



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. MATERIALES Y PROCESOS DE
FABRICACIÓN



***"EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE CORTE EN EL PROCESO DE
TORNEADO DE DOS ACEROS COMERCIALES AISI - 4140 Y AISI - 4340"***

Universidad de Carabobo

Elaborado por:

López A. José V. C.I. 11.352.811

Moreno Q. Jaime C.I. 10.355.815

Tutor: Msc-Ing. Juan Pereira

Valencia, Abril del 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. MATERIALES Y PROCESOS DE
FABRICACIÓN



***“EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE CORTE EN EL PROCESO DE
TORNEADO DE DOS ACEROS COMERCIALES AISI - 4140 Y AISI - 4340”***

***TRABAJO ESPECIAL DE GRADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO***

Tutor: Msc-Ing. Juan Pereira

***Elaborado por:
López A. José V. C.I. 11.352.811
Moreno Q. Jaime C.I. 10.355.815***

Valencia, Abril del 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DPTO. MATERIALES Y PROCESOS DE
FABRICACIÓN



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE CORTE EN EL PROCESO DE TORNEADO DE DOS ACEROS COMERCIALES AISI 4140 Y AISI 4340”**, realizado por los bachilleres: José Vicente López Arcila., cédula de identidad N° 11.352.811 y Jaime de Jesús Moreno Quintana; cédula de identidad N° 10.355.815, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. *Msc-Ing. Juan Pereira*
Presidente del Jurado

Prof. Carmelo Torres
Miembro del Jurado

Prof. Luís Sidorovas
Miembro del Jurado

Valencia, Abril de 2009



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de todo corazón el apoyo incondicional de nuestro Tutor el profesor Juan Carlos Pereira, por toda la ayuda brindada al desarrollo de nuestro proyecto, guiándonos en todo momento y llevarnos siempre al máximo esfuerzo y lograr nuestro objetivo.

Al profesor Efraín Roca de la escuela de ingeniería eléctrica por haber depositado su confianza en nosotros y facilitarnos los equipos utilizados al igual que el software para desarrollar el proyecto.

Al personal técnico del laboratorio de procesos metal mecánicos por todo su apoyo, en especial al Sr. Néstor Díaz por brindar su apoyo incondicional.

Al Ilustre Concejo de Escuela por habernos autorizado el tiempo de prorroga para la culminación de nuestro trabajo.

A todos ellos nuestros sinceros agradecimientos.

GRACIAS...



DEDICATORIA

Ante todo a mi Dios todo poderoso por darme la oportunidad y la satisfacción de finalizar mi carrera como ingeniero mecánico.

A mis padres Doris y Juan por haber depositado su confianza en mí y haberme formado con principios de honestidad, trabajo y responsabilidad que me hacen el hombre que hoy soy.

A mis dos hermanos Jhonny y Danny que me apoyaron en todas mis decisiones los quiero mucho.

A mi Esposa Yorlenys por haberme soportado tanto además de cuidar al niño para que yo pudiera concentrar mis esfuerzos, a mis tres hijos Yajaimeli, Deylin y Jaime por entender los momentos en que no pude estar con ellos, pero que esta meta alcanzada es a la vez un reto el cual les dejo a ellos.

A mis amigos en especial a mi compadre Oscar por haberme aconsejado en todo momento y apoyarme para lograr cumplir esta meta.

Jaime de Jesús



DEDICATORIA

A mi Dios todo poderoso por acompañarme y ayudarme en todo momento y brindarme salud, bienestar y constancia por ser un amigo incondicional y darme la oportunidad de culminar una de mis metas.

A mi madre, que siempre me ha dado un voto de confianza y solidaridad en toda mi vida llenándome de fuerzas para seguir adelante; que gracias a su esfuerzo ha sabido llevarme hasta lo que soy hoy en día, dándome siempre su ayuda, y por criarme, orientarme e impartirme sus sabios consejos.

A mis padres (Lucio y Vicente), por estar presente en este gran logro ofreciéndome su ayuda emocional y económica en todo momento.

A mi esposa Lineth por apoyarme y extenderme su mano cuando más la necesitaba, por su paciencia y cariño gracias Te Amo.

A mis hermanas Luisa y Nibia que con su espíritu de alegría y sus ocurrencias me fortalecieron para seguir adelante y mis hermanos Antonio, Saúl, Carlos y Chano por estar presente en este gran logro. Gracias

A la Familia Benítez Romero en especial al Sr. Enrique y Sra. Santa y mis Cuñadas Leris, Gera y Lisanet por compartir y apoyarme en todo momento. A la Sra. Josefina a (Chepina) y Paulina por sus sabios consejos y paciencias. Gracias

A todos los que colaboraron conmigo para lograr alcanzar esta meta.

José Vicente



RESUMEN

AUTORES:

José V. López A.

Jaime J. Moreno Q.

Con este trabajo se busca medir la temperatura de corte producida durante el mecanizado en un torneado en seco. Es por ello que el objetivo general, es **“Evaluar la Temperatura de Corte en un Proceso de Torneado de dos Aceros Comerciales AISI - 4140 y AISI - 4340”** y tiene por finalidad analizar el comportamiento de temperatura durante el proceso de torneado y determinar cual material registra mayor temperatura utilizando la técnica de la termoelectricidad, basada en la medición de temperatura por medio de termopar. Para los ensayos se maquinó las barras de aceros en un torno marca Misal paralelo con una herramientas de corte tipo inserto triangular (TNMG 160412 – 5B-OR2500-P25-K25), con variaciones de profundidad y velocidad de corte manteniendo constante el avance. Monitoreado bajo el programa de Delphi (Icilink 5000) el cual es capaz de registrar la temperatura en el proceso de mecanizado en tiempo real. Proporcionando unas gráficas las cuales arrojan los siguientes resultados: La máxima temperatura de corte medida en los ensayos experimentales fue de $186,76^{\circ}\text{C}$ para una combinación de parámetros de: $V_c = 60$ m/min, $d = 3,5$ mm de profundidad, $f = 0,12$ mm/rev para el acero AISI - 4140. El parámetro más significativo en su influencia sobre la temperatura de corte en orden de importancia es la profundidad de corte y la velocidad de corte. A medida que se incrementa la profundidad de corte de la herramienta, se incrementa el área de corte en el torneado del acero, incrementándose también la temperatura de corte para una velocidad de corte constante. Para los dos aceros en estudio se determina que la temperatura de corte se incrementa cuando se aumenta la velocidad de corte para una profundidad de corte constante, aun cuando los ensayos realizados para las velocidades más altas no permitieron el desarrollo completo de la curva de la temperatura de corte, debido a la longitud del mecanizado utilizada. Utilizando los mismos parámetros de corte, las curvas de acero AISI-4140 muestra temperaturas mayores que las curvas del acero AISI-4340. Esto debido a la diferencia de dureza entre ambos aceros.

Palabras claves: Temperatura de corte, torneado, AISI 4340, AISI 4140



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Muestra plaquitas desmontables con y sin rompe viruta.....	20
Figura 2.2. Torno Paralelo de 1911.....	22
Figura 2.3. Torno paralelo moderno.....	23
Figura 2.4. Cabezal Móvil.....	26
Figura 2.5. Detalle del Carro porta herramientas.....	27
Figura 2.6. Caja de velocidades y avances.....	29
Figura 2.7. Plato de garra.....	31
Figura 2.8. Plato y perro de arrastre.....	31
Figura 2.9. Puntos de arrastre.....	31
Figura 2.10: Distribución típica de temperaturas en la zona de corte. Nótese los gradientes de temperaturas en el interior de la herramienta y la viruta.....	42
Figura 2.11. Temperatura al cilindrar acero 52100: Distribución de temperatura en el flanco.....	43
Figura 2.12. Temperatura al cilindrar acero 52100: Distribución de temperatura en el contacto entre herramienta y viruta.....	44
Figura 2.13. Porcentaje de calor generado en corte que pasa a la pieza, a la herramienta y la viruta, en función de la velocidad de corte.....	45
Figura 2.14. Temperatura de corte medidas experimentalmente y graficadas contra la velocidad de corte para tres materiales de trabajo.....	48
Figura 2.15. Termocuplas.....	48
Figura 2.16. Evolución de la f.e.m. generada por algunas termocuplas típicas en función de la temperatura.....	49
Figura 2.17. A. Código de colores de las termocuplas.....	52
Figura 2.17. B. Código de colores de las termocuplas.....	53



	Pág.
Figura 2.18.a. Muestra el comportamiento de los termopares utilizada la teoría del gradiente	54
Figura 2.18.b. Muestra el comportamiento de los termopares utilizada la teoría del gradiente.....	54
Figura 2.19. Técnica termocupla herramienta/Viruta.....	56
Figura 2.20. Técnica termocupla encajada.....	57
Figura 2.21. Técnica de radiación infrarrojo.....	59
Figura 3.1: Palanca de Cambio de RPM del torno.....	72
Figura 3.2.Palanca de cambio del Avance.....	73
Figura 3.3 Proceso de mecanizado para observar la profundidad realizada en la barra cilíndrica.....	74
Figura 3.4. Dimensiones del inserto.....	75
Figura 3.5. Montaje de la herramienta de corte y la termocupla.....	76
Figura 3.6. Barras cilíndricas de los aceros a utilizar en los ensayos.....	77
Figura 3.7. Torno utilizado en el ensayo y el equipo de medir la temperatura..	78
Figura3.8. Montaje de una de la Barra cilíndrica a mecanizar.....	79
Figura 3.9. Ubicación de la termocupla en la herramienta de corte.....	79
Figura 3.10. Registro de temperatura a través del programa Icilink 5000.....	80
Figura 3.11. Esquema de montaje en los ensayos de mecanizado.....	82
Figura 3.12. Nonio del torno; b) Montaje de la pieza a mecanizar c) Proceso de mecanizado d) Barras cilíndrica después de mecanizado.....	82
Figura 4.1. Ubicación de la termocupla.....	91



ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 3.1. Temperatura Vs. tiempo real mecanizado AISI 4140.....	83
Gráfica 3.2. Temperatura Vs. tiempo real mecanizado AISI 4340.....	83
Gráfica 3.3. Temperatura Vs. tiempo AISI 4340.....	84
Gráfica 3.4. Temperatura Vs. tiempo AISI 4140.....	85
Gráfica 3.5. Temperatura máxima Vs. Profundidad Acero AISI 4340.....	85
Gráfica 3.6. Temperatura máxima Vs. profundidad Acero AISI 4140.....	86
Gráfica 3.7. Temperatura máxima Vs. Velocidad de corte Acero AISI 4140.....	86
Gráfica 3.8. Temperatura máxima Vs. Velocidad de corte Acero AISI 4340.....	87
Gráfica 4.1. Temperatura máxima Vs. Profundidad Acero AISI 4340.....	93
Gráfica 4.2. Temperatura máxima Vs. Profundidad Acero AISI 4140.....	94
Gráfica 4.3. Temperatura máxima Vs. Velocidad de corte Acero AISI 4340.....	95
Gráfica 4.4. Temperatura máxima Vs. Velocidad de corte Acero AISI 4140.....	96
Gráfica 4.5. Temperatura máxima Vs. Variación de parámetro para los dos aceros.....	98
Gráfica 4.6. Temperatura máxima Vs. Velocidad de corte en los dos aceros (profundidad d=3.5mm).....	99
Gráfica 4.7. Temperatura máxima Vs. Profundidad de corte en los dos aceros (Velocidad de 120m/min.....	99



ÍNDICE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Descripción del proceso del torneado (Características).....	37
Tabla 2.2. Clasificación de las termocuplas mas usuales.....	51
Tabla 2.3. Datos técnicos de referencia de la termocupla.....	55
Tabla 2.4. Composición química del acero AISI 4140.....	59
Tabla 2.5. Característica y aplicaciones del acero AISI 4140.....	60
Tabla 2.6. Composición química del acero AISI 4340.....	60
Tabla 2.7. Característica y aplicaciones del acero AISI 4340.....	61
Tabla 2.8. Especificación técnica del material de acero AISI 4140.....	61
Tabla2.8.Especificación técnica del material de acero AISI 4340.....	62
Tabla 3.1. Estimación total de los costos del proyecto.....	69
Tabla 3.2. Orden para realizar los ensayos.....	71
Tabla 3.3. Velocidades de cortes utilizadas.....	72
Tabla 3.4. Operaciones de profundidad de corte del inserto.....	73
Tabla 3.5. Especificaciones del inserto.....	74
Tabla 3.6. Especificaciones del inserto.....	75



ÍNDICE GENERAL

	Pág
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLA.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICA.	xvi
LISTA DE VARIABLE Y SIMBOLO.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	5
1.1 El Titulo.....	5
1.2 Planteamiento del Problema.....	5
1.3 Formulación del problema.	6
1.4 Objetivos.	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5 Justificación del problema.....	7
1.6 Limitaciones y Delimitaciones.....	8
1.6.1 Limitaciones.....	8
1.6.2 Delimitación y/o Alcances.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Antecedentes de la investigación.	10
Antecedente Nro 1.	10
Antecedente Nro 2.	10
Antecedente Nro 3.	11
Antecedente Nro 4.	12



	Pág.
2.2. Bases Teóricas.	13
2.2.1. Mecanibilidad.	13
2.2.2. Herramientas de corte.	13
2.2.2.1. Estudio de las herramientas.....	15
2.2.2.1.1. Sustrato.....	15
2.2.2.2. Geometría.....	16
2.2.2.3. Canales de evacuación de viruta según el tipo de material a mecanizar.....	17
2.2.2.4 Herramientas enterizas y de insertos.....	17
2.2.2.5 Recubrimientos.....	18
2.2.2.5.1 Recubrimientos de TiAlN.....	18
2.2.2.5.2 Recubrimiento de diamante.....	19
2.2.2.5.3. Recubrimiento WC/C.....	19
2.2.2.6. Plaquetas de corte usadas en el proceso de torneado.....	20
2.2.3. Torneado.....	21
2.2.4. Torno paralelo.....	21
2.2.4.1. Movimiento de trabajo en operación de torneado.....	23
2.2.4.2. Estructura del torno paralelo.....	25
2.2.4.3. Elementos componentes.....	25
2.2.4.4. Detalle del carro portaherramientas.....	27
2.2.4.5. Cadena Cinemática.....	28
2.2.4.6. Equipos Auxiliar.....	31
2.2.2.7. Especificaciones de los tornos paralelos convencionales.....	32
2.2.5. Proceso de fabricación.....	33
2.2.6. Mecanizado.....	33



	Pág.
2.2.6.1. Mecanizado por arranque de viruta.....	34
2.2.6.2. Movimientos de corte.....	34
2.2.7. Diferenciaremos los trabajos manuales, de los hechos con Máquina herramienta.....	34
2.2.7.1. Mecanizado manual.....	34
2.2.7.2. Mecanizado con máquina herramienta.....	35
2.2.8. Profundidad de corte.....	35
2.2.9. Velocidad de avance.....	36
2.2.10. Velocidad de corte.....	36
2.2.11. Corte de metales.....	38
2.2.12. Filos de la herramienta.....	39
2.2.13. Fuerzas que actúan en una herramienta de corte.....	39
2.2.14. Temperatura de corte.....	40
2.2.15. Técnicas para medir la temperatura.....	45
2.15.1. Métodos analíticos.....	46
2.15.2. Medición de la temperatura de corte.....	47
2.2.16. Termopares.....	48
2.2.17. Alambres para termocuplas.....	50
2.2.18. Clasificación de las termocuplas más usuales.....	51
2.2.19. Códigos de color de los Termocuplas.....	52
2.2.20. Cómo funcionan los Termopares.....	54
2.2.21. Datos técnicos de Referencia de las termocuplas.....	55
2.3. Modelos, teorías o sistemas referidos a la investigación.....	56
2.3.1. Técnica termocupla herramienta / viruta.....	56



	Pág.
2.3.2. Técnica termocupla encajada.....	57
2.3.3. Técnica por radiación infrarroja.....	58
2.3.4. Especificaciones técnica de los materiales comerciales.....	59
2.3.5. Equivalencia de los aceros comerciales.....	61
CAPÍTULO III. MARCO METODOLOGICO.....	64
3.1.Nivel de la investigación.....	64
3.2.Diseño de investigación.....	65
3.3.Procedimiento de la investigación:.....	65
3.4.Población y muestra.....	66
3.5.Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	66
3.6.Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	67
3.7. Aspectos administrativos.....	67
3.7.1. Humanos.....	67
3.7.2. Institucionales.....	68
3.7.3. Materiales y Equipos.....	68
3.7.4. Económicos.....	69
3.8. Selección de parámetros.....	70
3.8.1. Parámetros variables.....	70
3.8.1.1. Velocidad de corte.....	70
3.8.1.2. Avance.....	73
3.8.1.3. Profundidad de corte.....	73
3.8.1.4. Herramienta de corte y radio de punta.....	74
3.8.2. Dimensiones de la probeta.....	76
3.9. Equipos.....	77
3.9.1. Equipos utilizados.....	77



	Pág.
3.10. Software.....	80
3.11. Diseño del experimento.....	81
Resultados obtenidos.....	83
CAPÍTULO IV RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSIONES.....	90
Análisis de Resultados.....	90
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
Conclusiones.....	102
Recomendaciones.....	104
REFERENCIA BIBLIGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	108



INTRODUCCIÓN

Con el fin de obtener la temperatura de dos materiales distintos, se realizó un proceso de mecanizado para el cual se utilizó un torno (Paralelo marca Misal de 2 ½ m de bancada), para la realización de esta medición se recurrió a la técnica de la termoelectricidad, para hacer una evaluación y luego comparar dichos materiales. Para ello se hizo un proceso de torneado en seco, el cual supone la eliminación completa del fluido de corte (refrigerante), es decir durante el proceso de torneado se lleva a cabo el arranque de material y no se disipa el calor mediante el refrigerante. En lugar de ocurrir esto la herramienta y la pieza a mecanizar absorben la mayor parte de calor generado por el mecanizado, el cual afecta positivamente el proceso, pero por otro lado puede traer características no deseadas a la pieza y un desgaste prematuro del inserto.

La mayoría de la producción de los artículos en ingeniería de Manufactura involucra la utilización de operaciones de mecanizado al menos en alguna etapa de su fabricación. Esto hace que sea tan importante el estudio del corte de los metales en máquinas herramientas.

Este trabajo está conformado por (5) cinco capítulos los cuales se describen a continuación:

En el Capítulo I está estructurado por el título del trabajo, planteamiento del problema, Formulación del problema, Objetivo general y Objetivo Específico, justificación, limitaciones y/o delimitaciones.

En el Capítulo II el propósito de este capítulo es delinear los fundamentos teóricos que se utilizaron para establecer la relación entre la temperatura de corte y los parámetros a manipular, basado en los antecedentes de la investigación, y bases



teóricas formadas por: maquinabilidad; proceso de fricción de la herramienta; diferentes trabajos manuales, de los hechos con maquinas herramientas, velocidad de corte, velocidad de avance, torno paralelos, tipos de tornos, parte de un torno, materiales para herramientas de corte, fuerzas que actúan en una herramienta de corte. Termopares, alambres para termopares, como funcionan los termopares, tipos de termocuplas etc.

En el Capítulo III se describe el desarrollo del marco metodológico, se hizo referencia acerca del nivel de investigación, el procedimiento que se seguirá para solucionar el problema, el cual esta dividido por etapas las cuales se presenta a continuación:

Etapas 1: Se realizó una investigación completa en Internet, catálogos y bibliografías, en lo que respecta a parámetros relacionados con la medición de la temperatura de corte, en el proceso de torneado.

Etapas 2: Se tomó la decisión sobre el método que se utilizó para medir la temperatura de los materiales, para poder realizar el trabajo de grado.

Etapas 3: Se seleccionaron los materiales a ensayar, utilizando barras cilíndricas de aceros **AISI – 4140** y **AISI – 4340** de 55 mm de diámetro inicial y 50 cm de longitud.

Etapas 4: Se hizo el montaje del material en el torno para de esta forma validar los resultados.

Etapas 5: Se seleccionaron los parámetros de máquina a utilizar en la medición de la temperatura de corte, como son: profundidad de corte (d), la velocidad de corte (V_c) y el avance (f), éste último parámetros será constante.

Etapas 6: Se realizaron los ensayos, en el equipo montado, para obtener gráficas de Temperatura Vs Tiempo, para cada parámetro de máquina, en el cual se hará por el seleccionado de la Etapa 2.

Etapas 7: Se analizó el comportamiento de la temperatura de corte en el proceso de torneado a través del resultado que se obtuvo en los ensayos, con la cual se



construyeron unas gráficas y a través de las gráficas se obtuvo cual material registra mayor temperatura.

Etapa 8: se hizo un estudio sobre población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos adicionalmente su procedimiento y análisis, y finalmente los aspectos administrativos de la investigación.

En el capítulo IV se basó en el desarrollo del trabajo, aquí se hizo los ensayos, con el equipo ya montado para medir la temperatura y por medio del software (Icilink 5000) se obtuvieron las diferentes gráficas para cada ensayo.

En el capítulo V se realizaron los análisis, las conclusiones y las recomendaciones del trabajo especial de grado

En este trabajo especial de grado se procedió a medir la influencia de las variables, avance (f), profundidad de corte (d) y velocidad de corte (V_c), sobre la temperatura de corte en el proceso de torneado, en barras cilíndricas de aceros **AISI - 4140** y **AISI - 4340**. Como una parte fundamental de la investigación se efectuaron los ensayos con los cuales se obtuvieron una serie de datos para la construcción de las gráficas dependiendo del método a utilizar (el método de la termoelectricidad) que relacionan el comportamiento de la temperatura de corte con los distintos parámetros de máquina.



Universidad de Carabobo



Universidad de Carabobo



CAPÍTULO III

Universidad de Carabobo



CAPÍTULO IV

Universidad de Carabobo



CAPÍTULO V

Universidad de Carabobo



Universidad de Carabobo



Universidad de Carabobo



CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1 El Título.

“EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE CORTE EN EL PROCESO DE TORNEADO DE DOS ACEROS COMERCIALES AISI-4140 Y AISI 4340.”

1.2 Planteamiento del Problema

En los procesos actuales de manufactura se requiere de un buen acabado y de características superficiales específicas. Son varios los factores que intervienen en estos procesos que están relacionados con las características finales de la pieza, uno de estos factores es la temperatura generada.

Es necesario conocer el comportamiento de la temperatura durante el maquinado para asociarla con las probables características de acabado superficiales de la pieza, ya que las altas temperaturas ocasionan alteraciones de la superficie. Además se pueden inferir los límites de uso y vida útil de la herramienta de corte.

A lo largo del proceso de maquinado, aproximadamente el 98% de la energía utilizada se transforma en energía térmica, el resto es absorbida por el material de trabajo en forma de deformación plástica. F, Eugenio López G, et al (2002)

El mecanizado con arranque de viruta (torneado) tiene una amplia aplicación entre los distintos métodos de fabricación de piezas para máquinas, mecanismos, instrumentos y otros artículos. Las piezas de las máquinas son elaboradas de las piezas brutas, la capa de metal que se arranca de la pieza bruta durante el proceso de mecanizado se llama sobreespesor. La pieza en bruto es un artículo de la producción de la cual se obtiene la pieza acabada mediante variación de la forma, dimensiones, grado de aspereza de la superficie y propiedades del material.



El proceso de corte es un proceso seguido por fenómenos físicos complejos (deformación plástica y elasticidad de la pieza en bruto, desprendimiento de calor). Que ejercen gran influencia en el trabajo de la herramienta de corte, la productividad de trabajo y la calidad del mecanizado.

Es por todo esto que este trabajo se enfoca en el comportamiento de la temperatura de corte, generada durante el torneado y proponiendo un método que relaciona la velocidad de corte (V_c) y la profundidad de Corte (d), de la herramienta con la temperatura registrada durante la remoción de material. Ya que al conocer el comportamiento de la temperatura de corte permite seleccionar adecuadamente los materiales y las herramientas para diferentes tipos de trabajos. En todo proceso de mecanizado, se producen deformaciones debido a la fuerza de fricción entre el material y la herramienta de corte, reduciendo la resistencia de la herramienta e incrementando la temperatura de la interfase del material a mecanizar y la herramienta de corte. Por todo lo anterior requiere evaluar y comparar la temperatura en el proceso de torneado variando la profundidad de corte (d) y la velocidad de corte (V_c); manteniendo constante el avance (f), cuando mecanizamos un acero comercial AISI – 4140 y un acero AISI 4340

1.3 Formulación del problema.

¿Cómo influye la variable profundidad de corte (d) y la velocidad de corte (V_c) sobre la temperatura de corte en el proceso de torneado de un acero AISI – 4140 y un acero AISI – 4340?



1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la temperatura de corte en el proceso de torneado del acero comercial AISI-4140 y el acero comercial AISI – 4340.

Objetivos Específicos

- ✓ Medir la temperatura de corte utilizando la técnica de Termoelectricidad.
- ✓ Determinar la influencia de la profundidad de corte en la temperatura de corte variando la profundidad de corte (d) y manteniendo el avance (f) constante.
- ✓ Determinar la influencia de la velocidad de corte en la temperatura de corte variando la velocidad de corte (V_c) y manteniendo el avance (f) constante.
- ✓ Determinar cuál material registra mayor temperatura.

Justificación del problema

El acero es usado ampliamente en la industria automotriz y sus similares.

En este trabajo se podrá evaluar y comparar mediante gráficas las temperaturas de corte y como influye la profundidad de corte (d) y la velocidad de corte (V_c) en un proceso de torneado para distintos tipos de acero comercial como lo son el AISI – 4041 y el AISI – 4340.

También contribuirá con el nivel de conocimientos de los estudiantes ya que podrán observar y comparar las variaciones de temperaturas de estos materiales, y de esta forma evaluar como puede afectar la temperatura y la profundidad de corte del material al proceso de torneado.



Limitaciones y Delimitaciones

1.6.1 Limitaciones

Para la realización de este trabajo se presentan algunas limitaciones como son:

- ✓ Disponibilidad de las máquinas del Laboratorio de Proceso Metalmecánico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.
- ✓ Disponibilidad de personal técnico para realizar los ensayos.
- ✓ Falta de recursos económicos, ya que los costos de los materiales son elevados y para la realización de los ensayos se necesita una cantidad considerable de ambos materiales.

1.6.2 Delimitación y/o Alcances

- ✓ El proceso de mecanizado es el torneado.
- ✓ El material a usar son aleaciones de acero AISI – 4140 y un acero AISI – 4340
- ✓ Los ensayos se realizarán en el Laboratorio de Procesos Metalmecánicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.
- ✓ La variable involucrada en el proceso de torneado es la profundidad de corte (d), la velocidad de corte (V_c), manteniendo constante el avance (f).
- ✓ El tipo de herramienta de corte a utilizar será inserto de Carburo.
- ✓ No se utilizará refrigerante.



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

Como antecedentes más relevantes de esta investigación se tienen una serie de trabajos especiales de grado los cuales representan a continuación:

Antecedentes Nro 1.

Héctor G. Sánchez Moscoso, Valencia diciembre de 1982: “Aplicación de la teoría de la temperatura modificada al corte de aceros de bajo contenido de carbono”.

El trabajo se realizó con la finalidad de aplicar la teoría de la temperatura modificada al par formado por la pieza a mecanizar-Herramienta de corte, cuyas características son: acero de bajo carbono y aceros rápidos respectivamente, utilizando técnicas auxiliares a fin de comprobar la validez de los postulados establecidos para las detecciones de vida de las herramientas.

En este trabajo de investigación se trató de definir la duración de la herramienta para el mecanizado sin necesidad de realizar ensayos de laboratorio.

Guarda relación con esta investigación ya que, se hacen análisis del dispositivo construido, con modelos teóricos, para aceros de bajo contenido de carbono.

Antecedente Nro 2.

Luigi V. Pascasi M, Luís E. Vegas P., Valencia septiembre de 1983: “Medición de la temperatura en un proceso de mecanizado”.



El siguiente trabajo tuvo como finalidad medir la temperatura de corte en el mecanizado en un torno.

La técnica utilizada fue la termoelectricidad, basado en la medición de la temperatura por medio de termopares.

La temperatura que se mide en estos ensayos es un promedio de la temperatura producida en la región donde se produce el corte.

Guarda relación con esta investigación ya que, se mide la temperatura de corte en un torno. La técnica utilizada fue la termoelectricidad, basado en la medición de la temperatura por medio de termopares. Finalmente, se midió la temperatura promedio en la región donde se produjo el corte.

Antecedente Nro 3.

García, Ángel y Gonzáles, Ramón (2000): “Evaluación de la vida de la herramienta en un proceso de torneado convencional, para el mecanizado de las aleaciones de aluminio comercial”. Trabajo de grado Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.

Este trabajo tuvo como objetivo investigar la influencia de las variables de corte en la vida de la herramienta, así como observar el comportamiento para diferentes combinaciones de los factores estudiados al realizar operaciones de cilindrado en el torno.

Entre los resultados sobresalientes se tienen:

- A medida que se aumenta la velocidad de corte disminuye la capacidad de corte de la herramienta.
- El trabajo específico de corte disminuye a medida que el avance aumenta.
- La influencia de la profundidad de corte desempeña un papel análogo al del avance.



Antecedente Nro 4

Gamboa, José y Mosquera, Carlos. (2004): “Diseño y construcción de un dispositivo para medir la temperatura de corte en el proceso de torneado”. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.

Este trabajo basado en la construcción de un dispositivo para observar la influencia de las variables avance, profundidad y velocidad de giro sobre la temperatura de corte en un proceso de torneado. Se obtuvieron una serie de registros que fueron plasmados en gráficos, que relacionaron el comportamiento de la temperatura de corte con los distintos parámetros de máquina.

Este trabajo arrojó los siguientes resultados:

- La temperatura depende de las condiciones del medio.
- De las gráficas obtenidas tanto para el acero 1020 como para el 1045 el comportamiento es el mismo (ascendente).
- Utilizando los mismos parámetros de corte, las curvas para el acero 1045 muestra mayores temperaturas que las curvas del acero 1020, esto se debe a la diferencia de dureza entre ambos.
- Se demostró que para mejorar la precisión de las lecturas la termocupla se debe colocar lo más cercana al filo de corte de la herramienta.



2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Mecanibilidad

Independientemente del método de mecanizado se puede decir que la herramienta de corte esta formada por tres componentes: El material del que esta hecho el filo de corte (material de la herramienta), la forma del filo de corte (geometría del filo de la herramienta) y el sistema de fijación del filo de corte de la herramienta, ya que éste está hecho normalmete de un material de diferente al del resto de la herramienta (sistema de fijación del filo de corte). Estos tres componentes de la herramienta son los factores claves para seleccionar la herramienta adecuadamente para el mecanizado y asegurar el éxito de la operación. La geometría del filo de corte y el sistema de fijación están muy ligados al método de mecanizado.[Boothroyd, G (1978)]

2.2.2. Herramientas de corte.

Podemos decir que la herramienta es un factor clave. Si no se dispusiera de herramientas capaces de soportar las nuevas condiciones de mecanizado, en especial las elevadas temperaturas de oxidación. El desgaste y los altos costos de las herramientas suponen actualmente una limitación en el mecanizado. Una limitación que va decreciendo poco a poco. Pero cuales son las causas más comunes por las que se desgastan las herramientas:

- **Desgaste por abrasión:** desgaste producido por el contacto entre materiales más duros que la herramienta y la propia herramienta rayándola y desgastándola.
- **Desgaste por adhesión:** cuando en la zona de corte debido a las altas temperaturas, el material de corte y la herramienta se sueldan y, al separarse, parte de la herramienta se desprende.



- **Desgaste por difusión:** desgaste producido por el aumento de la temperatura de la herramienta, con lo que se produce una difusión entre las redes cristalinas de la pieza y la herramienta, debilitando la superficie de la herramienta.
- **Fallas mecánicas:** fallas producidas por estrategias, condiciones de corte, herramientas, etc. inadecuadas.

El material de la herramienta debe cumplir con habilidades específicas tales como:

- Ser suficientemente dura para resistir el desgaste y deformación pero tenaz para resistir los cortes intermitentes e inclusiones.
- Ser químicamente inerte en relación al material de la pieza de trabajo y estable para resistir la oxidación, para evitar que se genere el filo recrecido y desgaste prematuro.

Estas propiedades permitirán mecanizar con altas velocidades de corte, aumentar la vida de las herramientas, permitir obtener la mejor calidad superficial y dimensional posible en la pieza a mecanizar.

Pero, ¿cómo sabremos qué herramientas utilizar, qué papel juega cada una de sus propiedades? ¿Cómo seleccionaremos la herramienta adecuada para cada material?. Y, para cada aplicación en concreto, ¿cuáles son los factores que influyen tanto en la vida de la herramienta como en la calidad superficial de la pieza: los recubrimientos, su geometría, el fluido refrigerante, el fluido de corte y la estrategia de mecanizado, longitud de la herramienta, etc.?

Para conocer un poco más a fondo estas características realizaremos un estudio de las herramientas. [Boothroyd, G (1978)]



2.2.2.1. Estudio de las herramientas:

Para realizar el estudio de las herramientas seleccionaremos los tres campos clave en una herramienta: material, geometría y recubrimiento.

2.2.2.1.1. Sustrato

Aceros para trabajos en frío o en caliente.

Acero rápido: una aleación de metales que contiene alrededor de un 20% de partículas duras. Apenas se utilizan en el MAV.

Carburo cementado o metal duro: hecho con partículas de carburo unidas por un aglomerante a través de un proceso de sinterizado. Los carburos son muy duros y representan de 60% a 95% del volumen total. Los más comunes son: Carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC), carburo de tantalio (TaC), carburo de niobio (NbC). El aglomerante típico es el cobalto (Co). Son muy adecuados para el mecanizado de aluminio y silicio.

Carburo cementado recubierto: la base de carburo cementado es recubierta con carburo de titanio (TiC), nitruro de titanio (TiN), óxido de aluminio (Al_2O_3) y nitruro de titanio carbono (TiCN), nitruro de titanio y aluminio (TiAlN). La adhesión del recubrimiento será mediante CDV (deposición química por vapor), PVD (deposición física por vapor) y MTCVD (deposición química por vapor a temperatura media). Buen equilibrio entre la tenacidad y la resistencia al desgaste.

Cerámicos (Cerámico /metal): Aunque el nombre es aplicable incluso a las herramientas de carburo cementado, en este caso las partículas base son de TiC, TiCN, TiN en vez de carburo de tungsteno. El aglomerante es níquel-cobalto. Buena resistencia al desgaste y formación de cráteres, alta estabilidad química y dureza en caliente. Baja tendencia a la oxidación y a la formación del filo recocado. Son de



gran dureza y resistencia a la abrasión en detrimento de su tenacidad. Los cermets se aplican mejor a aquellos materiales que producen una viruta dúctil, aceros y las fundiciones dúctiles. Los modernos aleados TaNbCy MoC añadidos incrementan la resistencia de los cermets ante el choque cíclico propio de la operación de fresado.

Cerámicos: Existen dos tipos básicos de cerámica: Las basadas en óxido de aluminio (Al_2O_3) y las de nitruro de silicio (Si_3N_4). Son duras con alta dureza en caliente, y no reaccionan químicamente con los materiales de la pieza. Sin embargo son muy frágiles. - Ideales para el mecanizado de piezas en duro y como reemplazo de las operaciones de rectificado. .

Nitruro de Boro Cúbico (CBN): Es uno de los materiales más duros. Ocupa el segundo lugar después del diamante. Dureza extrema en caliente, excelente resistencia al desgaste y en general buena estabilidad química durante el mecanizado. Es frágil, pero más tenaz que las cerámicas.

Diamante policristalino (PCD): Es casi tan duro como el diamante natural. Este diamante sintético tiene una increíble resistencia al desgaste y una baja conductividad térmica. Sin embargo, son muy frágiles. La vida de la herramienta es hasta cien veces mayor que la del carburo cementado. Desventajas: las temperaturas de corte no deben exceder $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, no puede ser usado para cortar materiales ferrosos porque existe afinidad, y no sirve para cortar para materiales tenaces. [Boothroyd, G (1978)]

2.2.2.2 Geometría

Espiga (cuello) cónica: Con el fin de mejorar la rigidez.

Alma de gran diámetro: Mayor estabilidad a la herramienta, reduce las vibraciones y el riesgo de mellado de los filos. Menor flexión y una mejor tolerancia de la pieza mecanizada.



Cuello de la herramienta rebajado: Mayor alcance en cajas profundas. Evita el contacto y los roces. Reduce las vibraciones.

Mango cilíndrico largo: Para una mejor sujeción y equilibrio.

Ángulo de desprendimiento negativo (-15°): Mayor estabilidad y resistencia del filo. Menor tiempo de contacto con la viruta. El calor se transmite a la viruta. Mínima tolerancia de radio. Mejor acabado superficial. Menor necesidad de pulido. Producto final más próximo a la forma definitiva.

2.2.2.3. Canales de evacuación de viruta según el tipo de material a mecanizar.

Aleaciones ligeras: Arista muy viva para permitir un corte suave evitando la adherencia de material al filo. Herramientas de pocos labios (2) con ángulos de hélice de 25° a 30° y paso largo para facilitar la evacuación de grandes caudales de viruta.

Materiales duros: Pasos y longitudes de corte cortos, mayor rigidez. Mucha hélice para disminuir la resistencia al corte y mejorar el acabado. Herramientas de muchos labios (4-8): Breve contacto con la viruta - menor absorción de calor, viruta corta.

2.2.2.4. Herramientas enterizas y de insertos:

Enterizas: Mayor precisión, rigidez y equilibrado. Mejor calidad de pieza. Disposición de herramientas de cualquier diámetro. Elevado costo. Distintos tipos de material. Dificulta a la hora del afilado: necesidad de una estrecha relación proveedor-usuario.



De insertos: Menos rígida: Menor precisión superficial y dimensional. Diámetros cercanos a los 8mm. Solo metal duro para MAV. Normalmente para desbaste, necesita mucha potencia. Menor costo. Facilidad de reposición.

2.2.2.5. Recubrimientos

- Las características principales de los recubrimientos se resumen en los siguientes puntos:
- Aumentan la dureza en los filos de corte de la herramienta.
- Facilitan la disipación del calor acumulado en el filo de corte
- Baja conductividad térmica que favorece la eliminación del calor a través de la viruta.
- Aumentan la resistencia a la abrasión, disminuyen la afinidad herramienta-pieza
- El grosor del recubrimiento varía entre 0.0001”y 0.0005”.
- Los recubrimientos se aplican mediante deposición química de vapor o deposición física de vapor

2.2.2.5.1 Recubrimientos de TiAlN

Son los que más se utilizan actualmente, y poco a poco van dejando atrás los demás. Los recubrimientos TiAlN multicapa están remplazando los de TiCN, y los monocapa a los de TiN.

TiAlN (multicapa y monocapa) son recubrimientos extraduros (PVD) basados en nitruro de titanio aluminio que destacan por su dureza, estabilidad térmica y resistencia a ataques químicos. Protegen las aristas de corte por abrasión y adhesión así como por carga térmica.



- Multicapa: combina la elevada tenacidad de la estructura multicapa, con su alta dureza 3.000 (Hv 0.05) y la buena estabilidad térmica, 800°C, y química de la capa TiAlN. Así protege las herramientas de corte de acero rápido y metal duro contra el desgaste prematuro producido por tensiones severas. Debido a su estabilidad térmica, permite trabajar en mecanizados a altas velocidades e incluso en seco o con mínima cantidad de lubricante.
- Monocapa: desarrollado para su aplicación en fresas de metal duro utilizadas en condiciones de mecanizado severas. Su elevada dureza, 3.500 (Hv 0.05), y notable estabilidad térmica, 800°C, y química hacen que sea óptimo para las fresas que se utilizan en el mecanizado de materiales térmicamente tratados empleados, como por ejemplo en moldes, punzones, matrices y utillajes de forja.

2.2.2.5.2 Recubrimiento de diamante

Se utiliza en herramientas para mecanizar materiales muy abrasivos como el grafito. Durante el mecanizado de estos materiales las herramientas se desgastan rápidamente y la calidad de las superficies mecanizadas y la precisión dimensional son pobres. Con las herramientas recubiertas de diamante, un recubrimiento cuya dureza es superior a los 8.000Vickers, además de obtener una vida útil más larga y poder aumentar las velocidades de corte, disminuyendo así de manera importante el tiempo de mecanizado, se consigue un buen acabado de la superficie y una buena precisión dimensional.

2.2.2.5.3 Recubrimiento WC/C:

Realizado por deposición física al vapor a temperaturas alrededor de los 200 °C. Al realizarse el proceso de recubrimiento en alto vacío, las propiedades del recubrimiento son sustancialmente mejores que las logradas a presión atmosférica

(proyección térmica), o en gases y baños (nitruración, galvanizado). Los recubrimientos tienen un espesor de capa de solo unas micras de espesor y son la última operación dentro de los componentes de precisión. Este recubrimiento presenta una combinación única de características: Bajo coeficiente de fricción, alta resistencia al desgaste, una excelente capacidad de carga. [Boothroyd, G (1978)]

2.2.2.6 Plaquetas de corte usadas en el proceso de torneado.

Con las plaquetas intercambiables de se puede incrementar su eficacia con tiempos cortos de mecanizado, mecanizado de materiales duros de cortar, mecanizado en seco, HSC fundición gris (mecanizado alta velocidad), y alta eficacia de proceso continuo. A continuación podemos observar algunos modelos de plaquetas desmontables (Figura 2.1)



Figura 2.1. Muestra plaquetas desmontables con y sin rompe viruta. [Gamboa, José (2004)]



2.2.3 Torneado

Con el nombre genérico de **torneado** se conoce al conjunto de operaciones de mecanizado que pueden efectuarse con el torno.

El torno permite obtener piezas de revolución, aunque también es posible la obtención de superficies planas mediante ciertas operaciones. El movimiento principal en el torneado es de rotación y lo lleva a cabo la pieza, mientras que los movimientos de avance y penetración son generalmente rectilíneos y los lleva a cabo la herramienta.

El eje de rotación de la pieza se designa como eje Z. El eje X se define paralelo a la bancada y perpendicular a Z, mientras que el eje Y, de escasa utilización en torneado, se define de forma tal que constituye un triedro rectángulo orientado a derechas con los ejes X y Z.

En algunas máquinas y operaciones, el movimiento de avance puede no seguir una trayectoria rectilínea. Este es, por ejemplo, un caso típico de operaciones efectuadas en tornos de control numérico que permiten el control simultáneo de los ejes Z y X.

El trabajo en el torno, excepto cuando se emplean máquinas-herramienta de control numérico, requiere por lo general de una gran destreza por parte del operario y, de hecho, la profesión de tornero es una de las más comunes y cotizadas en el campo de la formación profesional mecánica. [Torno (2005). On-line]

2.2.4 Torno paralelo

El torno paralelo o mecánico es el tipo de torno que evolucionó partiendo de los tornos antiguos cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramienta más importante que han existido.

Sin embargo en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.

Para la fabricación en serie y de precisión han sido sustituidos por tornos copiadores, revólver, automáticos y de CNC.

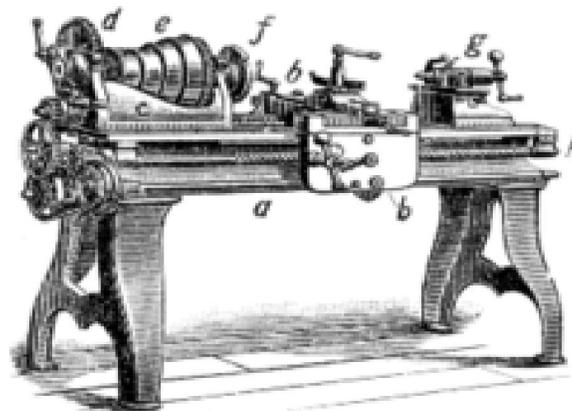


Figura 2.2. Torno paralelo de 1911 [Torno (2005). On-line]

El torno paralelo es una máquina que trabaja en el plano, porque solo tiene dos ejes de trabajo, (Z y X) el carro que desplaza las herramientas a lo de la pieza y produce torneados cilíndricos, y el carro transversal que se desplaza de forma perpendicular al eje de simetría de la pieza, con este carro se realiza la operación denominada refrentado. Lleva montado un tercer carro, de accionamiento manual y giratorio, llamado Charriot, montado sobre el carro transversal, con el Charriot, inclinado a los grados necesarios es posible mecanizar conos.

Lo característico de este tipo de torno es que se pueden realizar en el mismo todo tipo de tareas propias del torneado, como taladrado, cilindrado, mandrinado, refrentado, roscado, conos, ranurado, escariado, moleteado, etc.; mediante diferentes

tipos de herramientas y útiles que de forma intercambiables y con formas variadas se le pueden ir acoplando.



Figura 2.3. Torno paralelo moderno [Torno (2005). On-line]

Para manejar bien estos tornos se requiere la pericia de operarios muy bien calificados, ya que el manejo manual de sus carros puede ocasionar errores a menudo en la geometría de las piezas torneadas.

2.2.41. Movimientos de trabajo en la operación de torneado

- Movimiento de corte: por lo general se imparte a la pieza que gira rotacionalmente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes. El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción (platos de garras, pinzas, mandrinos auxiliares u otros), los cuales sujetan la pieza a mecanizar. Los tornos tradicionales tienen una



gama fija de velocidades de giro, sin embargo los tornos modernos de Control Numérico la velocidad de giro del cabezal es variable y programable y se adapta a las condiciones óptimas que el mecanizado permite.

- **Movimiento de avance:** es debido al movimiento de la herramienta de corte en la dirección del eje de la pieza que se está trabajando. En combinación con el giro impartido al husillo, determina el espacio recorrido por la herramienta por cada vuelta que da la pieza. Este movimiento también puede no ser paralelo al eje, produciéndose así conos. En ese caso se gira el carro de debajo del transversal ajustando en una escala graduada el ángulo requerido, que será la mitad de la conicidad deseada. Los tornos convencionales tiene una gama fija de avances, mientras que los tronos de Control Numérico los avances son programables de acuerdo a las condiciones óptimas de mecanizado y los desplazamientos en vacío se realizan a gran velocidad.
- **Profundidad de pasada:** movimiento de la herramienta de corte que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada. La cantidad de material factible de ser arrancada depende del perfil del útil de corte usado, el tipo de material mecanizado, la velocidad de corte, etc.
- **Nonios de los carros:** para regular el trabajo torneado los carros del torno llevan incorporado unos nonios en forma de tambor graduado, donde cada división indica el desplazamiento que tiene el carro, ya sea el longitudinal, el transversal o el charriot. La medida se va conformando de forma manual por el operador de la máquina por lo que se requiere que sea una persona muy experta quien lo manipule si se trata de conseguir dimensiones con tolerancias muy estrechas. Los tornos de control numérico ya no llevan nonios sino que las dimensiones de la pieza se introducen en el programa y estas se consiguen automáticamente.



2.2.4.2. Estructura del torno paralelo

En el torno paralelo, como en todas las maquinas herramienta, podemos diferenciar dos partes fundamentales:

- Los elementos componentes: Que agrupa los principales elementos que constituyen la maquina.
- La cadena cinemática. que transmite el movimiento a la pieza y la cuchilla

2.2.4.3. Elementos componentes

El torno tiene cuatro componentes principales:

- **Bancada:** sirve de soporte para las otras unidades del torno. En su parte superior lleva unas guías por las que se desplaza el cabezal móvil o contrapunto y el carro principal.
- **Cabezal fijo:** contiene los engranajes o poleas que impulsan la pieza de trabajo y las unidades de avance. Incluye el motor, el husillo, el selector de velocidad, el selector de unidad de avance y el selector de sentido de avance. Además sirve para soporte y rotación de la pieza de trabajo que se apoya en el husillo.
- **Cabezal móvil:** el contrapunto puede moverse y fijarse en diversas posiciones a lo largo. La función primaria es servir de apoyo al borde externo de la pieza de trabajo.



Figura 2.4 Cabezal móvil [Torno (2005). On-line]

El cabezal móvil o contracabezal (ver figura) está apoyado sobre las guías de la bancada y se puede desplazar manualmente a lo largo de ellas según la longitud de la pieza a mecanizar, llevado al punto deseado se bloquea su posición con la palanca (T6).

Mediante el volante (T1) se puede avanzar o retroceder el contrapunto (T5) sobre el cuerpo del contracabezal (T3), este desplazamiento se puede bloquear impidiendo que retroceda con la palanca (T2).

En este contracabezal la base (T4) y el cuerpo (T3) son piezas distintas fijadas una a otra mediante tornillos, que pueden ser aflojados y permitir un cierto desplazamiento transversal del cuerpo respecto a su base, esta operación se puede hacer para mecanizar conos de pequeño ángulo de inclinación.

- **Carros portaherramientas:** consta del carro principal, que produce los movimientos de avance y profundidad de pasada, el carro transversal, que se desliza transversalmente sobre el carro principal, y el carro superior orientable, formado a su vez por tres piezas: la base, el charriot y el portaherramientas. Su base está apoyada sobre una plataforma giratoria para orientarlo en cualquier dirección.



Figura 2.5. Carros portaherramientas [Torno (2005). On-line]

2.2.4.4. Detalle del carro portaherramientas

- En la figura se puede ver en detalle el carro de un torno paralelo, el carro principal (4) está apoyado sobre las guías de la bancada y se mueve longitudinalmente por ellas.
- En la parte delantera está el cuadro de mecanismos (5) el volante (5a) permite desplazarlo manualmente a derecha o izquierda, el embrague de roscar (5b) tiene dos posiciones: desembragado o embragado. En esta posición al carro se mueve longitudinalmente a velocidad constante por el husillo de roscar. El



embrague de cilindrar (**5c**) tiene tres posiciones cilindrar desembragado y refrentar, la velocidad de avance vendrá fijada por el husillo de cilindrar. En este panel de mandos se puede conectar uno u otro automático, pero no se puede modificar ni la velocidad de avance ni el sentido del movimiento que tendrá que fijarse en la caja de avances y transmitido al carro mediante el husillo de roscar o de cilindrar según corresponda.

- El carro transversal (**3**) esta montado y ajustado en cola de milano sobre el caro longitudinal y se puede desplazar transversalmente, de forma manual con la manivela (**3b**) o en automático refrentando.
- Sobre el carro transversal esta el carro orientable (**2**) este carro se puede girar sobre si mismo un ángulo cualesquiera marcado en la escala (**2b**), mediante la manivela (**2a**) este carro se puede avanzar o retroceder.
- Sobre el carro orientable, esta la toreta portaherramientas (**1**) donde se monta la cuchilla

2.2.45. Cadena cinemática

La cadena cinemática genera, trasmite y regula los movimientos de los elementos del torno, según las operaciones ha realizar.



Figura 2.6 Caja de velocidades y avances [Torno (2005). On-line]

Detalle de los mandos de la caja de velocidades y avances

- **Motor:** normalmente eléctrico, que genera el movimiento y esfuerzo de mecanizado.
- **Caja de velocidades:** con la que se determina la velocidad y el sentido de giro del eje del torno (**H4**), partiendo del eje del motor que gira a velocidad constante.

En la figura se puede ver el cabezal de un torno, el eje principal sobre el que esta montado el plato (**H4**), las palancas de la caja de velocidades e inversor de giro (**H2**) (**H3**) y (**H5**).

- **Caja de avances:** con la que se establecen las distintas velocidades de avance de los carros, partiendo del movimiento del eje del torno. Recuérdese que los



avances en el torno son en milímetros de avance por revolución del plato del torno.

En la figura 2.6 se puede ver en la parte posterior **(H10)**, la caja de **la lira**, que conecta la parte posterior del eje del torno con la caja de avances **(H6)**, la lira que no se ve en la imagen, determina la relación de transmisión entre el eje principal y la caja de avances mediante engranajes desmontables.

- **Ejes de avances:** que transmiten el movimiento de avance de la caja de avances al carro principal, suelen ser dos:
 - **Eje de cilindrar (H8)**, ranurado para transmitir un movimiento rotativo a los mecanismos del carro principal, este movimiento se emplea tanto para el desplazamiento longitudinal del carro principal, como para el transversal del carro transversal.
 - **Eje de roscar (H7)**, roscado en toda la longitud que puede estar en contacto con el carro, el embrague de roscar es una tuerca partida que abraza este eje cuando está embragado, los avances con este eje son más rápidos que con el de cilindrar, y se emplea como su nombre indica en las operaciones de roscado.

En la figura 2.6 se puede ver un tercer eje **(H9)** con una palanca de empuñadura roja junto a la caja de avances, este tercer eje no existe en todos los modelos de torno y permite, mediante un conmutador, poner el motor eléctrico en marcha o invertir su sentido de giro, otra u otras dos palancas similares están en el carro principal, a uno u otro lado, que permiten girar este eje colocando en las tres posiciones giro a derecha, parado o izquierda. En los modelos de torno que no

disponen de este tercer eje, la puesta en marcha se hace mediante pulsadores eléctricos situados normalmente en la parte superior del cabezal.

2.2.4.6. Equipo auxiliar

Se requieren ciertos accesorios, como sujetadores para la pieza de trabajo, soportes y portaherramientas. Algunos accesorios comunes incluyen:

- **Plato de sujeción de garras:** sujeta la pieza de trabajo en el cabezal y transmite el movimiento.



Figura 2.7. Plato de garras [Torno (2005). On-line]



Figura 2.8. Plato y perro de arrastre [Torno (2005). On-line]



Figura 2.9. .Puntos de arrastre [Torno (2005). On-line]



- **Centros:** soportan la pieza de trabajo en el cabezal y en la contrapunta.
- **Perno de arrastre:** se fija en el plato de torno y en la pieza de trabajo y le transmite el movimiento a la pieza cuando está montada entre centros.
- **Soporte fijo o luneta fija:** soporta el extremo extendido de la pieza de trabajo cuando no puede usarse la contrapunta.
- **Soporte móvil o luneta móvil:** se monta en el carro y permite soportar piezas de trabajo largas cerca del punto de corte.
- **Torreta portaherramientas** con alineación múltiple.

2.2.4.7. Especificaciones de los tornos paralelos convencionales

Capacidad:

Altura entre puntos: distancia entre puntos, Diámetro admitido sobre bancada, Diámetro admitido sobre escote, Diámetro admitido sobre carro transversal, Anchura de la bancada, Longitud del escote delante del plato liso.

Cabezal

Diámetro del agujero del husillo principal, Nariz del husillo principal, Cono Morse del husillo principal, Gama de velocidades del cabezal en r.p.m.. Número de velocidades.

Carros

Recorrido del carro transversal, Recorrido del Charriot, Dimensiones máximas de la herramienta. Gama de avances longitudinales, Gama de avances transversales.

Roscado

Gama de pasos métricos, Gama de pasos Witworth, Gama de pasos modulares, Gama de pasos Diametral Pitch. Paso del husillo patrón.



Contrapunto

Diámetro de la caña del contrapunto, Recorrido de la caña del contrapunto, Cono Morse del contrapunto.

Motores:

Potencia del motor principal en kW. Potencia de la motobomba de refrigerante en kW.

2.2.5. Proceso de fabricación

Un proceso de fabricación, también denominado manufactura o producción, es el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas. Dichas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño o la estética.

En la inmensa mayoría de los casos, para la obtención de un determinado producto serán necesarias multitud de operaciones individuales de modo que, dependiendo de la escala de observación, puede denominarse proceso tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los recursos naturales necesarios hasta la venta del producto como a las realizadas en un puesto de trabajo con una determinada máquina-herramienta.

2.2.6. Mecanizado

El mecanizado por arranque de material es el conjunto de operaciones que partiendo de una pieza en bruto (tocho), y eliminando o arrancando parte del material que la compone se obtiene una pieza de la forma y dimensiones deseadas. Por lo tanto, en este tipo de proceso, por definición, no se produce aporte de material, ni se le da forma por doblado, ni estiramiento.



2.2.6.1. Mecanizado por arranque de viruta

El material es arrancado o cortado con una herramienta dando lugar a viruta. La herramienta generalmente consta de uno o varios filos o cuchillas que separan la viruta de la pieza en cada pasada. En el mecanizado por arranque de viruta se dan procesos de desbaste (eliminación de mucho material con poca precisión; proceso intermedio) o de acabado (eliminación de poco material con mucha precisión, para dejar terminada la pieza). Sin embargo, tiene una limitación física: no se puede eliminar todo el poco material que se quiera porque llega un momento en que el esfuerzo para apretar la herramienta contra la pieza es tan liviano que la herramienta no penetra y no se llega a extraer viruta.

2.2.6.2. Movimientos de corte

En el proceso de mecanizado por arranque de material intervienen dos movimientos: El movimiento de corte, por el cual la herramienta corta el material y el movimiento de avance, por el cual la herramienta encuentra nuevo material para cortar. Cada uno de estos dos movimientos lo puede tener la pieza o la herramienta según el tipo de mecanizado.

2.2.7. Diferenciaremos los trabajos manuales, de los hechos con Máquina herramienta

2.2.7.1. Mecanizado manual

Los manuales: son los realizados por una persona con herramientas exclusivamente manuales, serrado, limado, cincelado, burilado, en estos casos un operario un ajustador, burilista o artesano mecaniza una pieza con las herramientas indicadas, y el esfuerzo manual.



2.2.7.2. Mecanizado con máquina herramienta

El mecanizado se hace mediante una máquina herramienta, manual, semi-automática o automática, pero el esfuerzo de mecanizado es realizado por un equipo mecánico, con los motores y mecanismos necesarios.

- **Torno:** el torno es la máquina herramienta de mecanizado más difundida, si bien solo puede realizar piezas de revolución, estas son en la industria las de uso más general, la pieza se fija en el plato del torno, que realiza el movimiento de corte girando sobre su eje, la cuchilla realiza el movimiento de avance eliminando el material en los sitios precisos.

El torneado es una operación con arranque de viruta que permite la elaboración de piezas cilíndricas, cónicas y esféricas, mediante el movimiento uniforme de rotación alrededor del eje fijo de la pieza.

2.2.8 Profundidad de corte.

Se denomina profundidad de corte a la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta; generalmente se designa con la letra "d" y se mide en milímetros en sentido perpendicular; en las máquinas donde el movimiento de la pieza es giratorio (Torneado y Rectificado) o de la herramienta (Mandrinado), la profundidad de corte se determina según la fórmula:

$$d = \frac{D_f - D_i}{2} \quad (2.1)$$

En donde: D_i = Diámetro inicial de la pieza (mm).
 D_f = Diámetro final de la pieza (mm).
d = profundidad de corte (mm).



2.2.9. Velocidad de avance.

Se entiende por Avance al movimiento de la herramienta respecto a la pieza o de esta última respecto a la herramienta en un periodo de tiempo determinado.

El Avance se designa generalmente por la letra "s" y se mide en milímetros por una revolución del eje del cabezal o porta-herramienta, y en algunos casos en milímetros por minuto.

2.2.10. Velocidad de corte.

Es la distancia que recorre el "filo de corte de la herramienta al pasar en dirección del movimiento principal (Movimiento de Corte) respecto a la superficie que se trabaja: El movimiento que se origina, la velocidad de corte puede ser rotativo o alternativo; en el primer caso, la velocidad de, corte o velocidad lineal relativa entre pieza y herramienta corresponde a la velocidad tangencial en la zona que se esta efectuando el desprendimiento de la viruta, es decir, donde entran en contacto herramienta y, pieza y debe irse en el punto desfavorable. En el segundo caso, la velocidad relativa en un instante dado es la misma en cualquier punto de la pieza o la herramienta.

"En el caso de maquinas con movimiento giratorio (Tomo, Taladro, Fresadora, etc.), la velocidad de corte esta dada por:

$$V_c = \frac{\pi D \times N}{1000} \quad (2.2)$$

En donde:

D = diámetro correspondiente al punto más desfavorable (mm).

N = número de revoluciones por minuto a que gira la pieza o la herramienta.

V_c = Velocidad de Corte (m/min)

1000 : convierte el valor en metros



A continuación se da una breve descripción del proceso de torneado así como algunas de sus características.

Tabla N° 2.1. Descripción del proceso del torneado (Características)

<i>Proceso</i>	<i>Definición del Proceso</i>	<i>Equipo</i>
Torneado	Es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de punta sencilla remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación	El torneado se lleva a cabo tradicionalmente en una maquina llamada torno
<i>Definición del Equipo</i>	<i>Clasificación del equipo</i>	<i>Herramienta</i>
El torno es una maquina, la cual suministra la potencia para tornear la parte a una velocidad de rotación determinada con avance de la herramienta y profundidad de corte especificado	Torno para herramientas <ul style="list-style-type: none"> • Torno de Velocidad • Torno Revólver • Torno de Mandril • Maquina de Barra Automática • Tornos controlados Numéricamente 	Se usan herramientas de punta sencilla, para la operación de roscado, se ejecuta con un diseño con la forma de la cuerda a producir. El torneado de formas se ejecuta con una de diseño especial llamada herramienta de forma.
<i>Definir Herramienta</i>	<i>Clasificación de la Herramienta</i>	<i>Operaciones Relacionadas con el Torneado</i>
Se usa una herramienta de corte con un borde cortante simple destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria para dar forma de cilindro.	<ul style="list-style-type: none"> • Cabezal • Contrapunto • Tortea • Carro Transversal • Carro Principal 	<ul style="list-style-type: none"> • Careado • Torneado Ahusado o • Torneado de Contornos • Torneado de Formas • Achaflanado • Tronzado • Perforado

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/torno.html>



2.2.11. Corte de metales

El corte de los metales se logra por medio de herramientas con la forma adecuada. Una herramienta sin los filos o ángulos bien seleccionados ocasionará gastos excesivos y pérdida de tiempo. En casi todas las herramientas de corte existen de manera definida: superficies, ángulos y filos.

Las superficies de los útiles de las herramientas son:

- Superficie de ataque: Parte por la que la viruta sale de la herramienta.
- Superficie de incidencia. Es la cara del útil que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza.

Los ángulos son:

- **Ángulo de incidencia** (alfa). Es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia del útil. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.
- **Ángulo de filo** (beta). Es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque del útil. Establece qué tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo que tan débil es.
- **Ángulo de ataque** (gama). Es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque del útil. Sirve para el desalojo de la viruta, por lo que también disminuye la fricción de esta con la herramienta.
- **Ángulo de corte** (delta). Es el formado por la tangente de la pieza y la superficie de ataque del útil. Define el ángulo de la fuerza resultante que actúa sobre el buril.



- **Ángulo de punta** (ϵ). Se forma en la punta del útil por lo regular por el filo primario y el secundario. Permite definir el ancho de la viruta obtenida.
- **Ángulo de posición** α (α). Se obtiene por el filo principal de la herramienta y el eje de simetría de la pieza. Aumenta o disminuye la acción del filo principal de la herramienta.
- **Ángulo de posición** (λ). Es el que se forma con el eje de la herramienta y la radial de la pieza. Permite dar inclinación a la herramienta con respecto de la pieza.

2.2.12. Filos de la herramienta:

Filo principal. Es el que se encuentra en contacto con la superficie desbastada y trabajada.

Filo secundario. Por lo regular se encuentra junto al filo primario y se utiliza para evitar la fricción de la herramienta con la pieza. La suma de los ángulos α , β y γ es siempre igual a 90° . Para la definición de los valores de los ángulos se han establecido tablas producto de la experimentación.

2.2.13. Fuerzas que actúan en una herramienta de corte

De manera simplificada se puede decir que actúan en una herramienta tres fuerzas:

Fuerza radial, Fr. Se origina por la acción de la penetración de la herramienta para generar el corte y como su nombre lo señala actúa en el eje radial de la pieza.

Fuerza longitudinal, Fl. Es la que se produce por el avance de la herramienta y su actuación es sobre el eje longitudinal de la pieza. **Fuerza tangencial, Ft.** Es la fuerza más importante en el corte y se produce por la acción de la pieza sobre la herramienta



en la tangente de la pieza. La contribución de las tres fuerzas como componentes de la resultante total es:

$$F_r = 6\% \quad F_l = 27\% \quad F_t = 67\%$$

Producto de acción de las tres fuerzas de corte se tiene una resultante que es la que deberá soportar la herramienta. Se debe tener en consideración que como las fuerzas son cantidades vectoriales es muy importante su magnitud, dirección, posición y punto de apoyo. A continuación se presentan representaciones de corte con torno en donde se muestran las fuerzas involucradas en el proceso y los ángulos de corte y de la herramienta.

2.2.14 Temperatura de corte

Como en todas las operaciones de trabajo en metales, la energía disipada en la operación de corte se convierte en calor, que a su vez eleva la temperatura en la zona de corte. Casi toda la energía que se consume en el maquinado (aproximadamente el 98%) es convertida en calor. Este calor puede hacer que las temperaturas sean muy altas en la interfase herramienta-viruta; las temperaturas de más de 100°F (540°C) no son inusuales. La energía restante (cerca del 2%) se retiene como energía elástica en la viruta. Es importante conocer el aumento de temperatura, por los siguientes fenómenos:

- § Una temperatura excesiva afecta negativamente la resistencia, dureza y desgaste de la herramienta de corte.
- § Al aumentar el calor se provocan cambios dimensionales en la parte que se maquina, y se dificulta controlar la exactitud dimensional.
- § El calor puede inducir daños térmicos en la superficie maquinada, que afectan negativamente sus propiedades.



§ La misma maquina herramienta se puede exponer a temperaturas elevadas y variables, causando su distorsión y, en consecuencia, mal control dimensional de la pieza.

Debido al trabajo efectuado para cizallar y superar la fricción en la cara de ataque de la herramienta, las fuentes principales generadoras de calor son la zona primaria de corte y la interfase herramienta-viruta. Además, si la herramienta esta desafilada o gastada, también se genera calor cuando su punta frota la superficie maquinada.

Las temperaturas de corte aumentan con la resistencia del material de la pieza, la velocidad de corte y la profundidad de corte; disminuyen al aumentar el calor específico y la conductividad térmica del material de la pieza. Se ha visto que la temperatura media en el torneado es proporcional a la velocidad de corte y al avance, es decir

$$\text{Temperatura media} \propto V^a f^b. \quad (2.3)$$

donde a y b son constantes que dependen de los materiales de la herramienta y de la pieza, V es la velocidad de corte y f es el avance de la herramienta, esto es, lo que se mueve la herramienta en cada revolución de la pieza. Los valores aproximados de los exponentes a y b son los siguientes, para dos materiales distintos:

Material de la herramienta	a	b
Carburo	0.2	0.125
Acero rápido	0.5	0.375



En la fig. 2.10 se muestra una distribución típica de temperatura en la zona de corte. Nótese la presencia de grandes gradientes térmicos, y que la temperatura máxima se presenta más o menos a la mitad del recorrido por la cara de la herramienta. La distribución particular de temperatura depende de factores como el calor específico y la conductividad térmica de los materiales de la herramienta y de la pieza, la velocidad de corte, profundidad de corte y la clase de fluido de corte que se usa (si la hay).

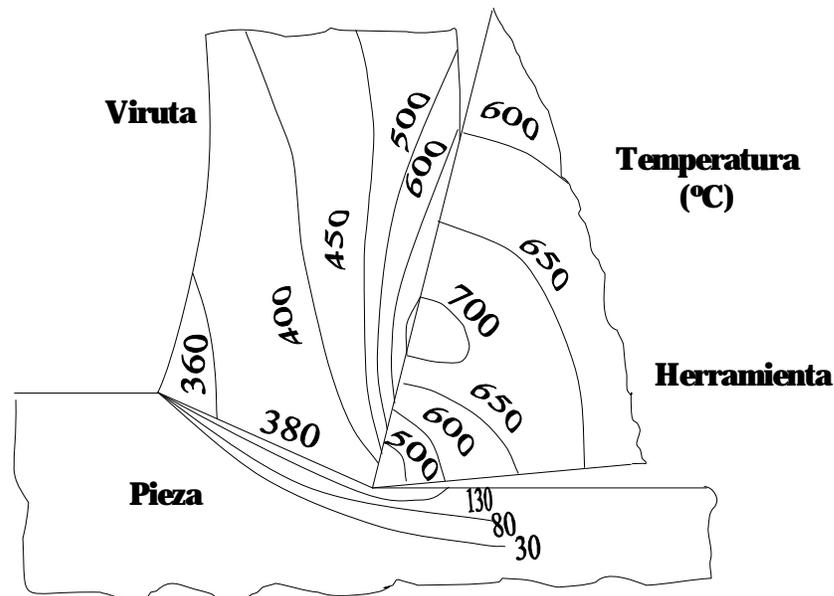


Figura 2.10: Distribución típica de temperaturas en la zona de corte. Nótese los gradientes de temperaturas en el interior de la herramienta y la viruta. [Kalpakjian Serope, Schmid Steven R (2002)]

Las temperaturas que se desarrollan en una operación de torneado de acero 52100 se ven en la fig.2.11 y fig.2.12. La distribución de temperaturas a lo largo del flanco de la herramienta se ve en la fig.2.11, para velocidades de corte V de 60, 90 y 170 m/min (200, 300 y 550 pies/min), respectivamente, en función de la distancia al filo de la herramienta.

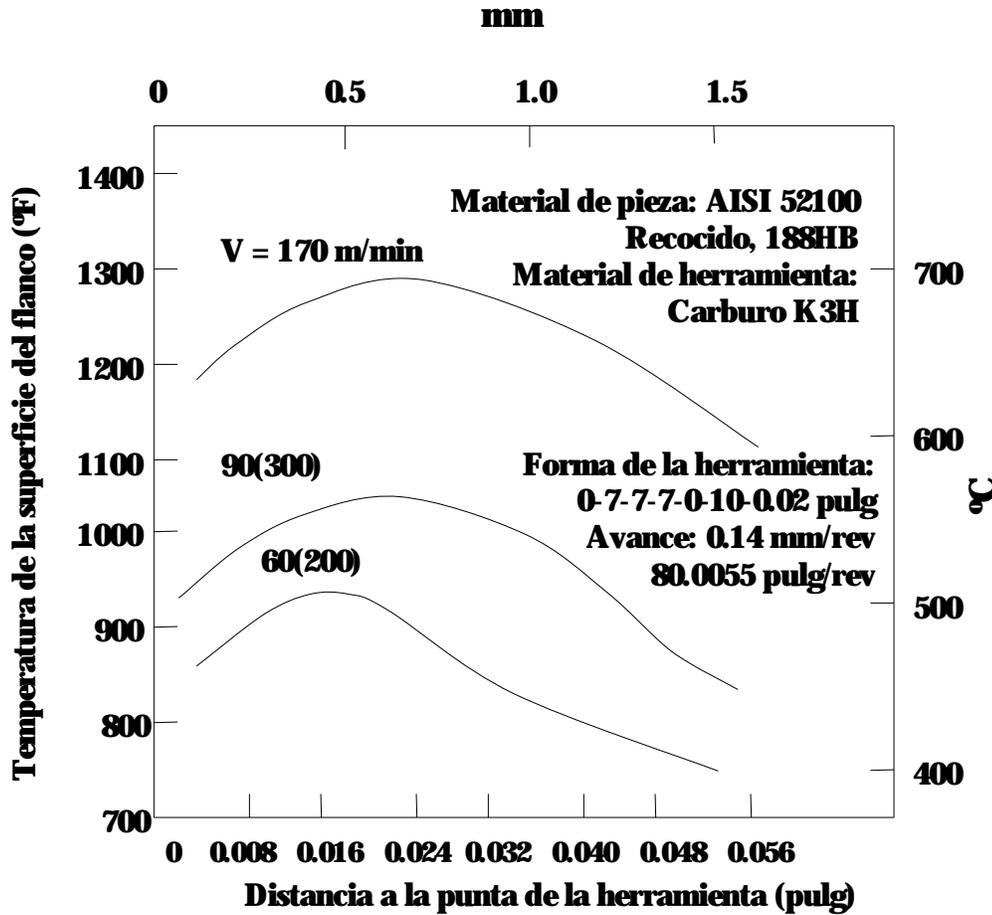


Figura 2.11. Temperatura al cilindrar acero 52100: Distribución de temperatura en el flanco[Kalpakjian Serope, , Schmid Steven R (2002)]

La fig.2.12 muestra la distribución de temperaturas en la interfase herramienta-viruta para las mismas tres velocidades de corte, en función de la fracción de la longitud de contacto. El cero de la abscisa representa la punta de herramienta, y el 1.0 representa el final de la longitud de contacto entre herramienta y viruta.

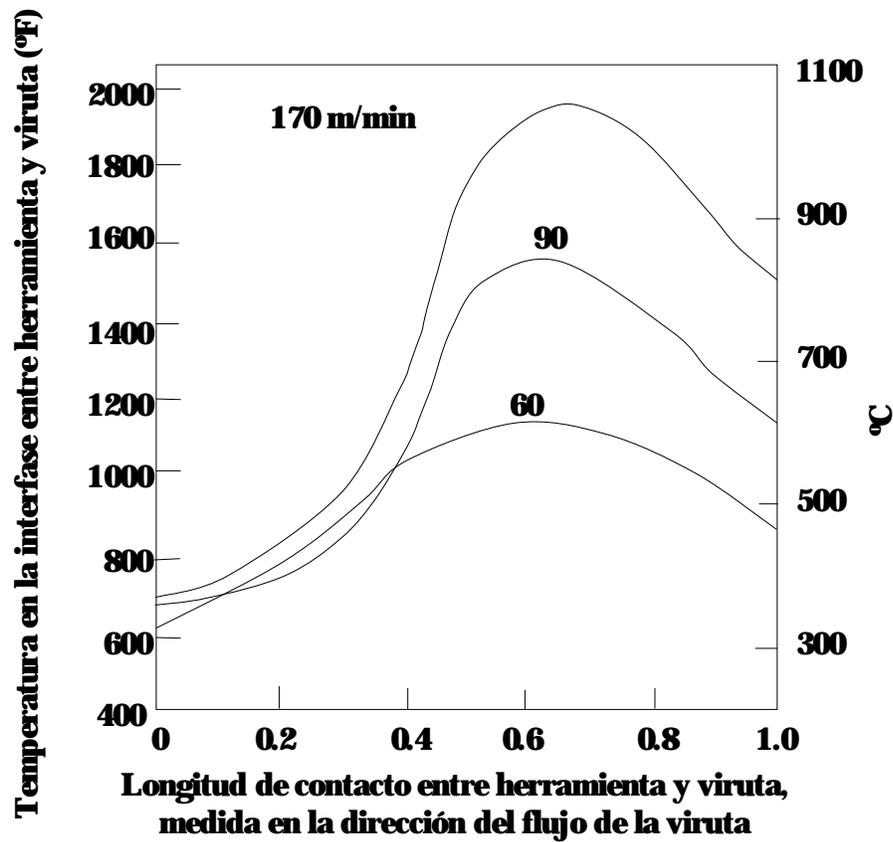


Figura 2.12. Temperatura al cilindrar acero 52100: Distribución de temperatura en el contacto entre herramienta y viruta. [Kalpakjian Serope, Schmid Steven R (2002),]

Nótese que la temperatura aumenta con la velocidad de corte y que la máxima temperatura es casi 1100°C (2000°F). Se puede comprobar la presencia de temperaturas tan altas observando el color azul oscuro de las virutas (debido a la oxidación) que se desarrolla a altas velocidades de corte. Las virutas pueden calentarse al rojo y crear un riesgo de seguridad para el operador.

Según la ecuación (2.3), y con los valores para el exponente a , se puede ver que la velocidad de corte influye mucho sobre la temperatura. Al aumentar la velocidad disminuye el tiempo para disipar el calor y aumenta la temperatura. Este

efecto se puede demostrar con facilidad frotándose las manos más y más rápidamente.

La viruta se lleva gran parte del calor generado (fig.2.14). Al aumentar la velocidad de corte, la viruta aparta una mayor proporción del calor generado y pasa poca cantidad a la pieza. Es una de las razones por las que las velocidades de maquinado, en la práctica, se han incrementado al paso de los años, otra razón es por los beneficios económicos de reducir los costos de maquinado.

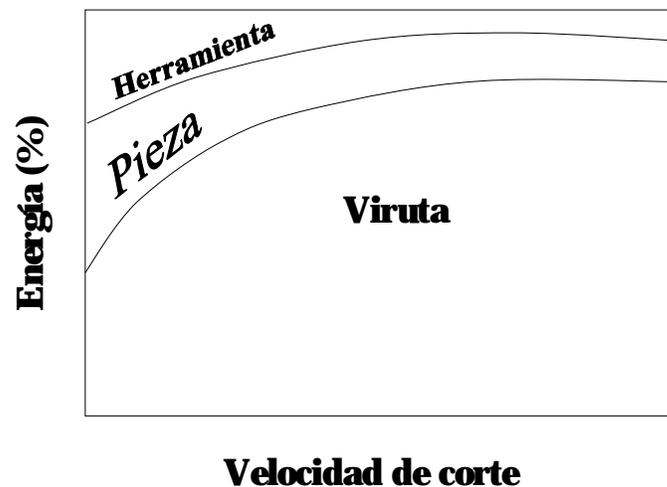


Figura 2.13. Porcentaje de calor generado en corte que pasa a la pieza, a la herramienta y la viruta, en función de la velocidad de corte. Nótese que la viruta se lleva la mayor parte del calor

[Kalpakjian Serope, Schmid Steven R (2002)]

2.15. Técnicas para medir la temperatura.

Se pueden determinar las temperaturas y su distribución en la zona de corte mediante termopares embebidos en la herramienta y/o la pieza. Esta técnica se ha aplicado con éxito, aunque implica esfuerzos considerables. Es más fácil determinar la temperatura promedio con la femtérnica (fuerza electromotriz térmica) en la interfase herramienta-viruta, que actúa como empalme caliente entre dos materiales distintos: de la herramienta y de la viruta.



Se puede vigilar la radiación infrarroja de la zona de corte con un pirómetro de radiación. Sin embargo, con esta técnica solo se indican temperaturas superficiales; la exactitud de los resultados depende de la emisividad de las superficies, que es difícil de determinar con exactitud.

En esta sección se analizarán los métodos de cálculo y de medida de las temperaturas de maquinado.

2.2.15.1. Métodos analíticos:

Hay varios métodos para estimar la temperatura de corte. Las referencias de Boothroyd, G., and Kningt (1989) y Chao, B. T., and Trigger, K. J.,(1955), presentan algunas de estas aproximaciones. Describimos el método de Cook (1973). Este método se derivó de un análisis dimensional, usando datos experimentales para valores de los parámetros es la ecuación resultante. La ecuación se puede usar para predecir la elevación de la temperatura en la interfase herramienta-viruta durante el maquinado.

$$T = 0.4 \frac{U}{\rho C} \left(\frac{vt_0}{K} \right)^{0.333} \quad (2.4)$$

Donde:

T= aumento de la temperatura media en la interfase herramienta-viruta, °F (°C)

U = energía específica en la operación, pulg-lb/pulg² (N-m/mm²)

v = velocidad de corte, pulg/s (m/s)

t₀ = espesor de la viruta antes del corte, pulg (m)

C = calor específico volumétrico del material de trabajo, pulg-lb/pulg³-°F(J/mm³-°C)

K = difusividad térmica del material de trabajo; pulg²/s (m²/s)



2.2.15.2. Medición de la temperatura de corte.

Se han desarrollados métodos experimentales para la medición de temperatura en maquinado. Las técnicas de medición más frecuentemente usadas son los termopares herramienta-viruta. Este termopar toma la herramienta y la viruta como dos metales diferentes que forman una junta de termopares. Conectado apropiadamente las terminales eléctricas a la herramienta y a la parte de trabajo (que está conectada a la viruta), se puede registrar la diferencia de potencial generada por la interfase herramienta-viruta durante el corte mediante un potenciómetro registrador u otro dispositivo colector de datos apropiado. La diferencia de potencial resultante del termopar herramienta-viruta se puede convertir al valor de temperatura correspondiente mediante ecuaciones de calibración para la combinación particular herramienta-viruta.

El termopar herramienta-viruta se ha utilizado por los investigadores para estudiar la relación entre la temperatura y las condiciones de corte como velocidad y avance. Trigger (12) determinó la relación entre velocidad y temperatura y obtuvo la siguiente forma general:

$$T = Kv^m \quad (2.5)$$

Donde:

T = temperatura medida en la interfase herramienta-viruta

v = velocidad de corte.

Los parámetros K y m depende de las condiciones de corte (diferentes a v) y del material de trabajo. En la figura 2.16 se muestran las gráficas de la temperatura contra velocidad de corte para varios materiales de trabajo, con ecuaciones similares a la ecuación (2.5) determinadas para cada material. Existe una relación similar entre la temperatura de corte y el avance; sin embargo, el efecto del avance sobre la temperatura no es tan fuerte como la velocidad de corte. Los resultados empíricos tienden a apoyar la validez general de la ecuación de Cook, ecuación (2.4)

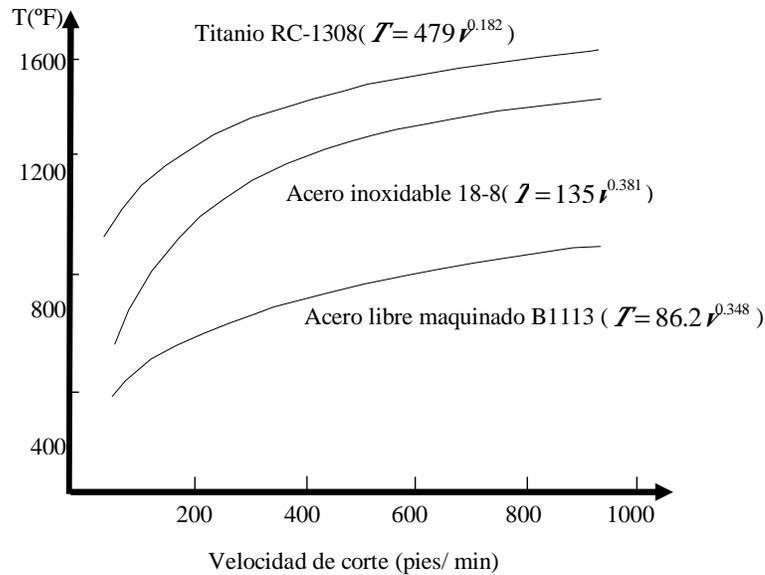


Figura 2.14. Temperatura de corte medidas experimentalmente y graficadas contra la velocidad de corte para tres materiales de trabajo, mostrando conformidad con la ecuación (2.3) basada en datos de Chao, B. T., and Trigger, K. J.,(1955)

2.2.16 Termopares.

Antes de una explicación de los principios de funcionamiento, vamos a presentar rápidamente las termocuplas (También conocidas como termopares). En su aspecto básico, consisten de dos alambres de metales distintos. Dichos alambres están soldados en un extremo, y terminan en una ficha especial en el otro (Clavija).

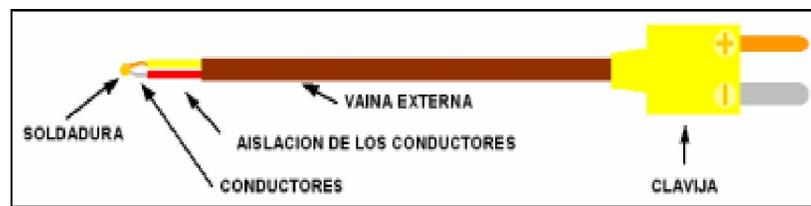


Figura 2.15. Termocupla [Gamboa José. (2004)]

La lista de los materiales empleados como alambres, puede extenderse indefinidamente. Sin embargo, se han estandarizado unas pocas combinaciones. Para

distinguir las, podemos mencionar sus materiales constituyentes: “Una termocupla de Cromel-Alumel”, o también usamos una letra identificatoria: “Una termocupla K”.

La condición indispensable es que los materiales de los conductores deben ser distintos (y homogéneos, o sea sin concentraciones de impurezas). La termocupla produce en el extremo de la clavija, una fem que depende de la diferencia de temperaturas entre la soldadura y la clavija misma. Como el sentido de la tensión es importante, distinguimos a los conductores con los signos positivo y negativo, para no confundirlos. Podemos identificar los signos en la clavija.

El siguiente gráfico nos muestra como evoluciona la fem generada por algunas de las termocuplas típicas en función de la temperatura:

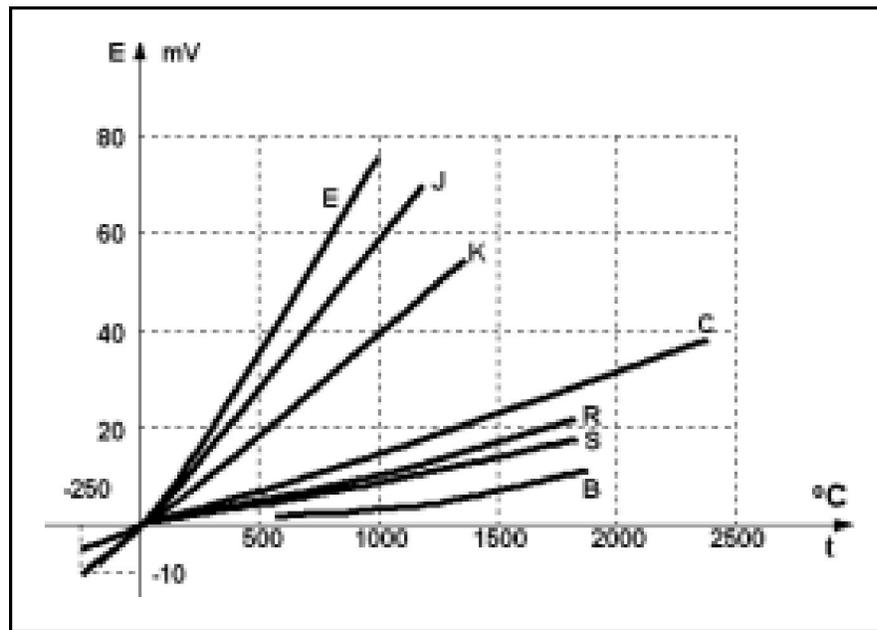


Figura 2.16 Evolución de la f.e.m. generada por algunas termocuplas típicas en función de la temperatura [Gamboa José. (2004)]



Los colores del aislamiento de los cables, de la vaina externa, o de la clavija representan códigos de identificación, según distintas normas internacionales. Mas adelante mostraremos estos códigos.

2.2.17. Alambres para termocuplas:

Los materiales conductores con los que construimos las termocuplas, tienen ciertos requerimientos para poder utilizarlos con este fin.

Por un lado, deben mantener sus propiedades mecánicas a las temperaturas que pretendemos medir. Las partes sometidas a altas temperaturas, sufren en algunos casos procesos de sublimación, recristalización, etc. También existe, y debemos considerar la acción química del medio ambiente, que normalmente es de naturaleza corrosiva. Por ejemplo, el platino funciona bien en medios neutros y oxidantes, pero se desgasta rápidamente en medios reductores. En el vacío, sublima a 500°C. Normalmente lo usamos para mediciones desde 300 hasta unos 1600°C. El tungsteno, el molibdeno, el renio y sus aleaciones, soportan el vacío, y las atmósferas reductoras (de hidrógeno), pero su vida útil es muy corta en medios oxidantes. Existen muchas aleaciones de níquel de aplicación en las termocuplas. También encontramos el hierro y el cobre. Es muy importante el uso de metales puros y homogéneos (o sea sin concentraciones de impurezas), ya que de no cumplir este requisito, podemos introducir errores del orden de 10 a 25 °C, y mas también. Esto último está sumamente ligado a las causas de inexactitudes en las mediciones. El uso de estos elementos puede acarrear procesos de recristalización de los alambres, la evaporación o sublimación de uno de los componentes de la aleación, el intercambio de impurezas con el medio ambiente (envenenamiento), etc. Debido a que las termocuplas entregan fems del orden de 10 a 70 μV por cada °C de aumento de temperatura, resulta obvio que a igualdad de las restantes condiciones, elegiremos aquellas que sean más sensibles, o sea que entreguen mayores fems, para iguales saltos térmicos.



Otro factor a tener en cuenta, es la calidad de los materiales que acompañan a los alambres de las termocuplas, ya que suelen condicionar el funcionamiento de estas.

2.2.18 Clasificación de las termocuplas más usuales:

Por ejemplo, las termocuplas tipo K, según normas ANSI, vienen con vaina marrón, siendo la aislación de su conductor positivo (Cromel: Aleación de cromo y níquel) de color amarillo, mientras que la de su conductor negativo (Alumel: Aleación de aluminio y níquel) de color rojo. También podemos identificarlas por las clavijas de color amarillo. La siguiente tabla muestra las termocuplas más usuales:

Tabla 2.2. Clasificación de las termocuplas más usuales.

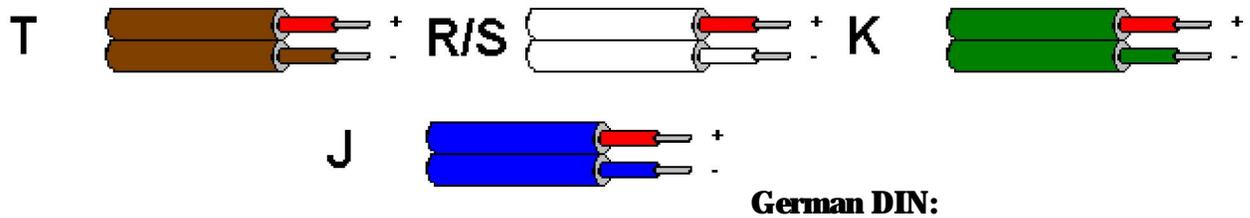
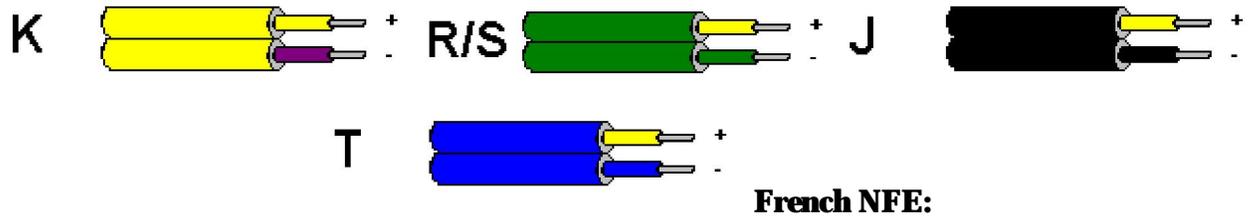
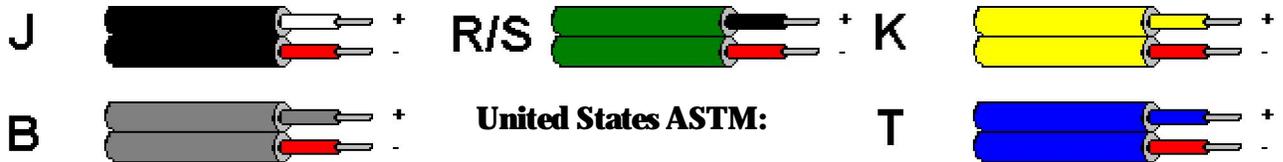
Tipo	Materiales		Rangos	
	Conductor +	Conductor -	Temp. °C	Tensión(mV)
B	Platino + 30% Rodio	Platino + 6% Rodio	600 a 1820	1,792 a 13,82
C	Tungsteno + 5% Rhenio	Tungsteno + 26% Rhenio	0 a 2316	0 a 37,079
E	Níquel-Cromo (Chromel)	Cobre-Níquel (Constantán)	-250 a 1000	-9,719 a 76,37
J	Hierro	Cobre-Níquel (Constantán)	-210 a 1200	-8,096 a 69,555
K	Níquel-Cromo (Chromel)	Níquel Aluminio	-200 a 1372	-5,891 a 54,886
L	Hierro	Cobre-Níquel (Constantán)	-200 a 900	-8,166 a 53,147
N	Níquel-Cromo-Silicio (Nicrosil)	Níquel-Silicio-Magnesio (Nisil)	-200 a 1300	-3,990 a 47,514
R	Platino + 13% Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,101 a 21,089
S	Platino + 10% Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,103 a 18,682
T	Cobre	Cobre-Níquel (Constantán)	-250 a 400	-6.181 a 20,873
U	Cobre	Cobre-Níquel	-200 a 600	-5,693 a 34,320

Fuente: Gamboa José. (2004)



2.2.19. Códigos de color de los Termocuplas

El alambrado de las termocuplas esta codificado dependiendo del tipo. Diferentes países utilizan códigos diferentes para los colores. Los códigos más comunes son:



British BS4937: Part 30: 1993:

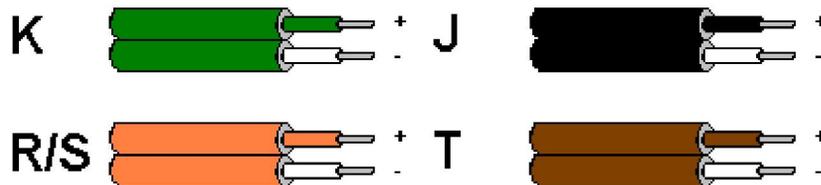


Figura 2.17.A. Código de colores de las termocuplas. [Gamboa José. (2004)]

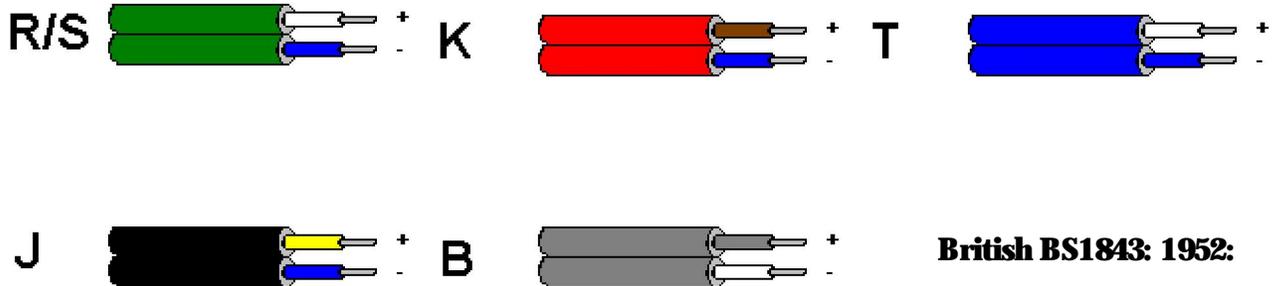


Figura 2.17.B. Código de colores de las termocuplas. [Gamboa José. (2004)]

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

- I. **Ley del circuito homogéneo.** En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
- II. **Ley de metales intermedios.** Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

- III. **Ley de las temperaturas sucesivas.** La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_1 T_3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T_1 T_2 de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_2 T_3 .

2.2.20. Cómo funcionan los Termopares

El comportamiento de un termopar se basa en la teoría del gradiente, según la cual los propios hilos constituyen el sensor. La Figura 2A ilustra este concepto. Cuando se calienta uno de los extremos de un hilo, le produce una tensión que es una función de (A) el gradiente de temperatura desde uno de los extremos del hilo al otro, y (B) el coeficiente de Seebeck, una constante de proporcionalidad que varía de un metal a otro.

Un termopar se compone sencillamente de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro (Figura 2b). La tensión que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales utilizados en los dos hilos. Todos los pares de metales distintos presentan esta tensión, denominada tensión de Seebeck en honor a su descubridor, Thomas Seebeck.

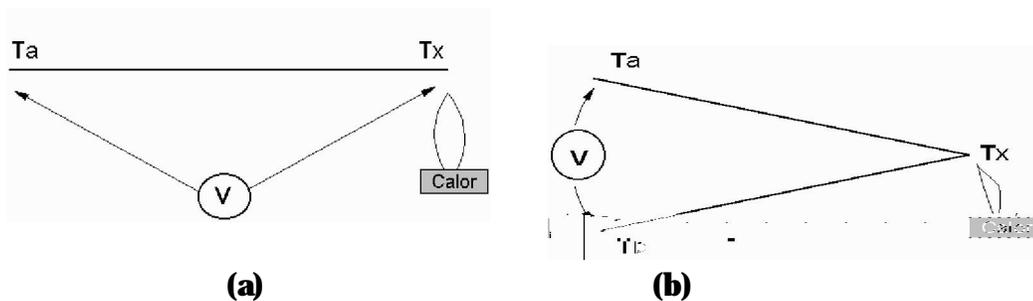


Figura 2.18a y 2.18b Muestra el comportamiento de los termopares utilizada la teoría del gradiente [Gamboa José. (2004)]



2.2.21. Datos Técnicos de Referencia de las Termocuplas.

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

Tabla 2.3. Datos técnicos de referencia de la termocupla

Tipo de Termocupla	Nombre del material	Uso y rango de aplicación (°F)	μVoltios
B	Platinum 30% Rhodium (+) Platinum 6% Rhodium (-)	100 – 3270	0.007-13.499
C	W5Re Tungsten 5% Rhenium (+) W26Re Tungsten 26% Rhenium (-)	3000-4200	-
E	Chromel (+) Constantan (-)	32 – 1800	0 – 75.12
J	Iron (+) Constantan (-)	-300 – 1600	-7.52 – 50.05
K	Chromel (+) Alumel (-)	-300 – 2300	-5.51 – 51.05
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	1200-2300	-
R	Platinum 13% Rhodium (+) Platinum (-)	32 - 2900	0 – 18.636
S	Platinum 10% Rhodium (+) Platinum (-)	32 - 2800	0 – 15.979
T	Copper (+) Constantan (-)	-300 – 750	-5.28 – 20.80

Fuente: Gamboa José. (2004)

2.3. Modelos, teorías o sistemas referidos a la investigación.

2.3.1. Técnica termocupla herramienta / viruta.

En 1.955 Kasuo Nakayama presentó un trabajo en la Universidad Nacional de Yokohama, donde determinó el incremento de la temperatura de corte de un mecanizado. La temperatura que se mide con estos ensayos es un promedio de la temperatura producida en la región donde se efectúa el corte. En esta técnica se considera que la fuerza electromotriz (fem), generada por el calor producido en la interfase pieza-herramienta es una medida del incremento de las temperaturas generadas en dicha zona. En la operación de torneado el circuito del termopar se completa conectando la pieza a un anillo que desliza en mercurio y se monta en la parte posterior del husillo del torno y finalmente conectando un milivoltímetro entre el anillo y la herramienta de corte. Algunas limitaciones de esta técnica son principalmente: la eliminación de las fem. parásitas puede efectuar la salida de la termocupla, la calibración de la salida de la termocupla se hace difícil, se debe tener muchas precauciones al trabajar con el mercurio líquido. El esquema del método utilizado se muestra en la figura 2.21 (Pascazi y Vegas, (1983).

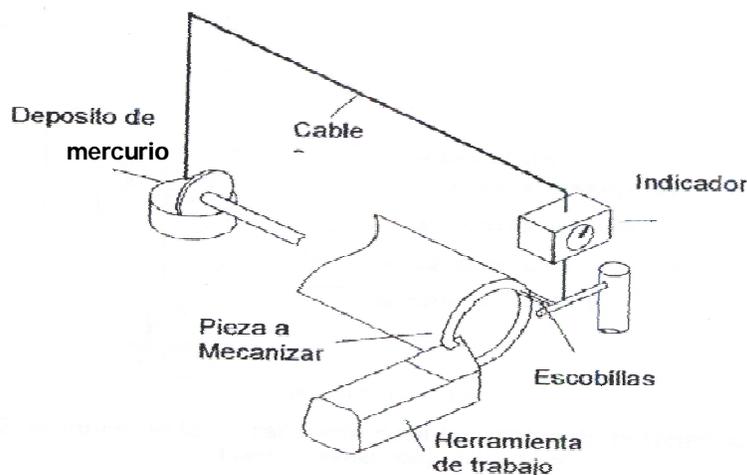


Figura 2.19. Técnica termocupla herramienta/Viruta. [Gamboa José. (2004)]

Los componentes de este montaje son los siguientes:

- Ø Deposito de mercurio con la finalidad de mantener en contacto eléctrico la pieza a mecanizar cuando está en movimiento, con el resto del circuito.
- Ø Cables conductores.
- Ø Pieza a mecanizar.
- Ø Herramienta de corte.
- Ø Tres alambres de constatán formando una escobilla utilizados para estar en contacto con la superficie a mecanizar.
- Ø Milivoltímetros.

2.3.2 Técnica termocupla encajada.

En 1.977, M. Groover, R. Karpovich y E. Levy en la Universidad de Lehigh, Pennsylvania, USA aplicaron esta técnica. Una herramienta especial, Valente modelo SVBB-16, hecha con agujeros maquinados para colocar la termocupla. Un bosquejo de la instalación es presentado en la figura 2.22.

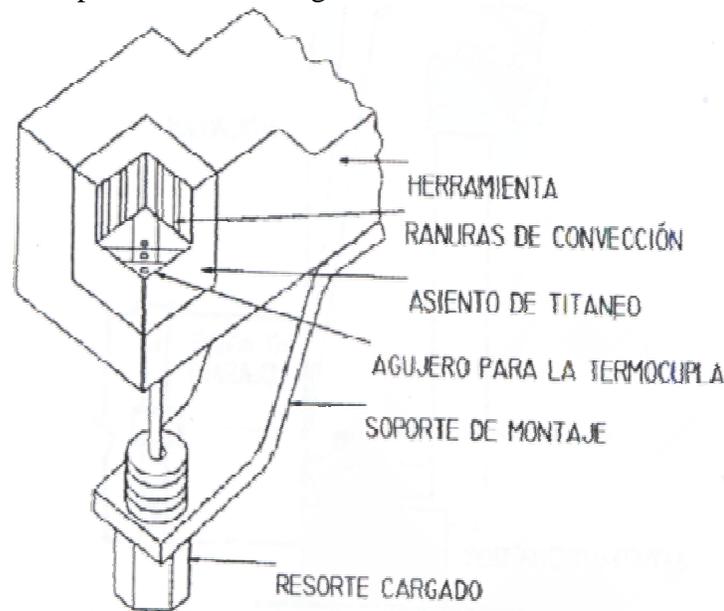


Figura 2. 20. Técnica termocupla encajada. [Gamboa José. (2004)]



Las termocuplas son estándar de hierro-constantán protegidas con una envoltura de 0.04 pulgadas de diámetro de acero inoxidable. El alambre de la termocupla fue aterrado para reducir el problema de perturbación eléctrica y prevenir el corto circuito de la junta caliente contra el inserto de corte. Una termocupla tipo reducido de diámetro 0.02 pulgadas fue seleccionada para mejorar el tiempo de respuesta sin sacrificar rigidez. Los agujeros en la herramienta de trabajo y el asiento cerca de 0.002 pulgadas de claro con la funda, para así tener una buena colocación y estabilidad para la termocupla y el punto de la cara inferior de la herramienta de corte.

2.3.3 Técnica por radiación infrarroja.

El primer uso de esta técnica fue reportado por Schwerd, quien desarrollo un pirómetro de radiación total para determinar la distribución de temperatura en la superficie de la herramienta y pieza de trabajo, ver la figura 2.23.

Las radiaciones se hicieron converger en una termocupla de manera tal que el punto de medida tuviese un diámetro de 2mm. Esto se hace para que la temperatura medida sea puntual y no una temperatura promedio.

Diversas investigaciones intentaron penetrar la interfase viruta- herramienta a través de agujeros taladrados en herramienta y/o pieza. La limitación de esta medición es que hay considerable interferencia de la zona de contacto que tiene influencia con el flujo de calor y la temperatura que resulta en cualquiera de las superficies, de la viruta o de la herramienta.

Boothroyd propuso el método de fotografías infrarrojas, que podía obtener un campo de temperatura completo en la viruta y la pieza de trabajo. El montaje como se muestra en la siguiente figura fue utilizado para este experimento.

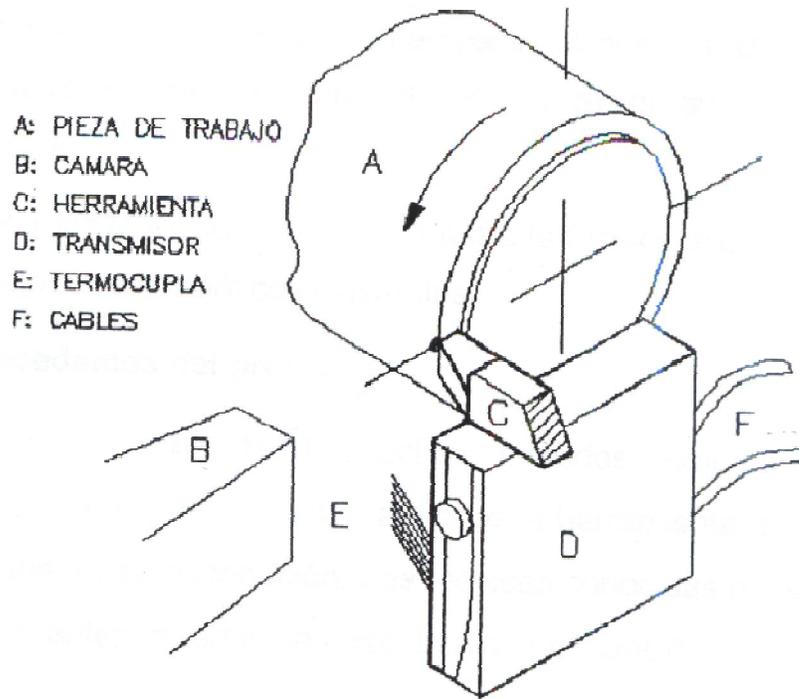


Figura 2.21. Técnica de radiación infrarrojo. [Gamboa José. (2004)]

2.3.4 Especificación técnica del material

Tabla 2.4 Composición química del acero AISI 4140

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO C 0.425%	AZUFRE S 0.03%	FÓSFORO P 0.011%	SILICIO C 0.25%	MANGANESO Mn 0.775%
CROMO Cr 1.06%	NIQUEL NI ---	MOLIBDENO Mo 0.175%	VANADIO V ---	TUNGSTENO W -----

Fuente: IMS S.p.A. axial special (SUMINDU)



Tabla 2.5 Características y aplicaciones del acero AISI 4140

CARACTERISTICAS GENERALES	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Es un acero de constricción de baja aleación al Cromo-Molibdeno • Relativamente alta templabilidad • Alta resistencia mecánica y tenacidad en estado bonificado (temple y revenido) • Resistente a la fragilidad de revenido • Maquinabilidad aceptable • Se suele utilizar en estado bonificado (temple o revenido) o nitrurado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de maquinarias en general Ejes, cigüeñales, barras de torsión, engranajes de baja velocidad, pernos de alta resistencia, árboles de transmisión. <p>Se recomienda en general para la fabricación de piezas de medianas dimensiones.</p>

Fuente: SUMINDU (ACEROS ESPECIALES E INOXIDABLES)

Tabla 2.6 Composición química del acero AISI 4340.

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO C 0,40%	AZUFRE S 0.024%	FÓSFORO P 0.022%	SILICIO C 0.20%	MANGANESO Mn 0.67%
CROMO Cr 0.69%	NIQUEL NI 0.71%	MOLIBDENO Mo 0.16%	VANADIO V ----	TUNGSTENO W -----

Fuente: Grupo lucelin TRAFILIX (FERRUM)



Tabla 2.7. Características y aplicaciones del acero AISI 4340

CARACTERISTICAS GENERALES	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Es un acero de construcción de baja aleación al Cromo-Niquel-Molibdeno • alta templabilidad • Alta resistencia mecánica y tenacidad en estado • Alta resistencia a la fatiga y a la torsión en estado bonificado (temple y revenido) • Se suele utilizar en estado bonificado (temple o revenido) o nitrurado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de maquinarias en altamente exigidos. • Ejes, cigüeñales, barras de torsión, engranajes de baja velocidad, pernos de alta resistencia, rotores, levas, bridas de alta presión, etc. • Se recomienda construcción de piezas de gran sección transversal altamente exigidas.

Fuente: SUMINDU (ACEROS ESPECIALES E INOXIDABLES)

2.3.5. Especificaciones técnicas del material (Equivalencia)

Tabla 2.8. Especificación técnica del material del acero AISI 4140

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR(Fr)	40CD4,42CD4
BS(Ing)	708M40
DIN(Alem)	17225
JIS(Jap)	SCM440
UNI(Ital)	40CrMo4
Grado Thyssen	42CrMoS4(42CD4)

Fuente: SUMINDU (ACEROS ESPECIALES E INOXIDABLES)



Tabla 2.9. Especificación técnica del material del acero AISI 4340

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR(Fr)	35NCD6
BS(Ing)	817M40
DIN(Alem)	16565
JIS(Jap)	SNCM439
UNI(Ital)	36NiCrMo4
Grado Thyssen	34CrNiMo6(silimar)

Fuente: SUMINDU (ACEROS ESPECIALES E INOXIDABLES)



CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel de la investigación.

La investigación seguirá los siguientes lineamientos:

Es descriptiva, según Tamayo, M (2001): Recoge sistemáticamente datos e información referida a hechos y situaciones, en el caso de este trabajo de investigación la información que será recopilada y analizada será la temperatura que se generará cuando se pone en contacto la herramienta de corte y el material de trabajo. Se identificarán propiedades de fenómenos o variables, se medirá cada una de ellas con la mayor precisión posible para así ofrecer la posibilidad de predicciones aunque sean rudimentarias o de primer nivel, en esta investigación se manipulan las variables: profundidad de corte (d) y la velocidad de corte (V_c), manteniendo constante el avance (f), para así predecir el comportamiento de la temperatura de corte. Los métodos de investigación aplicados son observación ya que, un ejemplo será el color de la viruta cuando se incrementa o se disminuye la variable involucrada, ahora la fase descriptiva aparece cuando hagamos la evaluación de la temperatura de corte en dichos materiales (**ASI-4140 y AISI 4340**).

Experimental, según Tamayo, M (2001): Su propósito es establecer posibles relaciones causa-efecto para la explicación del objeto de estudio, en el caso de esta investigación es medir la temperatura con la técnica de termoelectricidad y poder así evaluar la temperatura que se alcanza cuando se ponen en contacto la herramienta de corte con el material de trabajo (causa). En esta se manipulan deliberadamente las variables: profundidad de corte (d) y la velocidad de corte (V_c), manteniendo constante el avance (f), las cuales son independientes de la temperatura.



3.2. Diseño de la investigación

Esta investigación será experimental, ya que se efectuarán diferentes ensayos en los cuales se obtendrán una serie de registro o datos que serán expresados mediante gráficas, que vinculan el comportamiento de la temperatura de corte en el proceso de torneados cuando se manejan las variables como lo es la profundidad de corte (d), la velocidad de corte (V_c) y el avance (a), en barras cilíndricas de acero **AISI - 4140** y **AI - 4340**

3.3. Procedimiento de la investigación:

Las etapas de investigación que se utilizarán en esta investigación serán las siguientes:

Etapas 1: Se realizó una investigación completa en Internet, catálogos y bibliografías, en lo que respecta a parámetros relacionados con la medición de la temperatura de corte, en el proceso de torneado.

Etapas 2: Se tomó la decisión que método se utilizará para medir la temperatura de los materiales, para poder realizar el trabajo de grado.

Etapas 3: Se hizo el montaje de las probetas en el torno para de esta forma validar los resultados.

Etapas 4: Se seleccionó los parámetros de máquina a utilizar en la medición de la temperatura de corte, como son: profundidad de corte (d), la velocidad de corte (V_c) y el avance (f), éste último parámetros será constante.

Etapas 5: Se seleccionó los materiales a ensayar, utilizando barras cilíndricas de aceros **AISI - 4140** y **AISI - 4340** de 55 mm de diámetro inicial y 1 m de longitud.

Etapas 6: Se realizarán los ensayos, en el equipo montado, para obtener gráficas de Temperatura Vs Tiempo, para cada parámetro de máquina, en el cual se hará por el seleccionado de la etapa 2.



Etapa 7: Se analizó el comportamiento de la temperatura de corte en el proceso de torneado a través de los resultados que obtendremos en los ensayos, con la cual se construirán unas gráficas.

Etapa 8: Se habló de población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos adicionalmente su procedimiento y análisis, y finalmente los aspectos administrativos de la investigación.

3.4. Población y muestra.

Población: se define población como el conjunto de muestras mecanizadas y herramientas las cuales analizadas serán las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones, entre otras) a los cuales se refiere la investigación. En tal sentido, el entorno que se utilizará como población en esta investigación son herramientas de corte y barras cilíndricas de acero **AISI – 4140** y **AISI – 4340**.

Muestra: se define como un subconjunto representativo de la población de un universo o población. El muestreo permite estudiar una parte de la población en lugar de su totalidad. Las muestras para esta investigación son: herramientas de corte (carburo de tungsteno sinterizado) y barras cilíndricas de acero **AISI – 4140** y **AISI – 4340** de 55mm de diámetro y 1m de longitud.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Para nuestro desarrollo del problema se tomará un dispositivo parecido al construido por Gamboa José y Mosquera Carlos(2004); dicho dispositivo consiste en una señal de salida medida por la termocupla tipo K durante el proceso de torneado, se envía a un equipo de Adquisición de Datos(CB – 7018) y pasa a un Convertidor de temperatura (i – 7520) de rango variable, que se encarga de transformar esta señal



de μ voltios a $^{\circ}\text{C}$, esta señal es a su vez enviada al disco duro del PC; el cual poseerá un programa computacional Delphi (Icmlink 5000) que registra la data de variaciones que ocurren en la medición de la temperatura y realiza gráficas de Temperatura Vs. Tiempo, para los parámetros de mecanizado seleccionados en los ensayos. Una vez hechas las respectivas medidas se evaluará la temperatura de corte de las barras cilíndricas.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Con el objeto de conseguir la representación de los datos aportados sobre las principales variables estudiadas (avance (f), profundidad de corte (p) y la velocidad de corte (V_c) sobre la temperatura de corte) que intervendrán en el proceso y en los ensayos, se usaron técnicas de procesamiento de gráficos, las cuales ayudarán a realizar el análisis de los datos llegar al cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

3.7. Aspectos administrativos.

Para realizar este trabajo de investigación se consideraron los siguientes aspectos:

3.7.1. Humanos:

Los recursos humanos determinado para llevar a cabo esta investigación se menciona en primer plano a los bachilleres interesados en realizar ésta investigación, son los principales recursos humanos que se cuentan, apoyados directamente por el profesor tutor o guía del proyecto (Esc. de Ingeniería Mecánica), sin el cual sería muy difícil culminar la investigación. Es conveniente señalar la participación de asesores externos como es caso del profesor de la Esc. de Ingeniería Eléctrica que facilitó los equipos electrónicos y el software que



registra la temperatura de corte en el proceso de mecanizado, y por supuestos a los técnicos que aportar un conocimiento desde una óptica diferente.

3.7.2. Institucionales

Con respecto a los recursos instituciones obviamente que el principal apoyo será de parte del Laboratorio de Proceso Metalmeccánica y de la escuela de Ingeniería Mecánica. También se contará con el apoyo institucional de la Facultad de Ingeniería y por ende de la Universidad de Carabobo.

3.7.3. Materiales y Equipos.

Dentro de los recursos materiales se utilizarán:

- Barra cilíndrica de acero AISI – 4140 y AISI – 4340 de 55mm de diámetro y 500mm de longitud seccionada en 5 parte de 70mm de longitud
- Herramienta de corte (inserto) (TNMG 160412 – 5B-OR2500-P25-K25)
- Convertidor de temperatura (i – 7520 con comunicación serial RS232/RS485, alimentación 24voltios DC.
- Sensor de Temperatura tipo K (Termocupla)
- Modulo de Adquisición de Datos (CB – 7018) con entrada para termocupla
- Software Icilink 5000 para monitoreo y registro histórico.
- Computadora Personal.
- Impresora de tinta
- Papel bond blanco tamaño carta.
- Lápices, borradores, pendrive, carpeta, cartucho de tinta



Dentro de los equipos se utilizará:

- Torno

3.7.4 Económicos:

En cuantos a los recursos económicos para la realización de esta investigación. Se dará una estimación total de los gastos que generarán los materiales. Estos gastos pueden variar de acuerdo al cambio del dólar. Tabla 3.1

Tabla N° 3.1. Estimación total de los costos del proyecto

MATERIALES	CANTIDAD	COSTOS(BsF.)
Barras cilíndricas de acero AISI - 4140	1m de largo por 55mm de diámetro.	310,65
Barras cilíndricas de acero AISI - 4340	1m de largo por 55mm de diámetro.	468,11
Termocupla tipo K	1	108,00
Lápices, borradores, cartuchos de tintas, carpetas, Pendrive	Varios	400,00
Alquiler de hora de navegación en Internet	Varios	100,00
Reproducción y compra de material bibliográfico	Varios	350,00
Resmas de papel bond base 20, formato A4	Varios	100,00
	Gasto total	1836,76 BsF.

Fuente: autores



Una vez definida la estimación de los gastos del proyecto, se debe tener en cuenta las fuentes de financiamiento del mismo. Para poder ejecutar este proyecto se contará con fuentes propias de financiamientos asumidas por los propios autores de la investigación.

3.8. Selección de parámetros.

El trabajo en el taller conlleva al operario a seleccionar los parámetros a utilizar en el proceso de mecanizado y estos deben ser fácilmente manipulables. Dichos parámetros evaluados son:

- Velocidad de corte
- Avance
- Penetración o profundidad de corte
- Radio de punta.

3.8.1. Parámetros variables

El estudio para la escogencia de los rangos de variación de los parámetros de corte se llevo, luego de la revisión bibliográfica a la realización de prueba de los valores extremos de dichos rangos en el torno a utilizado. La evaluación realizada arrojó resultados que limitaron los rangos escogidos, debido a que excedían la capacidad del torno. A continuación se especifican los rangos y el porque de su escogencia.

3.8.1.1 Velocidad de Corte

De esta manera se escogió un rango amplio de velocidades, desde las más bajas hasta la máxima velocidad que pudimos obtener del torno sin que la vibración



del mismo afectara la medición, tomando en cuenta que estamos trabajando dentro de las especificaciones del inserto con el cual realizamos el mecanizado y a continuación se especifican las velocidades de corte utilizado para el mecanizado con un margen de error que se produce al variar las profundidades de corte dando como resultado una reducción en el diámetro de la pieza a mecanizar y por ende una variación en la velocidad de corte (Tabla 3.3) y en la Tabla 3.2, se muestran los ensayos realizado según el orden y desviaciones para cada mecanizado.

Tabla 3.2. Orden para realizar los ensayos

Di (mm)	Df (mm)	Dprom (mm)	D (mm)	Vc_{deseada} (m/min)	N_{deseada} (rpm)	N_{tomo} (rpm)	Vc_{tomo} (m/min)	Desviación de Vc	Error (%)
55	52	53,5	1,5	30	178,49	195	32,77	2,77	9,23
55	52	53,5	1,5	60	356,98	355	59,67	-0,33	-0,55
55	52	53,5	1,5	90	535,47	530	89,08	-0,92	-1,02
55	52	53,5	1,5	120	713,97	740	124,38	4,38	3,65
55	52	53,5	1,5	150	892,46	915	153,79	3,79	2,53
53,5	53	53,25	0,5	30	179,33	195	32,62	2,62	8,73
53,5	53	53,25	0,5	60	358,66	355	59,39	-0,61	-1,02
53,5	53	53,25	0,5	90	537,99	530	88,66	-1,34	-1,49
53,5	53	53,25	0,5	120	717,32	740	123,79	3,79	3,16
53,5	53	53,25	0,5	150	896,65	915	153,07	3,07	2,05
53	50,5	51,75	2,5	30	184,53	195	31,7	1,70	5,67
53	50,5	51,75	2,5	60	369,05	355	57,71	-2,29	-3,82
53	50,5	51,75	2,5	90	553,58	530	86,17	-3,83	-4,26
53	50,5	51,75	2,5	120	738,11	740	120,31	0,31	0,26
53	50,5	51,75	2,5	150	922,64	915	148,76	-1,24	-0,83
50,5	47	48,75	3,5	30	195,88	195	29,86	-0,14	-0,47
50,5	47	48,75	3,5	60	391,77	355	54,37	-5,63	-9,38
50,5	47	48,75	3,5	90	587,65	610	93,42	3,42	3,80
50,5	47	48,75	3,5	120	783,53	740	113,33	-6,67	-5,56
50,5	47	48,75	3,5	150	979,42	915	140,13	-9,87	-6,58
47	43	45	4	30	212,21	195	27,57	-2,43	-8,10
47	43	45	4	60	424,41	355	50,19	-9,81	-16,35
47	43	45	4	90	636,62	610	86,24	-3,76	-4,18
47	43	45	4	120	848,83	915	129,36	9,36	7,80
47	43	45	4	150	1061,03	1110	156,92	6,92	4,61

Fuente: autores

A continuación se especifican las velocidades utilizadas en los ensayos.

Tabla 3.3. Velocidades de corte utilizadas

Vc(m/min)
30±2,77
60±9,81
90±3,83
120±9,36
150±9,87

Fuente: Autores

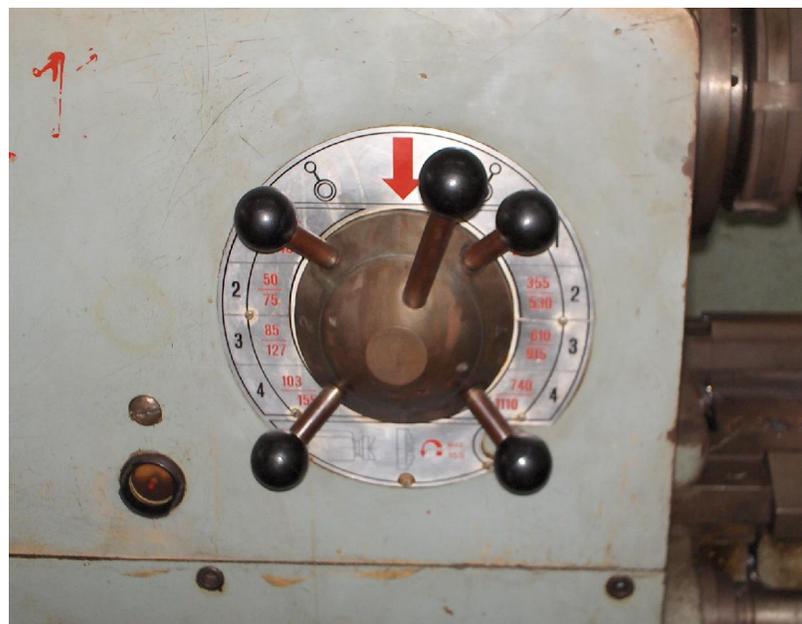


Figura 3.1. Palanca de Cambio de RPM del torno [Fuente: Autores]

3.8.1.2. Avance

Este parámetro fue tratado para lograr un estudio en función de los otros dos parámetros que variaban, este se conservo constante en 0,12 mm/rev ya que es un valor intermedio para el cual opera el inserto.

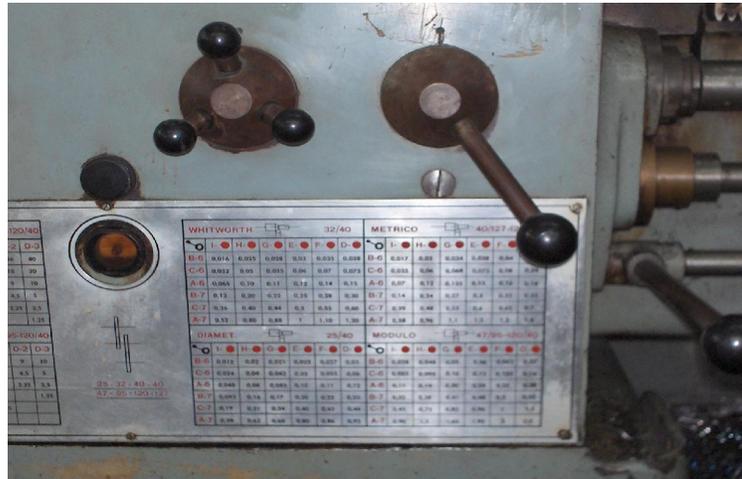


Figura 3.2. Palanca de cambio del Avance [Fuente: Autores]

3.8.1.3 Profundidad de corte o Penetración

Este parámetro varía considerablemente, por lo cual, después de estudiar el comportamiento del torno y las recomendaciones de trabajo del inserto se decidió tomar los valores, ya que están dentro del rango operativo del inserto según especificaciones del fabricante, dicho valores se muestran en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Operaciones de profundidad de corte del inserto

Operación	Profundidad de corte (mm)
Desbaste	2,0-7,6
Semi Acabado	1,0-3,8
Acabado	0,5-1,3

Fuente: SAFETY IBÉRICA METAL DURO, S.A.



Figura 3.3. Proceso de mecanizado para observar la profundidad realizada en la barra cilíndrica

[Fuente: Autores]

3.8.1.4 Herramienta de corte y radio de punta

El radio de punta de la herramienta fue escogido a acuerdo a la disponibilidad en el mercado y la configuración del porta herramienta (tipo triangular) disponible en el taller. El inserto debe ser (TNMG 160412 – 5B-OR2500-P25-K25) marca Impero) ya que esta calidad es la que se requiere en el acabado y trabajo en seco, el inserto usado es negativo, tiene bordes fuertes de rompe virutas para que genere menos presión y calor, un radio de nariz grande para proveer una mejor adhesión al recubrimiento. Montado en un portaherramientas (MTJNR-2020K-16MI)

Tabla 3.5. Especificaciones del inserto

I(mm)	d(mm)	s(mm)	d ₁ (mm)	m(mm)	r(mm)	f(mm/rev)	Vc(m/min)
16,5	9.525	4.76	3.81	13.097	1,2	0.5-7.6	60-340

Fuente: SAFETY IBÉRICA METAL DURO, S.A.

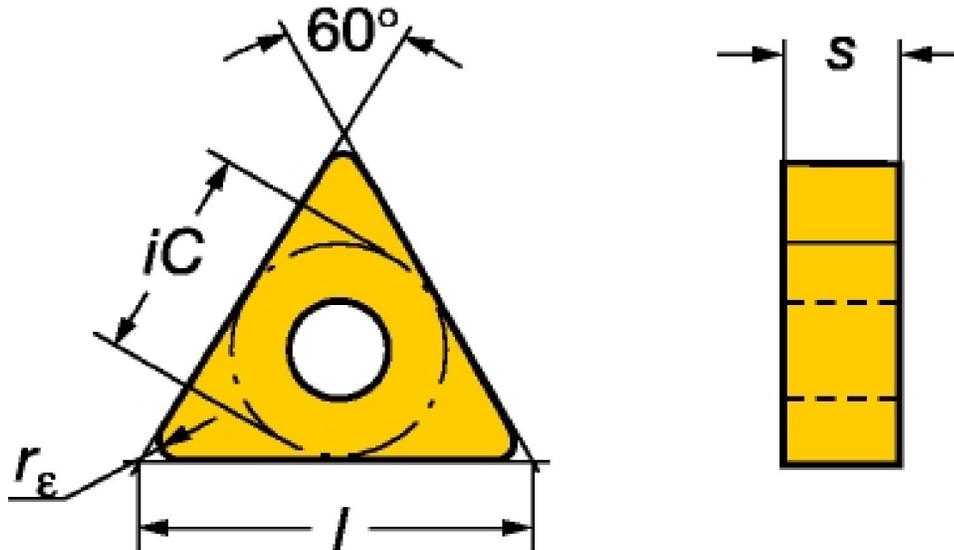


Figura 3.4 Dimensiones del Inserto (TNMG 160412 – 5B-OR2500-P25-K25)

[<http://www.cutools.com>]

Tabla 3.6 Especificaciones del inserto

ACERO P		Operación	Profundidad de corte (mm)	Avance (mm/rev)	Velocidad de corte			
					Mecanizados de acero con bajo contenido en carbono	Aceros con medio y alto contenido en carbono	Aceros aleados y fáciles de mecanizar	Aceros para herramientas y moldes
					Vc	Vc	Vc	Vc
					(m/min)	(m/min)	(m/min)	(m/min)
MTCVD	OR2500	D	2,0-7,6	0,25-0,64	160	130	100	60
		SA	1,0-3,8	0,2-0,4	300	210	180	75
		A	0,5-1,3	0,1-0,2	340	280	220	80

Fuente: SAFETY IBÉRICA METAL DURO, S.A.

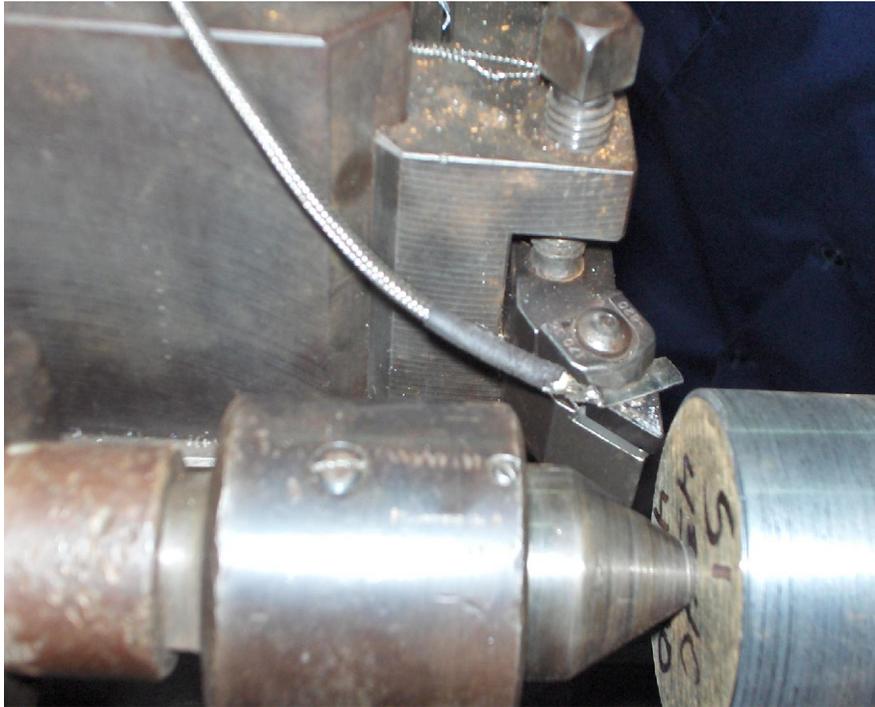


Figura 3.5. Montaje de la herramienta de corte y la termocupla [Fuente: Autores]

3.8.2 Dimensiones de la probeta

Para el diseño de la probeta, se conjugaron una serie de factores como:

- Largo de bancada del torno. Aproximadamente 2,5m.
- Números de pruebas o ensayos. 25 para cada acero
- Diámetro interno de la mordaza del torno. Aproximadamente 57,5 mm
- Avance utilizado en los ensayos. 0.12 mm/rev.
- Diferentes profundidades de corte o penetraciones. 0,5 mm; 1,5 mm; 2,5 mm; 3,5 mm; 4 mm
- Calibrador o vernier de apreciación

Al realizar cada ensayo completa de velocidad, se realizó un proceso de ajuste para garantizar el mismo diámetro a lo largo de toda parte experimental y así asegurar la misma velocidad de corte en cada experiencia.



Figura 3.6 Barras cilíndricas de los aceros a utilizar en los ensayos [Fuente: Autores]

3.9 Equipos

3.9.1 Equipo utilizados

Para el momento de inicio del trabajo especial de grado, se tenía referencia a un trabajo anterior, Gamboa José y Mosquera Carlos (2004) en el cual diseñaron un dispositivo para medir la temperatura de corte en un proceso de torneado que nos llevo a realizar esta investigación, los equipos mencionados son:

- Convertidor de temperatura (i – 7520 con comunicación serial RS232/RS485, alimentación 24voltios DC.
- Sensor de Temperatura tipo K (Termocupla)

- Módulo de Adquisición de Datos (CB – 7018) con entrada para termocupla
- Software Icilink 5000 para monitoreo y registro histórico.
- Computadora Personal.
- Un torno paralelo marca Misal de 2 ½ m de bancada.



Figura 3.7. Torno utilizado en el ensayo y el equipo de medir la temperatura [Fuente: Autores]



Figura 3.8. Montaje de una de barra cilíndrica a mecanizar(AISI-4140) [Fuente: Autores]



Figura 3.9. Ubicación de la termocupla en la herramienta de corte [Fuente: Autores]

3.10. Software

Para la toma de datos se preparo una rutina de software en el lenguaje de Delphi (Icilink 5000), el cual sirve para monitorear y registrar el histórico de los ensayos en tiempo real transformado la data de medición en forma plana (T Vs tiempo) para esta forma representar en gráfica, que posteriormente serán analizadas.

Es importante mencionar que para validar los resultados de la medición de la temperatura se utilizó la calibración del equipo por medio de la tabla de termocupla tipo K ver en el anexo A, como referencia la temperatura ambiente, usando la medición del voltaje milivoltio al equipo utilizado y verificando el rango con la tabla descriptiva del comportamiento de la termocupla tipo K, dando como resultado que opera bajo el rango esperado de la termocupla.

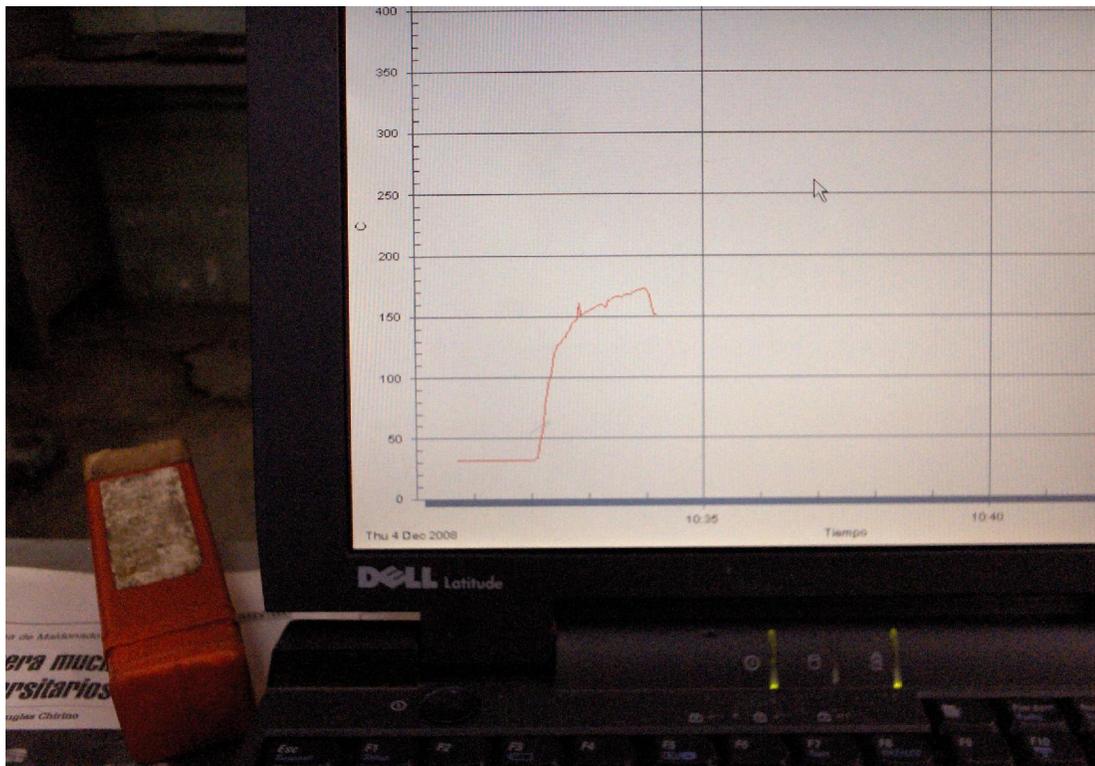


Figura 3.10. Registro de temperatura a través del programa Icilink 5000 [Fuente: Autores]



3.11. Diseño del experimento

Para el diseño del experimento se pensó que la mejor manera de obtener un resultado confiable, era la combinación de todos los parámetros entre sí, (teoría de combinatoria), dicha teoría dice que el número total de experiencia se determina multiplicando las variaciones discretas de cada parámetro entre sí. Estos es 5 variaciones de velocidades de corte y 5 variaciones de profundidad de corte dando así un número total de experiencia de 25 para cada acero, de esta manera se puede observar la variación de la temperatura a medida que varía cada uno de los parámetros manteniendo el avance constante.

De la combinación de todos los parámetros se llegó a un número total de 25 ensayos por cada acero, lo cuál definió un número de 5 ensayos por cada velocidad. Las barras se cortaron en dos tochos de 500mm cada uno de largo aproximadamente para cada acero, donde a cada tocho se hizo una división de 5 secciones de 70mm cada una y 30 mm que corresponden a la sección que garantiza que la herramienta no golpee el sistema de sujeción del torno-mordaza y 50 mm para sujeción.

Cada prueba se realizó de la siguiente manera. Primero se graduaría el torno a las RPM correspondiente a la velocidad de corte requerida, se ajusta el torno al avance que es constante, luego se instaló la herramienta de corte y se aproxima la herramienta al material para realizar el mecanizado correspondiente a la primera profundidad de corte se gradúo en cero el nonio, para luego graduar al nonio a la profundidad deseada, por último se procede al mecanizado y al registro de la temperatura. Luego se procede con el próximo segmento a mecanizar solamente variando las RPM, para alcanzar la velocidad requerida para el ensayo este procedimiento se repite para cada una de las profundidades de corte.

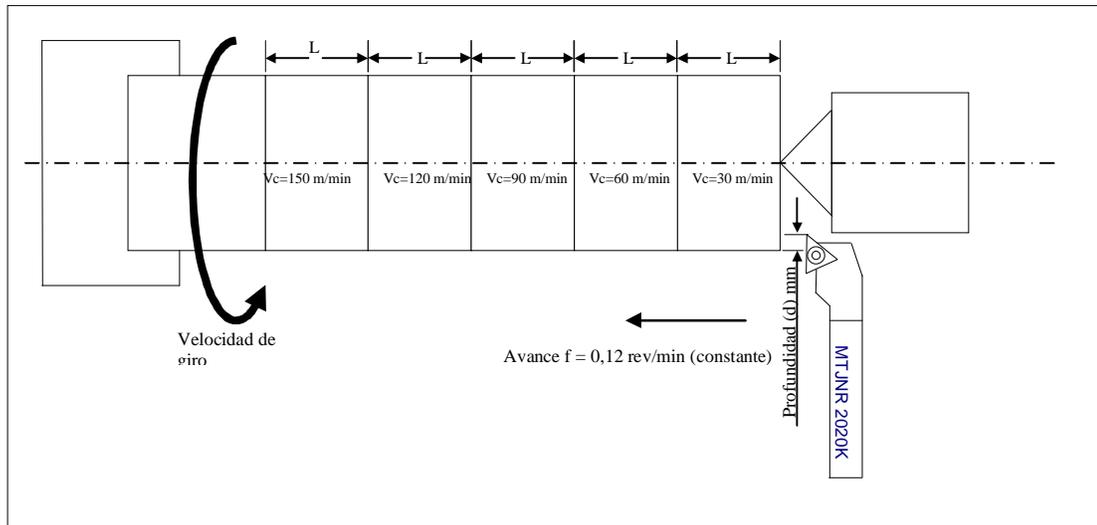


Figura 3.11. Esquema de montaje de los ensayos de mecanizado

[Juan C. Pereira F., Donato Romanello L. (2007)]



(a)



(b)



(c)



(d)

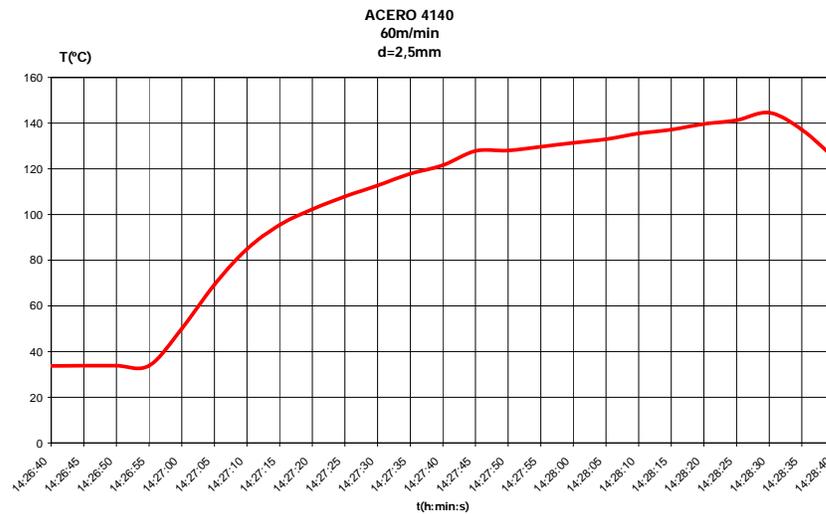
Figura 3.12 a) Nonio del torno; b) Montaje de la pieza a mecanizar c) Proceso de mecanizada

d) barras Cilíndrica después de mecanizado [Fuente: Autores]

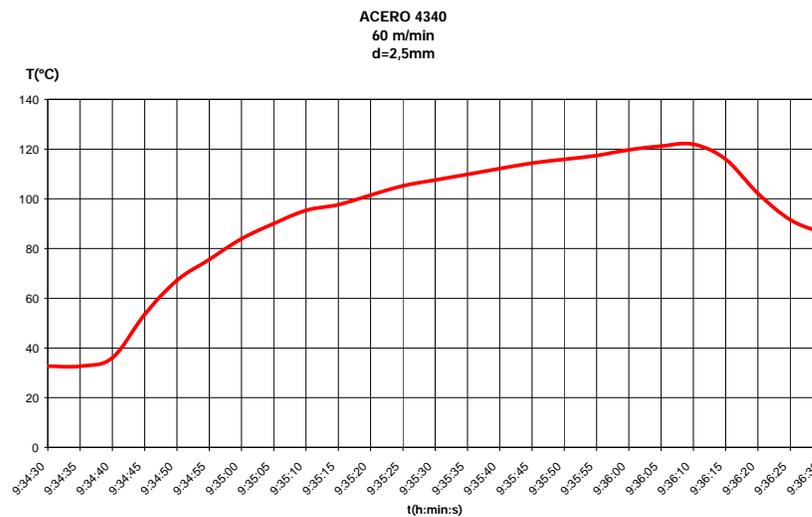


RESULTADOS OBTENIDOS:

En la gráfica 3.1 y 3.2, se puede observar la curva de temperatura Vs tiempo correspondiente al ensayo donde los parámetros usados son: velocidad de corte de 60m/min, profundidad de corte de 2.5mm, avance constante de 0,12 mm/rev y diámetro de 50.5 mm esta gráfica representa en tiempo real el resultado obtenido mediante el software utilizado.



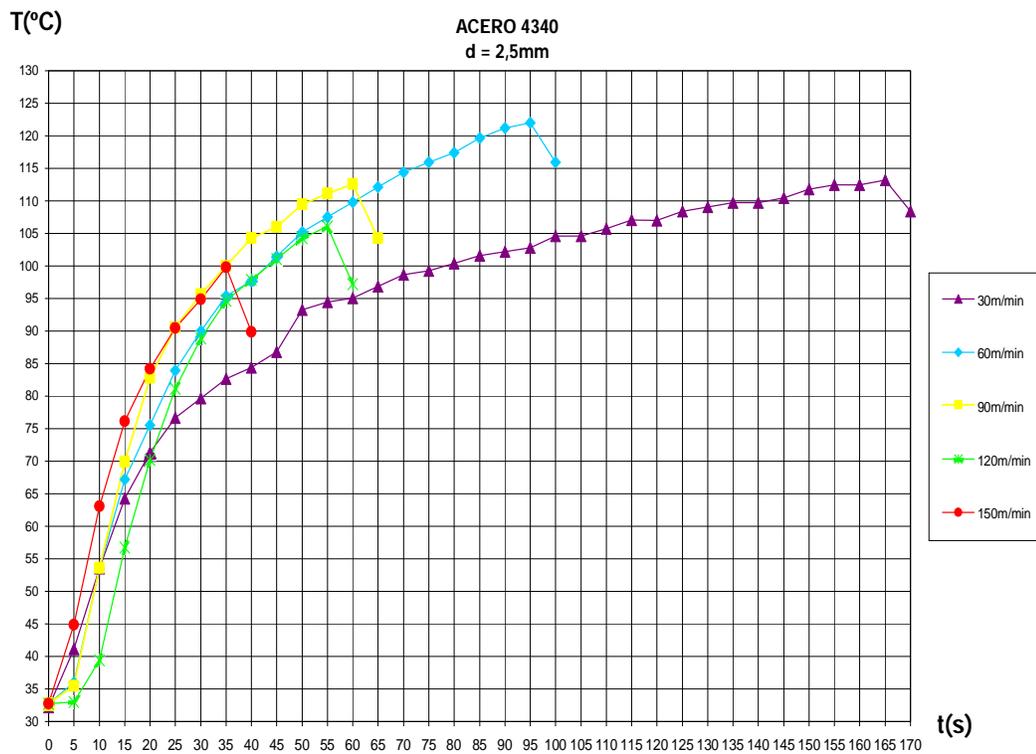
Gráfica 3.1. Temperatura Vs tiempo real de mecanizado



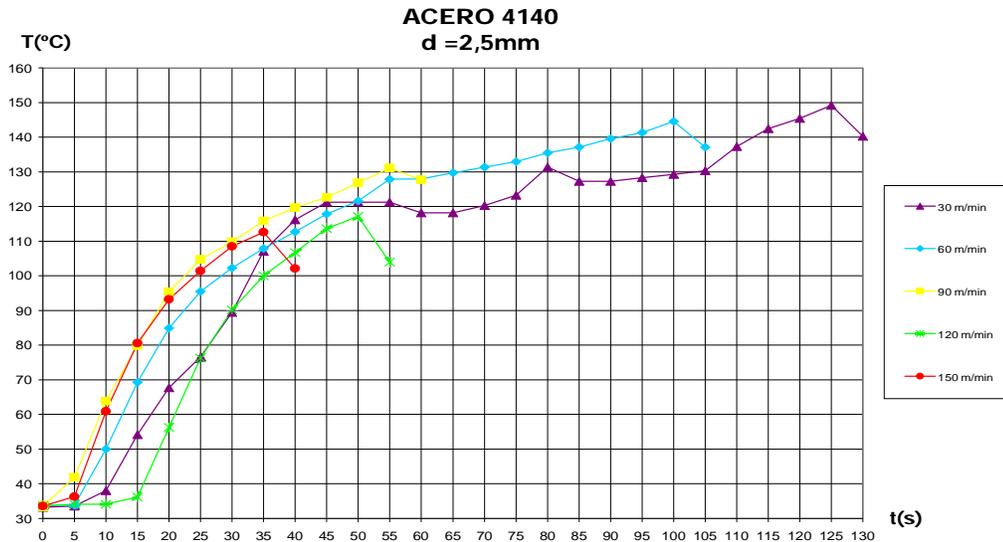
Gráfica 3.2 Temperatura Vs tiempo real de mecanizado



Luego de realizar todos los ensayos correspondientes para cada uno de los aceros se procedió a llevar las curvas a una escala general de temperatura Vs tiempo, Estas curvas fueron utilizadas para crear un compendio de curvas para cada uno de los aceros, como se muestra en la gráficas 3.3 y 3.4 donde podemos observar como varía la temperatura de corte con respecto al tiempo para diferentes velocidades aplicando una profundidad de corte de 2,5mm. Se obtuvieron curvas para las demás profundidades de corte estudiadas.

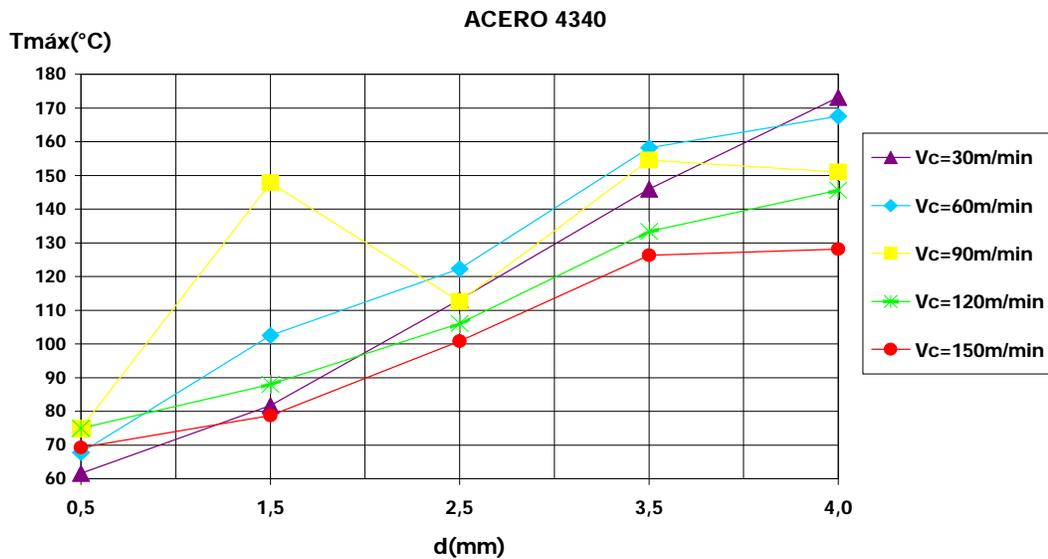


Gráfica 3.3. Temperatura Vs tiempo

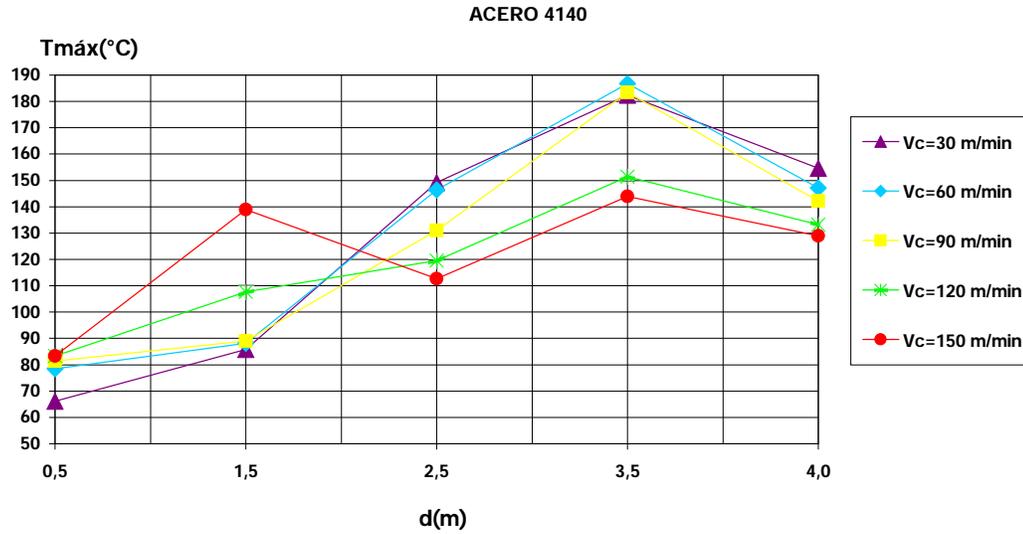


Gráfica 3.4 Temperatura Vs tiempo

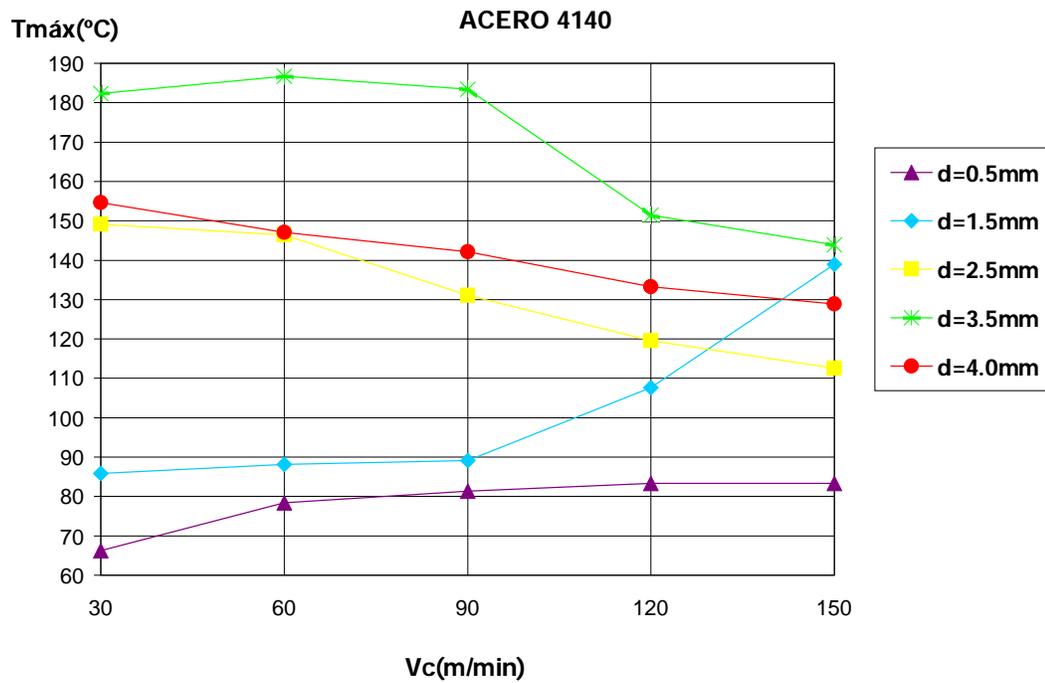
Para realizar un análisis posterior, fue necesario construir las gráficas de temperatura máxima utilizando como bases las curvas anteriores donde se representan temperatura máxima Vs velocidades de corte y temperatura máxima Vs profundidad de corte como se muestra en las graficas siguientes.



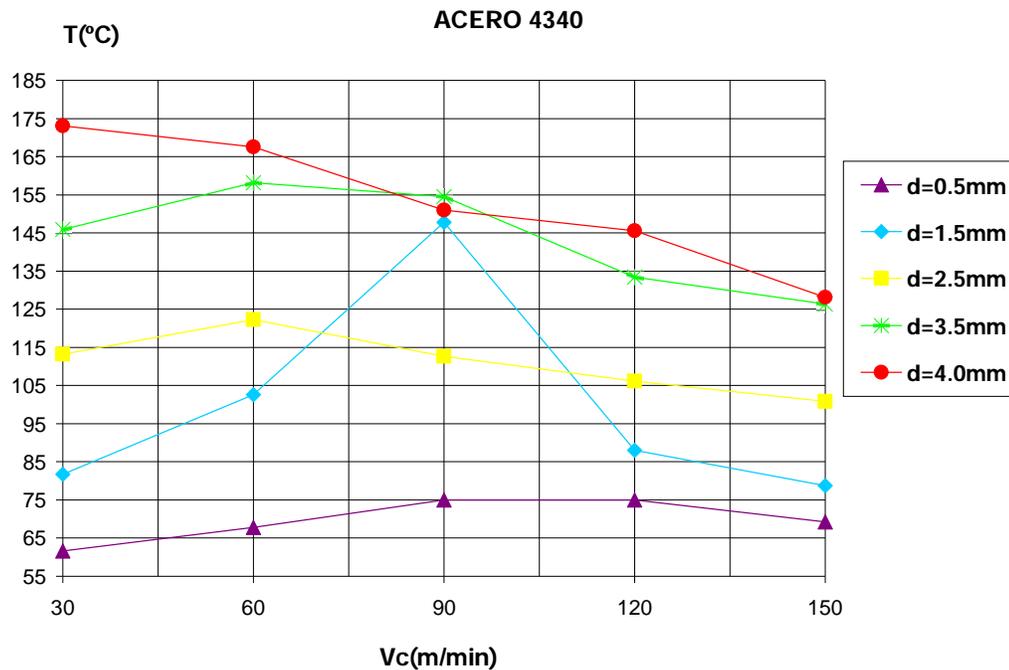
Gráfica 3.5. Temperatura máxima Vs. Profundidad acero AISI 4340



Gráfica 3.6 Temperatura máxima Vs. Profundidad Acero AISI 4140



Gráfica 3.7. Temperatura máxima Vs. Velocidad de Corte Acero AISI 4140



Gráfica 3.8. Temperatura máxima Vs. Velocidad de Corte Acero AISI 4340

Para interpretar los cambios de temperatura dependiendo de los cambios en la velocidad de corte y la profundidad se observó que un aumento en la velocidad de corte causó un aumento en la temperatura de corte y es un factor para elevar la temperatura de corte al igual que un aumento en la profundidad de corte es considerado más efectivo para un aumento en la temperatura de corte.

Se tomó la decisión de trabajar con una profundidad de acabado de 0,5 mm y las demás de (1,5; 2,5; 3,5 y 4) mm consideradas como desbastes. Usando velocidades de corte de 30, 60, 90, 120 y 150 mm/min, para obtener las diferentes gráficas de temperatura de corte.

El diámetro de la barra es un factor que afecta la temperatura de corte en el proceso de torneado. Cuando se mecanizan barras con diferentes diámetros la temperatura de corte más alta se obtiene de la barra de menor diámetro y con la barra



Universidad de Carabobo



de mayor diámetro se alcanza temperatura de corte más bajas. Además se observa que a mayor velocidad de corte mayor es la temperatura de corte.

Todas las pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones de velocidad de corte, avance y profundidad de corte constante, usando una sola herramienta de corte y una termocupla tipo K.



CAPÍTULO IV RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como en todo proceso de mecanizado es necesario establecer parámetros de corte que permitan un buen desempeño de la herramienta de corte. En un proceso de mecanizado en seco se debe tener especial cuidado en la selección de los parámetros de corte debido a la ausencia de un fluido de corte. Es primordial lograr que en todo momento la viruta parta intermitentemente para que el inserto de corte tenga un mejor desempeño, ya que trabaja en mejores condiciones el rompe viruta y se evita que la viruta tienda a enrollarse en el inserto, la pieza de trabajo o el porta inserto.

Analizando el torneado, en donde el inserto toca a la pieza y realiza el corte, con presencia de calor generado, dicha energía tiene que ser forzosamente absorbida por la herramienta y la pieza, ya que no esta presente el refrigerante, este es un efecto muy nocivo, derivado al incremento brusco de temperatura, puede existir la generación de filo recocado en la herramienta.

En particular, los modelos analíticos y numéricos basados en la física del arranque de viruta, obtienen el flujo de calor conducido hacia la herramienta para determinar la distribución de temperatura.

La medición directa de la temperatura tampoco es exacta debido a que no se puede acceder directamente a la interfase herramienta-viruta. Lo ideal seria conocer la temperatura máxima desarrollada, sin embargo, esta zona se encuentra oculta por la viruta y no puede ser monitoreada en forma directa y precisa, ni si quiera con el uso de termo cámaras.



Es por esto que una alternativa es el uso de termopares embebidos en el portaherramientas, lo más cerca posible de la zona de corte.

El sensor de temperatura usado es una termocupla tipo k, ya que garantiza una velocidad de respuesta muy alta debido a su sensibilidad a pequeñas variaciones de temperatura y de la cual se tenía referencia en un trabajo similar, mencionado en los antecedentes de este trabajo y realizado por Gamboa, José y Mosquera, Carlos. (2004).

En cuanto a la ubicación de la termocupla, mientras mas cerca este del filo de la herramienta el registro seria mas exacto, por lo que se inserto en las cercanías de la punta de la herramienta de corte, tomando en cuenta que la viruta podría dañar la termocupla, de tal forma que no rozara la lámina de acero utilizada para fijar la termocupla con la pieza de trabajo ya que esto ocasionaría un incremento adicional de la temperatura.

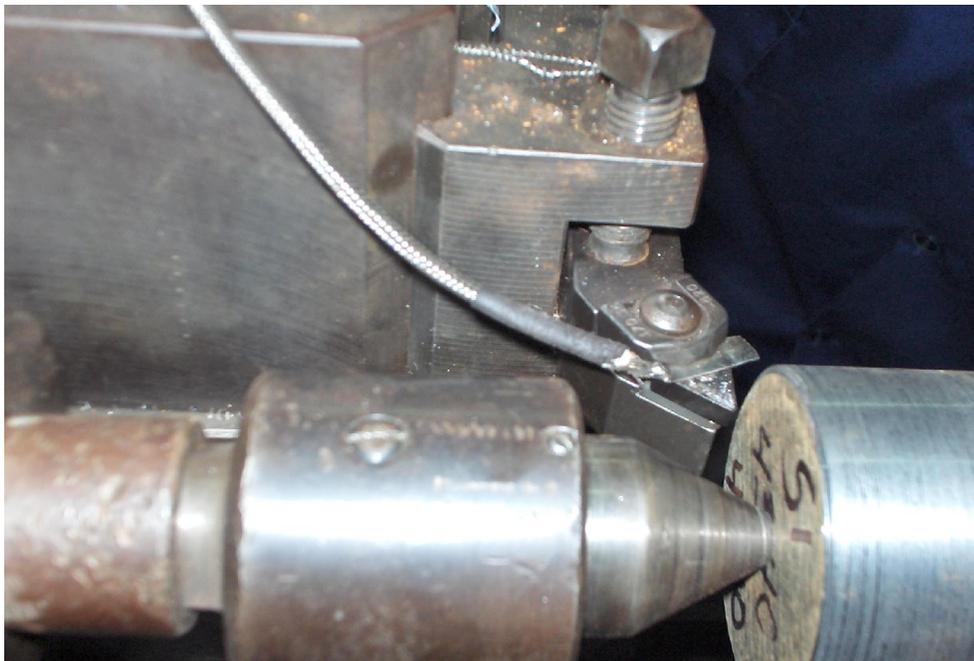


FIGURA 41.Ubicación de la termocupla [Fuente: Autores]



El equipo control 5000 Delphi, logró su objetivo de registrar y graficar el comportamiento de la temperatura mediante gráficas, que son muy semejantes a las obtenidas en la tesis que se usó como antecedentes, y mencionada anteriormente.

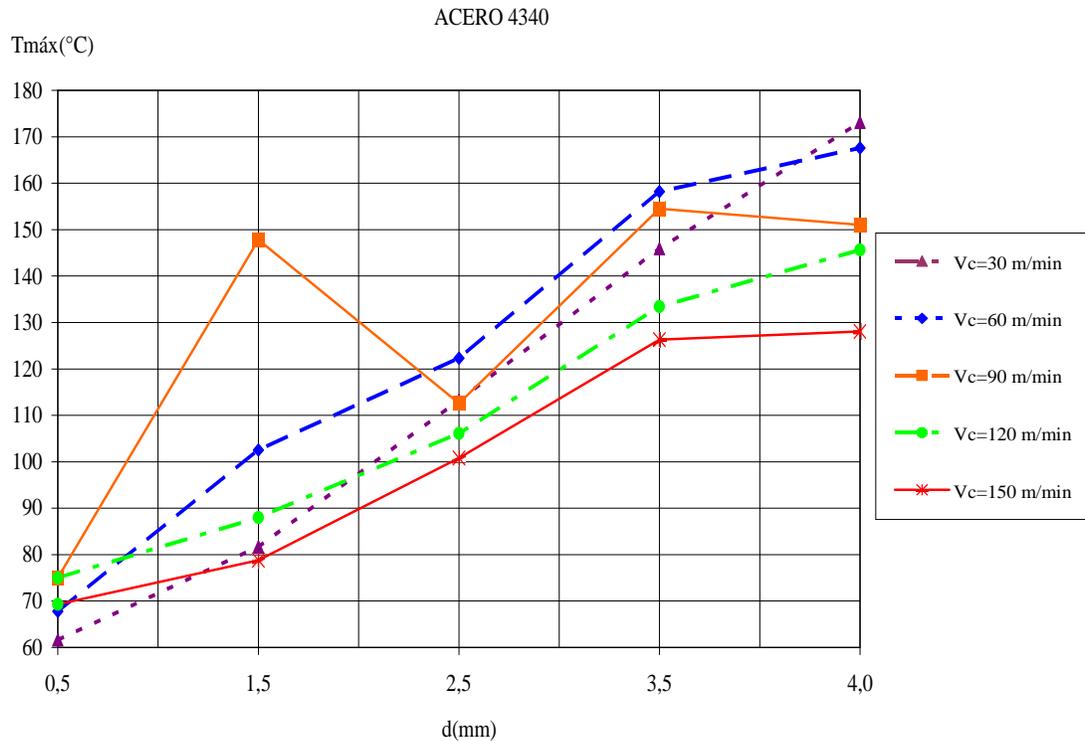
En cuanto al inserto es preciso decir que ángulos grandes en la forma del inserto hacen que sean más fuertes, es decir, por lo mismo que es más robusto y esto se recomienda cuando se hacen desbastes en las piezas, el radio de nariz es un factor que afectará la resistencia del inserto, así como el acabado de la pieza, mientras más grande sea disipa mejor el calor y mejora la vida de la herramienta, además de que influye en la formación de viruta o rebaba. Toda esta información fue extraída de catálogo, por lo cual se tomó la decisión de usar un inserto triangular existente en el laboratorio de proceso identificado como: **TNMG 160412 -5B-OR2500**, el cual arrojó buenos resultados debido a su geometría y características específicas, el cual fue montado en un porta herramienta izquierdo modelo **MTJNR-2020K-16MI**

Después de procesar los datos registrados y ajustarlos a curvas, se obtiene el comportamiento característico de temperatura de cada ensayo.

En la gráfica 4.1 de temperatura máxima de corte Vs profundidad de corte para el AISI-4340 se observa que a medida que se incrementa la profundidad de corte para una velocidad constante se incrementa la temperatura de corte para las velocidades de 30m/min, 60m/min, 120m/min y 150m/min, las curvas presentan una pendiente positiva en todo su comportamiento, mientras que para la velocidad de 90m/min se observa un incremento en la temperatura de corte desde la profundidad de corte de 0,5 mm hasta la profundidad de corte de 1,5 mm donde se aprecia un descenso hasta que llega a una profundidad de corte de 2,5 mm donde vuelve a tener un incremento en la temperatura de corte y se mantiene hasta la profundidad de corte de 3.5 mm donde cambia nuevamente y desciende la temperatura de corte hasta llegar a los 4



mm de profundidad de corte. Se aprecia para la velocidad de 90 m/min un incremento brusco de la temperatura de corte en la profundidad de 1,5 mm, debido al contacto directo entre la viruta y la termocupla, ocasionado por el no rompimiento de la viruta.

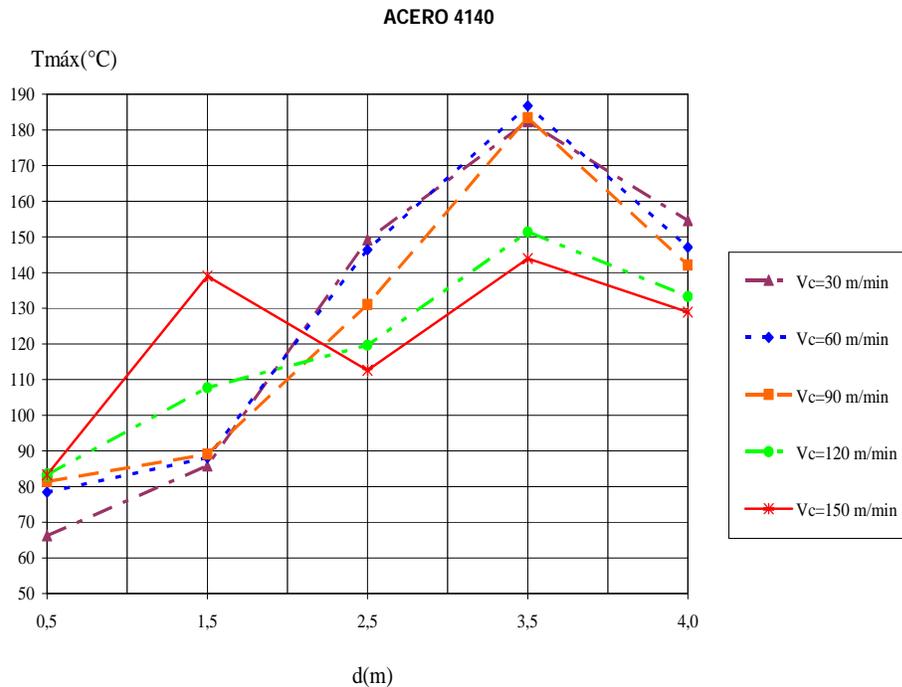


Gráfica 41. Acero AISI 4340

Para la gráfica 4.2 de temperatura máxima de corte Vs profundidad de corte para el AISI-4140 se observa un comportamiento algo similar al comportamiento obtenido para el acero AISI-4340 donde, las velocidades de 30m/min, 60m/min, 90m/min y 120m/min mantienen un incremento de temperatura de corte, desde una profundidad de 0,5 mm de corte hasta una profundidad de corte de 3,5 mm, donde estas velocidades obtienen un descenso en la temperatura de corte hasta llegara los 4 mm de profundidad de corte, mientras que la velocidad de 150 m/min mantiene un



ascenso de temperatura de corte en los intervalos de (0,5-1,5) mm de profundidad de corte y (2,5-3,5) mm de profundidad de corte, manteniendo un descenso en la temperatura de corte en los intervalos de (1,5 ; 2,5) mm y (3,5 ; 4) mm de profundidad de corte.



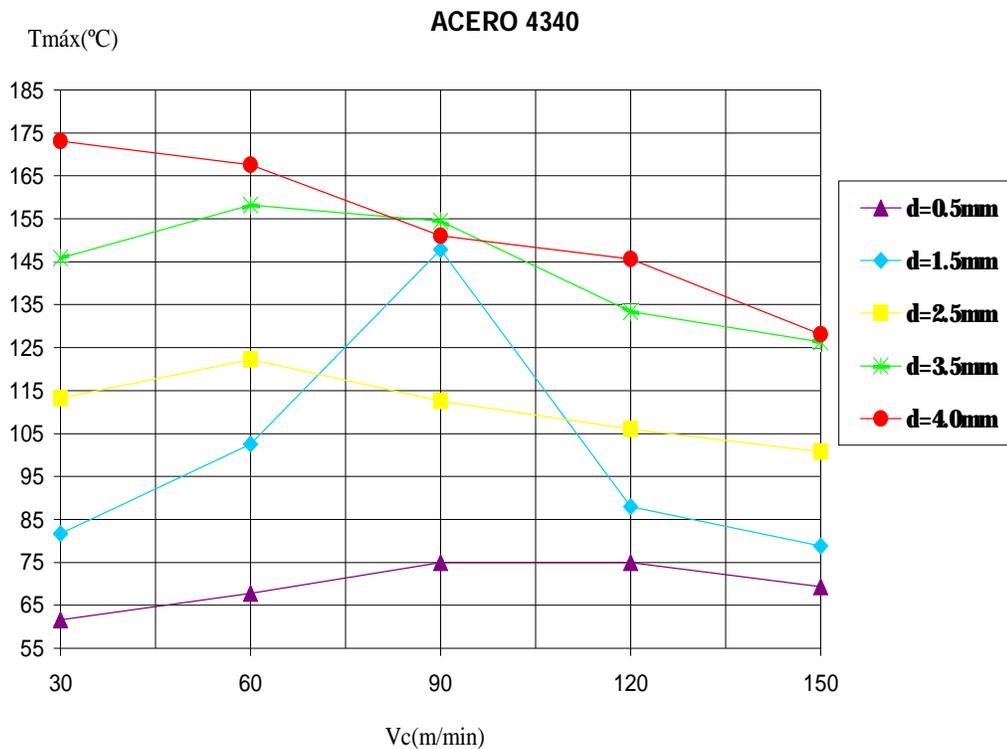
Gráfica 4.2. Acero AISI 4140

Este comportamiento para una velocidad de corte constante cuando se incrementa la profundidad de corte y se observa el incremento de la temperatura de corte, es debido a que el área de corte se incrementa rozando mayor cantidad de material sobre la herramienta de corte y generando fuerza de corte mayor. Este comportamiento se evidenció para un avance de la herramienta de corte constante.

Para la gráfica 4.3 de temperatura máxima de corte Vs velocidad de corte para el AISI-4340, analizando el comportamiento de la temperatura de corte se observa que a medida que se incrementa la velocidad de corte para las profundidades de (4 mm) la temperatura de corte disminuye en toda su trayectoria, mientras que para



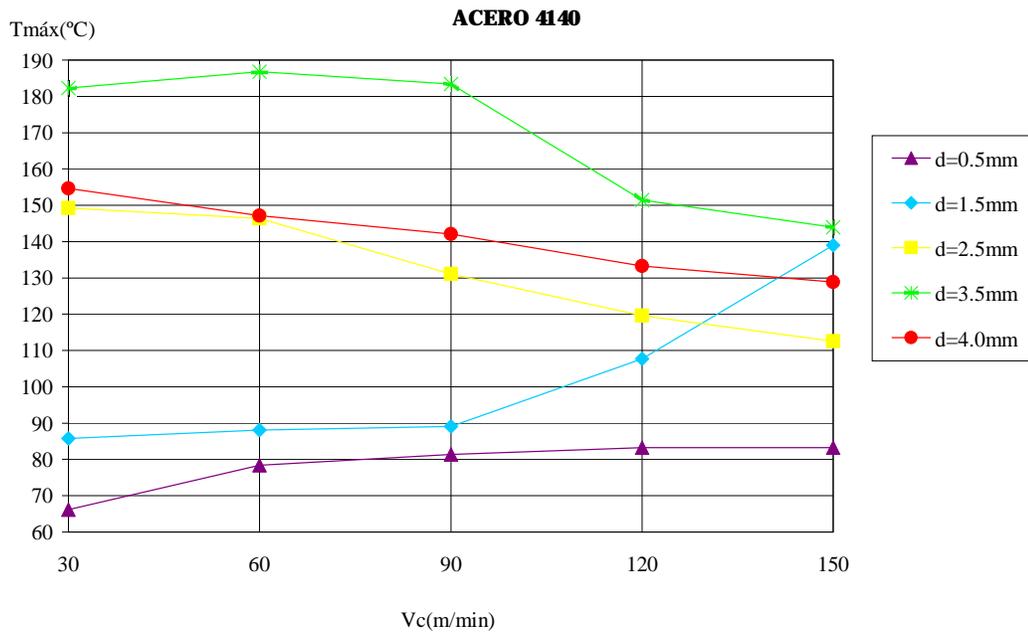
las profundidades de (2,5 y 3,5) mm entre las velocidades de (30 y 60) m/min la temperatura de corte aumenta para luego descender desde la temperatura de 60 m/min hasta la velocidad de 150 m/min. Para la profundidad de 0,5mm a medida que se aumenta la velocidad entre 30 m/min a 90 m/min el comportamiento de la temperatura es ascendente, para lograr luego una estabilidad de temperatura máxima entre 90 m/min y 120 m/min para luego descender en el ultimo tramo de velocidad de (120 a 150)m/min, el comportamiento para una profundidad de 1,5 mm es mas variada ya que presenta un ascenso de temperatura máxima desde la velocidad de 30 m/min hasta la de 90 m/min , desde donde empieza a descender hasta la velocidad de 150 m/min.



Gráfica 43. Acero AISI 4340



En cuanto a las gráficas 4.4 de temperatura máxima de corte y velocidades de corte para el AISI-4140 tenemos que a medida que se incrementa la velocidad las curvas de profundidad de corte para 0,5 mm y 1,5 mm, la temperatura de corte aumenta en toda su trayectoria, mientras que en la curva de 3,5 mm de profundidad de corte, la temperatura de corte aumenta en el intervalo de 30 m/min a 90 m/min, mostrando un descenso a partir de este intervalo, mientras para las profundidades de corte de 2,5 mm y la de 4 mm la temperatura se comportan en forma descendente desde su origen hasta el final.



Gráfica 44 Acero AISI 4140

Este comportamiento de la temperatura de corte al incrementar la velocidad de corte se evidencia para casi todas las combinaciones de profundidad de corte utilizadas en los ensayos experimentales, tal como se muestran en las gráficas.



Los ensayos arrojaron resultados aceptables de la temperatura de corte registrada y comparados con otros ensayos de referencia como los de Gamboa, José y Mosquera, Carlos. (2004), se obtuvieron valores similares.

Estos resultados se explican debido a la dispersión de temperatura y la reducción en el diámetro de la barra.

Apoyando nuestra investigación en este trabajo se tomo la decisión de usar unas velocidades medias de (30, 60, 90, 120 y 150) m/min y un diámetro de 55 mm el cual debido a las profundidades de corte a utilizar no afectarán drásticamente los resultados de la temperatura de corte, este material se ubica con facilidad en el mercado y con un costo económico lo cual hizo posible su compra.

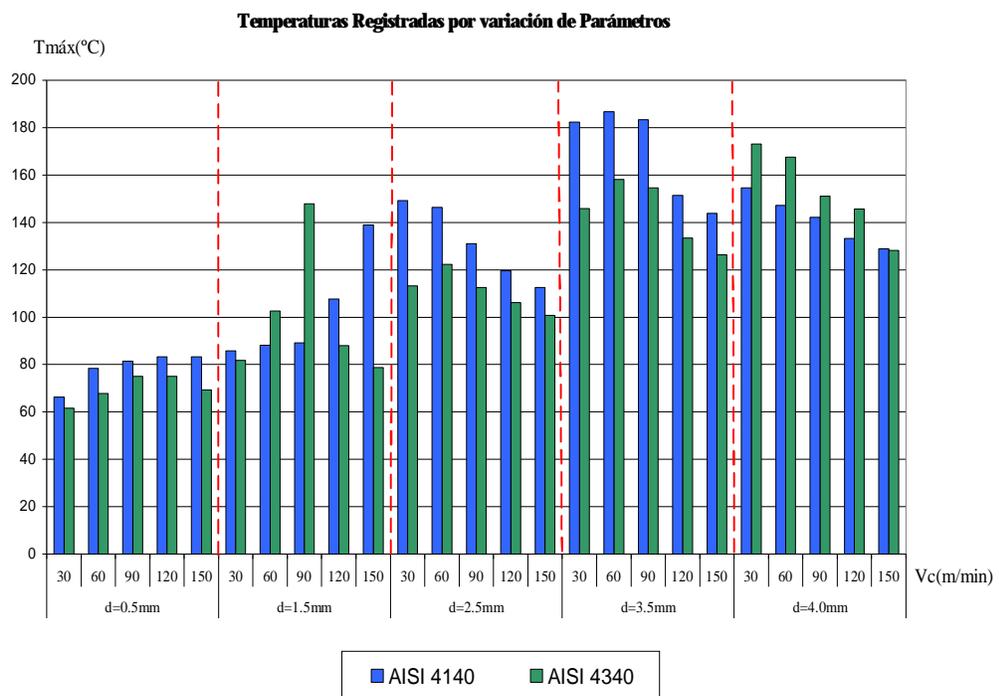
Es necesario mencionar que para el proceso de torneado se prefijo una longitud de 70 mm de mecanizado para cada ensayo, lo cual no permite que la curva temperatura vs tiempo se desarrollara completamente, por lo que se registraron datos en los cuales la tendencia a aumentar la temperatura era muy obvia pero no se lograba obtener la temperatura máxima para una determinada velocidad de corte y las combinaciones con sus respectivas profundidades de corte, esto debido a la relación existente entre las rpm del torno y el avance prefijado que en nuestro caso fue un avance constante de 0,12 mm/rev lo que produce variaciones en el tiempo de mecanizado, o sea tiempo de mecanizado mas largo para las rpm mas bajas y tiempos de mecanizado mas cortos debido a la altas rpm.

Utilizando los mismos parámetros de corte para ambos aceros, la curva registrada para AISI-4140 muestra mayores temperaturas que las curvas del AISI-4340, esto se explica debido a la resistencia al corte entre ambos Aceros.

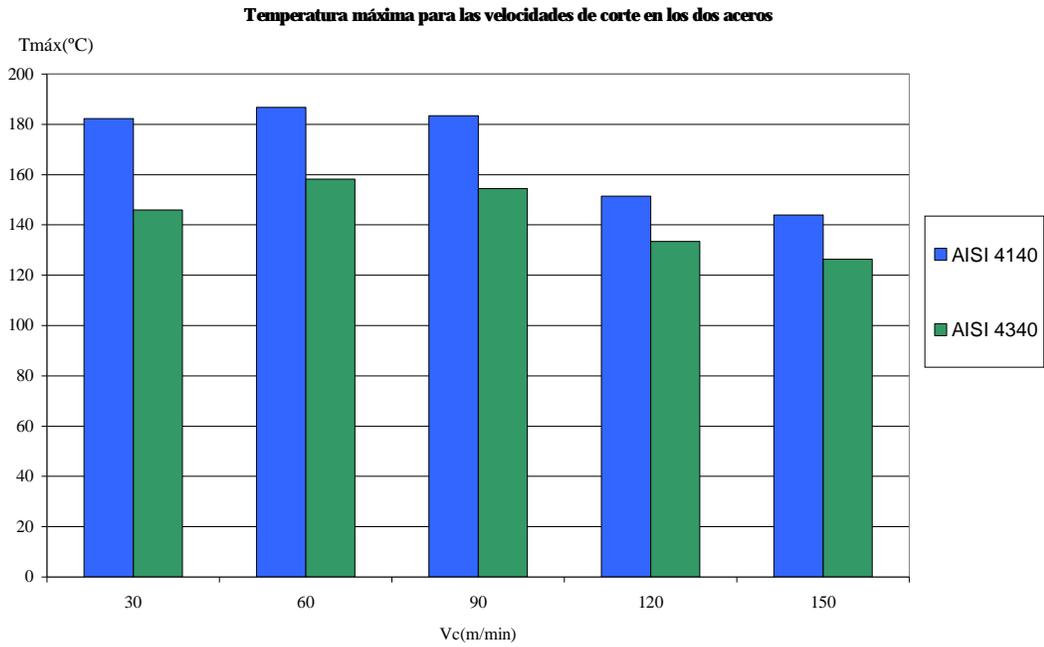


Debemos considerar que la herramienta, la máquina y la pieza de trabajo pueden ser sujetas a un corte anormal lo que producirá una deformación debido a su gran resistencia al corte y esto depende del material a mecanizar.

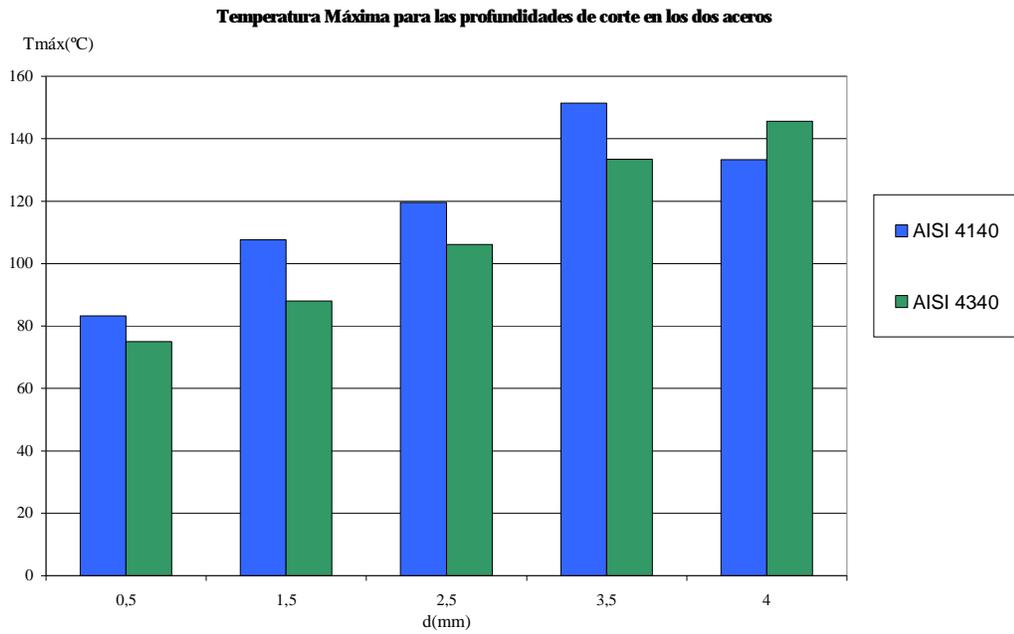
Las variaciones que se pueden encontrar en las curvas o resultados en estos ensayos, se debe a las condiciones y parámetros utilizados, ya que en nuestro trabajo una de las limitantes fue fijar una longitud de torneado de (70 mm) lo cual no permitió desarrollar la curva de temperatura para las más altas velocidades de corte, ya que el tiempo de torneado resultaba mas pequeño e insuficiente para desarrollar dicha curva.



Gráfica 4.5. Temperatura Máxima Vs Variación de parámetro



Gráfica 4.6. Temperatura Máxima Vs. Velocidad de corte en los dos aceros (Profundidad d= 3.5mm)



Gráfica 4.7. Temperatura Máxima Vs. Profundidad de corte en los dos aceros (Velocidad 120m/min)



En la gráfica 4.5 se pueden observar las temperaturas máximas registradas de acuerdo a la variación de los parámetros utilizados en el mecanizado de cada uno de los ensayos, también se puede observar que en la profundidad de corte $d= 3.5\text{mm}$ se registra mayor temperatura para el acero **AISI 4140** y al mismo tiempo se observa que la temperatura disminuye al aumentar la velocidad. El mismo comportamiento se observa para el acero **AISI 4340** con una profundidad de corte $d= 4.0\text{mm}$. También se observa que la temperatura es más sensible para un incremento en el valor de profundidad de corte que un incremento en la velocidad esto se puede apreciar al comparar las gráficas 4.6 y 4.7.

En la gráfica 4.6 se representan los valores de temperaturas máximas para cada uno de las velocidades de corte, donde los resultados obtenidos corresponden a la profundidad de corte de 3.5mm para el acero AISI-4140 y el acero AISI-4340.

En la gráfica 4.7 se representan los valores de temperaturas máximas para cada una de las profundidades de corte, donde los resultados obtenidos corresponden a la velocidad de corte de 120m/min para acero AISI 4140 y el acero AISI 4340.



CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En el proceso de torneado de los dos aceros AISI – 4340 y AISI – 4140, se midió y se registro en tiempo real de manera experimental la temperatura de corte arrojando que la temperatura de corte es afectada directamente por los parámetros velocidad de corte y profundidad de corte.
- Para los dos aceros en estudio se determina que la temperatura de corte se incrementa cuando se aumenta la velocidad de corte para una profundidad de corte constante, aun cuando los ensayos realizados para las velocidades más altas no permitieron el desarrollo completo de las curvas de temperatura de corte debido a la longitud de cilindrado utilizado.
- A medida que se incrementa la profundidad de corte de la herramienta, se incrementa el área de corte en el torneado del acero, incrementándose también la temperatura de corte para una velocidad de corte constante.
- La máxima temperatura de corte medida en los ensayos experimentales fue de 186,76 °C para una combinación de parámetros de: $V_c = 60$ m/min, $d = 3,5$ mm de profundidad, $f = 0,12$ mm/rev para el acero AISI-4140.
- Utilizando los mismos parámetros de corte, las curvas de acero AISI-4140 muestra temperaturas mayores que las curvas del acero AISI-4340. Esto debido a la diferencia de dureza entre ambos aceros.



-
- En las Gráfica 4.6 y 4.7. en los dos aceros el parámetro más significativo en su influencia sobre la temperatura de corte en orden de importancia es la profundidad de corte y la velocidad de corte.



RECOMENDACIONES

- Para un estudio posterior evaluar la temperatura de corte en el proceso de torneado de dos aceros comerciales AISI 4140 y AISI 4340 por dos métodos de ensayo.
- Realizar los ensayos con una longitud mayor a la utilizada en este trabajo, se recomienda 200 mm para que la curva se desarrolle por completo, para las velocidades de corte altas.
- Realizar un estudio basado en los mismo parámetros pero utilizando tornos CNC.
- Realizar un estudio de temperatura de corte de dos aceros AISI4140 y AISI 4340, por medio del método de termocupla incrustando la termocupla en otra posición de la herramienta de corte.
- Diseñar una práctica en el taller metalmecánico donde se observen el comportamiento de la curva de temperatura en el proceso de torneado para cinco (5) tipos de Aceros.



LISTA DE SÍMBOLO Y ABREVIATURA

Variable	Descripción	Unidad
a y b	Constantes que dependen de los materiales de la herramienta y de la pieza	
d	Profundidad de Corte	mm
D	Diámetro correspondiente al punto más desfavorable	m
D _f	Diámetro final de la pieza	mm
D _i	Diámetro inicial de la pieza	mm
D _{prom}	Diámetro promedio	mm
f	Avance	mm/rev
F _l	Fuerza Longitudinal	N
F _r	Fuerza Radial	N
F _t	Fuerza Tangencial	N



Variable	Descripción	Unidad
K	Difusividad térmica del material de trabajo	pulg ² /s (m ² /s)
L	Longitud del cilindrado en cada ensayo	mm
N	Número de revoluciones por minutos a que gira la pieza	RPM
t ₀	Espesor de la viruta antes del corte	pulg (m)
T	Aumento de la temperatura media en la interfase herramienta-viruta	°F (°C)
U	Energía específica en la operación	pulg-lb/pulg ² (N-m/mm ²)
V _c	Velocidad de corte	m/min
	Número pi	3.141596...
C	Calor específico volumétrico del material de trabajo	pulg-lb/pulg ³ - °F(J/mm ³ -°C)



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ø Boothroyd, G (1978).” Fundamento de corte de metales”. Primera edición. España. Mc Graw Hill.
- Ø Boothroyd, G., and Knigt, W.A. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, Marcel Dekker, Inc., New York, 1989.
- Ø Chao, B. T., and Trigger, K. J., “Temperature Distributions at the Tool-Chip Interface in Metal Cutting,” ASME Transactions, Vol 77, October 1955, pp. 1107-1121
- Ø Cook, N., “Tool Wear and Toll Life”, ASME Transactiions, J. Engrg. For Industry, Vol 95, November 1973. pp. 931-938.
Disponible en: <http://books.google.co.ve/books>
- Ø F, Eugenio López G., Miguel A. Ruiz., Lionel S. Méndez P. “Evaluación de condiciones de maquinado por medio de emisiones infrarrojas”. Ingenierías, Vol. V. N° 16, pp. 12 – 17, Julio-septiembre 2002. Proyecto de investigación en el doctorado de Materiales FIME/UNAL: México.
- Ø F. Boud (2006).” Bar diameter as an influencing factor on temperature in turning”. International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 223-228. [On-Line] Disponible en: [hptt//www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Ø Gamboa, José y Mosquera, Carlos. (2004): “Diseño y construcción de un dispositivo para medir la temperatura de corte en el proceso de torneado”. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. No publicado.
- Ø García, Ángel y Gonzáles, Ramón (2000): “Evaluación de la vida de la herramienta en un proceso de torneado convencional, para el mecanizado de las aleaciones de aluminio comercial”. Trabajo de grado Facultad de Ingeniería universidad de Carabobo. No publicado.
- Ø Hecker R. L., etal (2007). Modelo térmico de una herramienta de corte para el desarrollo de un transductor de temperatura. 8° congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007



- Ø Ihsan Korkut, Mehmet Boy, Ismail Karacan, Ulve Seker. (2006).” Investigation of chip-back temperature during machining depending on cutting parameters”. *Materials and Design* 28(2007) 2329-23-35. [On-Line] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com>
- Ø Juan C. Pereira F., Donato Romanello L. (2007). Determinación experimental de la fuerza de corte de la aleación AA-A356- T6 en operación de torneado. *Revista Ingeniería U.C.* Vol. 14,Nº1, 64-73,2007
- Ø Kalpakjian Serope, , Schmid Steven R (2002), *Manufactura, ingeniería y tecnología* Edition: 4. Publicado por Pearson Educación, , ISBN 9702601371, 9789702601371. 1152 páginas
- Ø Kalpakjian, s Scamid, s (2000) *manufacturing engineering and technology* ed. prentice hall mikell p. groover *fundamentos de manufactura moderna* ed. prentice hall 10.).[On-line].
- Ø Luigi V. Pascasi M, Luís E. Vegas P., Valencia septiembre de 1983. “Medición de la temperatura en un proceso de mecanizado”. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo. No publicado.
- Ø Manual Informativo de la empresa SUMINDU (aceros especiales e inoxidables). “CONOCIMIENTOS BÁSICOS PARA EL MECÁNICO DEL TALLER INDUSTRIAL ARCERCA C.A.” (2005)
- Ø Ojeda, M (2000).” Determinación de la distribución de la temperatura en una herramienta de corte en un proceso de mecanizado, utilizando el método metalográfico y el ensayo de microdureza”. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo. No publicado.
- Ø Omaña, W (1981). “Comportamiento a altas temperaturas de un acero de herramientas para trabajo en caliente”. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo. No publicado.
- Ø Sampieri, R (2001).” *Metodología de la investigación*”. Segunda edición. España. Mc Graw Hill.
- Ø Sánchez, H (1982)” *Aplicación de la teoría de la temperatura modificada al corte de aceros de bajo contenido de carbono*”. Venezuela. Universidad de Carabobo.



- Ø Tamayo, M (2001). "El proceso de la investigación científica". Cuarta edición. México. Limusa.

- Ø Temperatura de corte .[On-line] Disponible en:
http://books.google.co.ve/books?pg=PA562&lpg=PA563&dq=%22temperatura+corte%22&id=tcV0l37tUr0C&ots=7WMCd_exRv#PPA563,M1

- Ø Torno.(2005).[On-line].
Disponible en : <http://html.rincondelvago.com/torno.html>

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade

- 328 to 2282°F
 - 200 to 1250°C

Extension Grade

32 to 392°F
 0 to 200°C

LIMITS OF ERROR

(whichever is greater)

Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C

2.2°C or 2.0% Below 0°C

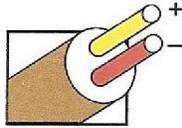
Special: 1.1°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:

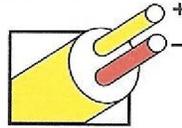
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C

REFERENCE JUNCTION AT 0°C



**Nickel-Chromium
 vs.
 Nickel-Aluminum**



**Extension
 Grade**

**Thermocouple
 Grade**

**Revised Thermocouple
 Reference Tables**

TYPE K
 Reference
 Tables
 N.I.S.T.
 Monograph 175
 Revised to
 ITS-90

Z

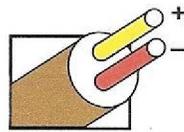
Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	°C
-260	-6.458	-6.457	-6.456	-6.455	-6.453	-6.452	-6.450	-6.448	-6.446	-6.444	-6.441	-260
-250	-6.441	-6.438	-6.435	-6.432	-6.429	-6.425	-6.421	-6.417	-6.413	-6.408	-6.404	-250
-240	-6.404	-6.399	-6.393	-6.388	-6.382	-6.377	-6.370	-6.364	-6.358	-6.351	-6.344	-240
-230	-6.344	-6.337	-6.329	-6.322	-6.314	-6.306	-6.297	-6.289	-6.280	-6.271	-6.262	-230
-220	-6.262	-6.252	-6.243	-6.233	-6.223	-6.213	-6.202	-6.192	-6.181	-6.170	-6.158	-220
-210	-6.158	-6.147	-6.135	-6.123	-6.111	-6.099	-6.087	-6.074	-6.061	-6.048	-6.035	-210
-200	-6.035	-6.021	-6.007	-5.994	-5.980	-5.965	-5.951	-5.936	-5.922	-5.907	-5.891	-200
-190	-5.891	-5.876	-5.861	-5.845	-5.829	-5.813	-5.797	-5.780	-5.763	-5.747	-5.730	-190
-180	-5.730	-5.713	-5.695	-5.678	-5.660	-5.642	-5.624	-5.606	-5.588	-5.569	-5.550	-180
-170	-5.550	-5.531	-5.512	-5.493	-5.474	-5.454	-5.435	-5.415	-5.395	-5.374	-5.354	-170
-160	-5.354	-5.333	-5.313	-5.292	-5.271	-5.250	-5.228	-5.207	-5.185	-5.163	-5.141	-160
-150	-5.141	-5.119	-5.097	-5.074	-5.052	-5.029	-5.006	-4.983	-4.960	-4.936	-4.913	-150
-140	-4.913	-4.889	-4.865	-4.841	-4.817	-4.793	-4.768	-4.744	-4.719	-4.694	-4.669	-140
-130	-4.669	-4.644	-4.618	-4.593	-4.567	-4.542	-4.516	-4.490	-4.463	-4.437	-4.411	-130
-120	-4.411	-4.384	-4.357	-4.330	-4.303	-4.276	-4.249	-4.221	-4.194	-4.166	-4.138	-120
-110	-4.138	-4.110	-4.082	-4.054	-4.025	-3.997	-3.968	-3.939	-3.911	-3.882	-3.852	-110
-100	-3.852	-3.823	-3.794	-3.764	-3.734	-3.705	-3.675	-3.645	-3.614	-3.584	-3.554	-100
-90	-3.554	-3.523	-3.492	-3.462	-3.431	-3.400	-3.368	-3.337	-3.306	-3.274	-3.243	-90
-80	-3.243	-3.211	-3.179	-3.147	-3.115	-3.083	-3.050	-3.018	-2.986	-2.953	-2.920	-80
-70	-2.920	-2.887	-2.854	-2.821	-2.788	-2.755	-2.721	-2.688	-2.654	-2.620	-2.587	-70
-60	-2.587	-2.553	-2.519	-2.485	-2.450	-2.416	-2.382	-2.347	-2.312	-2.278	-2.243	-60
-50	-2.243	-2.208	-2.173	-2.138	-2.103	-2.067	-2.032	-1.996	-1.961	-1.925	-1.889	-50
-40	-1.889	-1.854	-1.818	-1.782	-1.745	-1.709	-1.673	-1.637	-1.600	-1.564	-1.527	-40
-30	-1.527	-1.490	-1.453	-1.417	-1.380	-1.343	-1.305	-1.268	-1.231	-1.194	-1.156	-30
-20	-1.156	-1.119	-1.081	-1.043	-1.006	-0.968	-0.930	-0.892	-0.854	-0.816	-0.778	-20
-10	-0.778	-0.739	-0.701	-0.663	-0.624	-0.586	-0.547	-0.508	-0.470	-0.431	-0.392	-10
0	-0.392	-0.353	-0.314	-0.275	-0.236	-0.197	-0.157	-0.118	-0.079	-0.039	0.000	0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.105	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.139	190
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539	200
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940	210
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343	220
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747	230
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153	240
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561	250
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971	260
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382	270
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795	280
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.125	12.167	12.209	290
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624	300
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040	310
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457	320
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874	330
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.125	14.167	14.209	14.251	14.293	340
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713	350
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133	360
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554	370
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.848	15.891	15.933	15.975	380
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397	390
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820	400
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243	410
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667	420
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091	430
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516	440
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941	450
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366	460
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792	470
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218	480
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644	490
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071	500
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497	510
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.839	21.881	21.924	520
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350	530

Revised Thermocouple Reference Tables

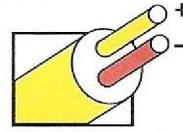
TYPE
 Reference Tables
 N.I.S.T.
 Monograph 175
 Revised to
 ITS-90

K



**Nickel-Chromium
 VS.
 Nickel-Aluminum**

Extension Grade



Thermocouple Grade

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade

- 328 to 2282°F
 - 200 to 1250°C

Extension Grade

32 to 392°F
 0 to 200°C

LIMITS OF ERROR

(whichever is greater)

Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C

2.2°C or 2.0% Below 0°C

Special: 1.1°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:

Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

**TEMPERATURE IN DEGREES °C
 REFERENCE JUNCTION AT 0°C**

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800	1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810	1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820	1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830	1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840	1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850	1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860	1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870	1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105	1170
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880	1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
890	36.925	36.965	37.005	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890	1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900	1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910	1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920	1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930	1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940	1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950	1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960	1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970	1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980	1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990	1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.433	41.472	41.510	41.548	41.587	41.626	41.665	1000	1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.655	52.690	52.724	52.758	1300
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010	1310	52.758	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020	1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030	1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040	1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050	1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060	1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070	1370	54.819	54.852	54.886									1370
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080													
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090													
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

	Título o Nombre del Documento:	Tipo de Documento	Código Documento:
	Aprendizaje General	Manual Informativo	
		Gestión del Proceso:	Nro.Pag / Total Págs.:
		Ampliando Conocimientos Básicos	16

ACEROS PARA MAQUINARIAS



CALIDAD
 AISI 4140
 ACERO PARA
 MAQUINARIAS

Color de Identificación:
 Azul / Negro

95-115
 kg/cm²

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR (Fr)	40CD4 , 42CD4
BS (Ingl)	708M40
DIN (Alem)	17225
JIS (Jap)	SCM440
UNI (Ital)	40CrMo4
Grado Thyssen	42CrMoS4(42CD4)

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
0.35 - 0.45	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.10 - 0.40	0.60 - 1.00
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
0.80 - 1.20	—	0.15 - 0.30	—	—

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<p>Es un acero de construcción de baja aleación al Cromo-Molibdeno.</p> <p>Relativamente alta templeabilidad.</p> <p>Alta resistencia mecánica y tenacidad en estado bonificado (temple y revenido).</p> <p>Resistente a la fragilidad de revenido.</p> <p>Maquinabilidad aceptable</p> <p>Se suele utilizar en estado bonificado (temple o revenido) o nitrurado.</p>	<p>Elementos de maquinarias en general.</p> <p>Ejes, cigüeñales, barras de torsión, engranajes de baja velocidad, pernos de alta resistencia, árboles de transmisión.</p> <p>Se recomienda en general para la fabricación de piezas de medianas dimensiones</p>

	Título o Nombre del Documento:	Tipo de Documento	Código Documento:
	<h1>Aprendizaje General</h1>	Manual Informativo	
		Gestión del Proceso:	Nro.Pag / Total Págs.:
		Ampliando Conocimientos Básicos	17



CALIDAD
AISI 4340
 ACERO PARA
 MAQUINARIAS

Color de Identificación: Blanco / Verde

95-115
Kg/cm²?

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR (Fr)	35NCD6
BS (Ingl)	817M40
DIN (Alem)	16565
JIS (Jap)	SNCM439
UNI (Ital)	36NiCrMo4
Grado Thyssen	34CrNiMo6(sillmar)

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
0.30 - 0.43	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.15 - 0.40	0.50 - 0.80
CROMO	NIQUEL	MOIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
0.70 - 1.70	1.3 - 2.00	0.15 - 0.30	—	—

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<p>Es un acero de construcción de baja aleación al Cromo-Níquel-Molibdono.</p> <p>Alta templabilidad.</p> <p>Alta resistencia mecánica y tenacidad en estado bonificado.</p> <p>Alta resistencia a la fatiga y a la torsión en estado bonificado (temple y revenido).</p> <p>Se suele utilizar también en estado bonificado (temple y revenido) y nitrurado.</p>	<p>Elementos de máquinas altamente exigidos.</p> <p>Ejes de transmisión, cigüeñales, barras de torsión, engranajes, pernos de alta resistencia, rotores, levas, bridas de alta presión, etc.</p> <p>Se recomienda para construcción de piezas de gran sección transversal altamente exigidas.</p>

Test set IMS



IMS S.p.A.

Cert Number 680867

01/12/2006

SUMINDU S.A.
 RIF. J-00066141-3
 ESQUINA DE PUENTE YANES
 EDIFICIO BECO PISO 3, LA CANDELARIA
 CARACAS (VENEZUELA), EX
 Venezuela

Info Ord/Ord Info	
Vs Ordine/Your Order	SUM 57-06
Vs Dist Ord/Your Ord Ris	02/11/2006
Ns Ordine/Our Order	239984-17-1
Rif Sped/Shipment Ref	238687-2
Data Sped/Shipment Dt	07/11/2006
Codice Cliente/Customer ID	1003329 / 1

Venduto A/Sold-To	Dest/Ship-To	Emesso da/Issued from
SUMINDU S.A. RIF. J-00066141-3 ESQUINA DE PUENTE YANES EDIFICIO BECO PISO 3, LA CANDELARIA CARACAS (VENEZUELA), EX Venezuela	SUMINDU S.A. RIF. J-00066141-3 ESQ. PUENTE YANES, EDIF. BECO, PISO 3 LA CANDELARIA CARACAS, EX Venezuela	IMS SPA Direzione Via Alessandro Polini 450 20043 Arcore (MI)

Informazione Prodotto/Product Information			
Round bar SAE 4140 Hardened and tempered 55mm Mill length	Colata/Heat 6LV11459	N° Doc/Ref No 111224 111224	KGS 1.594,00 4.438,00 6.032,00
Norma Pdt/Product Norm			

Comp Chim/Chem Comp					
C	Mn	Si	P	S	Cr
0,425	0,775	0,25	0,011	0,003	1,06
Mo					
0,175					

Jominy/Jominy					
5 mm	11 mm	25 mm	40 mm	50 mm	
53,5	50,5	42,0	41,0	40,0	

Caratt. Meccaniche/Physical Tests (Verificato sul Prodotto/Checked On Product)			
Ref No	HB		
N° Doc	HB		
111224	272,0		

Note e Informazioni Aggiuntive sulle prove./Additional Test Information & Remarks.

Trattamento Termico/Heat Treatment				Resilienza/Impact Test						
T T	Temp	Tmpo	Mtd Raffredd	Res	UM	°T	D	1°Rs	2°Rs	3°Rs
Heat Trmt	Temp	Time	Cool Mthd	Impc	UM	Tmp	D	Rs 1	Rs 2	Rs 3
				KCV	J	20 C	L	109,0	112,0	0,0

Microinclusioni/Mcrinclusion ASTM E45							
A		B		C		D	
F	G	F	G	F	G	F	G
1,5	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0

Controllo antimescolanza/Antimix control: 100%
 Controllo superficiale/Surface control: 100%
 Controllo ultrasuoni/Ultrasonic testing: conforme 100%
 Grano austenitico/Austenitic grain: 8
 Norma di riferimento/Reference standard: UNI EN 10083



We hereby certify that the above mentioned products comply with the order requirements.
 Certificato che l'originale è in our archivers.
 UNI EN 10204 - 2004 - 3.1 Affiliate quality control: Luca Benzoni



Commerciale: Civitate Camuno (BS)
 Via degli Emigranti, 9
 Tel. 0364 367700 Fax. 0364 344391
 E-mail info@trafilix.com

TRAFILATI - PELATI/RULLATI RETTIFICATI
 LAMINATI IN ACCIAI COMUNI E DI QUALITÀ



Certificato di collaudo
 Inspection Certificate
 Abnahmeprüfzeugnis

Attestato di controllo
 Test Report
 Werkzeugnis
 EN 10204/04 2.2

Documento n.
 Document No 004075/6
 Beleg Nr.

Data
 Date 15-04-08
 Datum

CLIENTE
 STEELFORCE AMERICAS NV
 LANGE KLARENSTRAAT. 16/20
 B-2000 ANTWERP ()

Dati identificativi materiale / Material Identification / Materialbeschreibung

Qualità del materiale Steel/Sthl	39NiCrMo3 Laminato	Norma Norm/Norm	EN 10083-3/06
Stato di fornitura Delivery condition / Lieferzustand	Bonifica	Profili - Dimensione Shape - Size / Profil - Abmessung	Tondo 55
Vs. Ordine Your Order/Ihr Auftrag	7272VE/GM 06-03-08	Ns. Conferma Our confirmation/ Unsere Bestätigung	091965
Documento di Trasporto Transport document/Lieferschein	004075 del 15-04-08	Quantità Quantity / Menge	2885
Numero di Colata Interno Our Heat number Chargennummer	TX/51368	Partita esterna External lot Externe Partie	34828

Di colata On the heat / Auf der Schmelze				Analisi chimica Chemical analysis / Chemische Zusammensetzung					Di prodotto On the product / Auf dem Produkt		
C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Cu %	Al %	Pb %	
0,40	0,20	0,67	0,022	0,024	0,69	0,16	0,71		0,024		
B %	V %	Ca %	Co %	Ti %	W %	Te %	Bi %	Nb %	Cr+Mo+Ni %		

Caratteristiche meccaniche
 Mechanical properties / Mechanische Eigenschaften
 TEST N.

Di riferimento Reference Test Piece/ Anhaltswerte				Resilienza Impact test / Kerbzähigkeit			
Rm (N/mm ²)	Rp 0,2 % (N/mm ²)	A %	C % (Z%)	Kcu (J) °C	Kv (J) °C		
1016	880	15,0	39,0	48			

Trattamento termico di riferimento Reference Heat treatment Anhaltswert für Wärmebehandlung +QT	Grandezza grano Grain Size / Korngröße UNI 3245 ASTM E 112 6	Inclusioni non metalliche Non metallic inclusions / Nicht-metallische Einschlüsse K4=0	Durezza HB Hardness / Härte 302
---	--	---	--

Temprabilità Jominy / Jominy test / Stirnabschreckprobe

mm	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	
HRC	57.0	56.0	55.5	55.0	54.5	53.0	51.0	48.5	41.5	37.0	34.5	33.5	32.5	31.5	30.5	
mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30
HRC																

Controlli non distruttivi / Non-destructive testing / Zerstörungsfreie Prüfungen

Antimescolamento Antimixing Verm Ischungsausschliessung Si/Yes/Ja -> No/No/Nein	Controlli Magnetici Magnetic test Magnetproben Si/Yes/Ja -> No/No/Nein	Decarburazione Decarburization Entkohlung	Controllo UT UT control Ultraschallprüfung Norma /Norm /Norm Classe /Class /Klass
--	---	--	---

Note / Remarks / Bemerkungen

CONTROLLO QUALITÀ
 Control Quality / Qualitätsmanagement

Fulvio Galli