9.	Ángulos para distintas clases de herramientas	11
10.	Principales clases de virutas	12
11.	Movimientos de la cepilladora	15
12.	Movimiento del torno	15
13.	Movimiento de la fresadora	16
14.	Movimiento durante el mecanizado.....	16
15.	Movimiento durante el rectificado.....	18
16.	Recorrido o camino de del corte y tiempo de corte	20
17.	La velocidad de corte en metros por minuto	21
18.	Clasificación de las máquinas	23
19.	Movimientos en el torneado	25
20.	Movimientos en el fresado	26
21.	Movimientos en el cepillado	27
22.	Movimientos en el taladrado	28
23.	Movimientos en el rectificado plano	28

24.	Designaciones en el buril.....	30
25.	Altura negativa en el buril	30
26.	a) buril derecho, b) buril izquierdo.....	31
27.	Forma fundamental de los buriles de torno.....	32
28.	Clases de buriles para trabajos externos.....	32
29.	Clases de buriles para trabajos internos.....	33
30.	Plaquetas para torno.....	34
31.	Acción de las fuerzas que actúan sobre la cuchilla del torno.....	35
32.	Sección transversal de la viruta ($A = a \times s$).....	36
33.	Fuerza de oscilación de la cuchilla en el torno	37
34.	Medición de los esfuerzos que actúan sobre la cuchilla de torno	37
35.	Ejemplo 2.....	40
36.	Ángulo de ataque negativo en un buril de corte.....	42
37.	Elección del material de una herramienta de corte	43
38.	Formas de plaquetas o insertos de metal duro	48
39.	Bancada del torno.....	50
40.	Torno con escote	50
41.	Carro principal.....	51
42.	Carro transversal	52
43.	Carro superior	52
44.	Carro porta útil	53
45.	Delantal.....	54
46.	Caja de husillo	55
47.	Husillo principal con cabeza de husillo roscado.....	55
48.	Husillo principal de mecanismo de bayoneta.....	56
49.	Accionamiento del husillo principal (mecanismo tipo PIV)	58
50.	Mecanismo de avance	59
51.	Mecanismo de avance por correas.....	60
52.	Mecanismo de avance Norton	61

53.	Mecanismo de avance Norton y ruedas correderas	62
54.	Husillo de roscar	63
55.	Husillo de avance	64
56.	Cabezal móvil.....	65
57.	Curva esfuerzo vs deformación en los aceros	68
58.	Proyección Isométrica del dinamómetro	69
59.	Acción de la herramienta de corte.....	71
60.	Fuerzas ejercidas por una herramienta de corte	72
61.	Sistemas de fuerzas y velocidades de corte	73
62.	Esquema de una viga en voladizo	80
63.	Nomenclatura de la viga del dinamómetro	82
64.	Vista frontal del dinamómetro.....	87
65.	Material inicial para la construcción del dinamómetro	88
66.	Montaje del material en la prensa	89
67.	Medidas del rectángulo del proceso de fresado	89
68.	Rebaje para sujeción del dinamómetro en el torno	90
69.	Mecanizado de rebaje para la sujeción del dinamómetro en el torno ..	91
70.	Medidas de la ranura.....	91
71.	Mecanizado de la ranura.....	92
72.	Medidas de los agujeros	93
73.	Mecanizado de los agujeros.....	93
74.	Roscas internas	94
75.	Cuadrado interno	95
76.	Dinamómetro terminado.....	95
77.	Báscula con muelle elástico	98
78.	Base magnética y reloj comparador	100
79.	Colocación del dinamómetro y buril en el torno	101
80.	Colocación del reloj comparador respecto al dinamómetro.....	101
81.	Colocación de la báscula y el peso respecto al dinamómetro.....	102

82.	Colocación de diferentes pesos en el dinamómetro	103
83.	Deformación del dinamómetro con peso de 6 kgf.....	104
84.	Deformación del dinamómetro con peso de 12 kgf.....	105
85.	Deformación del dinamómetro con peso de 28 kgf.....	106
86.	Deformación del dinamómetro con peso de 40 kgf.....	107
87.	Deformación del dinamómetro con peso de 56 kgf.....	108
88.	Gráfica fuerza vs deformación en el dinamómetro.....	110
89.	Gráfica fuerza vs deformación en el dinamómetro.....	111
90.	Elementos para la prueba del dinamómetro	115
91.	Posición de los elementos para prueba del dinamómetro	116
92.	Montaje de contrapunto para la prueba del dinamómetro.....	117
93.	Montaje del material para la prueba del dinamómetro	117
94.	Montaje del dinamómetro en el portaherramientas.....	118
95.	Montaje del reloj comparador para la prueba del dinamómetro	118
96.	Posición inicial del dial del reloj comparador antes de cada prueba ...	120
97.	Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 1$ mm.....	120
98.	Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 2$ mm.....	121
99.	Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 3$ mm.....	121
100.	Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 4$ mm.....	122
101.	Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5% con $w = 1$ mm..	123
102.	Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5% con $w = 2$ mm..	124
103.	Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5% con $w = 3$ mm..	124
104.	Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5% con $w = 4$ mm..	125
105.	Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 1$ mm.....	126
106.	Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 2$ mm.....	127
107.	Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 3$ mm.....	127
108.	Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 4$ mm.....	128

TABLAS

I.	Herramientas para arranque de viruta.....	10
II.	Presión de corte específica para materiales con diferente resistencia ...	38
III.	Valores de orientación para ángulos de cuchillas para torneear	41
IV.	Composición de aceros de herramientas	46
V.	Deformación del dinamómetro con peso de 6kgf	104
VI.	Deformación del dinamómetro con peso de 12 kgf	105
VII.	Deformaciones del dinamómetro con peso de 28 kgf	106
VIII.	Deformación del dinamómetro con peso de 40 kgf	107
IX.	Deformaciones del dinamómetro con peso de 56 kgf	108
X.	Resumen de deformaciones del dinamómetro con diferentes pesos ...	109
XI.	Deformaciones del dinamómetro con buril de HSS.....	122
XII.	Deformaciones del dinamómetro con buril de Co al 5%.....	125
XIII.	Deformaciones del dinamómetro con buril de Tungsteno	128
XIV.	Comparación entre la fuerza de corte teórica y experimental	129

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HSS	Acero de Alta Velocidad
Co	Cobalto
Gpa	Giga Pascales
HP	<i>Horse Power</i> (Caballos de fuerza)
Kgf	Kilogramo Fuerza
Mpa	Mega Pascales
μ	Micras
Mm	Milímetros
mm/rev	Milímetros por revolución
N	Newton
Rpm	Revoluciones por minuto
W	Tungsteno

Vc

Velocidad de Corte

GLOSARIO

Bayoneta	También llamada cierre en bayoneta, es un tipo de mecanismo de acoplamiento y fijación rápida entre las superficies intercorrespondientes de dos piezas o dispositivos.
Buril	Herramienta de corte que se utiliza para el devastado de materiales en las máquinas herramientas.
Calibrador Vernier	Instrumento utilizado para medir profundidades y diámetros internos y externos.
Cilindrado	Operación realizada en el torno mediante la cual se mecaniza el diámetro de la pieza, en el plano paralelo al eje de giro.
Eje	Elemento que se emplea como soporte de piezas giratorias, pero no transmite ningún esfuerzo de torsión.

Fresado	Corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos.
Herramienta	Objeto que se emplea para la realización de algún trabajo manual y el cual requiere de la aplicación de una fuerza mecánica.
Husillo	Tipo de tornillo generalmente largo y de gran diámetro metálico, utilizado para accionar los elementos de apriete; tales como prensas o mordazas, así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos.
Machueleado	Proceso por el cual se hace una rosca interna.
Mandrinado	Operación de mecanizado que se realiza en los agujeros de las piezas, cuando es necesario conseguir unas medidas o tolerancias muy estrechas.
Mecanismo	Conjunto de sólidos resistentes, móviles unos respecto de otros, unidos entre sí y cuyo propósito es la transmisión de movimientos y fuerzas.

Mecanizado	Proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción de material.
Plaquitas o insertos	Son pequeñas herramientas de corte de gran dureza y que se utilizan en los procesos de mecanizado en la industria metalmeccánica.
Portaherramientas	Dispositivo dentro de la máquina, en el cual se instalan las distintas herramientas a usar en cada proyecto.
Taladrado	Operación de mecanizado que tiene por objetivo producir agujeros cilíndricos en una pieza cualquiera, utilizando como herramienta una broca.
Torno	Máquina herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométrica de revolución.
Viruta	Fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído de la pieza de trabajo.
Silumin	Aleaciones de aluminio con silicio de alta resistencia.

RESUMEN

En el proceso de mecanizado, para que se de un corte con arranque de viruta, tiene que penetrar el filo de la herramienta de corte, el material ofrece una determinada resistencia, que para ser vencida exige el empleo de fuerza, siendo esta; una fuerza de compresión que carga, sobre la pieza y sobre la herramienta.

En el proceso de torneado, el esfuerzo mayor recibe el nombre de Fuerza Cortante (F_c), la carga producida por el avance se llama presión de avance y el material ejerce un esfuerzo denominado presión de rechazo o de retroceso. Cuando se conocen estos esfuerzos que intervienen en el arranque de virutas, puede calcularse la resistencia que ha de darse a la máquina al construirla, con el objetivo que pueda soportar esfuerzos sin experimentar deformación, puede además deducirse de ahí el tamaño del motor de accionamiento. Estos esfuerzos dependen de la resistencia del material, sección de la viruta y estado de filo del buril.

Para realizar el estudio que permita conocer la Fuerza Cortante (F_c), que en el torneado cambia de magnitud en la medida en que cambia la medida de los ángulos del buril, se requiere de un instrumento de medición conocido como dinamómetro. En este trabajo de graduación se describe el diseño, construcción, calibración y prueba de un dinamómetro para medir dicha fuerza, la metodología utilizada comprende desde el cálculo de la fuerza de corte, los cálculos para deflexión de una viga en voladizo, la selección del material, su construcción, calibración, montaje y pruebas.

OBJETIVOS

General

Diseñar y construir un dinamómetro para la medición de la fuerza de corte, en el proceso de arranque de viruta en el torno.

Específicos

1. Presentar propuestas de prácticas que aún no se ejecutan dentro del Laboratorio de Procesos de Manufactura 1.
2. Facilitar a los estudiantes que utilizan el laboratorio, una herramienta que les permita desarrollar prácticas y evaluar los resultados obtenidos contra la teoría.
3. Brindar a los alumnos los fundamentos teóricos y prácticos adecuados, aplicables al Laboratorio de Procesos de Manufactura 1, para mejorar su proceso de aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de ingeniería, describe el proceso de diseño, construcción, calibración y prueba de un dinamómetro para la realización de trabajo experimental en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y específicamente para la medición de la fuerza de corte de la herramienta en un proceso de torneado. El dispositivo será usado en la investigación sobre el análisis de consumo de potencia, de corte en función del ángulo de ataque y del filo de la herramienta de corte. Es un diseño mecánico de apoyo para estudiantes de Procesos de Manufactura 1, para analizar la fuerza de corte de la herramienta en las prácticas desarrolladas en este laboratorio. Este diseño contará con los fundamentos teóricos necesarios que soportan el área experimental. El diseño tiene su respectiva teoría, objetivos, figuras explicativas, lista de materiales empleados, técnica operatoria y finalmente, pretende reforzar los conocimientos de los alumnos.

Uno de los objetivos del trabajo, es que sirva como referencia a los alumnos del curso de Procesos de Manufactura 1 y para aquellas personas que lleven a cabo prácticas en el laboratorio. Finalmente busca que los estudiantes hagan uso del análisis de los esfuerzos generados en el proceso de corte del torneado y que en el laboratorio puedan verificar los resultados obtenidos y evaluar sus conocimientos para enriquecer su aprendizaje.

1. FUNDAMENTOS DE MECANIZADO

1.1. Herramientas para mecanizar

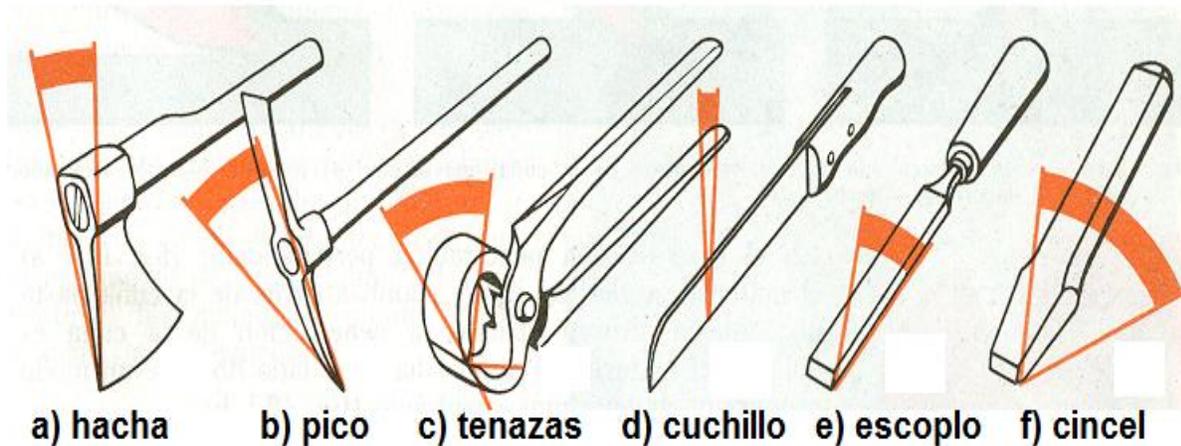
Las herramientas para mecanizar, son instrumentos que se utilizan en el área de metal mecánica, para efectuar la transformación de los materiales obtenidos como materia prima, en piezas útiles. El objetivo de las herramientas para mecanizar es la separación o corte de los materiales, los cuales pueden ser cortados con o sin desprendimiento de viruta.

1.1.1. Acción de la cuña al cortar, arrancar o partir

El proceso del mecanizado puede en cierto modo compararse con el de cortar, arrancar o partir. El instrumento empleado desde la antigüedad para cortar, arrancar o partir, es la cuña. Este instrumento se encuentra en forma de cincel y escoplo, de formón, hacha, cuchillo, azuela, pico o de tenazas.

La acción de cuña, se ve perfectamente clara cuando se trata de cortar un tronco de árbol, mediante una fuerza F se hace entrar la cuña en el tronco. Penetra la cuña tanto más fácilmente cuanto más esbelta es y, es que entonces es más aprovechada la fuerza ejercida F , ya que al disminuir el ángulo de cuña crecen también las fuerzas de corte o de arranque (T) (figuras 2 a, b).

Figura 1. **Principio de la cuña en las herramientas de corte**

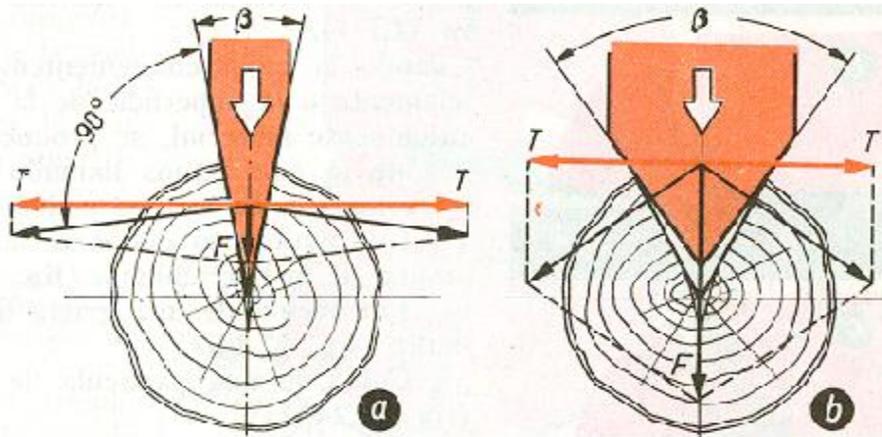


Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 11.

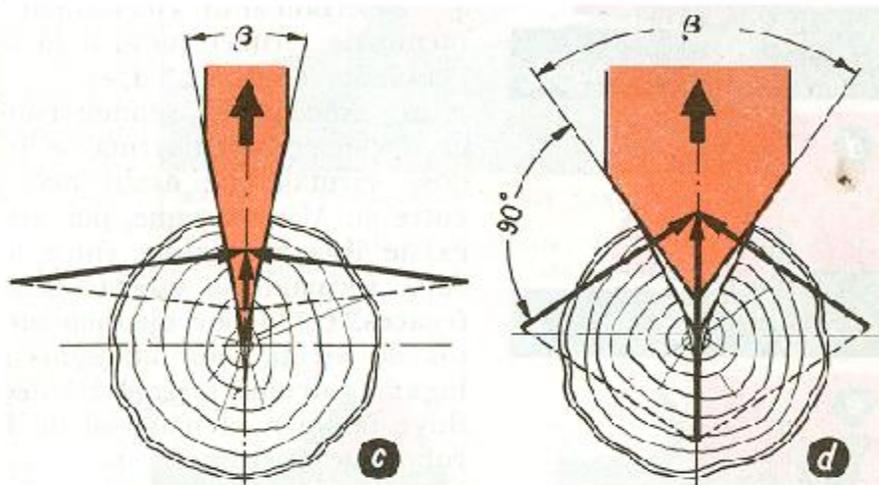
Delante de la punta de la cuña se forma una raja que se abre tanto más enérgicamente cuanto mayor es el ángulo de la cuña. Una cuña esbelta resbala hacia afuera, porque las fuerzas que actúan perpendicularmente a las caras de la cuña empujan a la cuña menos fuertemente hacia arriba, es decir, que no pueden echarla tan fácilmente fuera de la raja (figuras 2 c, d).

Es decir, que la magnitud del ángulo de la cuña (β), tiene una importancia decisiva respecto a la eficacia de la misma.

Figura 2. Acción de corte de la cuña



a, b) la fuerza F (igual longitud de vector) necesaria para cortar o partir tiene que ser, en el caso de un ángulo de cuña (β) grande, mayor que cuando es ángulo (β) es pequeño. A pesar de ser mayor la fuerza F , las fuerzas de corte o arranque T son menores en el caso b que en el a;



c y d) esfuerzos de reacción

Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 11.

1.1.2. Acción de la cuña al mecanizar

Si se impulsa sobre una pieza una herramienta cuya parte activa tenga forma cónica, se aplastará, se recalcará el material contra las caras de la cuña (de modo especialmente fuerte en el caso de un material tenaz). El material se desviará en la dirección de la mínima resistencia.

Figura 3. Acción de recalcado o aplastamiento de la cuña



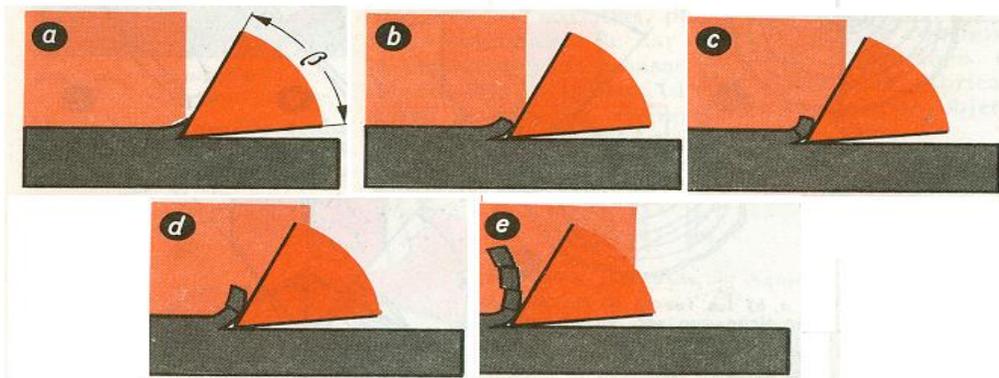
Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 12.

En el caso de una penetración perpendicular (figura 3 a), el material se desliza junto a ambas caras de la cuña hasta una misma altura. Cuando la penetración de la cuña es oblicua, el material se agolpa hacia el lado libre de un modo proporcionalmente más acentuado (figura 3 b). Si la cuña se mueve paralelamente a la superficie de la pieza, el material se parará sólo hacia una parte (figura 3 c).

Cuando la cuña convenientemente inclinada, avanza paralelamente a la superficie de la pieza, se va separando continuamente, se producen virutas y se habla entonces de lo que se ha llamado “MECANIZADO” (figura 4). En la formación de virutas se pueden imaginar cuatro fases:

- Levantamiento del material delante de la superficie de ataque de las herramientas (figura 4 a).
- Formación de una grieta delante de la punta de la cuchilla (figura 4 b).
- Corte de una partícula de viruta (elemento de viruta) (figura 4 c).
- Deslazamiento ascensional de la partícula cortada (elemento de viruta), junto a la superficie de ataque de la herramienta (figura 4 d, e).

Figura 4. **Constitución de la viruta**



Fuente: Walter Bartsch, Libro alrededor del torno, p. 12

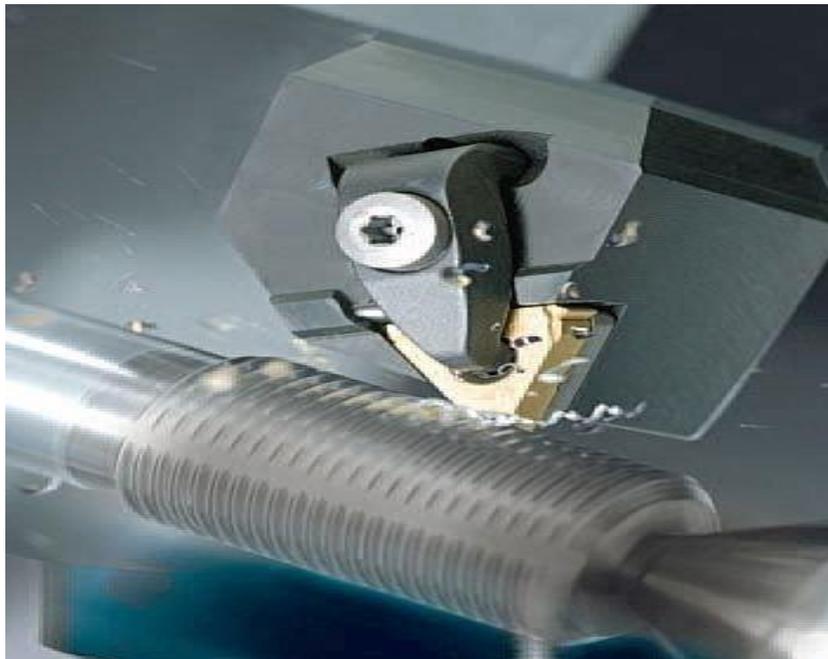
Estos procesos se repiten continuamente, de tal manera que unos elementos de viruta, se juntan a los otros, constituyéndose virutas que están más o menos firmemente unidas entre si. Mientras que, por ejemplo, en la fundición gris no existe ligazón alguna entre los distintos elementos de viruta, formándose virutas desmenuzadas, en los materiales tenaces, como por ejemplo en el acero blando, los elementos de viruta van tan agarrados unos a otros que se dan lugar a virutas largas. Es decir, que entre otras influye también el material de la pieza sobre la clase de virutas que se forman.

Cuando el movimiento es muy rápido (elevada velocidad de corte), apenas si se aprecia generalmente la grieta que va delante de la cuchilla.

1.1.3. Ángulos en el mecanizado

En una herramienta cuya función sea arrancar virutas (figura 5), las caras de la cuña forman en la parte activa de la misma una línea que se llama filo, por lo general, se consideran también como filo, las partes de las caras de la cuña inmediatas a esa línea. Estas súper magnitudes influyen sobre la eficacia de la herramienta.

Figura 5. El útil de corte arranca virutas



Fuente: www.wikipedia.com/torneadoderoscas.

1.1.3.1. Ángulo de filo (β)

Un ángulo de filo pequeño, ofrece grandes ventajas. Por otro lado, no es sin embargo posible, disminuirlo arbitrariamente, porque con ello crece el peligro de rotura del filo, especialmente en el caso de material duro y resistente. El ángulo de filo puede ser tanto menor cuanto más blando sea el material que se ha de trabajar. Si el material de la herramienta es muy duro y agrio, se rompe también fácilmente el filo cuando el citado ángulo es demasiado pequeño (figura 6).

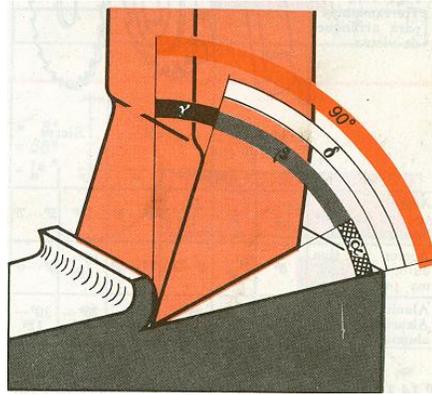
1.1.3.2. Ángulo de ataque (γ)

El ángulo de ataque, viene limitado de un lado por la superficie de ataque de la herramienta (es decir, por la superficie sobre la cual resbalan las virutas), y del otro lado por un plano perpendicular a la superficie de trabajo (o sea a la superficie que se está trabajando en la pieza). Su magnitud influye especialmente sobre el tipo de viruta. La viruta se separa tanto más fácilmente cuanto mayor es el ángulo de ataque (figura 6). Aún cuando sea ventajoso un ángulo de ataque grande, no puede hacersele arbitrariamente grande, porque el ángulo de filo tendría entonces que resultar correlativamente menor. Un ángulo de filo demasiado pequeño conduciría fácilmente a la rotura del filo.

1.1.3.3. Ángulo de incidencia (α)

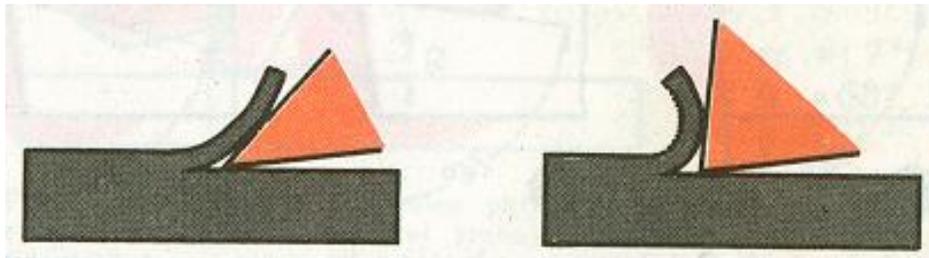
Es el ángulo comprendido entre la superficie de incidencia de la herramienta y la superficie de corte de la pieza. El ángulo de incidencia permite que las superficies de contacto entre la pieza y la herramienta, resulten muy pequeñas. Se evita el magullamiento de la herramienta y con ello disminuye el rozamiento (figura 6).

Figura 6 **Designación de los ángulos de los filos de la herramienta**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 13.

Figura 7 **Ángulos de ataque**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 13.

1.1.4. **Magnitud de los ángulos**

La magnitud de los ángulos de la herramienta, hay que determinarla para cada caso. En tablas se encuentran magnitudes de ángulos que se han determinado a base de experiencias.

La magnitud de los ángulos depende sobre todo de lo siguiente:

- a) Del material de la pieza (los materiales de viruta larga exigen un ángulo de ataque grande y los de viruta corta uno pequeño).
- b) Del procedimiento de trabajo o del tipo de la herramienta (torneado, fresado, taladrado, escariado, devastado, afinado, tallado de rosca, etc.).
- c) Del material de la herramienta (los metales duros tienen, por lo general, ángulos de ataque más pequeños que los aceros de herramientas).

Frecuentemente hay que tener en cuenta otros puntos de vista. Así, por ejemplo, un corte interrumpido exige en la herramienta un filo más fuerte, es decir, un ángulo de filo mayor.

1.1.5. Ángulos para distintas clases de herramientas

Tabla I. Herramientas para arranque de viruta

	Util de torno		Fresa		Sierra		Broca espiral en la periferia		Escariador		Macho de roscar sin despulla		Cojinete de terraja	
	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
Acero 50 70 kg/mm ² Fundición gris	12°... 18°	8°	6°... 15°	4°...6°	15°	5°...7°	~ 25°	~ 6°	8°...10°	5°...7°	5°... 10°	0	12°... 18°	0
Aceros de tipo duro, por encima 100 kg/mm ²	8°	6°... 8°	4°...6°	3°...5°	10°... 15°	5°...6°	15°	~ 6°	5°	5°...7°	0°...5°	0	10°... 15°	0
Aluminio Aleaciones de aluminio	40°	10°	20°... 30°	8°... 10°	25°... 30°	10°... 12°	35°... 40°	~ 6°	15°	5°...7°	20°... 30°	0	15°... 22°	0

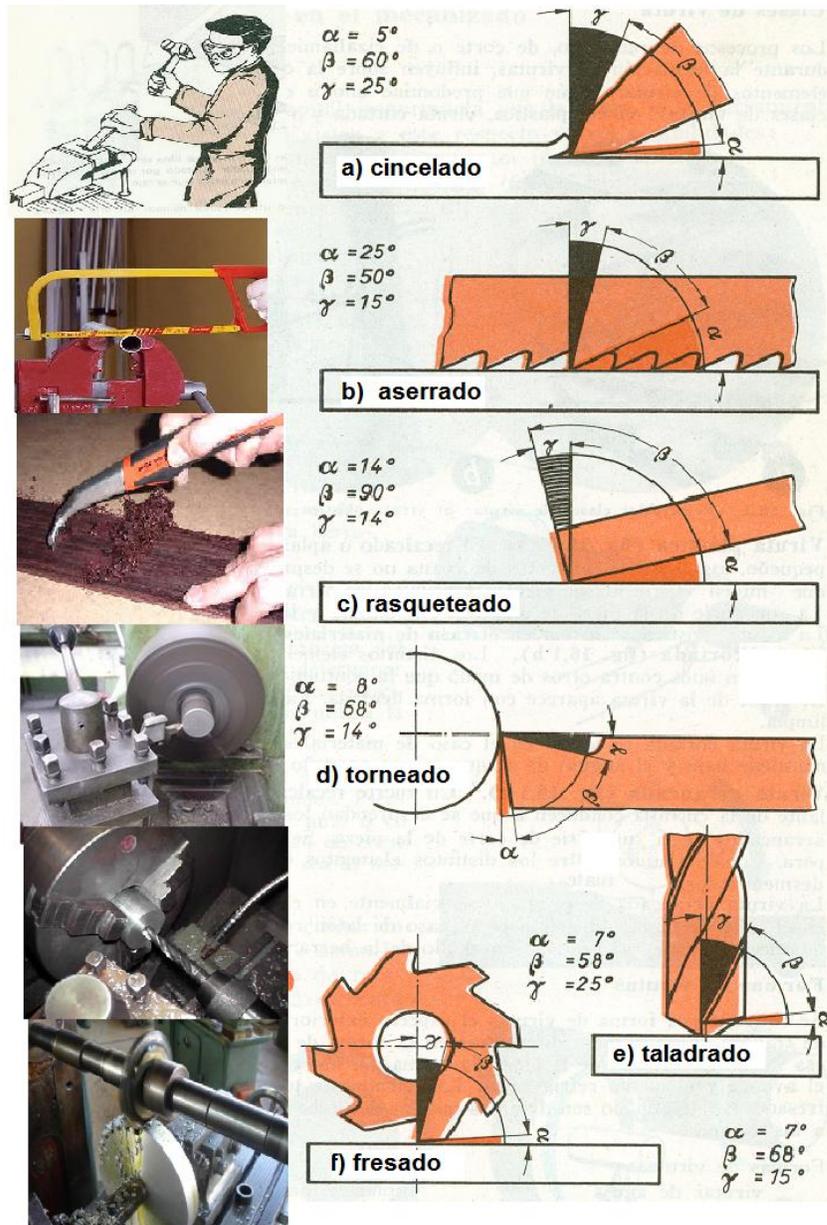
Fuente: Walter Bartsch, Libro alrededor del torno, p. 14.

Figura 8. Relación entre el ángulo de ataque y el material de la pieza



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 14.

Figura 9. **Ángulos para distintas clases de herramientas**



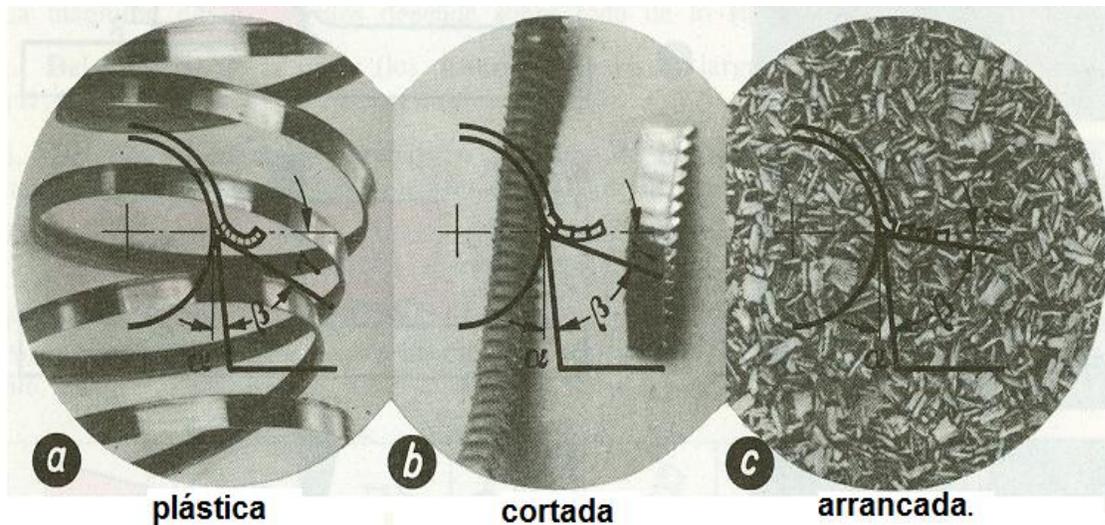
Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 15.

1.1.6. Clases de virutas

Los procesos de recalado, de corte o de cizallamiento y de agrietamiento que se presentan durante la formación de virutas, influyen sobre la constitución y la relación entre si de los elementos de viruta. Se entiende por forma de virutas el aspecto exterior que presentan. La clase de procedimiento de trabajo, da ya lugar a diferencias en la forma de la viruta. Tienen también influencia sobre esa forma el material de la pieza, la forma del filo y el material del útil, la velocidad de corte, el avance y el medio refrigerante.

Las virutas de torneado tienen distintos aspecto que las de fresado, las de afinado son distintas que las de devastado y las virutas de bronce no se parecen a las de acero. Según que predomine uno u otro de los procesos cabe distinguir tres clases de virutas: viruta plástica, viruta cortada y viruta arrancada.

Figura 10. Principales clases de virutas



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 16.

1.1.6.1. Viruta plástica o continua (figura 10 a)

El recalcado o aplastamiento, delante del filo de la cuchilla es pequeño, los distintos elementos de viruta no se desprenden en forma de trozos o migajas, sino que fluyen en forma de virutas continuas, de forma helicoidal, sobre la superficie de ataque. La superficie de la pieza resulta con ello limpia y lisa.

La viruta plástica se forma en el caso de los materiales tenaces, cuando el ángulo de ataque (γ) del filo de la herramienta es grande y la velocidad de corte es elevada.

1.1.6.2. Viruta cortada (figura 10b)

Los distintos elementos de viruta, son cortados y se empujan y aplastan unos contra otros, de modo que la continuidad de la viruta no desaparece totalmente. El borde de la viruta aparece con forma dentada. La superficie de trabajo obtenida no resulta limpia. La viruta cortada se forma en el caso de materiales tenaces cuando la velocidad de corte se mantiene baja y el ángulo de ataque (γ) es pequeño o de magnitud media.

1.1.6.3 Viruta arrancada (figura 10 c)

Un fuerte recalcado, así como la formación de grieta delante de la cuchilla conducen a que se desprendan los distintos elementos de viruta que son así arrancados de la superficie de corte de la pieza.

Se obtiene con ello una superficie sucia, áspera. Como la unión entre los distintos elementos de viruta desaparece, se producen virutas desmenuzadas. La viruta arrancada se produce especialmente en el caso de materiales agrios, por ejemplo, en el caso de la fundición gris o en el caso de latón rojo. Se favorece su aparición mediante un ángulo de ataque (γ) pequeño en el filo de la herramienta y mediante baja velocidad de corte.

1.2. Proceso en el mecanizado

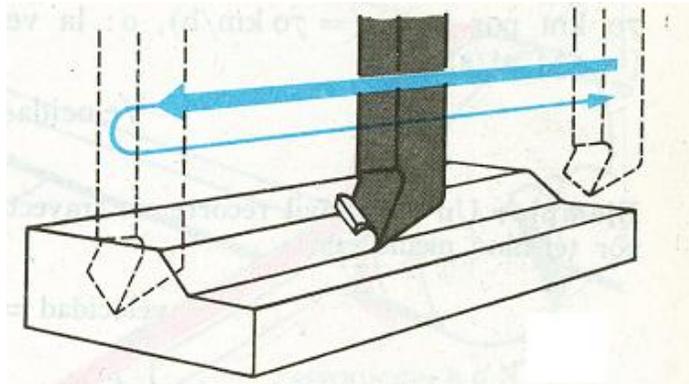
El proceso de mecanizado, es donde se establece cómo se debe de mecanizar o fabricar una pieza o una serie de piezas, estableciéndose la prioridad de las operaciones mecánicas de fabricación, así como la elección de las herramientas adecuadas al trabajo en cuestión, preparándolas y haciendo la previsión de las mismas, también se calculan los tiempos de trabajo y las características y condiciones de funcionalidad de las máquinas empleadas en cada una de sus fases de trabajo, con el fin de guiar al operario y calcular los costes de fabricación. Estos estudios se realizan con el fin de optimizar los recursos de un taller, fábrica o empresa.

1.2.1. Movimientos en el mecanizado

Para el arranque de virutas, es de vital importancia que la pieza y la herramienta se muevan una con respecto a otra. Existen a este respecto varias posibilidades:

- La pieza no se mueve, pero se mueve la herramienta (figura 11).

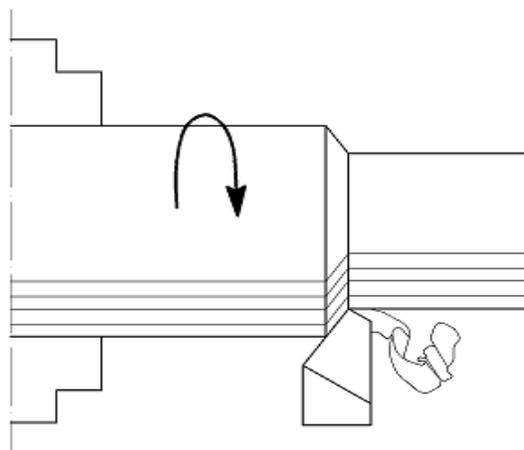
Figura 11 **Movimientos de la cepilladora**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 17.

- La pieza se mueve, pero la herramienta queda fija (figura 12).

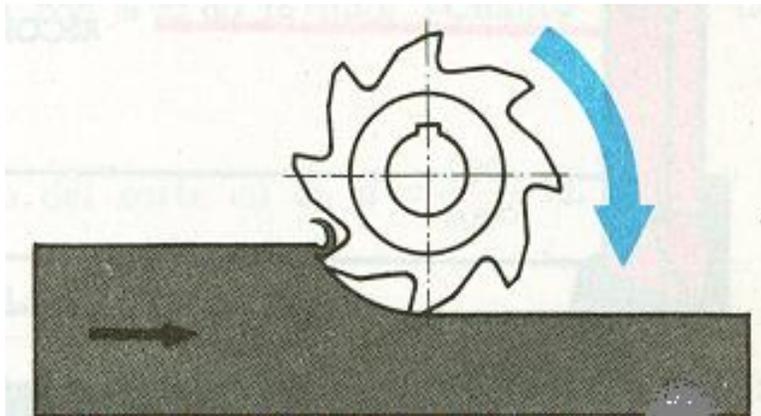
Figura 12. **Movimiento del torno**



Fuente: Walter Bartsch, Libro alrededor del torno, p. 17

- Se mueve la pieza y la herramienta (figura 13)

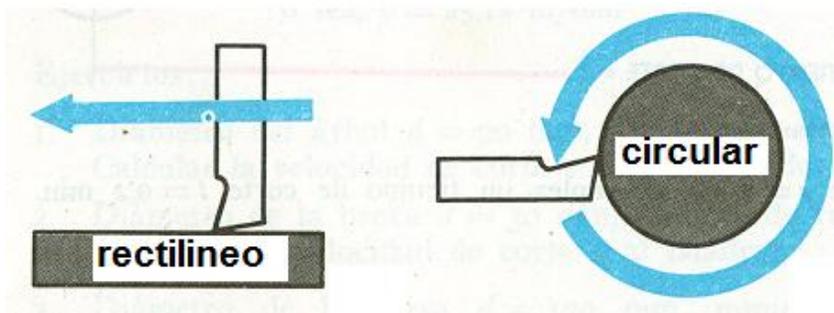
Figura 13. **Movimiento de la fresadora**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 17

Según sea la forma de la pieza a trabajar, podrán ser diferentes los movimientos. Si se trata de arrancar virutas de superficies de trabajo planas, el movimiento será rectilíneo (figura 14 a), si la pieza de la cual se han de sacar virutas, es cilíndrica, el movimiento será circular (figura 14 b).

Figura 14. **Movimiento durante el mecanizado**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 17.

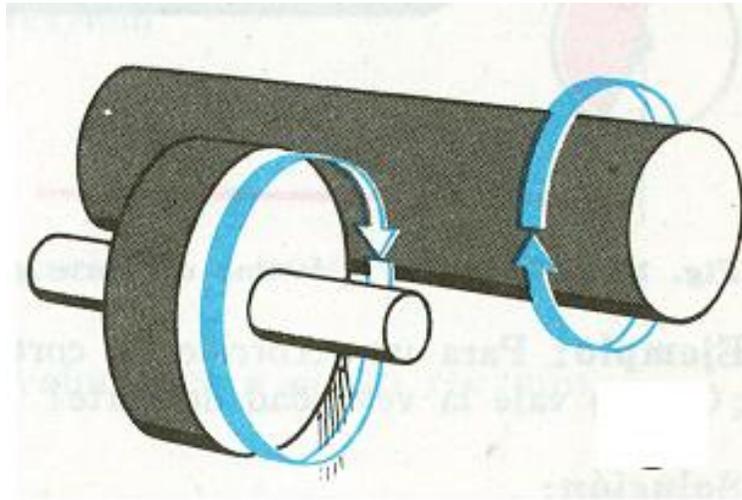
En el cepillado de piezas pequeñas, por ejemplo, la herramienta es movida de modo rectilíneo sobre la superficie de trabajo que permanece fija, en el torneado recibe la pieza (y en el fresado o en el taladro, por el contrario, la herramienta) un movimiento circular.

Estos movimientos que son necesarios, si se quiere que la herramienta tenga acción cortante, recibe el nombre de movimientos principales o movimientos de corte. La rapidez con que se producen los movimientos de corte, influye sobre el proceso del mecanizado. Es pues necesario poder determinar con mayor precisión la rapidez de estos movimientos. Con medida de esta rapidez se utiliza la velocidad de corte.

La velocidad, es siempre la medida que sirve para comparar movimientos más o menos rápidos. Piénsese por ejemplo, en la velocidad de un auto o en la de un avión. En el caso de la velocidad de corte se trata de velocidad referida al corte, o sea al mecanizado.

En el caso del esmerilado o rectificado cilíndrico, se mueve tanto la herramienta (muela) como la pieza. Ahora bien, sólo el movimiento de rotación de la muela se considera como movimiento principal o de corte (figura 15).

Figura 15. **Movimiento durante el rectificado**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 17.

1.2.2. **Medición de movimientos**

En los movimientos se recorre distancias. Para ello es necesario emplear un tiempo. Si se quiere medir un movimiento, habrá que medir por un lado, el camino o espacio recorrido por el tiempo que se ha empleado en hacerlo. Si se divide el camino recorrido por el tiempo que se ha empleado en ello, se obtiene el espacio recorrido por unidad de tiempo. Esta magnitud constituye la medida del movimiento y se llama velocidad. El espacio puede darse, por ejemplo, en metros (m) o en kilómetros (km), y el tiempo en horas (h) o en segundos (s). Se dice, por ejemplo: un automóvil corre a 90 km por hora (= 90km/h), o: la velocidad del sonido es de 333 metros por segundo (=333m/s)

$$\text{Velocidad} = \text{Espacio} / \text{Tiempo}$$

Ejemplo: un automóvil recorre un trayecto de 200 km en un tiempo de 4 horas.
Se mueve por término medio con

$$\text{Velocidad} = 200 \text{ Km} / 4 \text{ h} = 50 \text{ km/h}$$

1.2.3. Movimiento de corte

Es el movimiento que tiene la herramienta o pieza para que se logre el desprendimiento de la viruta.

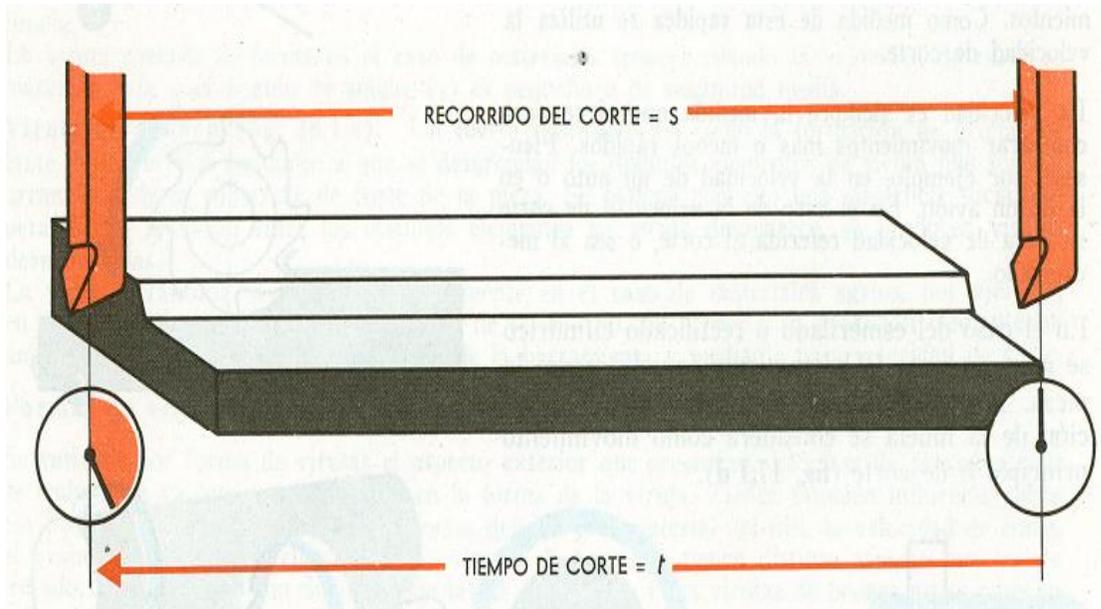
1.2.3.1. Movimiento rectilíneo de corte

Al mecanizar con movimiento de corte rectilíneo se designará:

- La distancia o el camino recorridos por la pieza o por la herramienta, como recorrido del corte s (en metros) (figura 16).
- El tiempo empleado en ello, como tiempo de corte t (en minutos)
- La velocidad del movimiento de corte, como velocidad de corte v (en m/min.)

De aquí se deduce: velocidad de corte $v = \frac{\text{Recorrido del corte "s"}}{\text{Tiempo de corte en "t"}}$

Figura 16. **Recorrido o camino de del corte y tiempo de corte**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 18.

Ejemplo: para un recorrido de corte $s = 3 \text{ m}$ se emplea un tiempo de corte $t = 0,2 \text{ minutos}$ ¿Cuánto vale la velocidad de corte?

Solución

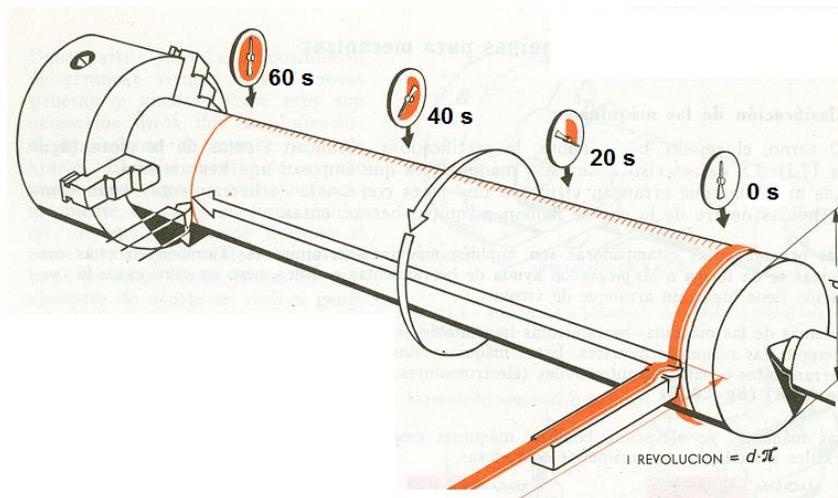
La velocidad de corte vale $v = s / t = 3 \text{ m} / 0,2 \text{ min} = 15 \text{ m / min}$

1.2.3.2. Movimiento circular de corte

Al mecanizar con movimientos de corte circular, resulta que no puede medirse el recorrido del corte, pero puede en cambio calcularse (figura 17). Su longitud en una revolución de la pieza o del útil, es igual al perímetro ($d \times \pi$), donde d , se mide en metros. Si la pieza o el útil gira en un minuto n veces, el camino recorrido por el corte en un minuto, es decir, la velocidad de corte vendrá:

$$v = d \times \pi \times n$$

Figura 17. La velocidad de corte en metros por minuto



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 19.

Frecuentemente se utiliza para el cálculo de la velocidad, la siguiente ecuación que esta dada en m/min:

$$v = \frac{d \times \pi \times n}{1000}$$

Sólo hay que poner aquí el diámetro d en mm, para obtener la velocidad de corte en m/min.

Ejemplo: un árbol de 100 mm de diámetro, debe ser torneado con $n = 80$ rpm
¿Cuánto valdrá la velocidad de corte?

$$v = \frac{100 \times \pi \times 80}{1\ 000} = v = 25,12 \text{ m / min}$$

1.3. Máquinas para mecanizar

Son máquinas que se utilizan para dar forma a materiales, principalmente metales. Su característica principal, es su falta de movilidad ya que suelen ser máquinas estacionarias. El modelado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material que se puede realizar por arranque de viruta, estampado, corte, etc.

1.3.1. Clasificación de las máquinas

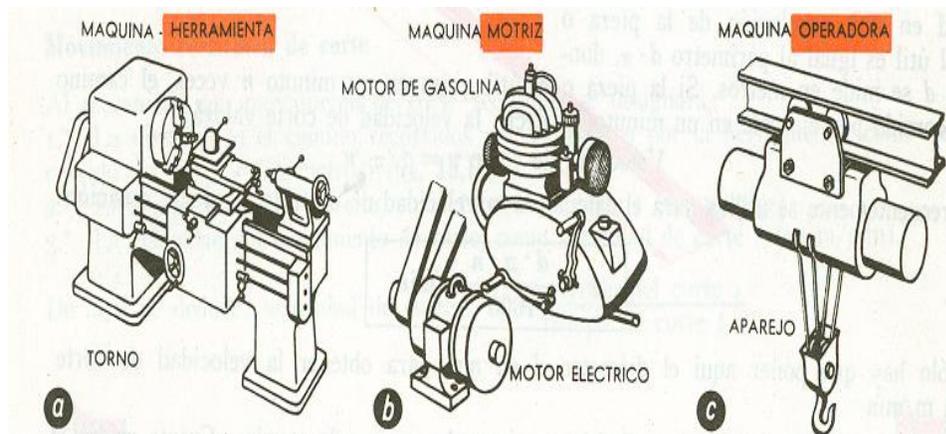
El torno, el cepillo, la fresadora, la rectificadora, arrancan virutas de la pieza (figuras 11, 12, 13 y 14). La característica de estas máquinas, es que emplean una herramienta. Las máquinas, que arrancan virutas a una pieza con ayuda de herramientas están comprendidas dentro de lo que se llaman máquinas-herramientas.

Las prensas y las estampadoras, son también máquinas-herramientas. También en estas máquinas se da forma a las piezas con ayuda de herramientas o útiles, pero en estos casos la operación tiene lugar sin arranque de viruta.

Además de las máquinas-herramientas, hay también otras clases de máquinas, como lo son; por ejemplo, las máquinas motrices. Estas máquinas suministran fuerza motriz, para las máquinas-herramientas o para los automóviles (electromotores, motores de combustión interna, máquinas de vapor) (figura 18).

Las máquinas de elevación, bombas, máquinas empaquetadoras, dragas, máquinas agrícolas, textiles y análogas, son máquinas operadoras.

Figura 18 **Clasificación de las máquinas**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 20

1.3.2. Movimientos en las máquinas herramientas

Si se ha de mecanizar con ayuda de las máquinas-herramientas, habrá de facilitar a la pieza y a la herramienta los movimientos correspondientes. En el torno, por ejemplo; hace falta dar el movimiento de rotación a la pieza, en el taladro el movimiento de rotación a la herramienta o en el cepillo, el movimiento de ida y vuelta a la pieza o a la herramienta. Aún cuando a primera vista pueda parecer enredados estos movimientos, se ve de inmediato su ordenación si se procura determinar las misiones que han de realizar.

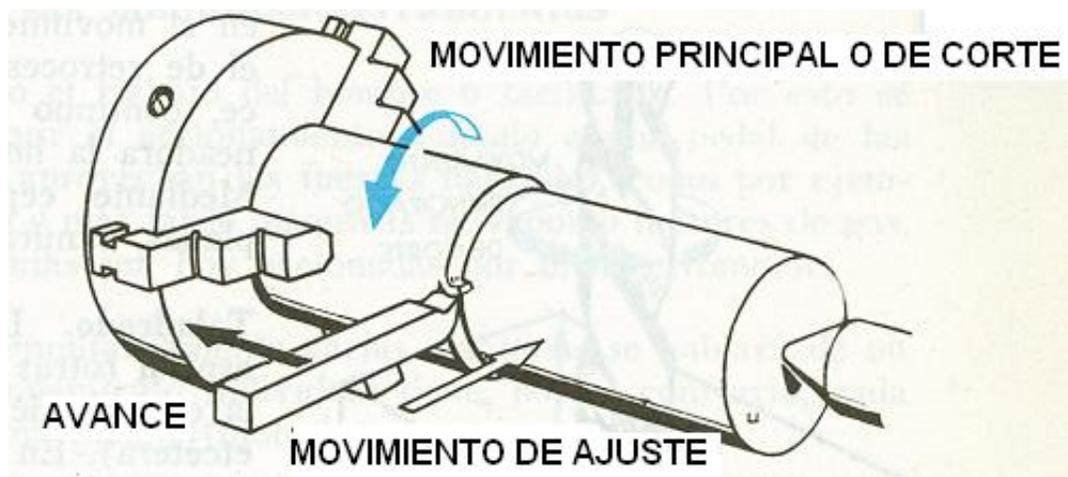
Los distintos movimientos dan lugar a la longitud de la viruta, a la anchura de la viruta y al espesor de la viruta. Es de la mayor importancia el movimiento principal o movimiento de corte. Este movimiento caracteriza el modo de trabajar de las máquinas (cepillado, torneado, etc.).

Por medio del movimiento principal o de corte, se obtiene la longitud de la viruta. Debe existir además la posibilidad de arrancar virutas más o menos gruesas y anchas. Para esto son necesarios otros dos movimientos: el movimiento de avance y el de ajuste. El movimiento de avance, puede tener lugar a mano o mecánicamente de modo continuo, es decir, de modo uniforme durante el corte o de modo intermitente delante de cada nuevo corte. El movimiento de ajuste, regularmente se hace a mano. Todos los movimientos de las máquinas-herramientas que trabajan con arranque de viruta pueden reducirse a estos tres movimientos fundamentales.

1.3.3. Movimientos y procedimientos de trabajo

Torneado: como herramienta o útil, se utiliza la cuchilla o acero de corte, la pieza recibe como movimiento principal o de corte un movimiento de rotación, mientras que la herramienta verifica el movimiento de avance (generalmente de modo continuo), el movimiento de ajuste se realiza a mano, mediante el torneado se obtiene preferentemente piezas cilíndricas, por ejemplo árboles, pernos, roscas, casquillos, etc. (figura 19).

Figura 19. Movimientos en el torneado



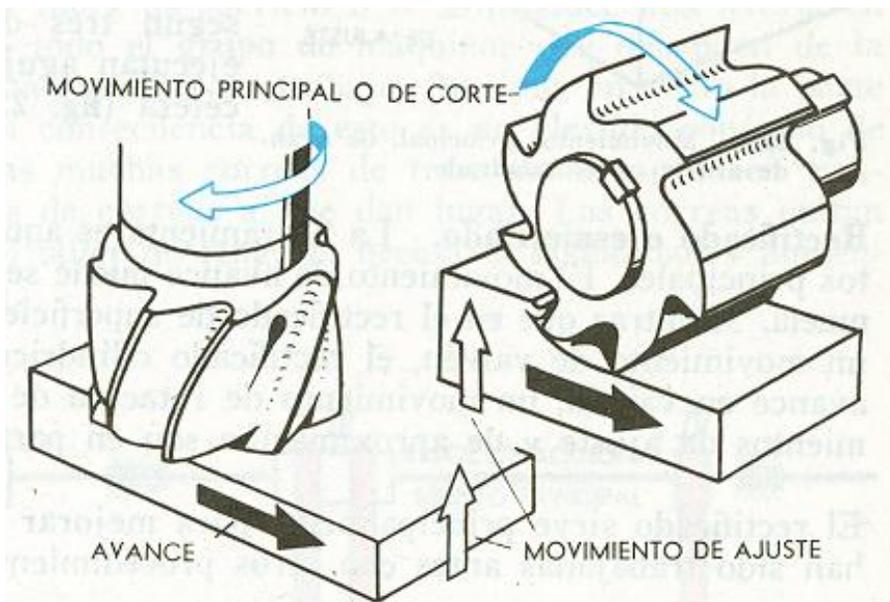
Fuente: Walter Bartsch, Libro alrededor del torno, p. 21.

Fresado: como herramientas, sirven las distintas formas de fresas; la fresa realiza como movimiento principal o de corte un movimiento de rotación, mientras que a la pieza se le hace ejecutar el movimiento de avance. El movimiento de ajuste puede realizarlo la pieza en tres direcciones.

Según sea la forma de la fresa, podrán obtenerse superficies planas, ranuras, pasos de dientes, etc. (figura 20).

Contrariamente a lo que pasa con la cuchilla o acero de corte, la fresa es una herramienta de varios filos, es decir; que el trabajo de hacer virutas se distribuye sobre varios filos, cada filo no está cortando continuamente.

Figura 20. **Movimientos en el fresado**

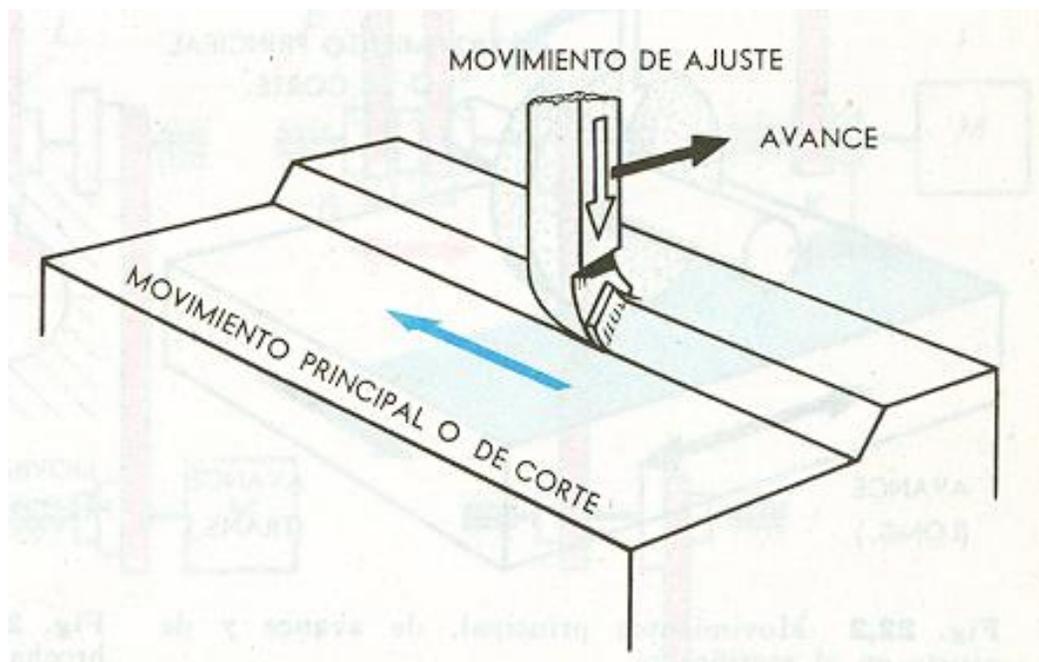


Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 21.

Cepillado: como herramienta, se utiliza la cuchilla de cepillo, el movimiento principal o de corte, que es aquí de vaivén, lo hace la pieza en la planeadora o cepilladora propiamente y la herramienta en la limadora. La herramienta trabaja generalmente en el movimiento de avance de la máquina, siendo el retroceso un movimiento de vacío.

El avance continuo o intermitente, lo realiza en la planeadora la herramienta, y en la limadora la pieza. Mediante cepillado pueden obtenerse superficies planas, ranuras, etc. (figura 21).

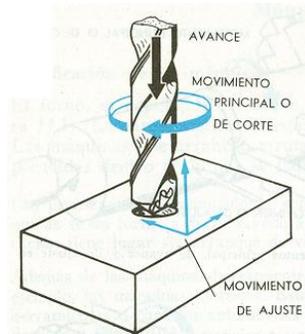
Figura 21. **Movimientos en el cepillado**



Fuente: Walter Bartsch., Libro Alrededor del torno, p. 21.

Taladrado: la herramienta principal, es la broca espiral (otras herramientas son: la broca de punta, la cuchilla de taladrar, el penetrador, el escariador, etc.). En las máquinas de taladrar, es la herramienta generalmente la que ejecuta, tanto los movimientos principales como los de avance. El movimiento de ajuste puede ejecutarse en la pieza, según tres direcciones. Mediante el taladrado se ejecutan agujeros, mandrinados, avellanados, etc. (figura 22).

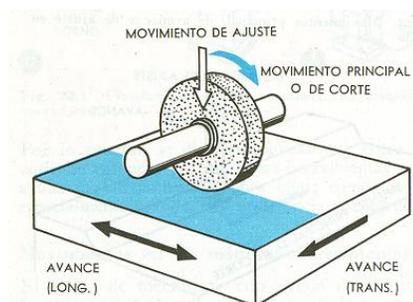
Figura 22. **Movimientos en el taladrado**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 22.

Rectificado o esmerilado: la herramienta, es una muela o piedra abrasiva y ésta hace los movimientos principales, el movimiento de avance puede ser impuesto, tanto a la pieza como a la muela. Mientras que en el rectificado de superficies planas, se necesita que la pieza de un movimiento de vaivén, el rectificado cilíndrico exige, además de un movimiento de avance de vaivén, un movimiento de rotación de la pieza (avance circular). El rectificado sirve principalmente para mejorar la calidad superficial de las piezas que han sido trabajadas antes con otros procedimientos de arranque de viruta.

Figura 23. **Movimientos en el rectificado plano**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 22.

2. MECANIZACIÓN POR TORNEADO

2.1. Herramientas para el torneado

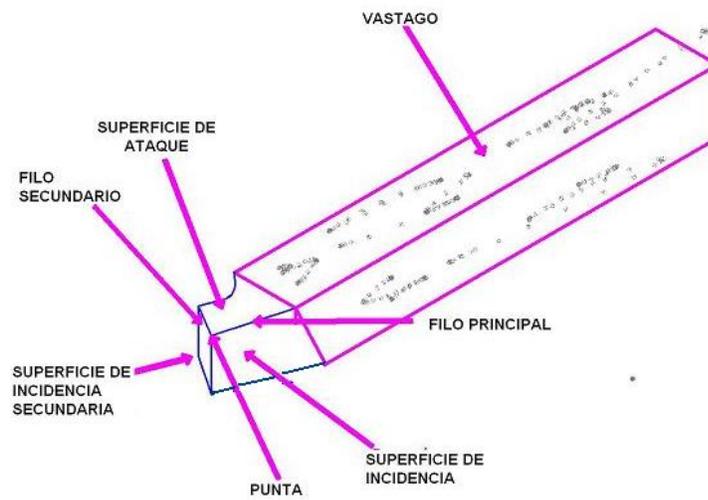
El torno permite el empleo de un gran número de distintas herramientas de corte, pero la herramienta o útil comúnmente utilizado, es llamado buril. Esta herramienta determina el modo de trabajar y la constitución del torno.

2.1.1. Designación en el útil de corte

El buril consta de mango o cuerpo y cabeza. El canto cortante o filo constituido por la intersección de las superficies de ataque y de incidencia, se llama filo principal. Al filo principal va a parar, haciendo el ángulo con él a la altura de la superficie de ataque, el corte secundario (figura 24).

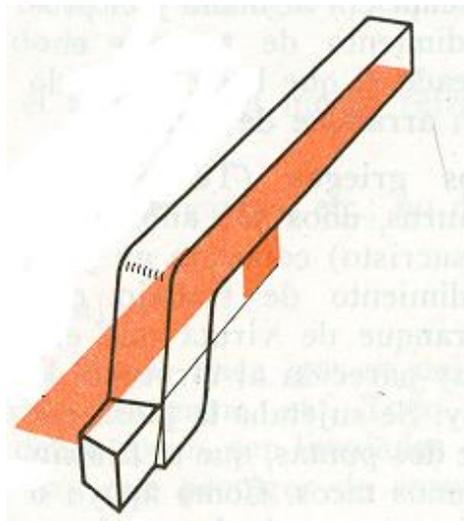
La altura de una cuchilla, se mide desde la punta del buril hasta su superficie de apoyo. En los útiles acodillados, la punta puede estar más baja que la superficie de apoyo, siendo entonces negativa la altura (figura 25).

Figura 24. **Designaciones en el buril**



Fuente: investigación de campo.

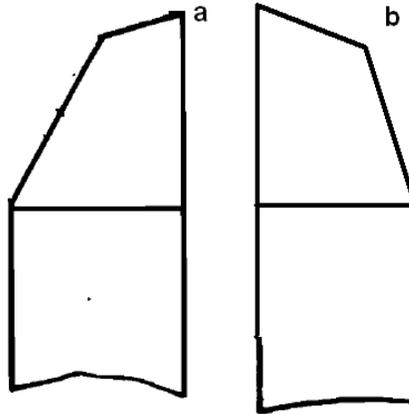
Figura 25. **Altura negativa en el buril**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 44.

Para la designación “derecha” o “izquierda”, sirve la siguiente regla (según DIN): se mantiene el útil con la cabeza vuelta hacia uno y la superficie de ataque hacia arriba; si el filo principal está situado a la derecha, se trata de un útil de corte a la derecha, y si está situado a la izquierda, será un útil a la izquierda (figura 26).

Figura 26. a) buril derecho, b) buril izquierdo

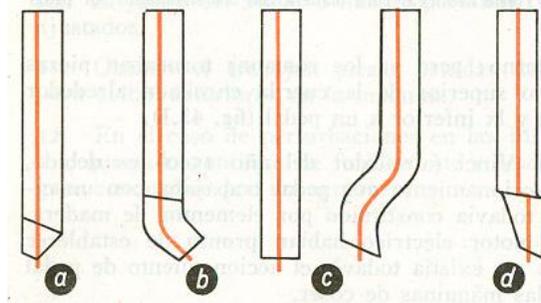


Fuente: investigación de campo.

Según sea la posición de la cabeza, con respecto al vástago o cuerpo, se distinguen diferentes formas, entre las cuales están (figura 27):

- a) Buriles rectos (hacia la derecha o hacia la izquierda)
- b) Buriles curvados (hacia la derecha o hacia la izquierda)
- c) Buriles acodillados (hacia la derecha o hacia la izquierda)
- d) Buriles rebajados (hacia la derecha o hacia la izquierda)

Figura 27. **Forma fundamental de los buriles de torno**



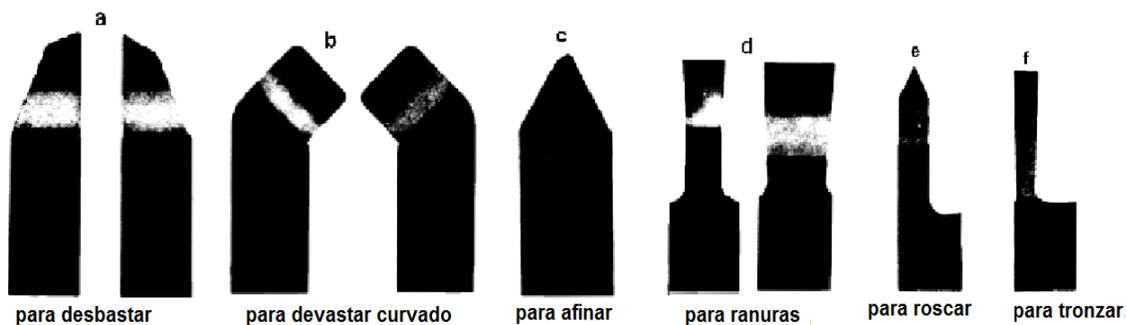
Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 22.

2.1.2. **Clases de cuchillas en el torno**

Dependiendo de la operación de mecanizado que se requiera realizar en el torneado, se pueden utilizar diferentes clases de buriles, entre los cuales se pueden mencionar:

a) Buril de corte para trabajar exterior (figura 28):

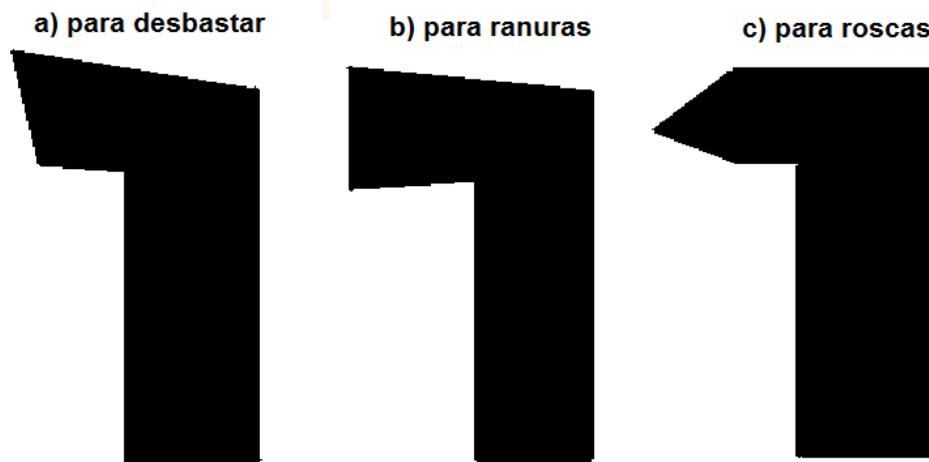
Figura 28. **Clases de buriles para trabajos externos**



Fuente: A.L. Casillas, Libro Maquinas Cálculo de Taller, p. 338.

- b) Buril de corte para trabajo interior (figura 29):

Figura 29. **Clases de buriles para trabajos internos**

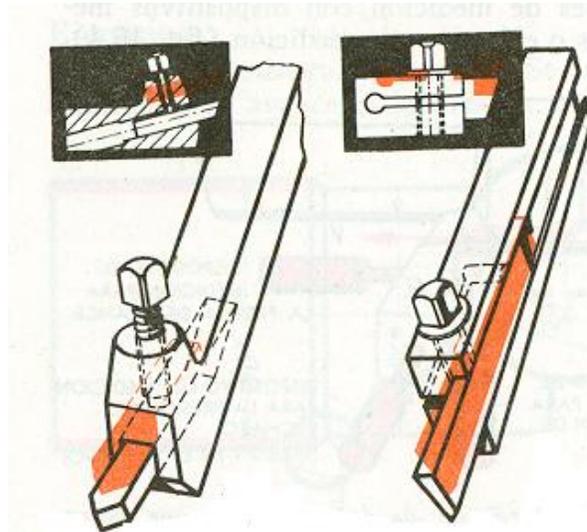


Fuente: A.L. Casillas, Libro Maquinas Cálculo de Taller, p. 338.

- c) Plaquetas para torno (cuchillas intercambiables, bits o lengüetas para portaherramientas) (figura 30): las plaquetas, son de acero rápido de gran valor, tienen pequeñas dimensiones y no tienen una cabeza especial de corte, están templadas en toda su longitud y después revenidas, y en general han sido rectificadas por todos lados; cuando se desafilan no necesitan sino ser nuevamente afiladas, no siendo necesario templarlas de nuevo.

Estas plaquetas van sujetas en mangos especiales y pueden gastarse con el uso por ambos lados sin más límite que la posibilidad de sujeción (figura 30). Además de las formas normales (por ejemplo, rectangular, redonda, trapecial) existen también formas especiales con distintas secciones transversales.

Figura 30. **Plaquetas para torno**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 45.

2.1.3. Esfuerzos que actúan sobre la cuchilla de tornear

Para que puedan ser arrancadas virutas, tiene que penetrar en el material el filo cuneiforme (véase figuras 2, 3 y 4). El material ofrece una determinada resistencia que para ser vencida, exige el empleo de fuerza, esta fuerza, que es una fuerza de compresión, carga tanto sobre la pieza como sobre la herramienta (figura 31). El esfuerzo mayor, es el que obra verticalmente, recibe el nombre de presión principal de corte. La carga producida por el avance se llama presión de avance, el material ejerce además sobre la herramienta una acción o presión de rechazo o retroceso en dirección del mango, se llama este esfuerzo presión de rechazo o de retroceso o presión sobre el mango.

Figura 31. **Acción de las fuerzas que actúan sobre la cuchilla del torno**

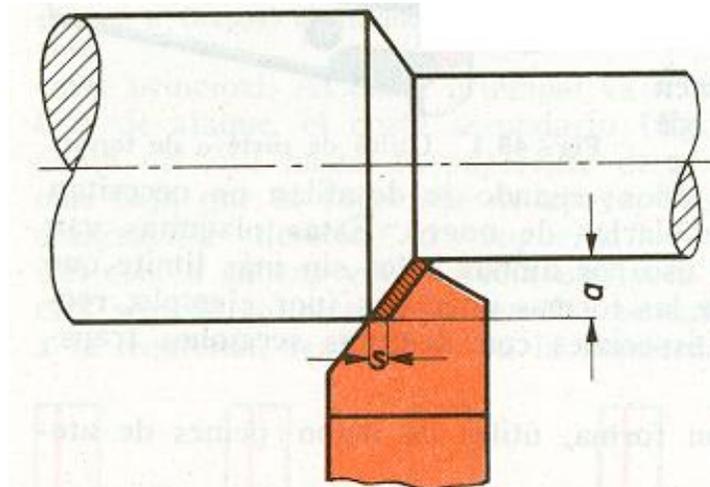


Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 46.

La magnitud de estas tres fuerzas, depende principalmente de:

- a) La resistencia del material
- b) La sección transversal de la viruta (anchura de viruta por espesor de la misma) (figura 32)
- c) Estado del filo de la cuchilla

Figura 32. **Sección transversal de la viruta ($A = a \times s$)**

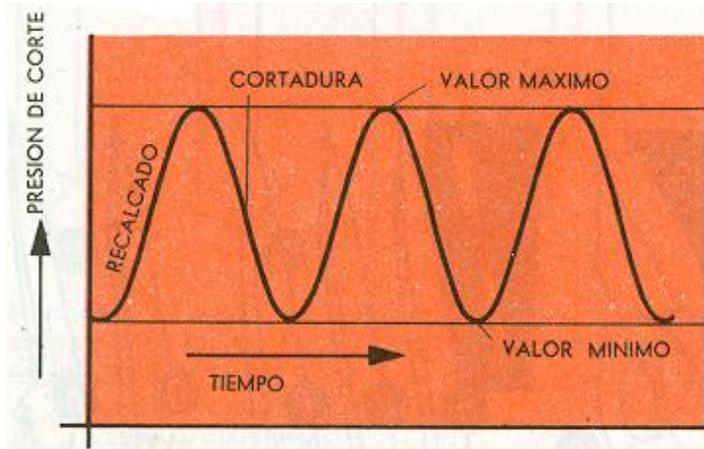


Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 46.

Por ensayos, se ha llegado a deducir que la presión de corte es prácticamente independiente de la velocidad de corte. Cuando se reconocen los esfuerzos que intervienen en el arranque de virutas, puede calcularse la resistencia que ha de darse a la máquina al construirla, con objeto que pueda soportar esfuerzos sin experimentar deformación, puede además deducirse de ahí el tamaño del motor de accionamiento.

Los esfuerzos de corte no son iguales en todos los instantes del proceso de mecanizado (véase figuras 3 y 4), si no que oscilan entre un valor máximo y un mínimo, es decir que son esfuerzos oscilantes (o vibratorios) que hacen vibrar la herramienta, la pieza o las piezas de la máquina y que por lo tanto pueden redundar en perjuicio de la tranquilidad de marcha de la máquina. (figura 33).

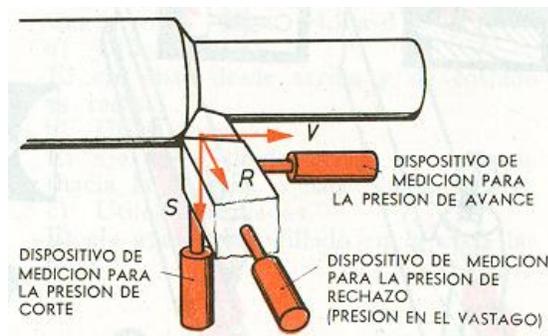
Figura 33. **Fuerza de oscilación de la cuchilla en el torno**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 46.

Para medir los esfuerzos de corte, se utilizan soportes especiales de medición con dispositivos mecánicos, ópticos o eléctricos de medición (figura 34).

Figura 34. **Medición de los esfuerzos que actúan sobre la cuchilla de torno**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 46.

2.1.4. Esfuerzos de corte específicos

Para tener una orientación aproximada sobre la magnitud de los esfuerzos de corte, se parte de la presión de corte específico k_s . Se entiende por tal el esfuerzo que se ha de emplear para arrancar 1 mm² de sección de viruta.

Tabla II. **Presión de corte específica para materiales con diferente resistencia**

MATERIAL CON RESISTENCIA EN (kg)	PRESIÓN DE CORTE ESPECÍFICA (K_s)
ACERO 40 – 50 kg	200 kg/mm ²
ACERO 60 – 70 kg	250 kg/mm ²
ACERO DURO AL MANGANESO	4200 kg/mm ²
ACERO MOLDEADO	200 kg/mm ²
HIERRO FUNDIDO (200 HB)	150 kg/mm ²
ALEACIONES DE ALUMINIO	70 – 90 kg/mm ²

Fuente: Normas AWF- p. 158.

Es decir, que la presión de corte específica, depende específicamente del material. Es mayor en el caso de pequeño avance y gran profundidad de corte (es decir para el caso de virutas delgadas y anchas) y menos (es decir, más ventajoso) cuando se trata de grandes avances y pequeñas profundidades de corte.

Las cifras citadas, son únicamente valores medios para secciones de viruta entre pequeñas y medianas (avance $s=0,3$ mm/rev). En el caso de grandes secciones de virutas, esos valores se hacen notablemente más pequeños.

La sección transversal de viruta (A), se calcula por la expresión $A= a \times s$ (profundidad de virutas y avance). La presión principal de corte (F_c) se halla por la fórmula $F= A \times k_s$ (sección transversal de virutas y presión de corte específico).

$$A = a \times s \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$F = A \times K_s \text{ (kg)}$$

Ejemplo 1: hay que tornearse un árbol de 80 mm de diámetro hasta reducirlo a 74 mm de diámetro con un avance de 0,4 mm/rev (figura 36 a) ¿qué magnitud tendrá la sección de viruta?

Solución:

$$A = a \times s$$

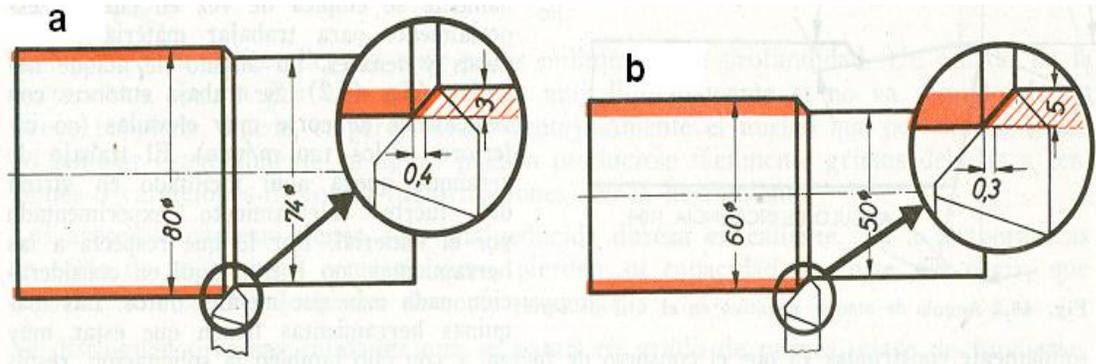
$$a = (80 \text{ mm} - 74 \text{ mm}) / 2 = 3 \text{ mm}$$

$$S = 0,4 \text{ mm}$$

$$A = 3 \text{ mm} \times 0,4 \text{ mm} = 1,2 \text{ mm}^2$$

Ejemplo 2: un árbol de acero 42, debe ser torneado desde los 60 mm de diámetro hasta los 50 mm de diámetro. Avance $s = 0,3$ mm/rev (figura 35 b) ¿Qué magnitud tiene la presión principal de corte?

Figura 35. Ejemplo 2



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 46.

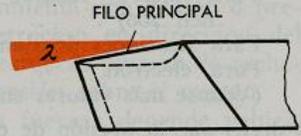
- a) sección transversal de la viruta $A = a \times s = 5 \text{ mm} \times 0,3 \text{ mm} = 1,5 \text{ mm}^2$.
- b) presión principal de corte $F = A \times k_s = 1,5 \text{ mm}^2 \times 200 \text{ kg/mm}^2 = 300 \text{ kg}$.

2.1.5. Ángulos de las cuchillas de torneear

Lo mismo que en todas las demás herramientas para arrancar virutas, tienen también las cuchillas de torno, que basarse al material (tabla III). Con objeto de simplificar el almacenaje, reciben las cuchillas de torno, según DIN, primeramente ángulos promedio, que pueden cambiarse mediante esmerilado cuando sea necesario. Para útiles de desbastar de acero rápido, se han fijado por ejemplo, los ángulos normales en $\alpha = 8^\circ$ y $\gamma = 14^\circ$. Los ángulos que discrepen, deben indicarse al hacer el encargo.

Modernamente, se emplea de vez en cuando, especialmente para trabajar materiales muy duros y tenaces, un ángulo de ataque negativo (figura 36). Se trabaja entonces con velocidad de corte muy elevadas (no inferior a los 120 m/min).

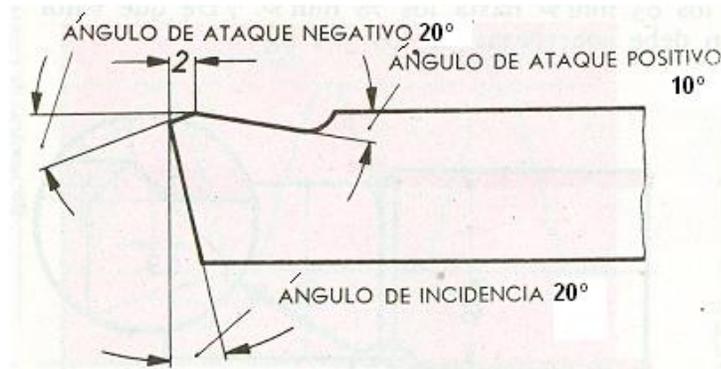
Tabla III. Valores de orientación para ángulos de cuchillas para tornear

			Empleo para			
α	β	γ		con metal duro	ángulo de inclinación	
α	β	γ		α	β	λ
6°	84°	0°	Fundición dura, tipos de bronce agrios y duros	4° - 6°	80°	3° - 5°
8°	74°	8°	Acero y acero moldeado por encima de los 70 kg/mm ² de resistencia, fundición gris dura, latón rojo, bronce y latón	4° - 6°	75° - 80°	3° - 5°
8°	68°	14°	Acero y acero moldeado de 50-70 kg/mm ² de resistencia, fundición gris, latón blando	4° - 6°	75°	3° - 5°
8°	62°	20°	Acero y fundición gris de 34-50 kg/mm ² de resistencia	4° - 6°	65°	3° - 5°
8°	55°	27°	Bronces tenaces y blandos, tipos de acero blandos	4° - 6°	65°	3° - 5°
10°	40°	40°	Metales blandos y aluminio puro	8° - 10°	45° - 50°	5° - 10°

Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 48.

El trabajo de arranque queda aquí facilitado, en virtud del fuerte calentamiento experimentando por el material. Por lo que respecta a las herramientas, no entran aquí en consideración nada más que metales duros. Las máquinas herramientas, tienen que estar muy sólidamente construidas, ya que el consumo de fuerza, y con ellos también la sollicitación, resultan multiplicadas.

Figura 36. **Ángulo de ataque negativo en un buril de corte**



Fuente: Walter Bartsch , Libro Alrededor del torno, p. 48.

2.1.6. **Materiales para las herramientas de corte**

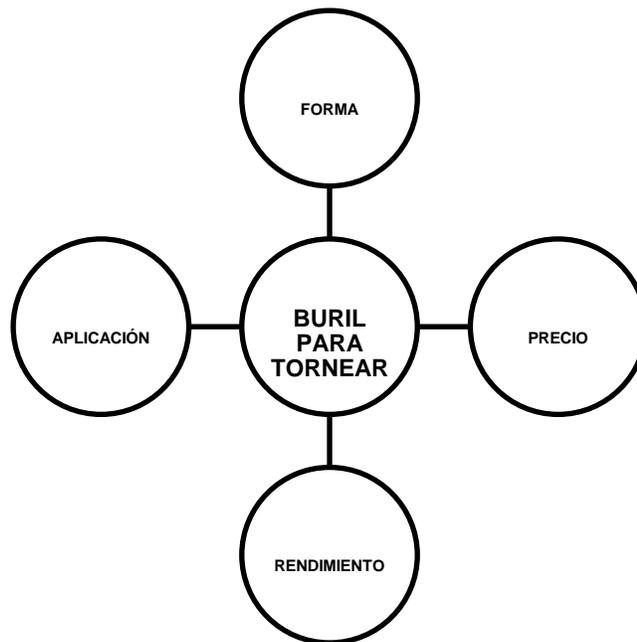
La herramienta debe permitir, en el caso de una vida normal, un rendimiento tan grande como sea posible en el mecanizado. Es decir, que al material de la herramienta se le exigirán las siguientes propiedades:

- Deberá poseer una suficiente dureza con objeto de que pueda penetrar en el material.
- Con objeto de que no se rompa la cuchilla, hará falta una cierta tenacidad.
- Tendrá que soportar una velocidad de corte tan grande como se pueda, sin que en virtud de la elevada temperatura que se produce en el arranque de viruta, sufra menoscaba la capacidad de corte. Es decir, que se exigirá una gran dureza en caliente (resistencia de revenido).
- La resistencia al desgaste deberá ser tan grande como sea posible.

Los puntos de vista que pueden ser decisiones para la elección, son por ejemplo, los siguientes:

- a) Las aplicaciones que se vayan a dar al útil (material de la pieza a trabajar, procedimiento de trabajo).
- b) La forma de la herramienta (cuchillas de torno macho de rosca, escariador).
- c) Las exigencias en cuanto a rendimiento (velocidad de corte, duración de la herramienta).
- d) Las cuestiones económicas (costos de herramienta etc.) (figura 37).

Figura 37. **Elección del material de una herramienta de corte**



Fuente: investigación de campo.

Con objeto de tener en cuenta las distintas exigencias, se han desarrollado gran número de materiales para la cuchilla de corte. Se pueden considerar, los siguientes grupos principales:

- Acero para herramientas no aleados (aceros al carbón)
- Acero para herramienta de aleación débil
- Metales duros y materiales de corte cerámicos
- Diamantes

Acero para herramientas no aleadas (aceros al carbón): el hierro contiene como componentes aleado, casi únicamente el carbón (junto a pequeñas cantidades de silicio o de manganeso). Cuanto más elevado sea el contenido de carbono, resultara con mayor dureza el acero, pero también más agrio. La proporción viene a ser, por ejemplo en el caso de fresas, machos de rosca, brocas helicoidales, aproximadamente un 0,8....1,2%; en el caso de cuchillas de torno, escariadores, etc., aproximadamente 1,2....1,5%.

Ahora bien, la dureza llega a muy pocos milímetros de profundidad. Un afilado de la herramienta, resulta por esto sólo posible muy limitadamente si no va seguido de un nuevo templado. Puede actuar ventajosamente el núcleo que permanece tenaz, al templar (generalmente en agua) pueden producir fácilmente grietas debidas a tensiones o variaciones de forma (deformación) en la herramienta.

Los aceros al carbono tienen sólo una reducida dureza en caliente. Ya a temperaturas de corte de 200° C a 300° C como máximo, pierden su capacidad de corte. Es decir, que soportan solamente velocidades de corte pequeño.

Se distinguen diversas calidades que se basan en grado de pureza, clase de fundición, cementación, etc.

Aceros para herramientas de aleación débil: los componentes aleados son, además del carbono; especialmente cromo, manganeso, silicio, wolframio, vanadio, molibdeno y también níquel. Con estos se mejora especialmente la tendencia y la consistencia del corte.

El templado se hace en aceite, agua o aire, y así, según sea el caso, se habla de aceros templados en aceite, en agua o en aire. Las herramientas de corte con formas complicadas (por ejemplo, herramientas para talla de rocas, cuchillas de forma) exigen medios de templado más suaves, con objeto de evitar grietas de tensiones, y deformaciones. Los medios suaves de templado presuponen, por lo general, aceros aleados. La dureza profunda queda perfeccionada. La dureza en caliente llega a los 200° C...300°C.

Aceros para herramientas fuerte mente aleados (aceros rápidos): estos aceros, obtienen frecuentemente todavía, un aumento de sus buenos rendimientos de corte, mediante un fuerte calentamiento varias veces repetido durante el mecanizado.

La causa de esto, se da debido especialmente en el fuerte contenido de wolframio, que no llega a actuar plenamente, sino cuando el contenido de cromo es aproximadamente de un 4%. Juegan también al mismo tiempo su papel en un aumento de la dureza y la capacidad de corte, el vanadio, el cobalto o el molibdeno.

Mediante adición de vanadio o molibdeno puede bajarse, por ejemplo, el contenido de wolframio, es decir, se podrá ahorrar wolframio. Estos aceros de alto rendimiento, soportan una temperatura de hasta 600°C y por lo tanto velocidades de corte notablemente más altas que los aceros al carbono.

En virtud de su elevado precio se sueldan a veces en forma de plaquitas o insertos sobre material más barato.

Tabla IV. **Composición de aceros de herramientas**

	C	Si	Mn	W	Cr	Mo	V	Co	P	S
Acero de herramientas sin alear	0,8 ... 1,5	... 0,4	... 0,5	-	-	-	-	-	... 0,04	... 0,04
Acero de herramientas débilmente aleado	1,0 ... 1,6	0 ... 0,3	0,2 ... 1,0	0 ... 7	0 ... 1,6	0 ... 0,7 0,5 1,0		
Acero de herramientas fuertemente aleado a) Acero rápido al molibdeno (ejemplo)	0,8			6,5	4,2	5,0	2,0	-		
b) Acero rápido al vanadio (ejemplo)	0,8			12,0	4,0	0,85	2,5	-		
c) Acero rápido al cobalto (ejemplo)	0,75			18,0	4,3	0,85	1,5	9,5		

Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 50.

Metales duros: los metales tales como el wolframio, titanio, molibdeno, tantalio o vanadio, se transforman con carbono en los correspondientes carburos (carburo de wolframio, etc.) Juntamente con cobalto empleado como aglomerante, se pulverizan esos carburos y se pre sinterizan a unos 1 500°C, es decir, se aglutinan entre si y se prensan formando placas. En este estado el metal duro es todavía mecanizable. Las plaquitas reciben entonces su forma final y son, por último terminadas de sintetizar a unos 3 000 °C (figura 38).

A causa de su gran dureza, pueden ahora mecanizarse, y esto dentro de muy escasos límites, solamente con muelas especiales. Las plaquitas terminadas de esmerilar se sueldan finalmente sobre el cuerpo de base de la herramienta (mango de cuchilla, broca, escariados, etc.). Se emplea a este efecto, como elemento soldante, cobre y en algunos casos también níquel. El latón es inadecuado a causa de su bajo punto de fusión, moderadamente se sujetan o inmovilizan también las plaquitas de metal duro en el cuerpo de base.

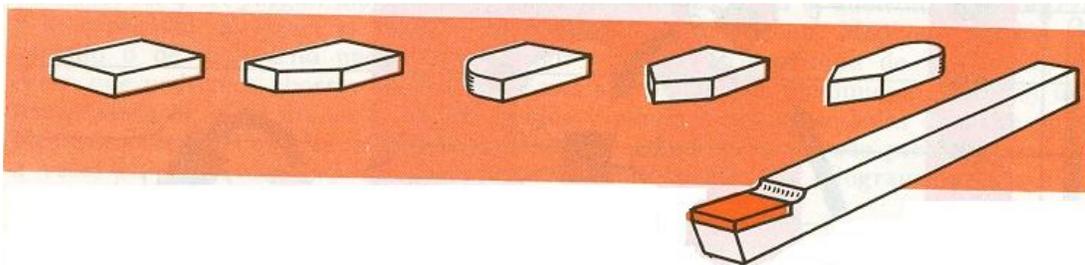
Según sea la aplicación, por ejemplo, como cuchilla de corte lateral o como cuchilla de devastar, los mangos de sujeción reciben una forma distinta.

Propiedades de los metales duros: estos metales se caracterizan por gran dureza, dureza en caliente y consistencia de corte. La dureza se halla comprendida entre la del corindón y la del diamante. El filo soporta temperaturas hasta de 900 °C y, de acuerdo con esto, grandes velocidades y rendimientos de corte.

Con estos metales, se puede mecanizar cómodamente materiales que con los aceros rápidos, son difíciles o imposibles de trabajar, como por ejemplo la fundición de acero con elevado contenido de manganeso, piezas de fundición con inclusiones de arena y escoria, vidrio y porcelana, así como materiales con gran acción abrasiva, tales como el silumín y las resinas sintéticas.

La duración, es un múltiplo de la del mejor acero rápido. Cuando se emplean elevadas velocidades de corte y pequeños avances, se prestan para la obtención de superficies especialmente limpias. Puede obrar desventajosamente su sensibilidad frente a sacudidas y solicitaciones a golpes o choques, produciendo melladuras del filo. Los metales duros no soportan una refrigeración brusca. En este caso o se agrietan o se quiebran. El precio de los materiales duros se rige por la clase, forma y tamaño de las plaquitas.

Figura 38. **Formas de plaquitas o insertos de metal duro**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 52.

Materiales de corte cerámicos: todavía más duro que los metales duros, son los materiales de corte, desarrollados en estos últimos tiempos y fabricados a base de óxidos (combinaciones de oxígeno) de aluminio purísimo (materiales de corte oxicerámicos). Su campo de aplicaciones es todavía limitado.

2.2. Partes del torno

2.2.1. Bancada

La bancada del torno, puede ser considerada como el cuerpo fundamental del torno, reposa a través de patas o de una base en forma de caja directamente sobre el suelo y soporta todas las demás partes del torno. La bancada tiene que absorber todas las fuerzas que se producen durante el torneado, no debe flexarse ni torcerse las paredes laterales se hacen por estas razones fuertes y tienen frecuentemente forma de doble T.

Sobre las guías de la bancada, deslizan el carro principal y el cabezal móvil, las superficies de deslizamiento están cuidadosamente mecanizadas, generalmente rectificadas y rasqueteadas (figura 39). Las bandas de guía hechas de hierro fundido, a veces las bandas de guía están templadas o están constituidas por listones de acero, especialmente templados y rectificadas que se atornillan a la bancada.

Con objeto de poder mecanizar también en el torno mayores diámetros, la bancada de muchos tornos está provista de un acodamiento o escote. En ellas se puede sacar, un trozo de bancada, el llamado puente suplementario (figura 40).

Figura 39. **Bancada del torno**



Fuente: investigación de campo.

Figura 40. **Torno con escote**



Fuente: investigación de campo.

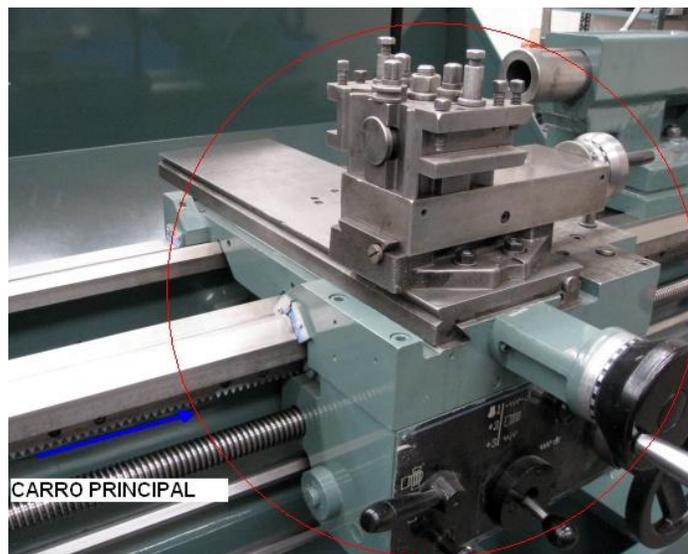
2.2.2. Carro principal o longitudinal

Desliza sobre las bandas de guía de la bancada del torno, únicamente en un único plano (en este caso longitudinal), unos separadores de suciedad, en los extremos anterior y posterior, tienen por objeto evitar que penetre suciedad y virutas entre las superficies de deslizamiento. La existencia de agujeros y ranuras para aceite, hacen posible una buena lubricación.

En la parte posterior y a veces delante, existen listones que evitan el vuelco del carro de bancada (figura 41). Consta de las siguientes partes:

- Carro transversal
- Carro superior
- Carro porta útil

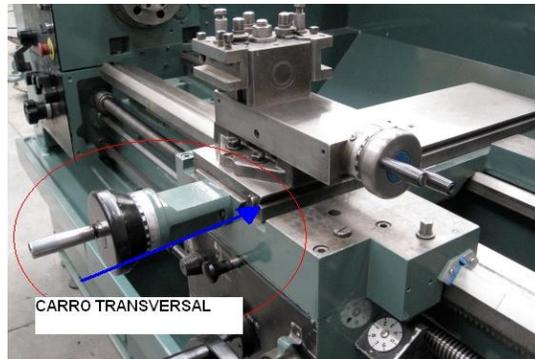
Figura 41. **Carro principal**



Fuente: investigación de campo.

Carro transversal o de refrentar: va unido al carro principal o longitudinal, mediante una guía de cola de milano, puede con esto deslizarse perpendicularmente al sentido de movimiento del carro principal y esto sea bien a mano, mediante tuerca y husillo, bien sea automáticamente, mediante una reducción de engranajes. Un anillo con escala de gran diámetro permite un ajuste fino de la herramienta (figura 42).

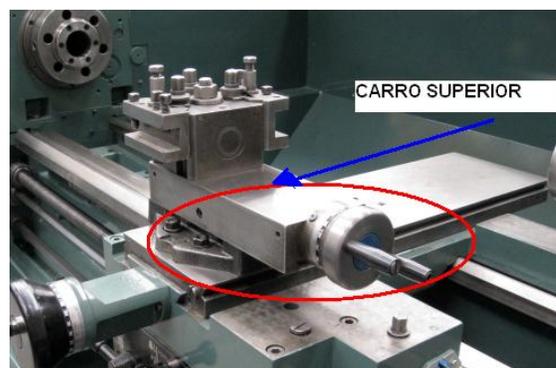
Figura 42. **Carro transversal**



Fuente: investigación de campo.

Carro superior: desliza en una pieza inferior que puede girar sobre el carro transversal, alrededor de un pivote, para fijación se utilizan tornillos, cuyas cabezas se ocultan en una ranura circular. Una escala graduada facilita el ajuste a un determinado ángulo. El carro superior, también se mueve con un anillo de escala graduada de mano, husillo y tuerca. Únicamente en algunas construcciones especiales se prevé un avance automático. Mediante un listón de sección cuneiforme ajustable, se obtiene aquí también una guía sin juego (figura 42).

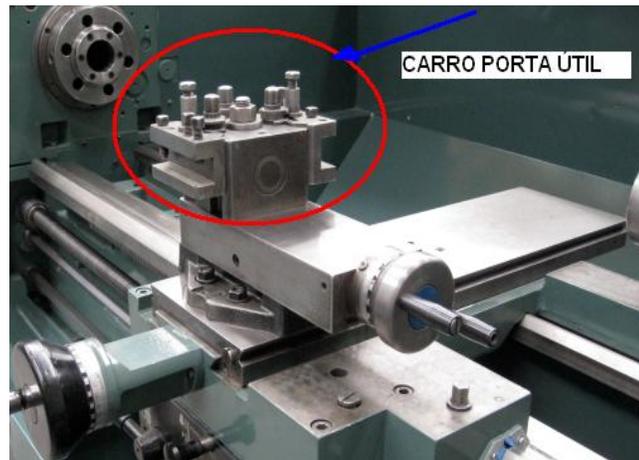
Figura 43. **Carro superior**



Fuente: Investigación de campo.

Carro porta útil: sirve para fijar las herramientas o útiles de torrear, y recibe los movimientos de ajuste o penetración y de avance generados por el carro principal, transversal y superior.

Figura 44. **Carro porta útil**



Fuente: investigación de campo.

2.2.3. **Caja de maniobras**

La caja de maniobras (delantal, placa de maniobra), contiene las piezas de transmisión y de maniobras, necesarias para el movimiento del carro principal y la marcha automática del carro transversal. Para el movimiento del carro principal, existe en la caja de maniobra un volante o una rueda dentada, la rueda dentada engrana en una cremallera dispuesta en la bancada del torno. El movimiento para los carros; principal y transversal es propulsado por el husillo de cilindrar o por el de roscar, según sea la disposición de la máquina con husillo de cilindrar o con husillo de roscar, o con ambos, así será diferente la constitución de la caja (figura 45).

Figura 45. **Delantal**



Fuente: investigación de campo.

2.2.4. Caja de husillo

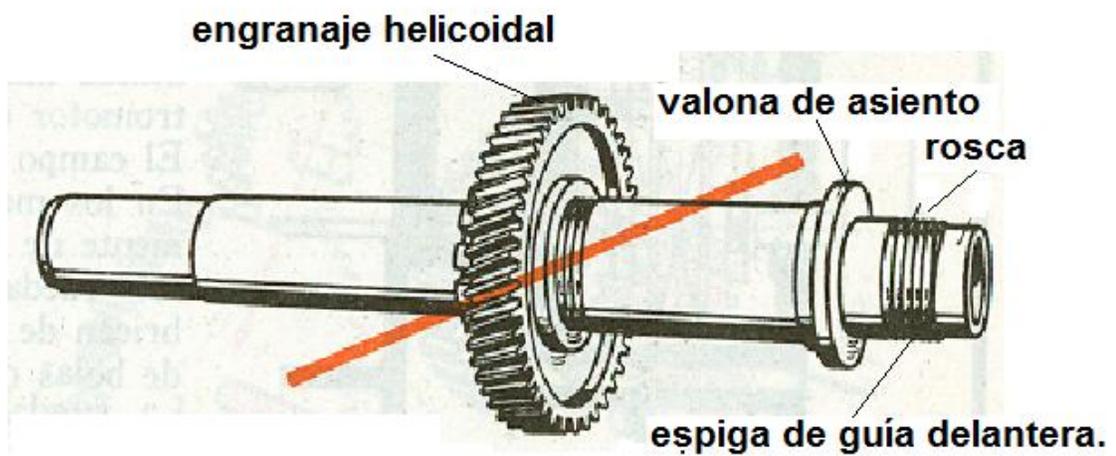
La caja del husillo o cabezal, está fijada sobre la bancada del torno y contiene el husillo principal o de trabajo, y las piezas que la accionan (figura 46). El husillo principal, facilita la colocación de dispositivos de sujeción, como platos de arrastre, platos de torno y contrapunta que han de mecanizarse, la parte del husillo prevista para estos fines, se llama cabeza del husillo, su forma es variada. Se compone de valona del husillo, espiga de guía, rosca y muchas veces otra espiga anterior de guía (figura 46).

Figura 46. **Caja de husillo**



Fuente: investigación de campo.

Figura 47. **Husillo principal con cabeza de husillo roscado**

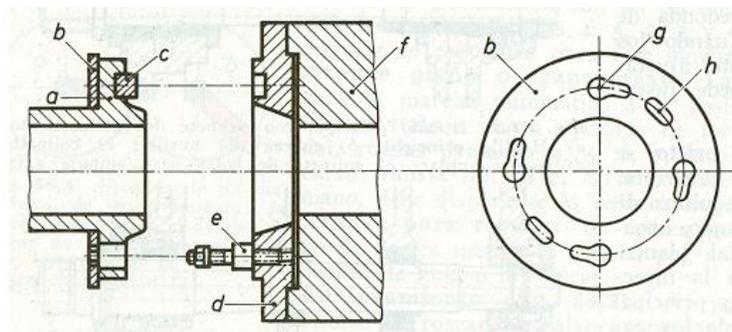


Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 57.

En otra disposición, tiene una brida o platillo con cono corto y un disco que entra a bayoneta (figura 48). Este tipo de construcción, presenta ventajas: el cuerpo de sujeción no puede soltarse por sí mismo y la pieza a trabajar queda más cerca del soporte principal. Para trabajar de la barra (piezas largas y delgadas) el husillo principal tiene un taladro longitudinal. Un cono interior del que va provisto, sirve para alojar una contrapunta. Del buen estado de conservación del husillo principal y sus soportes, depende la calidad del trabajo de torneado.

La ejecución corta y robusta del husillo, impide la flexión y formación de vibraciones. Como material se utiliza acero de la mejor calidad. Las zonas de los soportes especialmente, están templadas; rectificadas y vaciadas. Para apoyo se utiliza a veces casquillos de cojinete partidos que tienen exteriormente forma cónica.

Figura 48. **Husillo principal de mecanismo de bayoneta**



- | | |
|-----------------------------------|--|
| a) cabeza de husillo | b) disco de bayoneta |
| c) pieza de arrastre | d) brida de plato de sujeción |
| e) esparrago (4 piezas) | f) cuerpo de sujeción |
| g) ranuras para esparragos | h) hendiduras para sujeción del disco de bayoneta |

Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 58.

Según sea el año de fabricación, en la casa constructora o el empleo de la máquina, así se encuentra toda clase de soluciones para el funcionamiento del husillo principal: el sencillo mecanismo escalonado de cono de poleas con o sin engranajes, mecanismos de ruedas correderas, mecanismos de engranajes con acoplamientos y de diversos tipos de mecanismos regulables sin escalonamiento (figura 49). Por lo general, se emplean mecanismos de engranajes hasta velocidades de 1 200 rpm.

En caso de muy elevado el número de revoluciones (hasta unas de 6 000 r.p.m.), se utiliza también el acoplamiento directo de electromotor con el husillo principal. El campo de las revoluciones va desde 1: 40 hasta 1: 50. En los mecanismos escalonados se prevén generalmente 1 a 12 ó 1 a 18 números de revoluciones.

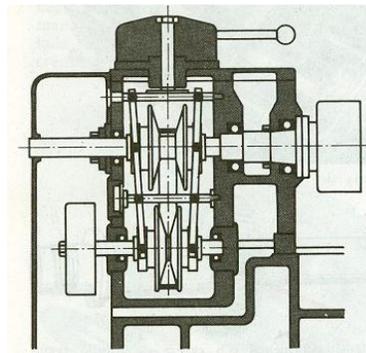
Las ruedas y los árboles de los engranajes, se fabrican de acero de alta calidad y giran en cojinetes de bola o de rodillos. La rueda principal de accionamiento que está dispuesta directamente sobre el husillo principal, va provista frecuentemente en las máquinas nuevas, de dientes inclinados. Con esto se consigue una transmisión más uniforme del esfuerzo y un funcionamiento más silencioso.

Es importante también, en muchas máquinas modernas la circunstancia de descargarse el husillo principal del tiro de correa, mediante soportes separados para la polea de accionamiento o por soportes múltiples de citado husillo principal.

A veces existe una disposición automática de frenado, cuyo fin de acelerar el paro de la máquina. El aceite del conducido a los distintos puntos de engrase mediante conductos.

Placas de indicaciones, así como indicadores de velocidad de corte y el número de revoluciones, facilitan el servicio.

Figura 49. **Accionamiento del husillo principal (mecanismo tipo PIV)**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 58.

2.2.5. Mecanismo de avance

El mecanismo de avance (figura 50), hace posible el avance automático y regula su magnitud. El accionamiento se deriva del husillo principal y es transmitido al husillo de rosca o al de cilindrar. La exactitud de la relación del número de revoluciones, y con ello la magnitud del avance, se obtiene mediante intercalación de un mecanismo de escalonamiento. Son usuales los siguientes:

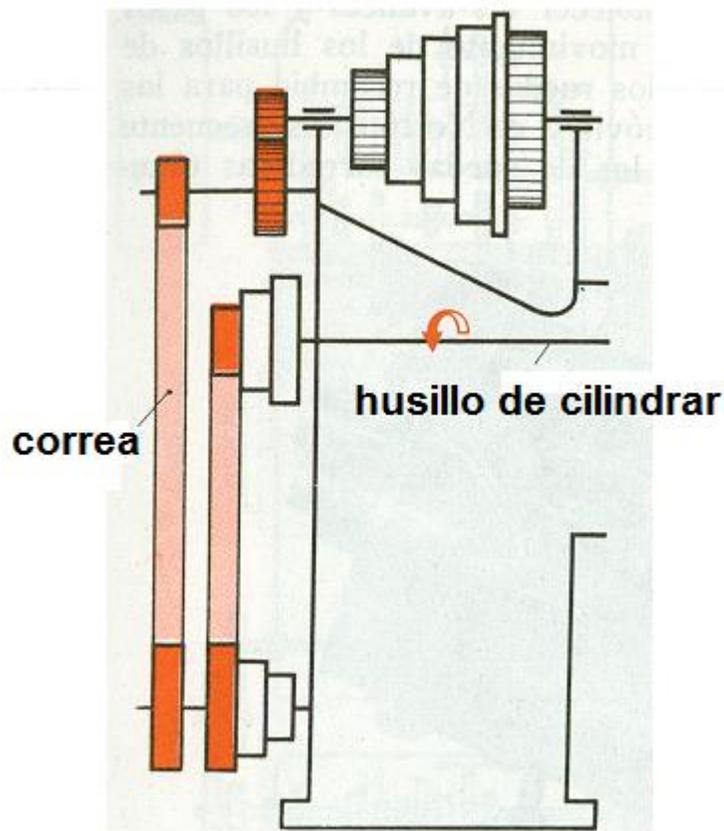
Figura 50. **Mecanismo de avance**



Fuente: investigación de campo.

Mecanismo de avance de poleas escalonadas (figura 51): mediante desplazamiento de correas, puede ser variado el avance. En caso de carga fuerte, patina la correa, cosa que es un inconveniente cuando se trata de cortes difíciles. También para la talla de roscas, resulta inapropiado este mecanismo a causa del resbamiento de la correa. El sentido del movimiento puede variarse cruzando la correa o mediante el mecanismo de inversión en la placa de maniobra. Este tipo de mecanismos no se encuentra en las máquinas antiguas. Han sido desplazados por los mecanismos de engranajes.

Figura 51. **Mecanismo de avance por correas**

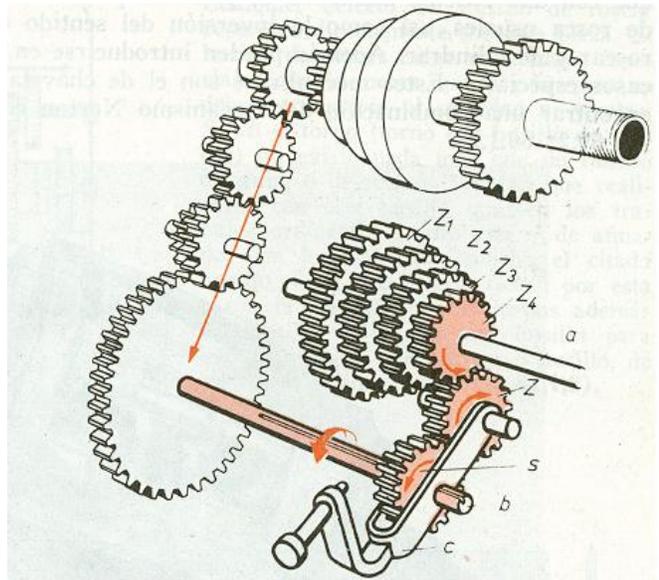


Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 59.

Mecanismo de avance de cadena: el mecanismo de cadenas, garantiza una mayor exactitud de la relación de transmisión, incluso a distancias algo mayores.

Mecanismo de avance de engranajes (figura 52): para transmitir los movimientos, se utilizan aquí ruedas dentadas, que pueden ser recambiadas según sea el avance deseado. Para invertir el sentido se utiliza, por ejemplo, un mecanismo de corazón de inversión.

Figura 52. **Mecanismo de avance Norton**



- a) husillo de cilindrar b) árbol de engranajes
c) palanca oscilante s) rueda
z) rueda oscilante

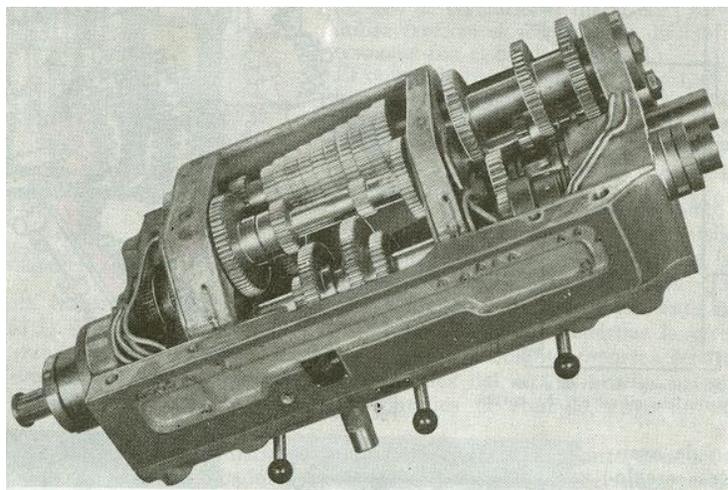
Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 59.

Los modernos tipos, facilitan el trabajo mediante montaje en la máquina de mecanismos, que con una sencilla maniobra de palancas permiten establecer los avances y los pasos de rosca usuales, así como la inversión del sentido del movimiento de los husillos de roscar y cilindrar. A demás pueden introducirse en ellos ruedas de recambio para los casos especiales. Estos mecanismos son el de chaveta móvil y el Norton. Es frecuente encontrar una combinación del mecanismo Norton con los de ruedas correderas (figura 53).

El mecanismo del Norton, se reconoce por llevar el exterior de la caja de mecanismo una serie inclinada de agujeros, en los que se detiene, según corresponda, el mango de la palanca oscilante.

La palanca oscilante, se mueve además en una ranura, los modernos mecanismos de avance van frecuentemente montados en cajas cerradas y pueden, por lo tanto, funcionar en baño de aceite. Los árboles de los engranajes, giran muchas veces en cojinetes de rodamientos, el empuje lateral de avance de husillo de roscar lo absorbe un cojinete axial de bolas.

Figura 53. **Mecanismo de avance Norton y ruedas correderas**



Fuente: Walter Bartsch, Libro Alrededor del torno, p. 60.

2.2.6. Husillo de roscar y cilindrar

El husillo de roscar, acciona el avance longitudinal automático, únicamente en el entallado de roscas y cuando se trate de otros trabajos que exijan un avance exacto. Esta generalmente provisto de rosca trapecial, que se fábrica con la mayor precisión posible para evitar asimismo los más mínimos errores en el paso. Los husillos de roscar normales, tienen una exactitud hasta de 10μ en 100 mm de longitud de paso, y en ejecuciones especiales hasta 3μ por cada 100 mm.

Cualquier defecto del husillo de roscar, repercute directamente sobre la pieza. El husillo de roscar exige un cuidado especial. Entre la tuerca matriz y la rosca no debe introducirse ni suciedad, ni virutas. Si en el torno (torno con husillo de roscar) no existe nada más que un husillo guía, o de roscar, tendrán que realizarse con este husillo también los trabajos ordinarios de desbaste y de afinado, con lo cual sufre mucho el citado husillo. Para preservarlo tienen por esta razón la mayoría de los tornos además del husillo de roscar, un husillo para cilindrar (torno con barras o husillos de roscar y de cilindrar) (figura 54).

El husillo de cilindrar, es un árbol liso provisto de una ranura longitudinal, esta ranura sirve para arrastrar una rueda cónica o un husillo en la placa delantera, con el objeto de dar al carro principal su movimiento de avance (Figura 55).

Figura 54. **Husillo de roscar**



Fuente: investigación de campo.

Además de los husillos de cilindrar y de roscar, existen a veces otros husillos o árboles que sirven para establecer acoplamientos, por ejemplo, para embragar y desembragar el motor, o para variar el sentido del avance del carro porta útil, el proceso de estos acoplamientos se hace funcionar mediante una palanca.

Figura 55. **Husillo de avance**



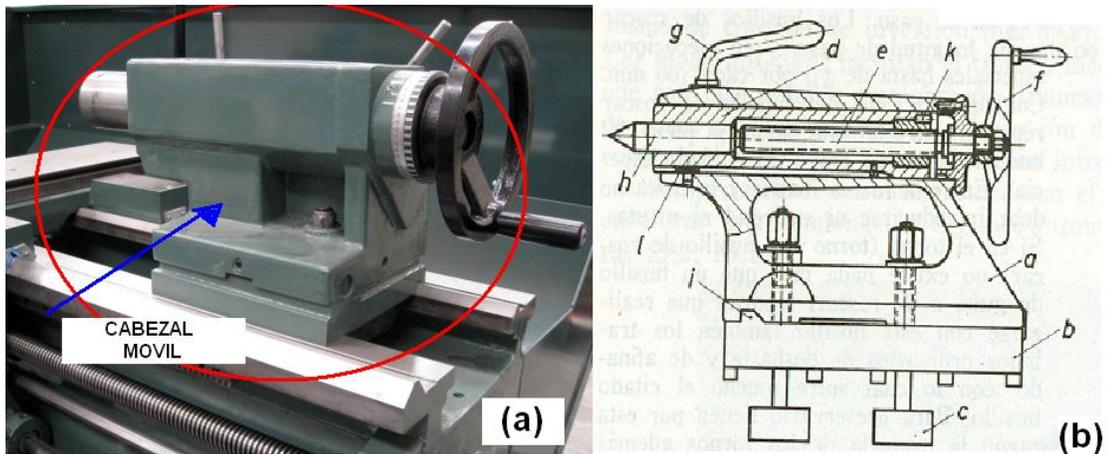
Fuente: investigación de campo.

2.2.7. El cabezal móvil

Tiene una función múltiple:

- Provisto de una contrapunta, sirve como sujeción al torneado entre puntas
- Provisto de una broca o de un escariador sujetos, en él sirve para la ejecución de taladros
- Para torneado de conos esbeltos y para el exacto ajuste de la contrapunta, su parte superior se desliza sobre la inferior (figura 56 a, b)

Figura 56. **Cabezal móvil**



Fuente: investigación de campo.

Con objeto de guiar con seguridad la pieza, hay que sujetar la pínula fuertemente, debe estar dotada de una guía larga y debe poderse enclavar. La pínula se mueve a mano, mediante un volante y un husillo roscado, pero a veces también mediante palanca de mano o palanca y rueda dentada.

Cuando la pínula está completamente introducida, el husillo del cabezal móvil choca contra la contrapunta que puede ser extraída de este modo. El cabezal móvil se mantiene estrecho con objeto de que pueda llevarse lo más cerca posible contra el carro porta útil, es decir, para que pueda acercarse todo lo posible a la pieza. Si en la máquina se realizan preferentemente trabajos de taladrado puede resultar conveniente la disposición de un cabezal móvil provisto de broca y con avance automático.

Mediante divisiones dispuestas en la cabeza móvil, pueden leerse profundidad de agujeros o medida de ajuste para tornear conos. En algunos cabezales móviles es movida la pínula, mediante aceite a presión (accionamiento hidráulico). A veces existen manómetros montados para indicar la presión sobre la contrapunta o sobre la pieza.

3. DISEÑO DEL DINAMÓMETRO

3.1. El dinamómetro

Se denomina dinamómetro, a un instrumento utilizado para medir fuerzas. Fue inventado por Isaac Newton y no debe confundirse con la balanza (instrumento utilizado para medir masas), aunque sí puede compararse a la báscula.

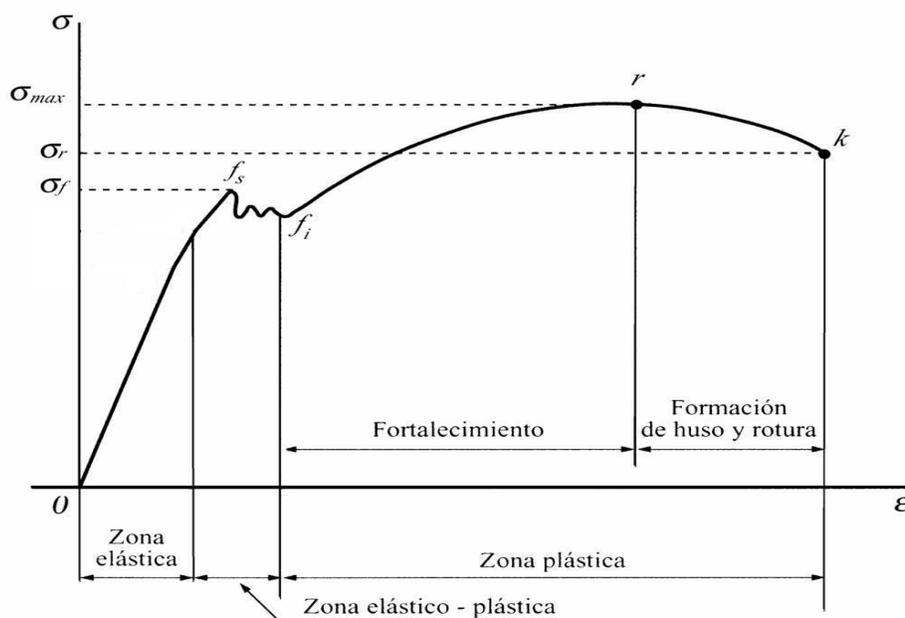
Estos instrumentos, consisten generalmente en un muelle contenido en un cilindro de plástico, cartón o metal generalmente, con dos ganchos, uno en cada extremo. Los dinamómetros llevan marcada una escala, en unidades de fuerza, en el cilindro hueco que rodea el muelle. Al colgar pesos o ejercer una fuerza sobre el gancho inferior, el cursor del cilindro inferior se mueve sobre la escala exterior, indicando el valor de la fuerza.

Los muelles, que forman los dinamómetros presentan un límite elástico, de tal modo que si se aplican fuerzas muy grandes y se producen alargamientos excesivos, se puede sobrepasar el límite de elasticidad; en esas condiciones, el muelle experimenta una deformación permanente que conlleva la inutilización del dinamómetro.

Las máquinas de ensayo de materiales, sometidos a diferentes esfuerzos, incorporan dinamómetros, principalmente cuando los ensayos son de resistencia a la tracción, para medir los esfuerzos de rotura que hacen fallar a las probetas de ensayo.

Una forma común de dinamómetro, es una balanza de resorte calibrada en Newton, kilogramo fuerza, libras y mide tanto fuerzas de tracción como de compresión, empleándose el dinamómetro correspondiente según el caso.

Figura 57. **Curva esfuerzo vs deformación en los aceros**

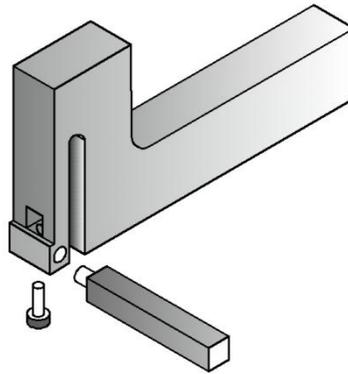


Fuente: blogs Universidad de Pereira.

3.2. Características del diseño

El diseño del dinamómetro, deberá ser capaz de medir la fuerza de corte F_c generada en los procesos de maquinado en el torno. La figura 58 muestra el isométrico del dinamómetro construido.

Figura 58. **Proyección Isométrica del dinamómetro**



Fuente: investigación de campo.

El diseño de un dinamómetro, al igual que en la mayoría de problemas de este tipo, debe de poseer una rigidez elevada y una gran sensibilidad.

El principio fundamental de todos los dinamómetros, para medir este tipo de fuerza de corte, consiste en la medición de las deflexiones o de las deformaciones unitarias, inducidas en la estructura del dinamómetro por la fuerza de corte resultante.

El diseño de los dinamómetros difiere considerablemente y depende de medir las deflexiones; estas pueden ser, determinadas directamente, usando detectores de desplazamiento o mediante extensómetros eléctricos y su equipo asociado. Es ventajoso utilizar instrumentación que posea una sensibilidad elevada, por que ella permite emplear un dinamómetro de gran rigidez estructural. Sin embargo, es necesario diseñar el dinamómetro de tal forma que utilice al máximo la sensibilidad del equipo disponible.

En un diseño eficiente, el desplazamiento de la herramienta debe ser tan pequeño como sea posible, para que no se altere la geometría del proceso de corte. Como regla general, puede decirse que en el diseño de un dinamómetro, para la determinación de la fuerza de corte, debe evitarse la utilización de uniones apernadas o prensadas, de pivotes o de bisagras de cualquier clase por que ellos dan lugar a la histéresis ocasionada por la fricción. Por lo tanto, de ser posible, el dinamómetro siempre debe de fabricarse de un solo bloque de material.

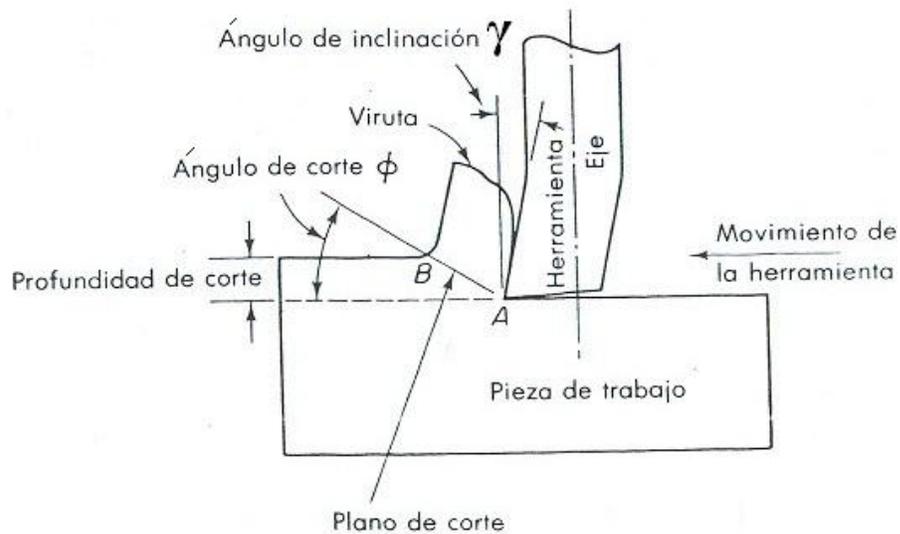
3.3. Cálculo de la fuerza de corte

La parte más importante de una operación de maquinado de metal, es el punto en donde la herramienta de corte encuentra la pieza de trabajo y arranca la viruta. Es necesario comprender lo que sucede en la zona corte con el fin de apreciar lo que hace una buena herramienta de corte y como deberá operar. La acción básica, es la misma ya sea que se tenga un solo borde por cortar o varios bordes en una herramienta de dientes múltiples, que corten al mismo tiempo o en sucesión.

Cuando una herramienta corta el metal, está impulsada por la fuerza necesaria para superar la fricción y las fuerzas que mantienen unido al metal. Cuando por primera vez la herramienta encuentra el metal lo comprime y hace que fluya hasta la cara de la herramienta. La presión que se ejerce en contra de la cara de la herramienta y la fuerza de fricción que se opone al flujo del metal, se acumulan en grandes cantidades. La figura 59 es un diagrama de la acción en un solo plano de una herramienta de corte que está formando una viruta.

En el punto A, el material queda cizallado por el avance de la herramienta o es arrancado mediante el doblado de la viruta para iniciar una grieta.

Figura 59. **Acción de la herramienta de corte**

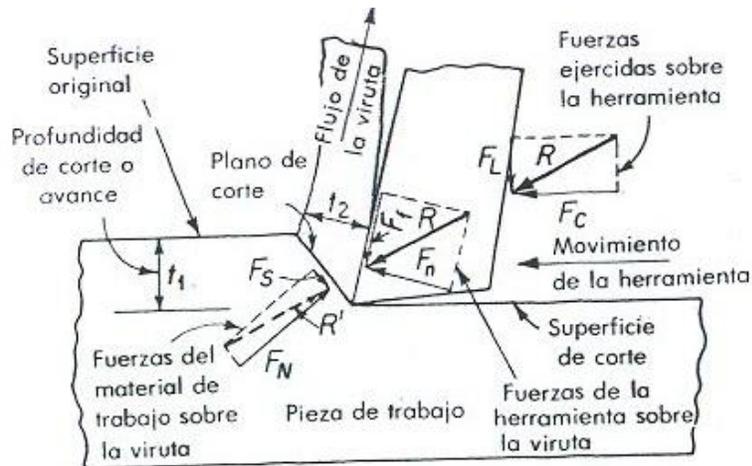


Fuente: Doyle, Lawrence, Libro Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, p. 512.

La tensión del material que se encuentra delante de la herramienta, que avanza y alcanza un valor máximo en una banda, que es estrecha a altas velocidades de corte y se mira como un plano aproximadamente perpendicular a la cara de la herramienta. Este plano se conoce como plano de corte y en la figura 59 la línea AB representa un borde. Cuando se rebasa la resistencia del metal, ocurre la ruptura o deslizamiento a lo largo del plano de corte.

Con movimiento adicional, la herramienta oprime nuevo material y se repite el ciclo una y otra vez.

Figura 60. **Fuerzas ejercidas por una herramienta de corte**



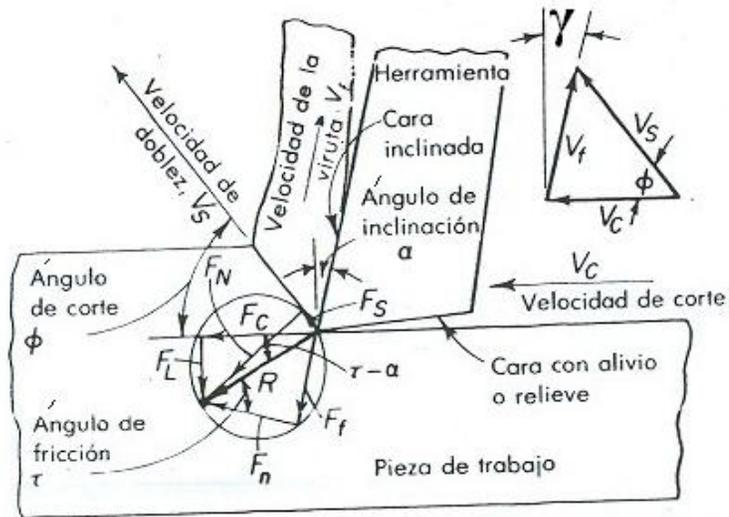
Fuente: Doyle, Lawrence, Libor Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, p. 515.

La figura 60, muestra la formación de una viruta de tipo continua, en donde el borde único de corte de la herramienta, está en ángulo recto con respecto a la dirección del movimiento, y la superficie cortada es paralela al original. A esto se le llama corte ortogonal y resulta fácil de imaginar y comprender, y los principios que revela, son ciertos para todas las formas de corte de metal.

La herramienta ejerce una fuerza R sobre la viruta, con un componente normal F_n y una componente de fricción F_f que se opone al flujo de la viruta sobre la cara de la herramienta. Para lograr el equilibrio, la viruta debe sujetarse a una reacción sustancialmente igual y opuesta a R' desde la pieza de trabajo en el plano de corte con una componente normal F_N y un esfuerzo cortante F_s a lo largo del plano de corte. Para conveniencia, la fuerza R aplicada a la herramienta, se resuelve en una componente F_c en la dirección del movimiento de la herramienta y una componente normal F_L .

Para ilustrar la relación, resulta posible representar todas las fuerzas, mediante la fuerza R que actúa en el borde de la herramienta con las componentes en sus posiciones respectivas según se ven en la figura 61.

Figura 61. **Sistemas de fuerzas y velocidades de corte**



Fuente: Doyle, Lawrence, Libro Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, p. 515.

El ángulo del plano de corte, se calcula a partir del cambio en el tamaño de la viruta que se deforma a lo largo del plano de corte. Se conocen; el espesor de la viruta precortada y el ángulo de inclinación γ . El espesor t_2 de la viruta que se mide normal con la cara inclinada de la herramienta a lo largo de la línea que forma un ángulo de $\Phi - \gamma$ con el plano de corte.

La longitud del plano de corte, es $t_2 / \cos(\Phi - \gamma)$, y $\sin \Phi = (t_1 / t_2) \cos(\Phi - \gamma)$. Lo anterior se reduce por identidad trigonométrica a:

(Ecuación 1)

$$\tan \Phi = \frac{r \cos \gamma}{1 - r \sin \gamma}$$

en donde $r = t_1 / t_2$ y se llama relación de espesor de viruta.

También de las figuras 60 y 61 se pueden determinar las siguientes ecuaciones:

(Ecuación 2)

$$F_c = \frac{t_y \cdot t_o \cdot \omega \cos(\beta - \gamma)}{\sin \Phi \cos(\Phi + \beta - \gamma)}$$

(Ecuación 3)

$$\beta = 2(45^\circ) + \gamma - 2\Phi$$

Donde;

$t_y = S =$ esfuerzo cortante del material

$t_o = A =$ avance (mm/rev)

$\omega =$ profundidad de corte

$\beta =$ ángulo de fricción

$\gamma =$ ángulo de ataque

$\Phi =$ ángulo de plano de corte

Con las ecuaciones establecidas anteriormente, se toman los datos para un acero 1018, puesto que es el material más duro que se utiliza para realizar las prácticas en el laboratorio del curso de Procesos de Manufactura de la Escuela de Mecánica.

Resistencia del material 1018 = 41 kgf/mm² (ver anexo 2)

$t_y = S = 21 \text{ kgf/mm}^2 = 200 \text{ MPa}$. (ver anexo 2)

Ángulo $\gamma = 14^\circ$ (según tabla 3)

$t_o = 0,15 \text{ mm/rev}$ (ver anexo)

$w = 1 \text{ mm}$  $r = 0,6$

$w = 2 \text{ mm}$  $r = 0,6$

$w = 3 \text{ mm}$  $r = 0,6$

$w = 4 \text{ mm}$  $r = 0,6$

Fc para w = 1 mm

(Ecuación 1)

$$\text{Tan } \Phi = \frac{r \cos \gamma}{1 - r \text{ sen } \gamma}$$

$$\text{Tan } \Phi = \frac{0,60 \cos 14}{1 - 0,60 \text{ sen } 14}$$

$$\Phi = 34,2^\circ$$

(Ecuación 3)

$$\beta = 2 (45^\circ) + \gamma - 2 \Phi$$

$$\beta = 90^\circ + 14 - 68,4^\circ$$

$$\beta = 35,6^\circ$$

(Ecuación 2)

$$F_c = \frac{t_y \cdot t_o \cdot \omega \cos (\beta - \gamma)}{\text{sen } \Phi \cos (\Phi + \beta - \gamma)}$$

$$F_c = \frac{200 \text{ MPa} * 0,15 \text{ mm/rev} * 1 \text{ mm} \cos (35,6^\circ - 14^\circ)}{\text{sen } 34,2^\circ * \cos (34,2^\circ + 35,6^\circ - 14^\circ)}$$

$$F_c = 88 \text{ N}$$

Fc para w = 2 mm

(Ecuación 1)

$$\text{Tan } \Phi = \frac{r \cos \gamma}{1 - r \text{ sen } \gamma}$$

$$\tan \phi = \frac{0,60 \cos 14}{1 - 0,60 \sin 14}$$

$$\phi = 34,2^\circ$$

(Ecuación 3)

$$\beta = 2(45^\circ) + \gamma - 2\phi$$

$$\beta = 90^\circ + 14^\circ - 68,4^\circ$$

$$\beta = 35,6^\circ$$

(Ecuación 2)

$$F_c = \frac{t_y \cdot t_o \cdot \omega \cos(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \gamma)}$$

$$F_c = \frac{200 \text{ MPa} \cdot 0,15 \text{ mm/rev} \cdot 2 \text{ mm} \cos(35,6^\circ - 14^\circ)}{\sin 34,2^\circ \cdot \cos(34,2^\circ + 35,6^\circ - 14^\circ)}$$

$$F_c = 176 \text{ N}$$

Fc para w = 3 mm

(Ecuación 1)

$$\tan \Phi = \frac{r \cos \gamma}{1 - r \sin \gamma}$$

$$\tan \Phi = \frac{0,60 \cos 14}{1 - 0,60 \sin 14}$$

$$\Phi = 34,2^\circ$$

(Ecuación 3)

$$\beta = 2 (45^\circ) + \gamma - 2 \Phi$$

$$\beta = 90^\circ + 14 - 68,4^\circ$$

$$\beta = 35,6^\circ$$

(Ecuación 2)

$$F_c = \frac{t_y \cdot t_o \cdot \omega \cos (\beta - \gamma)}{\sin \Phi \cos (\Phi + \beta - \gamma)}$$

$$F_c = \frac{200 \text{ MPa} \cdot 0,15 \text{ mm/rev} \cdot 3 \text{ mm} \cos (35,6^\circ - 14^\circ)}{\sin 34,2^\circ \cdot \cos (34,2^\circ + 35,6^\circ - 14^\circ)}$$

$$F_c = 264 \text{ N}$$

Fc para w = 4mm

(Ecuación 1)

$$\tan \Phi = \frac{r \cos \gamma}{1 - r \sin \gamma}$$

$$\tan \Phi = \frac{0,60 \cos 14}{1 - 0,60 \sin 14}$$

$$\Phi = 34,2^\circ$$

(Ecuación 3)

$$\beta = 2 (45^\circ) + \gamma - 2 \Phi$$

$$\beta = 90^\circ + 14 - 68,4^\circ$$

$$\beta = 35,6^\circ$$

(Ecuación 2)

$$F_c = \frac{t_y \text{ to } \omega \cos (\beta - \gamma)}{\sin \Phi \cos (\Phi + \beta - \gamma)}$$

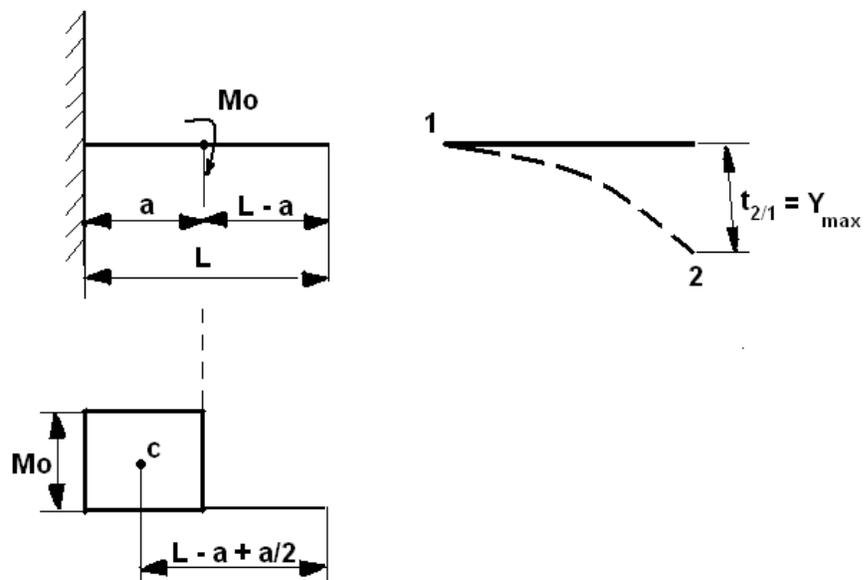
$$F_c = \frac{200 \text{ MPa} * 0,15 \text{ mm/rev} * 4 \text{ mm} \cos (35,6^\circ - 14^\circ)}{\sin 34,2^\circ * \cos (34,2^\circ + 35,6^\circ - 14^\circ)}$$

$$F_c = 352 \text{ N}$$

3.4. Deflexión máxima de una viga en voladizo

Para la deflexión máxima de una viga en voladizo, sometida a un momento en un punto intermedio que es el caso de la viga del dinamómetro mostrado en la figura 58, se deduce de la siguiente manera:

Figura 62. Esquema de una viga en voladizo



Fuente: Engineering Handbook, Detroit, General Motors Corporation, p. 64.

De acuerdo con la figura 58 y 62, la deflexión está dada por:

(Ecuación 4)

$$Y_{\max} = t_{2/1} = \frac{M_o * a * X_a}{E * I} = \frac{M_o * a * (L - \frac{1}{2} a)}{E * I}$$

(Ecuación 5)

$$I = \frac{b^3 h}{12}$$

Donde;

$Y_{\max} = t_{2/1}$ = deflexión de 2 respecto a 1

E = módulo de elasticidad

X_a = distancia del centroide de **c** al punto **1**

a = distancia a la que se encuentra el momento aplicado desde la raíz de la viga

L = longitud de la viga

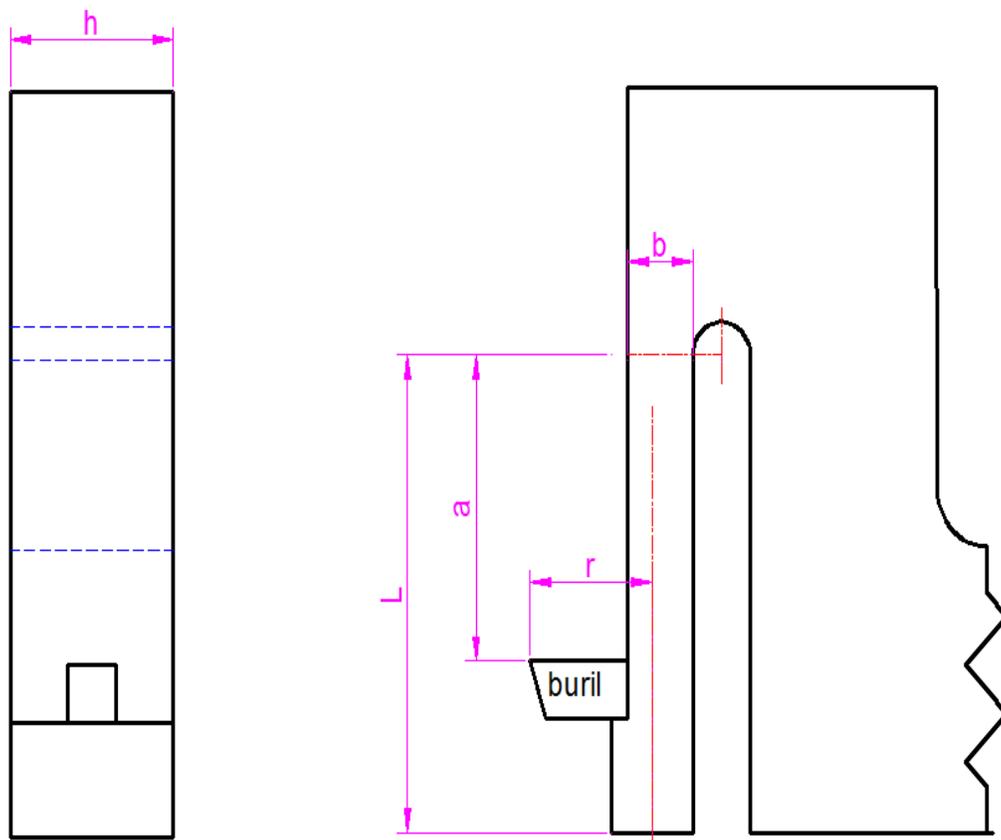
I = momento de inercia

Se observa que la deflexión máxima, depende del momento M_o , el cual es ocasionado por la fuerza de corte F_c ya calculada.

3.5. Cálculos para la deflexión máxima en el dinamómetro

Para determinar si el diseño del dinamómetro propuesto cumplirá con las condiciones establecidas, se calcula el máximo esfuerzo al que estará sometido y se compara con el límite de fluencia del acero 1045, para saber si con dicho esfuerzo el dinamómetro se mantendrá en zona elástica o alcanzara la zona plástica.

Figura 63. Nomenclatura de la viga del dinamómetro



Fuente: investigación de campo.

Según la figura anterior, se pueden determinar las siguientes ecuaciones:

(Ecuación 6)

$$M_o = F_c * r$$

(Ecuación 7)

$$\sigma = \frac{M_o * \frac{1}{2} b}{I}$$

Los datos propuestos, son los siguientes para acero 1045:

$$a = 30 \text{ mm}$$

$$L = 50 \text{ mm}$$

$$b = 7,50 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ mm}$$

$$r = 21,75$$

$$E = 200 \text{ GPa.} \quad \sigma_{f1045} = 310 \text{ N/mm}^2 \text{ (ver anexo 3)}$$

(Ecuación 5)

$$I = \frac{b^3 h}{12}$$

(Ecuación 5)

$$I = \frac{50^3 * 20}{12}$$

$$I = 703,13 \text{ mm}^4$$

(Ecuación 6)

$$M_o = F_c * r$$

(Ecuación 6)

$$M_o = 362 \text{ N} * 21,75 \text{ mm}$$

$$M_o = 7\,873,5 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{M_o * a * (L - \frac{1}{2} a)}{E * I}$$

$$Y_{\text{máx}} = \frac{7\,873,5 \text{ N} \cdot \text{mm} * 30 \text{ mm}}{200\,000 \text{ N/mm}^2 * 703,13 \text{ mm}^4} * (50 \text{ mm} - \frac{1}{2} 30 \text{ mm})$$

$$Y_{\text{máx}} = 0,06 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{M_o * \frac{1}{2} b}{I}$$

$$\sigma = \frac{7\,873,5 \text{ N} \cdot \text{mm} * 3,75 \text{ mm}}{703,13 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 14,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 14,15 \text{ N/mm}^2 \ll \sigma_{f1045} = 310 \text{ N/mm}^2$$

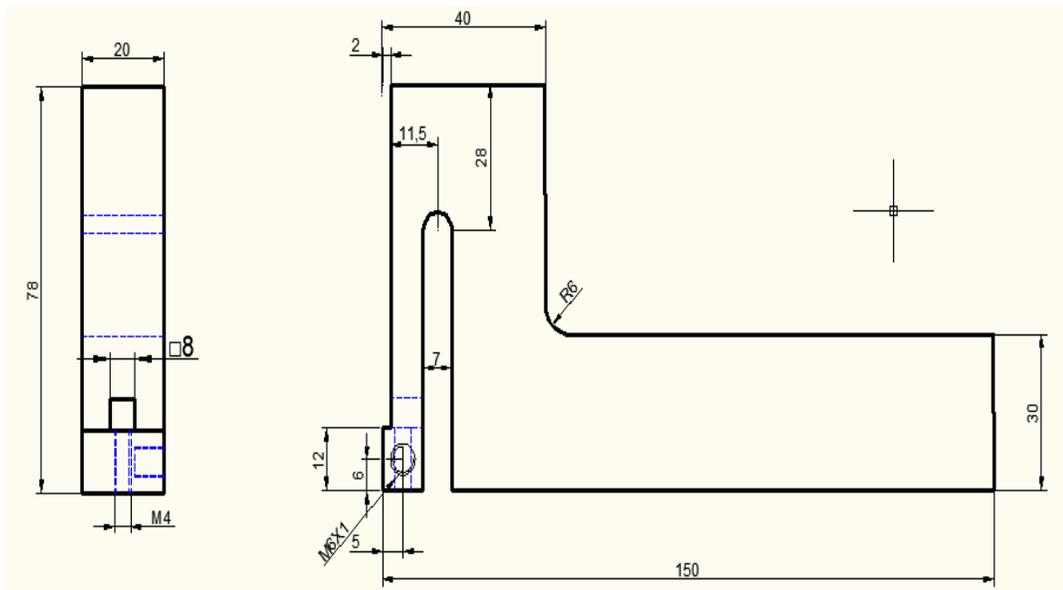
Como el esfuerzo máximo calculado es mucho menor al límite de fluencia del acero 1045, la viga no entrara a la zona plástica y el dimensionamiento propuesto para el dinamómetro es una solución para medir fuerzas de corte de la magnitud propuesta en el inciso 3.3.

4. CONSTRUCCIÓN DEL DINAMÓMETRO

4.1. Dimensionamiento

El mecanizado del dinamómetro, se realizo partiendo de un cilindro de acero 1045, de una dimensión de 80 mm de diámetro x 150 mm de largo. La figura 64 muestra las vistas acotadas del dinamómetro a construir.

Figura 64. Vista frontal del dinamómetro



Fuente: investigación de campo.

4.2. Proceso de maquinado para realizar los componentes del dinamómetro

Para la realización del dinamómetro, se partió de un cilindro de acero 1045 de 80 mm de diámetro x 150 mm de longitud.

Figura 65. **Material inicial para la construcción del dinamómetro**



Fuente: investigación de campo.

4.2.1. Fresado

Para el proceso de fresado del dinamómetro, se realizaran varios pasos:

Paso 1: se monta y se alinea la prensa para sujetar el material.

Paso 2: se monta una fresa de 30 mm de diámetro como herramienta de corte para realizar el mecanizado.

Pasó 3: se colocan 180 rpm, avance 10 mm/min, la profundidad de corte será de 3 mm en el desbastado y 1 mm en el acabado.

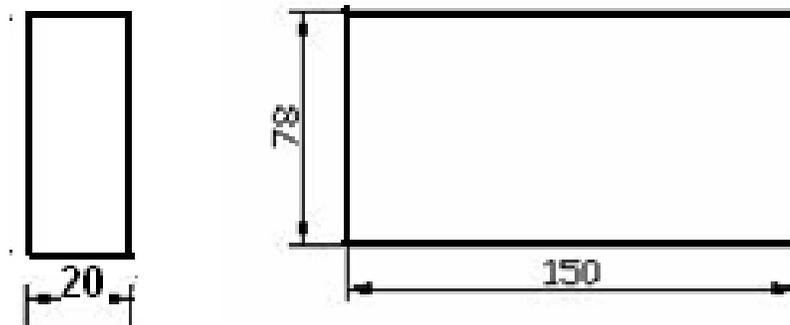
Paso 4: se procede a realizar el mecanizado hasta lograr un paralelepípedo de 78 mm de altura x 20 mm de ancho x 150 mm de longitud.

Figura 66. **Montaje del material en la prensa**



Fuente: investigación de campo.

Figura 67. **Medidas del rectángulo del proceso de fresado**

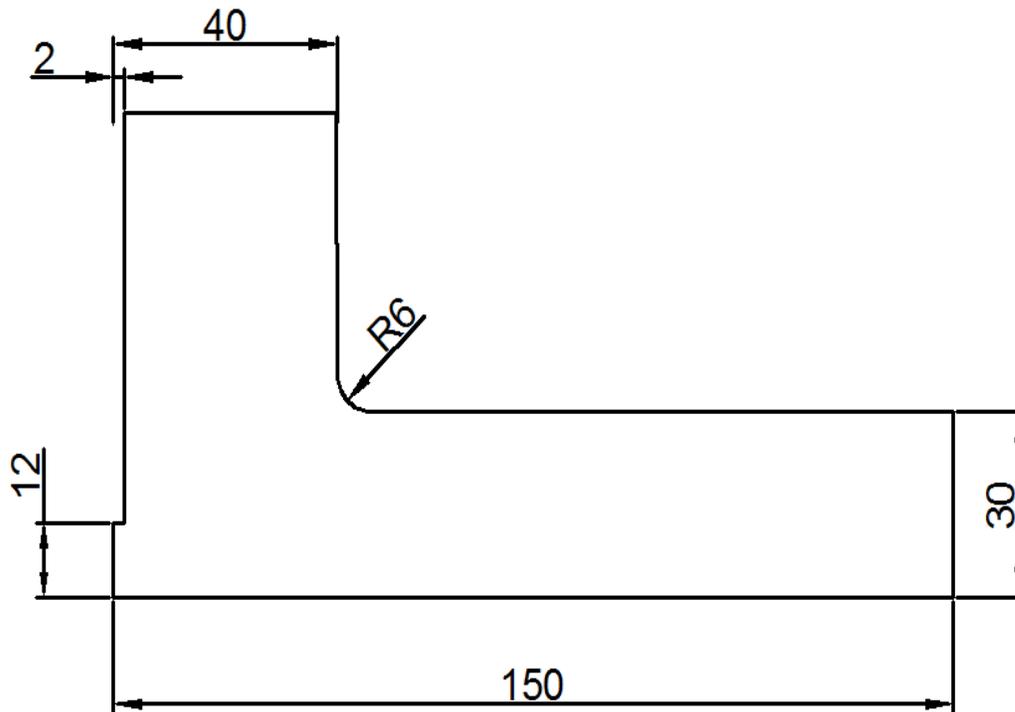


Fuente: investigación de campo.

Paso 5: una vez terminado el rectángulo, se cambia la herramienta de corte y se coloca una fresa de 16 mm.

Paso 6: se colocan 300 rpm, avance de 15 mm/min, profundidad de corte de 3 mm para el desbaste y 1 mm para el afinado y luego se procede a realizar los rebajes según se muestra en la figura 68.

Figura 68. **Rebaje para sujeción del dinamómetro en el torno**



Fuente: investigación de campo.

Figura 69. **Mecanizado de rebaje para la sujeción del dinamómetro en el torno**

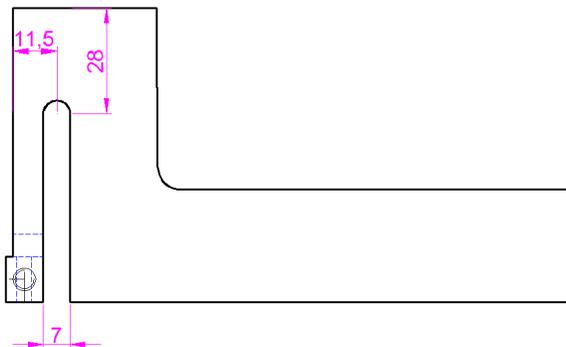


Fuente: investigación de campo.

Paso 7: se cambia de herramienta de corte y se coloca una fresa de 6 mm de diámetro.

Paso 8: se colocan 700 rpm, un avance de 15 mm/rev, y la profundidad de corte será de 1,5 mm para cada pasada y se procede al mecanizado de la ranura según la figura 70.

Figura 70. **Medidas de la ranura**



Fuente: investigación de campo.

Figura 71. **Mecanizado de la ranura**



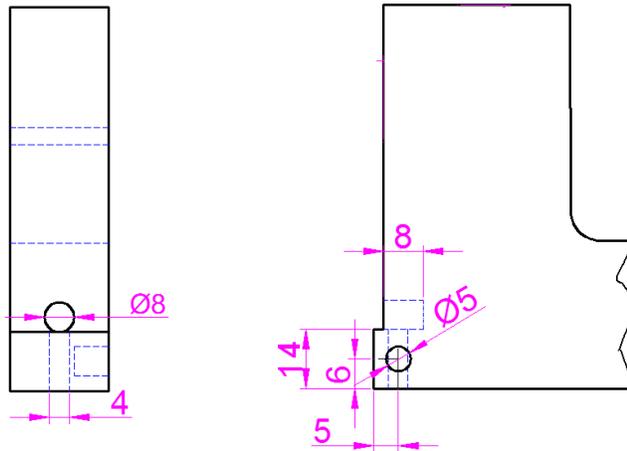
Fuente: investigación de campo.

4.2.2. Taladrado

Paso 1: se cambia la herramienta de corte y colocan brocas de diferentes diámetros, de acuerdo a cada agujero a realizar según se muestra en la figura.

Paso 2: se colocan las rpm adecuadas para cada broca y se procede a realizar los agujeros respectivos.

Figura 72. **Medidas de los agujeros**



Fuente: investigación de campo.

Figura 73. **Mecanizado de los agujeros**



Fuente: investigación de campo.

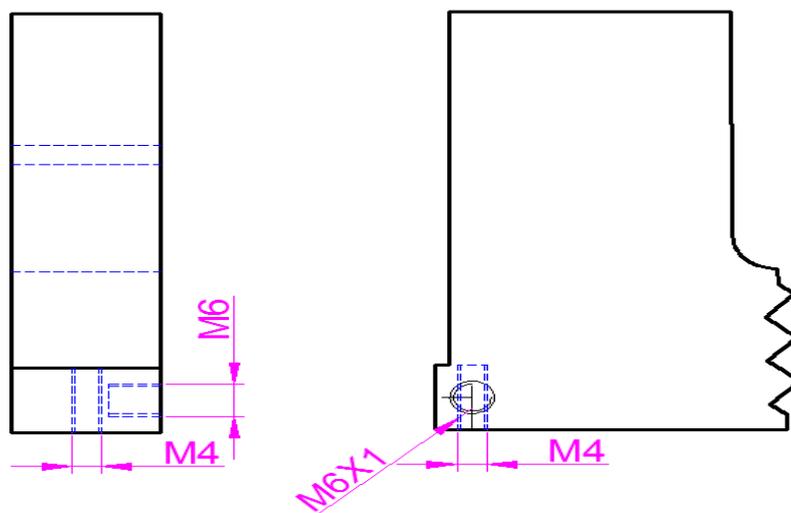
4.2.3. Roscado

Cumplido el proceso de taladrado se realiza la operación de machuelado:

Paso 1: se preparan los machuelos M6 x 1 mm y M4 x 0,6 mm, el maneral, el lubricante de corte.

Paso 2: se procede a realizar la operación de machuelado según la figura 74.

Figura 74. Roscas internas

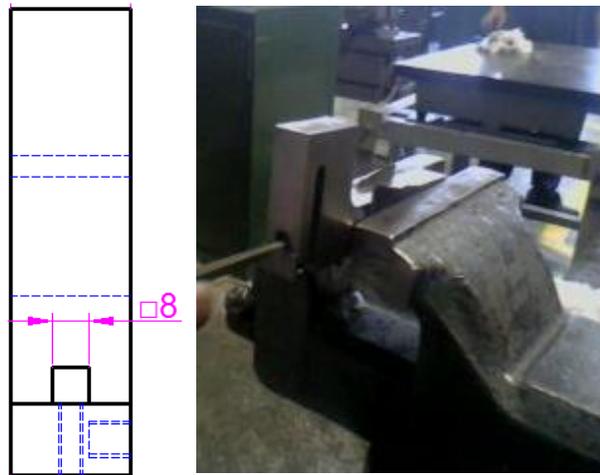


Fuente: investigación de campo.

4.2.4. Limado

Se realiza el cuadrado en donde se colocara el buril.

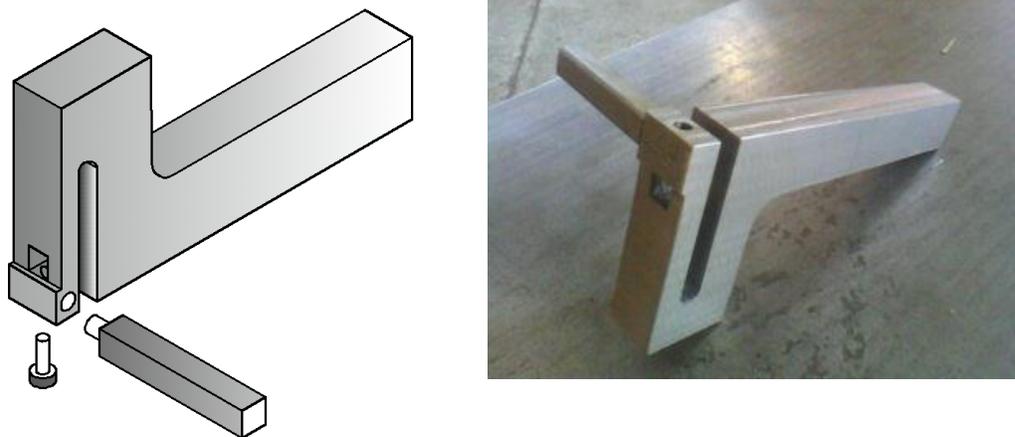
Figura 75. **Cuadrado interno**



Fuente: investigación de campo.

Finalizado todos los procesos de mecanizado, el dinamómetro queda según la figura 76.

Figura 76. **Dinamómetro terminado**



Fuente: investigación de campo.

5. CALIBRACIÓN DEL DINAMOMETRO

5.1. Instrumentos de Medición para la calibración

Para comparar los cálculos anteriormente realizados con el dinamómetro propuesto, se debe de calibrar el mismo, para ello se utilizará una báscula de muelle elástico y un reloj comparador.

5.1.1. La báscula (del francés Bascule)

Es un aparato que sirve para pesar; esto es para determinar el peso, o más apropiadamente la masa de los cuerpos. La báscula que se utilizará para realizar la calibración, será la báscula con muelle elástico.

Los avances en las técnicas de pesado, han hecho desaparecer prácticamente las básculas de palanca con contrapeso, y ahora se usan básculas con muelle elástico, basadas en la deformación elástica de un resorte que soporta la acción gravitatoria del peso del objeto a medir, en lugar de realizar una comparación de masas.

Por esta razón, actualmente el nombre báscula, se aplica también a toda una serie de sistemas de pesada basados en la gravedad, del tipo dinamómetro.

Al funcionar por muelle elástico, estas básculas miden la fuerza ejercida por un objeto sujeto a la fuerza de gravedad, es decir; el peso. Sin embargo, el peso (P) y la masa (m) están relacionados por la siguiente fórmula:

$$P = m g$$

Donde: P es el peso, m es la masa y g es la intensidad del campo gravitatorio o aceleración de la gravedad. Esta relación permite calcular la masa, ya que si la intensidad gravitatoria es constante, entonces la masa es directamente proporcional al peso.

La báscula que se utilizará tiene un rango de 0 – 100 kgf (0 – 224 libras).

Figura 77. **Báscula con muelle elástico**



Fuente: investigación de campo.

5.1.2. Reloj comparador

Un reloj comparador, es un aparato que transforma el movimiento rectilíneo de los palpadores o puntas de contacto, en movimiento circular de las agujas. Se trata de un instrumento de medición que se utiliza en los talleres e industrias para la verificación de piezas y que por sus propios medios no da lectura directa, pero que es útil para comparar las diferencias que existen en la cota de varias piezas que se quieran verificar.

La capacidad para detectar la diferencia de medidas, es posible gracias a un mecanismo de engranajes y palancas, que van introducidos dentro de una caja metálica de forma circular, dentro de esta caja se desliza un eje, que tiene una punta esférica que hace contacto con la superficie denominado palpador. Este eje, al desplazarse, mueve la aguja del reloj, y hace posible la lectura directa y fácil de las diferencias de medida.

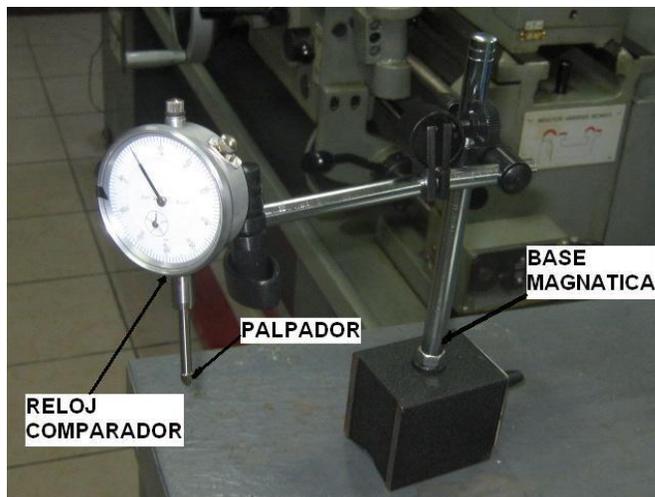
La precisión de un reloj comparador puede ser de centésimas de milímetros o incluso de milésimas de milímetros micras, según la escala a la que esté graduado. También se presentan en milésimas de pulgada.

El mecanismo consiste, en transformar el movimiento lineal de la barra deslizante de contacto en movimiento circular, que describe la aguja del reloj. El reloj comparador tiene que ir incorporado a un soporte con pie magnético que permite colocarlo en la zona de la máquina que se desee.

Es un instrumento muy útil para la verificación de diferentes tareas de mecanizado, especialmente la excentricidad de ejes de rotación.

El reloj comparador que se utilizará tendrá 0,01 mm por cada división (sensibilidad) y un rango de 10 mm.

Figura 78. **Base magnética y reloj comparador**



Fuente: investigación de campo.

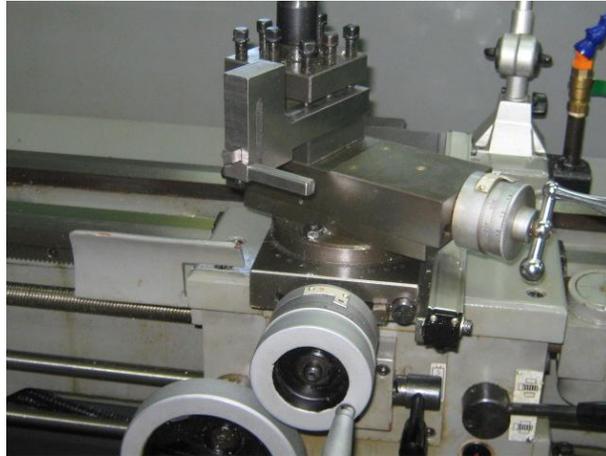
5.2. Toma de mediciones

Para la toma de mediciones se realizarán los siguientes pasos:

Paso 1: se monta en el portaherramientas del torno el dinamómetro.

Paso 2: se introduce un buril en el cuadrado interno del dinamómetro.

Figura 79. **Colocación del dinamómetro y buril en el torno**



Fuente: investigación de campo

Paso 3: se coloca la base magnética del reloj comparador, en el carro superior del torno y se hace coincidir el palpador con el brazo del dinamómetro:

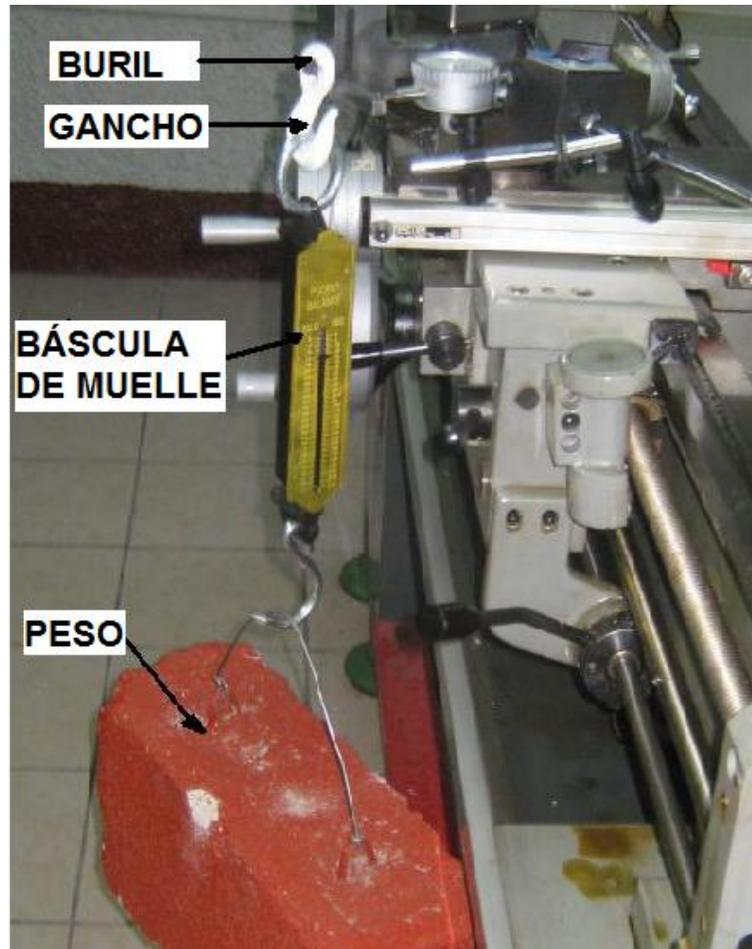
Figura 80. **Colocación del reloj comparador respecto al dinamómetro**



Fuente: investigación de campo.

Paso 4: Se coloca un gancho verticalmente en el buril, el cual sujeta a la báscula de muelle elástico y este a su vez el peso.

Figura 81. Colocación de la báscula y el peso respecto al dinamómetro



Fuente: investigación de campo.

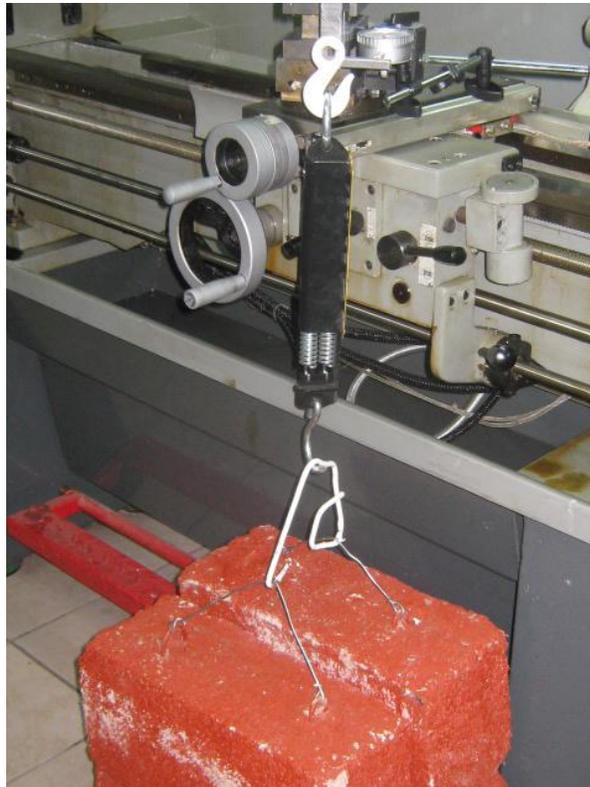
Ya realizado el montaje del dinamómetro y los instrumentos de calibración, se procede a colocar diferentes pesos para obtener diferentes deformaciones del dinamómetro y así poder obtener las respectivas graficas.

5.3. Gráfica de Calibración

Para realizar la gráfica se colocaran en la báscula pesos con magnitudes de 6, 12, 28, 40 y 56 kgf y se medirá con el reloj comparador, las diferentes deformaciones del dinamómetro y se tomarán como datos para la elaboración de la gráfica.

Cada toma de datos se repetirá 6 veces.

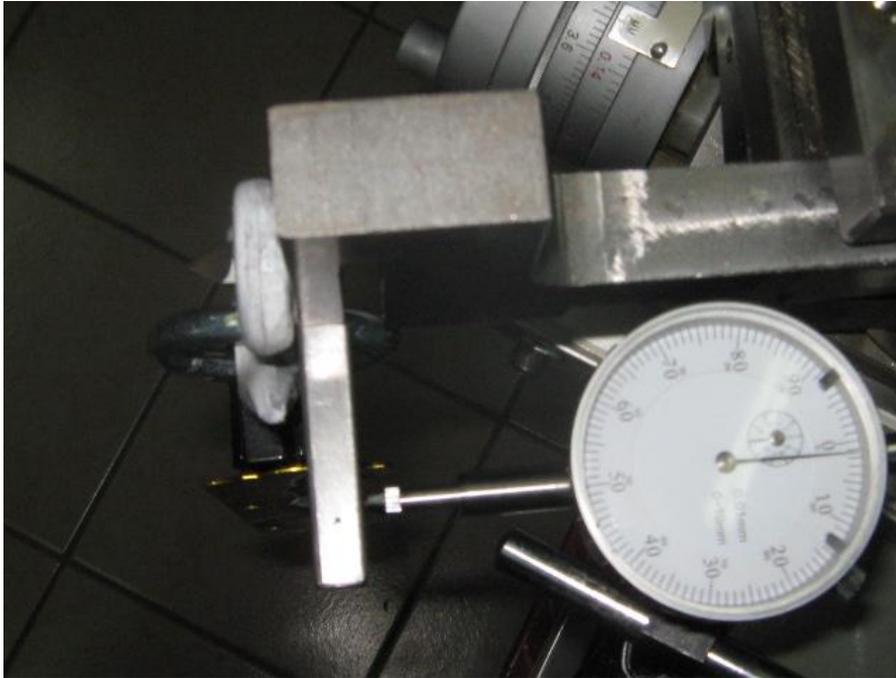
Figura 82. Colocación de diferentes pesos en el dinamómetro



Fuente: investigación de campo.

Toma de datos 1 con peso de 6 kgf:

Figura 83. **Deformación del dinamómetro con peso de 6 kgf**



Fuente: investigación de campo.

Tabla V. **Deformación del dinamómetro con peso de 6kgf**

PESO	DEFORMACIÓN (0,01 mm)					
	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6
6 kgf	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5

Fuente: investigación de campo.

Toma de datos 2 con peso 12 kgf:

Figura 84. **Deformación del dinamómetro con peso de 12 kgf**



Fuente: investigación de campo.

Tabla VI. **Deformación del dinamómetro con peso de 12 kgf**

PESO	DEFORMACIÓN (0,01 mm)					
	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6
12 kgf	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0

Fuente: investigación de campo.

Toma de datos 3 con peso 28 kgf:

Figura 85. **Deformación del dinamómetro con peso de 28 kgf**



Fuente: investigación de campo.

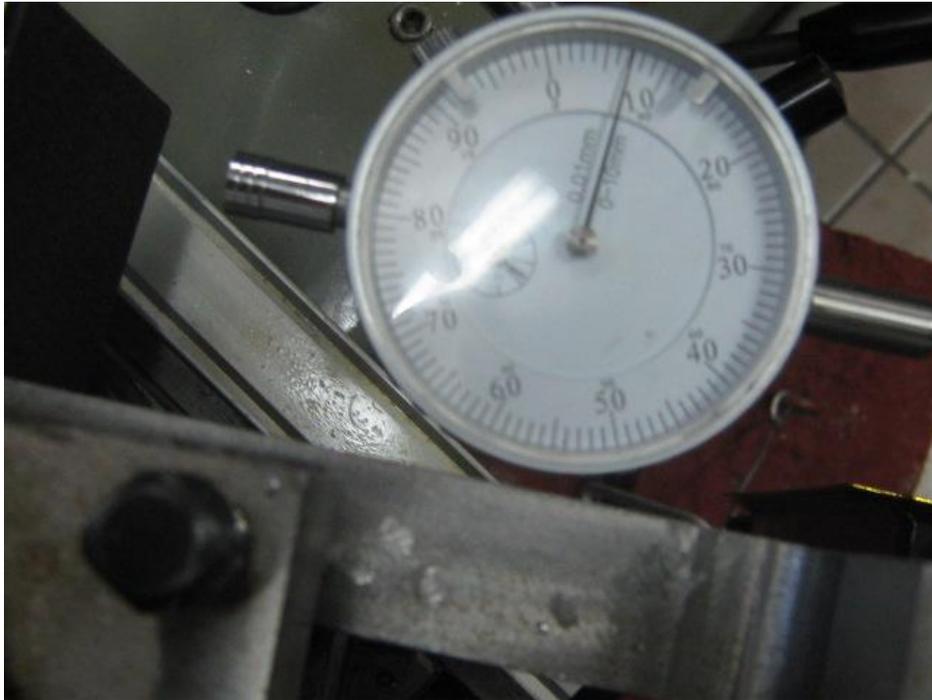
Tabla VII. **Deformaciones del dinamómetro con peso de 28 kgf**

PESO	DEFORMACIÓN (0,01 mm)					
	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6
28 kgf	4,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,0

Fuente: investigación de campo.

Toma de datos 4 con peso 40 kgf:

Figura 86. **Deformación del dinamómetro con peso de 40 kgf**



Fuente: investigación de campo.

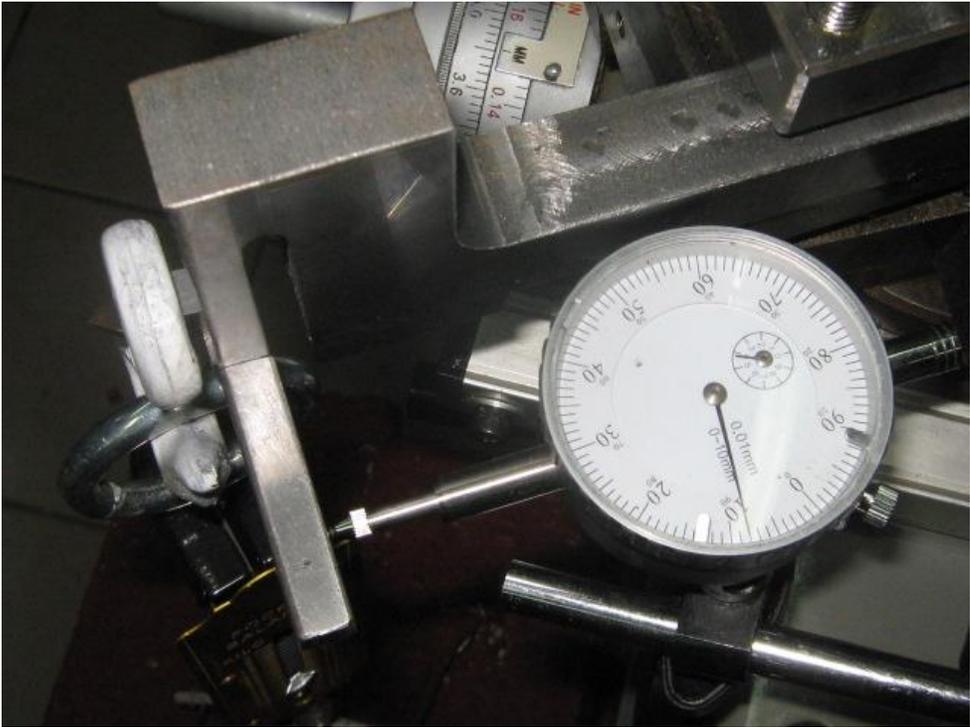
Tabla VIII. **Deformación del dinamómetro con peso de 40 kgf**

PESO	DEFORMACIÓN (0,01 mm)					
	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6
40 kgf	6,0	6,5	6,0	6,5	7,0	6,0

Fuente: investigación de campo.

Toma de datos 5 con peso 56 kgf:

Figura 87. Deformación del dinamómetro con peso de 56 kgf



Fuente: investigación de campo.

Tabla IX. Deformaciones del dinamómetro con peso de 56 kgf

PESO	DEFORMACIÓN (0,01 mm)					
	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6
56 kgf	7,5	8,0	8,0	8,5	8,0	8,0

Fuente: investigación de campo.

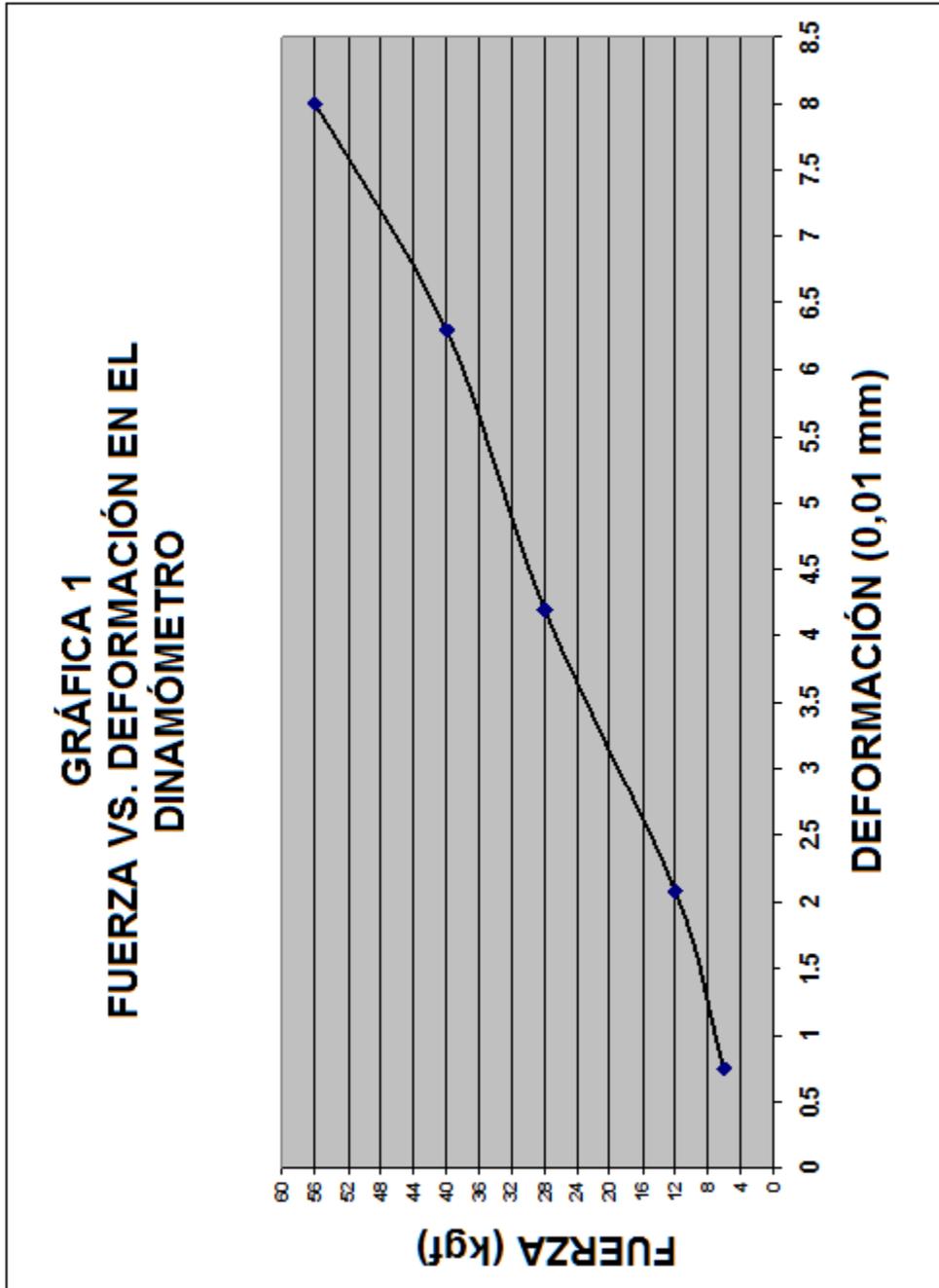
Finalizada toda la toma de datos, se procede a realizar un resumen en una tabla, donde se realice la media de deformación para cada peso y con estos datos plotearlos los para realizar la gráfica de calibración.

Tabla X. **Resumen de deformaciones del dinamómetro con diferentes pesos**

PESO (kgf)	DEFORMACIÓN (0,01 mm)						MEDIA
	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6	
6	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,75
12	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,08
28	4,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,0	4,2
40	6,0	6,0	6,5	6,0	6,5	7,0	6,3
56	7,5	8,0	8,0	8,5	8,0	8,0	8,0

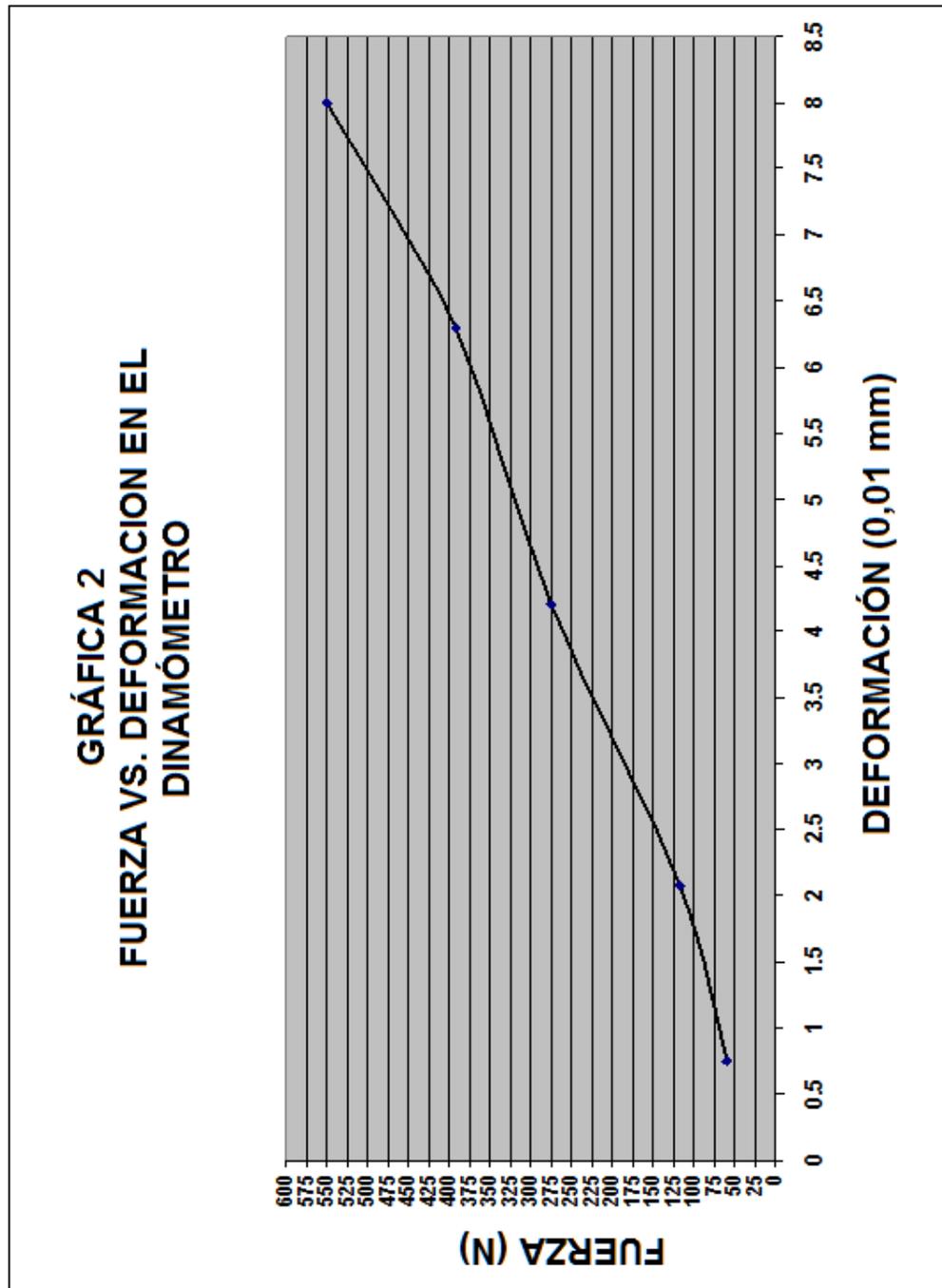
Fuente: investigación de campo.

Figura 88. Gráfica fuerza vs deformación en el dinamómetro



Fuente: investigación de campo.

Figura 89. Gráfica fuerza vs deformación en el dinamómetro



Fuente: investigación de campo.

5.4. Pendiente de la curva de la sensibilidad del instrumento (k)

Para realizar la pendiente de la curva k , da la sensibilidad del instrumento y se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = y * k_n \text{ (Kgf) (Ecuación 8)}$$

$$k_n = F_n / y_n \text{ (Ecuación 9)}$$

$$k = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5) / 5 \text{ (Ecuación 10).}$$

Con base a los datos de la tabla 10 se procede a calcular k para cada fuerza (peso). Según ecuación 9.

$$k_1 = F_1 / y_1$$

$$k_1 = 6 / 0,75$$

$$k_1 = 8,0$$

$$k_2 = F_2 / y_2$$

$$k_2 = 12 / 2,25$$

$$k_2 = 5,33$$

$$k_3 = F_3 / y_3$$

$$k_3 = 28 / 4,2$$

$$k_3 = 6,67$$

$$k_4 = F_4 / y_4$$

$$K_4 = 40 / 6,3$$

$$K_4 = 6,35$$

$$K_5 = F_3 / y_3$$

$$K_5 = 56 / 8,0$$

$$K_5 = 7,0$$

Según ecuación 10:

$$K = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5) / 5$$

$$K = (8,0 + 5,33 + 6,67 + 6,35 + 7,0) / 5$$

$$K = 6,67 \text{ (kgf / 0,01 mm)} \approx 65,4 \text{ (N / 0,01 mm)}$$

Con el resultado anterior se puede determinar que por cada línea que se desplace la aguja del reloj comparador, equivale a 6,67 kgf ó 65,4 N.

6. INSTALACIÓN DEL MONTAJE PARA LA PRUEBA DEL DINAMÓMETRO

Para la realización de la prueba, se utilizará; el dinamómetro, un reloj comparador con sensibilidad de 0,01 mm y rango de 10 mm, tres buriles de 5/16 (uno de HSS, uno de Cobalto al 5% y uno Tungsteno), un torno (de 1500 mm de longitud de bancada, 8" de volteo, con motor de 2 HP y un voltaje de 220 voltios), un contrapunto, *shock* de 3 mordazas y un eje de 1" de diámetro de acero 1018.

Figura 90. Elementos para la prueba del dinamómetro



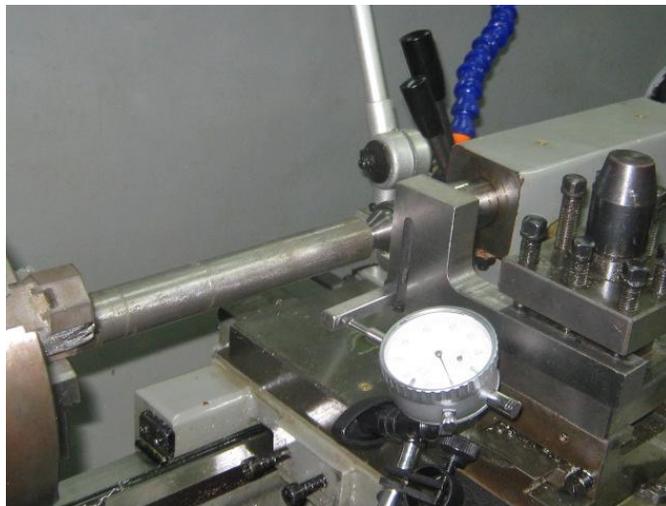
Fuente: investigación de campo.

6.1. Posición de los elementos

La ubicación de cada elemento, será de la siguiente manera:

El dinamómetro se coloca en el portaherramientas, el buril en el cuadrado interno del dinamómetro, el reloj comparador en el carro superior, la barra de acero 1018 en el *shock* de 3 mordazas del torno con un contrapunto en el extremo, según se muestra en la figura 91.

Figura 91. **Posición de los elementos para prueba del dinamómetro**

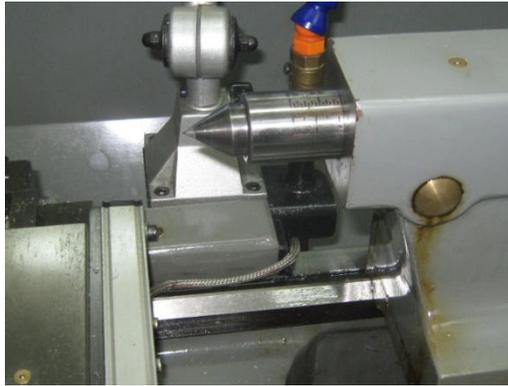


Fuente: investigación de campo.

6.2. Montaje de los elementos

Paso 1: se coloca el contrapunto en el cabezal móvil.

Figura 92. **Montaje de contrapunto para la prueba del dinamómetro**



Fuente: investigación de campo.

Paso 2: se coloca y se aprieta el eje (con agujeros de centro en ambos extremos) en el *shock* de tres mordazas del torno y se hace coincidir con el contrapunto.

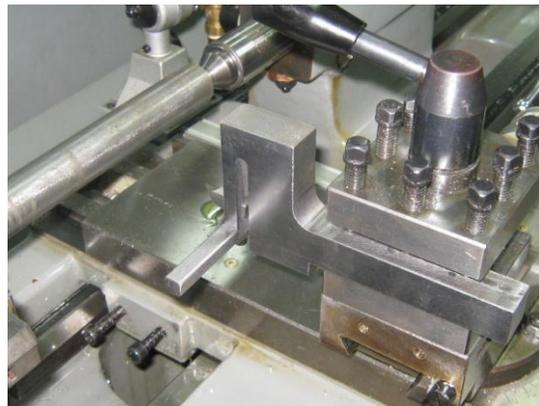
Figura 93. **Montaje del material para la prueba del dinamómetro**



Fuente: investigación de campo.

Paso 3: Se coloca el dinamómetro en el portaherramientas, se aprieta con los tornillos del mismo, luego se coloca el buril en el cuadrado interno y se aprieta el mismo.

Figura 94. **Montaje del dinamómetro en el portaherramientas**



Fuente: investigación de campo.

Paso 4: Se coloca la base magnética del reloj comparador en el carro superior y se hace coincidir el palpador con el brazo del dinamómetro.

Figura 95. **Montaje del reloj comparador para la prueba del dinamómetro**



Fuente: investigación de campo.

Realizados los pasos anteriores, el montaje está completo y se procede a la mecanización para la toma de datos.

6.3. Toma de datos para las pruebas que requiere cada práctica

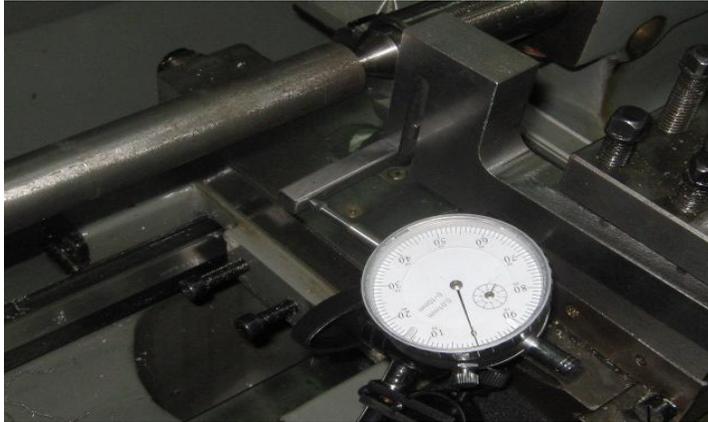
Las prácticas que se llevarán a cabo, serán cuatro cilindrados con diferentes profundidades de corte (1 mm, 2 mm, 3 mm y 4 mm) y en cada uno de ellos se utilizarán los tres buriles mencionados en el inciso 6.1, los datos obtenidos (deformaciones), se trasladarán a la gráfica 2, donde se determinará la fuerza de corte y se compararán con los cálculos realizados en el inciso 3.3.

6.4. Prácticas con buriles de HSS, Cobalto al 5% y Tungsteno

Los tres buriles tienen las siguientes características; ángulo de ataque $\gamma = 14^\circ$, ángulo de incidencia $\alpha = 8^\circ$, ángulo de filo $\beta = 68^\circ$ (según tabla III).

Antes de cada cilindrado se coloca el dial del reloj comparador en la posición "0".

Figura 96. **Posición inicial del dial del reloj comparador antes de cada prueba**



Fuente: investigación de campo.

Cilindrado con buril HSS

Para $w = 1$ mm la deformación fue de 0,015mm.

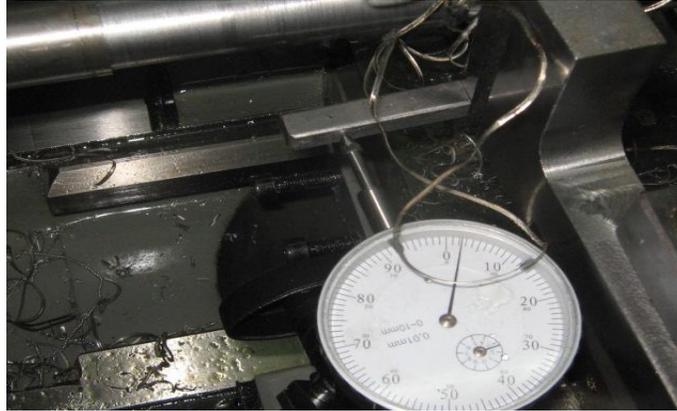
Figura 97. **Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 1$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 2$ mm la deformación fue de 0,025 mm.

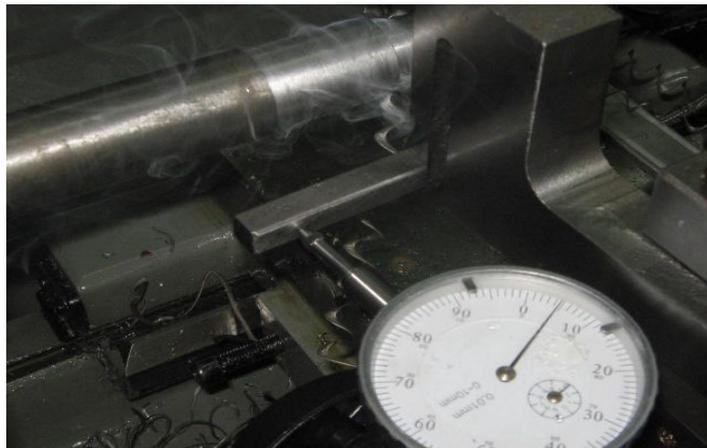
Figura 98. **Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 2$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 3$ mm la deformación fue de 0,045 mm.

Figura 99. **Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 3$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 4 \text{ mm}$ la deformación fue de $0,060 \text{ mm}$.

Figura 100. **Deformación del dinamómetro con buril HSS con $w = 4 \text{ mm}$**



Fuente: investigación de campo.

Resultados obtenidos de las pruebas con buril de HSS:

Tabla XI. **Deformaciones del dinamómetro con buril de HSS**

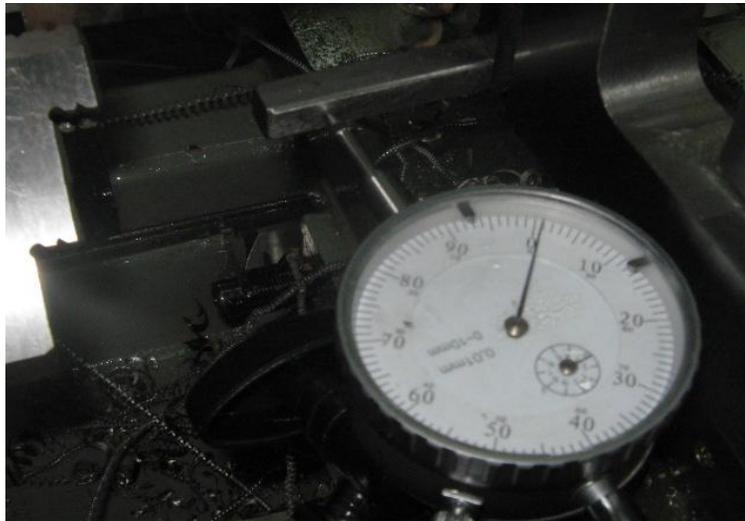
TIPO DE BURIL	DEFORMACIÓN (0,01 mm)			
	W = 1	W = 2	W = 3	W = 4
HSS	0,015	0,025	0,045	0,060

Fuente: investigación de campo.

Cilindrado con buril de cobalto al 5 % (Co al 5 %)

Para $w = 1$ mm la deformación fue de 0,015 mm.

**FIGURA 101. Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5%
con $w = 1$ mm**



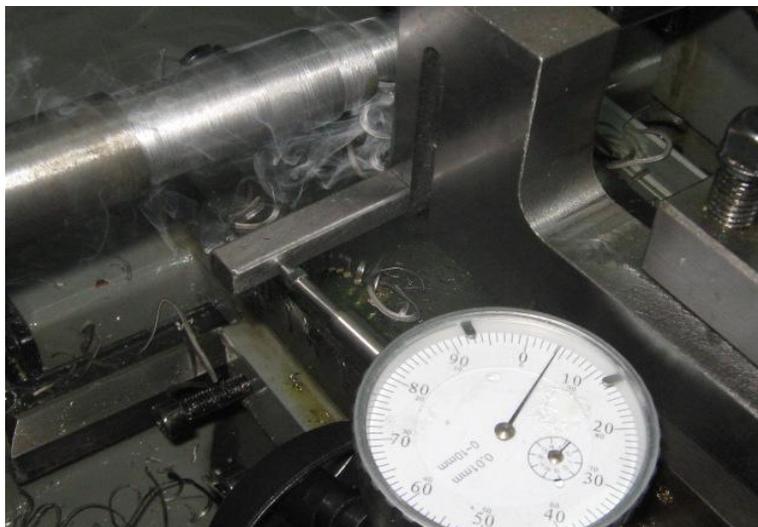
Fuente: investigación de campo.

Figura 102. **Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5%
con $w = 2 \text{ mm}$**



Fuente: investigación de campo.

Figura 103. **Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5% con $w =$
3 mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 4$ mm la deformación fue de 0,055 mm.

Figura 104. **Deformación del dinamómetro con buril de Co al 5% con $w = 4$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Resultados obtenidos de las pruebas con buril de cobalto al 5%:

Tabla XII. **Deformaciones del dinamómetro con buril de Co al 5%**

TIPO DE BURIL	DEFORMACIÓN (0,01 mm)			
	W = 1	W = 2	W = 3	W = 4
Cobalto al 5%	0,015	0,025	0,040	0,055

Fuente: investigación de campo.

Cilindrado con buril de Tungsteno (W)

Para $w = 1$ mm la deformación fue de 0,015 mm.

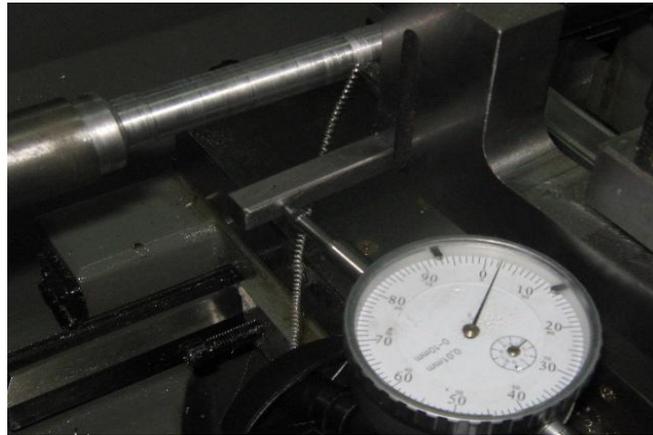
Figura 105. **Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 1$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 2$ mm la deformación fue de 0,025 mm.

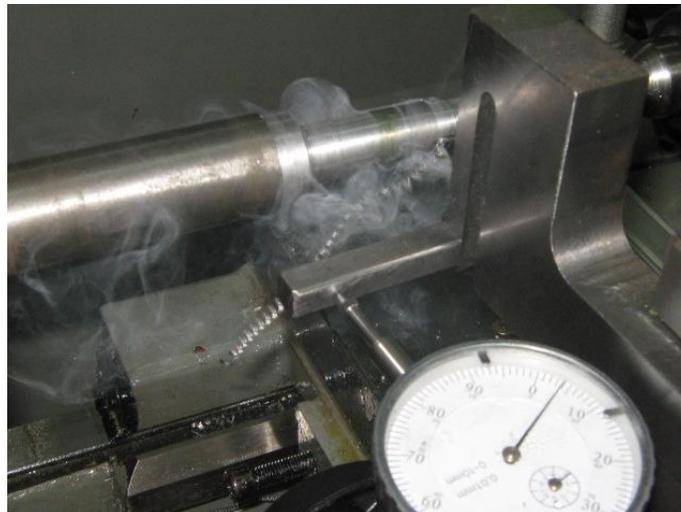
Figura 106. **Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 2$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 3$ mm la deformación fue de 0,040 mm.

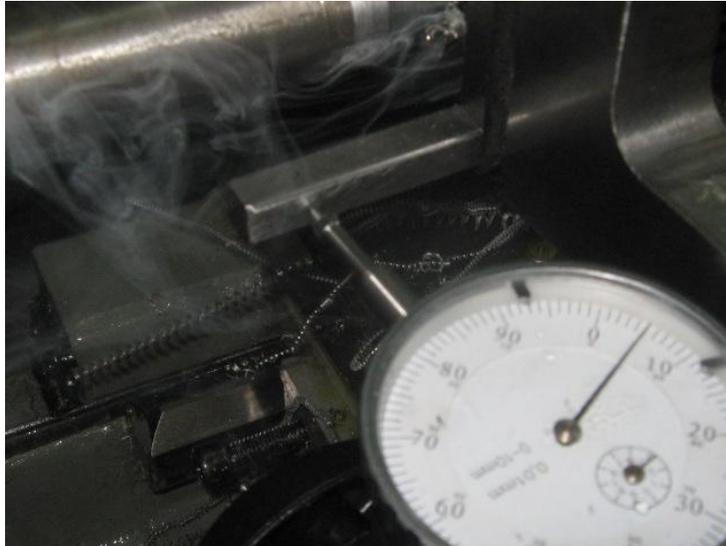
Figura 107. **Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 3$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Para $w = 4$ mm la deformación fue de 0,055 mm.

Figura 108. **Deformación del dinamómetro con buril de W con $w = 4$ mm**



Fuente: investigación de campo.

Resultados obtenidos de las pruebas con buril de Tungsteno:

Tabla XIII. **Deformaciones del dinamómetro con buril de Tungsteno**

TIPO DE BURIL	DEFORMACIÓN (0,01 mm)			
	W = 1	W = 2	W = 3	W = 4
Tungsteno	0,015	0,025	0,040	0,055

Fuente: investigación de campo.

Finalizada la toma de datos de la prueba, se procede a interceptar las deformaciones obtenidas con cada buril en la gráfica 2, figura 89 (ver apéndices 1. 2 Y 3), para poder realizar una comparación con los cálculos de las fuerzas de corte del inciso 3.3.

Tabla XIV. **Comparación entre la fuerza de corte teórica y experimental**

TIPO DE BURIL	FUERZA DE CORTE (N)	MAGNITUD DE FUERZA (N) DE CORTE PARA CADA DEFORMACIÓN EN CADA PRUEBA DEL DINAMÓMETRO SEGÚN TABLAS 11, 12 Y 13			
		w = 1	w = 2	w = 3	w = 4
HSS	TEÓRICA	88	176	264	352
	EXPERIMENTAL	90	150	285	375
COBALTO AL 5%	TEÓRICA	88	176	264	352
	EXPERIMENTAL	90	150	262	350
TUNGSTENO	TEÓRICA	88	176	264	352
	EXPERIMENTAL	90	150	262	350

Fuente: investigación de campo.

Según la tabla anterior se puede observar que las fuerzas de corte obtenidas con el dinamómetro, son bastante próximas al comportamiento real. La diferencia es que en los cortes $w = 3$ y $w = 4$ difieren, el buril de HSS con respecto al de cobalto al 5% y Tungsteno, esto es debido a que, a mayor corte la zona de contacto aumenta y por ende se genera mayor temperatura, con lo cual los buriles de poca dureza pierden su filo y entonces aumenta la magnitud de la fuerza cortante.

CONCLUSIONES

1. El desarrollo del trabajo de graduación, permitió demostrar que con los recursos existentes en los laboratorios de la Escuela de Mecánica y el equipamiento del laboratorio de Procesos de Manufactura, se puede lograr la construcción de dispositivos y equipos necesarios para la tarea investigativa.
2. Con la construcción del dinamómetro, se pudo determinar que las fuerzas de corte en el torno, dependen del ángulo de ataque, a menor ángulo de ataque, la fuerza de corte aumenta y a mayor ángulo de ataque la fuerza de corte disminuye, ya que el valor de referencia de la fuerza de corte fue muy próximo al comportamiento real de las fuerzas en la calibración.
3. Que independientemente del tipo de buril que se utilice la fuerza cortante siempre será igual, con la condición que la profundidad de corte sea la misma y el buril sea capaz de cortar dicho material.
4. Cuando la profundidad de corte es grande y el material es muy duro, se requieren buriles con buenas características de dureza, esto es debido a que, a mayor corte, la zona de contacto aumenta y por ende se genera mayor temperatura, con lo cual los buriles de poca dureza pierden su filo durante el proceso de mecanizado y entonces aumenta de manera progresiva la magnitud de la fuerza cortante.

5. Afilando y seleccionando adecuadamente la herramienta de corte, se logra aumentar la eficiencia de la máquina herramienta, optimizando la fuerza de corte, disminuir el consumo de energía, porque si la fuerza de corte es la óptima, el motor genera únicamente la potencia requerida y esto reflejará disminución en los costos de producción.

RECOMENDACIONES

1. Seguir utilizando el dinamómetro con diferentes materiales, para determinar si se obtienen los resultados favorables que se presentaron con el acero 1018.
2. Analizar con el dinamómetro la influencia que tiene el ángulo de ataque de la cuchilla, con el consumo de potencia de la máquina herramienta.
3. Para un proyecto futuro, incorporar al dinamómetro un dispositivo electrónico que mida digitalmente la deformación y se pueda hacer la interfase a una computadora.
4. Promover la construcción de dispositivos y equipos necesarios para la tarea investigativa.

BIBLIOGRAFÍA

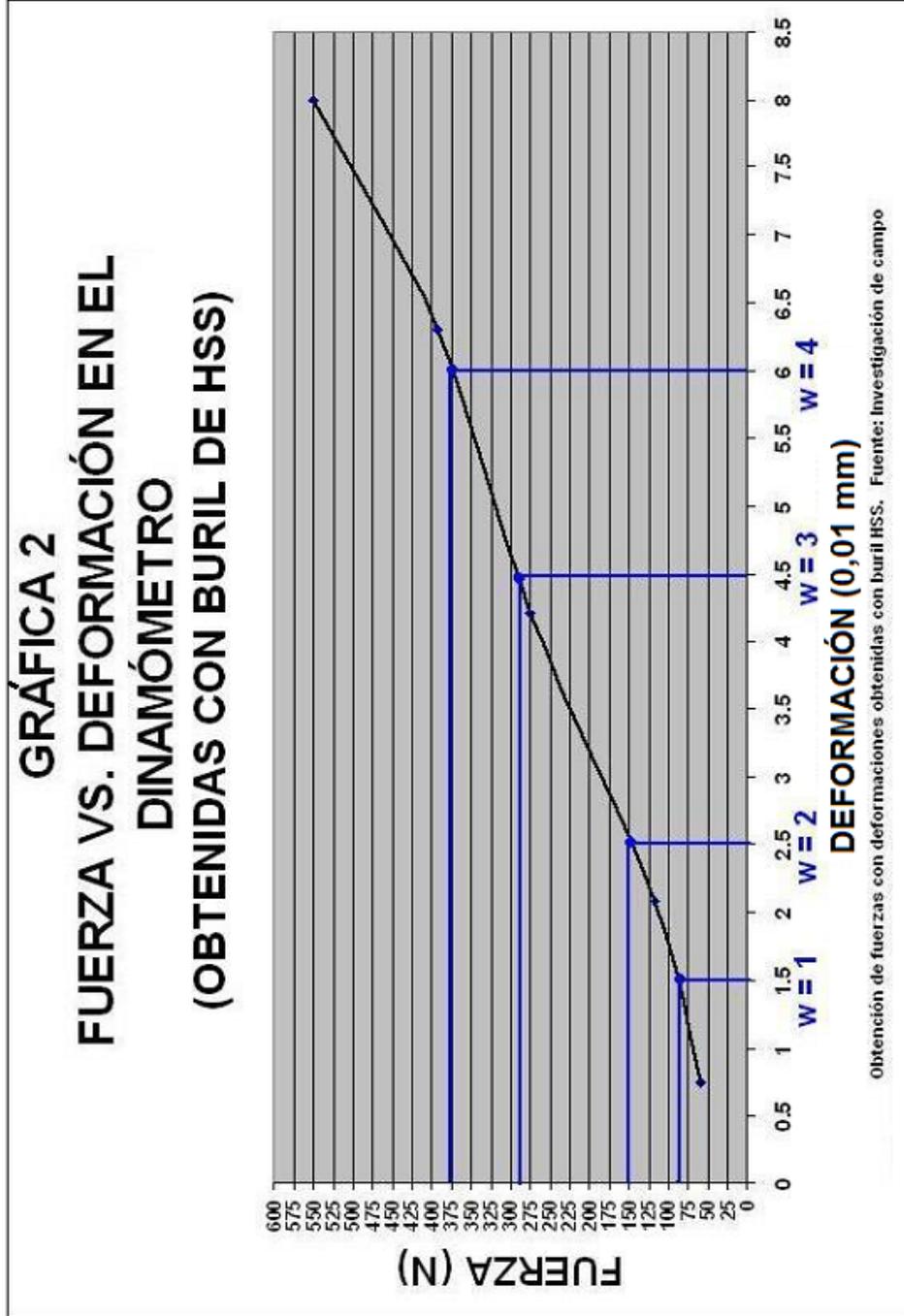
1. BARTSCH, Walter. *Alrededor del torno*. España: Reverté, 1981. 280 p.
2. BEER, Ferdinand.; JOHNSTON Russel. *Mecánica de Materiales*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1993. 738 p. ISBN: 0-07-837340-9.
3. CASILLAS, A.L. *Cálculos de taller*. 36a ed. España: Máquinas, 1997. 643 p.
4. DOYLE, Lawrence y otros. *Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros*. 3a ed. México: Hispanoamericana, 1988. 1016 p.
5. General Motors Corporation. *Engineering Handbook*. Hyatt Bearings Division. 20a ed. Detroit: 1995. 250 p.
6. Grupo Palmexico. *Aceros Maquinaria 1018*. [en línea]. [consultado el 1 de diciembre de 2010 a las 14:00 horas]. Disponible en Web: <<http://www.acerospalmexico.com.mx/1018.htm>>.
7. _____. *Aceros Maquinaria 1045*. [en línea]. [consultado el 1 de diciembre de 2010 a las 14:05 horas]. Disponible en Web: <<http://www.acerospalmexico.com.mx/1045.htm>>.

8. Wikipedia. *Reloj comparador* [en línea]. [consultado el 10 de diciembre de 2010 a las 19:00 horas]. Disponible en Web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_comparador>.

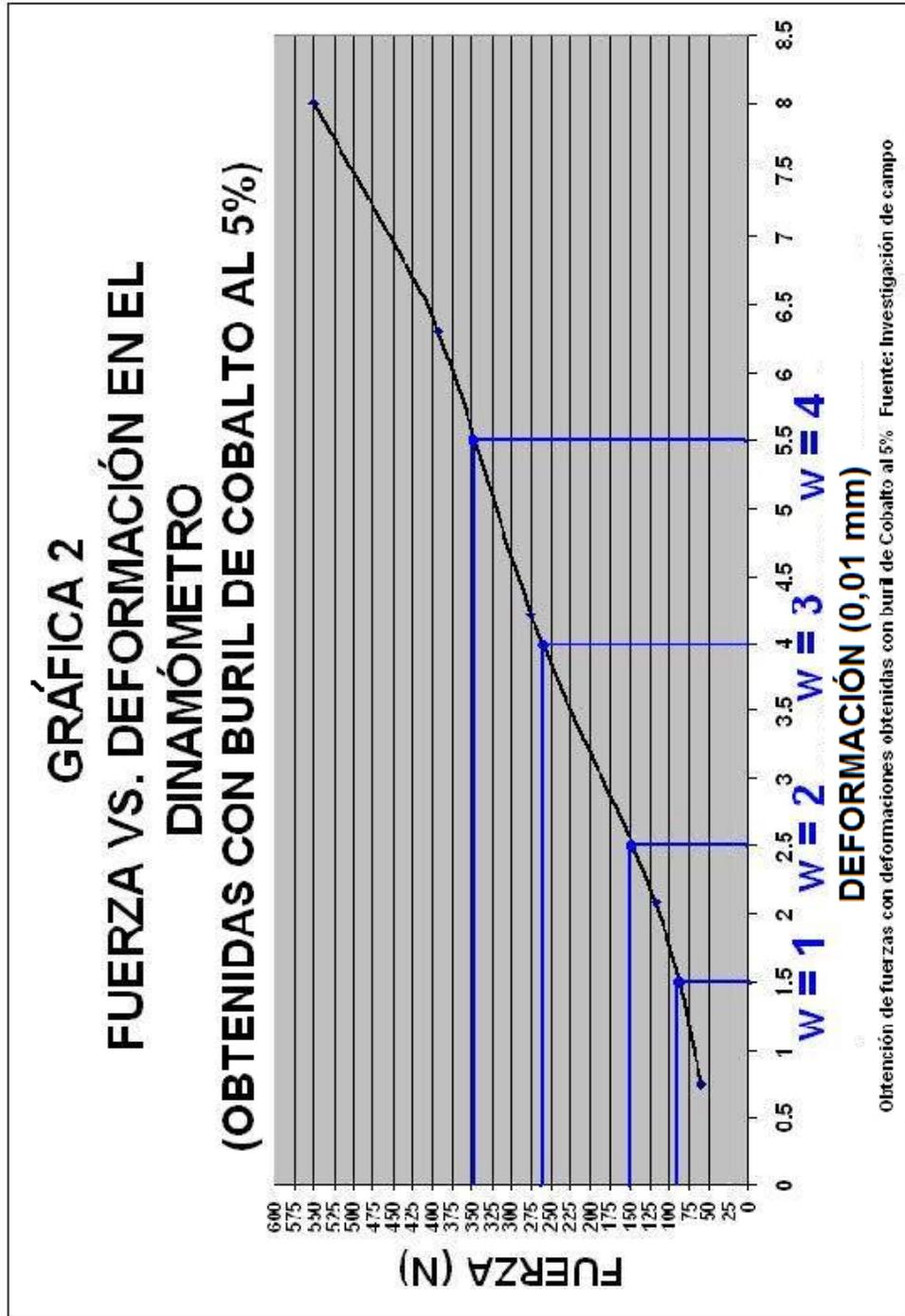
9. _____. *La báscula* [en línea]. [consultado el 10 de diciembre de 2010 a las 19:05 horas]. Disponible en Web: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Báscula>>

APÉNDICES

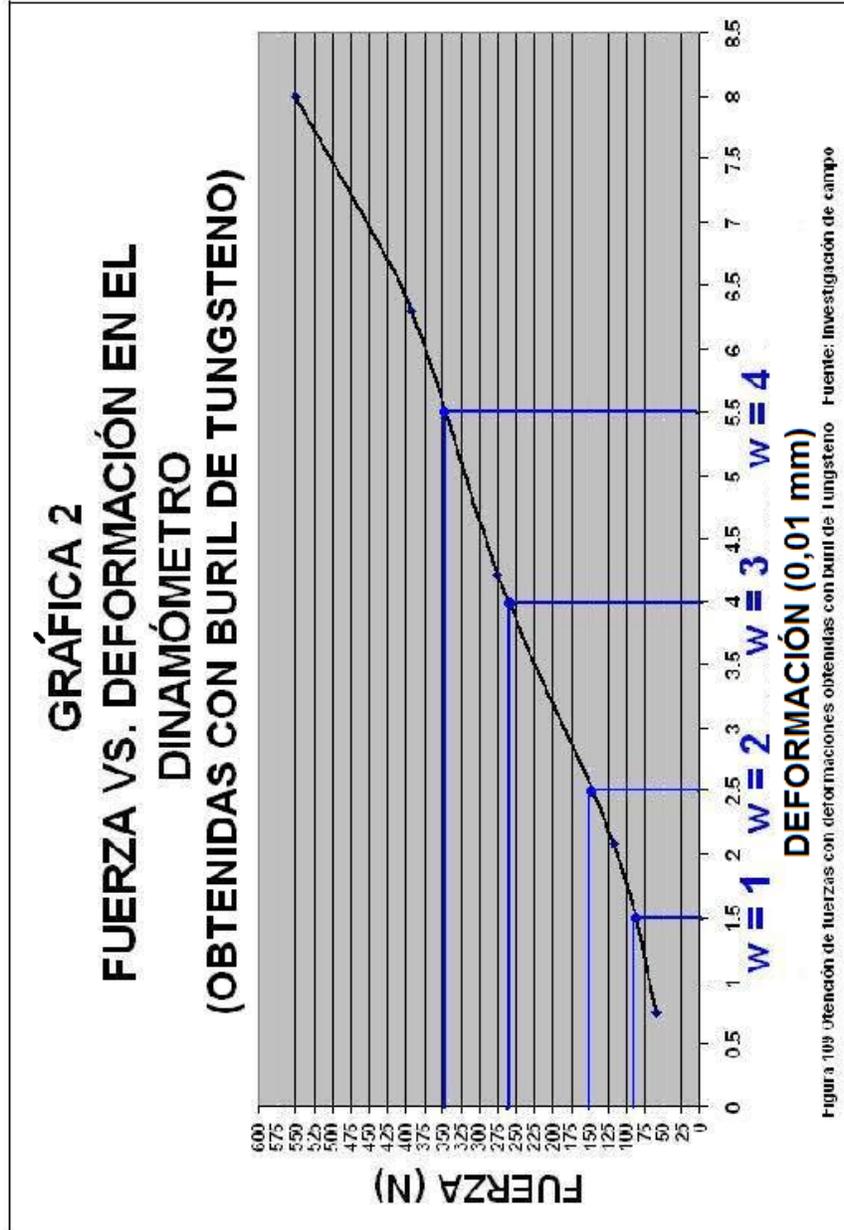
APÉNDICE 1



APÉNDICE 2



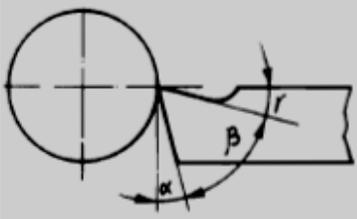
APÉNDICE 3



ANEXOS

ANEXO No. 1

Tabla de ángulos para cuchillas

Cuchillas para tornos, mandrinadoras y acepilladoras						
		DESIGNACION				
		α	Ángulo libre o incidencia.			
		β	Ángulo de talla o filo.			
		γ	Ángulo de salida o ataque.			
		$\alpha + \beta$	Ángulo de corte.			
AGRUPACION DEL MATERIAL A TRABAJAR		VALOR DE LOS ANGULOS				
		α	β	γ	$\alpha + \beta$	
A_1	Aluminio y metales ligeros. Cobre. Antifricción. Materiales prensados (plásticos).	8° a 10°	50° a 52°	32° a 28°	58° a 62°	
A_2	Aceros hasta 60 kgs. mm ² .	6°	55° a 58°	29° a 26°	61° a 64°	
A_3	Aceros de 60 a 100 kgs. mm ² . Acero inoxidable. Fundición gris. Fundición semidura. Fundición maleable. Acero moldeado. Bronces blandos.	6°	65° a 68°	19° a 16°	71° a 74°	
A_4	Fundición dura. Bronces duros. Acero duro 12 % manganeso.	5°	77° a 85°	8° a 0°	82° a 90°	
DIMENSIONES DE LAS CUCHILLAS						
TAMAÑO		I	II	III	IV	V
 Lado del cuadrado	A	15	20	25	32	40
Longitud normal.	L	100	175	225	250	300
Longitud mínima por desgaste.	* C	50	100	130	140	175

Fuente: A. L. Casillas, Cálculos de Taller, p. 339.

ANEXO No.2

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397 (Acero 1018)

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	DUREZA BRINELL	MODULO DE ELASTICIDAD
	MPa (kgf/mm2)	Ksi		MPa (kgf/mm2)	Ksi				
CALIENTE Y MAQUINADO	400	41	58	205	21	32	28	116	205 GPa
ESTIRADO EN FRÍO	440	45	64	370	38	54	15	126	

Fuente: <http://www.acerospalmexico.com.mx/1018.htm>

ANEXO No. 3

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397 (Acero 1045)

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LIMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	DUREZA BRINELL	MODULO DE ELASTICIDAD
	MPa	(kgf/mm ²)	Ksi	MPa	(kgf/mm ²)	Ksi			
CALIENTE Y MAQUINADO	570	58	82	310	32	45	16	163	200 GPa
ESTIRADO EN FRÍO	630	64	91	530	54	77	12	179	

Fuente: <http://www.acerospalmexico.com.mx/1045.htm>