

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

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE POTENCIAS  
TEÓRICAS Y REALES EN OPERACIONES DE  
TORNEADO**

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

Alumno:

Felipe Eduardo Núñez Vargas.

Profesor Guía:

Ing. José Antonio Carvallo Basaez.

**2019**

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** MECANIZADO, ENSAYO, TORNO, TORNEADO, POTENCIA.

El objetivo de este trabajo fue poder comparar entre los métodos de cálculo teórico el valor de potencia que sea el más semejante al valor de la potencia práctica obtenido al momento de realizar un mecanizado en un torno paralelo universal de características específicas para así trabajar con las condiciones óptimas en este tipo de máquina, y al mismo tiempo validar una metodología de cálculo cuyo valor de potencia sea el más parecido al consumido en la realidad. Dichos valores de comparación fueron obtenidos mediante la realización de un ensayo de mecanizado.

En primer lugar, fue necesario realizar una descripción de los 3 métodos que fueron comparados en este estudio los cuales corresponden a los métodos generales de “Kienzle” y “Kronenbein”, junto con el del fabricante “Sandvik”. De igual forma se describió de manera general la máquina en la cual se realizó el ensayo que en este caso corresponde a un torno paralelo, detallando las partes que la componen junto con las herramientas de corte de metal duro que se utilizan para un mecanizado.

Luego se elaboró un ensayo de mecanizado no normalizado (ya que no existen ensayos normalizados para este tipo de estudios) con el fin de obtener valores tanto teóricos como prácticos que fueron comparados en este trabajo. Este ensayo fue elaborado y posteriormente llevado a cabo teniendo en cuenta las características de los insumos que se utilizaron como fueron el torno paralelo, las herramientas de corte, y el material de trabajo a mecanizar.

Los valores teóricos obtenidos en el ensayo fueron de 2.04 (kW) para el método de “Kienzle”, 2.05 (kW) para el método de “Kronenbein”, y 1.98 (kW) para el método de “Sandvik”. Los valores anteriores fueron comparados con el valor obtenido en la práctica por medio de un analizador de red el cual fue conectado a la máquina, entregando un valor promedio de 2.051 (kW). De esta forma se pudo apreciar que el método de “Kronenbein” es el que más se acerca al valor práctico ya que tuvo el menor porcentaje de error absoluto de los 3 métodos comparados, el cual corresponde a un 0.765% versus los errores de 1.0075% y 3.3175% correspondientes a los métodos de “Kienzle” y “Sandvik” respectivamente. Por ende, el método validado por este trabajo corresponde al general de “Kronenbein”.





# ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
SIGLA Y SIMBOLOGÍA.....	9
INTRODUCCIÓN .....	11
OBJETIVO GENERAL .....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES .....	13
1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y PROBLEMÁTICA PRESENTE .....	14
1.1. DEFINICIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR Y SUS CARACTERÍSTICAS	14
1.1.1. Componentes principales del equipo.....	15
1.1.2. Componentes secundarios del equipo .....	17
1.2. HERRAMIENTAS DE CORTE.....	19
1.2.1. Acero rápido (HSS).....	19
1.2.2. Metal duro .....	20
1.3. PRINCIPALES OPERACIONES DE TORNEADO .....	23
1.3.1. Cilindrado.....	24
1.3.2. Refrentado .....	24
1.3.3. Ranurado .....	25
1.3.4. Roscado .....	26
1.4. CONSUMO DE LA POTENCIA EN EL EQUIPO .....	26
1.5. FUERZA DEL MECANIZADO .....	27
1.5.1. Fuerza de corte .....	28
1.6. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA POTENCIA DEL EQUIPO ....	28
1.6.1. Profundidad del corte .....	28
1.6.2. Velocidad de avance.....	29
1.6.3. Velocidad de corte.....	29
1.6.4. Ángulos del mecanizado .....	29
1.7. CÁLCULO DE LA POTENCIA EN EL EQUIPO .....	30
1.7.1. Método general.....	30
1.7.2. Método sandvik .....	31
1.8. OBTENCIÓN DE LA FUERZA DE CORTE.....	31
1.8.1. Métodos de Kienzle y Kronenbein.....	31
1.8.2. Método de Sandvik.....	33
1.9. PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	35

CAPÍTULO 2: ENSAYO DE MECANIZADO.....	36
2. ELABORACIÓN Y EJECUCIÓN DE ENSAYO DE MECANIZADO PARA LA OBTENCIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE POTENCIA EN OPERACIONES DE TORNEADO .....	37
2.1. INTRODUCCIÓN AL ENSAYO.....	37
2.2. MÁQUINA-HERRAMIENTA DEL ENSAYO.....	38
2.2.1. Características técnicas de la máquina .....	39
2.3. HERRAMIENTA DE CORTE Y PORTA-HERRAMIENTA A UTILIZAR	39
2.3.1. Características de la herramienta.....	40
2.3.2. Parámetros de mecanizado .....	40
2.3.3. Porta-herramientas y sus características .....	41
2.4. ELEMENTOS, EQUIPOS, E INSTRUMENTOS A UTILIZAR .....	42
2.4.1. Elementos de protección personal (EPP).....	42
2.4.2. Equipos e instrumentos de medición .....	43
2.5. MATERIAL DE TRABAJO.....	45
2.5.1. Dimensiones del material a mecanizar .....	45
2.5.2. Identificación del material de trabajo .....	47
2.5.3. Características técnicas del material.....	49
2.5.4. Preparación del material de trabajo .....	50
2.6. PROPUESTA DE ENSAYO .....	50
2.6.1. Generalidades del ensayo .....	50
2.6.2. Ficha técnica de registro de datos.....	51
2.6.3. Conexión del analizador de red en la máquina.....	53
2.7. ENSAYO DE PRUEBA .....	54
2.7.1. Obtención de los valores de “h” y “b” .....	54
2.7.2. Método de Kienzle.....	56
2.7.3. Método de Kronenbein .....	56
2.7.4. Método de Sandvik.....	57
2.7.5. Valor de potencia a comparar con el de la máquina.....	59
2.8. ENSAYO REAL.....	60
2.9. RESULTADOS OBTENIDOS .....	61
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	63
3. VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA DE CÁLCULO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.....	64
3.1. PÉRDIDAS MECÁNICAS DE UN EQUIPO.....	64
3.2. PÉRDIDAS MECÁNICAS DEL EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO	65
3.2.1. Primer ensayo de variación de potencia .....	65
3.2.2. Segundo ensayo de variación de potencia .....	66

3.2.3.	Variación de los valores en ambos ensayos .....	67
3.2.4.	Obtención de las pérdidas en base a la variación de las potencias .....	68
3.3.	RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS EN FUNCIÓN DE LAS PÉRDIDAS MECÁNICAS. ....	68
3.3.1.	Resultados teóricos.....	69
3.3.2.	Resultados prácticos .....	69
3.4.	COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.....	70
3.4.1.	Método de Kienzle .....	72
3.4.2.	Método de Kronenbein.....	73
3.4.3.	Método de Sandvik.....	74
3.5.	MÉTODO DE CÁLCULO VALIDADO POSTERIOR AL ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	74
3.5.1.	Error promedio general del método Kienzle .....	75
3.5.2.	Error promedio general del método Kronenbein.....	75
	Error promedio general del método de Sandvik .....	76
3.5.3.	Validación del método teórico.....	76
	CONCLUSIÓN .....	78
	BIBLIOGRAFÍA .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Clasificación herramientas de metal duro .....	20
Tabla 1. 2. Primera letra del código de una herramienta de metal duro.....	21
Tabla 1. 3. Segunda letra del código de una herramienta de metal duro. ....	21
Tabla 1. 4. Tercera letra del código de una herramienta de metal duro. ....	22
Tabla 1. 5. Cuarta letra del código de una herramienta de metal duro.....	22
Tabla 1. 6. Números del código de una herramienta de metal duro.....	23
Tabla 1. 7. Últimas dos letras del código de una herramienta de metal duro. ....	23
Tabla 1. 8. Valores de $K_{s1-1}$ , $K_s$ , y $Z$ .....	32
Tabla 2. 1. Características técnicas torno.....	39
Tabla 2. 2. Características de la herramienta de corte.....	40
Tabla 2. 3. Parámetros recomendados por el fabricante. ....	40
Tabla 2. 4. Características del porta-herramientas a utilizar. ....	42
Tabla 2. 5. Características técnicas del pie de metro. ....	44
Tabla 2. 6. Características técnicas del tester eléctrico. ....	44
Tabla 2. 7. Características técnicas del cronómetro digital.....	45
Tabla 2. 8. Condiciones de trabajo del ensayo.....	46
Tabla 2. 9. Características técnicas acero SAE 1045.....	50
Tabla 2. 10. Parámetros ensayo de prueba. ....	54
Tabla 2. 11. Obtención de “ $k_{c1}$ ” y “ $m_c$ ” para acero SAE 1045 según sandvik.....	58
Tabla 2. 12. Valor promedio de potencia de los tres métodos de cálculo. ....	59
Tabla 2. 13. Resultados prácticos del ensayo.....	61
Tabla 3. 1. Variación de la potencia en el primer ensayo. ....	67
Tabla 3. 2. Variación de la potencia en el segundo ensayo.....	68
Tabla 3. 3. Pérdidas mecánicas a utilizar con las potencias registradas.....	68
Tabla 3. 4. Métodos teóricos en base a las pérdidas. ....	69
Tabla 3. 5. Valor de potencia entregado por el motor eléctrico. ....	70
Tabla 3. 6. Valores teóricos a comparar con los métodos.....	72
Tabla 3. 7. Porcentajes de error método de Kienzle.....	73
Tabla 3. 8. Porcentajes de error método de Kronenbein. ....	73
Tabla 3. 9. Porcentajes de error método de Sandvik.....	74
Tabla 3. 10. Error promedio del método de Kienzle.....	75
Tabla 3. 11. Error promedio del método de Kronenbein. ....	75

Tabla 3. 12. Error promedio del método de Sandvik. ....	76
Tabla 3. 13. Error promedio general de los tres métodos teóricos.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Imagen de torno paralelo. ....	14
Figura 1. 2. Imagen bancada. ....	15
Figura 1. 3. Imagen cabezal fijo.....	16
Figura 1. 4. Imagen cabezal móvil.....	16
Figura 1. 5. Imagen carro portátil.....	17
Figura 1. 6. Imagen husillo. ....	17
Figura 1. 7. Imagen Plato de sujeción. ....	18
Figura 1. 8. Imagen de contrapunta.....	18
Figura 1. 9. Imagen torre porta-herramientas.....	19
Figura 1. 10. Ejemplo de un cilindrado.....	24
Figura 1. 11. Ejemplo de un refrentado.....	25
Figura 1. 12. Ejemplo de un Ranurado. ....	25
Figura 1. 13. Ejemplo de un Roscado. ....	26
Figura 1. 14. Movimientos de la herramienta de corte y de la pieza de trabajo. ....	27
Figura 1. 15. Componentes de la fuerza del mecanizado.....	28
Figura 1. 16. Representación de los ángulos del mecanizado.....	30
Figura 1. 17. Geometría de la viruta de corte.....	33
Figura 1. 18. “ $k_{cl}$ ” y “ $m_c$ ” para aceros tipo “M” según sandvik. ....	34
Figura 2. 1. Diagrama de desarrollo del ensayo.....	38
Figura 2. 2. Torno utilizado en el ensayo.....	38
Figura 2. 3. Herramientas de corte utilizadas en el ensayo.....	39
Figura 2. 4. Porta-herramientas utilizado en el ensayo. ....	41
Figura 2. 5. EPP utilizados en el ensayo. ....	43
Figura 2. 6. Pie de metro utilizado en el ensayo. ....	43
Figura 2. 7. Analizador de red utilizado en el ensayo. ....	44
Figura 2. 8. Cronómetro utilizado en el ensayo. ....	45
Figura 2. 9. Material de trabajo utilizado en el ensayo. ....	47
Figura 2. 10. Ensayo de chispa realizado al material de trabajo. ....	48
Figura 2. 11. Ensayo de dureza rockwell realizado al material de trabajo.....	49
Figura 2. 12. Dureza acero SAE 1045.....	49

Figura 2. 13. Ficha técnica del ensayo. ....	52
Figura 2. 14. Analizador de red conectado a la máquina en el ensayo. ....	53
Figura 2. 15. Geometría de la viruta del ensayo de prueba. ....	55
Figura 2. 16. Obtención de “ $K_{s1-1}$ ” y “ $z$ ” para acero SAE 1045. ....	56
Figura 2. 17. Obtención de “ $K_s$ ” para acero SAE 1045 .....	57
Figura 2. 18. Resultados teóricos expresados gráficamente.....	60
Figura 2. 19. Resultados prácticos expresados gráficamente.....	62
Figura 3. 1. Resultados ensayo a velocidad de 860 (RPM) y avance de 0.15 (mm/rev)..	66
Figura 3. 2. Resultados ensayo a velocidad de 1400 (RPM) y avance de 0.15 (mm/rev). .....	67
Figura 3. 3. Resultados prácticos representados gráficamente.....	71

## SIGLA Y SIMBOLOGÍA

### **SIGLA**

HSS: Acero rápido

RPM: Revoluciones por minuto

SAE: Sociedad de ingenieros automotrices.

### **SIMBOLOGÍA**

m: Metros

mm: Milímetros.

min: Minutos

°: Grados

W: Watts

kW: kilo Watts

hp: Caballos de fuerza

$k_p$ : Ángulo de posición primario

$k_{sec}$ : Ángulo de posición secundario

$\beta$ : Ángulo del filo de la herramienta

P: Potencia

$v_c$ : Velocidad de corte

$f_c$ : Fuerza de corte

$K_{s1-1}$ : Fuerza específica de corte Kienzle

$K_s$ : Fuerza específica de corte Kronenbein

h: Espesor de la viruta

z: Exponente de fuerza de corte

b: Ancho de la viruta

S: Avance de la herramienta

a: Profundidad del corte

$k_{c1}$ : Fuerza de corte específica Sandvik

$h_m$ : Espesor medio de la viruta

$m_c$ : Factor de corrección para valor real de  $h_m$

$\gamma_0$ : Ángulo de desprendimiento de viruta

PM: Pérdidas mecánicas.

s: Segundos

V: Voltios

A: Amperes

AC: Corriente alterna

DC: Corriente continua

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente existen variados métodos para calcular potencia en las operaciones de torneado. Algunos propuestos por individuos cuyos métodos llevan sus nombres y otros que los distintos fabricantes del área metal-mecánica han llevado a cabo en sus productos y/o servicios como es el caso, por ejemplo, de los fabricantes Sandvik, Mitsubishi, Kennametal, entre otros. Sin embargo, ninguno de los métodos señalados anteriormente permite con certeza obtener un valor que posteriormente se replicará al momento de llevar los números a la máquina. Una de las razones de esto es que existen variables que se pasan por alto en estos métodos, como por ejemplo de que los elementos que están destinados a transmitir la potencia, generalmente no la transmiten en su totalidad debido a las pérdidas que se generan entre estos. Esto al mismo tiempo influye en que se desconocen los parámetros a los cuales se encuentra trabajando el equipo y a los cuales podría trabajar de manera óptima, es decir, casi a su máxima capacidad sin presentar inconvenientes.

El objetivo principal de este trabajo es realizar una comparación entre las potencias que se calculan de forma teórica, y las que se consumen al momento de mecanizar para así diferenciar a un método entre los demás a comparar. Para ello se debe realizar una descripción detallada de los equipos, métodos, y conceptos a utilizar previo a la elaboración de un ensayo de mecanizado que permita evidenciar datos teóricos y reales finalizando con un análisis de los resultados obtenidos con el fin de poder diferenciar un método entre todos que se asemeje más a los valores reales obtenidos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Comparar valores teóricos y prácticos (reales) de potencia en operaciones de torneado obtenidos mediante ensayo de mecanizado para un acero SAE 1045, con el fin de validar una metodología de cálculo teórico.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Describir las variables de mecanizado, características técnicas de los equipos, y los métodos teóricos de cálculo de potencia utilizados en el ensayo de validación.

2. Ejecutar ensayo de mecanizado en torno paralelo universal bajo condiciones de trabajo controladas, que permita obtener valores teóricos y prácticos (reales) de potencia.

3. Analizar resultados obtenidos mediante el ensayo ejecutado validando de esta forma una de las metodologías de cálculo utilizadas.

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

## **1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y PROBLEMÁTICA PRESENTE**

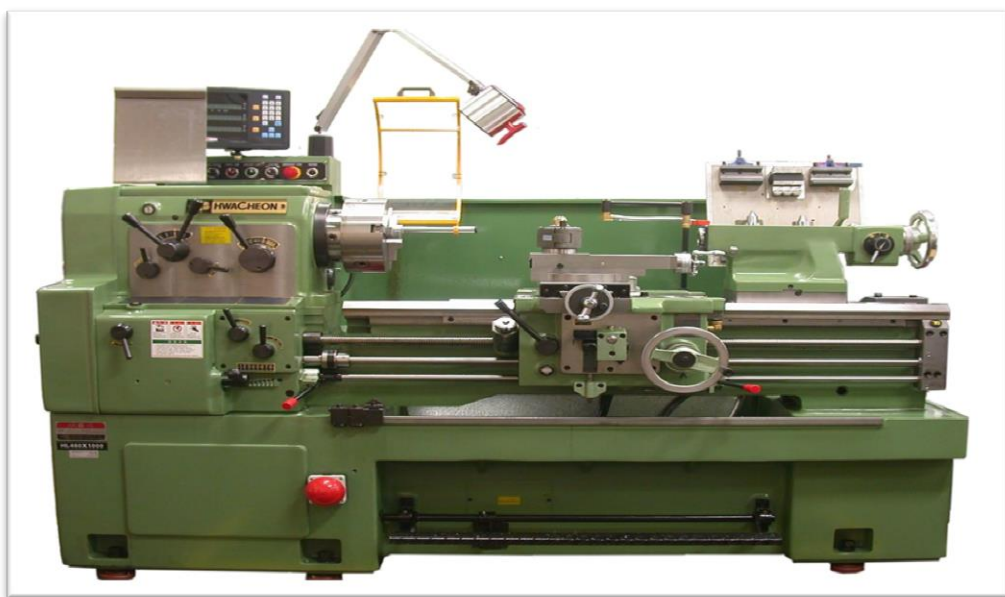
En este capítulo se describe la máquina a utilizar en el ensayo junto con su funcionamiento y las herramientas de corte que esta utiliza, además de los métodos teóricos a comparar en el ensayo que corresponden a los métodos generales de “Kienzle” y “Kronenbein”, y al del fabricante “Sandvik”, y se presenta la problemática presente bajo la cual está realizado el presente trabajo.

### **1.1. DEFINICIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR Y SUS CARACTERÍSTICAS**

El equipo en el cual se realizará el ensayo corresponde a un torno, el cual es una máquina-herramienta cuya característica principal es el mecanizado mediante arranque de viruta, de piezas que posean un eje de revolución o en otras palabras que sean simétricas.

Para el mecanizado en este equipo se requiere de un movimiento de rotación del material de trabajo junto con el movimiento de avance de la herramienta de corte, los cuales están sujetos a una velocidad de rotación y avance determinados respectivamente.

Figura 1. 1. Imagen de torno paralelo.



Fuente: dmitaliasrl.com

### 1.1.1. Componentes principales del equipo

Algunas partes o componentes principales del equipo que le permiten desempeñar su función principal de mecanizar son las siguientes:

- a. Bancada: Es la parte donde se dispone o sitúa la pieza a trabajar. De las dimensiones de ésta dependerán las máximas dimensiones del material o la pieza que se desea mecanizar. En la bancada se encuentra ubicada la guía de desplazamiento por la cual se mueve el cabezal móvil junto con el carro longitudinal.

Figura 1. 2. Imagen bancada.



Fuente: Fotografía propia.

- b. Cabezal fijo: En ella se encuentran los sistemas de transmisión que generan el movimiento del husillo en el que se encuentra el plato de sujeción, junto con el avance automático del carro longitudinal. Además, funciona como soporte para la pieza a mecanizar.

Figura 1. 3. Imagen cabezal fijo.



Fuente: Fotografía propia.

- c. Cabezal móvil: Permite apoyar la pieza desde el otro extremo que no toma el cabezal fijo para en la mayoría de los casos evitar que la pieza quede tomada de un solo lugar y sea mecanizada entre puntos. Se pueden montar porta brocas para realizar perforaciones en el centro del eje de rotación de la pieza.

Figura 1. 4. Imagen cabezal móvil.

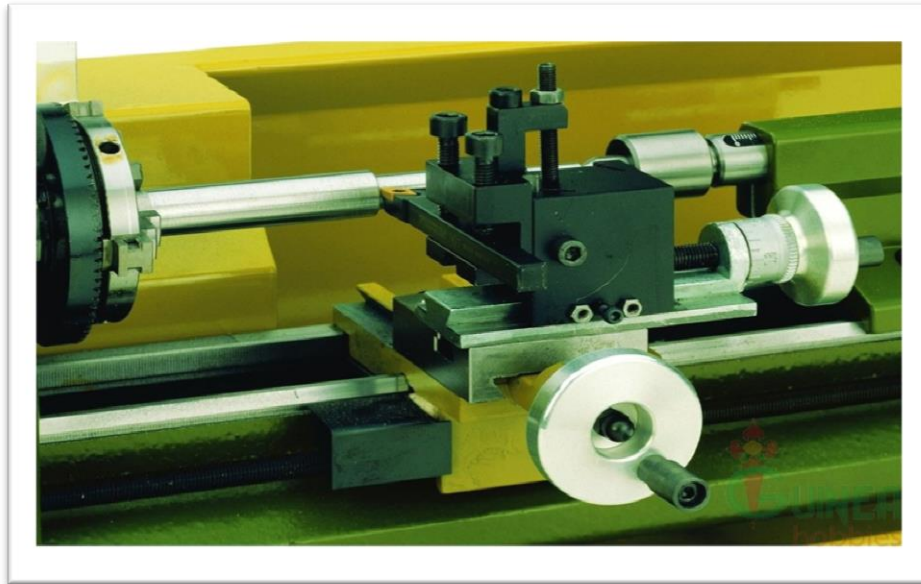


Fuente: Fotografía propia.

- d. Carro portátil: En él se encuentra la torre porta herramientas y se compone por tres carros los cuales son el longitudinal que permite un desplazamiento axial de la torre, transversal que genera un movimiento radial, y orientable que puede ser configurado para moverse en cualquier dirección. El transversal y longitudinal pueden ser controlados de manera manual o automática configurando su

velocidad mediante los selectores de avance del equipo, mientras que el orientable únicamente es controlado manualmente.

Figura 1. 5. Imagen carro portátil.



Fuente: foro.metalaficion.com

- e. Husillo: Transmite el movimiento generado por el sistema de transmisión del equipo (poleas o engranajes) hacia la pieza mediante el plato de sujeción.

Figura 1. 6. Imagen husillo.



Fuente: directindustry.es

### 1.1.2. Componentes secundarios del equipo

Aquí se encuentran principalmente aparatos que cumplen funciones que complementan a los componentes principales del equipo mencionados anteriormente:

- a. Plato de sujeción: Su función básicamente es sujetar la pieza a mecanizar y transmitirle a esta el movimiento generado por el husillo. Existen platos universales donde sus garras de sujeción se mueven de forma simultánea, y los independientes en los que cada garra debe ser apretada de manera individual.

Figura 1. 7. Imagen Plato de sujeción.



Fuente: Fotografía propia.

- b. Contrapunta: Es un accesorio del cabezal móvil que permite apoyar la pieza en el centro de su eje por medio de una perforación de centro realizada previamente.

Figura 1. 8. Imagen de contrapunta.



Fuente: Fotografía propia.

- c. Torre porta-herramientas: Tal como su nombre lo indica es el accesorio donde se ubica el porta-herramientas que contiene a la herramienta de corte.

Figura 1. 9. Imagen torre porta-herramientas.



Fuente: Fotografía propia.

## **1.2.HERRAMIENTAS DE CORTE**

Existen diversos tipos de herramientas para la máquina, las cuales se diferencian principalmente por el material del cual están fabricadas y para la operación que están destinadas a realizar.

En cuanto a las operaciones existen herramientas de corte para cilindrados y refrentados, herramientas de roscar para realizar roscados, y tronzas que son las herramientas utilizadas para realizar la operación de ranurado.

Hablando de su material existen herramientas de HSS y Metal duro donde cada una tiene sus ventajas y desventajas, aunque ambos materiales pueden realizar las mismas operaciones.

### **1.2.1. Acero rápido (HSS)**

Ventajas:

- Poseen un bajo valor económico.
- Trabajan a velocidades de corte bajas (entre 15-25 m/min).
- Poseen un filo de corte que es posible reafilar.

Desventajas:

- Poco versátiles en la industria debido a que poseen un único filo de corte.
- Soportan una menor temperatura de trabajo.

### 1.2.2. Metal duro

Ventajas:

- Poseen varios filos de corte dependiendo de la geometría de la herramienta.
- Soportan una mayor temperatura de trabajo.
- Trabajan a velocidades de corte mayores que las de HSS (sobre los 100 m/min).

Desventajas:

- Poseen un valor económico más alto que las de HSS.
- Los filos de corte no se pueden reafilar.

Las herramientas de metal duro que corresponden a las herramientas que se utilizarán en el ensayo están clasificadas de acuerdo al material de trabajo a los cuales están destinados a trabajar. Dicha clasificación está sujeta a una letra y un color, y está presentada en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Clasificación herramientas de metal duro

<b>Clasificación</b>	<b>Material de trabajo</b>	<b>Color asociado</b>
ISO P	Aceros.	Azul.
ISO M	Aceros inoxidables.	Amarillo.
ISO K	Fundiciones.	Rojo.
ISO N	Aluminios.	Verde claro.
ISO S	Superaleaciones termoresistentes.	Anaranjado.
ISO H	Materiales endurecidos.	Plateado.

Fuente: sandvik.coromant.com

Al mismo tiempo, estas herramientas de metal duro poseen un código que permite identificar sus principales características y está dado de la siguiente manera:

Ejemplo de código de una herramienta: **DCUM130206 PM.**

Tabla 1. 2. Primera letra del código de una herramienta de metal duro

<b>Letra.</b>	<b>Forma geométrica.</b>
W	Hexagonal 80°.
V	Rómbica 35°.
T	Triangular.
S	Cuadrada.
R	Redonda.
L	Rectangular.
D	Rómbica 55°.
C	Rómbica 80°.



Fuente: sandvik.coromant.com

Tabla 1. 3. Segunda letra del código de una herramienta de metal duro.

<b>Letra</b>	<b>Ángulo de incidencia de la herramienta</b>
P	11°
N	0°
G	30°
F	25°
E	20°
D	15°
C	7°
B	5°
A	3°

Fuente: sandvik.coromant.com

Tabla 1. 4. Tercera letra del código de una herramienta de metal duro.

<b>Letra.</b>	<b>Tolerancia dimensional.</b>
U	Mayor
N	 
M	
L	
K	
J	Menor

Fuente: sandvik.coromant.com

Tabla 1. 5. Cuarta letra del código de una herramienta de metal duro.

<b>Letra.</b>	<b>Tipo de sujeción.</b>
X	No estándar.
N	Sin agujero y con rompevirutas en una cara.
T	Agujero avellanado y rompevirutas en una cara.
W	Agujero avellanado en una cara.
N	Sin agujero ni rompevirutas.
M	Agujero con rompevirutas en una cara.
G	Agujero con rompevirutas en dos caras.
A	Agujero sin avellanar.

Fuente: sandvik.coromant.com

Tabla 1. 6. Números del código de una herramienta de metal duro.

<b>Números</b>	<b>Indican</b>
Primeros dos números.	Longitud de la arista de corte en milímetros.
Dos números siguientes.	Espesor de la herramienta de corte en milímetros.
Últimos dos números.	Radio de la punta de la herramienta en décimas de milímetro.

Fuente: sandvik.coromant.com

Tabla 1. 7. Últimas dos letras del código de una herramienta de metal duro.

<b>Letras.</b>	<b>Material de trabajo</b>
P	Aceros.
M	Aceros inoxidables.
K	Fundiciones.
N	Aluminios.
S	Superaleaciones termoresistentes.
H	Materiales endurecidos.

Fuente: sandvik.coromant.com

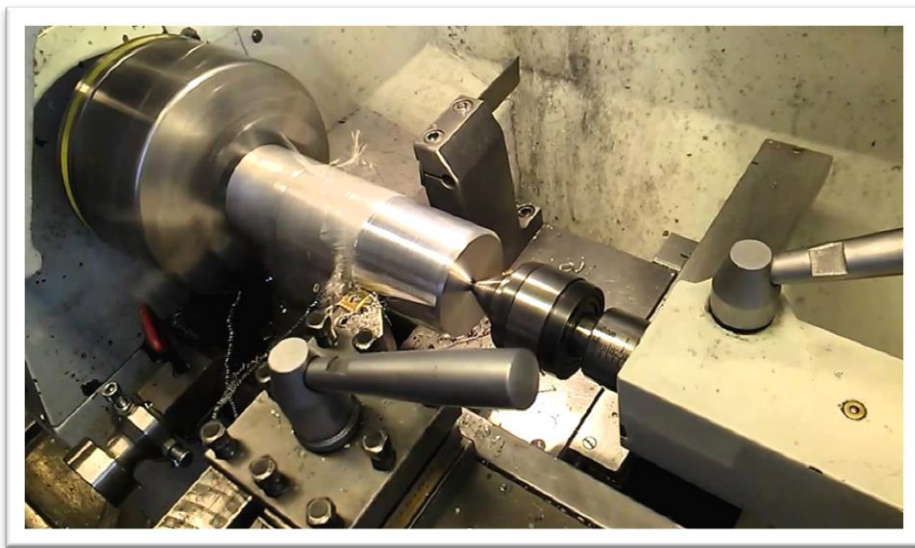
### **1.3.PRINCIPALES OPERACIONES DE TORNEADO**

Existen 4 principales operaciones que son características del equipo en el que se realizará el ensayo y son las que se muestran a continuación:

### 1.3.1. Cilindrado

Es la operación que altera o modifica directamente el diámetro del material. Se realiza configurando la profundidad de corte con el carro transversal y generando el movimiento de avance de la herramienta de manera axial o paralela al eje de la pieza generando la longitud del cilindrado. Es muy importante que para realizar esta operación la pieza se encuentre montada de forma alineada o paralela al eje de la bancada con la ayuda de la contrapunta o al mismo tiempo apoyado en esta última.

Figura 1. 10. Ejemplo de un cilindrado.

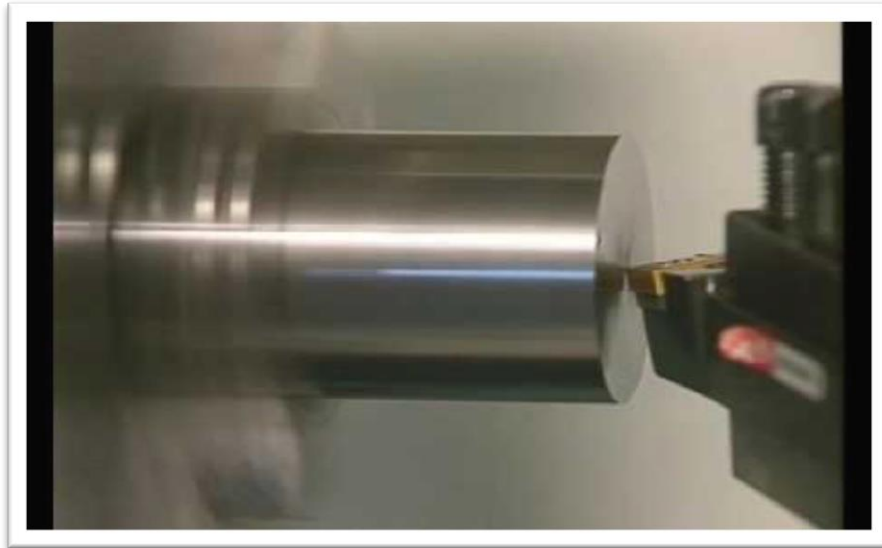


Fuente: Mecanizadosinc.com

### 1.3.2. Refrentado

Esta operación modifica el largo de la pieza que se requiera mecanizar. Se lleva a cabo configurando la profundidad de corte con el carro longitudinal y realizando el movimiento de avance de la herramienta de manera perpendicular al eje de la pieza, es decir, con el carro transversal. Para efectuar esta operación el material o pieza a mecanizar debe estar sujeto únicamente del plato de sujeción y libre del otro extremo, ya que este último es el que se refrentará.

Figura 1. 11. Ejemplo de un refrentado.

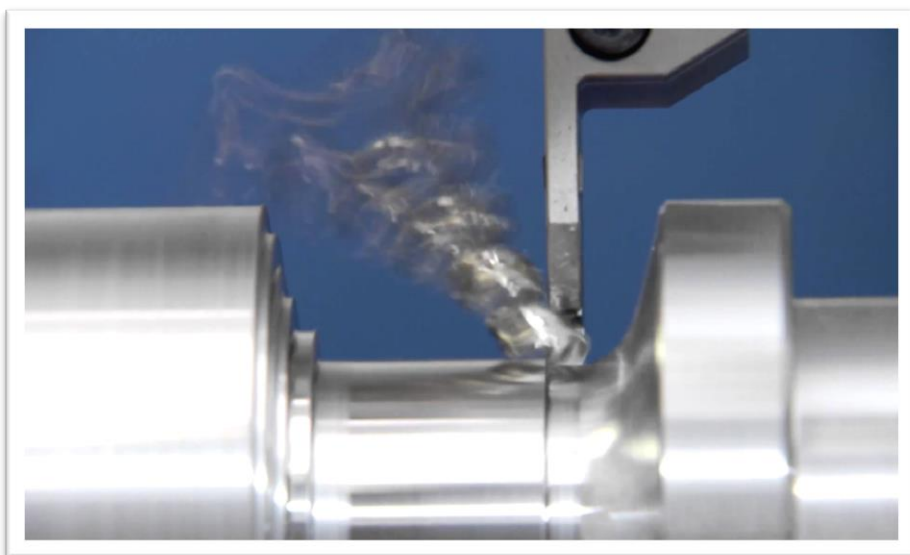


Fuente: serco-tools.com

### 1.3.3. Ranurado

Tal como su nombre lo indica consiste en la generación de ranuras en la pieza a mecanizar cuya anchura y profundidad son variables dependiendo del fin operacional de la ranura. Para llevarlo a cabo se trabaja con una herramienta de corte especial conocida como “Tronza” y la profundidad de corte junto con el movimiento de avance de la herramienta son controlados por el carro transversal de la máquina. En esta operación la velocidad del husillo es  $1/3$  de la velocidad de corte real.

Figura 1. 12. Ejemplo de un Ranurado.

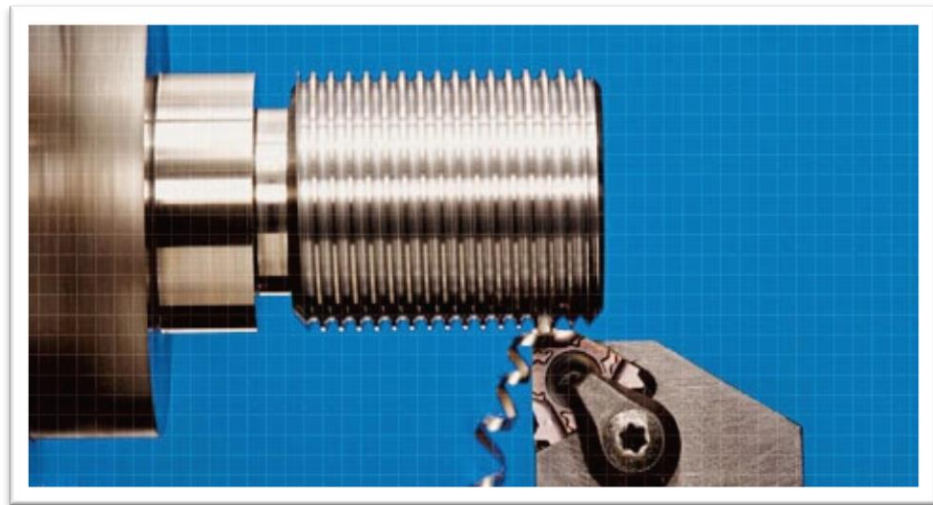


Fuente: directindustry.es

#### 1.3.4. Roscado

El roscado es la generación de una trayectoria helicoidal sobre la superficie de la pieza que permite la sujeción de elementos. En él se destacan las roscas externas e internas, como por ejemplo los tornillos y las tuercas respectivamente. En el torno es posible realizar ambos tipos mediante el uso de herramientas de corte destinadas para la operación y configurando correctamente los avances para esta dependiendo de las características de la rosca que se desea realizar. Al mismo tiempo este proceso únicamente puede ser realizado con el avance automático del carro longitudinal y donde la profundidad del corte es controlada por el carro transversal.

Figura 1. 13. Ejemplo de un Roscado.



Fuente: hercoin.com

### **1.4.CONSUMO DE LA POTENCIA EN EL EQUIPO**

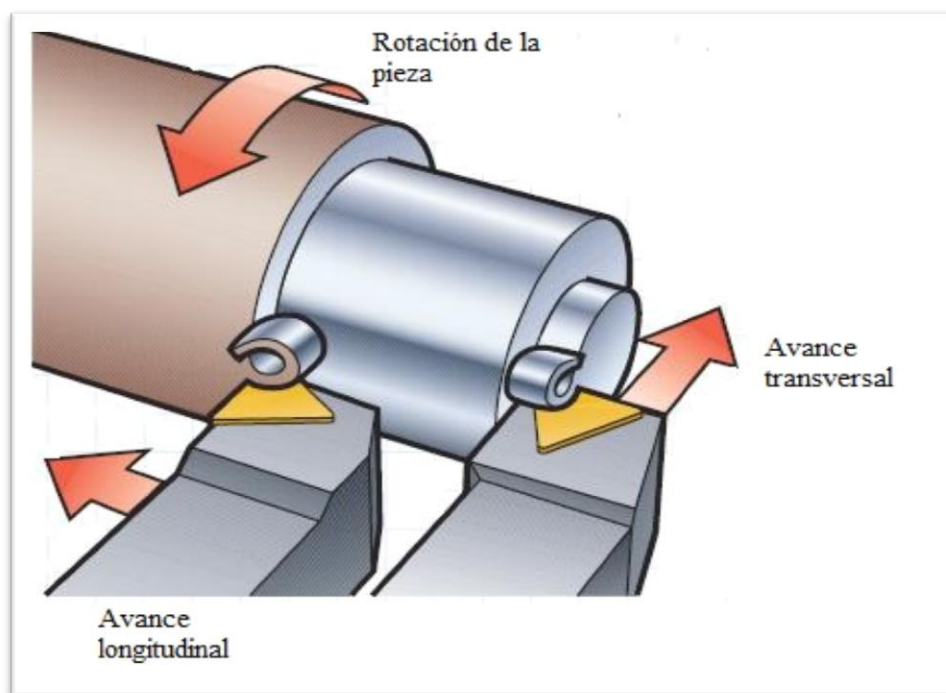
La potencia, variable principal que se comparará con el ensayo a realizar, se define como la cantidad de trabajo que realiza un cuerpo en un determinado tiempo. En el sistema internacional su unidad de medida es el “Watt” (W), mientras que en el sistema inglés se mide en “Caballos de fuerza” (hp). Para el caso de un torno, esta potencia se genera al momento de realizar el desprendimiento de viruta de la operación que corresponda.

En este equipo el desprendimiento de la viruta se genera por dos movimientos que son el de rotación de la pieza o del material a mecanizar conocido como movimiento

de corte, el cual es generado por el husillo y puede ser horario o anti-horario, y el movimiento de avance cuya orientación es axial o radial como se muestra en la figura 1.14, o ambas como ocurre en el caso cuando se utiliza el carro orientable. En caso de la ausencia de cualquiera de los dos no es posible generar el arranque de viruta y por ende no se puede hacer el mecanizado.

En el caso de un torno, la potencia proviene de un motor eléctrico el cual es el encargado de generar los dos movimientos de desprendimiento de viruta del equipo mencionados anteriormente.

Figura 1. 14. Movimientos de la herramienta de corte y de la pieza de trabajo.

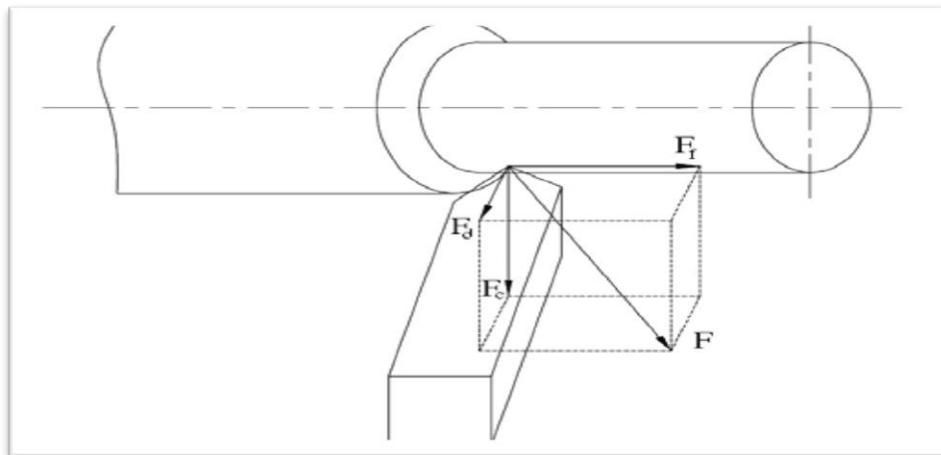


Fuente: sandvik.coromant.com

## **1.5.FUERZA DEL MECANIZADO**

Cuando se genera el desprendimiento de viruta en el equipo, se produce una fuerza en el punto de contacto entre la herramienta de corte y el material conocida como fuerza del mecanizado ( $F$ ). A su vez, esta fuerza se descompone en tres componentes que son la fuerza de avance ( $F_r$ ) en sentido longitudinal al material, la fuerza de rechazo ( $F_d$ ) en sentido transversal, y la fuerza de corte ( $F_c$ ) en sentido hacia abajo tal como se puede apreciar en la figura 1.15.

Figura 1. 15. Componentes de la fuerza del mecanizado.



Fuente: ingemecanica.com

#### 1.5.1. Fuerza de corte

Es una fuerza que depende de otros parámetros como la profundidad del corte y la velocidad de avance, y al mismo tiempo del material de trabajo que se requiere mecanizar. Esta componente es una de las variables que influyen en la potencia requerida por el equipo al momento de realizar un mecanizado.

### **1.6. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA POTENCIA DEL EQUIPO**

El valor de la potencia que genere el equipo al momento del ensayo dependerá de los siguientes parámetros:

#### 1.6.1. Profundidad del corte

Corresponde a la profundidad que tendrá el corte al momento de ser realizado.

#### 1.6.2. Velocidad de avance

Es la velocidad a la cual se mueve la herramienta de corte en el mecanizado. Para el caso del torno corresponde a los milímetros que esta avanza por cada revolución que da la pieza, y por ende su unidad de medida es mm/rev.

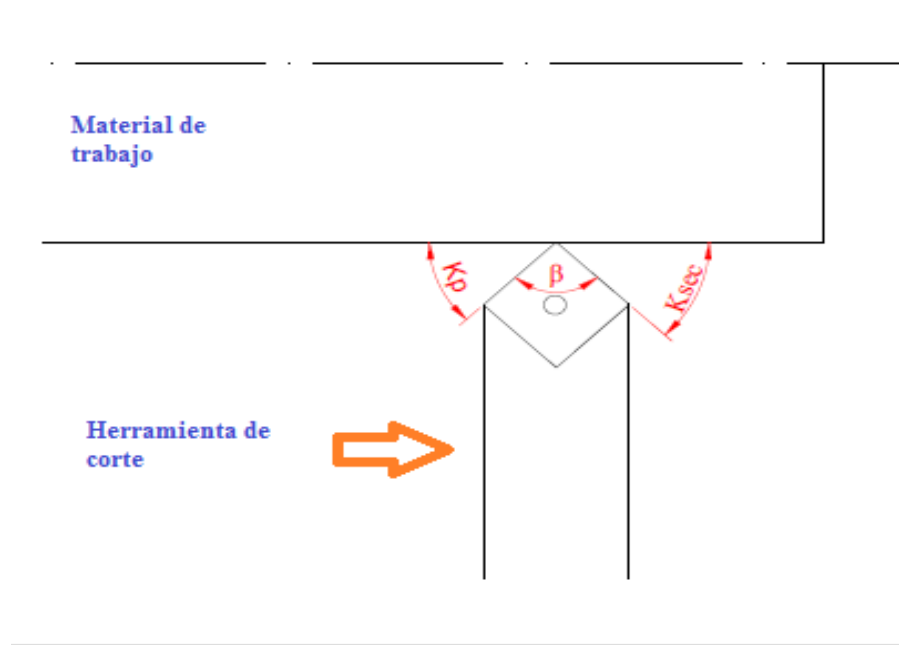
#### 1.6.3. Velocidad de corte

Está asociada al material del cual está fabricada la herramienta y al mismo tiempo al material que se desea mecanizar. Mientras mayor sea la dureza del material a mecanizar menor será la velocidad de corte y viceversa.

#### 1.6.4. Ángulos del mecanizado

Acá se encuentra el ángulo del filo de la herramienta junto con el de posición y de desprendimiento de viruta. El de posición corresponde al ángulo que tiene la herramienta de corte al momento de ser montada en el portaherramientas con respecto al plano de la superficie de la pieza a mecanizar. Este último ángulo de posición puede ser primario o secundario, y se configuran al momento de situar el portaherramientas en el ángulo que se requiera. Estos ángulos se presentan a continuación en la figura 1.16 donde " $\beta$ " es el ángulo del filo de la herramienta, " $k_{sec}$ " el ángulo de posición secundario y " $k_p$ " el ángulo de posición primario.

Figura 1. 16.Representación de los ángulos del mecanizado.



Fuente: Elaboración propia.

## **1.7.CÁLCULO DE LA POTENCIA EN EL EQUIPO**

A continuación se presentan las dos ecuaciones de potencia a utilizar en el ensayo, de las cuales una corresponde al método general y la otra al método del fabricante “Sandvik”.

### **1.7.1. Método general**

La primera manera de obtener la potencia que consumirá el equipo en el mecanizado del ensayo a realizar se calcula de la siguiente forma:

$$P = v_c \times f_c$$

1.7.1. Ecuación general para el cálculo de potencia.

Donde:

P: Potencia (W).

$v_c$ : Velocidad de corte (m/s).

$f_c$ : Fuerza de corte (N).

### 1.7.2. Método sandvik

La segunda forma de obtener la potencia para el ensayo es la siguiente fórmula que plantea el fabricante de origen sueco “Sandvik Coromant” y cuyo uso es recomendado para herramientas de corte de dicho fabricante:

$$P = \frac{v_c \times a \times S \times f_c}{60 \times 10^3}$$

1.7.2. Ecuación de Sandvik para el cálculo de potencia.

Donde:

P: Potencia (kW).

$v_c$ : Velocidad de corte (m/min).

a: Profundidad de corte (mm).

S: Avance de la herramienta (mm/rev).

$f_c$ : Fuerza de corte (N/mm<sup>2</sup>).

## **1.8.OBTENCIÓN DE LA FUERZA DE CORTE**

En este punto se presentan las 3 ecuaciones para la obtención de la fuerza de corte, las cuales son las ecuaciones de “Kienzle” y “Kronenbein”, junto con la del fabricante “Sandvik”.

### 1.8.1. Métodos de Kienzle y Kronenbein

La manera que plantea Kienzle para obtener la fuerza de corte requerida para el ensayo es la que se presenta a continuación:

$$f_c = Ks_{1-1} \times h^{(1-z)} \times b$$

1.8.1.1. Ecuación de Kienzle para fuerza de corte.

Donde:

$f_c$ : Fuerza de corte (N).

$Ks_{1-1}$ : Fuerza específica de corte (N/mm<sup>2</sup>).

h: Espesor de la viruta (mm).

z: Exponente de fuerza de corte (-).

b: Ancho de la viruta (mm).

Por otra parte, el método de Kronenbein trabaja con la siguiente ecuación para la obtención de la fuerza de corte:

$$f_c = K_s \times h \times b$$

1.8.1.2. Ecuación de Kronenbein para fuerza de corte.

Donde:

$f_c$ : Fuerza de corte (N).

$K_s$ : Fuerza específica de corte (N/mm<sup>2</sup>).

h: Espesor de la viruta (mm).

b: Ancho de la viruta (mm).

Los valores de la fuerza específica de corte de ambos métodos, junto con el del exponente de la fuerza de corte que utiliza “Kienzle” dependen del material que se requiera mecanizar y el valor del espesor que tenga la viruta. Estos se encuentran en la tabla 1.8. Para ingresar a la tabla, en el caso del método de “Kienzle” el valor de la fuerza de corte específica está dado directamente por el material, mientras que para el método de “Kronenbein” dicho valor dependerá del material y al mismo tiempo del espesor que posea la viruta en el mecanizado.

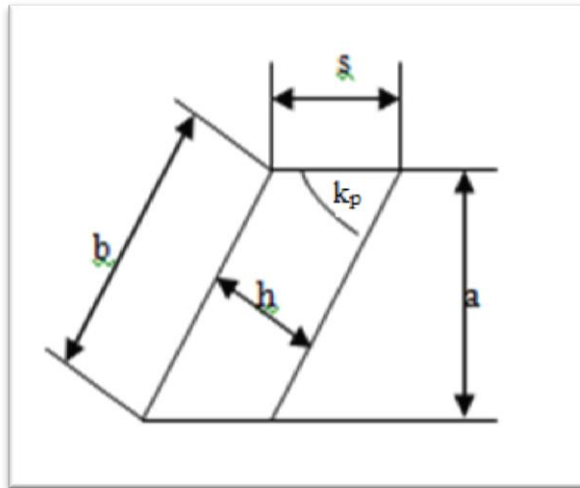
Tabla 1. 8. Valores de  $K_{s1-1}$ ,  $K_s$ , y Z.

Material de trabajo	$K_{s1-1}$ en N/mm <sup>2</sup>	Z	Valores de $K_s$ para los espesores de viruta h especificados						
			0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6
St 37 - St42	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
St 50	1990	0,26	3620	3210	2850	2530	2250	1990	1760
St 60	2110	0,17	3120	2880	2670	2470	2280	2110	1950
St 70	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
C 15	1820	0,22	3020	2720	2470	2280	2020	1820	1640
C 35	1860	0,20	2950	2680	2450	2230	2040	1860	1690
C 45, Ck45	2220	0,14	3070	2870	2700	2520	2370	2220	2080
Ck 60	2130	0,18	3220	2960	2730	2510	2320	2130	1960
16MnCr5	2100	0,26	3820	3380	3010	2660	2370	2100	1820
18CrNi6	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
34CrMo 4	2240	0,21	3630	3290	3000	2720	2470	2240	2030
GG 20	1020	0,25	1810	1610	1430	1280	1150	1020	910
GG 25	1160	0,26	2110	1870	1660	1470	1310	1160	1030
Gs 52	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
Latón	780	0,18	1180	1090	1000	920	850	780	720

Fuente: “Mechanical and metal trades handbook”

Los valores de “h” y “b” son obtenidos dependiendo de la geometría que tenga la viruta arrancada en el proceso tal como se muestra en la figura 1.17, en donde se puede apreciar una sección de la viruta del mecanizado y que presenta una inclinación con respecto al plano que es otorgada por la geometría que posee la herramienta de corte.

Figura 1. 17. Geometría de la viruta de corte.



Fuente: “Mechanical and metal trades handbook”

Donde:

S: Avance de la herramienta (mm/rev).

a: Profundidad del corte (mm).

$k_p$ : Ángulo de posición primario ( $^{\circ}$ ).

h: Espesor de la viruta (mm).

b: Ancho de la viruta (mm).

### 1.8.2. Método de Sandvik

La fórmula que plantea este fabricante para la obtención de la fuerza de corte específica es la que se presenta a continuación:

$$k_c = k_{c1} \times (h_m)^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

1.8.2.1.Ecuación de Sandvik para fuerza de corte.

Donde:

$k_c$ : Fuerza de corte específica (N/mm<sup>2</sup>)

$k_{c1}$ : Fuerza de corte específica para un espesor medio de 1 milímetro (N/mm<sup>2</sup>).

$h_m$ : Espesor medio de la viruta (mm).

$m_c$ : Factor de corrección para valor real de  $h_m$  (-).

$\gamma_0$ : Ángulo de desprendimiento de viruta (°).

En caso de que se utilice una herramienta de corte neutra cuyo ángulo de desprendimiento sea igual a 0°, se tendrá que  $k_c = k_{c1}$ .

La obtención de la fuerza de corte específica y el factor de corrección para el valor real del espesor medio dependen del material de trabajo que se requiera mecanizar, y el fabricante propone una tabla para la obtención de estos datos dependiendo del material de trabajo. A modo de ejemplo, en la figura 1.18 se muestra un extracto de la tabla que el fabricante Sandvik propone para los aceros de tipo “M” o inoxidables.

Figura 1. 18. “ $k_{c1}$ ” y “ $m_c$ ” para aceros tipo “M” según sandvik.

Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, $k_{c1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$	
5	0	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1800	0.21	
			HT endurecido+revenido	330 HB	2300	0.21	
			PH templado por precipitación	330 HB	2800	0.21	
			UT sin tratar	250 HB	1900	0.25	
			HT endurecido+revenido	330 HB	2100	0.25	
5	1	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1650	0.21	
			C fundición				
1	0	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21	
			PH templado por precipitación	300 HB	2400	0.21	
			C fundición	UT sin tratar	200 HB	1800	0.25
	1	1	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21
					200 HB	1800	0.21
		3	Z forjado/laminado/estirado en frío		200 HB	1800	0.21
					200 HB	1800	0.25
	2	0	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	200 HB	2300	0.21
					200 HB	2150	0.25
					230 HB	2000	0.21
3	1	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ recocido/templado con agua o recocido	230 HB	1800	0.25	
				260 HB	2400	0.21	
	2	Z forjado/laminado/estirado en frío		260 HB	2200	0.25	

Fuente: sandvik.coromant.com

En caso de que la herramienta posea un ángulo de desprendimiento distinto de 0°, se deberá recurrir a la ecuación completa de  $k_c$ . Para calcular el espesor medio que posee la viruta al momento del mecanizado se aplica la siguiente ecuación, la cual es válida únicamente para herramientas de forma geométrica C, D, S, T, V, W:

$$h_m = s \times \sin k_p$$

1.8.2.2.Ecuación de Sandvik para el espesor medio de la viruta.

Donde:

$h_m$ : Espesor medio de la viruta (mm).

$s$ : Avance de la herramienta (mm/rev).

$k_p$ : Ángulo de posición primario (°).

## **1.9.PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

Como se pudo apreciar en la descripción de los métodos teóricos, el problema principal de este trabajo es que ninguno de ellos incorpora y al mismo tiempo entrega la información necesaria que permita realizar una estimación de que el valor teórico de potencia calculado será el mismo que consumirá el equipo en el momento del mecanizado. Esto principalmente se debe a que los tres métodos pasan por alto variables de importancia como lo es por ejemplo la eficiencia que posee el equipo en el que se desea trabajar.

## **CAPÍTULO 2: ENSAYO DE MECANIZADO**

## **2. ELABORACIÓN Y EJECUCIÓN DE ENSAYO DE MECANIZADO PARA LA OBTENCIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE POTENCIA EN OPERACIONES DE TORNEADO**

En este capítulo se encuentra la elaboración del ensayo de mecanizado, para el cual se tomaron en cuenta las condiciones de trabajo requeridas y disponibles tales como la máquina-herramienta y sus características, las herramientas de corte a utilizar, y el material de trabajo a mecanizar con sus respectivas dimensiones.

Al mismo tiempo en esta parte del trabajo se encuentra la ejecución del ensayo con toda la información que fue necesaria para llevarlo a cabo como fueron los pasos a seguir durante el ensayo, los elementos de protección personal utilizados, y la forma de registrar los datos de manera práctica mediante el analizador de red.

### **2.1. INTRODUCCIÓN AL ENSAYO**

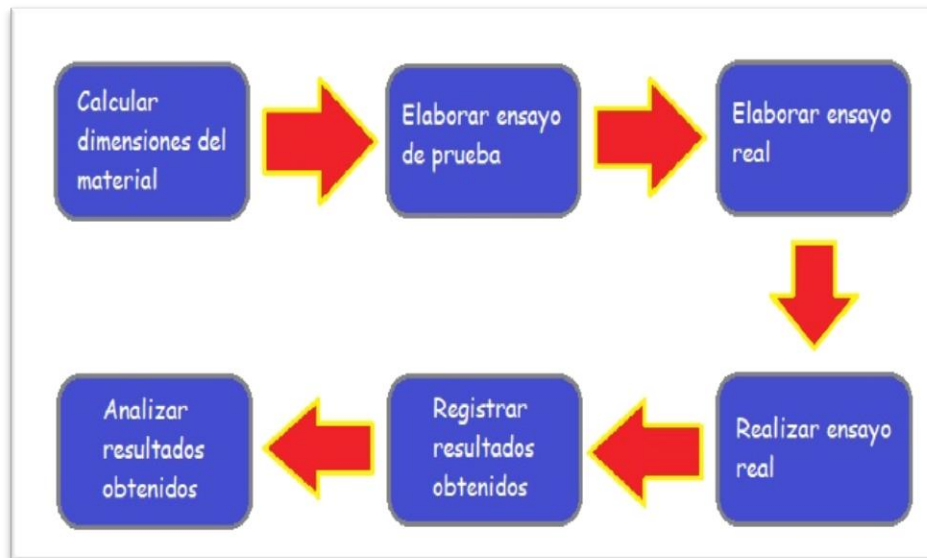
El ensayo a realizar consiste en el mecanizado de un material determinado en donde se registrarán de manera práctica por medio de un analizador de red los valores de la potencia requerida por el equipo para efectuar el mecanizado. Al mismo tiempo, previo al ensayo se registrará de manera teórica la potencia del equipo utilizando tres métodos de cálculo. El ensayo debe ser llevado a cabo por dos personas, donde una debe ser el operador del equipo y la otra el encargado del registro de los datos.

Las condiciones de mecanizado no se encuentran normalizadas y dependerán de las características técnicas del equipo junto con los parámetros recomendados que posea la herramienta de corte a utilizar.

Esto permitirá validar una metodología de cálculo teórico con el objetivo de entregar un método para el área metal-mecánica que permita utilizar la máquina en su máxima capacidad, y al mismo tiempo optimizando los mecanizados en este tipo de equipos en la industria.

A continuación en la figura 2.1 se muestra un diagrama que contiene cada una de las tareas a realizar en el desarrollo del ensayo.

Figura 2. 1. Diagrama de desarrollo del ensayo.



Fuente: Elaboración propia a partir del desarrollo del ensayo.

## **2.2.MÁQUINA-HERRAMIENTA DEL ENSAYO**

La máquina-herramienta a utilizar en este caso corresponde a un torno paralelo convencional de la marca “METOSA” como se muestra en la imagen a continuación, el cual fue seleccionado teniendo en cuenta los parámetros de mecanizado que se establecerán al momento de ejecutar el ensayo. En este caso se trabajará a una velocidad de rotación, avance, y profundidad de corte constantes.

Figura 2. 2. Torno utilizado en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia.

### 2.2.1. Características técnicas de la máquina

A continuación en la tabla 2.1 se adjuntan las características técnicas que posee el torno seleccionado para la realización del ensayo.

Tabla 2. 1. Características técnicas torno.

<b>Marca</b>	METOSA.
<b>Modelo</b>	PINACHO SP/180.
<b>Tipo</b>	Radial.
<b>Avances longitudinales</b>	44 (0.05 – 0.75 mm/rev)
<b>Avances transversales</b>	44 (0.025 – 0.375 mm/rev)
<b>Rango velocidades</b>	60 – 2000 RPM.
<b>Número de velocidades</b>	9
<b>Potencia motor</b>	4 (hp) / 2.98 (kW)
<b>Distancia entre centros</b>	1000 (mm)

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida en catálogo del equipo.

### 2.3. HERRAMIENTA DE CORTE Y PORTA-HERRAMIENTA A UTILIZAR

Para este ensayo, se utilizará una herramienta de corte de metal duro del fabricante sandvik cuya selección se efectuó en base al material de trabajo, el cual en este caso corresponde a un acero SAE 1045, identificado dentro del presente ensayo.

Figura 2. 3. Herramientas de corte utilizadas en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia

### 2.3.1. Características de la herramienta

Las características de la herramienta de corte se presentan en la tabla 2.2 y fueron determinadas mediante el código de esta, el cual en este caso corresponde al siguiente: **SNMG 120408-PM**

Tabla 2. 2. Características de la herramienta de corte

Letra o número	significado
<b>S</b>	Herramienta de forma cuadrada.
<b>N</b>	Ángulo de incidencia de 0°.
<b>M</b>	Tolerancia dimensional mayor.
<b>G</b>	Sujeción por agujero con rompevirutas en dos caras.
<b>12</b>	Longitud de arista de corte de 12 (mm).
<b>04</b>	Espesor de la herramienta de 4 (mm).
<b>08</b>	Radio del filo de 0,8 (mm).
<b>P</b>	Toda clase de aceros y fundiciones excepto aceros inoxidable y aceros de estructura austenítica.

Fuente: Elaboración propia a partir de información del fabricante.

### 2.3.2. Parámetros de mecanizado

El fabricante entrega parámetros recomendados de mecanizado para que la herramienta trabaje sin inconvenientes y que dependen del material de trabajo, los cuales corresponden a materiales de tipo “P” y “K”. Los parámetros para ambos tipos de materiales se encuentran especificados en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Parámetros recomendados por el fabricante.

<b>MATERIALES TIPO “P”</b>	
Velocidad de corte (m/min)	345 (425-275)

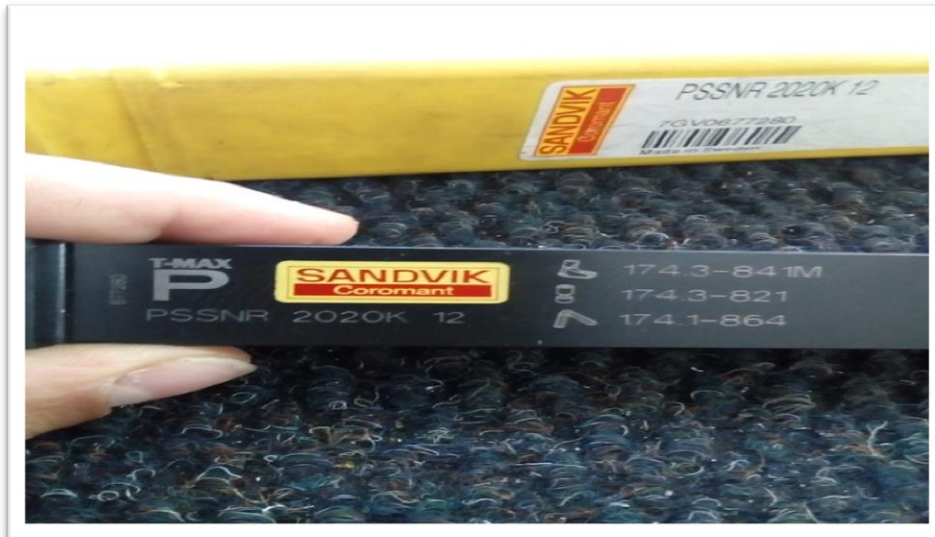
Profundidad de corte (mm)	3 (0.5-6)
Avance (mm/rev)	0.30 (0.15-0.50)
<b>MATERIALES TIPO “K”</b>	
Velocidad de corte (m/min)	175 (230-135)
Profundidad de corte (mm)	3 (0.5-6)
Avance (mm/rev)	0.30 (0.15-0.50)

Fuente: Elaboración propia a partir de información del fabricante.

### 2.3.3. Porta-herramientas y sus características

El porta-herramientas a utilizar corresponde a uno del fabricante Sandvik y que posee el código “PSSNR 2020K 12”, presentado en la imagen a continuación.

Figura 2. 4. Porta-herramientas utilizado en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia.

El código de este porta-herramientas entrega las siguientes características de este, las cuales se encuentran a continuación en la tabla 2.4.

Tabla 2. 4. Características del porta-herramientas a utilizar.

<b>Ángulo de inclinación de la herramienta</b>	45°
<b>Ángulo de posición primario (<math>k_p</math>)</b>	45°
<b>Ángulo de desprendimiento de viruta</b>	8°

Fuente: Elaboración propia a partir de información del fabricante.

## **2.4.ELEMENTOS, EQUIPOS, E INSTRUMENTOS A UTILIZAR**

En este punto se encuentran los elementos de protección personal (EPP), y los equipos e instrumentos de medición utilizados durante la ejecución del ensayo.

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

Para desarrollar cualquier actividad dentro del taller de máquinas y herramientas es de vital importancia la utilización de estos elementos, ya que estos otorgan la seguridad mínima requerida para efectuar cualquier trabajo dentro del taller.

Los elementos de protección personal utilizados en este ensayo corresponden a gafas de seguridad, overol, y zapatos de seguridad.

Al mismo tiempo, cabe destacar que las acciones entre el operador del equipo y la persona encargada de registrar los datos deben estar coordinadas perfectamente con el fin de evitar accidentes y resguardar la integridad física de ambas dentro del taller.

Figura 2. 5. EPP utilizados en el ensayo.



Fuente: easy.cl

#### 2.4.2. Equipos e instrumentos de medición

- a. Pie de metro: Es un instrumento de medición el cual es utilizado para medir exteriores, interiores, y profundidades. Para el caso de este ensayo será útil para conocer los cambios de diámetro que tenga el material a trabajar.

Figura 2. 6. Pie de metro utilizado en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia.

Las características técnicas de este instrumento se encuentran a continuación en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5. Características técnicas del pie de metro.

Marca	Tipo	Rango (mm)	Resolución (mm)
Mitutoyo	Análogo	0-150	0.05

Fuente: Elaboración propia en base a características del instrumento.

- b. Analizador de red: Es un equipo que permite la medición de magnitudes eléctricas como corrientes, resistencias, y potencias (tensiones) consumidas por el equipo durante una operación determinada. En este caso será utilizado para medir cuanta es la potencia generada en el equipo al momento de realizar el ensayo.

Figura 2. 7. Analizador de red utilizado en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia.

Las características técnicas de este equipo se encuentran a continuación en la tabla 2.6.

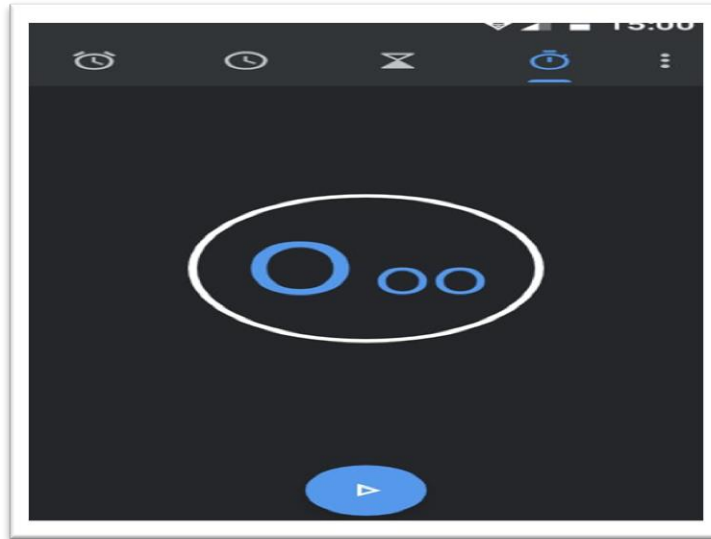
Tabla 2. 6. Características técnicas del tester eléctrico.

<b>Requisitos de uso</b>	85-260 (V) AC o 110-300 (V) DC, 50/60 (Hz), 5 (VA).
<b>Voltaje máximo a medir</b>	700 (VAC).
<b>Corriente máxima a medir</b>	6 (A).
<b>Potencia máxima a medir</b>	9999 (W)/9.999 (kW)
<b>Dimensiones</b>	960x960x80 (mm)

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida en catálogo del equipo.

- c. Cronómetro digital: Instrumento de medición que permite el registro del tiempo. Para este caso será utilizado con el fin de asociar un valor de potencia “x” a un tiempo determinado.

Figura 2. 8. Cronómetro utilizado en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia.

Las características técnicas de este instrumento de medición se encuentran a continuación en la tabla 2.7.

Tabla 2. 7. Características técnicas del cronómetro digital.

<b>Marca</b>	<b>Resolución (s)</b>	<b>Rango (min).</b>
Motorola	0.01	0-99

Fuente: Elaboración propia en base a características del instrumento.

## **2.5.MATERIAL DE TRABAJO**

En este punto se encuentran las dimensiones, características técnicas, preparación previa, y la identificación del material de trabajo utilizado en el ensayo de mecanizado.

### **2.5.1. Dimensiones del material a mecanizar**

Las dimensiones de la parte a mecanizar del material de trabajo se deben calcular en base a las condiciones de trabajo de la máquina junto con las de la

herramienta de corte. Al realizar este cálculo es posible controlar que los parámetros a comparar al momento de obtener la potencia del equipo sean los que entrega el fabricante de la herramienta.

Las condiciones de trabajo junto con su procedencia para este ensayo son las que se detallan en la tabla 2.8.

Tabla 2. 8. Condiciones de trabajo del ensayo.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Velocidad de corte</b>	275 (m/min)
<b>Velocidad del plato de sujeción</b>	860 (RPM)
<b>Avance</b>	0.15 (mm/rev)
<b>Tiempo del ensayo</b>	0.5 (min)

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada.

En base a la información anterior es posible calcular el diámetro y el largo que debe tener el material de trabajo para cumplir con las condiciones de trabajo que se utilizarán en el ensayo. Estas dimensiones son calculadas mediante las siguientes fórmulas:

- a. Diámetro del material a mecanizar:

$$\varnothing = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times RPM}$$

2.5.1.1.Ecuación del diámetro del material.

Donde:

$\varnothing$ : Diámetro del material (mm).

$V_c$ : Velocidad de corte (m/min).

RPM: Velocidad de rotación del material (-).

- b. Largo del material a mecanizar:

$$L = RPM \times S \times t$$

2.5.1.2.Ecuación del largo del material.

Donde:

L: Largo del material (mm).

RPM: Velocidad de rotación del material (-).

S: Avance de la herramienta (mm/rev).

t: Tiempo del ensayo (min).

Finalmente, despejando las variables en las ecuaciones 2.5.1.1 y 2.5.1.2 se pueden obtener las siguientes dimensiones del material de trabajo que corresponden a un **diámetro de 101.8 (mm) y un largo de 64.5 (mm)**.

### 2.5.2. Identificación del material de trabajo

El material de trabajo disponible y que cumple con las medidas del mecanizado o presenta medidas mayores a estas para realizar el ensayo es el que se muestra en la imagen a continuación. Sin embargo, se desconoce a qué tipo material corresponde.

Figura 2. 9. Material de trabajo utilizado en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia

Para identificar el material de trabajo este fue sometido a dos ensayos, los cuales fueron ensayos de chispa y dureza rockwell.

- a. Ensayo de chispa: En este ensayo una muestra del material disponible fue sometido a un esmeril de banco y mediante a las características de la chispa que este liberaba se logra identificar el material a grandes rasgos.

En este caso, la chispa que presenta la muestra del material disponible es una chispa de gran longitud de color blanco amarillento, con muy pocas explosiones. Por lo tanto, es un acero al carbono.

Figura 2. 10. Ensayo de chispa realizado al material de trabajo.



Fuente: Fotografía propia.

- b. Ensayo de dureza rockwell: Identificando previamente que corresponde a un acero al carbono, la muestra del material disponible es sometida a un ensayo de dureza rockwell.

Para ello se somete previamente a un tratamiento térmico de templado y revenido, donde el material es revenido o calentado hasta una temperatura de  $870^{\circ}\text{C}$  y posteriormente es enfriado directamente en aceite con el fin de fortalecer su estructura interna.

Luego la muestra del material es situada en una máquina especial para medir dureza rockwell como se muestra en la imagen a continuación, y donde se obtiene un valor promedio en la escala de dureza rockwell "B" de **82 HRB**.

Figura 2. 11. Ensayo de dureza rockwell realizado al material de trabajo.



Fuente: Fotografía propia.

En base al resultado obtenido de este último ensayo, es posible determinar que el material de trabajo corresponde a un acero “SAE 1045” ya que su dureza rockwell “B” es aproximadamente de **84 HRB** como se muestra a continuación en la figura 2.12, lo cual es muy similar al resultado del ensayo de dureza realizado.

Figura 2. 12. Dureza acero SAE 1045.

Acero AISI SAE 1045	
Dureza	163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de Fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo Máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	15% en 50 mm

Fuente: [ingenieriadelosmaterialess.blogspot.com](http://ingenieriadelosmaterialess.blogspot.com)

### 2.5.3. Características técnicas del material

Las características técnicas del acero SAE 1045 tales como su composición química junto con sus propiedades mecánicas se encuentran especificadas en la tabla 2.9.

Tabla 2. 9. Características técnicas acero SAE 1045.

<b>Composición química</b>				
%C	%Mn	%Si	%P	%S
0,43-0,50	0,60-0,90	0,15- 0,35	≤ 0,04	≤ 0,05
<b>Propiedades mecánicas</b>				
Dureza (HB)	Esfuerzo Fluencia mínimo (Kg/mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Tracción (Kg/mm <sup>2</sup> )	Elongación mínima (%)	
170-190	40	63-73	15	

Fuente: Elaboración propia en base a características del material.

#### 2.5.4. Preparación del material de trabajo

El material de trabajo disponible presenta un largo de 85 (mm) y un diámetro de 105 (mm) por lo cual es necesario mecanizarlo previamente realizando un cilindrado y refrentado para que el material tenga las dimensiones del mecanizado calculadas previamente que se encuentran en el punto 2.5.1. del presente trabajo.

### **2.6.PROPUESTA DE ENSAYO**

En este punto se encuentran las generalidades, la ficha técnica para la recopilación de los datos, y la conexión del analizador de red, de una propuesta del ensayo cuyo fin es dar a conocer en que consiste dicho ensayo.

#### 2.6.1. Generalidades del ensayo

Se realizará un ensayo de mecanizado en torno cuyo objetivo es comparar valores teóricos y prácticos de potencia que se generen en el dependiendo de sus parámetros. Estos valores teóricos serán obtenidos previo a la ejecución del ensayo mediante tres métodos de cálculo con el fin de validar una de estas tres metodologías.

La operación de torneado a realizar en el ensayo corresponde a un cilindrado, en donde se utilizará una herramienta de corte de metal duro del fabricante Sandvik otorgando una profundidad de corte de 1 (mm). Y el material de trabajo a utilizar corresponde a un acero SAE 1045.

La potencia que requiera el equipo al momento del mecanizado será registrada por medio del analizador de red, el cual será conectado al equipo al momento del ensayo. Al mismo tiempo se registrará el tiempo con un cronómetro con el fin de asociar cada valor obtenido en el analizador a un tiempo determinado.

La validación de una de las tres metodologías de cálculo teórico se realizará mediante el análisis de los resultados tanto teóricos como prácticos del ensayo.

#### 2.6.2. Ficha técnica de registro de datos

El objetivo de realizar esta ficha técnica es poder llevar a cabo un registro formal de los valores registrados en el ensayo como también los teóricos a comparar, y al mismo tiempo junto con las características y parámetros de trabajo utilizados en el ensayo.

A continuación en la figura 2.13 se adjunta una copia de la ficha utilizada para este ensayo.

Figura 2. 13. Ficha técnica del ensayo.

**Ensayo de potencias en operaciones de torneado**

<b>Nombre operador:</b> FELIPE NÚÑEZ VARGAS	<b>Profesor encargado:</b>
<b>Firma operador:</b> FELPE	<b>Firma profesor:</b>
<b>Fecha:</b> 08/01/2014	<b>Lugar:</b> TALLER MÁQUINAS-HERRAMIENTAS UTFSM SEDE VINA DEL MAR

**Objetivo del ensayo**

OBTENER VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE POTENCIA EN OPERACIONES DE TORNEADO PARA POSTERIORMENTE COMPARARLOS ENTRE ELLOS.

**Datos del ensayo**

Herramienta de corte		Máquina-Herramienta	
<b>Fabricante:</b> SANDVIK		<b>Marca:</b> NETUSA	
<b>Código:</b> SNMG 120408-PM		<b>Modelo:</b> P.NACHO SP/190	
<b>Parámetros de mecanizado teóricos:</b> (Deben estar incluidos en los parámetros que recomienda el fabricante).		<b>Potencia del motor:</b> 2.98 (kW) / 4 (HP)	
Vc: 275 (m/min) S: 0,15 (mm/Rev) a: 1 (mm)		<b>Parámetros de trabajo a utilizar:</b> (Deben estar incluidos en los parámetros que incluye la máquina).	
		RPM: 800 (-) S (Debe coincidir con el de la herramienta de corte): 0,15 (mm/Rev)	
Material de trabajo		Mecanizado	
<b>Tipo:</b> ACERO SAE 1045		<b>Parámetros de mecanizado prácticos:</b> (Deben coincidir con los de la herramienta de corte).	
<b>Forma:</b> CILÍNDRICA		Vc: 275 (m/min) S: 0,15 (mm/Rev) a: 1 (mm) kp: 45°	
<b>Dimensiones:</b> Ø: <del>107,8</del> 105 (mm) L: <del>64,5</del> 85 (mm)		<b>Operación a realizar:</b> CILINDRADO	
		Ø a mecanizar: 101,80 (mm)	
		Largo a mecanizar: 64,5 (mm)	
Potencia registrada			
Teórica		Práctica	
<b>Kienzle</b>	1,86374 (kW)	<b>Valor registrado en función del tiempo</b>	<b>Inicio:</b> 2,015 (kW)
<b>Kronenbein</b>	1,86715 (kW)		<b>6 (sg):</b> 2,043 (kW) <b>12 (sg):</b> 2,037 (kW)

Sandvik	1,80074	<b>18 (sg):</b> 2,054 (kW) <b>24 (sg):</b> 2,068 (kW) <b>30 (sg):</b> 2,065 (kW) <b>Potencia máxima registrada:</b> 2,077 (kW) A cos 24,6 (kg)
---------	---------	---

**Observaciones**

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3. Conexión del analizador de red en la máquina

El analizador de red se debe conectar en la etapa de control de la máquina, la cual registra el valor de la potencia proveniente del motor eléctrico pero posterior a su paso por los mecanismos de transmisión del equipo (mecanismos de avance y de velocidad del husillo) ya que estos producen una determinada pérdida en el valor de la potencia requerida. De esta forma los datos que registre el analizador estarán representados en función de las pérdidas que posea el torno, la cual será calculada al momento de analizar los resultados obtenidos en el ensayo.

Figura 2. 14. Analizador de red conectado a la máquina en el ensayo.



Fuente: Fotografía propia.

## **2.7. ENSAYO DE PRUEBA**

El fin de este ensayo de prueba es poder tener una idea previa de lo que será el ensayo definitivo o ensayo real, junto con modificar los parámetros del ensayo en función de disponer de unas óptimas condiciones de trabajo y al mismo tiempo para que estas condiciones no sobrepasen la capacidad que dispone la máquina.

A continuación, en la tabla 2.10 se detallan los parámetros que se utilizaron en el ensayo de prueba para la potencia requerida por el equipo para su realización los cuales fueron obtenidos de los parámetros recomendados de la herramienta de corte junto con su forma geométrica.

Tabla 2. 10. Parámetros ensayo de prueba.

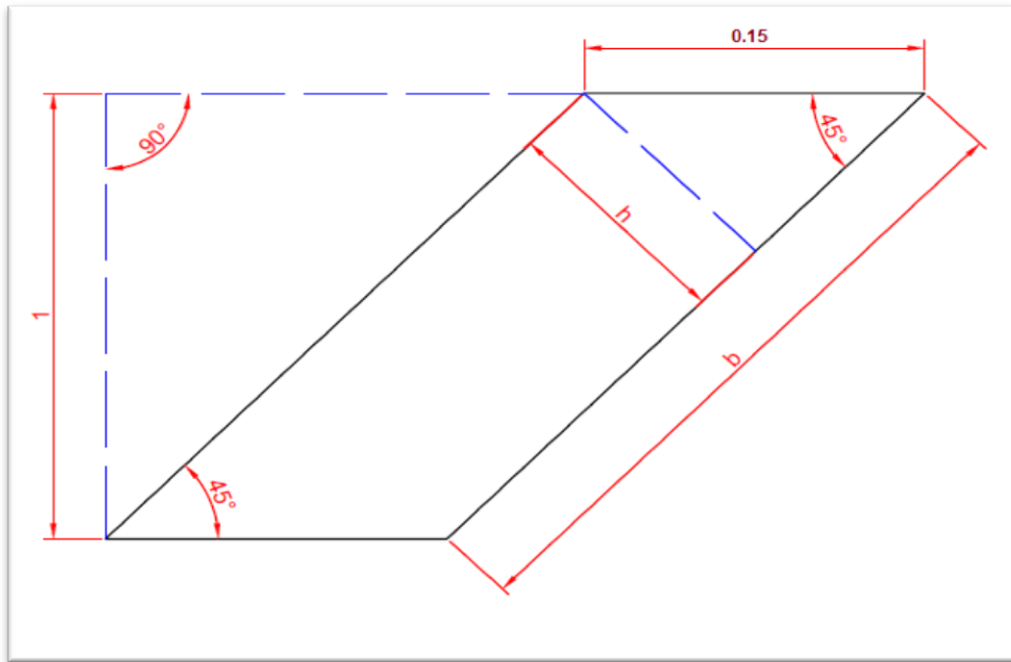
<b>Profundidad de corte (a)</b>	1 (mm)
<b>Avance (S)</b>	0.15 (mm/rev)
<b>Velocidad de corte (Vc)</b>	275 (m/min); 4,58 (m/s)
<b>Ángulo de posición primario (<math>k_p</math>)</b>	45°

Fuente: Elaboración propia a partir de los parámetros del ensayo de prueba.

### **2.7.1. Obtención de los valores de “h” y “b”.**

A partir de los parámetros que posee el ensayo de prueba, la geometría de la viruta que se genera es la que se presenta a continuación en la figura 2.15, donde la sección de la viruta está representada con la línea de color negro.

Figura 2. 15. Geometría de la viruta del ensayo de prueba.



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener los valores de “h” y “b” que corresponden al espesor y ancho de la viruta respectivamente es necesario utilizar alguna entidad trigonométrica que lo permita. Para este caso, se utilizó la entidad del seno que posee la siguiente ecuación:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{\text{Lado opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

2.7.1. Ecuación de la entidad trigonométrica del seno.

Por medio de la ecuación 2.7.1 y la geometría de la viruta, se obtienen los siguientes resultados para el espesor y el ancho de la viruta:

a. Espesor de la viruta

$$\text{Sen } 45^\circ = \frac{h}{0.15}$$

$$h = 0.10 \text{ (mm)}$$

b. Ancho de la viruta

$$\text{Sen } 45^\circ = \frac{1}{b}$$

$$b = 1.41 \text{ (mm)}$$

### 2.7.2. Método de Kienzle

Para la obtención de la fuerza de corte con este método además de conocer los valores de espesor y ancho de viruta, es necesario saber la fuerza específica de corte junto con el exponente de la fuerza de corte. Para esto, se debe ingresar a la tabla 1.8 mediante el material de trabajo que corresponde a un acero SAE 1045. Este procedimiento se presenta a continuación en la figura 2.16.

Figura 2. 16. Obtención de “ $K_{s_{1-1}}$ ” y “ $Z$ ” para acero SAE 1045.

Material de trabajo	$K_{s_{1-1}}$ en $N/mm^2$	Z
St 37 - St42	1780	0,17
St 50	1990	0,26
St 60	2110	0,17
St 70	2260	0,30
C 15	1820	0,22
C 35	1860	0,20
C 45, Ck45	2220	0,14

Fuente: “Mechanical and metal trades handbook”

Obteniendo los datos anteriores es posible utilizar la ecuación 1.8.1.1 para obtener la fuerza de corte que propone este método, donde al remplazar todos los valores en ella se obtiene lo siguiente:

$$f_c = 2220 \times 0.10^{(1-0.14)} \times 1.41$$
$$f_c = 432.08 (N)$$

Finalmente, mediante la ecuación 1.7.1 se tiene que la potencia requerida por el equipo será la siguiente:

$$P = 4.58 \times 432.08$$
$$P = 1978.9264 (W) = 1.97 (kW)$$

### 2.7.3. Método de Kronenbein

Para la obtención de la fuerza de corte con este método además de conocer los valores de espesor y ancho de viruta, es necesario saber la fuerza específica de corte.

Para esto, se debe ingresar a la tabla 1.8 mediante el material de trabajo que corresponde a un acero SAE 1045 y también mediante el espesor de la viruta el cual corresponde a 0.10 (mm). Este procedimiento se presenta a continuación en la figura 2.17.

Figura 2. 17. Obtención de “Ks” para acero SAE 1045

Material de trabajo	K <sub>s1-1</sub> en N/mm <sup>2</sup>	Z	Valores de K <sub>s</sub> para los espesores de viruta h especificados						
			0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6
St 37 - St42	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
St 50	1990	0,26	3620	3210	2850	2530	2250	1990	1760
St 60	2110	0,17	3120	2880	2670	2470	2280	2110	1950
St 70	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
C 15	1820	0,22	3020	2720	2470	2280	2020	1820	1640
C 35	1860	0,20	2950	2680	2450	2230	2040	1860	1690
C 45, Ck45	2220	0,14	3070	2870	2700	2520	2370	2220	2080

Fuente: “Mechanical and metal trades handbook”

Obteniendo los datos anteriores es posible utilizar la ecuación 1.8.1.2 para obtener la fuerza de corte, donde al remplazar todos los valores en ella se obtiene lo siguiente:

$$f_c = 3070 \times 0.10 \times 1.41$$

$$f_c = 432.87 (N)$$

Finalmente, mediante la ecuación 1.7.1 se tiene que la potencia requerida por el equipo será la siguiente:

$$P = 4.58 \times 432.87$$

$$P = 1982.5446 (W) = 1.98 (kW)$$

#### 2.7.4. Método de Sandvik

Para la obtención de la fuerza específica de corte que plantea este método es necesario conocer además del material de trabajo, algunas características de su composición química, su proceso de fabricación, y el tratamiento térmico que recibió el material.

A continuación, en la tabla 2.11 se muestra la obtención de esta fuerza específica de corte para el acero SAE 1045 en base a sus características, a partir de un extracto de la tabla que propone el fabricante para los aceros de tipo “P”.

Tabla 2. 11. Obtención de “ $k_{c1}$ ” y “ $m_c$ ” para acero SAE 1045 según sandvik.

Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, $k_{c1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$		
1 no aleado Mn<1.65	1 $\leq 0.25\% C$	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	125 HB	1500	0.25
		Z		HT	endurecido+revenido	190 HB	1770	0.25
	2 $>0.25\% \dots \leq 0.55\% C$	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	190 HB	1700	0.25
		Z		HT	endurecido+revenido	210 HB	1820	0.25
	3 alto contenido de carbono, $>0.55\% C$	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	190 HB	1750	0.25
		Z		HT	endurecido+revenido	300 HB	2000	0.25
	4 acero de fácil mecanizado	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	220 HB	1180	0.21
		5 cualquier contenido de carbono (fundición)	C	fundición	HT	sin tratar	150 HB	1400
	C		AN		endurecido+revenido	300 HB	2880	0.25
	2 baja aleación (elementos de aleación $\leq 5\%$ )	1 $\leq 0.25\% C$	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	175 HB	1700
Z			AN		240 HB		1950	0.25
Z			AN		260 HB		2020	0.25
Z			AN		225 HB			
5 cualquier contenido de carbono (templado y revenido)		Z	forjado/laminado/ estirado en frío	HT	endurecido+revenido	330 HB	2000	0.25
		6 cualquier contenido de carbono (fundición)	C	fundición	UT	sin tratar	200 HB	1600
C			HT		endurecido+revenido	380 HB	3200	0.25

Fuente: sandvik.coromant.com

En este caso, se tiene que la herramienta de corte no posee ángulo de desprendimiento de viruta. Sin embargo, el porta-herramientas utilizado presenta un ángulo de desprendimiento de  $8^\circ$  el cuál es otorgado a la herramienta de corte al ser montada en él.

Al mismo tiempo, el material presenta un tratamiento térmico de “recocido” por lo que la fuerza de corte específica para un espesor de 1 (mm) tiene un valor de **1700 (N/mm<sup>2</sup>)** y un factor de corrección para el valor real de “ $h_m$ ” de **0.25 (-)**.

El avance tiene un valor de 0.15 (mm/rev) y el ángulo de posición primario corresponde a  $45^\circ$ , por lo que al despejar estos datos en la ecuación 1.8.2.2 se obtiene lo siguiente:

$$h_m = 0.15 \times \sin 45^\circ$$

$$h_m = 0.10 \text{ (mm)}$$

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación que plantea “Sandvik” para la obtención de la fuerza de corte que corresponde a la ecuación 1.8.2.1, se obtiene lo siguiente:

$$k_c = 1700 \times (0.10)^{-0.25} \times \left(1 - \frac{8}{100}\right)$$

$$k_c = 2781.22 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

Obteniendo el valor de la fuerza específica de corte es posible reemplazar los valores en la ecuación 1.7.2 , en la cual se obtiene el siguiente resultado.

$$P = \frac{275 \times 1 \times 0.15 \times 2781.22}{60 \times 10^3}$$

$$P = 1.91 \text{ (kW)}$$

#### 2.7.5. Valor de potencia a comparar con el de la máquina.

Al obtener la potencia mediante tres métodos diferentes no es posible determinar un único método para poder comparar su valor con la capacidad de la máquina. Es por esto que el criterio a utilizar para determinar si el ensayo es soportado por la máquina es mediante el valor promedio de los tres métodos de cálculo teórico como se muestra a continuación en la tabla 2.12.

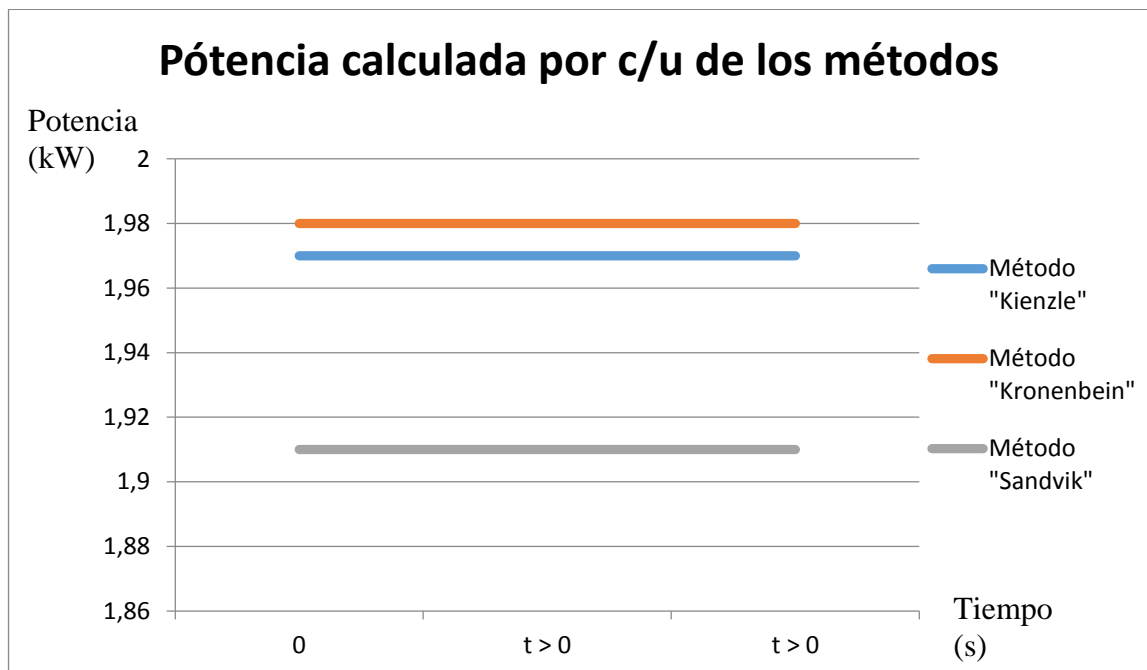
Tabla 2. 12. Valor promedio de potencia de los tres métodos de cálculo.

Método de cálculo	Valor obtenido (kW)
Kienzle	1.97
Kronenbein	1.98
Sandvik	1.91
<b>Promedio de los tres métodos</b>	<b>1.95</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los cálculos realizados.

Al mismo tiempo, los datos que se encuentran en la tabla 2.12 pueden ser representados gráficamente como se muestra a continuación en la figura 2.18 en función de un tiempo constante, ya que los métodos entregan un valor válido para toda la duración del mecanizado.

Figura 2. 18. Resultados teóricos expresados gráficamente.



Fuente: Elaboración propia a partir de los cálculos realizados.

En base al valor promedio que se muestra en la tabla 2.12 y la capacidad del equipo que corresponde a 2.98 (kW), es posible determinar que **si se puede llevar a cabo el ensayo de prueba como el ensayo real sin realizar modificaciones en este, ya que el valor promedio de los métodos es menor que la capacidad máxima del equipo.**

## **2.8. ENSAYO REAL**

Para llevar a cabo la ejecución del ensayo es necesario se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones en su desarrollo con el fin de evitar posibles inconvenientes al momento del mecanizado:

1. Los valores teóricos fueron obtenidos antes de ejecutar el ensayo con el fin de optimizar los tiempos de trabajo en el taller de máquinas-herramientas.
2. El analizador de red debe ser conectado previo a la ejecución del ensayo y con el equipo detenido.
3. Una vez conectado el analizador de red se procedió a realizar el montaje del material de trabajo en el equipo.
4. La herramienta de corte fue montada en el porta-herramientas y posteriormente este fue colocado en la torre del equipo. El montaje en la torre del equipo fue

realizado en base al ángulo de posición primario debía tener la herramienta en el mecanizado.

5. La velocidad de rotación del material y el avance de la herramienta fueron configurados en el equipo con este detenido.
6. El encargado del registro de los datos contó en todo momento con un cronómetro con el fin de registrar los valores obtenidos en el analizador de red en función del tiempo.
7. Al finalizar el mecanizado el equipo fue detenido mediante la parada de emergencia que posee con el fin de detener al mismo tiempo el plato de sujeción junto con la torre porta-herramientas.

## **2.9.RESULTADOS OBTENIDOS**

Los resultados obtenidos por el analizador de red en el ensayo se encuentran a continuación en la tabla 2.13, los cuales fueron registrados cada 6 (s) y donde además se destacan el valor de inicio, valor máximo, y valor final de la potencia requerida por el equipo durante el mecanizado.

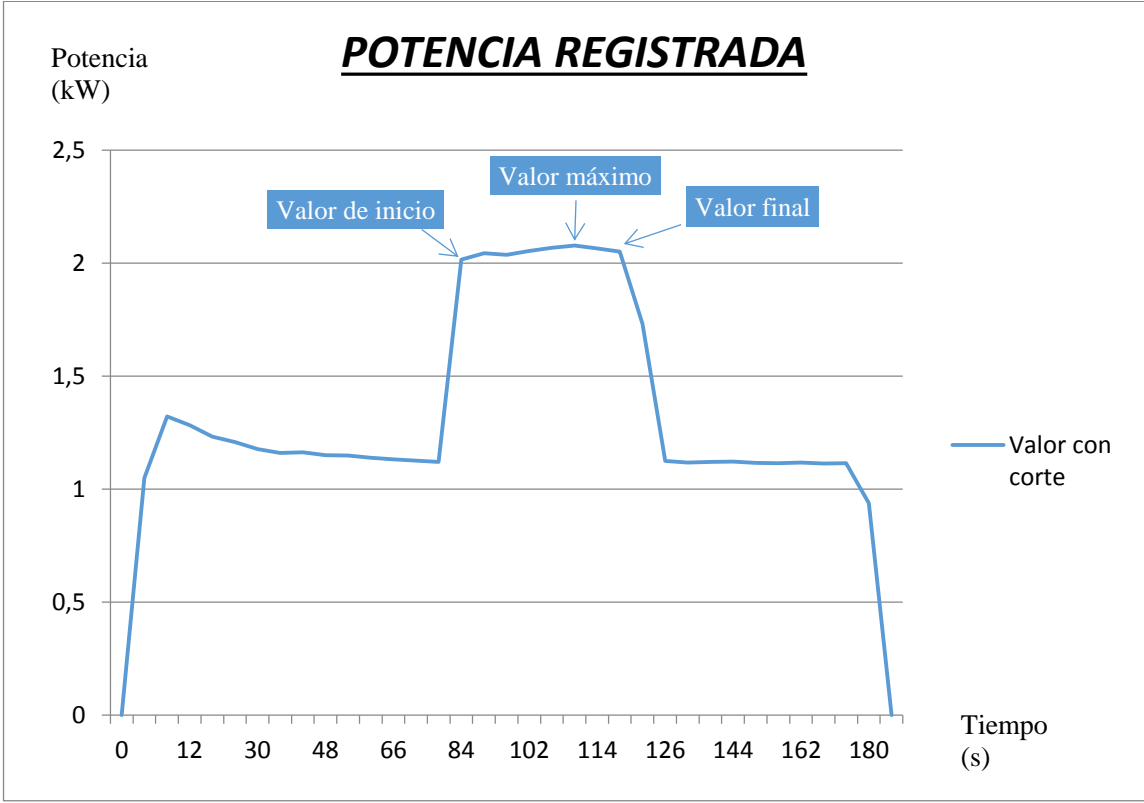
Tabla 2. 13. Resultados prácticos del ensayo.

Tiempo (s)	Valor obtenido (kW)
<b>0 (Valor inicio)</b>	<b>2.015</b>
6	<b>2.043</b>
12	<b>2.037</b>
18	<b>2.054</b>
24	<b>2.068</b>
<b>24.6 (Valor máximo)</b>	<b>2.077</b>
30	<b>2.065</b>
<b>31.8 (Valor final)</b>	<b>2.05</b>
Valor promedio	<b>2.051</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo, los datos que se encuentran en la tabla 2.13 pueden ser representados gráficamente como se muestra a continuación en la figura 2.19 donde se destacan los puntos en donde comienza y termina el mecanizado junto con el máximo valor registrado durante este.

Figura 2. 19. Resultados prácticos expresados gráficamente.



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

### **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **3. VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA DE CÁLCULO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.**

En este capítulo se encuentran las diferentes maneras en las que fueron analizados los resultados obtenidos en el ensayo, y al mismo tiempo la inclusión de algunas variables en estos resultados cuyo fin fue poder obtener resultados que se acercaran bastante a la realidad.

#### **3.1. PÉRDIDAS MECÁNICAS DE UN EQUIPO**

Las máquinas-herramientas se componen de variados elementos mecánicos que permiten por ejemplo, en el caso de un torno, el movimiento de rotación del husillo como también el de avance de la torre porta-herramientas. Estos elementos son principalmente ejes y ruedas dentadas que transmiten la potencia otorgada por el motor eléctrico del equipo con el fin de generar el movimiento mencionado anteriormente que ocurre en un torno.

Sin embargo, la transmisión de esta potencia desde el motor eléctrico hasta el lugar que se requiera no es perfecta. Esto quiere decir que no se utiliza el 100% de la potencia otorgada por el motor eléctrico, ya que los elementos de transmisión mencionados anteriormente están sujetos a pérdidas mecánicas que impiden la transmisión de esta potencia en su totalidad.

Cada equipo posee pérdidas determinadas que dependen de las dimensiones que tengan los elementos de transmisión que lo compongan y cuya relación es directamente proporcional. Por ejemplo, mientras mayores dimensiones posean los elementos de transmisión del equipo, mayores serán las pérdidas que se generan y viceversa.

El valor de estas pérdidas tiene relación con la potencia de entrada y la potencia útil o de salida de un equipo. La ecuación para su cálculo es la que se presenta a continuación:

$$PM = P_e - P_s$$

3.1.Ecuación para obtener las pérdidas mecánicas de un equipo.

Donde:

PM: Pérdidas mecánicas.

$P_s$ : Potencia de salida.

$P_e$ : Potencia de entrada.

### **3.2. PÉRDIDAS MECÁNICAS DEL EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO**

Para obtener esta variable del equipo, se realizaron cuatro ensayos en los cuales se registró la potencia consumida por el equipo funcionando en vacío y posteriormente con el material de trabajo. Esto fue realizado a una velocidad de rotación del husillo y avance automático constantes, pero donde posteriormente estos valores fueron cambiados realizando los cuatro ensayos mencionados en un comienzo.

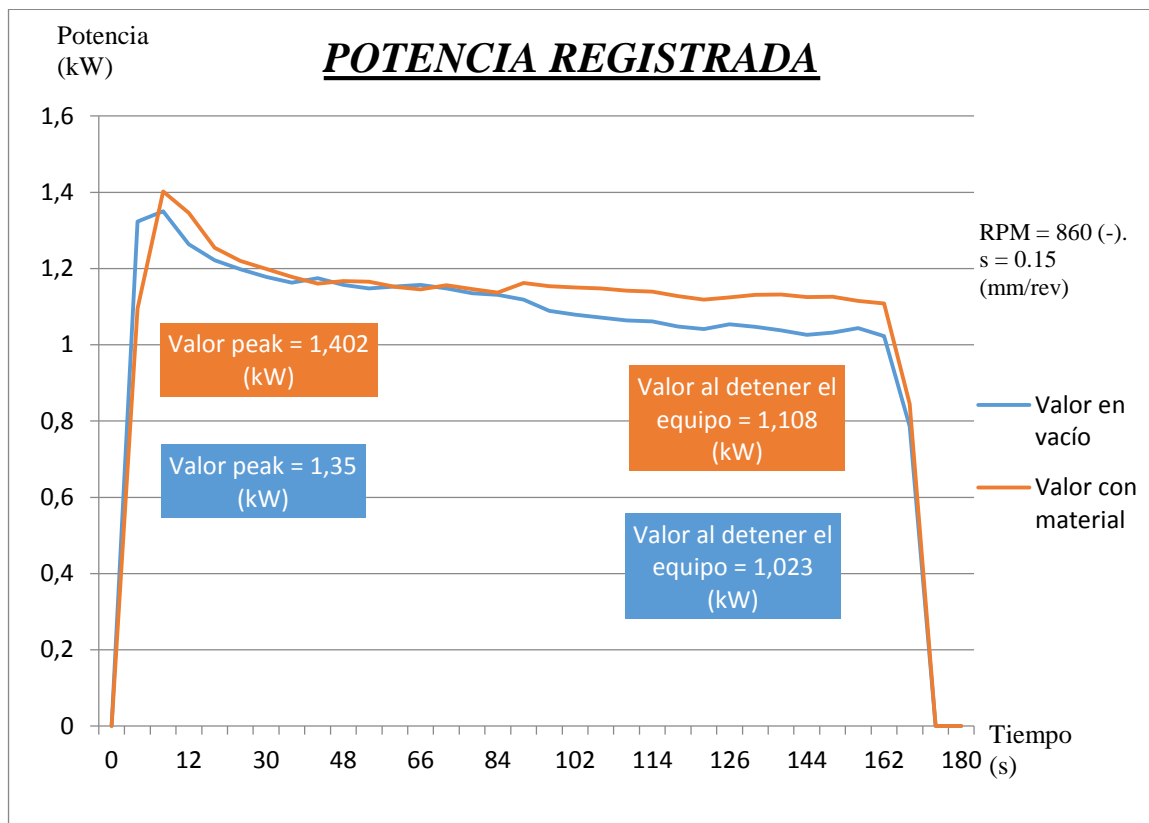
De esta manera e interpretando los datos obtenidos por cada situación (velocidad del husillo y avance) mediante un gráfico, se obtendrán dos curvas diferentes donde se verá una variación de la potencia del equipo en ambas situaciones. Dicho valor corresponderá a lo que no es utilizado por el equipo para realizar el trabajo, es decir, a la pérdida generada.

#### **3.2.1. Primer ensayo de variación de potencia**

Para el primer ensayo se trabajó a una velocidad del husillo de 860 (RPM) y un avance de 0.15 (mm/rev) constantes para ambas situaciones las cuales fueron el trabajo del equipo en vacío y el trabajo del equipo con el material de trabajo pero sin realizar un corte en él.

Los resultados obtenidos se encuentran a continuación en la figura 3.1 representados gráficamente.

Figura 3. 1. Resultados ensayo a velocidad de 860 (RPM) y avance de 0.15 (mm/rev).



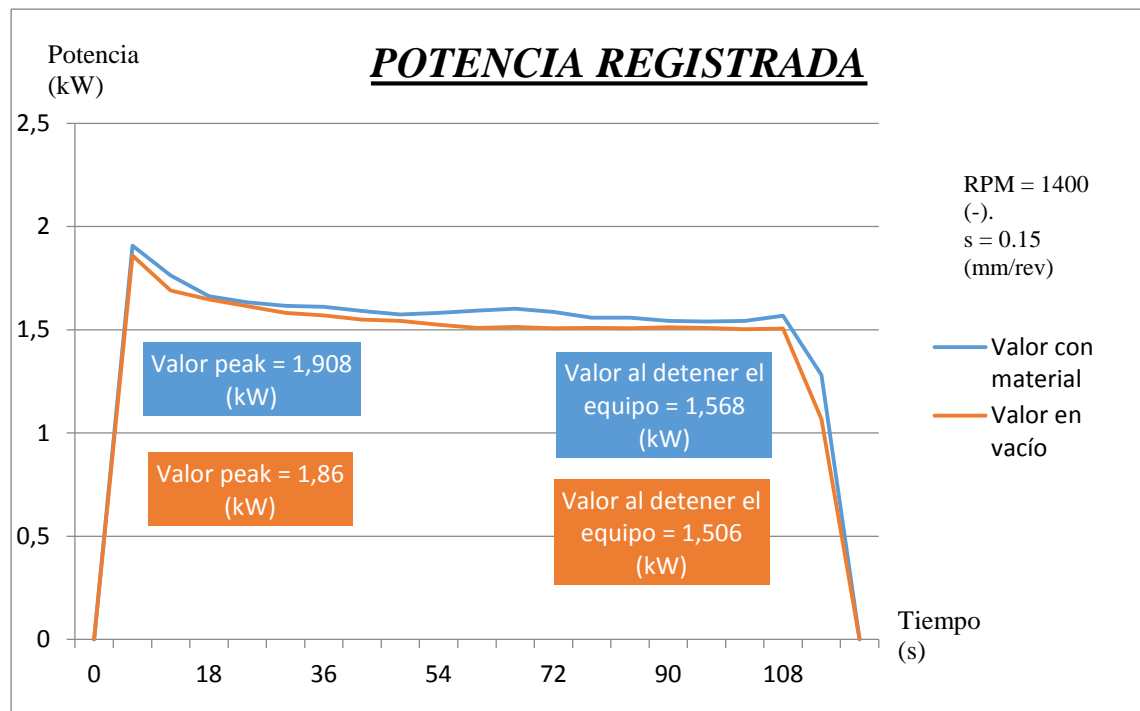
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

### 3.2.2. Segundo ensayo de variación de potencia

En este ensayo se trabajó de igual manera que en el primero, pero con la diferencia que en este caso el valor de la velocidad del husillo corresponde a 1400 (RPM). El valor del avance se mantuvo en 0.15 (mm/rev).

Los resultados obtenidos se encuentran a continuación en la figura 3.2 representados gráficamente.

Figura 3. 2. Resultados ensayo a velocidad de 1400 (RPM) y avance de 0.15 (mm/rev).



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

### 3.2.3. Variación de los valores en ambos ensayos

Para obtener cuanta es la variación de la potencia consumida entre ambas situaciones de trabajo (equipo en vacío y equipo con el material) es importante que estos datos sean obtenidos a un mismo tiempo de registro.

En este caso, este tiempo de registro corresponde al instante en que el equipo fue detenido ya que en ambas situaciones de trabajo éste fue detenido al mismo tiempo.

Para el primer ensayo los resultados obtenidos en el instante de la detención del equipo se muestran a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Variación de la potencia en el primer ensayo.

Valor equipo en vacío	<b>1.023 (kW)</b>
Valor equipo con el material	<b>1.108 (kW)</b>
Variación de la potencia	<b>0.085 (kW)</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los resultados registrados en el segundo ensayo el cual fue realizado a una velocidad mayor que el primero, son los que se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Variación de la potencia en el segundo ensayo.

Valor equipo en vacío	<b>1.506 (kW)</b>
Valor equipo con el material	<b>1.568 (kW)</b>
Variación de la potencia	<b>0.062 (kW)</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.4. Obtención de las pérdidas en base a la variación de las potencias

La variación que tuvo la potencia presentada anteriormente en ambos ensayos, puede ser representada como una pérdida que se produce en el equipo al no contar con la carga que supone el material de trabajo.

Para obtener la pérdida del equipo se debe asumir en ambos ensayos que el valor obtenido en el con el material de trabajo corresponde a la potencia de entrada, mientras que por otra parte el valor obtenido del equipo en vacío es la potencia de salida. De esta manera se tendrán dos pérdidas similares en ambos ensayos.

Al obtener las pérdidas mediante dos ensayos, para trabajar esta variable con los resultados tanto teóricos como prácticos de potencia se utilizará una pérdida promedio de ambos ensayos de variación de potencia realizados como se muestra a continuación en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3. Pérdidas mecánicas a utilizar con las potencias registradas.

Pérdida primer ensayo	<b>0.085 (kW)</b>
Pérdida segundo ensayo	<b>0.062 (kW)</b>
<b>Pérdida promedio</b>	<b>0.073 (kW)</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3.RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS EN FUNCIÓN DE LAS PÉRDIDAS MECÁNICAS.**

En este punto se encuentran los resultados teóricos calculados con cada uno de los métodos pero en función de las pérdidas de la máquina. Esto con el fin de que las condiciones para el cálculo teórico tengan similitud a las prácticas presentes en el

ensayo, y así los valores tanto teóricos como reales puedan ser comparados en las mismas condiciones.

### 3.3.1. Resultados teóricos

En el caso de los métodos de cálculo utilizados en este ensayo para el cálculo teórico de la potencia ninguno de ellos posee en sus fórmulas las pérdidas del equipo de trabajo, lo cual podría influir de gran manera en que el valor obtenido con estos métodos no sea muy cercano a lo que consume el equipo en la realidad.

En base a lo anterior, es posible deducir que estos métodos tanto los generales como el del fabricante “Sandvik” asumen una transmisión de la potencia de manera perfecta, es decir, que no tienen pérdidas. Esto en la realidad no ocurre, por lo cual para este caso de estudio es necesario incorporar este valor sumándolo a los resultados obtenidos mediante los métodos de cálculo, tal como se muestra a continuación en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4. Métodos teóricos en base a las pérdidas.

<b>Método teórico</b>	<b>Potencia calculada (kW)</b>	<b>Pérdidas del equipo (kW)</b>	<b>Potencia calculada con las pérdidas (kW)</b>
Kienzle	1.97	0.073	<b>2.04</b>
Kronenbein	1.98	0.073	<b>2.05</b>
Sandvik	1.91	0.073	<b>1.98</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

### 3.3.2. Resultados prácticos

En el caso de los valores registrados por el analizador de red, en ellos ya se encuentran incorporadas las pérdidas que posee el equipo. Esto debido a que el analizador se encontraba conectado en la etapa de control del equipo, etapa en la cual mide la potencia consumida por este posterior a su paso por los mecanismos de transmisión que posee.

Al mismo tiempo, al saber las pérdidas del equipo es posible conocer cuánto es el valor de potencia que otorga el motor eléctrico del equipo para que lleguen a la etapa de control los 2.051 (kW) promedio que registró en este caso el analizador.

Para conocer el valor que entrega el motor eléctrico, al valor que se registró en la etapa de control es necesario adherirle o sumarle el valor de las pérdidas de los mecanismos de transmisión, el cual se muestra a continuación en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5. Valor de potencia entregado por el motor eléctrico.

<b>Potencia en la etapa de control (kW)</b>	<b>Pérdidas del equipo (kW)</b>	<b>Potencia entregada por el motor eléctrico (kW)</b>
<b>2.051</b>	<b>0.073</b>	<b>2.124</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos.

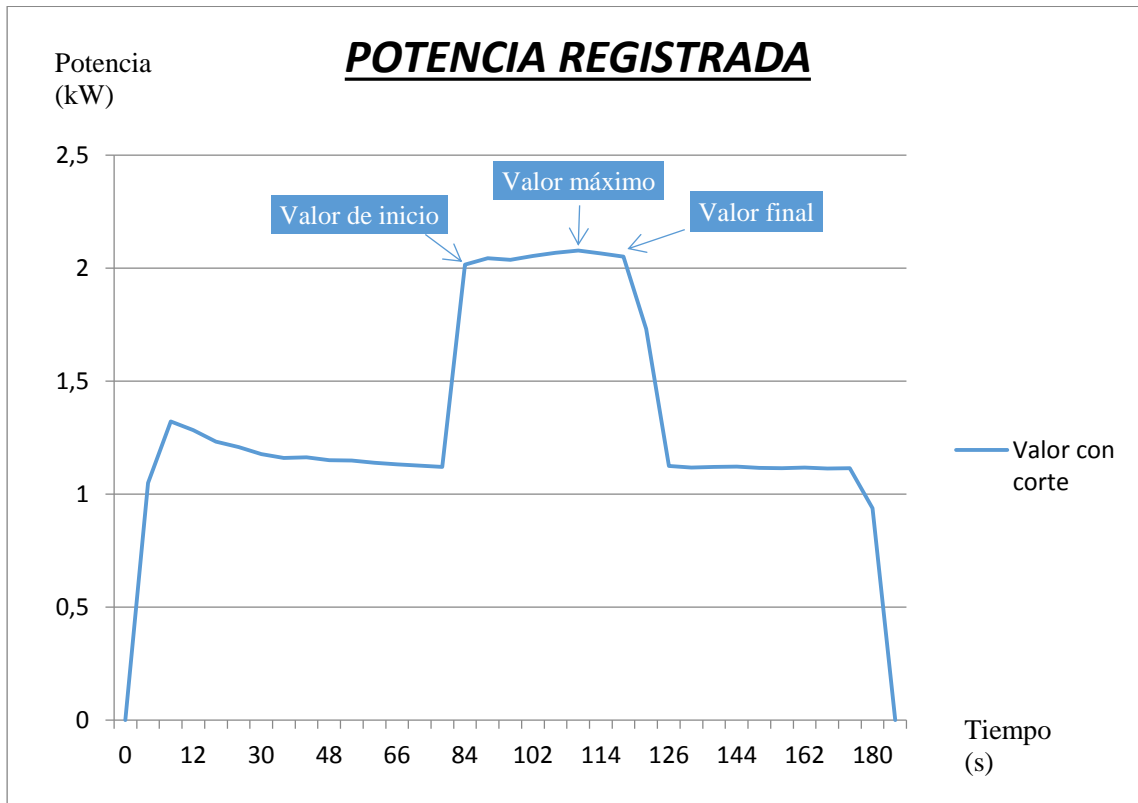
### **3.4.COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS**

En la parte práctica del ensayo de mecanizado se pudo apreciar que el equipo utilizado, en este caso el torno paralelo, no consumió un valor de potencia que se mantuvo constante durante el desarrollo del ensayo.

Al contrario de lo anterior se observó un comportamiento de la potencia con una leve variación en su valor, permitiendo registrar a grandes rasgos cuatro valores que son posibles comparar con los obtenidos con cada uno de los métodos de cálculo teórico.

A continuación, en la figura 3.3 se representan gráficamente los resultados prácticos obtenidos del ensayo destacando los valores a comparar con los métodos los cuales son los valores de inicio y final del mecanizado, el valor “peak” o máximo registrado durante este, y el promedio de todos los valores obtenidos en el ensayo. Cabe destacar que esta comparación será realizada mediante los porcentajes de error absoluto existentes entre el valor de cada uno de los métodos teóricos y los valores prácticos mencionados anteriormente.

Figura 3. 3. Resultados prácticos representados gráficamente.



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

De igual manera, en el gráfico anterior también es posible apreciar los valores de la potencia que consume el equipo previo a realizar el corte en el mecanizado y que corresponde a la potencia que requiere el equipo al momento de su encendido para poder realizar los movimientos tanto del husillo como del carro porta-herramientas, considerando en la potencia consumida el material de trabajo situado en la bancada lo cual supone para el equipo absorber una mayor potencia de partida debido a la carga que ejerce este material sobre él.

En la tabla 3.6 se muestran numéricamente los cuatro valores que serán comparados con los métodos teóricos de cálculo y que corresponden a los valores de inicio y final del mecanizado, valor máximo registrado durante este, y el promedio de todos los valores obtenidos en él.

Tabla 3. 6. Valores teóricos a comparar con los métodos.

<b>Dato registrado</b>	<b>Valor (kW)</b>
<b>Potencia de inicio</b>	2.015
<b>Potencia máxima</b>	2.077
<b>Potencia final</b>	2.050
<b>Valor promedio de todos los datos registrados</b>	2.051

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Las comparaciones a realizar entre los resultados teóricos y prácticos obtenidos en el ensayo serán efectuadas en base al porcentaje de error absoluto que exista entre ellos. Para esto se debe considerar en todo momento que el valor práctico que se esté comparando corresponde a un 100%, mientras que el teórico será determinado en base a la relación mencionada anteriormente.

#### 3.4.1. Método de Kienzle

El valor obtenido por este método general al calcular la potencia requerida por el equipo para efectuar el mecanizado y considerando al mismo tiempo las pérdidas que posee este, corresponde a **“2.04” (kW)**.

A continuación en la tabla 3.7 se muestran los porcentajes de error obtenidos al comparar el valor teórico de este método con los valores prácticos que se encuentran en la tabla 3.6 del presente trabajo.

Tabla 3. 7. Porcentajes de error método de Kienzle.

Valor obtenido por Kienzle (kW)	Dato práctico a comparar	Valor del dato práctico a comparar (kW)	Error entre el valor de Kienzle y el dato práctico (%)
2.04	Potencia de inicio	2.015	<b>1.24</b>
	Potencia máxima	2.077	<b>1.78</b>
	Potencia final	2.050	<b>0.48</b>
	Valor promedio de todos los datos registrados	2.051	<b>0.53</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

#### 3.4.2. Método de Kronenbein

El valor obtenido por este método general al calcular la potencia requerida por el equipo para efectuar el mecanizado y considerando al mismo tiempo las pérdidas que posee este corresponde a **“2.05” (kW)**.

A continuación en la tabla 3.8 se muestran los porcentajes de error obtenidos al comparar el valor teórico de este método con los valores prácticos que se encuentran en la tabla 3.6 del presente trabajo.

Tabla 3. 8. Porcentajes de error método de Kronenbein.

Valor obtenido por Kronenbein (kW)	Dato práctico a comparar	Valor del dato práctico a comparar (kW)	Error entre el valor de Kronenbein y el dato práctico (%)
2.05	Potencia de inicio	2.015	<b>1.73</b>
	Potencia máxima	2.077	<b>1.29</b>
	Potencia final	2.050	<b>0</b>
	Valor promedio de todos los datos registrados	2.051	<b>0.04</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

### 3.4.3. Método de Sandvik

El valor obtenido por este método propuesto por el fabricante de origen sueco, al calcular la potencia requerida por el equipo para efectuar el mecanizado y considerando al mismo tiempo las pérdidas que posee este corresponde a “**1.98**” (kW).

A continuación en la tabla 3.9 se muestran los porcentajes de error obtenidos al comparar el valor teórico de este método con los valores prácticos que se encuentran en la tabla 3.6 del presente trabajo.

Tabla 3. 9. Porcentajes de error método de Sandvik.

<b>Valor obtenido por Sandvik (kW)</b>	<b>Dato práctico a comparar</b>	<b>Valor del dato práctico a comparar (kW)</b>	<b>Error entre el valor de Sandvik y el dato práctico (%)</b>
1.98	Potencia de inicio	2.015	<b>1.73</b>
	Potencia máxima	2.077	<b>4.67</b>
	Potencia final	2.050	<b>3.41</b>
	Valor promedio de todos los datos registrados	2.051	<b>3.46</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos.

### **3.5.MÉTODO DE CÁLCULO VALIDADO POSTERIOR AL ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Este punto busca validar una metodología de cálculo teórico entre las tres comparadas en este trabajo. Para esto se compararon las potencias obtenidas con cada uno de los métodos teóricos con las registradas por el potenciómetro durante el mecanizado práctico.

En base a lo mencionado en el párrafo anterior se calcularon los diferentes porcentajes de error absoluto existentes entre el valor del método teórico y el valor obtenido de manera práctica. Para poder realizar la validación de uno de los métodos de cálculo, es necesario hacerlo por medio de un único porcentaje de error. Debido a lo anterior y teniendo en cuenta los porcentajes de error entre los valores teóricos y los

diferentes valores prácticos que fueron comparados, la validación de uno de los métodos de cálculo teórico será realizada en base a un error promedio general obtenido para cada uno de los tres métodos comparados.

### 3.5.1. Error promedio general del método Kienzle

El porcentaje de error promedio general del método teórico de Kienzle se presenta a continuación en la tabla 3.10.

Tabla 3. 10. Error promedio del método de Kienzle.

<b>Dato práctico relacionado con el porcentaje de error</b>	<b>Porcentaje de error</b>
Potencia de inicio	<b>1.24%</b>
Potencia máxima	<b>1.78%</b>
Potencia final	<b>0.48%</b>
Valor promedio de todos los datos registrados	<b>0.53%</b>
<b>Error promedio del método</b>	<b>1.0075%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2. Error promedio general del método Kronenbein

El porcentaje de error promedio general del método teórico de Kronenbein se muestra a continuación en la tabla 3.11.

Tabla 3. 11. Error promedio del método de Kronenbein.

<b>Dato práctico relacionado con el porcentaje de error</b>	<b>Porcentaje de error</b>
Potencia de inicio	<b>1.73%</b>
Potencia máxima	<b>1.29%</b>
Potencia final	<b>0%</b>
Valor promedio de todos los datos registrados	<b>0.04%</b>
<b>Error promedio del método</b>	<b>0.765%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Error promedio general del método de Sandvik

El porcentaje de error promedio general del método teórico del fabricante sueco Sandvik se muestra a continuación en la tabla 3.12.

Tabla 3. 12. Error promedio del método de Sandvik.

<b>Dato práctico relacionado con el porcentaje de error</b>	<b>Porcentaje de error</b>
Potencia de inicio	<b>1.73%</b>
Potencia máxima	<b>4.67%</b>
Potencia final	<b>3.41%</b>
Valor promedio de todos los datos registrados	<b>3.46%</b>
<b>Error promedio del método</b>	<b>3.3175%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.3. Validación del método teórico

Esta validación se realizó en base a los errores promedios generales de cada uno de los métodos teóricos los cuales fueron obtenidos previamente. El método que presenta un menor porcentaje de error promedio general corresponde al método validado por el presente trabajo.

A continuación, en la tabla 3.13 se detalla el error general promedio de cada uno de los métodos comparados destacando entre ellos el método que presenta el menor error promedio general.

Tabla 3. 13. Error promedio general de los tres métodos teóricos.

Método teórico	Error promedio general obtenido
Kienzle	1.0075%
<b>Kronenbein</b>	<b>0.765%</b>
Sandvik	3.3175%

Fuente: Elaboración propia.

En base a lo anterior, el método teórico validado en el presente trabajo corresponde al método general de Kronenbein ya que al ser el que menor porcentaje de error promedio posee, quiere decir que es el método cuyo valor teórico más se acerca a los valores prácticos obtenidos en el ensayo de mecanizado.

## CONCLUSIÓN

Previo al comienzo del presente trabajo se esperaba que el método teórico que más se acercaría al valor práctico obtenido fuera el del fabricante “Sandvik”, ya que a diferencia de los otros métodos generales a comparar los cuales fueron los métodos de Kienzle y Kronenbein, el método de este fabricante presenta una mayor cantidad de información para la obtención de la fuerza de corte del mecanizado y al mismo tiempo relaciona directamente las variables que influyen en la potencia requerida para un mecanizado dentro de una misma ecuación, al contrario de los métodos generales.

Sin embargo, lo esperado previo al trabajo quedó descartado al realizar la comparación entre los valores teóricos y prácticos ya que, por un lado este método del fabricante sueco no es el que más se acerca al valor real (1.98 (kW) del método vs 2.051 (kW) reales), y por el otro es el método que mayor porcentaje de error posee (3.3175%), es decir, es el método teórico que más se aleja del valor obtenido en la realidad (valor práctico) entre los tres métodos teóricos comparados.

Por otra parte, los dos métodos restantes al descartar el del fabricante Sandvik correspondían a los generales de Kienzle y Kronenbein de los cuales el validado posterior al análisis de resultados fue este último ya que es el método que menor porcentaje de error promedio presentaba (0.765%). Una de las diferencias que puede explicar el por qué el método validado corresponde al de Kronenbein y no al de Kienzle es que este plantea un valor de la fuerza específica de corte que no depende del espesor que posea la viruta al momento del mecanizado sino que este método plantea un factor de corrección para suplir este espesor de la viruta al momento de seleccionar esta fuerza específica de corte, la cual posteriormente no es precisa para el cálculo de la potencia como quedó demostrado en los resultados obtenidos (2.04 (kW)). Mientras que el método de Kronenbein al contrario, propone que la fuerza específica de corte si dependa del espesor de la viruta del mecanizado para el posterior cálculo de la potencia, motivo por el cual este método entrega un valor más cercano a diferencia del método de Kienzle y al mismo tiempo el valor que más se acerca a la realidad de los tres métodos (2.05 (kW) vs 2.051 (kW) reales).

De esta forma, el método teórico que permite al operador del equipo utilizar este en su mayor capacidad posible corresponde al método de Kronenbein. Cabe destacar que lo desarrollado en el presente trabajo es válido únicamente para tornos con las características técnicas que posee el equipo en el cual se realizó el ensayo de mecanizado, por lo cual este trabajo no es aplicable a equipos con distintas características técnicas debido a que estas dependerán principalmente de una

característica en particular que son las dimensiones físicas que tenga el equipo, independiente de que el trabajo realizado en ambos equipos pueda ser el mismo.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. “Guía práctica del mecanizado”, Sandvik Coromant, Apartado de materiales, Páginas H18-H20.
2. “Guía práctica del mecanizado”, Sandvik Coromant, Información general, Página I4.
3. “Tecnología Mecánica I F.I.U.B.A”, Lucas A. Perfumo, año 2007.
4. “Mechanical and metal trades handbook”, Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & C; 3rd English ed edition.