

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DINAMOMETRO PARA LA MEDICION DE LA FUERZA DE CORTE EN EL PROCESO DE ARRANQUE DE VIRUTA EN UN TORNO

RESUMEN

Este artículo describe el proceso de diseño, construcción, calibración y prueba de un dinamómetro para la realización de trabajo experimental en la Escuela de Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, 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.

PALABRAS CLAVES: Dinamómetro, fuerza de corte.

ABSTRACT

This article describes the design process, construction, calibration and test of a device to measure the force of court of the small metallic parts take-off for the experimental work accomplishment in the Mechanics School of the Technological University of Pereira. The device will be used in the investigation on the analysis of power consumption of court in function of the assault angle and of the edge of the court tool.

KEYWORDS: Device to measure the force, force of court.

1. INTRODUCCIÓN

Para realizar un estudio que permita conocer la influencia de la *fuerza de corte vertical* 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 (ver [1] Pág. 320), el cual comercialmente es de elevado costo, razón por la cual se decidió realizar su diseño y construcción en la Escuela de Tecnología Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, para el laboratorio de máquinas herramientas. La metodología que se siguió 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. Finalmente se logro tener un dispositivo que midiera la fuerza de corte vertical el cual será usado en proyectos de investigación relacionados con el corte de metales por el grupo de investigación que se esta formando en la Escuela de Tecnología Mecánica.

Conocer la fuerza de corte en operaciones de desbaste en el proceso de torneado, permite relacionar la influencia que tiene el ángulo de corte de la cuchilla con el consumo de potencia de la maquina herramienta. Así que un mal ángulo o un afilado irregular tienen que ver con el mayor consumo de energía en el torneado, lo cual se traduce en el incremento de los costos de producción y cuando se tienen grandes series de producción este detalle técnico puede significar no ser competitivos en el mercado.

HÉCTOR ÁLVARO GONZÁLEZ B.

Profesor Asistente M.Sc.
Escuela de Tecnología Mecánica.
Universidad Tecnológica de Pereira
hagonza@utp.edu.co

EDWIN ANDRÉS GARCÍA

Tecnólogo mecánico
Universidad Tecnológica de Pereira

FABIÁN MARÍN CANO

Tecnólogo mecánico
Universidad Tecnológica de Pereira

2. FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LA HERRAMIENTA DE CORTE Y SU MEDICIÓN

En los procesos de maquinado con formación de viruta, la fuerza resultante F_r aplicada a la viruta por la herramienta, actúa en un plano que es perpendicular al filo de la herramienta (Fig.1). Esta fuerza se determina usualmente, en trabajo experimental, a partir de la medición de dos componentes ortogonales: una en la dirección de corte conocida como la *fuerza de corte* F_c , que generalmente es vertical y, la otra normal a la dirección de corte, conocida como la *fuerza de empuje* F_t . La medición de estas dos componentes de la fuerza resultante de la herramienta de corte ha sido objeto de esfuerzos considerables en el pasado y se han desarrollado varios tipos de dinamómetros para la medición de la fuerza de corte

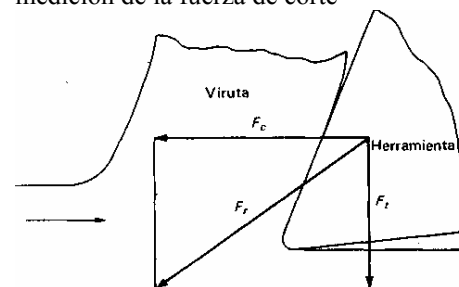


Fig 1. Componentes de la fuerza resultante (F_r) sobre la herramienta de corte.

3. DISEÑO DEL DINAMÓMETRO.

Se diseñó un dinamómetro, al alcance de nuestros medios tecnológicos, que permitiera una medición confiable de la fuerza de corte F_c en los procesos de maquinado en el torno paralelo. La figura 2 muestra un isométrico del dinamómetro construido.

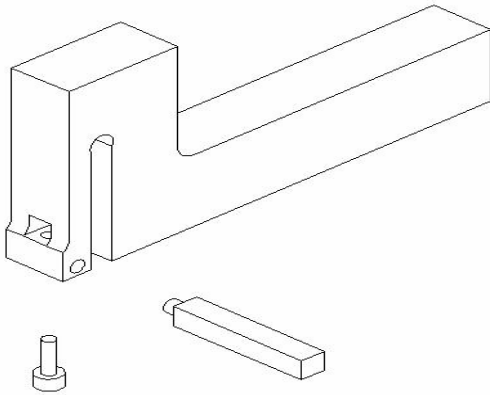


Fig 2. Vista isométrica del dinamómetro para medición de la fuerza de corte en torneado.

El diseño de un dinamómetro, al igual que en la mayoría de problemas de este tipo, involucra un compromiso, en este caso entre un dinamómetro que posea una rigidez elevada y uno que posea 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 la forma de medir las deflexiones; estas pueden ser determinadas directamente usando detectores de desplazamiento como es el caso del descrito en este artículo, o mediante extensómetros eléctricos y su equipo asociado. Es ventajoso utilizar instrumentación que posea una sensibilidad elevada porque 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 porque ellos dan lugar a la histéresis ocasionada por la fricción. Por lo tanto, de ser posible, el dinamómetro siempre debe fabricarse de un solo bloque de material.

3.1 Cálculo de la fuerza de corte.

La fuerza de corte F_c está dada por la ecuación 1, ver referencia [2]. Se toman los datos para un acero 1020 puesto que es el material a maquinarse más duro que se usa en las prácticas de taller en la Universidad.

$$F_c = \frac{\tau_y t_o \omega \cos(\beta - \alpha)}{\text{Sen}\Phi \cos(\Phi + \beta - \alpha)} \quad (1)$$

$\tau_y = S$ = esfuerzo cortante del material

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

ω = profundidad de corte.

β = ángulo de fricción.

α = ángulo de ataque.

Φ = ángulo de plano de corte

$E_{1020} = 2.06 \cdot 10^{10}$ Pa.

El valor del módulo de elasticidad E ha sido tomado de los ensayos realizados en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Ahora, para el acero 1020, el libro Cálculos de Taller. Casillas [3], recomienda los siguientes valores:

Ángulo $\alpha = 14^\circ$, y para el material a maquinarse un $S = 180$ MPa,

Para valores normalizados en maquinado se toma, de la misma referencia:

$t_o = 0.15$ mm/rev, $w = 2$ mm, $r = 0.6$; tenemos.

$$\Phi = 45^\circ + \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{2} \beta \quad (2)$$

$$\text{pero, } \Phi = \tan^{-1} \left[\frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \right] \quad (3)$$

de donde $\Phi = 34.2^\circ$

y de (2) $\beta = 45^\circ + \frac{1}{2} (14^\circ) - 34.2^\circ$, de donde $\beta = 17.8^\circ$

Reemplazando valores en (1) se tiene que

$$F_c = 122 \text{ N.}$$

El valor obtenido para F_c se toma como una referencia para el cálculo de la deflexión de la viga, pues se estima que las fuerzas de corte para el material escogido serán de este orden.

3.2. Deflexión máxima de una viga en voladizo sometida a un momento.

De la referencia [5], se toma la expresión 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 2

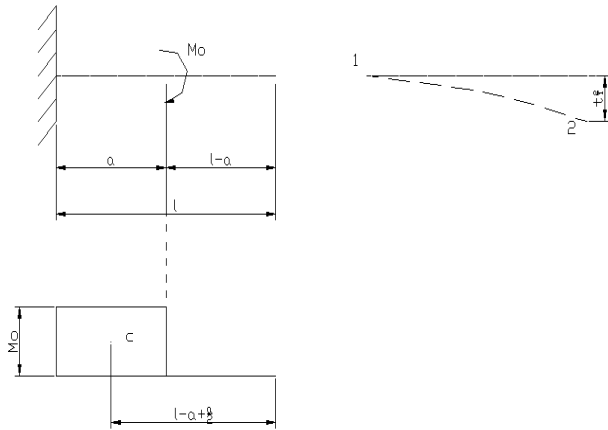


Fig 3. Esquema de la viga en voladizo.

De acuerdo con la figura 2, la deflexión máxima esta dada por la ecuación 4:

$$Y_{max} = t_{2/1} = \frac{Mo * a}{E * I} \quad Xa = t_{2/1} = \frac{Mo * a}{E * I} (L - \frac{a}{2}) \quad (4)$$

donde:

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

E = modulo de elasticidad

I = momento de inercia

Xa = distancia del centroide 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.

Al observar la figura 3 tenemos que:

$$X_a = L - a + a/2$$

$$X_a = (L-a)/2$$

$$Y_{max} = (1/EI) * (M_o a) * (L-a/2)$$

$$Y_{max} = (M_o a / EI) * (L-a/2)$$

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

3.3 cálculos para la deflexión máxima en el dinamómetro.

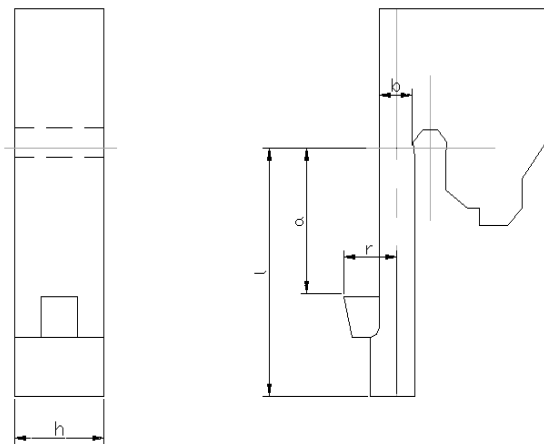


Fig 4. Nomenclatura de la viga del dinamómetro.

$a = 30\text{mm}, L = 50\text{mm}, b = 7.50\text{ mm}, h = 20\text{ mm}$

$$I = \frac{b^3}{12} h \quad (5), \text{ de donde } I = 703.13\text{mm}^4$$

$$M_o = F_c * r$$

$$r = \text{vuelo del buril} + \frac{1}{2} * b. \quad (6)$$

$$M_o = 122\text{N} * (21.75).$$

$$M_o = 2653.5\text{ N.mm.}$$

$$Y_{max} = (M_o a / EI) * (L-a/2)$$

De donde $Y_{max} = 0.19\text{ mm.}$

Ahora el esfuerzo a que estará sometido se da por:

$$\sigma_{max} = M_o c / I < \sigma_{F1045} \quad (7)$$

$$\text{donde, } \sigma_f = 406\text{ N/mm}^2$$

pero $\sigma_{max} = 14.15\text{ N/mm}^2 \ll \sigma_f$

Por lo tanto 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 3.1.

4. CONSTRUCCIÓN DEL DINAMÓMETRO.

El mecanizado del dinamómetro se realizo partiendo de un bloque de acero 1045 para herramienta de una dimensión de 150 x 78 mm. El material seleccionado se hizo con la consideración de que el dinamómetro será una herramienta de corte al portar la cuchilla corta metal. La figura 5 muestra las vistas acotadas del dinamómetro a construir, y la figura 6 describe el proceso tecnológico de maquinado en el taller del dinamómetro.

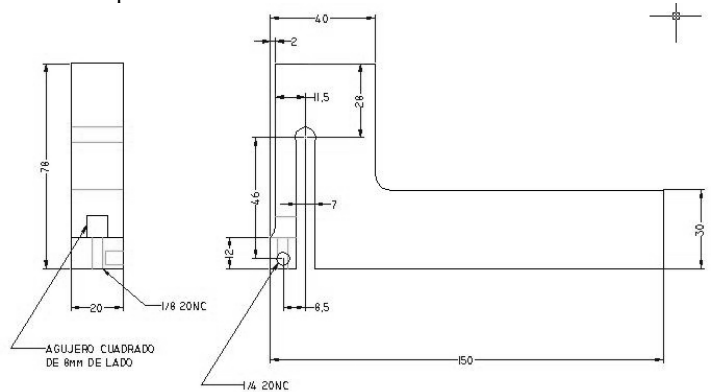


Fig. 5. Vistas frontal y lateral del dinamómetro

5. CALIBRACIÓN DEL DINAMÓMETRO.

A continuación se hace una rápida descripción del proceso usado para la calibración del dinamómetro:

Se monta en la torre del torno el dinamómetro portaherramientas, en la posición mostrada en la figura 7, a continuación se introduce en el cuadrante del portaherramientas, una barra con una ranura en el extremo opuesto al que se aprisiona, de donde se tiende una guaya verticalmente, la cual sujeta al dinamómetro de resorte y este a su vez el peso.

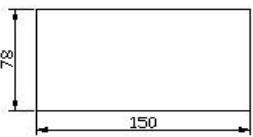
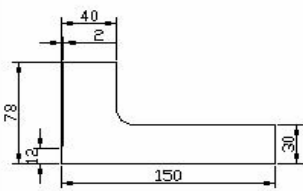
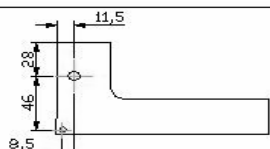
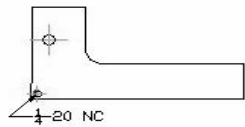
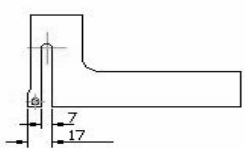
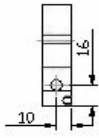

ANEXO 2 RUTA DE TRABAJO				
PROYECTO DE INVESTIGACION				
MODULO INSTRUCCIONAL: FRESADORA DE HERRAMIENTAS				
OPERACION	PROCESO DE EJECUCION	HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS	MATERIAL	EQUIPO
<p>1. DIMENSIONAMIENTO</p> 	<p>1. Se barrena hasta dejar una longitud de 150mm, ancho de 78mm, espesor de 20 mm. N= 180 RPM. A= 10 mm/min. W= 1,5 mm de desbaste, 1,0 mm de acabado.</p>	<p>1. Barrenador. 2. Nivel 3. Prensa 4. Butil de 10 mm.</p>	<p>Acero 1045 de 25 mm de espesor, 155 de longitud y 83 de ancho.</p>	<p>Fresadora</p>
<p>2. FRESADO</p> 	<p>1. Se fresa con bailarina hasta llegar a la forma y dimensiones indicadas. N= 315 RPM. A= 10 mm/min.</p>	<p>1. Bailarina de 12 mm 2. Boquilla portafresa. 3. Nivel.</p>	<p>Acero 1045.</p>	<p>Fresadora</p>
<p>3. TALADRADO</p> 	<p>1. Se inician los agujeros con broca para centros a continuación se perforan. N= 460 RPM. A= Manual.</p>	<p>1. Broca centros # 4. 2. Broca de 8 mm. 3. Broca de 5 mm. 4. Boquilla portabrocas.</p>	<p>Acero 1045.</p>	<p>Fresadora</p>
<p>4. ROSCADO</p> 	<p>1. Se rosca manualmente con machuelo de 1/4 el agujero de la parte inferior.</p>	<p>1. Machuelo de 1/4 2. boquilla portamachuelos.</p>	<p>Acero 1045.</p>	<p>Banco</p>
<p>5. FRESADO</p> 	<p>1. Se fresa con bailarina hasta llegar al agujero en la parte superior elaborado y obtener las dimensiones indicadas. N= 400 RPM. A= 12 mm/min.</p>	<p>1. Bailarina de 6 mm 2. Boquilla portafresa.</p>	<p>Acero 1045.</p>	<p>Fresadora</p>
<p>6. TALADRADO</p> 	<p>1. Se inicia el agujero con broca para centros a continuación se perfora. N= 460 RPM. A= Manual.</p>	<p>1. Broca centros # 4. 2. Broca de 8 mm. 3. Boquilla portabrocas.</p>	<p>Acero 1045.</p>	<p>Fresadora</p>
<p>7. LIMADO</p> 	<p>1. Se lima manualmente hasta llevar el agujero ya creado, a un cuadrante de 8x8 mm.</p>		<p>Acero 1045.</p>	<p>Prensa de banco</p>

Fig 6. Ruta de trabajo del proceso de construcción del dinamómetro.

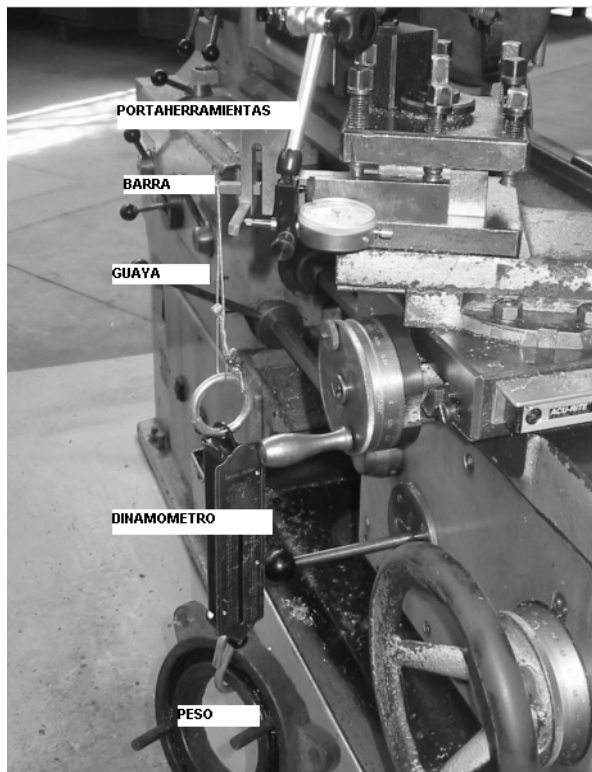


Fig 7. Esquema del montaje para la calibración del dinamómetro.

Se sujeta a la parte superior de la torre la base magnética, luego se instala el comparador de carátula en el brazo de esta y se pone en posición correcta.

Se procede a tomar las medidas las cuales quedan consignadas en la tabla numero 1.

Fuerza [Kgf.]	Deformación [µm.]						Media
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	
22	30	31	28	27	28	28	28.66
34	53	53	53	53	52	53	52.83
50	84	83	83	84	83	84	83.5
61	94	95	94	94	95	95	94.5

Tabla No. 1 Datos de calibración del dinamómetro.

Se realiza la grafica de calibración, y la pendiente de la curva \bar{k} da la sensibilidad del instrumento.

$$\bar{F} = \bar{y} * \bar{k} \text{ [Kgf]}$$

$$k_1 = F_1 / y_1 = 22 / 28.66 = 0.77$$

$$k_1 = F_2 / y_2 = 34 / 52.83 = 0.64$$

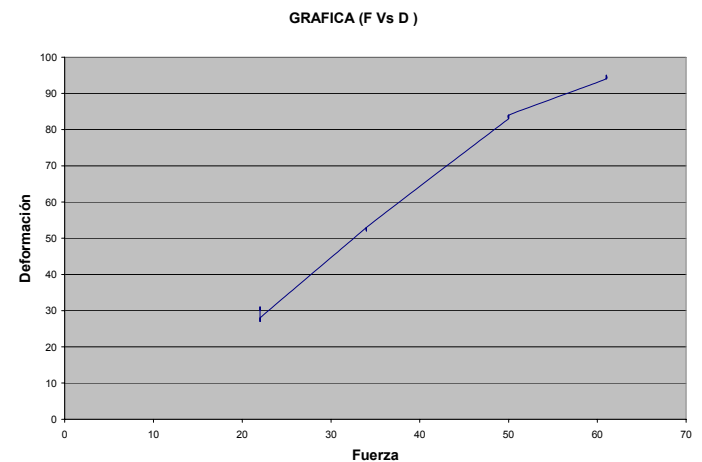


Fig 8. Curva de calibración.

$$k_1 = F_3 / y_3 = 50 / 83.50 = 0.60$$

$$k_1 = F_4 / y_4 = 61 / 94.50 = 0.65$$

$$\bar{k} = 0.66 \text{ [Kgf/µm]}$$

6. INSTALACIÓN DEL MONTAJE PARA LA PRUEBA

En la figura 9 se detalla la posición de los diferentes elementos que hacen parte del montaje para la toma de datos de las diferentes pruebas que requiere cada práctica.

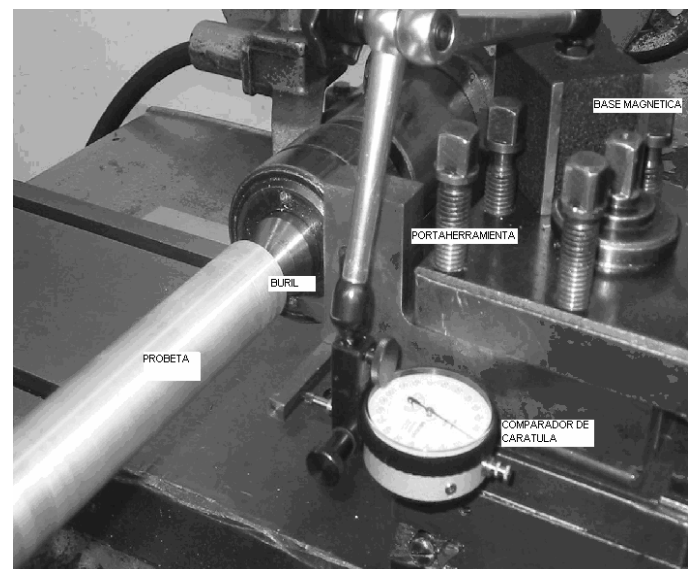


Fig 9. Esquema del montaje con sus partes.

La figura 10 muestra el dinamómetro instalado en el torno, realizando un proceso de cilindrado. Observe el comparador de carátula registrando la deflexión de la viga debido a la fuerza de corte.



Fig 10. Dinamómetro en prueba.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La conclusión mas importante es que con el conocimiento que se tiene en el recurso humano de la Escuela de Tecnología Mecánica, y el equipamiento del laboratorio de máquinas herramientas y otros laboratorios, se puede lograr la construcción de dispositivos y equipos necesarios para la tarea investigativa como en este caso que se logro tener un dinamómetro para la medición de fuerzas de corte en el proceso de maquinado por arranque de viruta.

Otra conclusión importante es que el valor de referencia de la fuerza de corte fue muy próximo al comportamiento real de las fuerzas en la calibración, por lo tanto la deflexión de la viga en el dinamómetro permitió desplazamientos ni muy grandes ni muy pequeños y que fueron medidos fácilmente por le comparador de carátula. Datos de medición están a disposición de interesados en el tema y no se incluyen aquí por falta de espacio.

La recomendación siguiente es usar el dinamómetro en la investigación acerca de la influencia que tiene el ángulo de corte de la cuchilla con el consumo de potencia de la maquina herramienta, y queda para un futuro proyecto el incorporar al dinamómetro un dispositivo electrónico que mida digitalmente el desplazamiento de la viga y se pueda hacer la interfase a un computador.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] BOOTHROYD, Geoffrey. Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta. Bogota: McGraw-Hill 1975 primera edición.

[2] DOYLE, Lawrence y otros. Materiales y procesos de manufactura para ingenieros. México: Prentice may Hispanoamericana S.A. 1988 primera edición.

[3] CASILLAS, A.L. Cálculos de taller. Edición hispanoamericana, 1997. Edición 36

[4] BEER, Ferdinand P;JOHNSTON Russel. Mecánica de materiales. McGraw-Hill. 2ª. Edición. ISBN:0-07-837340-9

[5] Engineering Handbook. Hyatt Bearings Division. Detroit, General Motors Corporation. 20 Edición.